

בחינה הנדסית חישובית של הנחיות חיזוק מבנים קיימים

תמ"א 38

ד"ר ניקולאי גלוק, ד"ר רינה פרחאת, ד"ר אדי ליבוביץ

מלווי מחקר: אינג' יוסי רזי, גב' זינה פרפליצין, אינג' נתן חילו, אינג' שמואל אנגל

**בהזמנת משרד הבינוי והשיכון
מס' הזמנה 4500297896**

ד"ר ניקולאי גלוק, ד"ר רינה פרחאת, ד"ר אדי ליבוביץ, SCE - המכללה האקדמית להנדסה סמי שמעון,

באר שבע

מרץ 2011

למען הסר ספק מודגש בזאת כי החוקרים והמכללה האקדמית להנדסה סמי שמעון – SCE, אינם ולא יהיו אחראים לכל פגיעה ו/או נזק ו/או הוצאה 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.

תודות

המחברים מבקשים להודות למלווי המחקר: אינג' יוסי רזי, גב' זינה פרפליצין, אינג' נתן חילו ואינג' שמואל אנגל על העצות המועילות, הביקורת החיובית והעידוד שקבלנו במשך המחקר. כמו כן נתונה תודתנו לד"ר אורי צדקה דיקן המחלקה להנדסת בנין, SCE - המכללה האקדמית להנדסה סמי שמעון אשר ייעץ וחלק עימנו את תובנתו.

ולבסוף תודה למשרד הבינוי והשיכון ולמכללה האקדמית להנדסה סמי שמעון – SCE על התמיכה והעזרה בהכנת ופרסום עבודת מחקר זו.

בחינה הנדסית של הנחיות חיזוק מבנים קיימים - תמ"א 38

החוקרים:

דר' ניקולאי גלוק – המכללה להנדסה סמי שמעון
דר' רינה פרחת - המכללה להנדסה סמי שמעון
דר' א. ליבוביץ - המכללה להנדסה סמי שמעון ; יו"ר האגודה הישראלית להנדסה סייסמית

תוכן עיניינים:

	פרק 1 – מבוא ורקע כללי
6	1.1 מבוא
7	1.2 תמ"א 38
9	1.3 מטרת העבודה
	פרק 2 – סקר ספרותי.
10	2.1 מכון התקנים הישראלי
14	2.2 המכון הלאומי לחקר הבניה
15	2.3 מסמכים ותקנים זרים
17	2.4 תקן 06 – ASCE/SEI 41
18	2.5 תהליך התכן לפי עקרון התפקוד (performance-based design approach)
	פרק 3 – הצגת המבנים השונים ופתרונות החיזוק.
34	3.1 מבוא
34	3.2 מבנה מס' 1 TM38-03
38	3.3 מבנה מס' 2 TM38-22
41	3.4 מבנה מס' 3 TM38-43
44	3.5 מבנה מס' 4 TM38-52
	פרק 4 – בחינה חישובית של המבנים לפי דרישות תקנים ישראלים.
48	4.1 מבוא
48	4.2 תיאור המבנים שנבדקו
52	4.3 תוצאות חישוב המבנים לפי ת"י 2413
65	4.4 תוצאות אנליזת המבנים לפי ת"י 413

פרק 5 – בחינת תסבולת רכיבי המבנה לפי דרישות ת"י 413 ות"י 466.

77	5.1 מבוא
78	5.2 תהליך התכן
88	5.3 דוגמא מספרית

פרק 6 - חישוב ההתנהגות הלא-ליניארית של המבנים המחוזקים בעזרת תוכנת SAP

104	6.1 התנהגות החומרים
110	6.2 מבנה מס' 43-TM38 בעל 5 קומות
123	6.3 מבנה מס' 3-TM38 בעל 5 קומות
137	6.4 מבנה מס' 22-TM38 בעל 4 קומות
150	6.5 מבנה מס' 52-TM38 בעל 9 קומות
162	6.6 מבחן תוצאות חישוביות בעזרת SAP2000

פרק 7 – סיכום ומסקנות

167	7.1 תקציר העבודה
169	7.2 סיכום והמלצות
172	מקורות מידע וביבליוגרפיה

נספחים

פרק 1 – מבוא ורקע כללי

1.1 מבוא:

חיזוק סיסמי משמעותו חיזוק מבנים קיימים בפני רעידות אדמה, שיפור התפקוד של רכיבים קונסטרוקטיביים (מבניים) ולא-קונסטרוקטיביים במבנה על ידי תיקון ליקויים שזוהו בתהליך הערכה סיסמית.

הערכה סיסמית (seismic evaluation) הינה תהליך לפי מתודולוגיה מקובלת להערכת ליקויים או נקודות חולשה בבניין, המונעים את הבניין מהשגת מטרת השיקום הנבחרת. ניתן לצפות כי המבנים המחוזקים בהתאם לתקן, יתנהגו בהתאם לרמות הרצויות כאשר ייחשפו לרעידות האדמה כמתוכנן. ההתפתחות של הנדסת רעידת אדמה מתקדמת בקצב מהיר, כמו כן הבנת ההתנהגות של בניינים הנחשפים לרעידת אדמה חזקה, והיכולת שלנו לחזות את ההתנהגות מתקדמים.

התקנים החדשים לבנין אשר נועדו בעיקר להסדיר את תכנון והקמת בניינים חדשים, הם כוללים הוראות ודרישות רבות שמטרתן לעודד תכנון המוביל ליצירת התכונות החשובות עבור תפקוד סיסמי רצוי, כולל תצורה סדירה, המשיכות מבנית, קביעת הזיון באופנים המבטיחים משיכות, וחומרים באיכות המתאימה.

מבנים קיימים רבים שנבנו לפני אישורו של ת"י 413 תוכננו והוקמו ללא התכונות האלה, מכילים מאפיינים כגון תצורה בלתי רצויה ומשיכות לקויה, יחייבו תוספת רכיבים נוספים אשר יתוכננו בהתאם לדרישות ולמצבו הקונסטרוקטיבי של הבניין, זאת כדי להתאים את הבניין לדרישות התקינה לעמידות מבנים בפני רעידות אדמה.

הערכה סיסמית באמצעות תקנים אחדים יכולה להיות מחמירה יותר מאשר שיטות הערכה לפי תקנים או מסמכים מנחים שונים. בתקנים אחדים (חדשניים יותר) ההוראות יכולות להיות מכוילות לפי הדרישות לתכן (למבנים חדשים), ובאחרים כפי שהיה נהוג היסטורית, הקריטריונים להערכה הוגדרו לסף נמוך יותר מאשר הנדרש לתכן, כדי למזער את הצורך לחזק מבנים עם רמת ליקויים בינונית, כאשר לוקחים בחשבון בנוסף את גיל המבנה.

מבוא זה נכתב כאשר ועדת התקינה לחיזוק מבנים קיימים (ועדה 10405 במכון התקנים) מתחדשת ומחדשת את פעילותה לעריכת רוויזיה לתקן 2413 לחיזוק מבנים קיימים. לא מן הנמנע יהיה שהוועדה תאמץ גישות חדשניות כנהוג בתקנים המובילים באירופה (EC8/3) ובארה"ב (ASCE-41-06). בכל מקרה המחקר הנוכחי יתמקד בעבודה לפי התקנים הרשמיים הרלוונטיים למבנים אליהם מתייחסת העבודה: ת"י 413, ת"י 2413.

1.2 תמ"א 38:

תמ"א 38, תכנית מתאר ארצית לחיזוק מבנים קיימים בפני רעידות אדמה, אושרה ע"י הממשלה ביום 14.4.05.

תמ"א 38 נועדה לאפשר חיזוק מבנים קיימים, שנבנו בתקופה שקדמה לאישורו של תקן ישראלי 413 (תכן עמידות מבנים ברעידות אדמה שאושר בשנת 1975), במטרה לשפר את עמידותם בפני רעידות אדמה.

התוכנית מסדירה את ההיבט התכנוני של חיזוק מבנים קיימים בפני רעידות אדמה. התכנית קובעת מסגרת סטטוטורית המאפשרת הוצאת היתרי בניה לחיזוק מבנים בפני רעידות אדמה, ומעודדת את ביצועו על ידי מתן זכויות בניה לשם מימון החיזוק. לצד תוספת זכויות הבניה, מגדירה התמ"א הליך מקוצר, המאפשר הוצאת היתרי בניה ישירות מכוחה, ללא צורך בהליך תכנוני נוסף, כפי שמחויב בדרך כלל לתכניות המוסיפות זכויות בניה.

התמ"א מפרטת את המסמכים שיש להגיש לוועדה המקומית במסגרת בקשה להיתר לחיזוק המבנה, את נושאים לשיקול דעת של הוועדה המקומית, תנאים למתן היתר ועוד.

תוקפה של התמ"א הוגבל מלכתחילה ל- 5 שנים מיום אישורה, אלא אם יוחלט להאריך את תוקפה. המועצה הארצית לתכנון ולבניה בישיבתה מיום 13.10.2009 החליטה להאריך את תוקפה של התמ"א עד מאי 2015.

סל פתרונות לחיזוק מבנים

זכויות הבניה לפי התמ"א ניתנות למבנים אשר הוצא להם היתר בניה לפני 1.1.1980, ועל פי ההערכה נבנו רובם שלא על פי ת"י 413. זכויות אלו ישמשו כתמריץ למימון, ולו חלקי, של פעולות החיזוק.

מבנים שהיתר לבנייתם ניתן לאחר 1.1.80 היו חייבים לעמוד בהוראות התקן, ולפיכך צפוי כי הם עמידים בפני רעידות אדמה. עם זאת, במידה ונמצא כי המבנים זקוקים לחיזוק ואינם עומדים בתנאי התקן בפועל - אין מניעה לבצע בהם חיזוק. תמ"א 38 מאפשרת לחזק מבנים אלה, אך ללא תוספת בזכויות בניה אך בחריגות מסוימות בקווי הבניין ובגובה המבנה עבור מרכיבי החיזוק בלבד.

תמ"א 38 כוללת מגוון של פתרונות המקלים על חיזוק המבנים, בהתאם לתנאיו של כל מבנה שבעליו מעוניין לבצע בו חיזוק. בתמ"א מפורטת המעטפת המקסימאלית של זכויות הבניה כתמריץ לחיזוק, אשר כוללת אפשרויות לתוספת יחידות דיור חדשות (באמצעות סגירת קומת עמודים, תוספת אגף נוסף לבניין, תוספת קומה עליונה) והרחבת יחידות דירות קיימות בבניין בשטח שעד 25 מ"ר לכל יח"ד.

על מבקשי הבקשה לבחור בחלופה שמתאימה למבנה הספציפי, בהתייחס למצבו הקונסטרוקטיבי של המבנה, למאפייניו האחרים, לאופי סביבתו ועוד.

טיפול בבניינים עם קומה מפולשת (קומת עמודים): בדרך כלל מבנה בעל קומה מפולשת הינו בעל סיכון גבוה יותר בעת התרחשות רעידת אדמה, ולו רק בשל העובדה שהוא נשען על עמודים בלבד, ולא על קירות מלאים. כדי להאיץ חיזוק בניינים אלו, יזמה המועצה הארצית את שינוי מס' 2 לתמ"א 38 שאושר במרץ 2010. שינוי זה מאפשר תוספת של יחידות דיור הן בקומה המפולשת והן בקומה נוספת, או סגירתה לשימושים אחרים, כגון מרחב מוגן וכו'. תמ"א 38 קובעת כי ניתן יהיה לקבל זכויות נוספות, כתמריץ לחיזוק מבנים בפני רעידות אדמה, בכפוף לאישור תכנית שתקבע את שיעור הזכויות הנוספות, בהתאם לתנאים הייחודיים של האזור. תכנית כאלה מקודמות באזורים אשר נבחנו ונמצאו מתאימים לתוספת גדולה יותר של שטחי בניה, ולכן מתאפשר בהם תמריץ כלכלי גדול יותר לחיזוק המבנים. תכנית כזו כבר אושרה, למשל, בראשון לציון (רצ/ 106 / 1), ברמת גן (רג/ 30 / 340 / ג) ותכניות נוספות מקודמות בערים נוספות בכל הארץ, בדרך כלל ביוזמת הרשות המקומית.

שיפור רמת המיגון של המבנים שנעשה בהם חיזוק: תמ"א 38 מאפשרת לשפר גם רמת מיגון המבנים, באמצעות תוספת ממ"דים וכו'.

התמ"א מאפשרת, בין היתר, לחזק מבנה ללא תוספת בניה ע"י מתן אפשרות להריגה מקווי בניין ומגובה הבניין המותרים עפ"י התכנית החלה במקום. פתרון זה מתאים לחלק מהמקרים והוא מאפשר להוזיל את עלויות החיזוק באמצעות החיסכון בהוצאות הכרוכות בתוספת בניה למבנה קיים.

בנוסף, התמ"א מאפשרת להרוס מבנה שנקבע לגביו שנדרש לחזקו, ולהקימו מחדש, בתוספת זכויות לפי התמ"א.

מטרתה של תמ"א 38 היא קודם כל - חיזוק מבנים. התמ"א כוללת הוראות לעניין אופן בחינת חוזק המבנה ודרישה להגשת מסמכים שמבהירים את שיטת החיזוק המוצעת. תנאי להגשת בקשה להיתר על פי תמ"א 38 הוא קבלת אישור בכתב ממהנדס שהוסמך לכך, כי אכן יש צורך לחזק את המבנה בפני רעידות אדמה. אישור כאמור יינתן לאחר בדיקה הנדסית של עמידות המבנה בפועל.

המהנדס, לאחר שיבחן את עמידות המבנה, ייקבע את הצורך בחיזוקו, ויגיש דו"ח למהנדס הועדה המקומית הכולל את הנושאים הבאים:

- פירוט המצב הקונסטרוקטיבי של המבנה.

- אופן החישוב הסטטי של חוזק המבנה.

- תכנית רעיונית לשיטת החיזוק המוצעת על ידו.

לפרטים נוספים בנושא זה, ראה נוהל ביצוע בקרה הנדסית על בקשה להיתר הכוללת חיזוק בפני רעידות אדמה מכוח תמ"א 38, שפורסם בחוזר מנכ"ל משרד הפנים (4/2008) ופורסם באתר האינטרנט של

משרד הפנים. הנוהל מפרט את המסמכים שיש להגיש למהנדס הועדה המקומית כתנאי לדיון בבקשה להיתר וכתנאי לאישור הבקשה.

בנוסף להוראות התכנית, תמ"א 38 כוללת נספח הנדסי מנחה ובו תרשימים המדגימים אפשרויות לתוספות בניה עבור 12 טיפוסים שונים של מבנים קיימים לצורך חיזוקם, המשמשים להדגמה בלבד.

פרטים נוספים אודות תמ"א 38 באתר: www.moin.gov.il/tama38

1.3 מטרת העבודה:

מטרת העבודה הנוכחית הינה לבחון מספר מבנים טיפוסיים, הממוקמים במספר אזורים סיסמיים המטופלים בהתאם להוראות תמ"א 38, זאת על מנת ללמוד את המשמעויות ההנדסיות והאפשרויות של תוספת שטחים ופתרונות חיזוק שונים. בנוסף תיבחן תוספת שתי קומות במקום קומה אחת מהבחינה הקונסטרוקטיבית, וזאת במסגרת ההצעה לשדרוג תמ"א 38.

במסגרת הנוכחית יוצגו תוצאות ראשוניות של מחקר הנדסי העוסק ביישום תמ"א 38.

מבנים להדגמה נלקחו מתוך נספח מס' 1 לתמ"א שמדגים סוגי חיזוק שונים עבור 12 טיפוסים המבנים הנפוצים ביותר. בעבודה זו נעשתה הדגמה עבור 4 טיפוסים מבנים מתוך הנספח:

- מבנה מגורים טורי, בעל 3 קומות מעל קומה מפולשת - TM38-03

- מבנה מגורים מרובע, בעל 3 קומות על קומה מפולשת חלקית - TM38-22

- מבנה מגורים בצורה H, בעל 4 קומות מעל קומה מפולשת - TM38-43

- מבנה מגורים בצורה H, בעל 8 קומות מעל קומה מפולשת עם פיר מעלית - TM38-52

פרק 2 – סקר ספרותי

בחנית עמידות לרעידות אדמה של מבנים קיימים וחיזוקם מהווה בעיה הנדסית וביצועית קשה מאוד. בשנים האחרונות נעשו מספר עבודות מחקר בנושא ופורסמו מספר מסמכים והנחיות לבדיקה וחיזוק, ביניהן ניתן לציין את:

2.1 מכון התקנים הישראלי:

ת"י 2413 – "הנחיות להערכת עמידות מבנים קיימים ברעידת אדמה ולחיזוקם",
ת"י 413 – גליון תיקון מס' 3 לתקן ישראלי 413 (תכן עמידות מבנים ברעידות אדמה), אושר לאחרונה
(09.2009) בוועדה טכנית 104 במכון התקנים.
התייחסות חדשה לספקטרום התגובה המהווה מרכיב חשוב בקביעת העומסים,

כמו כן סעיף 108- הנחיות לתוספות ושינויים מבניים (קונסטרוקטיביים) לבניינים קיימים וכן שינויי
יעוד, עבר רוויזיה נרחבת.

גליון תיקון מס' 4 לתקן ישראלי 413 אושר לאחרונה (07.2010) בוועדה מרכזית 100 לתקני בניין
במכון התקנים קובע:

עד כניסתו לתוקף של התקן המשולב, הכולל בתוכו את כל גיליונות התיקון הרלוונטיים, כולל
גיליון תיקון מס' 5 שנמצא בהכנה, יהיו בתוקף הן התקן הישראלי ת"י 413 משנת 1995 לרבות
גיליון תיקון מס' 1 שלו מדצמבר 1998 וגיליון התיקון מס' 2 שלו ממאי 2004, והן התקן
הישראלי ת"י 413 משנת 1995 לרבות גיליונות התיקון 1 ו-2 שלו ויחד עם גיליון התיקון מס' 3
שלו מספטמבר 2009.

כלומר: גיליון תיקון זה (מס' 4) מאפשר תקופת מעבר עד שייכנס לתוקף הנוסח המשולב של
מהדורת ת"י 413 שהיה בתוקף באוגוסט 2009 עם כל גיליונות התיקון, כולל גיליון תיקון
מס' 5 שנמצא בהכנה. בתקופה זו יוכלו המתכננים לתכנן עמידות מבנים ברעידת אדמה על פי
ת"י 413 עם 3 גיליונות התיקון שלו (כולל גיליון תיקון מס' 3) או על פי גרסת ת"י 413 שהייתה
בתוקף באוגוסט 2009 (ללא ג"ת מס' 3), בהתאם לשיקול דעתו של מתכנן שלד הבניין.

תקן ישראלי 413 - גיליון תיקון מס' 3:

סעיף 108, הנחיות לתוספות ושינויים מבניים (קונסטרוקטיביים) לבניינים קיימים וכן שינויי יעוד, עבר רוויזיה נרחבת.

תקן ישראלי 413 - גיליון תיקון מס' 5: (הצעה בלבד עדיין לא אושר)

גיליון תיקון מס' 5 נמצא בשלבים הסופיים של ההכנה, בעת כתיבת שורות אלה, ולקראת פרסומו להערות הציבור. בעניין סעיף 108, הנחיות לתוספות, לשינויים מבניים (קונסטרוקטיביים) ולשינויי ייעוד למבנים, הסעיף נכתב מחדש ומובא כאן במהדורתו האחרונה כפי שעובד לעת עתה:

108. הנחיות לתוספות, לשינויים מבניים (קונסטרוקטיביים) ולשינויי ייעוד למבנים

108.1. כללי

ההנחיות בסעיף זה חלות על התכן של תוספות למבנה קיים, וכן על התכן של מבנה קיים שיעודו השתנה (מקדם חשיבות ו/או עומסים). שינויים במבנה קיים ללא הגדלת שטחו הייעודי ו/או ייעודו יתוכננו על פי דרישות סעיף 108.5 (סעיף חדש)

108.2. תוספות עצמאיות מבחינה מבנית

תוספת שאינה תלויה מבנית במבנה הקיים, תתוכנן לעמוד בכל דרישות תקן זה.

108.3 תוספות שאינן עצמאיות מבחינה מבנית

108.3.1 עומסים

המבנה הקיים ותוספתו, להלן "המבנה הכולל", יעמדו בעומסים הנדרשים בתקן זה.

108.3.2 המודל המבני

אנליזת המבנה הכולל תתחשב בקשיחות ובחוזק הרכיבים החדשים והקיימים המשתתפים בקבלת העומס הסימני. האנליזה תתחשב ברכיבים מבניים או שאינם מבניים, המשתתפים בקבלת העומס, גם אם לא תוכננו לשם כך. קשיחות וחוזק קירות בני, "דבש", רכיבים טרומיים או אחרים יחושבו על פי המלצות הספרות המקצועית העדכנית ו/או תקינה רלוונטית.

108.3.3 תכן רכיבי המבנה

יש להבטיח שמירת כושרם של רכיבי המבנה לשאת בעומסי הכבידה בשילוב ההטרחות המתפתחות בהם בהשפעת התזוזות המרביות החזויות לפי סעיף 403.2.4, תוך מניעת שבר פריך. סעיף זה מתייחס גם לרכיבים שאינם מהווים חלק ממערכת ההקשחה הסיסמית.

108.3.3.1 רכיבי התוספת

תכן רכיבי התוספת יעמוד בדרישות תקן זה ובדרישות התקנים הרלוונטיים לתכן מבנים חדשים.

108.3.3.2 רכיבי המבנה הקיים המהווים חלק ממערכת ההקשחה הסיסמית

רכיבי המבנה הקיים יעמדו בהטרדות המתפתחות בהם. בהיעדר פרטי זיון המקנים משיכות בהתאם לדרישות תקן זה, תובטח תסבולת רכיבים אלה להטרדות המתפתחות בהם ללא התחשבות במקדם הקטנת הכוח.

108.3.3.3 רכיבי המבנה הקיים שאינם מהווים חלק ממערכת ההקשחה הסיסמית.

יש להבטיח שמירת כושרם של רכיבים אלה לשאת בעומסי הכבידה בשילוב ההטרדות המתפתחות בהם עקב התזוזות המרביות החזויות לפי סעיף 403.2.4, תוך מניעת שבר פריך.

108.4. שינוי ייעוד

כאשר שינוי בייעוד גורם לסיווג מחדש של המבנה לקבוצת חשיבות גבוהה יותר (סעיף 204.3) ו/או לשינוי בעומסים, יעמוד המבנה, לרבות הגישות אליו, בדרישות החלות לפי תקן זה על מבנים חדשים עבור הקבוצה המתאימה.

108.5. שינויים במבנה קיים ללא הגדלת שטחו הייעודי

מותר שינוי במבנה קיים, כמפורט בסעיף 108.5.1, ללא עמידה בדרישות סעיף 108.3 למעט המודל המבני המפורט בסעיף 108.3.2. זאת בתנאי שהוכח בחישוב שהשינוי אינו יוצר אי סדירות או מחמיר אי סדירות קיימת ואינו מפחית מעמידותו הסיסמית של המבנה המקורי.

108.5.1. סוגי שינויים מותרים לעניין סעיף 108.5

תוספת פירי מעליות, שיפור נגישות לנכים, שיפורי מיגון בטחוני, שיפור תנאים תברואתיים, שיפורי בטיחות אש.

שינוי ייעוד לפי סעיף 108.4 גורר התייחסות לטבלה 4 – מקדמי החשיבות של מבנים, אשר נכללה בשינויים לפי גיליון תיקון מס' 3 ותקבל התייחסות בגיליון תיקון מס' 5.

טבלה 4 - מקדמי החשיבות של מבנים

מקדם החשיבות	סוג המבנה	קבוצה
1.50	מבנים בעלי חשיבות ציבורית גבוהה, האמורים לתפקד עם מערכותיהם בעת רעידת אדמה ולאחריה: מבני תחנות כוח, בתי חולים, תחנות מכבי אש, תחנות משטרה, מרכזות טלפון, תחנות עזרה ראשונה (לרבות כניסות ומעברים, וכן מבני השירות ומכלי המים המשרתים אותם)	א
1.25	מבנים בעלי חשיבות ציבורית, האמורים לאפשר מילוט אנשים ללא סכנת חיים, כגון: בתי ספר, מעונות יום, בתי קולנוע, בתי תפילה, אולמי שמחות וריקודים, בנייני ציבור, בתי סוחר ובניינים שצפויה בהם התקהלות, לרבות בניינים מרובי אוכלוסין (250 איש ומעלה), בין אם נקבעו ככאלה על ידי רשות מוסמכת ובין אם לאו	ב
1.00	כל שאר המבנים שלא נכללו בקבוצות א ו-ב	ג
הערה: ראו גם סעיף 204.5.1.		

בכל מקרה המבנה הכולל עומד בכל יתר הדרישות של תקן ת"י 413. מה שחשוב הוא מצב הכוחות במבנה לאחר התוספת. עקב הקשיחות הגדולה של הממ"דים ובהעדר אקסצנטריות נוספת, **כנדרש ע"י הקפאת אי הסדירות**, הם מוסיפים חוזק וקשיחות **למבנה ולכן הכוחות הסיסמיים במבנה הקיים צפויים לרוב לקטון (יחסית לכוחות לפני התוספת)**. תוספת פירי מעליות, שיפור נגישות לנכים, שיפורי מיגון בטחוני, שיפור תנאים תברואתיים, שיפורי בטיחות אש אושרו כחריג במגבלות. התחשבות בקירות בני: "האנליזה תתחשב ברכיבים מבניים או שאינם מבניים, המשתתפים בקבלת העומס, גם אם לא תוכננו לשם כך". גם ת"י 2413 התייחס לכך כפי שמובא להלן.

ת"י 2413 – "הנחיות להערכת עמידות מבנים קיימים ברעידת אדמה ולחיזוקם":

4.10. תוספת למבנה קיים
תוספת למבנה קיים תעמוד בכל הדרישות שבסעיף 108 בתקן הישראלי ת"י 413.

פרק ד - בדיקת מבנים קיימים בהתאמות לת"י 413 (רמה III)**4.1 כללי**

בדיקת עמידות של מבנים קיימים לפי רמה III (ראו במבוא לתקן) תתואם עם דרישות התקן הישראלי ת"י 413 ועם ההנחיות המפורטות בפרק זה.

4.2 מקדם הקטנת הכוח K

מקדם הקטנת הכוח K ייקבע לפי סוג המערכת הנושאת, פרטי הזיון והבדיקות שייערכו למבנה. בהעדר מידע מפורט כלעיל למבנה, רמת המשיכות שתואב בחשבון תהיה רמת משיכות בינונית לכל היותר.

4.3 קביעת עומס התכן האופקי הכולל F_H

ניתן להפחית את העומס F_H המחושב לפי ת"י 413 סעיף 302.1 בערכים המפורטים בטבלה 3:

טבלה 3 - תנאי הפחתת העומס

שנת הקמת המבנה	הפחתת העומס F_H
< 1960	1/3
1960 - 1975	1/4
1975 - 1990	1/5
> 1990	0

4.4 רכיבים נושאים

נוסף על הרכיבים הנושאים המקובלים (רכיבי בטון, פלדה ועץ), ניתן לכלול בסכמה הנושאת לחישוב סייסימי גם רכיבים אחרים, כמפורט להלן:

4.4.1 קירות בני, המקיימים דרישות אלה:

- עוביו המינימלי של הקיר 200 מ"מ ואורכו המינימלי 2.0 מ' ;
- קיימת בקיר חגורה אופקית⁽⁵⁾ אחת לפחות, המחוברת לרכיבים נושאים אנכיים על ידי קוצים או שינני קשר.
- בסכמה הנושאת לחישוב סייסימי של מבנים עם קירות בני המחוברים לעמודים או לקירות מבסון מזוין, מחליפים את קירות הבני באלכסונים דו-פרקיים בעלי רוחב השווה ל-1/5 מאורך האלכסון (כמפורט בציר 6).

2.2 המכון הלאומי לחקר הבניה:

נעשו מספר עבודות מחקר במכון הלאומי לחקר הבניה בנושא איבחון והערכת עמידות סייסמית של בניינים קיימים, תוך פיתוח מתודולוגיות להערכת תסכולת של מבנים ישראליים אופיניים. טכניקות האיבחון מבוססות על מעקב אחר התגובה הלא אלסטית של רכיבי ההקשחה השונים במבנה, הערכת התסכולת וההזזות על בסיס טכניקת אנליזת דחיפה, בחינה ומעקב אחר התנהגות המבנה ורכיביו.

2.3 מסמכים ותקנים זרים:

המדריכים של תוכנה HAZUS ,

מסמך FEMA356,

מסמכים רבי ערך שפורסמו לאחרונה:

ASCE/SEI 41-06, Seismic rehabilitation of existing buildings (2007) ➤

BS EN 1998-3, Eurocode 8 – Design of structures for earthquake ➤

resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings (2005)

שני תקנים אלה, המייצגים את הגישה האירופית ואת הגישה האמריקאית, מאמצים את הגישה

החדשה של התכן על בסיס התפקוד של המבנה.

לקראת עידן היישום הסופי של התקנים הסיסמיים של Eurocodes במדינות האיחוד האירופי

נערכה סדנה בליסבון 10-11 פברואר 2011. שניים מן השותפים למחקר זה השתתפו בסדנה זו

בנושא Eurocode 8.



SEISMIC DESIGN OF BUILDINGS

Workshop with worked examples

10-11 February 2011

Lisbon, Portugal

First announcement



Organised and supported by

European Commission: DG Enterprise and Industry and
Joint Research Centre

CEN/TC250, CEN/TC250 SC8, CEN Management Centre
and Member States

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisbon,
Portugal



ניתן לציין ש-

- Eurocodes הגיעו לשלב הסופי של היישום הלאומי על ידי המדינות החברות
- Eurocodes נהיים האמצעים הכלל-אירופי לתכנן של מבנים
- לאימוץ Eurocodes תורמת הנציבות האירופית דרך אתר האינטרנט המשמש פלטפורמה להפצה של חומרי הדרכה:

<http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu>

The European Commission website on the Eurocodes

2.4 תקן 06 – 41 ASCE/SEI:

הוראות תקן זה לשיקום סייסמי של מבנים קיימים מבוססים על מתודולוגית תכן על סמך התפקוד של המבנה.

תקן זה מייצג את הגישה המודרנית להערכה הסיסמית (seismic evaluation) של מבנים קיימים ולתכן של מבנים חדשים לפי עקרון התכן על בסיס התפקוד, אשר שונה מהליכי התכנון הסיסמי לתכן מבנים חדשים הנהוגים כיום בתקנים לבניין.

התקן נותן הנחיות ודרישות לשיפור עמידות מבנים בפעולת עומסים סיסמיים. המסגרת שבה דרישות אלה מצוינות הינה רחבה, יכולה להתאים למטרות חיזוק מבנים מסוגים שונים, לתת מענה למגוון רחב של רמות לתפקוד המבנה, ולשקף רמות שונות של סיכון מרעידת אדמה.

תקן זה חל על חיזוק סיסמי של המערכת המבנית הכוללת של מבנה וגם על רכיביו הבלתי קונסטרוקטיביים, כולל תקרות, מחיצות, מערכות מכניות, חשמליות ואינסטלציה.

שיטות השיפור כוללות: החלפות, חיזוקים, תיקונים, שימוש במערכות של אלכסונים ותוספות.

החומרים שהתקן נותן פתרונות עבורם הם: פלדה, בטון מזוין, קירות בלוקים, עץ.

התקן כולל הנחיות לשיפור היסודות ושיפור של המבנה עצמו לפי הגישה של אינטראקציה בין הקרקע והמבנה. בנוסף שיטות השיפור כוללות שימוש בבידוד יסוד ובבקרה סבילה דרך מערכות ספיגת אנרגיה.

מוצעות ארבע שיטות שונות לאנליזה לפי מידת הדיוק שהמתכנן רוצה להשיג עבור מבנה ספציפי:

1. אנליזה ליניארית אלסטית סטטית (Linear Static [lateral force] method of Analysis -

(LSA

2. אנליזה ליניארית אלסטית דינאמית (Linear Dynamic [modal response - LDA

(spectrum] Analysis

3. אנליזה לא-ליניארית סטטית (Non-linear Static [pushover] Analysis - NSA

4. אנליזה לא-ליניארית דינאמית (Non-linear Dynamic [time history] Analysis - NDA

לפי מורכבות החישוב התוצאות יהיו קרובות יותר להתנהגות ולתפקוד האמיתי של המבנה תחת העומסים הסיסמיים.

הליך החישוב הלינארי אמור להיות מיועד לספק הערכה שמרנית עבור תגובת ותפקוד המבנה ברעידת אדמה, דבר זה לא תמיד מדויק, כיון שהתגובה בפועל של מבנים לרעידות אדמה בדרך כלל לא ליניארית,

הליך החישוב הלא-לינארי אמור לספק ייצוג מדויק יותר של תגובת ותפקוד המבנה.

בהתחשב בייצוג משופר של התנהגות המבנה כאשר נערך חישוב לא-לינארי, הליך החישוב הלא-לינארי מעמיד מגבלות פחות שמרניות על התגובה המבנית המותרת, מאשר במקרה שנערך הליך חישוב לינארי.

מבנים הנחשבים עם עמידות סיסמית לקויה על סמך חישוב לינארי, יכולים להתאים לדרישות תקן זה כאשר נערך חישוב לא-לינארי. לכן, חישוב לא-לינארי יכול להקטין או למנוע חיזוק סיסמי מיותר

וכתוצאה להפחית את עלויות הבנייה.

2.5 תהליך התכן לפי עקרון התפקוד (performance-based design approach)

תקן זה (ASCE/SEI 41-06) מגדיר תהליך תכן לפי עקרון התפקוד להשגת יעד התפקוד

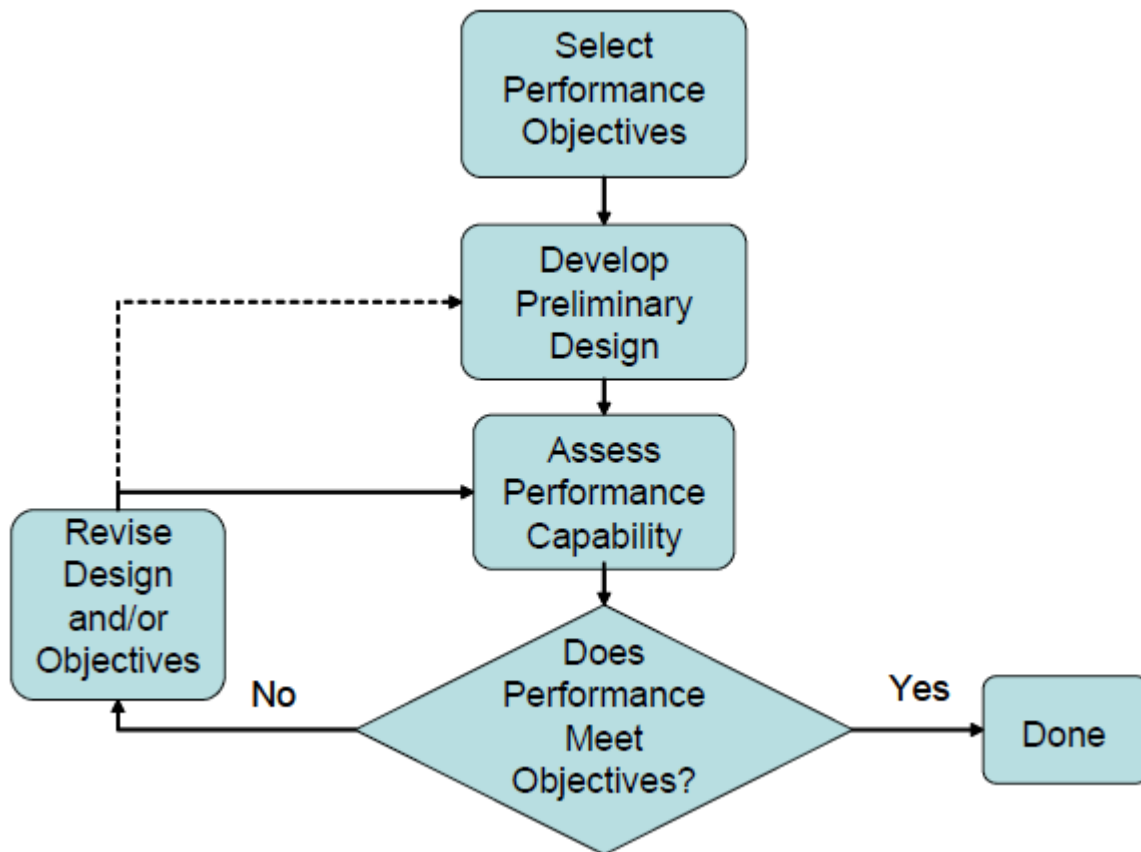
(performance objective) הרצוי הנבחר מבין מגוון רחב של רמות תפקוד:

Collapse	➤ התמוטטות
Collapse Prevention	➤ מניעת התמוטטות
Life Safety	➤ בטיחות חיי אדם
Immediate Occupancy	➤ תפוסה מיידית
Operational	➤ שימושי

כפי שיתואר ויפורט בהמשך, וזאת עבור כל רמה נבחרת של סיכון סייסמי.

עבור התכן לפי עקרון התפקוד, זיהוי יכולת התפקוד של המבנה הינו חלק בלתי נפרד מתהליך התכן, ומהווה עזר ומנחה עבור החלטות התכנון אשר תתקבלנה. בציוור להלן נתון תרשים זרימה המייצג את צעדי המפתח עבור התכן לפי עקרון התפקוד. מדובר בתהליך איטרטיבי אשר מתחיל בבחירת יעדי התפקוד (performance objectives), לאחר מכן ביצוע תכנון מוקדם (preliminary design), הערכת יכולת התפקוד של התכנון המוצע, ובדיקה האם התפקוד המתקבל עונה על יעדי התפקוד, בהמשך תכנון והערכה מחדש ו/או שינוי יעדי התפקוד, אם נדרש, עד להשגת רמת התפקוד הרצויה.

במקרה של בדיקת מבנה קיים מספיקה איטרציה אחת עבור רמת מסוימת של סיכון סייסמי, כיוון שבמשבצת של התכנון המוקדם יבוצע חישוב המבנה הקיים על סמך כל התכונות והמאפיינים שלו למעשה. עבור תכן מערכת החיזוק עבור מבנה קיים (ובדיקה יחד עם המבנה הקיים) או תכן מבנה חדש יידרשו מספר איטרציות כפי שתואר לעיל.



הציור הבא (FIGURE C1-1) הלקוח מתוך ASCE/SEI 41-06 מתאר ומפרט את תהליך החיזוק הסיסמי המבוסס על התכן לפי עקרון התפקוד עבור שיקום מבנה קיים. התהליך מתחיל עם בחירת יעד החיזוק הסיסמי (Seismic Rehabilitation Objective selection) ואמצעי החיזוק על בסיס התכן לפי עקרון התפקוד (performance-based design) להשגת יעד החיזוק הנבחר, השלבים יהיו בהתאם לתהליך המפורט בהמשך והמתואר בציור:

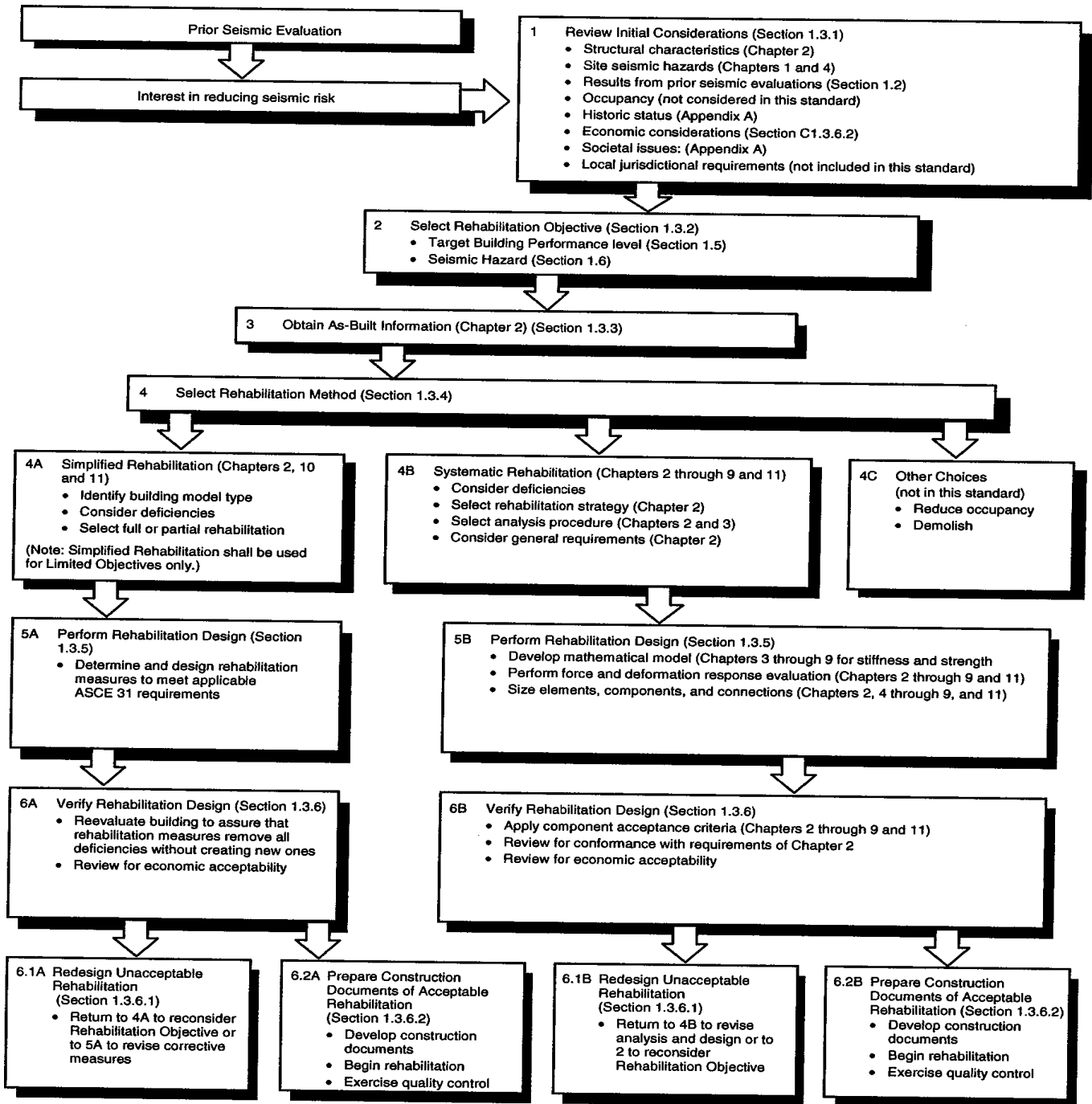


FIGURE C1-1. Rehabilitation Process.

השלבים מוצגים לפי סדר ביצועם במסגרת תהליך החיזוק. הקריטריונים לביצוע פעולות אלה מוצגים ומפורטים בהמשך דרך הצגת העקרונות.

לפני קביעת תוכנית חיזוק, יש לעשות הערכה על מנת לקבוע אם למבנה, במצבו הקיים, יש את היכולת הרצויה לביצועים סיסמיים. ASCE 31 מכיל מתודולוגית הערכה אשר ניתן להשתמש בה למטרה זו. תקן זה מחייב את הבחירה של יעד החיזוק למבנה אשר כבר נקבע שנדרש חיזוק סיסמי עבורו.

יש לציין, עם זאת, כי ייתכן שמבנה מסוים יכול לעמוד ביעדי תפקוד לפי המתודולוגיה של ASCE 31, אולם לא יכול לעמוד באותם יעדי תפקוד כאשר ההערכה מבוצעת לפי הליכים של תקן זה. זה נובע בעיקר משום ש-ASCE 31 מסכים לקבל רמות גבוהות יותר של נזקים מבניים, בכל רמת תפקוד, מאשר מותר על פי תקן זה, אשר עולה בקנה אחד עם הנוהג ההיסטורי של הערכת מבנים קיימים על פי קריטריונים נמוכים יותר מאלו המשמשים לתכנון מבנים חדשים. נוהג זה ממזער את הצורך לחזק מבנים עם ליקויים ברמה בינונית ביחס לרמת התפקוד הרצויה.

בשלב הראשון: **שיקולים ראשוניים (initial Considerations)**, המתכנן המקצועי יבחן עם הרשויות המוסמכות, שיקולים ראשוניים בנוגע להגבלות כלשהן שקיימות על תכנון אמצעי החיזוק ושיטת החיזוק המוצעת. שיקולים ראשוניים יכללו המאפיינים המבניים של הבניין (המצב הקונסטרוקטיבי של המבנה), אופן החישוב הסטטי של חוזק המבנה), סיכונים סיסמיים לרבות סיכונים אתר גיאולוגיים האופייניים לאתר, תוצאות מהערכות לקראת רעידת אדמה, דרישות עבור שימוש ותפוסת הבניין, מעמד היסטורי, שיקולים כלכליים, נושאים חברתיים ודרישות הועדה המקומית או הרשויות המוסמכות. תהליך החיזוק של המבנה יהיה פשוט ויעיל יותר כאשר מידע המשפיע באופן משמעותי את תכנון החיזוק מתקבל ונשקל לפני תחילת התהליך. במיוחד חשוב לקבוע בשלבים הראשוניים של הפרויקט את דרישות החיזוק המוכתבות על ידי הועדה המקומית או הרשויות המוסמכות.

הבעלים של הבניין צריכים להיות מודעים לטווח של העלויות וההשפעות של החיזוק, כולל הן וריאציה הקשורה עם יעדי חיזוק שונים ואת העלויות הנוספות הפוטנציאליות הקשורות לעתים קרובות לחיזוק הסיסמי, כגון שדרוגים אחרים לבטיחות חי אדם, הסרת חומר מסוכן, וכן שיפור למבנים בעלי צורה סיסמית בלתי רצויה.

כמו כן יש להתחשב בתמריצים פוטנציאליים ממשלתיים (**דוגמת תמ"א 38** אצלנו) או עירוניים הקשורים עם חיזוק מבנים היסטוריים ובניינים ישנים אחרים.

כאשר כל החלופות נחשבות, יש ללמוד ולבחון את האפשרויות של שינויים במבנה כדי להקטין את הסיכון של הנזק. אמצעי תיקון אלה כוללים הקשחה או חיזוק המבנה, הוספת רכיבים באיזורים מסויימים כדי למנוע אי סדירות או לקשור יחד את המבנה, הקטנת הדרישות (demand) למבנה באמצעות בידוד רעש או התקנים לבזבז אנרגיה, ולצמצם את הגובה או המסה של המבנה.

בשלב השני: **בחירת יעד החיזוק (selection of rehabilitation Objective)**, יעד החיזוק הסיימי עבור הבניין ייבחר על פי המפורט בהמשך.

הרעיון והטרמינולוגיה לפי עיקרון התכן התפקודי הינם חדשים, חובה לבחון אותם ולדון בהם בקפידה יחד עם בעלי הבניין לפני השימוש. הטרמינולוגיה המשמשת עבור "הרמה המיועדת לתפקוד המבנה" (target building performance levels) מיועדת לייצג מטרות לתכן. רק לעתים רחוקות, תנועת הקרקע בפועל תהיה שוות ערך לזו שנלקחה בחשבון עבור יעד החיזוק, כך ברוב האירועים, תכנונים המיועדים למצבי נזק שונים עשויים רק לקבוע רמת תפקוד יחסי. גם אם תנועת הקרקע בפועל תהיה דומה לזו שנלקחה בחשבון עבור יעד החיזוק ושימשה לתכנון, צריך לצפות לשינויים וסטיות מיעדי התפקוד שנקבעו לתכנון, ותאימות עם תקן זה לא צריכה להיחשב ערבות לתפקוד.

שינויים בתפקוד בפועל יכולים להיות קשורים בגאומטריה בלתי ידועה וגדלים שונים של רכיבים במבנים קיימים, הידרדרות במצב החומרים, נתוני אתר בלתי מושלמים, שינוי בתנועת הקרקע שעלול להתרחש בתוך שטח קטן, וידע בלתי מושלם ופשוט בהקשר עם המידול והחישוב.

מידע על האמינות הצפויה להשגת רמות שונות המיועדת לתפקוד המבנה (**building target performance levels**), כאשר הדרישות מיושמות, ניתן למצוא בפרק 2 של FEMA 274 1997. קביעת יעד החיזוק שונה בהתאם למניע בין אם מטעם השלטונות או מטעמים פרטיים (מרצון). לחיזוק מבנה מרצון, יהיה על הבעלים של הבניין לבחור חיזוק סיימי עבור המבנה כמפורט בסעיף 1.4. בפרוייקט חיזוק מטעם השלטונות, יעד החיזוק נקבע ישירות על ידי תקן, תקנה או הוראות רשמיות המספקות הנחיות לדיון ביעד החיזוק.

בשלב השלישי: **מידע אודות המצב הקיים (As-Built Information)**, יש להשיג מידע אודות המצב הקיים של המבנה ויש לערוך ביקור באתר.

בשלב הרביעי: **שיטת החיזוק (Rehabilitation Method)**, ניתן לבחור שיטת חיזוק ישימה בהתאם לתקן ASCE/SEI 41-06. ניתן לעשות חיזוק לפי שיטת חיזוק מופשטת או לפי שיטת חיזוק שיטתית. שיטות אלה מוגדרות בסעיף 2.3, הסבר מפורט יותר נתון בפרשנות הקשורה לסעיף.

בשלב החמישי: **תכנון החיזוק (Rehabilitation Design)**, התכנון המוצע לחיזוק ייעשה בשיטת חיזוק ישימה.

בשלב השישי: **אימות התכנון של החיזוק (Verification of Rehabilitation Design)**, הערכת יכולת התפקוד של התכנון המוצע, ובדיקה האם התפקוד המתקבל עונה על יעדי התפקוד. אימות התכנון של אמצעי החיזוק, דרך חישוב המבנה הכולל את אמצעי החיזוק, לעמידה בדרישות תקן זה. החישוב ייערך לפי נהלי שיטת החיזוק הישימה המפורטת בסעיף 2.3.

יש לעשות הערכה חישובית נפרדת עבור כל שילוב של תפקוד מבני וסיכון סיסמי האופייניים עבור יעד החיזוק הנבחר.

כאשר התכנון של אמצעי החיזוק אינו עומד בדרישות עבור יעד החיזוק הנבחר, יתוכננו אמצעי החיזוק (לאחר שינויים) או לחילופין ניתן ליישם אסטרטגיית חיזוק חלופית עם יעד חיזוק שונה. תהליך זה יבוצע שוב ושוב עד אשר יתאים התכנון לקריטריונים לקבלה עבור יעד החיזוק הנבחר.

התכן לפי **עקרון התפקוד** מתחיל עם בחירת קריטריונים לתכן המצוינים בצורת **יעדים לתפקוד**. **יעד תפקוד** הינו מצב של רמת התפקוד הרצויה (רמה מקובלת של נזק מבני ובלתי-מבני) עבור רמת מסוימת של סיכון סיסמי.

בדרך כלל, צוות של מקבלי ההחלטות, לרבות בעל הבניין והמתכנן, ישתתפו בבחירת **יעדי התפקוד** עבור הבניין. צוות זה עשוי לשקול את הצרכים והרצונות של קבוצה רחבה של בעלי העניין, כולל הדיירים, חברות ביטוח ואחרים שיש להם השפעה על הערך או השימוש בבניין.

הטבלה הבאה (Table C1-2) הלקוחה מתוך ASCE/SEI 41-06 מתארת את מידת הנזק הכללי למבנה, כולל התיחסות לאלמנטים הבלתי מבניים, עבור הרמות השונות של **יעדי התפקוד** של המבנה.

Table C1-2. Damage Control and Building Performance Levels

	Target Building Performance Levels			
	Collapse Prevention Level (5-E)	Life Safety Level (3-C)	Immediate Occupancy Level (1-B)	Operational Level (1-A)
Overall Damage	Severe	Moderate	Light	Very Light
General	Little residual stiffness and strength, but load-bearing columns and walls function. Large permanent drifts. Some exits blocked. Infills and unbraced parapets failed or at incipient failure. Building is near collapse.	Some residual strength and stiffness left in all stories. Gravity-load-bearing elements function. No out-of-plane failure of walls or tipping of parapets. Some permanent drift. Damage to partitions. Building may be beyond economical repair.	No permanent drift. Structure substantially retains original strength and stiffness. Minor cracking of facades, partitions, and ceilings as well as structural elements. Elevators can be restarted. Fire protection operable.	No permanent drift. Structure substantially retains original strength and stiffness. Minor cracking of facades, partitions, and ceilings as well as structural elements. All systems important to normal operation are functional.
Nonstructural components	Extensive damage.	Falling hazards mitigated but many architectural, mechanical, and electrical systems are damaged.	Equipment and contents are generally secure, but may not operate due to mechanical failure or lack of utilities.	Negligible damage occurs. Power and other utilities are available, possibly from standby sources.
Comparison with performance intended for buildings designed under the NEHRP Provisions, for the Design Earthquake	Significantly more damage and greater risk.	Somewhat more damage and slightly higher risk.	Less damage and lower risk.	Much less damage and lower risk.

היקף הנזק האפשרי למבנה יהיה מאופיין ונשלט על ידי מספר רב של גורמים. ניתן לתארו באופן איכותי במונחים להלן:

- העלויות, הישימות והאפשרויות של שחזור המבנה למצבו לפני רעידת האדמה
- אורך התקופה בה הבניין יוצא מכלל שימוש לצורך ביצוע התיקונים
- הבטיחות המוענקת לדיירי הבניין במהלך ואחרי האירוע
- השפעות כלכליות, ארכיטקטוניות או היסטוריות על כלל הקהילה

הטבלה הבאה (Table C1-3) מתוך ASCE/SEI 41-06 מתארת באופן כמותי את מידת הנזק עבור האלמנטים המבניים, עבור הרמות השונות של **יעדי התפקוד** של המבנה.

Table C1-3. Structural Performance Levels and Damage^{1,2,3}— Vertical Elements

Elements	Type	Structural Performance Levels		
		Collapse Prevention (S-5)	Life Safety (S-3)	Immediate Occupancy (S-1)
Concrete Frames	Primary	Extensive cracking and hinge formation in ductile elements. Limited cracking and/or splice failure in some nonductile columns. Severe damage in short columns.	Extensive damage to beams. Spalling of cover and shear cracking (< 1/8-in. width) for ductile columns. Minor spalling in nonductile columns. Joint cracks < 1/8 in. wide.	Minor hairline cracking. Limited yielding possible at a few locations. No crushing (strains below 0.003).
	Secondary	Extensive spalling in columns (limited shortening) and beams. Severe joint damage. Some reinforcing buckled.	Extensive cracking and hinge formation in ductile elements. Limited cracking and/or splice failure in some nonductile columns. Severe damage in short columns.	Minor spalling in a few places in ductile columns and beams. Flexural cracking in beams and columns. Shear cracking in joints < 1/16-in. width.
	Drift	4% transient or permanent.	2% transient; 1% permanent.	1% transient; negligible permanent.
Steel Moment Frames	Primary	Extensive distortion of beams and column panels. Many fractures at moment connections, but shear connections remain intact.	Hinges form. Local buckling of some beam elements. Severe joint distortion; isolated moment connection fractures, but shear connections remain intact. A few elements may experience partial fracture.	Minor local yielding at a few places. No fractures. Minor buckling or observable permanent distortion of members.
	Secondary	Same as primary.	Extensive distortion of beams and column panels. Many fractures at moment connections, but shear connections remain intact.	Same as primary.
	Drift	5% transient or permanent.	2.5% transient; 1% permanent.	0.7% transient; negligible permanent.
Braced Steel Frames	Primary	Extensive yielding and buckling of braces. Many braces and their connections may fail.	Many braces yield or buckle but do not totally fail. Many connections may fail.	Minor yielding or buckling of braces.
	Secondary	Same as primary.	Same as primary.	Same as primary.
	Drift	2% transient or permanent.	1.5% transient; 0.5% permanent.	0.5% transient; negligible permanent.
Concrete Walls	Primary	Major flexural and shear cracks and voids. Sliding at joints. Extensive crushing and buckling of reinforcement. Failure around openings. Severe boundary element damage. Coupling beams shattered and virtually disintegrated.	Some boundary element stress, including limited buckling of reinforcement. Some sliding at joints. Damage around openings. Some crushing and flexural cracking. Coupling beams: extensive shear and flexural cracks; some crushing, but concrete generally remains in place.	Minor hairline cracking of walls, < 1/16 in. wide. Coupling beams experience cracking < 1/8-in. width.
	Secondary	Panels shattered and virtually disintegrated.	Major flexural and shear cracks. Sliding at joints. Extensive crushing. Failure around openings. Severe boundary element damage. Coupling beams shattered and virtually disintegrated.	Minor hairline cracking of walls. Some evidence of sliding at construction joints. Coupling beams experience cracks < 1/8-in. width. Minor spalling.
	Drift	2% transient or permanent.	1% transient; 0.5% permanent.	0.5% transient; negligible permanent.

הטבלה הבאה (Table C1-8) מתוך ASCE/SEI 41-06 מתארת את התחומים והרמות עבור יעדי התפקוד של המבנה (Target Building Performance Levels and Ranges), בתלות בתחומים וברמות התפקוד עבור האלמנטים המבניים (Structural Performance Levels and Ranges) ועבור האלמנטים הלא-מבניים (Nonstructural Performance Levels).

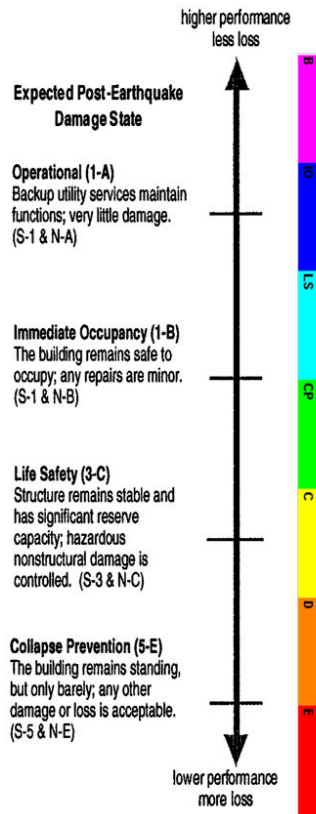


Table C1-8. Target Building Performance Levels and Ranges

Nonstructural Performance Levels	Structural Performance Levels and Ranges					
	Immediate Occupancy (S-1)	Damage Control Range (S-2)	Life Safety (S-3)	Limited Safety Range (S-4)	Collapse Prevention (S-5)	Not Considered (S-6)
Operational (N-A)	Operational 1-A	2-A	Not recommended	Not recommended	Not recommended	Not recommended
Immediate Occupancy (N-B)	Immediate Occupancy 1-B	2-B	3-B	Not recommended	Not recommended	Not recommended
Life Safety (N-C)	1-C	2-C	Life Safety 3-C	4-C	5-C	6-C
Hazards Reduced (N-D)	Not recommended	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
Not Considered (N-E)	Not recommended	Not recommended	Not recommended	4-E	Collapse Prevention 5-E	Not rehabilitation

בציוור מוצג התחום לפי ASCE 41 עבור יעדי התפקוד של המבנה (Target Building Performance Levels). הקודים כוללים צירופים אלפא-נומריים המשמשים לזיהוי רמות התפקוד המבניים והלא-מבניים (לדוגמא, ייעוד [1-B] מתייחס לרמת תפקוד מבנית 1 ורמת תפקוד לא-מבנית B).

הטבלה הבאה (Table C1-1) מתוך ASCE/SEI 41-06 מתארת את יעדי השיקום (החיזוק במקרה זה) של מבנה קיים (Rehabilitation Objectives) בתלות ברמות עבור יעדי התפקוד של המבנה המחוזק (Target Building Performance Levels) וברמות הסיכון מרעידות אדמה (Earthquake Hazard Levels).

תקן זה מגדיר שתי רמות בסיסיות של סיכון מרעידות אדמה:

- רעידת אדמה לבטיחות בסיסית 1 (Basic Safety Earthquake 1 (BSE-1))
- רעידת אדמה לבטיחות בסיסית 2 (Basic Safety Earthquake 2 (BSE-2))

		Table C1-1. Rehabilitation Objectives				
		Target Building Performance Levels				
		Operational Performance Level (1-A)	Immediate Occupancy Performance Level (1-B)	Life Safety Performance Level (3-C)	Collapse Prevention Performance Level (5-E)	
Expected Post-Earthquake Damage State Operational (1-A) Backup utility services maintain functions; very little damage. (S1+NA) Immediate Occupancy (1-B) The building remains safe to occupy; any repairs are minor. (S1+NB) Life Safety (3-C) Structure remains stable and has significant reserve capacity; hazardous nonstructural damage is controlled. (S3+NC) Collapse Prevention (5-E) The building remains standing, but only barely; any other damage or loss is acceptable. (S5 + NE)	higher performance less loss ↑	50%/50 year	a	b	c	d
	20%/50 year	e	f	g	h	
	BSE-1 (~10%/50 year)	i	j	k	l	
	BSE-2 (~2%/50 year)	m	n	o	p	
		¹ Each cell in the above matrix represents a discrete Rehabilitation Objective. ² The Rehabilitation Objectives in the matrix above may be used to represent the three specific Rehabilitation Objectives defined in Sections 1.4.1, 1.4.2, and 1.4.3, as follows:				
		Basic Safety Objective (BSO)	k and p			
		Enhanced Objectives	k and m, n, or o p and i or j k and p and a, b, e, or f m, n, or o alone			
		Limited Objectives	k alone p alone c, d, g, h, or l alone			

ASCE 41 Target Building Performance Levels

ASCE 41 Rehabilitation Objectives

הציוור מציג את הקשר בין יעדי התפקוד של המבנה (Target Building Performance Levels) עם רמות הסיכון מרעידות אדמה (Earthquake Hazard Levels) במטרה להגדיר את יעדי החיזוק הסיסמי (Seismic Rehabilitation Objectives). טבלה Table C1-1 מפרטת את מגוון יעדי השיקום אשר ניתן לעשות בהם שימוש בתקן זה.

יעד השיקום הנבחר כבסיס לתכן יקבע, במידה רבה, את העלות ואת הכדאיות של פרויקט השיקום, כמו כן גם את התועלת אשר ניתן להשיג במונחים של בטיחות משופרת, הפחתת נזק לרכוש, והן את השפעת הפסקת השימוש בבניין (down-time) בעת אירוע של רעידות אדמה בעתיד.

יעד הבטיחות הבסיסי (Basic Safety Objective - BSO) הינו יעד שיקום אשר משיג את מטרות השיקום של:

✓ תפקוד המבנה ברמת בטיחות חיי אדם (Life Safety) (C-3) עבור רמת הסיכון מרעידות אדמה

BSE-1

✓ תפקוד המבנה ברמת מניעת התמוטטות (E-5) (Collapse Prevention) עבור רמת הסיכון
מרעידות אדמה BSE-2.

יעד הבטיחות הבסיסי (BSO) נועד להתחשב ברמות סיכון מרעידות אדמה לבטיחות חיי אדם ולמבנים בקירוב לפי מה שבאופן מסורתי נחשב מקובל, ובכך נועד להיות עקבי בדרך כלל עם רמת בטיחות הצפויה בבניינים העומדים בדרישות התקנים. רמת הנזק וההפסד הכלכלי הפוטנציאלי אשר יתקבלו במבנים המשוקמים ליעד הבטיחות הבסיסי (BSO) עשויים להיות גבוהים יותר מאלה הצפויים במבנים חדשים המתוכננים והמבוצעים כראוי.

יעדי חיזוק אחרים מאופיינים בהשוואה עם יעד הבטיחות הבסיסי. יעדי הבטיחות המשופרים (Enhanced objectives) עולים על ציפיות התפקוד של יעד הבטיחות הבסיסי ניתנים להשגה על ידי תכנון לרמות גבוהות יותר של יעדי התפקוד של המבנה (Target Building Performance Levels), בחירה 1 להלן, או תכנון עבור רמות גבוהות יותר של סיכון מרעידות אדמה (Earthquake Hazard Levels), בחירה 2 להלן, או שתי הבחירות יחד:

1. תכן לרמות יעדי התפקוד של המבנה אשר עולות על הרמה של (BSO) עבור רמת סיכון סיסמי BSE-1, הרמה של (BSO) עבור רמת סיכון סיסמי BSE-2, או שניהם.
2. תכן לרמות יעדי התפקוד של המבנה של (BSO) עבור רמת סיכון סיסמי העולה על BSE-1, או רמת סיכון סיסמי BSE-2, או שניהם.

יעדי הבטיחות המוגבלים (limited objectives) משפרים את התפקוד הסיסמי, אולם יורדים מתחת לציפיות התפקוד של יעד הבטיחות הבסיסי (BSO), וחייבים למלא את התנאים הבאים:

1. אמצעי השיקום לא יגרמו לירידה ברמת התפקוד של המבנה הקיים.
2. אמצעי השיקום לא ייצרו אי-סדירות מבנית חדשה ולא יגרמו לאי-סדירות מבנית קיימת להיות חמורה יותר.
3. אמצעי השיקום לא יגרמו לעלייה בגודל הכוחות הסיסמיים המועברים לרכיב כלשהו אשר חסרה לו היכולת לעמוד בפני כוחות כאלה.
4. כל הרכיבים המבניים החדשים או המשוקמים יפורטו וייקשרו למבנה הקיים בהתאם לדרישות של תקן זה.

רמות הסיכון ההסתברותיות מרעידות אדמה (Probabilistic Earthquake Hazard Levels) אשר נעשה בהן שימוש בדרך כלל בתקן זה, ותקופות החזרה (return periods) - המספר הממוצע של שנים בין אירועים עם חומרה דומה) הממוצעות המתאימות להן מפורטים בטבלה להלן:

רעידת אדמה עם הסתברות של חריגה ממנה Earthquake having probability of exceedance	תקופת חזרה ממוצעת Mean return period (years) - שנים
50 years / 50%	72
50 years / 20%	225
50 years / 10%	474
50 years / 2%	2475

לפי גליון תיקון מס' 3 לתקן ישראלי ת"י 413 (ספטמבר 2009):

202.1.1. תאוצת קרקע חזויה

תאוצת קרקע חזויה $a_{h,max}$ היא תחזית של שיא התאוצה האופקית בסלע עקב רעידת אדמה (horizontal peak ground acceleration), שלגביה קיימת הסתברות של 10% שתאוצה חזקה ממנה תתרחש לפחות פעם אחת בתוך תקופה של 50 שנה (זמן חזרה של כ-475 שנה).
Z הוא מקדם תאוצת הקרקע האופקית החזויה (חסר ממד), כמפורט בנוסחה:

$$Z = \frac{a_{h,max}}{g} \quad (1)$$

שבה:

g - תאוצת הכבידה (9.81 מ' לשני²)

ערכי Z ייקבעו לפי קואורדינטות של אתר הבנייה, כמפורט באתר האינטרנט של מכון התקנים הישראלי^(א1). בנוסף ג' בתקן זה ניתנים ערכי Z עבור יישובי הארץ השונים, המובאים ברשימה אלף-ביתית.

הערה:

לשם צמצום נזקים וקיצור משך זמן השבתה (down-time) מפורטים באתר האינטרנט של מכון התקנים הישראלי גם ערכי מקדם תאוצת הקרקע החזויה (Z) עבור הסתברויות נמוכות יותר (הסתברות של 5% בתוך 50 שנה [זמן חזרה של כ-1000 שנה] והסתברות של 2% בתוך 50 שנה [זמן חזרה של כ-2500 שנה]).

(א1) מפה עדכנית ניתן לראות באתר האינטרנט של מכון התקנים הישראלי sii.org.il במדור "תקינה", ובספרייה של מכון התקנים הישראלי [הערה זו נמצאת בג'ת 2 של התקן]. מפה זו היא חלק מתקן זה אך אינה מצורפת אליו.

כלומר גליון תיקון מס' 3 לתקן ישראלי ת"י 413 (ספטמבר 2009) מתייחס לתאוצת קרקע חזויה $a_{h,max}$ שלגביה קיימת הסתברות של 10% של חריגה ממנה תתרחש לפחות פעם אחת בתקופה של 50 שנה, כלומר תקופת חזרה ממוצעת של כ-475 שנה. זה מתאים לשורה השלישית בטבלה לעיל המפרטת את רמות הסיכון ההסתברותיות מרעידות אדמה. כמו כן בהשוואה עם הטבלה לעיל (Table C1-1) מתוך ASCE/SEI 41-06 המתארת את יעדי השיקום של מבנה קיים (Rehabilitation Objectives) בתלות ברמות הסיכון מרעידות אדמה (Earthquake Hazard Levels), רואים שרמה זו תואמת את הרמה BSE-1 לפי ASCE/SEI 41-06.

בהערה נאמר: לשם צמצום נזקים וקיצור משך זמן השבתה (down-time) מפורטים באתר האינטרנט של מכון התקנים הישראלי גם ערכי מקדם תאוצת הקרקע החזויה (Z) עבור הסתברויות נמוכות יותר (הסתברות של 5% בתוך 50 שנה [זמן חזרה של כ-1000 שנה] והסתברות של 2% בתוך 50 שנה [זמן חזרה של כ-2500 שנה]). השני מביניהם (הסתברות של 2% בתוך 50 שנה) מתאים לשורה הרביעית בטבלה לעיל המפרטת את רמות הסיכון ההסתברותיות מרעידות אדמה. כמו כן בהשוואה עם הטבלה לעיל (Table C1-1) מתוך ASCE/SEI 41-06 המתארת את יעדי השיקום של מבנה קיים (Rehabilitation Objectives) בתלות ברמות הסיכון מרעידות אדמה (Earthquake Hazard Levels), רואים שרמה זו תואמת את הרמה BSE-2 לפי ASCE/SEI 41-06.

סיכון סייסי (Seismic hazard) עקב רעידות אדמה מוגדר בתור ספקטרום תגובה של תאוצה (acceleration response spectra) או היסטוריות-זמן של תאוצה (acceleration time-histories), על בסיס או הסתברותי או דטרמיניסטי.

סיכונים סיסמיים מוגדרים הסתברותית במונחים של ההסתברות כי דרישות המורות יותר יתרחשו (הסתברות של חריגה) בתקופה מסוימת (בדרך כלל 50 שנים). דרישות מוגדרות דטרמיניסטית ברמה של ביטחון במונחים של אירוע בסדר גודל מסוים עבור שבר פעיל ראשי מיוחד. רעידת האדמה המקסימלית הנחשבת (Maximum Considered Earthquake (MCE).

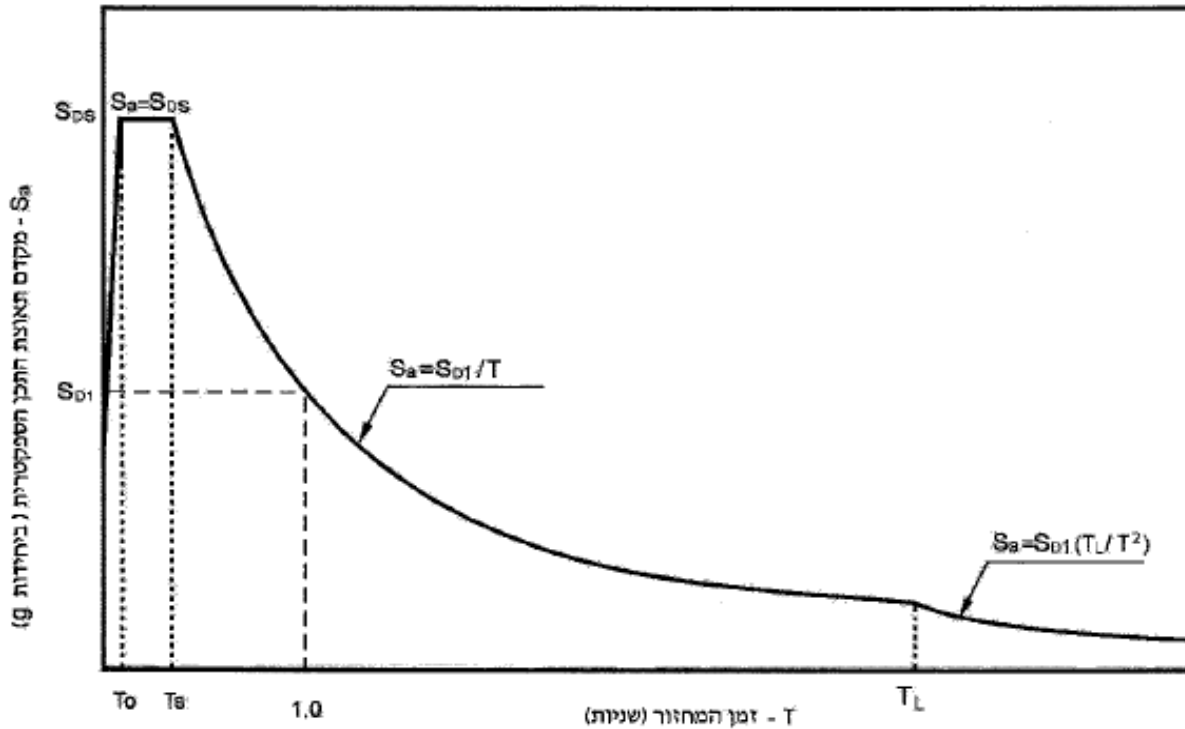
ספקטרום תגובה של תאוצה (acceleration response spectra) נבנה לפי:

- תהליך כללי General Procedure
- תהליך אתר-ספציפי Site-Specific Procedure

לפי גליון תיקון מס' 3 לתקן ישראלי ת"י 413 (ספטמבר 2009), סעיף 202.3 מתאר את התהליך הכללי לבניית ספקטרום התגובה לתכן. ראו ציור 0 המצורף כאן.

202.3 ספקטרום התגובה לתכן

ספקטרום התגובה לתכן, המובא בציור 0, קובע את ערכי מקדם תאוצת התכן הספקטרי S_a בתלות בזמן המחזור הבסיסי (התקופה הבסיסית) של המבנה, T.



ציור 0 – ספקטרום התגובה לתכן

בכל מקרה שאחד מהתנאים הבאים מתקיים תיעשה הערכה לפי תהליך אתר-ספציפי (Site-Specific Procedure), אלא אם כן אושר אחרת:

- הבניין ממוקם על קרקעות מסוג E ועבור מיפוי לפי BSE-2 תאוצה התגובה הספקטרית בתקופות קצרות (S_s) עולה על 2.0.
- הבניין ממוקם על קרקעות מסוג F.

לפי גליון תיקון מס' 3 לתקן ישראלי ת"י 413 (ספטמבר 2009), זה מובא בסוף סעיף 202.2.2:

202.2.2. תאוצות תכן ספקטריות ומקדמי אתר

תאוצות התכן הספקטריות בקרקע המסווגת כ-F ייקבעו באמצעות אנליזת תגובת אתר ספציפית. פירוט הדרישות לגבי הבדיקות הדרושות להערכת תגובת האתר הספציפית מובא בתקנים עדכניים מובילים, כגון: ASCE 7-05, ASCE 41-06. ביישום תקנים אלה תיעשה ההערכה על בסיס התייחסות לרעידת אדמה הסתברותית.

טבלה 1 מתוך גליון תיקון מס' 3 לתקן ישראלי ת"י 413 (ספטמבר 2009) מפרטת את מאפייני סוגי הקרקע באתר A – F.

טבלה 1 - סיווג הקרקע באתר

סוג הקרקע באתר	תיאור	מהירות גל הגזירה ב-30 מ' עליונים של קרקע השתית (מטר לשנייה)	התנגדות בבדיקת החדרה תקנית (SPT) (N)	חוזק גזירה לא מנוקז (קילופסקל) (N)
		V_s	N	s_u
A	סלע קשה	> 1500	-	-
B	סלע	760 - 1500	-	-
C	קרקע צפופה מאוד או סלע רך	360 - 760	> 50	> 100
D	קרקע קשיחה	180 - 360	15 - 50	50 - 100
E	חרסית רכה (ראו גם סעיף 202.2.1)	< 180	< 15	< 50
F	תנאים לסיווג ראו בסעיף 202.2.1 ג (במקרה זה יש לעשות אנליזת תגובת אתר ספציפית כמפורט בסעיף 202.2.2)			
הערה לטבלה:				
(א) במקרה של אי-התאמה בין בדיקת N ל- s_u תסווג הקרקע באתר לפי הקרקע הרכה יותר.				

פרק 3 – הצגת המבנים השונים ופתרונות החיזוק

3.1 מבוא

בפרק זה יוצגו סוגי המבנים השונים ופתרונות החיזוק שהוצעו ונבחנו עבור כל סוג של מבנה שנבחר. בחירת המבנים השונים לבחינה נעשתה בהתאם לקטלוג המבנים שהוצג בנספח לתוכנית תמ"א 38 והם מייצגים טיפוסים אופייניים של בנייני מגורים שנבנו בישראל בשנות ה-60 עד ה-80. עבור כל מבנה שנבדק חישובית נבדקה המשמעות ההנדסית של יישום פתרונות חיזוק שונים כמפורט:

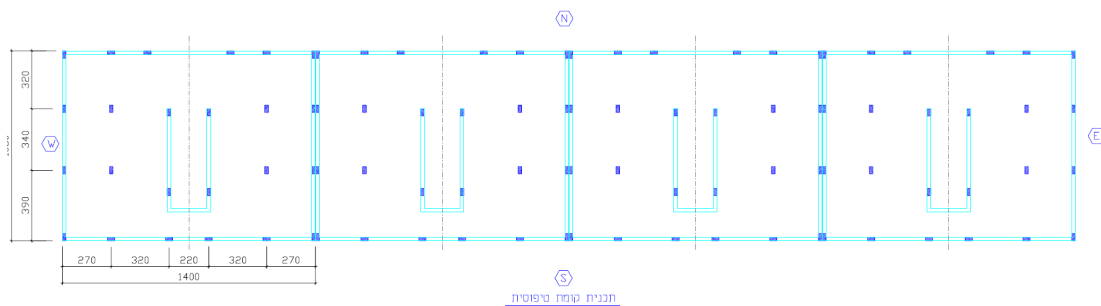
- חיזוק באמצעות קירות הקשחה חלקיים במעטפת החיצונית של המבנה.
- חיזוק באמצעות קירות הקשחה לאורך רוב היקף המעטפת החיצונית של המבנה.
- חיזוק באמצעות הוספת גרעיני הקשחה/ממ"דים לכל דירה במעטפת החיצונית של המבנה.

עבור כל פתרון חיזוק נעשתה בדיקה חישובית של העומסים האופייניים בהם נדרש לעמוד המבנה לפי ת"י 413, כאשר מוסיפים קומה אחת או שתי קומות.

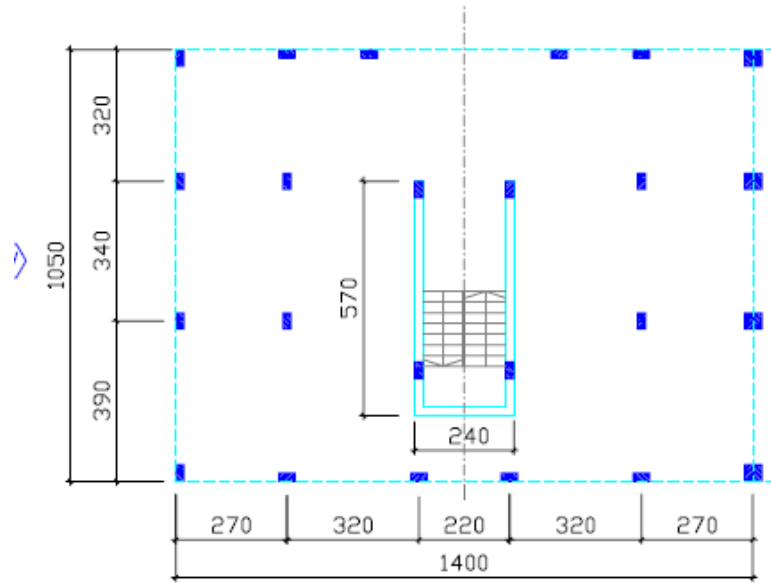
תוצאות מפורטות של חישובי העומסים וחלוקתם בין רכיבי המבנה הקיים ורכיבי החיזוק מתוארים בפרק 4.

3.2 מבנה מס' 1 TM38-03

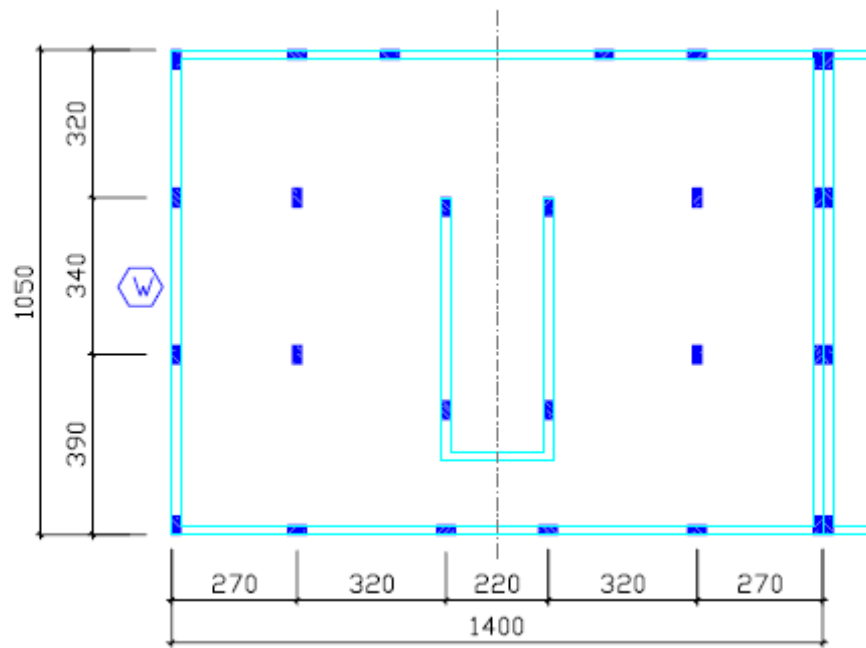
מבנה מס' 1 הינו מבנה מגורים טורי בן 4 קומות עם 2 יחידות דיור בקומה בנוי מגושים מופרדים באמצעות תפרים שלד הבנין בנוי מבטון מזויין יצוק באתר. תרשימים ובהם נתוני העמודים הקורות וחתך לגובה המבנה המקורי מובאים באיור 3.1 עד 3.4 תרשימים ובהם פתרונות החיזוק השונים עבורם נעשתה הבדיקה החישובית מובא באיור 3.5 ו 3.6



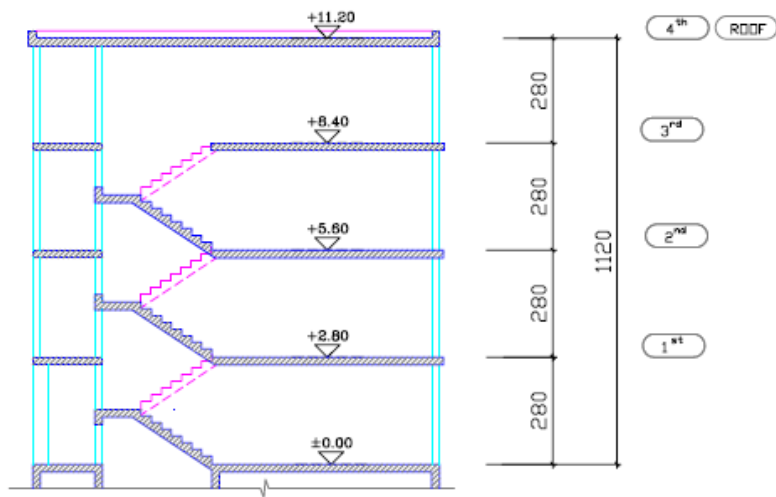
איור 3.1 – תרשימים קומת קרקע של מבנה מס' 1



איור 3.2 – תרשים יחידה טיפוסית בכל גוש של מבנה מס' 1

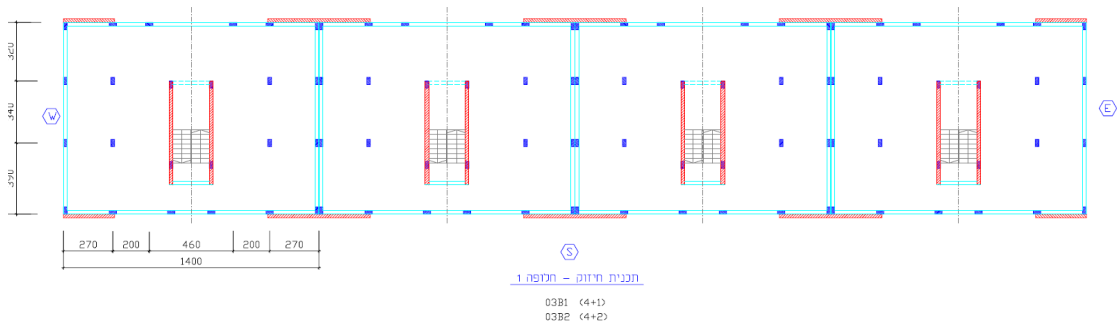


איור 3.3 – תרשים קומה טיפוסית בכל גוש של מבנה מס' 1

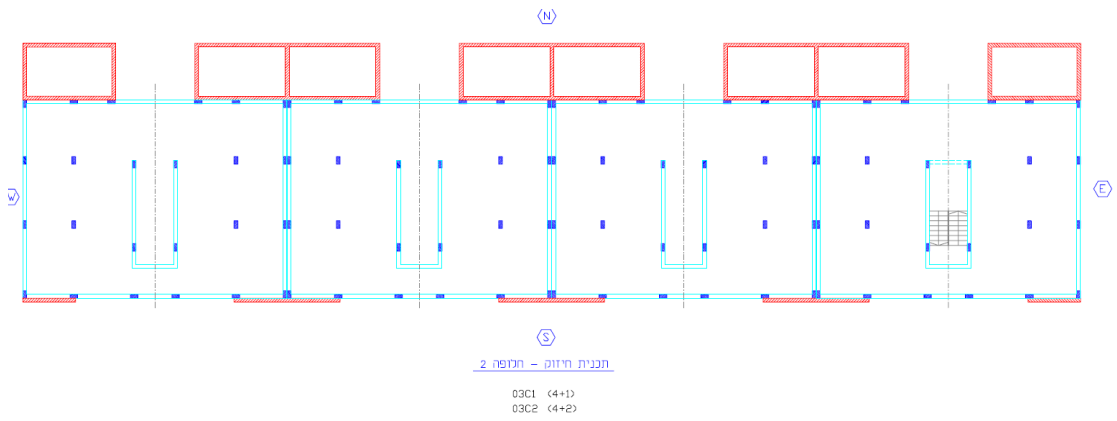


חתך לגובה מבנה מקורי

איור 3.4 – חתך לגובה מבנה מס' 1



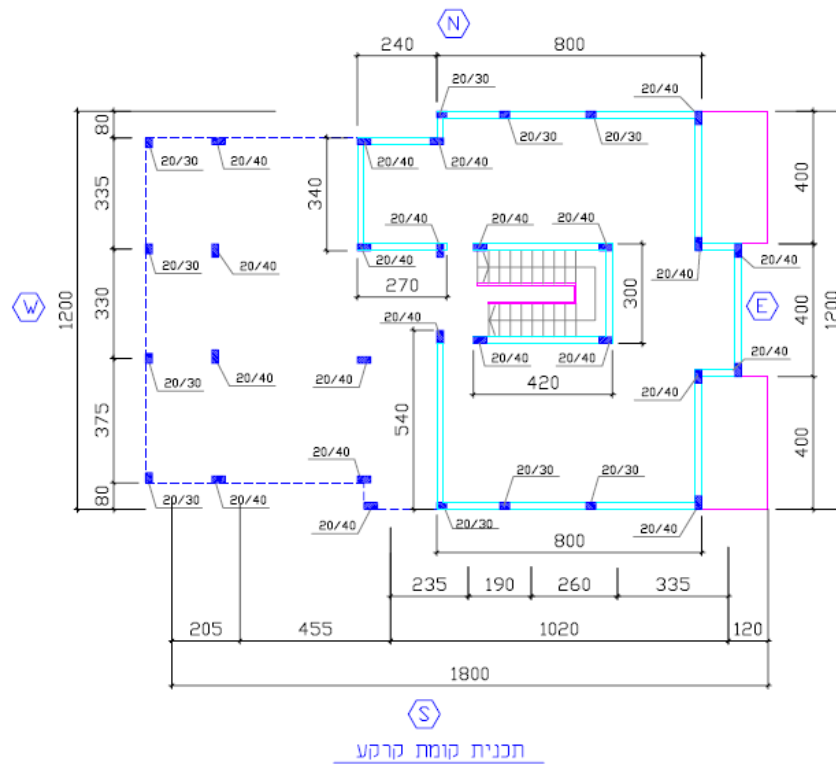
איור 3.5 – תרשים פתרונות החיזוק השונים של מבנה מס' 1 – קירות הקשחה + קשירה



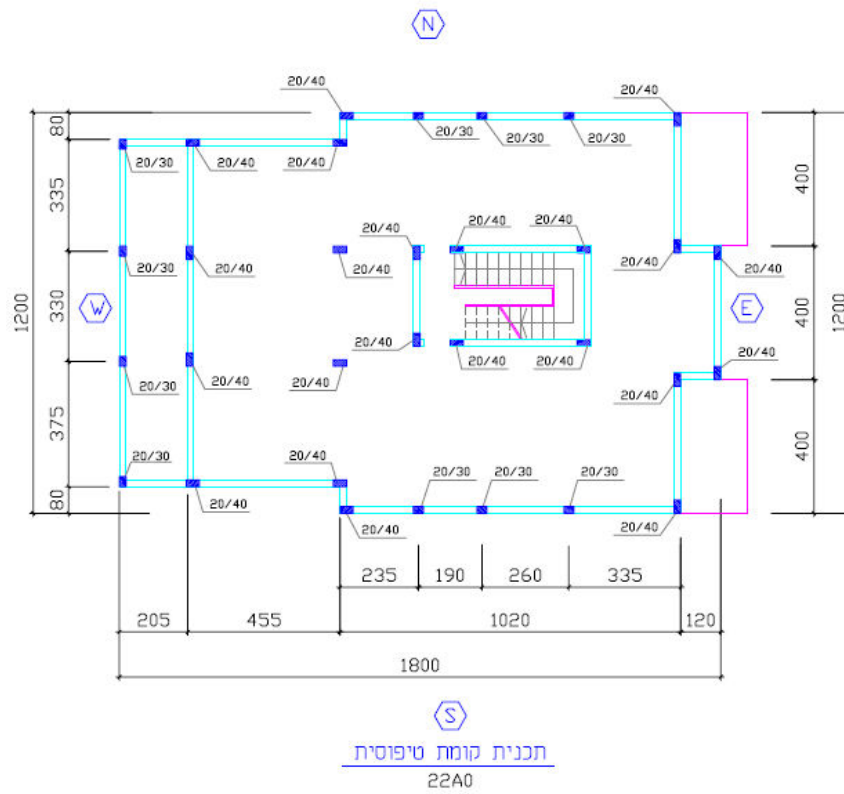
איור 3.6 – תרשים פתרונות החיזוק השונים של מבנה מס' 1 – ממ"דים + קירות

3.3 מבנה מס' 2 TM38-22

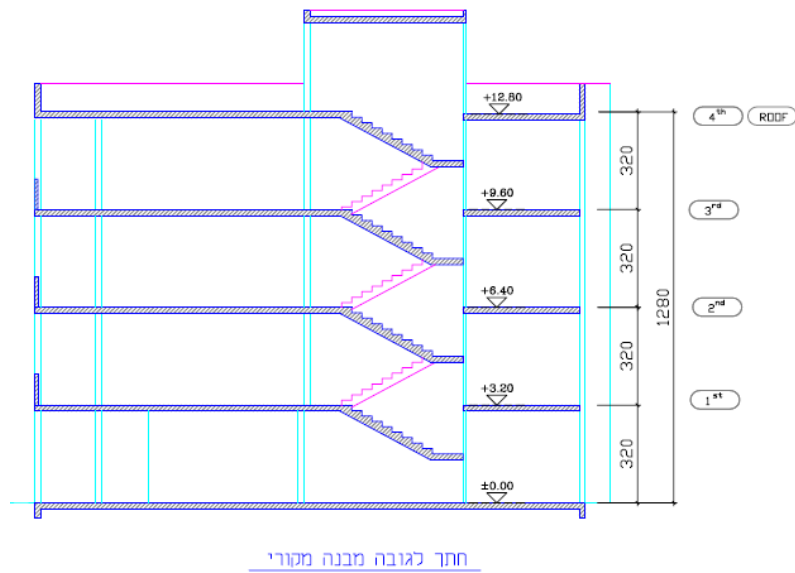
מבנה מס' 2 הינו מבנה מגורים בן 4 קומות עם 2 יחידות דיור בקומה בנוי עם קומת עמודים מפולשת בכניסה. שלד הבנין בנוי מבטון מזויין יצוק באתר. תרשימים ובהם נתוני העמודים הקורות וחתך לגובה המבנה המקורי מובאים באיור 3.7 עד 3.9 תרשימים ובהם פירוט החיזוק השונים עבורם נעשתה הבדיקה החישובית מובא באיור 3.10



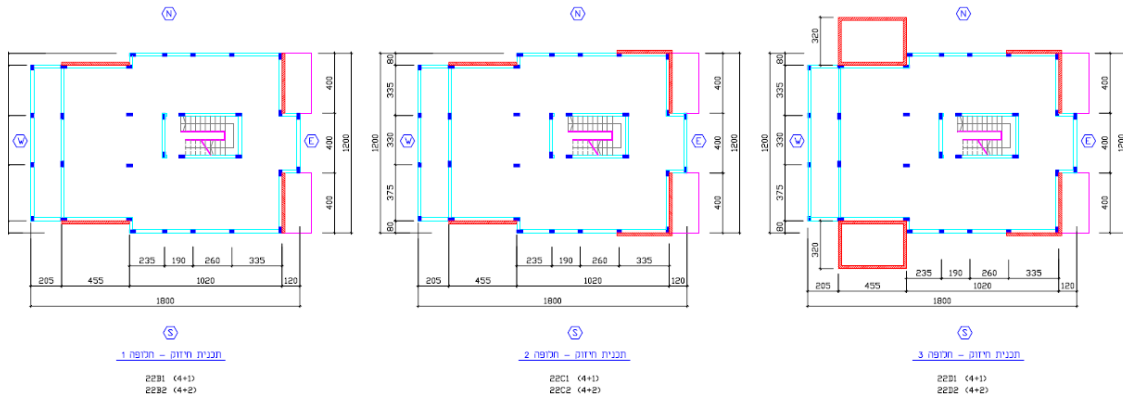
איור 3.7 – תרשימים קומת קרקע של מבנה מס' 2



איור 3.8 – תרשים קומת קרקע של מבנה מס' 2



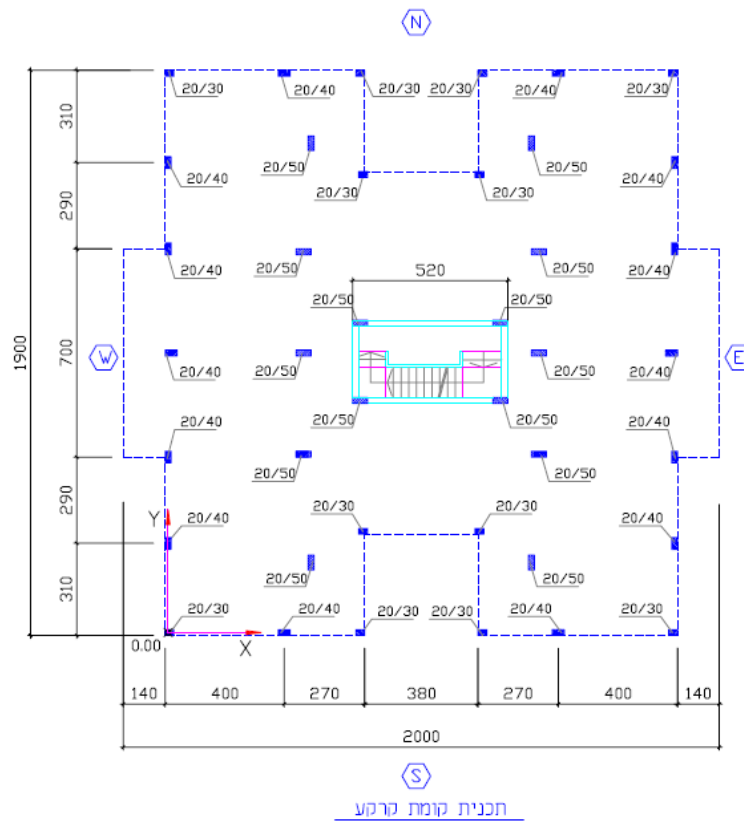
איור 3.9 – חתך לגובה מבנה מס' 2



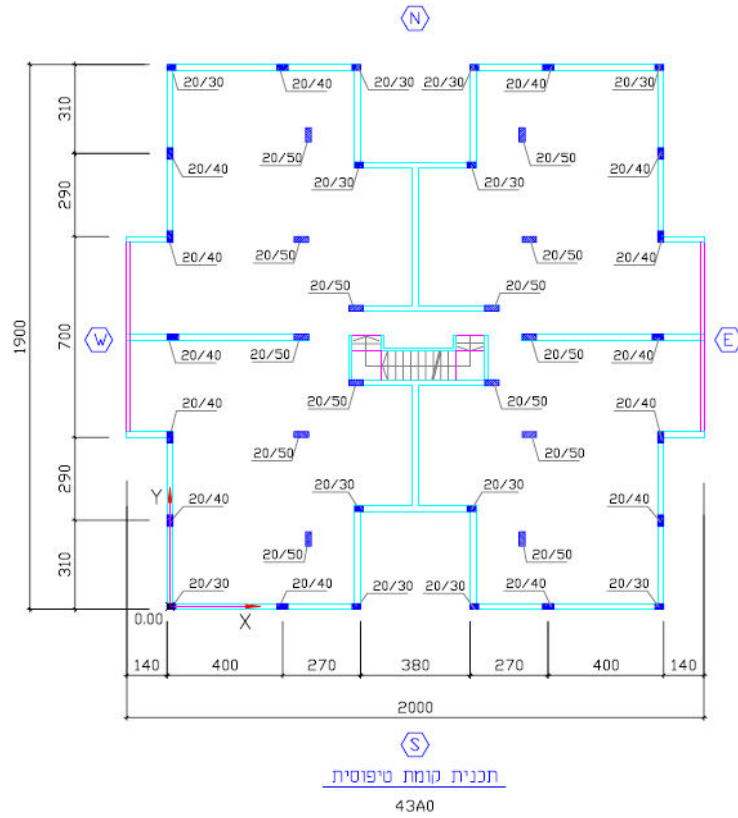
איור 3.10 – תרשים פתרונות החיזוק השונים של מבנה מס' 2

3.4 מבנה מס' 3 TM38-43

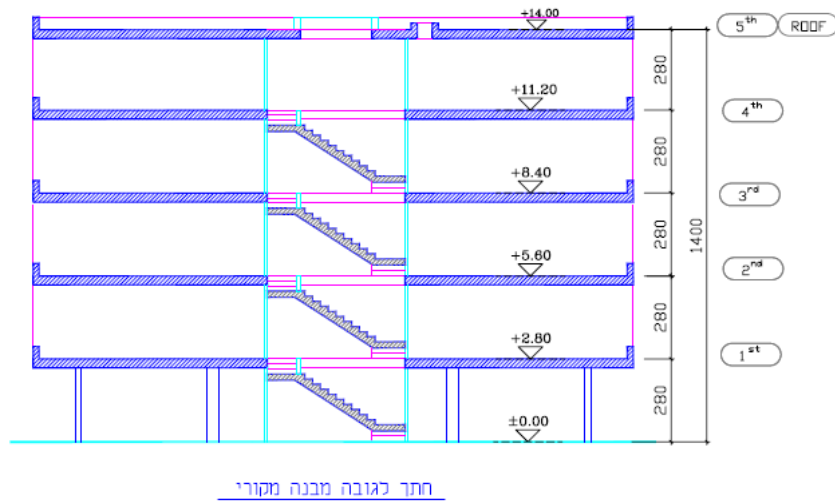
מבנה מס' 3 הינו מבנה מגורים בן 4 קומות עם 4 יחידות דיור בקומה בנוי עם קומת עמודים מפולשת בכניסה. שלד הבנין בנוי מבטון מזויין יצוק באתר. תרשימים ובהם נתוני העמודים הקורות וחתך לגובה המבנה המקורי מובאים באיור 3.11 עד 3.13 תרשימים ובהם פתרונות החיזוק השונים עבורם נעשתה הבדיקה החישובית מובא באיור 3.14



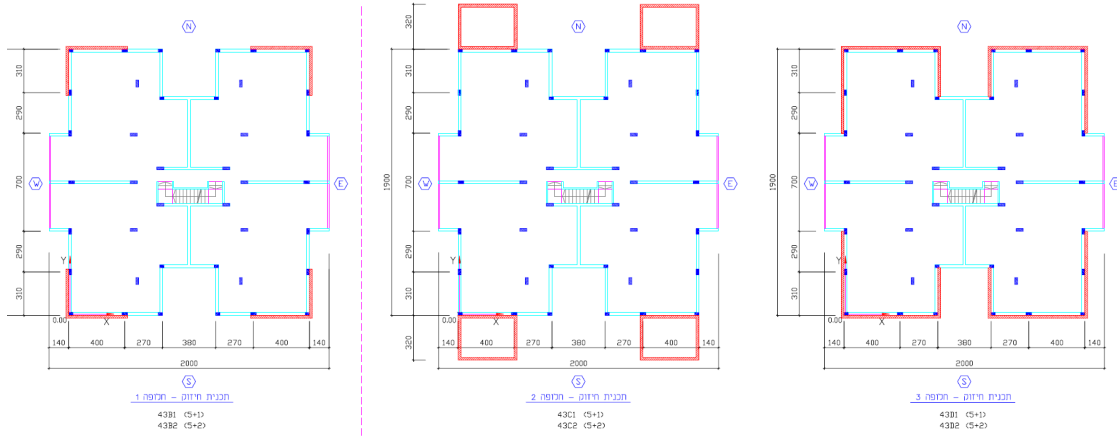
איור 3.11 – תרשים קומת קרקע של מבנה מס' 3



איור 3.12 – תרשים קומת קרקע של מבנה מס' 3



איור 3.13 – חתך לגובה מבנה מס' 3

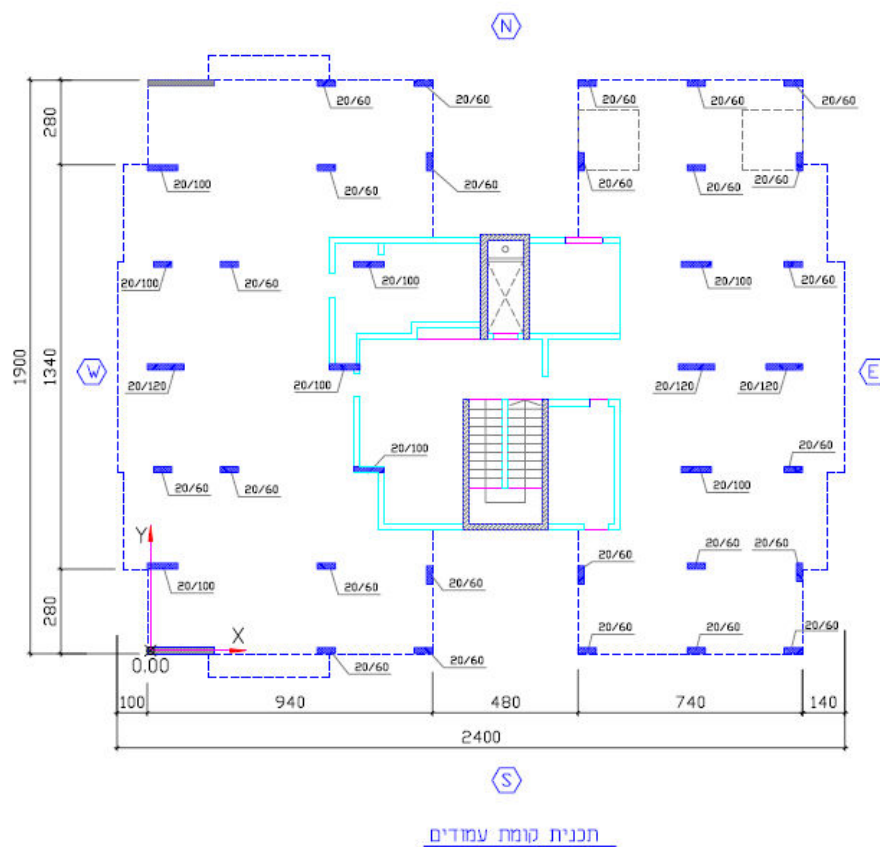


איור 3.14 – תרשים פתרונות החיזוק השונים של מבנה מס' 3

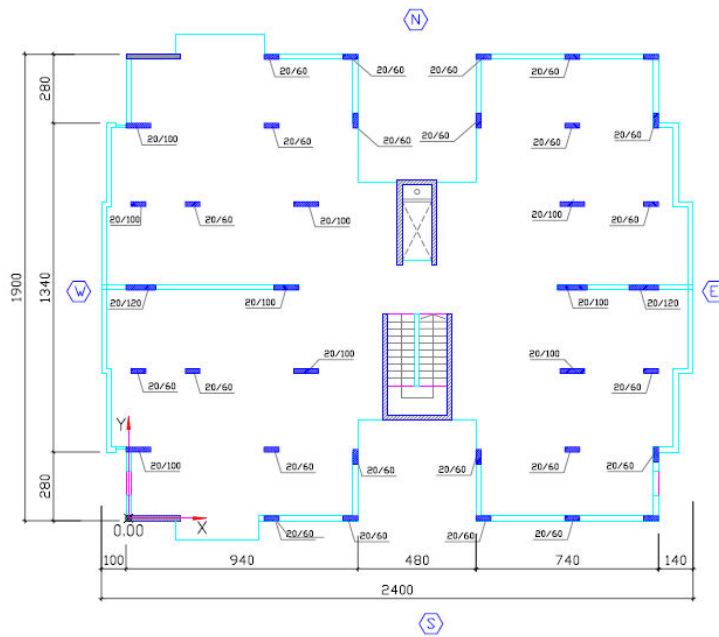
3.5 מבנה מס' 4 TM38-52

מבנה מס' 4 הינו מבנה מגורים בן 9 קומות עם 4 יחידות דיור בקומה בנוי עם קומת עמודים מפולשת בכניסה. שלד הבנין בנוי מבטון מזויין יצוק באתר. למבנה חדר מדרגות ומעלית מבטון מזויין.

תרשימים ובהם נתוני העמודים הקורות וחתך לגובה המבנה המקורי מובאים באיור 3.15 עד 3.17 תרשימים ובהם פתרונות החיזוק השונים עבורם נעשתה הבדיקה החישובית מובא באיור 3.18



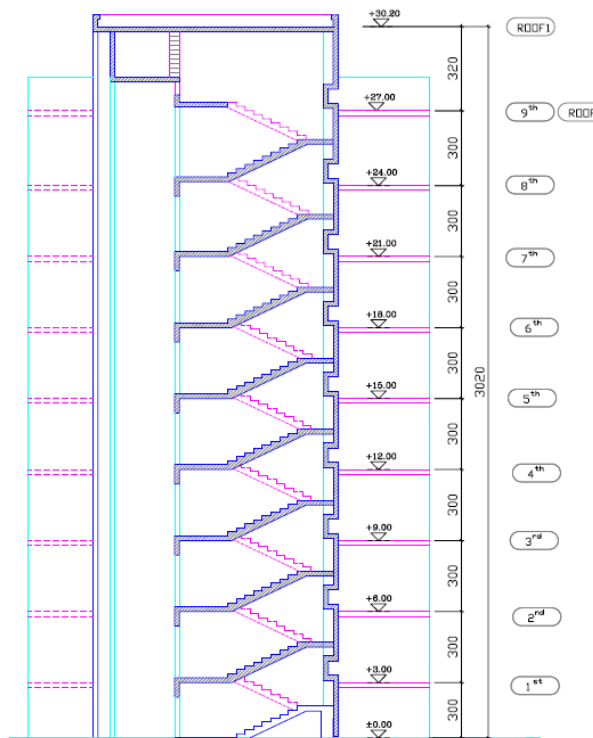
איור 3.15 – תרשימים קומת קרקע של מבנה מס' 4



תכנית קומת טיפוסית

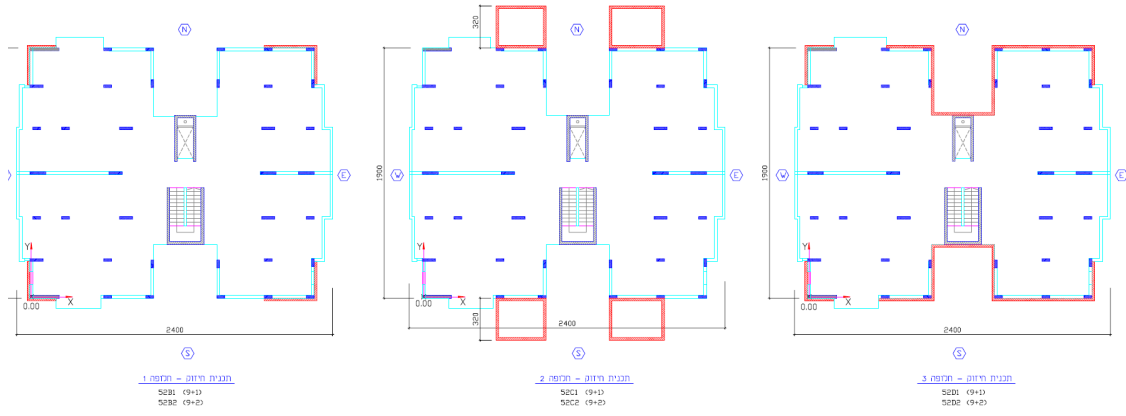
52A0

איור 3.16 – תרשים קומת קרקע של מבנה מס' 4



חתך לגובה מבנה מס' 4

איור 3.17 – חתך לגובה מבנה מס' 4



איור 3.18 – תרשים פתרונות החיזוק השונים של מבנה מס' 4

פרק 4 – בחינה חישובית של המבנים לפי דרישות תקנים ישראלים

4.1 מבוא

בפרק זה יוצגו תוצאות החישוב שהתקבלו מאנליזה של מספר מבנים המוצגים בתכנית תמ"א 38 ואשר תיאורם המלא הובא בפרקים הקדומים.

בדיקת עמידות המבנים שנבחרו נעשתה במספר שלבים כמפורט להלן:

שלב א – חישוב האינדקס הסיימי המתקבל מדרישות ת"י 2413.

שלב ב- חישוב מפורט של העומסים המתקבל מדרישות ת"י 413.

בשלב זה נבחנה השפעת החיזוק על השינויים בקשיחות המבנה, בזמן המחזור של המבנה, ובעומסים המפתחים. שינויים אלה נבדקו לכל מבנה עבור מספר פתרונות חיזוק ועבור מצב של תוספת קומה אחת ומצב של תוספת שתי קומות למבנה המחוזק.

4.2 תיאור המבנים שנבדקו

המבנים שנבדקו ועבורם בוצעו האנליזות החישוביות מייצגים מגוון רחב של בנייני מגורים ישראליים טיפוסיים אשר ניבנו בתקופות שונות.

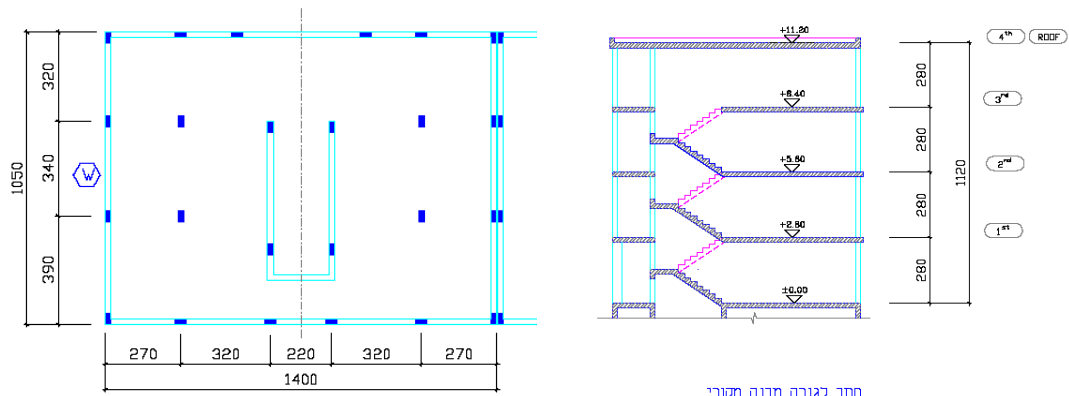
מבנה מס' 1 – TM38-03 הינו מבנה טורי בעל 4 קומות שתי יחידות דיור בכל קומה. למבנה זה רגישות רבה להולם סייסי עקב בעיה של תפר מוגבל בין אגפי המבנה השונים.

מבנה מס' 2 – TM38-22 הינו מבנה מגורים בעל 4 קומות (בדרך כלל 3 קומות מגורים ע"ג קומת עמודים מפולשת), שתי יחידות דיור בכל קומה. למבנה זה רגישות רבה לבעיית קומה גמישה/חלשה.

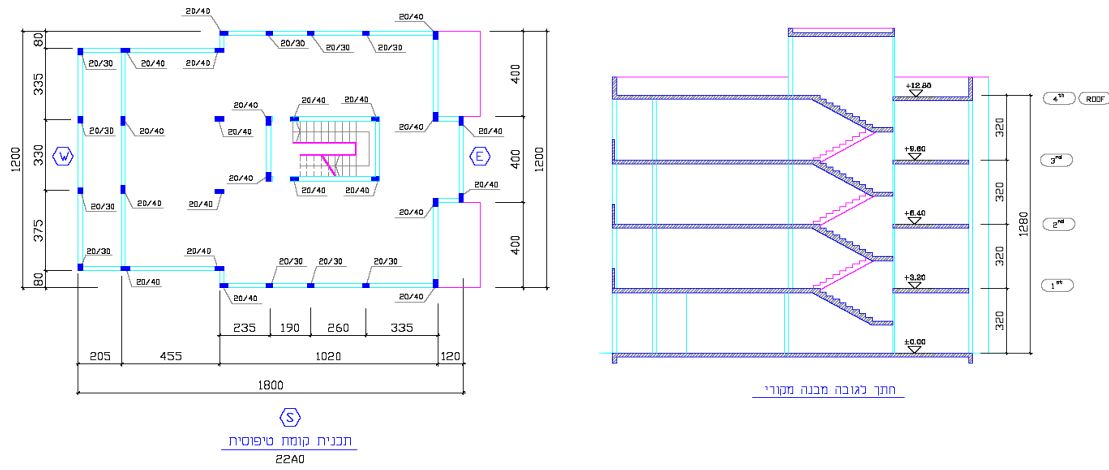
מבנה מס' 3 – TM38-43 הינו מבנה מגורים בעל 5 קומות (בדרך כלל 4 קומות מגורים ע"ג קומת עמודים מפולשת), ארבע יחידות דיור בכל קומה. למבנה זה רגישות רבה לבעיית קומה גמישה/חלשה.

מבנה מס' 4 – TM38-52 הינו מבנה מגורים בעל 9 קומות (8 קומות מגורים ע"ג קומת עמודים מפולשת), ארבע יחידות דיור בכל קומה. למבנה זה רגישות רבה לבעיית קומה גמישה/חלשה, בנוסף עקב מספר הקומות הגדול והעדר כמות מספקת של קירות/גרעיני הקשחה למבנה, המבנה בעייתי מאוד בקבלת כוחות אופקיים.

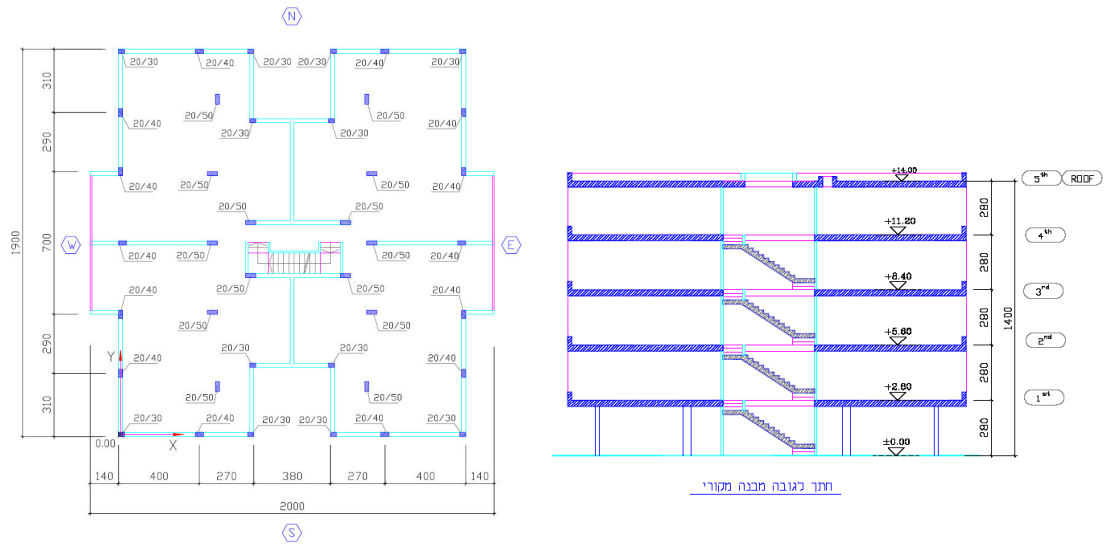
תיאור המבנים שחושבו מובא בטבלה שלהלן:



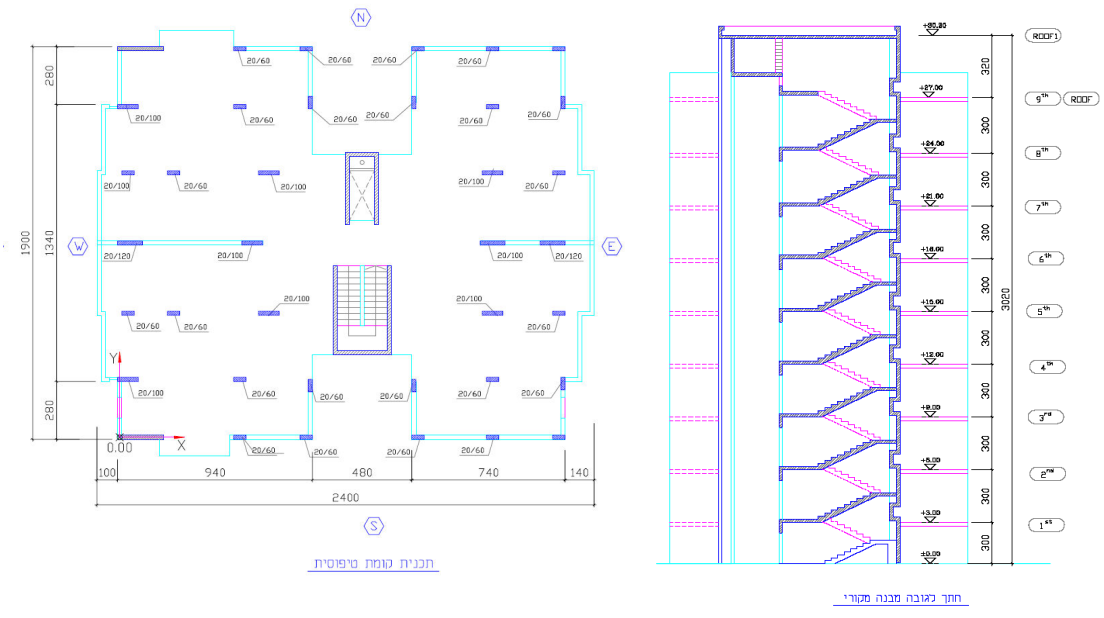
איור 4.1 - מבנה מס' 1 - TM38-03 מבנה טורי



איור 4.2 מבנה מס' 2 - TM38-22 מבנה מגורים.



איור 4.3 מבנה מס' 3 – TM38-43 מבנה מגורים.



איור 4.4 מבנה מס' 4 – TM38-52 מבנה מגורים.

4.2.1 שיקולים הנדסיים בקביעת קשיחות/תסכולת מבנים קיימים.

בכל המבנים הקיימים שהוצגו לעיל קיימות בעיות חמורות של רגישות/תורפה בשלד המבנה, אשר הוכחו מניסיון העבר ברעידות אדמה חזקות כבעיות קריטיות ליכולת המבנה לעמוד ברעידת אדמה חזקה. כמובן שקיימת חשיבות רבה למיקום ומרחק המבנה ממוקד הרעידה, לתנאי הקרקע באתר, לשנת הקמת המבנה ומצבו הפיזי. אולם לפני ביצוע אנליזות חייבים להביא בחשבון שהמודל האנליטי הממוחשב הינו מודל אידאלי של המבנה, ולהלן מספר נקודות המחייבים תשומת לב רבה של המהנדס:

- א. ייצוג מערכת העמודים והקורות במבנה כמערכת מסגרתית המסוגלת להתנגד לכוחות אופקיים, הינה בעייתית במבנים קיימים, נדרשת התייחסות מתאימה לחיבורים/צמתים בין רכיבי העמוד לקורה, אומנם קיימת מערכת מונוליטית הנוצרת עקב עיגון מוטות הקורה לעמוד, והמשכיות של הזיון האנכי בעמוד, אולם כמעט בטוח שבצמתים לא ניתנו פרטי הזיון הנדרשים בתקנים המודרניים. מצב זה מחייב תשומת לב רבה בבחירת מקדם הקטנת הכוח (משיכות) של המבנה. מומלץ לבחור מקדם משיכות נמוכה. ובמידה ומסתמכים על מערכת הקורות/עמודים כמערכת מסגרתית לקבלת כוחות אופקיים, יש לבצע בדיקות יסודיות להבטחת חוזק ויציבות הצומת.
- ב. בעיה נוספת הינה יכולת מערכת הביסוס הקיימת, במיוחד במבנה עם קירות/גרעינים כגון חדרי מדרגות/מעליות להבטיח ריתום הקירות/גרעינים וקבלת הכוחות והמומנטים דרך מערכת הביסוס לקרקע. גם אם ניתן לזהות גרעינים/קירות חשוב מאוד לבדוק אם מערכת הביסוס הקיימת לא תוכננה רק לקבלת כוחות אנכיים בלבד, והאם היא אכן מייצרת ריתום נאות בבסיס.
- ג. בעיות אחרות הדורשות התייחסות לבחינה הינה הבטחת יכולת המערכת הנושאת עומסים אנכיים לעמוד בדרישות ולהבטיח מקדם ביטחון מספק למצב העמיסה של עומס אנכי משולב עם תזוזות אופקיות הנובעות מהכוחות הסיסמיים. לדוגמא מבנים עם קירות נושאים מבטון דבש, או קירו אבן ירושלמית המשמשים להעברת העומסים האנכיים במבנה, שלהם בעיות חוזק, בעיות משיכות, פריכות ובכל מקרה גם במידה ומחזקים את המבנה על ידי מערכת נושאת אחרת. קירות/רכיבים נושאים אלו חייבים להמשיך לשאת את העומסים האנכיים, ולעמוד בדפורמציות אופקיות המתפתחות במבנה עקב רעידת האדמה.

4.3 תוצאות חישוב המבנים לפי ת"י 2413

לצורך ביצוע הערכה ראשונית של מצב המבנים נעשה שימוש במסמך ת"י 2413 המציג מספר שיטות להערכת עמידות של בניינים קיימים, כאשר הפרמטרים במסמך מותאמים לדרישות ת"י 413. מסמך זה מאפשר ביצוע הערכות ראשוניות של עמידות המבנה לכוחות אופקיים ב- 3 רמות. כל רמה הינה מדוייקת יותר ומבוססת על מידע מפורט יותר לגבי שלד המבנה.

הרמה הראשונה הינה רמה סטטיסטית ומאפשרת זיהוי נקודות תורפה/רגישות של המבנה. לפי רמה זו ניתן לבצע סקירה ומיון ראשוני של מבנים בשכונה/אזור מסויים ולקבל הערכה בלבד של מספר המבנים הבעייתיים ודרגת אי העמידות שלהם.

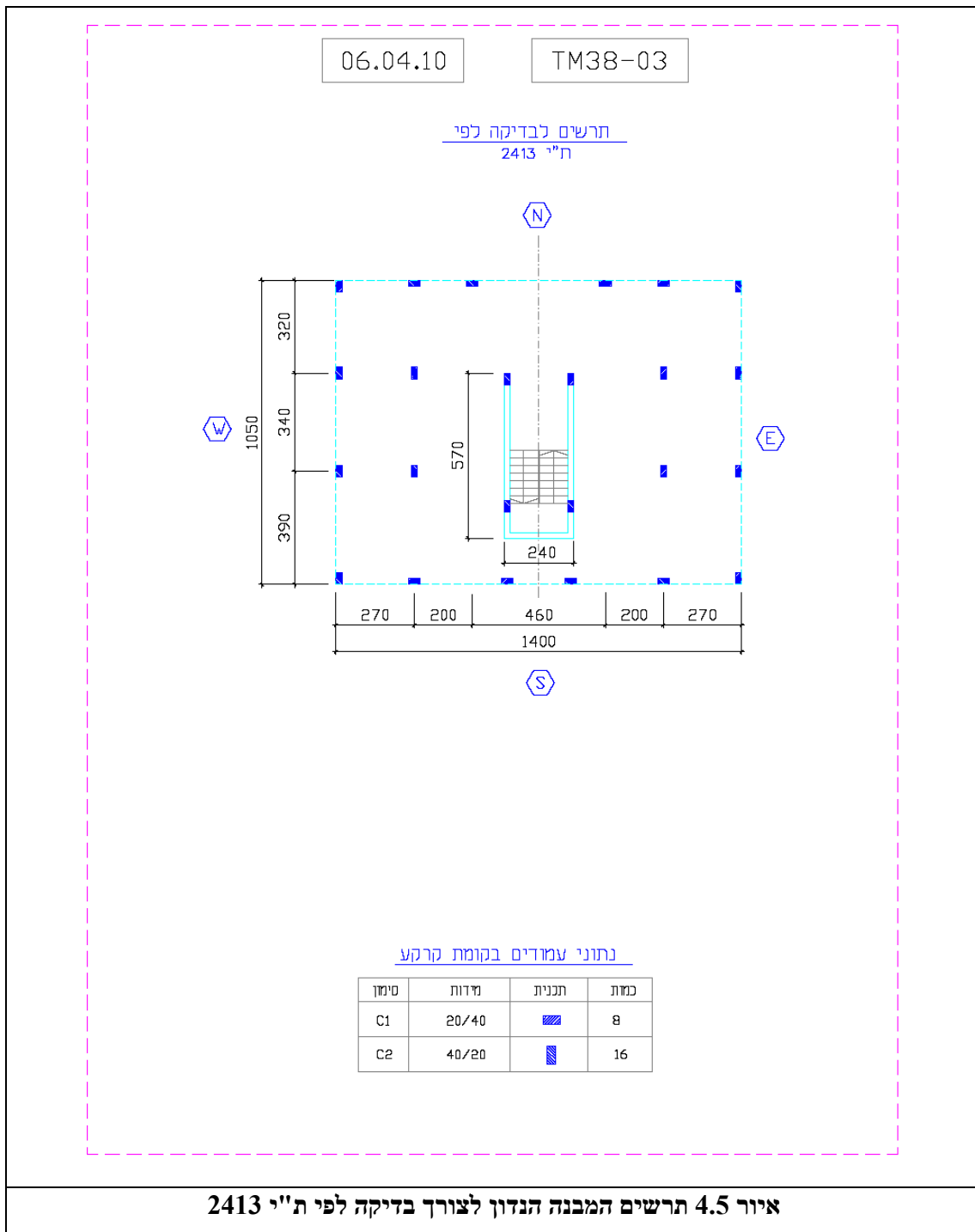
הרמה השניה הינה רמה מקורבת בלבד ומאפשרת חישוב אינדקס סייסמי, שהוא היחס בין התסבולת המקורבת של המבנה לכוחות הסייסמי המחושב לפי דרישות התקן ת"י 413.

הרמה השלישית הינה מפורטת יותר ולמעשה מפנה את המתכנן לחישוב מלא לפי דרישות ת"י 413. בעמודים הבאים מוצגים תוצאות החישוב של המבנים השונים כאשר החישוב נעשה לפי רמה שניה, כלומר חישוב האינדקס הסייסמי של המבנה הקיים לפני החיזוק.

עבור כל מבנה מוצגת סכמה של הקומה הראשונה של המבנה, רכיבי ההקשחה שנלקחו בחשבון לצורך הערכת התסבולת, וטבלת ריכוז של מסר העמודים וצורת תנוחתם יחסית לצירים X ו- Y של המבנה.

חלק שני בתוצאות הינו תוצאות קובץ אקסל ובו הפרמטרים השונים הנדרשים לצורך ביצוע הערכת העומס הסייסמי ותסבולת הרכיבים והמבנה כולו. חשוב לציין כי החישוב נעשה לשני כיוונים של המבנה כיוון X וכיוון Y.

4.3.1 תוצאות החישוב אינדקס סייסמי של מבנה מס' 1 – לפי ת"י 2413



בדיקת עמידות המבנה לפי ת"י 2413

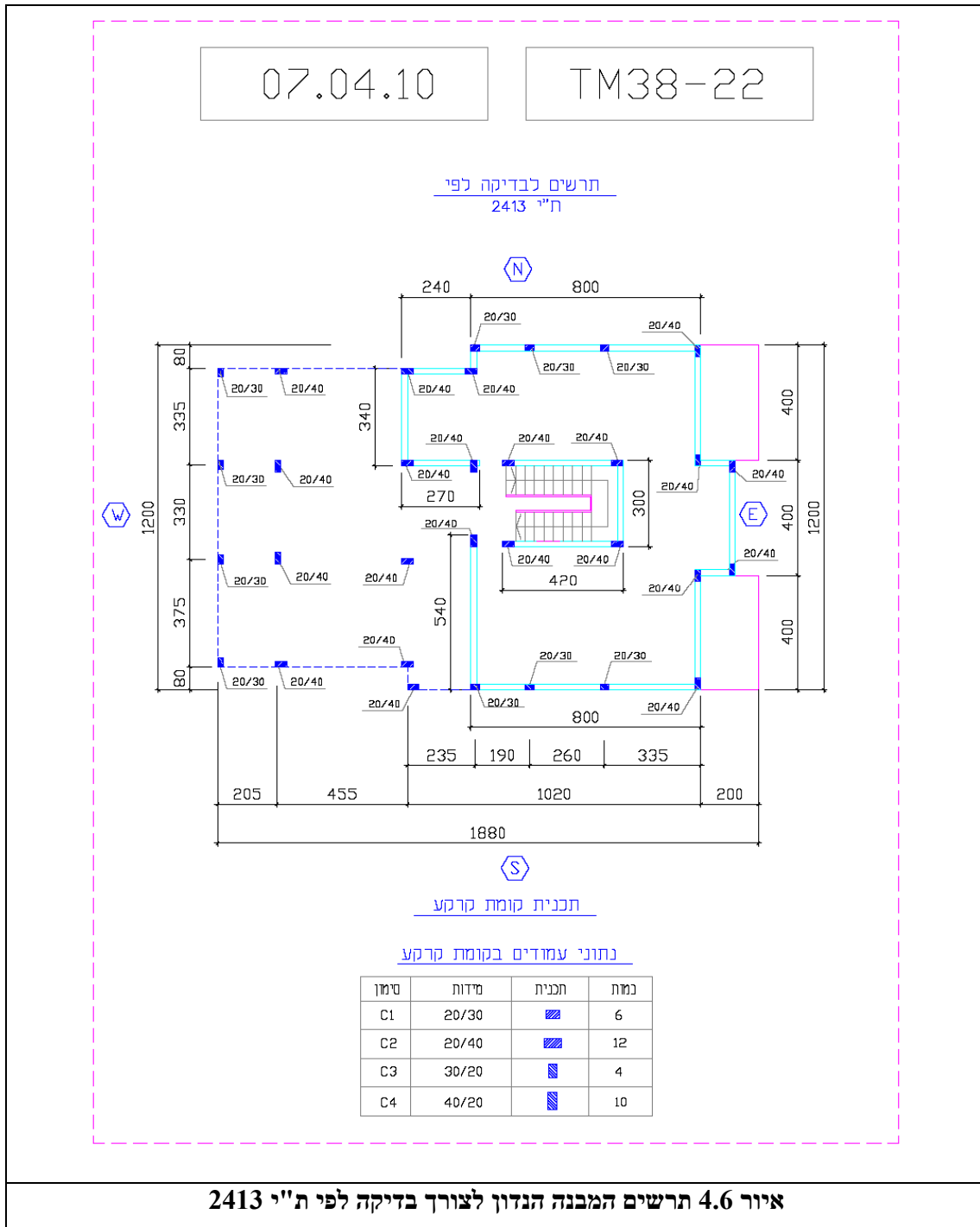
Z=	0.1			תאוצת קרקע
H=	11	[m]		גובה מבנה
n=	4			מס' קומות
A=	147	[m ²]		שטח קומה
Wi + k qi =	12.3	[kN/m ²]		עומס ממוצע למ"ר
	7232.4	[kN]	5 נוסחה	משקל המבנה
	1265	[kN]	FT=C WT	3 נוסחה: חישוב הכוח הסייסמי:
0.175	C=C0*(1+<f)		4 נוסחה	
0.060	C0		6 נוסחה	חישוב המקדם הסייסמי
0	fi	ג. חשיבות	סעיף 3.5	מקדמי תיקון:
0	fs	ד. סוג קרקע יסוד		
0.3	fh	ה. סדירות אופקית		
1	fv	ו. סדירות אנכית		
1.9		סה"כ		
			11 נוסחה	חישוב תסבולת לכיוון X
0.00	[kN]			סה"כ תסבולת קירות בטון
364.29	[kN]			סה"כ תסבולת עמודים
280.00	[kN]			סה"כ תסבולת קירות בני
		0.8		מקדם A לקירות
		0.9		מקדם A לעמודים
		0.3		מקדם A לקירות בני
		0.9		מקדם A מקסימי
434.74	[kN]		FaT	סה"כ תסבולת בכיוון X
0.344			Is=FaT/FT	אינדקס סייסמי עבור כיוון X
			11 נוסחה	חישוב תסבולת לכיוון Y
0.00	[kN]			סה"כ תסבולת קירות בטון
350.00	[kN]			חישוב תסבולת עמודים
280.00	[kN]			חישוב תסבולת קירות בני
		0.8		מקדם A לקירות
		0.9		מקדם A לעמודים
		0.3		מקדם A לקירות בני
		0.9		מקדם A מקסימי
443.33	[kN]		FaT	סה"כ תסבולת בכיוון Y
0.351			Is=FaT/FT	אינדקס סייסמי עבור כיוון Y

טבלה 4.1 – ריכוז הנתונים והפרמטרים לצורך חישוב האינדקס הסייסמי לפי 2413

חישוב תסבולת מערכות ההקשחה				
נוסחה 12				
				חישוב תסבולת קירות בטון
		0.00	[kN]	תסבולת קירות כיוון X
		0.00	[kN]	תסבולת קירות כיוון Y
		0.750	[Mpa]	חוזק גזירה קירות בטון
		0	[m ²]	שטח קירות כיוון X
		0	[m ²]	שטח קירות כיוון Y
נוסחה 15				
				חישוב תסבולת עמודים
14.29	95.24	64.29	190.48	[kN]
21.43	190.48	42.86	95.24	[kN]
TYPE C	TYPE C	TYPE B	TYPE A	
0.3	0.4	0.2	0.2	[m]
0.2	0.2	0.3	0.4	[m]
2	10	6	10	
20	20	20	20	[Mpa]
3.2	3.2	3.2	3.2	[m]
0.7	0.7	0.7	0.7	
				תסבולת עמודים כיוון X
				תסבולת עמודים כיוון Y
				רוחב עמודים כיוון X
				רוחב עמודים כיוון Y
				מספר עמודים
				חוזק הבטון לכפיפה
				גובה קומה
				מקדם דרגת ריחום
נוסחה 14				
				חישוב תסבולת קירות בני
		280.00	[kN]	תסבולת קירות כיוון X
		280.00	[kN]	תסבולת קירות כיוון Y
		0.050	[Mpa]	חוזק גזירה קירות בני
		5.6	[m ²]	שטח קירות כיוון X
		5.6	[m ²]	שטח קירות כיוון Y
סעיף 3.8				
				מקדמי תיקון לתסבולת הכוללת Fat
		0		ג סוג הביטוח
		0		ד קירבה למצוק
		0		ה קרבה להשתק חשוד כפעיל
		0.1		ו מצב שלד המבנה
		0		ז מישקי התפשטות
		0		ח המצאות עמודים קצרים
		-0.15		ט מסמכי המהנדס
		0		י שיקול דעת נוסף
				סה"כ
				-0.05

טבלה 4.2 – ריכוז הנתונים והפרמטרים לצורך חישוב התסבולת לפי 2413

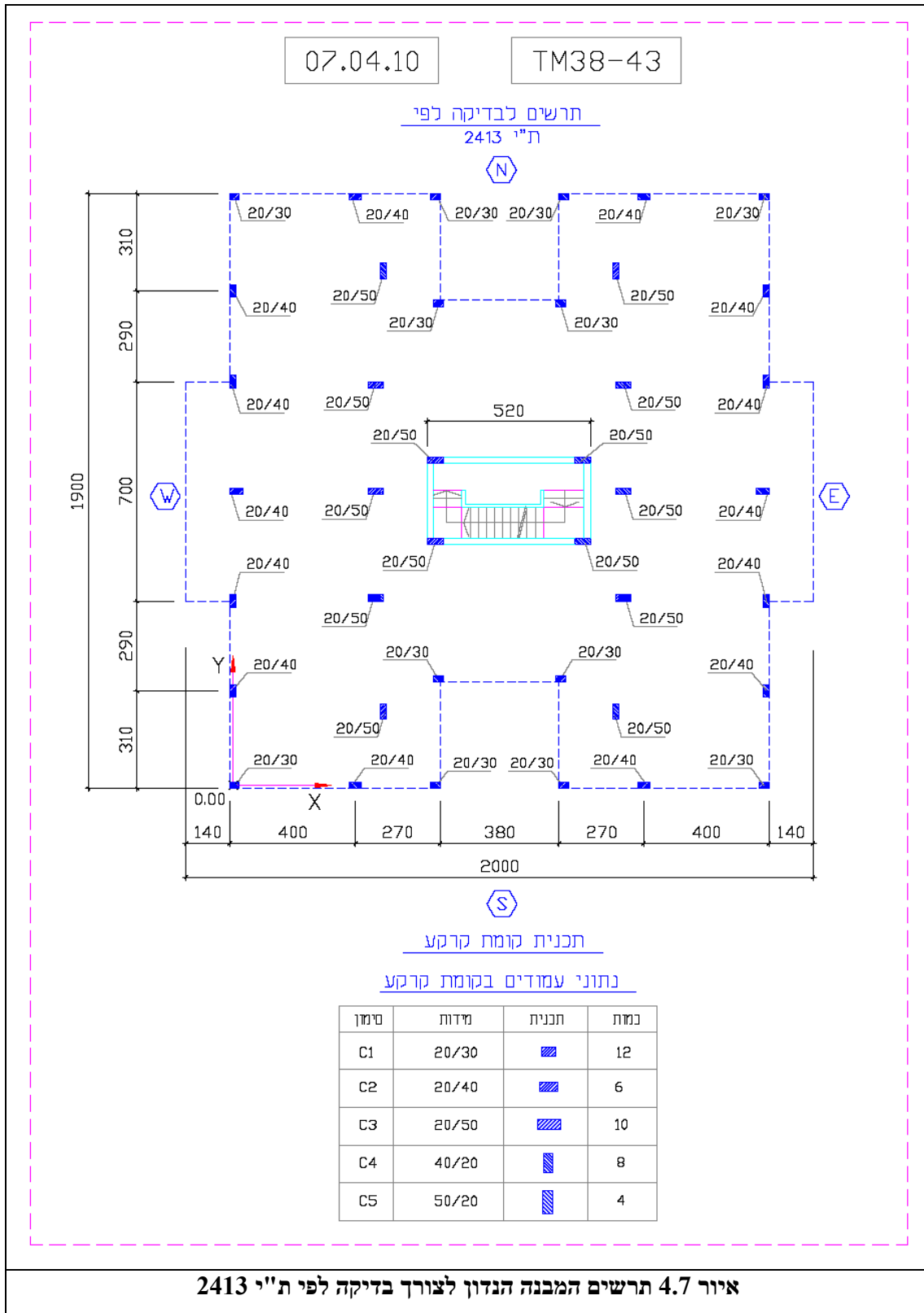
4.3.2 תוצאות החישוב אינדקס סייסמי של מבנה מס' 2 – לפי ת"י 2413



חישוב תסבולת מערכות ההקשחה				
נוסחה 12				
				חישוב תסבולת קירות בטון
		0.00	[kN]	תסבולת קירות כיוון X
		0.00	[kN]	תסבולת קירות כיוון Y
		0.750	[Mpa]	חוזק גזירה קירות בטון
		0	[m ²]	שטח קירות כיוון X
		0	[m ²]	שטח קירות כיוון Y
נוסחה 15				
				חישוב תסבולת עמודים
14.29	95.24	64.29	190.48	[kN]
21.43	190.48	42.86	95.24	[kN]
TYPE C	TYPE C	TYPE B	TYPE A	
0.3	0.4	0.2	0.2	[m]
0.2	0.2	0.3	0.4	[m]
2	10	6	10	
20	20	20	20	[Mpa]
3.2	3.2	3.2	3.2	[m]
0.7	0.7	0.7	0.7	
				רוחב עמודים כיוון X
				רוחב עמודים כיוון Y
				מספר עמודים
				חוזק הבטון לכפיפה
				גובה קומה
				מקדם דרגת ריחום
נוסחה 14				
				חישוב תסבולת קירות בני
		280.00	[kN]	תסבולת קירות כיוון X
		280.00	[kN]	תסבולת קירות כיוון Y
		0.050	[Mpa]	חוזק גזירה קירות בני
		5.6	[m ²]	שטח קירות כיוון X
		5.6	[m ²]	שטח קירות כיוון Y
סעיף 3.8				
				מקדמי תיקון לתסבולת הכוללת Fat
		0		ג סוג הביטוח
		0		ד קירבה למצוק
		0		ה קרבה להעתק חשוד כפעיל
		0.1		ו מצב שלד המבנה
		0		ז מי שקי התפשטות
		0		ח המצאות עמודים קצרים
		-0.15		ט מסמכי המהנדס
		0		י שיקול דעת נוסף
				סה"כ
				-0.05

טבלה 4.4 – ריכוז הנתונים והפרמטרים לצורך חישוב התסבולות לפי 2413

4.3.3 תוצאות החישוב אינדקס סייסמי של מבנה מס' 3 – לפי ת"י 2413

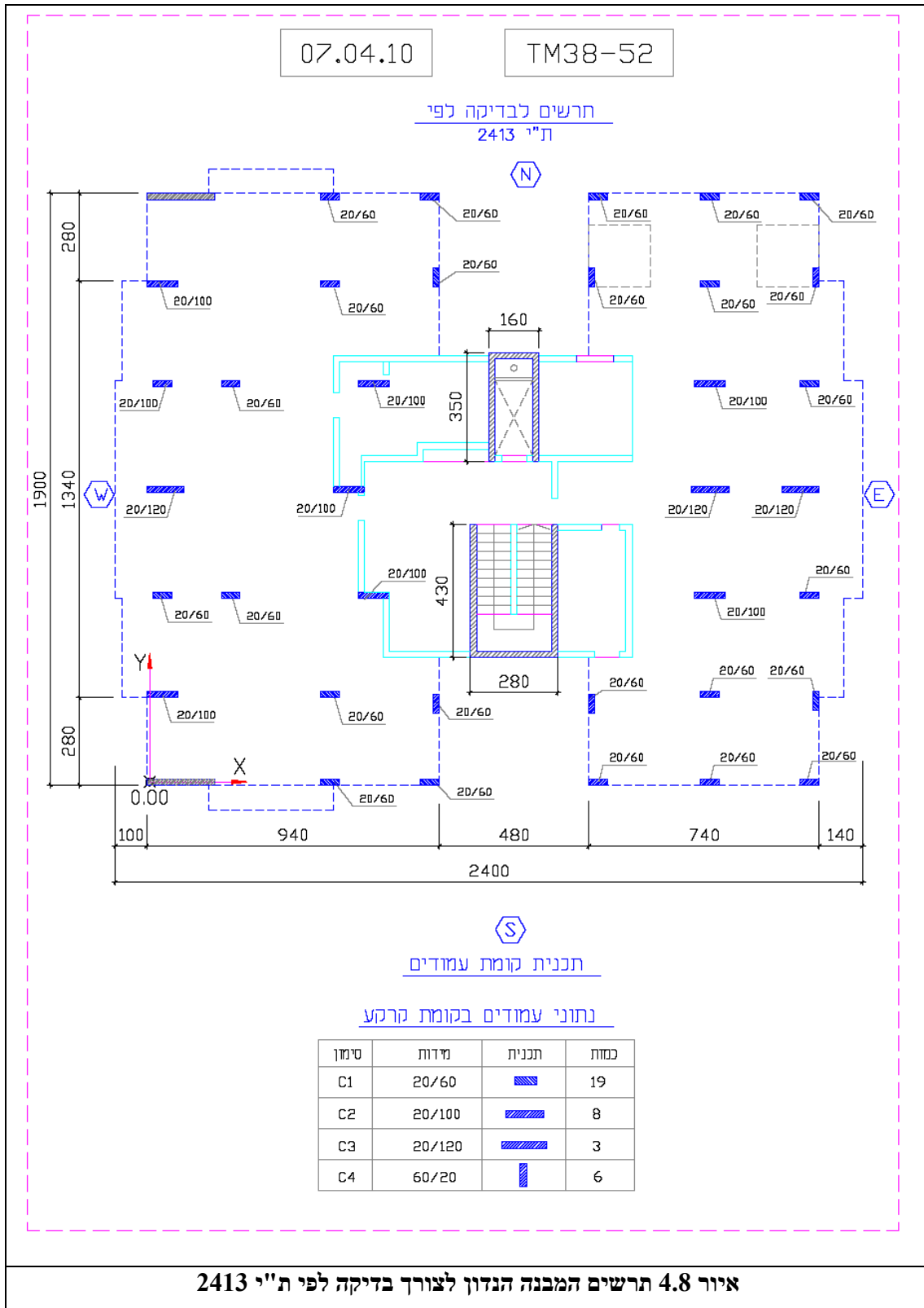


בדיקת עמידות המבנה לפי ת"י 2413

Z=	0.1			תאוצת קרקע
H=	14	[m]		גובה מבנה
n=	5			מס' קומות
A=	320	[m ²]		שטח קומה
Wi + k qi =	12.3	[kN/m ²]		עומס ממוצע למ"ר
	19680	[kN]	5 נוסחה	משקל המבנה
	3051	[kN]	FT=C WT	3 נוסחה
				חישוב הכוח הסייסמי:
0.155	C=C0*(1+<f)		4 נוסחה	
0.053	C0		6 נוסחה	חישוב המקדם הסייסמי
0	fi	ג. חשיבות	3.5 סעיף	מקדמי תיקון:
0	fs	ד. סוג קרקע יסוד		
0.3	fh	ה. סדירות אופקית		
1	fv	ו. סדירות אנכית		
1.9		סה"כ		
			11 נוסחה	חישוב תסבולת לכיוון X
0.00	[kN]			סה"כ תסבולת קירות בטון
827.21	[kN]			סה"כ תסבולת עמודים
80.00	[kN]			סה"כ תסבולת קירות בני
		0.8		מקדם A לקירות
		0.9		מקדם A לעמודים
		0.3		מקדם A לקירות בני
		0.9		מקדם A מקסימי
811.18	[kN]		FaT	סה"כ תסבולת בכיוון X
0.266				אינדקס סייסמי עבור כיוון X
				Is=FaT/FT
			11 נוסחה	חישוב תסבולת לכיוון Y
0.00	[kN]			סה"כ תסבולת קירות בטון
636.73	[kN]			חישוב תסבולת עמודים
60.00	[kN]			חישוב תסבולת קירות בני
		0.8		מקדם A לקירות
		0.9		מקדם A לעמודים
		0.3		מקדם A לקירות בני
		0.9		מקדם A מקסימי
656.73	[kN]		FaT	סה"כ תסבולת בכיוון Y
0.215				אינדקס סייסמי עבור כיוון Y
				Is=FaT/FT

טבלה 4.5 – ריכוז הנתונים והפרמטרים לצורך חישוב האינדקס הסייסמי לפי 2413

4.3.4 תוצאות החישוב אינדקס סייסמי של מבנה מס' 4 – לפי ת"י 2413



בדיקת עמידות המבנה לפי ת"י 2413

Z=	0.1			תאוצת קרקע	
H=	30.2	[m]		גובה מבנה	
n=	10			מס' קומות	
A=	398	[m ²]		שטח קומה	
Wi + k qi =	12.3	[kN/m ²]		עומס ממוצע למ"ר	
	48954	[kN]	5 נוסחה	משקל המבנה	
	5167	[kN]	FT=C WT	3 נוסחה	חישוב הכוח הסייסמי:
0.106	C=C0*(1+<f)			4 נוסחה	
0.036	C0			6 נוסחה	חישוב המקדם הסייסמי
0	fi	ג. חשיבות		סעיף 3.5	מקדמי תיקון:
0	fs	ד. סוג קרקע יסוד			
0.3	fh	ה. סדירות אופקית			
1	fv	ו. סדירות אנכית			
1.9		סה"כ			
				11 נוסחה	חישוב תסבולת לכיוון X
1233.29	[kN]				סה"כ תסבולת קירות בטון
1571.43	[kN]				סה"כ תסבולת עמודים
320.00	[kN]				סה"כ תסבולת קירות בני
1096.26		0.8			מקדם A לקירות
1571.43		0.9			מקדם A לעמודים
106.67		0.3			מקדם A לקירות בני
		0.9			מקדם A מקסימי
2635.63	[kN]			FaT	סה"כ תסבולת בכיוון X
0.510		Is=FaT/FT			אינדקס סייסמי עבור כיוון X
				11 נוסחה	חישוב תסבולת לכיוון Y
1707.63	[kN]				סה"כ תסבולת קירות בטון
790.48	[kN]				חישוב תסבולת עמודים
320.00	[kN]				חישוב תסבולת קירות בני
1517.89		0.8			מקדם A לקירות
790.48		0.9			מקדם A לעמודים
106.67		0.3			מקדם A לקירות בני
		0.9			מקדם A מקסימי
2415.04	[kN]			FaT	סה"כ תסבולת בכיוון Y
0.467		Is=FaT/FT			אינדקס סייסמי עבור כיוון Y

טבלה 4.7 – ריכוז הנתונים והפרמטרים לצורך חישוב האינדקס הסייסמי לפי 2413

חישוב תסבולת מערכות ההקשחה							
12 נוסחה							
				1233.29	[kN]		חישוב תסבולת קירות בטון
				1707.63	[kN]		תסבולת קירות כיוון X
				0.474	[Mpa]		תסבולת קירות כיוון Y
				2.6	[m ²]		חוזק גזירה קירות בטון
				3.6	[m ²]		שטח קירות כיוון X
							שטח קירות כיוון Y
15 נוסחה							
							חישוב תסבולת עמודים
38.10	47.62	714.29	771.43		[kN]	1571.43	תסבולת עמודים כיוון X
152.38	238.10	142.86	257.14		[kN]	790.48	תסבולת עמודים כיוון Y
TYPE C	TYPE C	TYPE B	TYPE A				
0.8	1	0.2	0.2		[m]		רוחב עמודים כיוון X
0.2	0.2	1	0.6		[m]		רוחב עמודים כיוון Y
2	2	6	18				מספר עמודים
20	20	20	20		[Mpa]		חוזק הבטון לכפיפה
3.2	3.2	3.2	3.2		[m]		גובה קומה
0.7	0.7	0.7	0.7				מקדם דרגת ריטום
14 נוסחה							
				320.00	[kN]		חישוב תסבולת קירות בני
				320.00	[kN]		תסבולת קירות כיוון X
				0.050	[Mpa]		תסבולת קירות כיוון Y
				6.4	[m ²]		חוזק גזירה קירות בני
				6.4	[m ²]		שטח קירות כיוון X
							שטח קירות כיוון Y
3.8 סעיף							
							מקדמי תיקון לתסבולת הכוללת Fat
				0			ג סוג הביטוס
				0			ד קירבה למצוק
				0			ה קרבה להעתק חשוד כפעיל
				0.1			ו מצב שלד המבנה
				0			ז מי שקי התפשטות
				0			ח המצאות עמודים קצרים
				-0.15			ט מסמכי המהנדס
				0			י שיקול דעת נוסף
-0.05							
סה"כ							

טבלה 4.8 – ריכוז הנתונים והפרמטרים לצורך חישוב התסבולת לפי 2413

4.4 תוצאות אנליזת המבנים לפי ת"י 413

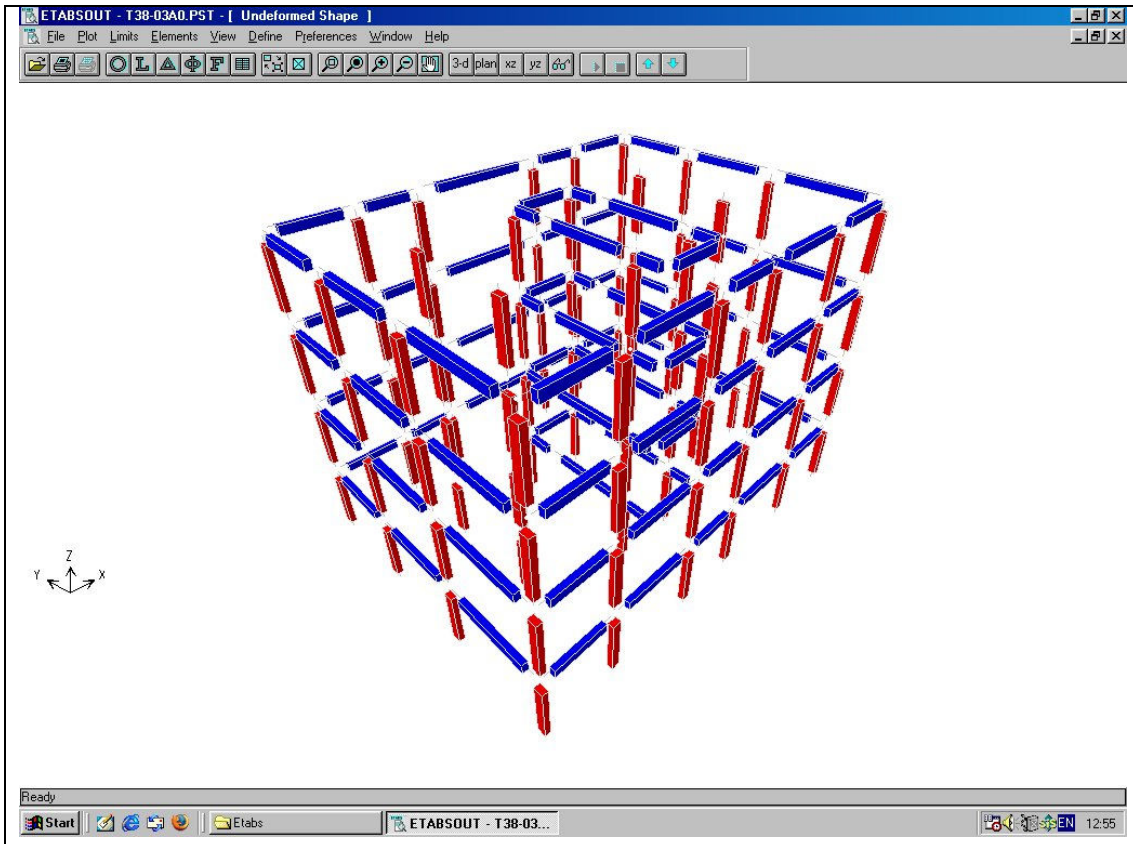
כפי שהוזכר בסעיף 4.3 במודה והאינדקס הסייסמי המחושב של המבנים קטן מ- 1 קיימת בעיה במבנה ונדרשים לעבור לרמה 3 ולבצע חישוב של המבנה לפי דרישות ת"י 413. לאור העובדה שמדובר במבנים ישנים אזי ברור שגם החישוב/בדיקה המפורטת לפי דרישות ת"י 413 לא תהיה מספקת ולכן יידרש חיזוק של המבנה.

תמ"א 38 מאפשרת קבלת זכויות נוספות עבור מבנים ישנים שהוקמו לפני שנת 1980 כאשר הזכויות מפורטות בתמ"א 38 והוזכרו בפרק 2. כל התוכניות המוגשות לאישורי הועדות המקומיות מבוססות על תוספת של קומה אחד עד שתיים למבנה הקיים. חשוב לציין כי באופן בסיסי תוספת של עומס/גובה למבנה קיים מחמירה את הבעיה הסייסמית של המבנה. מכיוון שבמצב חדש זה נדרשים להתמודד עם עומסים אנכיים יותר גדולים, עומס אופקי ומומנטים גדולים יותר בבסיס המבנה.

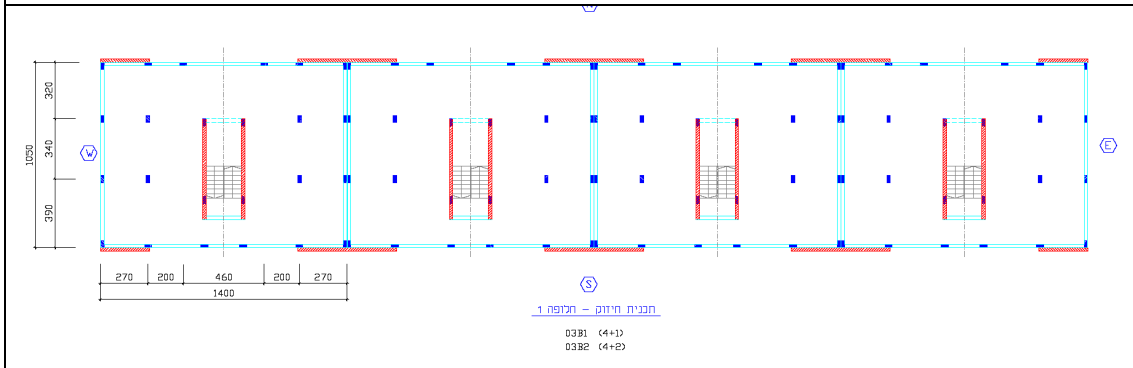
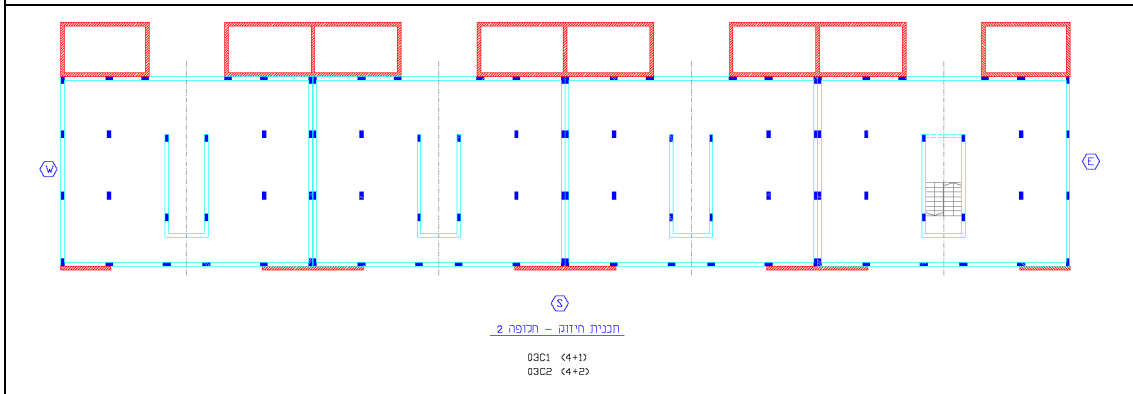
הבעיה קשה יותר במבנה קיים שלו כבר במצב הבסיסי עמידות מאוד מוגבלת, בעיה בהעברת העומסים האנכיים למערכת העמודים/קירות ולביסוס. קושי רב בקבלת מידע הנדסי מפורט לגבי שלד המבנה הקיים, לרוב אין תוכניות שלד ואין חישובים סטטיים של המבנה. מצב פיזי ירוד של שלד המבנה, וכדומה. במצב זה נדרש המתכנן לעמוד באתגר הנדסי מסובך ומורכב יותר מזה של תכנון מבנה חדש. במקרים רבים נבחר פתרון חיזוק שבו רוב העומס הסייסמי הקומתי מועבר למערכת הקשחה חדשה כגון: קירות הקשחה או גרעינים/ממ"דים חדשים המבוססים על ע"ג מערכת ביסוס חדש ועצמאית ומתוכננים לפי כל דרישות התקנים החדשים. גם במצב זה לא נפתרו כל הבעיות שכל נדרשת בדיקה של המערכת הנושאת עומסים אנכיים להבטיח בטיחות ויציבות המבנה בהעברת העומסים האנכיים הקיימים במבנה. נדרשת בדיקה של מערכת הביסוס הקיימת. ובכל מקרה גם במידה ומתוכננת מערכת הקשחה המסוגלת להעביר את כל הכוחות האופקיים המחושבים לפ התקן. יש לבצע בדיקה שכל רכיבי המבנה הקיים הנושאים עומסים אנכיים יהיו מסוגלים לפתח הזזות אופקיות בכל כיוון. בהקשר זה חשוב לחדד דרישת תכן הקיימת בת"י 413 פרק 6 – סעיף 604.4.

604.4 תכן רכיבי שלד שאינם חלק ממערכת השלד הנושא המתנגדת לעומס סיסמי
רכיבים אלו ייבחנו בחישוב לשמירת כושרם לשאת בכוחות הציריים המחושבים במצב שירות, כשחם מוסטים בכל קומה בתוונות חמקסימליות החזויות לפי סעיף 403.2.4 - כשחם מקיימים קשרי המשכיות אלסטית בצמתים, בהתחשב בהשפעות מסדר שני, אך עם מקדם בטיחות חלקי לעומס $\gamma_f = 1.0$.
במקרה הצורך, ונגדלו חתכי הזיון האורכי, החישוקים וצפיפותם, או חתכי הבטון, כדי שהרכיב יעמוד במבחן החישוב, או שתוקנה לו משיכות מתאימה כדי שיעמוד בלא נזק בהתחוות מפרקים פלסטיים בהתכים שלא עמדו במבחן החישוב.

4.4.1 – תוצאות אנליזת מבנה מס' 1 לפי ת"י 413



איור 4.9 תיאור המודל המבני לצורך האנליזה – מבנה בסיסי



איור 4.10 תיאור חלופות החיווק שנבדקו

קומה	[33]	[32]	[30]			
	הזזה [מ] δ_i	הסטה קומתית מחושבת $\Delta e_{l,i}$	הסטה קומתית גבולית $\Delta I_{,lim}$	משקל כולל W	כוח גזירה Vi	יציבות קומתית θ
4	0.0362					
		0.0057	0.0140	1808.1	310.0	0.0416
3	0.0305					
		0.0093	0.0140	3616.2	542.4	0.0775
2	0.0212					
		0.0116	0.0140	5424.3	697.4	0.1128
1	0.0096					
		0.0096	0.0140	7232.4	774.9	0.1120
קרקע	0.0000					

קומה	[33]	[32]	[30]			
	הזזה [מ] δ_i	הסטה קומתית מחושבת $\Delta e_{l,i}$	הסטה קומתית גבולית $\Delta I_{,lim}$	משקל כולל W	כוח גזירה Vi	יציבות קומתית θ
4	0.0486					
		0.0092	0.0140	1808.1	310.0	0.0671
3	0.0394					
		0.0134	0.0140	3616.2	542.4	0.1117
2	0.0260					
		0.0158	0.0140	5424.3	697.4	0.1536
1	0.0102					
		0.0102	0.0140	7232.4	774.9	0.1190
קרקע	0.0000					

טבלה 4.9 תוצאות בדיקת הסטות בינקותיות ומקדם היציבות הקומתי θ

Fh [kN]	Cd	Sa	זמן מחזור [Sec]	גובה המבנה [m]	משקל/מסת המבנה [kN]	הערכת זמני המחזור והכוחות לפי ת"י 413	מס"ד	מודל
775	0.107	0.375	0.292	10.5	7234	תיאור המודל	1	A0
1114	0.107	0.375	0.352	13.5	10400	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
1340	0.107	0.375	0.409	16.5	12510	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
1426	0.107	0.375	0.352	13.5	13310	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	4	C1
1717	0.107	0.375	0.409	16.5	16025	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	5	C2

כוח גזירה בסיסי X כיוון [kN]	כוח גזירה בסיסי Y כיוון [kN]	חישוב הכוחות מאנליזה מודלית מרחבית	מס"ד	מודל
776	775	תיאור המודל	1	A0
1116	1112	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
1338	1338	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
1432	1424	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	4	C1
1734	1723	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	5	C2

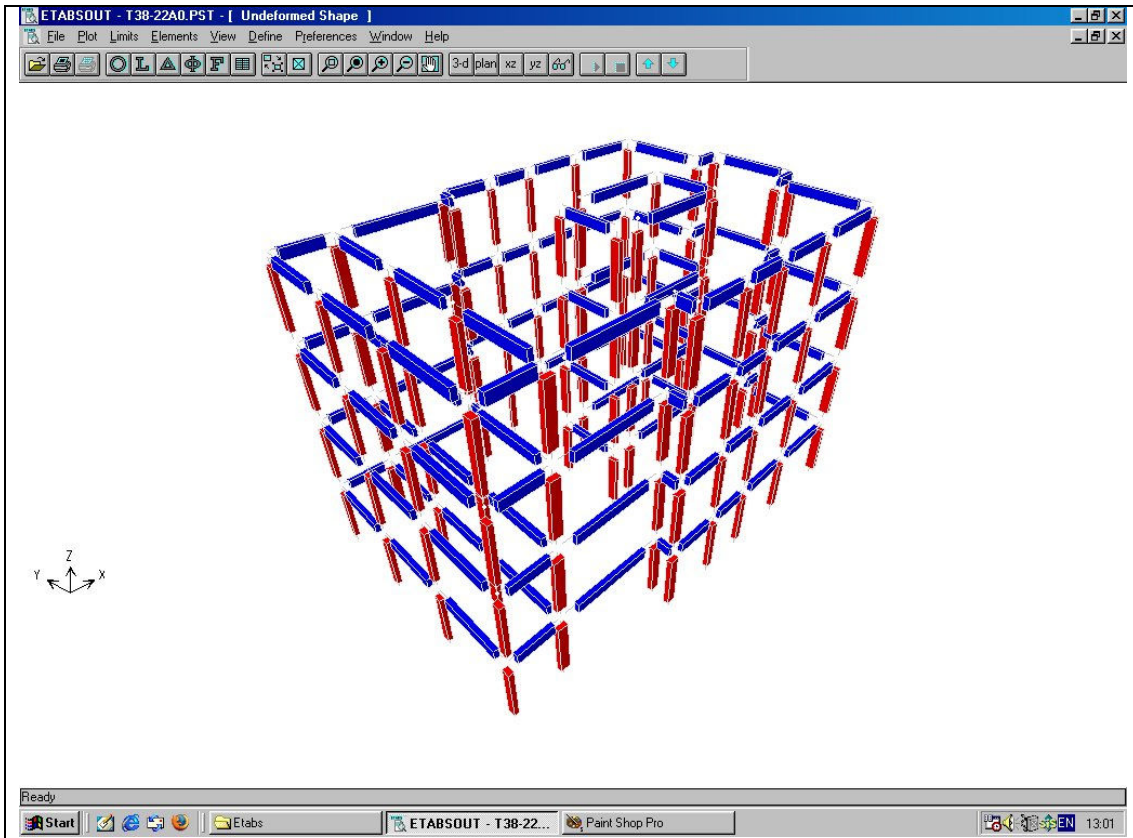
זמן מחזור X כיוון [Sec]	זמן מחזור Y כיוון [Sec]	חישוב זמני המחזור מאנליזה מודלית	מס"ד	מודל
0.95	1.08	תיאור המודל	1	A0
0.57	0.32	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
0.77	0.43	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
0.30	0.28	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	4	C1
0.38	0.38	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	5	C2

הזדה בראש המבנה X כיוון [m]	הזדה בראש המבנה Y כיוון [m]	חישוב ההזדות בראש המבנה מאנליזה מודלית	מס"ד	מודל
0.0362	0.0486	תיאור המודל	1	A0
0.0177	0.0050	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
0.0322	0.0096	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
0.0044	0.0040	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	4	C1
0.0075	0.0077	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	5	C2

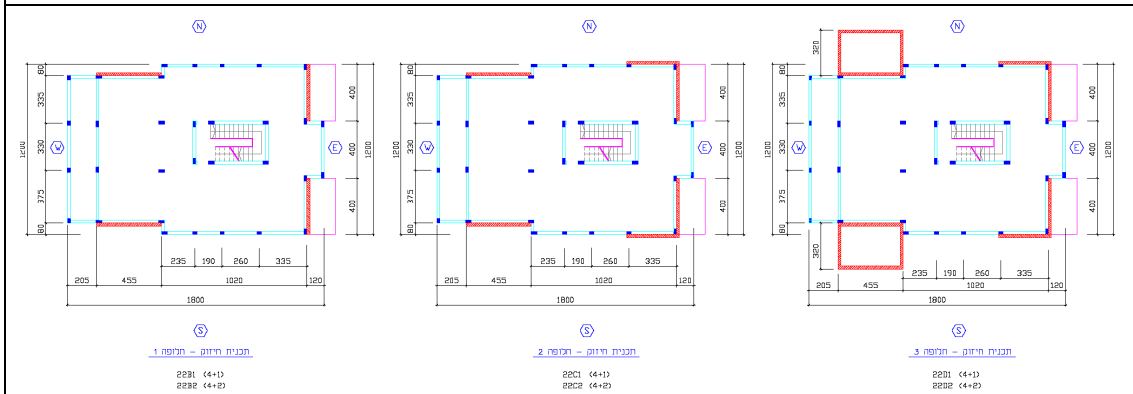
כיוון X מערכת חיזוק [kN]	כוח גזירה בסיסי מבנה בסיסי [kN]	כיוון Y מערכת חיזוק [kN]	כוח גזירה בסיסי מבנה בסיסי [kN]	חישוב כוח הגזירה בסיסי המבנה מבנה בסיסי + מערכת החיזוק	מס"ד	מודל
0	776	0	775	תיאור המודל	1	A0
1053	63	1086	26	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
1258	80	1306	32	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
1405	27	1400	24	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	4	C1
1701	33	1693	30	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	5	C2

טבלה 4.10 תוצאות חישוב המודלים השונים

4.4.2 – תוצאות אנליזת מבנה מס' 2 לפי ת"י 413



איור 4.11 תיאור המודל המבני לצורך האנליזה – מבנה בסיסי



איור 4.12 תיאור חלופות החיזוק שנבדקו

Fh [kN]	Cd	Sa	זמן מחזור [Sec]	גובה המבנה [m]	משקל/מסת המבנה [kN]	הערכת זמני המחזור והכוחות לפי ת"י 413	מס'ד	
1033	0.107	0.375	0.338	12.8	9640	תיאור המודל מבנה בסיסי	1	A0
1422	0.107	0.375	0.396	15.8	13270	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
1710	0.107	0.375	0.451	18.8	15960	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
1472	0.107	0.375	0.396	15.8	13740	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	4	C1
1771	0.107	0.375	0.451	18.8	16530	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	5	C2
1793	0.107	0.375	0.396	15.8	16730	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	6	D1
2159	0.107	0.375	0.451	18.8	20150	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	7	D2

כוח גזירה בסיסי X כיוון [kN]	כוח גזירה בסיסי Y כיוון [kN]	חישוב הכוחות מאנליזה מודלית מרחבית	מס'ד	
1029	1033	תיאור המודל מבנה בסיסי	1	A0
1423	1416	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
1709	1710	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
1474	1377	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	4	C1
1770	1768	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	5	C2
1795	1795	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	6	D1
2165	2171	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	7	D2

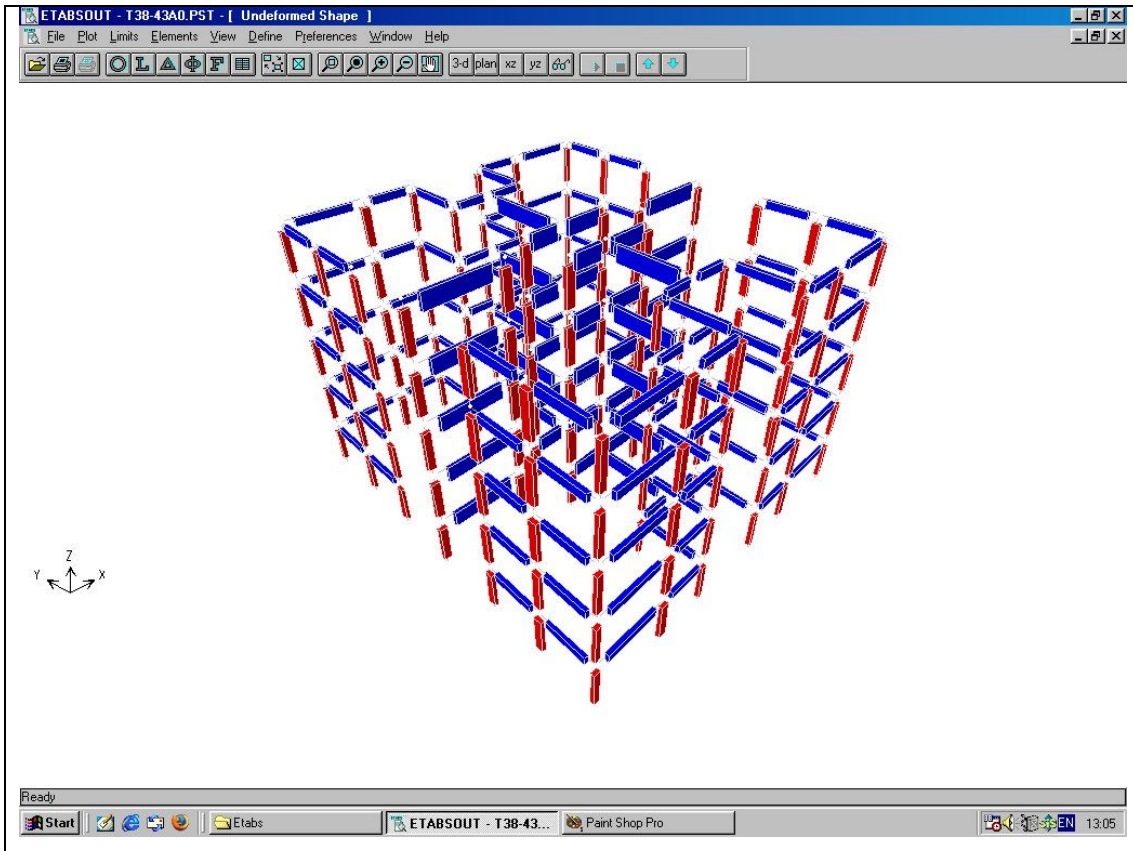
זמן מחזור X כיוון [Sec]	זמן מחזור Y כיוון [Sec]	חישוב זמני המחזור מאנליזה מודלית	מס'ד	מודל
0.97	0.89	תיאור המודל מבנה בסיסי	1	A0
0.77	0.51	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
0.97	0.67	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
0.73	0.39	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	4	C1
0.85	0.48	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	5	C2
0.30	0.25	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	6	D1
0.41	0.35	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	7	D2

הזזה בראש המבנה X כיוון [m]	הזזה בראש המבנה Y כיוון [m]	חישוב ההזדות בראש המבנה מאנליזה מודלית	מס'ד	מודל
0.0319	0.0378	תיאור המודל מבנה בסיסי	1	A0
0.0132	0.0283	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
0.0240	0.0456	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
0.0081	0.0243	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	4	C1
0.01260	0.0355	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	5	C2
0.0034	0.0047	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	6	D1
0.0064	0.0090	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	7	D2

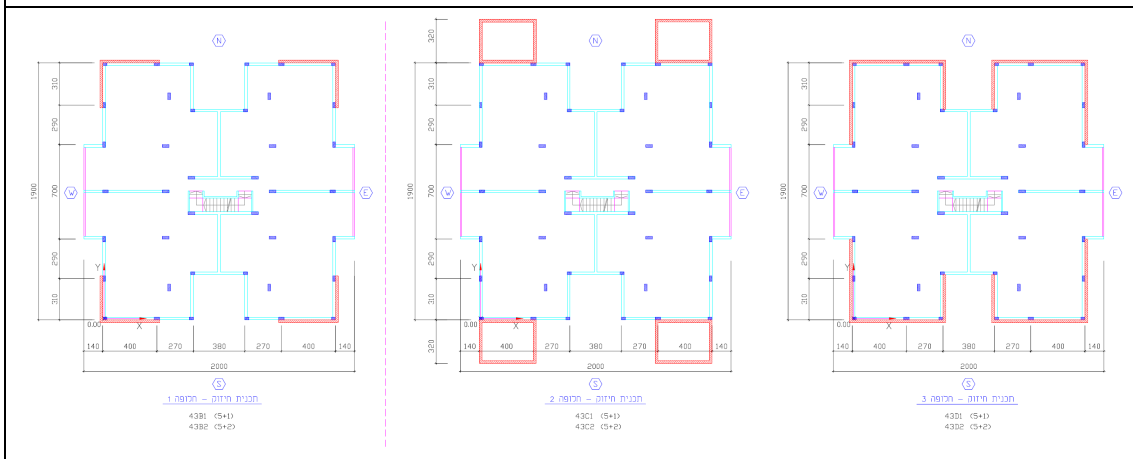
כוח גזירה בסיסי X כיוון מערכת חיזוק [kN]	כוח גזירה בסיסי Y כיוון מערכת חיזוק [kN]	כוח גזירה בסיסי X כיוון מערכת חיזוק [kN]	כוח גזירה בסיסי Y כיוון מערכת חיזוק [kN]	חישוב כוח הגזירה בסיסי המבנה מבנה בסיסי + מערכת החיזוק	מס'ד	מודל
0	1029	0	1033	תיאור המודל מבנה בסיסי	1	A0
1326	97	1169	247	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
1585	124	1415	295	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
1414	60	1184	193	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	4	C1
1693	77	1520	248	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	5	C2
1763	32	1757	38	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	6	D1
2124	41	2123	48	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	7	D2

טבלה 4.11 תוצאות חישוב המודלים השונים

4.4.3 – תוצאות אנליזת מבנה מס' 3 לפי ת"י 413



איור 4.13 תיאור המודל המבני לצורך האנליזה – מבנה בסיסי



איור 4.14 תיאור חלופות החיזוק שנבדקו

קומה	[33]	[32]	[30]			
	הזזה [מ] δi	הסטה קומתית מחושבת $\Delta el,i$	הסטה קומתית גבולית $\Delta i,lim$	משקל כולל W	כוח גזירה Vi	יציבות קומתית θ
5	0.0279					
		0.0038	0.0140	3936	703	0.0266
4	0.0241					
		0.0053	0.0140	7872	1265	0.0412
3	0.0188					
		0.0065	0.0140	11808	1687	0.0569
2	0.0123					
		0.0070	0.0140	15744	1968	0.0700
1	0.0053					
		0.0053	0.0140	19680	2109	0.0618
קרקע	0.0000					

קומה	[33]	[32]	[30]			
	הזזה [מ] δi	הסטה קומתית מחושבת $\Delta el,i$	הסטה קומתית גבולית $\Delta i,lim$	משקל כולל W	כוח גזירה Vi	יציבות קומתית θ
5	0.0654					
		0.0076	0.0140	3936	703	0.0532
4	0.0578					
		0.0119	0.0140	7872	1265	0.0926
3	0.0459					
		0.0153	0.0140	11808	1687	0.1339
2	0.0306					
		0.0174	0.0140	15744	1968	0.1740
1	0.0132					
		0.0132	0.0140	19680	2109	0.1540
קרקע	0.0000					

טבלה 4.12 תוצאות בדיקת הסטות בינקותיות ומקדם היציבות הקומתי θ

הערכת זמני המחזור והכוחות לפי ת"י 413						
Fh [kN]	Cd	Sa	זמן מחזור [Sec]	גובה המבנה [m]	משקל/מסת המבנה [kN]	תיאור המודל
2109	0.107	0.375	0.400	16	19680	מבנה בסיסי
2758	0.107	0.375	0.455	19	25740	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה
3221	0.107	0.375	0.490	21	30060	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות
3380	0.107	0.375	0.455	19	31550	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה
3851	0.107	0.375	0.490	21	36880	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות
3055	0.107	0.375	0.455	19	28510	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה
3571	0.107	0.375	0.490	21	33330	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות

חישוב הכוחות מאנליזה מודלית מרחבית			
מס"ד	תיאור המודל	כוח גזירה בסיסי Y כיוון [kN]	כוח גזירה בסיסי X כיוון [kN]
1	מבנה בסיסי	1934	1926
2	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2758	2764
3	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	2696	3180
4	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	3377	3386
5	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	4106	4119
6	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	3056	3056
7	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	3522	3493

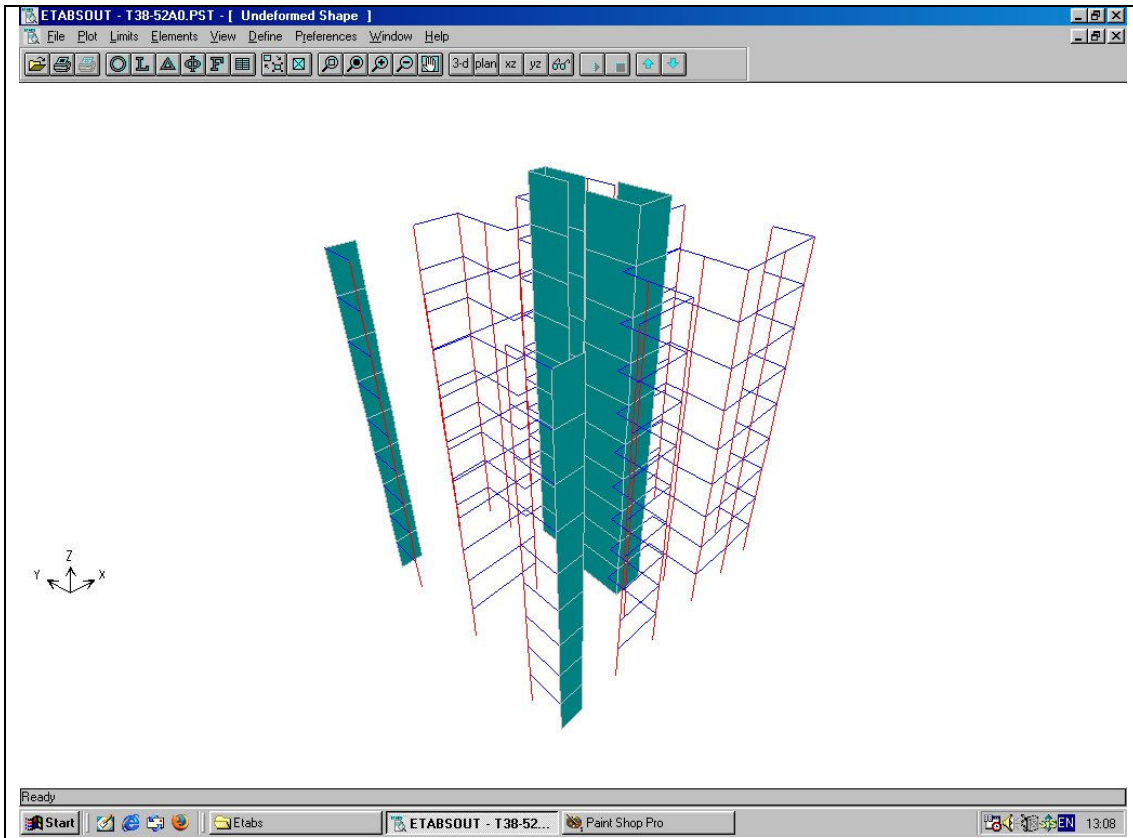
חישוב זמני המחזור מאנליזה מודלית			
מס"ד	תיאור המודל	זמן מחזור Y כיוון [Sec]	זמן מחזור X כיוון [Sec]
1	מבנה בסיסי	1.33	0.85
2	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	0.62	0.45
3	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	0.80	0.58
4	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	0.39	0.32
5	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	0.51	0.42
6	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	0.27	0.21
7	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	0.35	0.27

חישוב ההזדות בראש המבנה מאנליזה מודלית			
מס"ד	תיאור המודל	הזדה בראש המבנה Y כיוון [m]	הזדה בראש המבנה X כיוון [m]
1	מבנה בסיסי	0.0654	0.0279
2	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	0.0204	0.0107
3	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	0.0285	0.0179
4	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	0.0082	0.0054
5	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	0.0148	0.0098
6	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	0.0039	0.0022
7	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	0.0066	0.0035

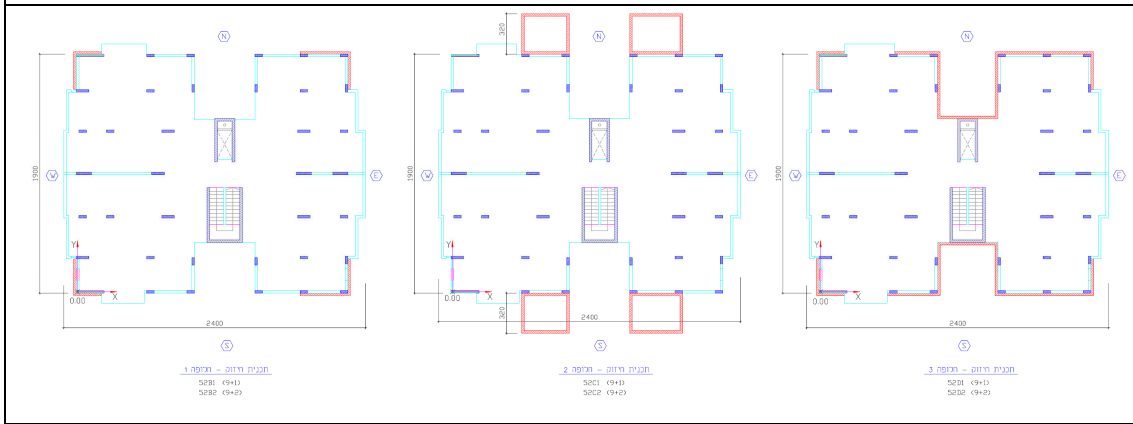
חישוב כוח הגזירה בסיסי המבנה				
מס"ד	תיאור המודל	מבנה בסיסי + מערכת החיזוק	כוח גזירה בסיסי Y כיוון [kN]	כוח גזירה בסיסי X כיוון [kN]
1	מבנה בסיסי	1934	0	1926
2	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2758	138	2577
3	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	2696	138	2962
4	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	3377	65	3285
5	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	4106	82	3993
6	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	3056	36	2965
7	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	3522	41	3393

טבלה 4.13 תוצאות חישוב המודלים השונים

4.4.4 – תוצאות אנליזת מבנה מס' 4 לפי ת"י 413



איור 4.15 תיאור המודל המבני לצורך האנליזה – מבנה בסיסי



איור 4.16 תיאור חלופות החיזוק שנבדקו

קומה	[33]	[32]	[30]	משקל כולל W	כוח גזירה Vi	יציבות קומתית θ
	הזזה [מ] δ_i	הסטה קומתית מחושבת $\Delta e_{l,i}$	הסטה קומתית גבולית $\Delta I_{,lim}$			
10	0.0798					
		0.0068	0.0120	2460	437.7	0.0446
9	0.0730					
		0.0102	0.0120	7380	1235.6	0.0711
8	0.0628					
		0.0103	0.0120	12300	1961.1	0.0754
7	0.0525					
		0.0103	0.0120	17220	2614.0	0.0792
6	0.0422					
		0.01	0.0120	22140	3194.3	0.0809
5	0.0322					
		0.0095	0.0120	27060	3702.1	0.0810
4	0.0227					
		0.0085	0.0120	31980	4137.3	0.0767
3	0.0142					
		0.0071	0.0120	36900	4500.1	0.0679
2	0.0071					
		0.0049	0.0120	41820	4790.2	0.0499
1	0.0022					
		0.0022	0.0120	46740	5007.9	0.0240
קרקע	0.0000					

קומה	[33]	[32]	[30]	משקל כולל W	כוח גזירה Vi	יציבות קומתית θ
	הזזה [מ] δ_i	הסטה קומתית מחושבת $\Delta e_{l,i}$	הסטה קומתית גבולית $\Delta I_{,lim}$			
10	0.0803					
		0.0107	0.0120	2460	437.7	0.0702
9	0.0696					
		0.0098	0.0120	7380	1235.6	0.0683
8	0.0598					
		0.0098	0.0120	12300	1961.1	0.0717
7	0.0500					
		0.0097	0.0120	17220	2614.0	0.0746
6	0.0403					
		0.0095	0.0120	22140	3194.3	0.0768
5	0.0308					
		0.009	0.0120	27060	3702.1	0.0767
4	0.0218					
		0.0081	0.0120	31980	4137.3	0.0730
3	0.0137					
		0.0067	0.0120	36900	4500.1	0.0641
2	0.0070					
		0.0049	0.0120	41820	4790.2	0.0499
1	0.0021					
		0.0021	0.0120	46740	5007.9	0.0229
קרקע	0.0000					

טבלה 4.14 תוצאות בדיקת הסטות בינקותיות ומקדם היציבות הקומתי θ

הערכת זמני המחזור והכוחות לפי ת"י 413							מס'ד	
Fh [kN]	Cd	Sa	זמן מחזור [Sec]	גובה המבנה [m]	משקל/מסת המבנה [kN]	תיאור המודל		
5343	0.107	0.375	0.644	30.2	49865	מבנה בסיסי	1	A0
6105	0.105	0.367	0.692	33.2	58224	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
6271	0.098	0.344	0.738	36.2	63804	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
7234	0.105	0.367	0.692	33.2	68991	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	4	C1
7437	0.098	0.344	0.738	36.2	75672	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	5	C2
6654	0.105	0.367	0.692	33.2	63454	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	6	D1
6839	0.098	0.344	0.738	36.2	69585	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	7	D2

חישוב הכוחות מאנליזה מודלית מרחבית			מס'ד	
כוח גזירה בסיסי X כיוון [kN]	כוח גזירה בסיסי Y כיוון [kN]	תיאור המודל		
5344	5343	מבנה בסיסי	1	A0
6106	6105	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
6270	6271	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
7005	7234	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	4	C1
7530	7470	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	5	C2
5481	6654	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	6	D1
6837	6839	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	7	D2

חישוב זמני המחזור מאנליזה מודלית			מס'ד	
זמן מחזור X כיוון [Sec]	זמן מחזור Y כיוון [Sec]	תיאור המודל		
1.26	1.17	מבנה בסיסי	1	A0
1.30	1.35	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
1.49	1.56	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
0.94	1.05	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	4	C1
1.09	1.23	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	5	C2
0.51	0.87	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	6	D1
0.59	1.02	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	7	D2

חישוב ההדוות בראש המבנה מאנליזה מודלית			מס'ד	
הזזה בראש המבנה X כיוון [m]	הזזה בראש המבנה Y כיוון [m]	תיאור המודל		
0.0798	0.0748	מבנה בסיסי	1	A0
0.0893	0.0951	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
0.1071	0.1150	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
0.0548	0.0667	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	4	C1
0.0679	0.0806	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	5	C2
0.0159	0.0455	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	6	D1
0.0196	0.0550	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	7	D2

חישוב כוח הגזירה בסיסי המבנה					מס'ד	
כיוון X מערכת חיזוק [kN]	כוח גזירה בסיסי מבנה בסיסי [kN]	כיוון Y מערכת חיזוק [kN]	כוח גזירה בסיסי מבנה בסיסי [kN]	תיאור המודל		
0	5344	0	5343	מבנה בסיסי	1	A0
3160	2946	2264	3841	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 1 קומה	2	B1
3248	3022	2325	3946	מבנה בסיסי + חיזוק קירות חלקיים תוספת 2 קומות	3	B2
5930	1075	4623	2611	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים, תוספת 1 קומה	4	C1
6181	1349	4772	2698	מבנה בסיסי + חיזוק באמצעות גרעינים תוספת 2 קומות	5	C2
5510	-29	5510	1144	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 1 קומה	6	D1
5668	1169	5668	1171	מבנה בסיסי + חיזוק קירות היקפיים תוספת 2 קומות	7	D2

טבלה 4.15 תוצאות חישוב המודלים השונים

5.1 מבוא:

ההבנה המעודכנת בעניין התנהגות מבנים בעת רעידת אדמה חזקה, וגם הנוהג של הנדסת רעידת אדמה נשלטים על ידי הקונספציה של ספיגת אנרגיה בתחום הלא-ליניארי של התגובה. כיום מושקעת תשומת לב מיוחדת עבור אבטחת המשיכות הכוללת הנדרשת במבנים למטרת ספיגת אנרגיה בעת אירוע סייסמי.

הדגש, בתכן לרעידת אדמה חזקה, על תכן האיזורים המיועדים לפלסטיפיקציה, על המשיכות (היכולת לחוות דפורמציות לא-אלסטיות) ועל הדרכים להקניית משיכות לאלמנטים ולמבנים. תכן ופירוט הזיון באלמנטים וחיבוריהם על מנת להבטיח התנהגות משיכה. הבדלים בפרטים ובפירוט הזיון יכולים להביא לאחר רעידת אדמה למבנה עם נזקים קשים או למבנה עם נזקים מינימליים הניתנים לתיקון.

הכוחות הסיסמיים, הנלקחים בחשבון בתכנון, הינם פחות מאלה המתאימים במקרה של תגובה ליניארית עבור עוצמת רעידת האדמה הנחשבת. שלמות המבנה, בתחום הלא-ליניארי של התגובה, חייבת להישמר. המערכות הקונסטרוקטיביות המתנגדות לכוחות הסיסמיים, צריכות לשמור על חלקים נכבדים של חוזקם בתחום הלא-ליניארי, בהשפעת מחזורי ההזזות הגורמים לירידה והתדרדרות בחוזק.

הקשיחות האפקטיבית של מבנה מבטון מזויין עם פירוט של הזיון כראוי, בתגובה לרעידת אדמה חזקה, יורדת ויכולת פיזור האנרגיה עולה. בהשוואה עם תאוצות התגובה וכוחות האינרציה האופקיים אשר היו מתקבלים אילו המבנה נשאר אלסטי ליניארי, שינויים אלה (ההקטנה בקשיחות והעליה בפיזור אנרגיה) נוטים להפחית את הערכים הללו (התאוצות והכוחות). כאשר החישוב הסיסמי הינו אלסטי ליניארי, יש להתחשב בסדיקה של הבטון. ניתן לקחת בחשבון את ההקטנה בקשיחות כתוצאה מהסדיקה באמצעות מומנט האינרציה. ההקטנה המומלצת בתקנים הינה מחצית מומנט האינרציה של החתך הבלתי סדוק.

דרגת אי סיום סטטית גבוהה במבנים, יכולה להבטיח מידת ספיגת אנרגיה גדולה יותר במבנה, דרך התהוות מספר רב יותר של פרקים פלסטיים, יחד עם יכולת רדיסטרבינציה מתאימה, המובטחת דרך כללי המשיכות המסופקים בתקנים. ניתן להשיג משיכות הולמת דרך פירוט מיוחד, מתאים ונכון של האיזורים המיועדים להוצרות פרקים פלסטיים, הנוצרים במהלך אירוע סייסמי, דרך הקניית יכולת סיבוב פלסטי באיזורים אלה (כגון קצוות קורות במסגרות). דרישות התקנים בנויות כך שיתאפשר לאלמנטים לפתח את התסבולת לכפיפה ולכח צירי לפני שמגיעים לתסבולת הגזירה או העיגון.

במקרים של חיזוק סייסמי של מבנים קיימים, המטרה של החיזוק הסיסמי היא שיפור ההתנהגות של המבנה הקיים בתגובה לאירוע סייסמי, להשגת התנהגות הולמת ברמה מקובלת בתגובה לרעידת אדמה חזקה. המבנים הקיימים, הדורשים חיזוק, בדרך כלל הינם חסרי פירוט מתאים ונכון של האיזורים המיועדים להוצרות פרקים פלסטיים, כך שאין להם יכולת מספיקה

לפיזור האנרגיה במהלך רעידת אדמה. לפיכך, יש לאמץ רמת משיכות נמוכה עבור ההתנהגות של המבנה המקורי, המבנה המחוזק ומערכת החיזוק.

כאמור, עליה בדרישות למשיכות קשורה עם ירידה ברמת הכניעה (בחוזק המבנה). מכאן הוראות התקנים, המחייבים חוזק גדול יותר (ע"י הכתבת כוחות תכן אופקיים מוגדלים) עבור מערכות בעלות משיכות קטנה יותר.

מכאן עבור חיזוק מבנים קיימים, ובעיקר אילו שנבנו לפני 1980, לא ניתן להתחשב ביותר מאשר רמת משיכות נמוכה עבור המבנה הקיים, עבור התוספת וגם עבור אלמנטי החיזוק, אשר יתוכננו לעבוד יחד כיחידה אחת.

כמו כן יש לדאוג לקשר טוב בין חלקי המבנה המיועדים לעבוד יחד כיחידה אחת. פתרונות החיזוק המוצעים מתבססים בעיקר על תוספת אלמנטים מבניים (קונסטרוקטיביים) קשיחים נוספים, אשר ביכולתם לשפר את ההתנהגות של המבנה. אלמנטים קשיחים אלה יקבלו אליהם את רוב הכוחות הסיסמיים בעת רעידת אדמה חזקה. ניתן לתכנן ולפרט, אלמנטים נוספים אלה, בהתאם להבנה ולידע ההנדסי העדכני והחדש שנצבר.

5.2 תהליך התכן:

מתוך החישוב הסייסמי של המבנה (אנליזה מודלית במקרה זה) בפעולת צירוף העומסים הסייסמי - שילוב מס' 7 (ראו ת"י 466/1 טבלה 2.1, מקדם הבטחון עבור שילוב העומסים עקב ר"א הינו 1.0 עבור קבועים, ערכי מקדם השכיחות לעומס שימושי לפי טבלה 8 ת"י 413), נקבל את הדיפורמציות (ההזזות), כוחות הגזירה ומומנטי הכפיפה ברכיבי ההקשחה של המבנה, בתלות ברמת המשיכות שנבחרה (רמת משיכות נמוכה במקרה זה).

עבור השלמת התכן של רכיבי ההקשחה ייקבעו בנוסף הכוחות הציריים ברכיבים אלה, המשעינים את התקרות. כוחות אלה בלתי תלויים ברמת המשיכות שנבחרה, הם כוללים את משקלם העצמי של רכיבי ההקשחה ואת העומסים המתמידים F_{sus} על התקרות, ניתנים לחישוב לפי איזורי ההשפעה של הרכיבים המשעינים את התקרה.

נפרט כאן את תהליך התכן של רכיבי ההקשחה מבטון מזוין לפי תקן ישראלי - ת"י 413 (תכן עמידות מבנים ברעידות אדמה), במקביל לפרק ד – תכן מערכות שלד מבטון מזוין, כולל מספור הסעיפים.

401. רמות משיכות

401. רמות משיכות
תכן המערכות הנושאות ייעשה באחת משלוש רמות משיכות שלחלו, בכפוף לתנאים שבסעיף 204.5. ככל שרמת המשיכות גבוהה יותר, יופחת גודל הכוח הסייסמי המחושב בעת התכן, לפי טבלה 5 ונוסחות (5), (6), (12), (22):
- רמת משיכות נמוכה ⁽⁷⁾ - רמת משיכות זו מתאימה למבנים שנתכנו כמפורט בחוקת הבטון, בתקן הישראלי ת"י 466 על חלקיו - בתוספת הדרישות המוגדרות בהמשך;

המבנה הקיים לפני החיזוק, והמבנה הקיים יחד עם מערכת החיזוק **ייבדקו** ברמת המשיכות הנמוכה. אין לצפות מהמבנה הקיים עמידה בדפורמציות התואמות את רמות המשיכות הגבוהות יותר. כמו כן, מערכת החיזוק (המתפקדת יחד עם המבנה הקיים) **תתוכנן** לפי רמת המשיכות הנמוכה.

402. תכונות חומרים

402. תכונות חומרים		
תכונות בטון ופלדה, לרמות המשיכות השונות, יהיו לפחות כנדרש בהמשך סעיף זה.		
402.1 בטון		
סוגי בטון רגיל ובטון עם אגרגט קל, יעמדו לפחות בדרישות שבטבלה 10.		
טבלה 10 - סוגי בטון מותרים ברמות המשיכות השונות		
סוג בטון		רמת המשיכות
לרכיבים אחרים	לרכיבים נושאים	
ב- 15 לפחות	ב- 20 לפחות	נמוכה
ב- 20 לפחות	ב- 30 לפחות	בינונית וגבוהה
402.2. פלדת זיון		
סוגי פלדת הזיון לבטון ברכיבים הנושאים עומס סיסמי יעמדו בדרישות התקנים הישראליים ת"י 4466 חלק 2 וחלק 3.		

סוג הבטון המינימלי המתאים לרמת משיכות נמוכה לפי טבלה 10 בתקן הינו ב-20. בהתחשב בסוג הבטון הנפוץ בעת הקמת המבנה הקיים, יילקח בחשבון סוג בטון ב- 20 לבדיקת המבנים הקיימים, לפי הטיפוסים שנבחרו כאן. בנושא פלדת הזיון, יש לציין שהתאפשר במבנים אלה, לפי התקנים (ת"י 4466), השימוש בפלדה מסוג מפותלת (אשר נאסר השימוש בה בשלב מאוחר יותר), בעלת חוזק ומשיכות נמוכים יותר (בערך 12% בחוזק) מהפלדה המצולעת, כמו כן התאפשר השימוש בפלדה הרגילה בעלת חוזק נמוך יותר משמעותית אולם משיכות גבוהה יותר מהפלדה המצולעת. נניח כאן, בבדיקת המבנים הקיימים, שנעשה שימוש בפלדה מצולעת. הבדיקה והחישוב כאן ייעשו על פי ת"י 413 והתקנים העדכניים.

403. מסגרות מרחביות כפיפות מבטון מזוין

מתוך התבוננות ובדיקה של 12 טיפוסים המבנים המוצעים להדגמה לפי תמ"א 38, במטרה לאתר ולבחור את מערכות ההקשחה להבטחת עמידות מבנים אלה ברעידות אדמה, ניתן להבחין שברוב המקרים מערכות השלד מורכבות מתקררות, קורות ועמודים עם קירות בניה מבלוקים בקומות מעל קומת עמודים מפולשת (כנראה ללא קורות קשר מה שמחייב להתחשב בגובה קומת קרקע גדול יותר).

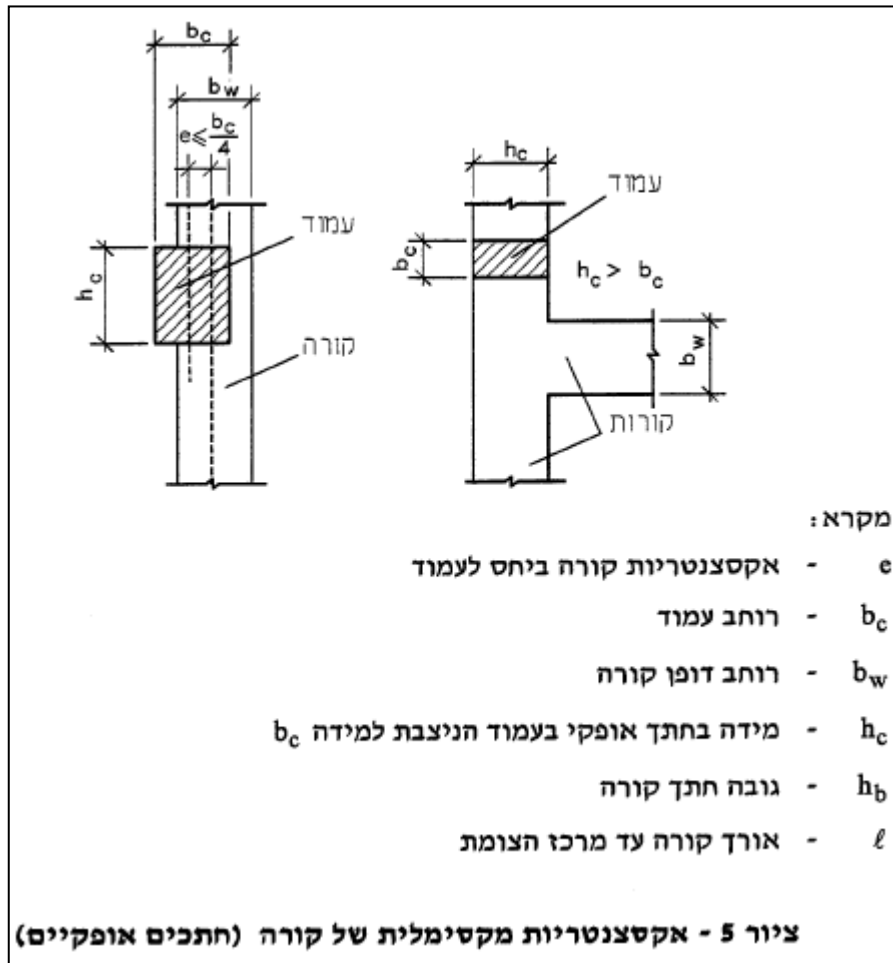
מערכות ההקשחה אשר ניתן לאתר במבנים קיימים אלה הינם מסגרות בלבד.

נפרט כאן את תהליך התכן עבור מסגרות מבטון מזוין ברמת המשיכות הנמוכה לפי ת"י 413. המגבלות המפורטות כאן על הקורות והעמודים (לפי ת"י 413) מטרותן:

- לקיים, בתגובה לרעידת אדמה, את התפישה (הקונספציה) התכנונית של עמוד חזק / קורה חלשה, כלומר לגרום להתפתחות פרקים פלסטיים בקורות קודם להיווצרות פרקים פלסטיים בעמודים, על מנת להבטיח מנגנון ספיגת אנרגיה יציב יותר.
- להגביל את האקסצנטריות בין הקורה לעמוד.
- להבטיח את המשיכות הנדרשת (בהתאם לרמת המשיכות) ואת כושר הסיבוב והדפורמציה בתגובה לעומס מחזורי.
- להבטיח שהכשל של חתכים בכפיפה (כשל משיך) יקדים את הכשל בגזירה ובעיגון (כשל פריך).

403.3.1. תכן קורות

<p>403.3.1 תכן קורות במערכת נושאת המתנגדת לעומס הסיסי - ייתכנו קורות כלהלן, כדי להבטיח את יכולתן לעמוד בעיוותים מחזוריים ברמת המשיכות שנבחרה, תוך שמירת חוזקן בכפיפה.</p> <p>403.3.1.1 הגדרת קורה במסגרות מרחביות כפיפות בתקן זה מוגדרת "קורה" כרכיב מוטרח בכפיפה, שאינו קיר, ושבמקרה החמור ביותר של שילובי עומס תכן, לרבות פעולה סיסמית, נושא כוח תכן צירי N_d, המקיים את תנאי (37) שלהלן (בין אם הרכיב אנכי, אופקי או אלכסוני):</p> $N_d \leq 0.1 A_g f_{cd} \quad (37)$ <p>שבו: N_d - כוח תכן צירי A_g - שטח חתך מלא של בטון ברכיב f_{cd} - חוזק תכן בלחיצה בבטון</p> <p>403.3.1.2 מידות חתך לקורות מידות החתך יקיימו דרישות גאומטריות אלו בכל קורה:</p> $b_w / h_c \geq 0.25 \quad (38)$ $\ell / h_b \geq 4 \quad (39)$ <p>ראו מקרא בציר 5. דרישות סעיף זה אינן חלות על קורות קשר בקירות הקשחה משולבים ועל קורות גבוהות.</p>



403.3.1.4. תכן קורות בגזירה

403.3.1.4 תכן קורות בגזירה
 קורות בגזירה במבנה, ייתכנו במצב גבולי של הרס לפי הדרישות שלהלן:
 - ברמת משיכות נמוכה ייתכנו הקורות לפי התקן הישראלי ת"י 466.

ברמת המשיכות הנמוכה, התכן וחישוב התסבולת של הקורה בגזירה ובכפיפה ייעשו לפי דרישות התקן הישראלי ת"י 466, במצב גבולי של הרס.

403.3.1.5 זיון אורכי בקורות

בכל אחת מרמות המשיכות יתקיים בכל חתך של קורה תנאי (44) שלהלן בתכן הזיון האורכי (לפי טבלה 13):

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max} \quad (44)$$

שבו:
 ρ - מנת זיון מתוח בחתך

בחתך שבו מתחלף סימן המומנט במצבי עמיסה שונים, יחול התנאי (44) הן על הזיון העליון והן על הזיון התחתון.

מנת הזיון האורכי המתוח בכל חתך לאורך הקורה תקיים את התנאי, עבור פלדה מצולעת (נוסחא 44 + טבלה 13 בתקן)

$$0.0035 = \rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max} = 0.0175$$

בחתכים בהם מתחלף סימן המומנט, בתגובה לעומס מחזורי, תנאי זה חל על הזיון העליון וגם על הזיון התחתון.

טבלה 13 - גבולי מנת זיון אורכי בקורות לסוגי פלדה שונים

נוסחה	סוגי פלדה		מנת זיון
	$\bar{\phi}$	ϕ	
$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_{sk}} = \frac{1.4}{1.15 f_{sd}}$	0.0035	0.0064	ρ_{\min}
$\rho_{\max} = 5 \rho_{\min}$	0.0175	0.0320	ρ_{\max}

מקרא לטבלה:

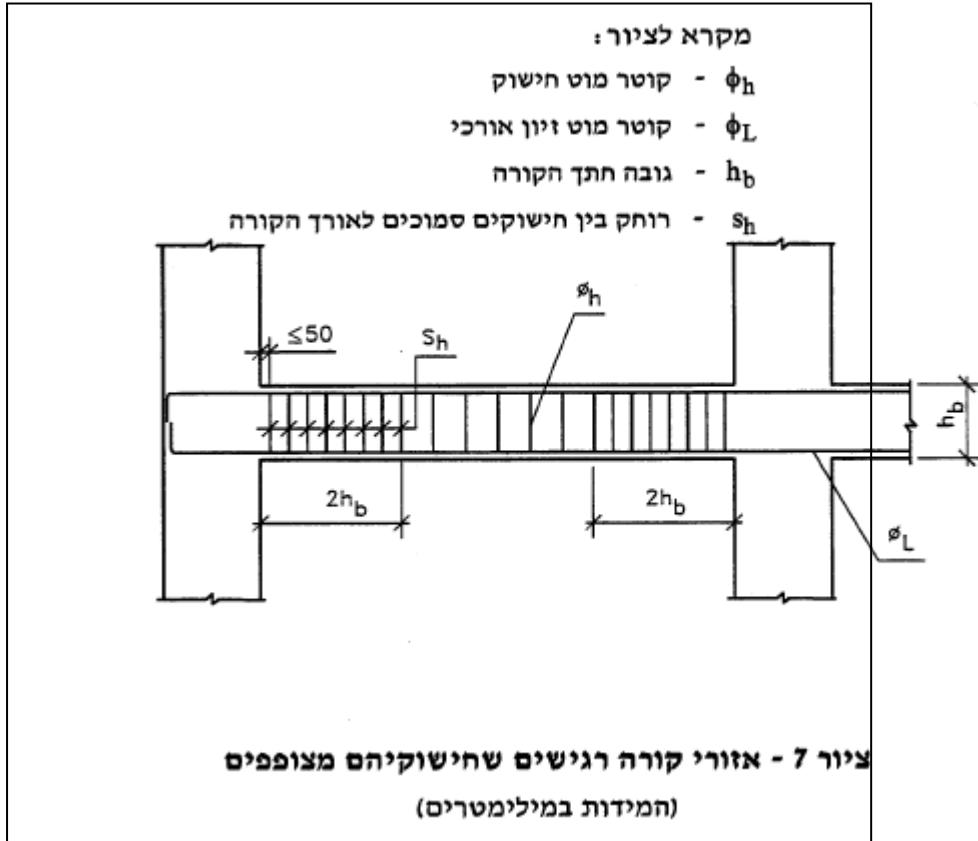
- ϕ - פלדה חלקה
- $\bar{\phi}$ - פלדה מצולעת
- ρ_{\min} - מנת זיון מינימלית
- ρ_{\max} - מנת זיון מקסימלית
- f_{sk} - חוזק כניעה אופייני של פלדת הזיון
- f_{sd} - חוזק התכן של פלדת הזיון



403.3.1.6 חישובים וזיון גזירה - דרישות מינימום

חישובים בקורה ייתכנו כנדרש בתקן הישראלי ת"י 466 על חלקיו, אך בלא להתחשב בעזרת הבטון לנשיאת כוחות הגזירה.

- מקומות אזורי קורה רגישים יהיו כלהלן (ציור 7):
- בכל קצה שדה, עד לרוחק שלהלן משפת העמוד:
- ברמת משיכות נמוכה: $1.0 h_b$;



חישובים לאורך הקורה יעמדו בדרישות תקן ישראלי ת"י 466, כאשר בחישוב הגזירה מועברים כל כוחות הגזירה לזיון הגזירה בהזנחת תרומת הבטון. תחומי האזורים הרגישים לאורך הקורה, ברמת משיכות נמוכה, יהיו באורך h_b (גובה הקורה) בקצוות כל שדה (משפת העמוד), לפי ציור 7 בתקן.

403.3.2. תכן עמודים

403.3.2 תכן עמודים

תכן עמודים לפי סעיף זה חל על כלל הרכיבים שאינם מקיימים את תנאי (37). עמודים ייתכנו לכוחות ציריים ולמומנטי כפיפה, המתקבלים מאנליזה לינארית למבנה, שבה נכללו שילובי עומס תכן החמורים ביותר. חתכי העמודים יקיימו את תנאי (50) שלהלן⁽⁶⁾:

$$\eta_d A_g f_{cd} \geq |N_d| > 0.1 A_g f_{cd} \quad (50)$$

כשערכו של המקדם η_d שונה בכל רמת משיכות:

ברמת משיכות גבוהה $\eta_d = 0.5$

ברמת משיכות בינונית $\eta_d = 0.6$

ברמת משיכות נמוכה $\eta_d = 0.7$

עמודים שהם חלק ממסגרות נושאות המתנגדות לעומס סיסמי⁽⁶⁾ יעמדו במגבלות ובדרישות אלה:

א. במסגרות שבהן יש 4 עמודים או יותר - מותרים מפרקים פלסטיים לכל היותר ברבע ממספר העמודים בכל מסגרת, בתנאי שכל שאר העמודים נשארים בתחום האלסטי.

ב. במבנים בני קומה אחת או שתיים, או בקומה עליונה במבנה רב-קומות, יהיה מספר העמודים שבהם מפרקים פלסטיים מוגבל למחצית מספר העמודים, בתנאי שנשמרת יציבות המבנה.

ג. תכן עמודים להטרחת משולבת בכפיפה, בכוח צירי ובגזירה ימנע אפשרות של התפתחות כשל (להבדיל מהופעת מפרק פלסטי).

ד. כשהמבנה מחושב באנליזה סטטית שקילה, כופלים את המומנטים המחושבים בעמודים במקדם ω לפי נוסחות (51) - (53) שלהלן:

$$\omega = 0.6 T + 0.85 \quad (51) \quad \text{במסגרת מישורית}$$

$$\omega = 0.5 T + 1.10 \quad (52) \quad \text{במסגרת מרחבית}$$

באילוץ שלהלן: $\omega \leq 1.50$, בשני המקרים;

$$\omega = 1.10 \quad (53) \quad \text{בבסיס העמוד, בשני המקרים}$$

בנוסחות שלעיל:

T - תקופה בסיסית של המבנה, (שניות).

התכן וחישוב התסבולת של העמוד בהטרחת המשולבת של כוח צירי, גזירה וכפיפה, ברמת המשיכות הנמוכה, ייעשו לפי דרישות התקן הישראלי ת"י 466 על חלקיו, במצב גבולי של הרס. גודל ההטרחות יתקבל מתוך שילוב העומסים הסיסמי במשולב עם הטרחות בהשפעת עומסי הגרביטציה. בנוסף, חתכי העמודים יקיימו את התנאים המפורטים בסעיף זה ואת ההגבלה על הכוח הצירי המקסימלי (המתקבל משילוב העומסים החמור ביותר) לפי נוסחא 50, ברמת המשיכות הנמוכה:

$$N_d \leq 0.7 A_g f_{cd}$$

403.3.2.1 מידות מינימליות

מידות חתך העמוד יתאימו לדרישות התקן הישראלי ת"י 466 על חלקיו.

403.3.2.2 זיון אורכי בעמודים	
בכל רמת משיכות, הזיון בעמודים שהם חלק ממערכת נושאת המתנגדת לעומס הסיסימי, יקיים את תנאי (54) שלהלן:	
באזור שאינו רגיש	$1\% \leq \rho_c \leq 6\%$ (א54)
באזור רגיש בעמוד	$1\% \leq \rho_c \leq 4\%$ (ב54)
שבו:	
ρ_c - מנת זיון אורכי כולל בעמוד	
הרוחק בין מוטות סמוכים של זיון אורכי לא יגדל מ-200 מ"מ. סידור המוטות בחתך יתאים לתכן החתך בכיוונים השונים. בכל רמות המשיכות לא תהיה חפיית זיון בתוך הצומת.	

מנת הזיון האורכי הכולל בעמודים ρ_c בכל רמות המשיכות יקיים את תנאי (54) בתקן. בכל רמות המשיכות לא תהיה חפיית זיון אורכי בתוך הצומת ולא בתחום איזור רגיש שבו עלול להיווצר מפרק פלסטי.

403.3.2.3 תכן עמודים בגזירה
עמודים בגזירה ייתכנו במצב גבולי של הרס. גודל כוח הגזירה ייקבע לפי חישוב הכוחות הסיסימיים.
במבנים ברמת משיכות נמוכה ייתכנו עמודים בגזירה לפי התקן הישראלי ת"י 466 על חלקיו.

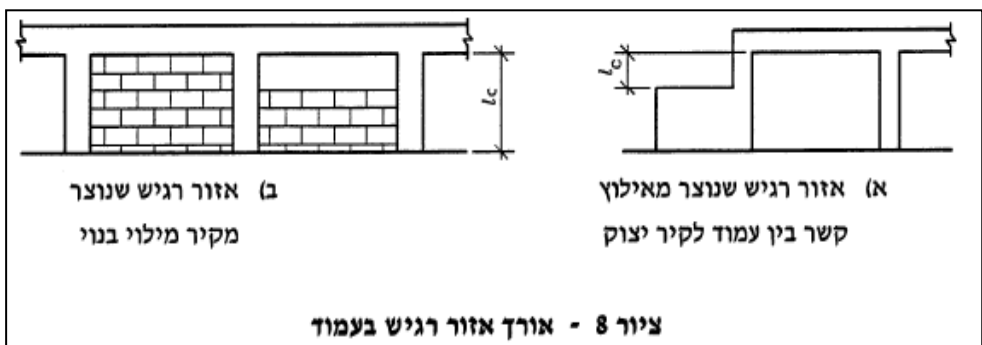
ברמת המשיכות הנמוכה, התכן לגזירה של עמודים ייעשה לפי דרישות התקן הישראלי ת"י 466, במצב גבולי של הרס.

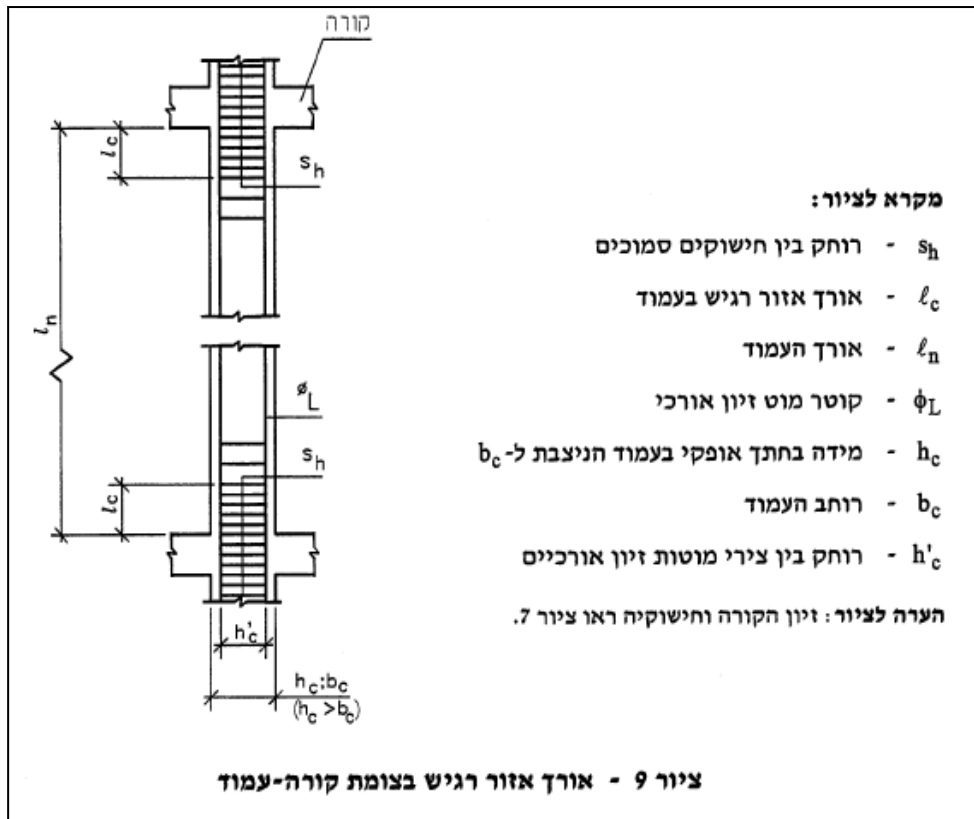
403.3.2.4 אזורים רגישים בעמודים
אזורים רגישים לגזירה בעמודים ברמות המשיכות השונות יהיו כלהלן:
- בכל רמת משיכות, בקטעים המסומנים ℓ_c בציר 8.
- ברמת משיכות נמוכה, בקטע שאורכו ℓ_c מעל ומתחת לקורה בצומת, לפי ציר 9, המקיים את תנאי (א57) שלהלן:
$\ell_c = \max [1.0 h_c ; \ell_n / 6 ; 450 \text{ מ"מ}]$ (א57)
חישוקים לכל אורך עמוד ברמת משיכות <u>בינונית</u> , ובאזור רגיש בעמוד זה ברמת משיכות <u>נמוכה</u> , ייתכנו לפי הדרישות שבטבלה 16.
באזורי עמוד לא רגישים ברמת משיכות נמוכה, יתאימו החישוקים למפורט בסעיף 403.3.2.3.

**טבלה 16 - דרישות לחישוקים באזורים שונים בעמוד
ברמת משיכות נמוכה וברמת משיכות בינונית**

פירוט הדרישות	
קוטר מינימלי לחישוק	$\phi_h \leq 8$ מ"מ,
אך לא פחות מאשר	$0.35 \phi_L \sqrt{f_{sd,L}/f_{sd,h}}$
רוחק בין חישוקים: באזור רגיש	
ברמת משיכות נמוכה	$s_h = \min [9 \phi_L; b_c / 2; 200 \text{ מ"מ}]$
ברמת משיכות בינונית	$s_h = \min [7 \phi_L; b_c / 3; 150 \text{ מ"מ}]$
באזור לא רגיש	
ברמת משיכות בינונית	$s_h = \min [12 \phi_L; b_c; 250 \text{ מ"מ}]$
מקרא לטבלה:	
- קוטר מוט חישוק	ϕ_h
- קוטר מוט זיון אורכי	ϕ_L
- רוחב העמוד	b_c
- רוחק בין חישוקים סמוכים לאורך העמוד	s_h
- חוזק תכן במתיחה בפלדת החישוקים	$f_{sd,h}$
- או בפלדת המוטות האופקיים (חישוקי קשר)	
- חוזק תכן במתיחה בפלדת זיון אורכי	$f_{sd,L}$

- חישוקי העמוד יורכבו גם בתחום הצומת (לכל גובה הקורות).
- ברמות משיכות נמוכה ובינונית, יימצא לפחות כל מוט אורכי שני בפינת חישוק.
- חפייה של זיון אורכי בעמוד, שהוא רכיב במסגרת נושאת המתנגדת לעומס סיסמי, לא תימצא בתחום אזור רגיש שבו עלול לחיוצר מפרק פלסטי.





הקוטר המקסימלי של מוטות זיון המעוגנים בתחום צומת קורה-עמוד יוגבל לפי הנוסחות שלהלן:

ברמת משיכות נמוכה:

$$\phi \leq 5.0 h_c \left(1 + \frac{0.8 N_{d,min}}{A_g f_{cd}} \right) \frac{f_{ctm}}{f_{sd}} \quad \text{(א45) בעמודים פנימיים במסגרת}$$

$$\phi \leq 7.0 h_c \left(1 + \frac{0.8 N_{d,min}}{A_g f_{cd}} \right) \frac{f_{ctm}}{f_{sd}} \quad \text{(ב45) בעמודים חיצוניים במסגרת}$$

תחומי האזורים הרגישים לגזירה בעמודים l_c , ברמת משיכות נמוכה, לפי המסומן בציורים 8, 9 בתקן. אורך התחום l_c מעל ומתחת לקורה בצומת הינו:

$$l_c = \max \{ 1.0 h_c, l_n / 6, 450 \text{ mm} \}$$

החישוקים לאורך העמוד ברמת המשיכות הנמוכה יעמדו בדרישות ת"י 466 ובתחומים הרגישים בעמוד יתאימו לדרישות טבלה 16 בת"י 413. למניעת קריסת מוטות הזיון האורכיים הלחוצים, לפחות כל מוט אורכי שני יהיה מוחזק בפנינת חישוק.

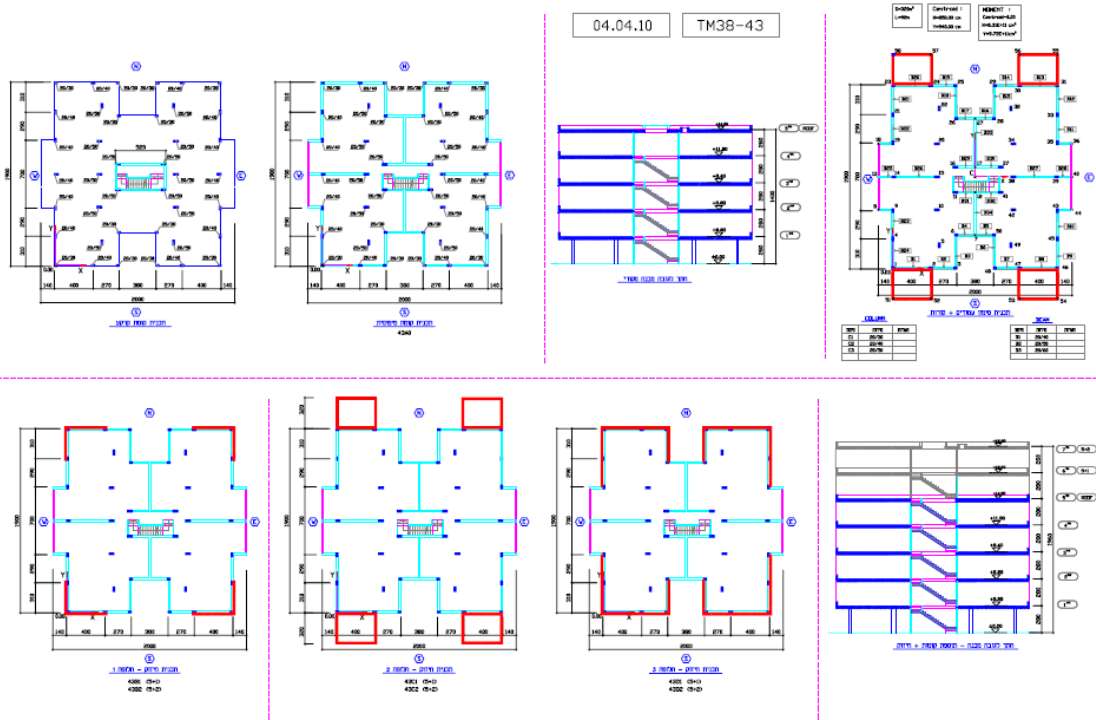
חישוקי העמוד יורכבו גם בתחום הצומת (לכל גובה הקורות).

בכל רמות המשיכות לא תהיה חפיית זיון אורכי בתוך הצומת ולא בתחום איזור רגיש שבו עלול להיווצר מפרק פלסטי.

נמשיך כאן בפירוט והדגמת תהליך התכן עבור קורות ועמודים במסגרת בעזרת דוגמא מספרית, יש לעקוב אחרי שלבי פתרון הדוגמא במקביל לפירוט סעיפי תהליך התכן כפי שפורט לעיל.

5.3 דוגמא מספרית:

הנתונים לדוגמא המספרית נלקחו מתוך קובץ התוצאות T38-43A0.FRM של תוכנת ETABS עבור המבנה המקורי (A0) לפני החיזוק (במטרה להדגים תכן מערכת הקשחה של מסגרת), של טיפוס T38-43 מתוך 12 הטיפוסים המוצעים להדגמה לפי תמ"א 38, כמובא באיור 5.1 להלן. איור 5.1 כולל את תכנית המבנה המקורי לפני החיזוק ואת תכניות המבנה המקורי יחד עם שלושת החלופות המוצעות עבור מערכות החיזוק הסיסמי. כמו כן האיור מכיל חתך המבנה יחד עם הקומות האופציונאליות הנוספות, אחת או שתיים. באיור 5.2 מפורטים מספרי ומימדי הקורות והעמודים. החישוב הסיסמי עבור המבנה נעשה באמצעות תוכנת ETABS בעזרת אנליזה מודאלית. פלט חלקי של התוצאות להדגמה נתון בטבלה מס' 5.1. הפלט כולל את ערכי התוצאות המירביות שהתקבלו בקומת הקרקע. תוצאות החישוב המודאלי עבור עמוד פינתי מס' 1 ישמשו להדגמת עמוד במסגרת. התוצאות עבור קורה B24 ישמשו להדגמת קורה במסגרת.



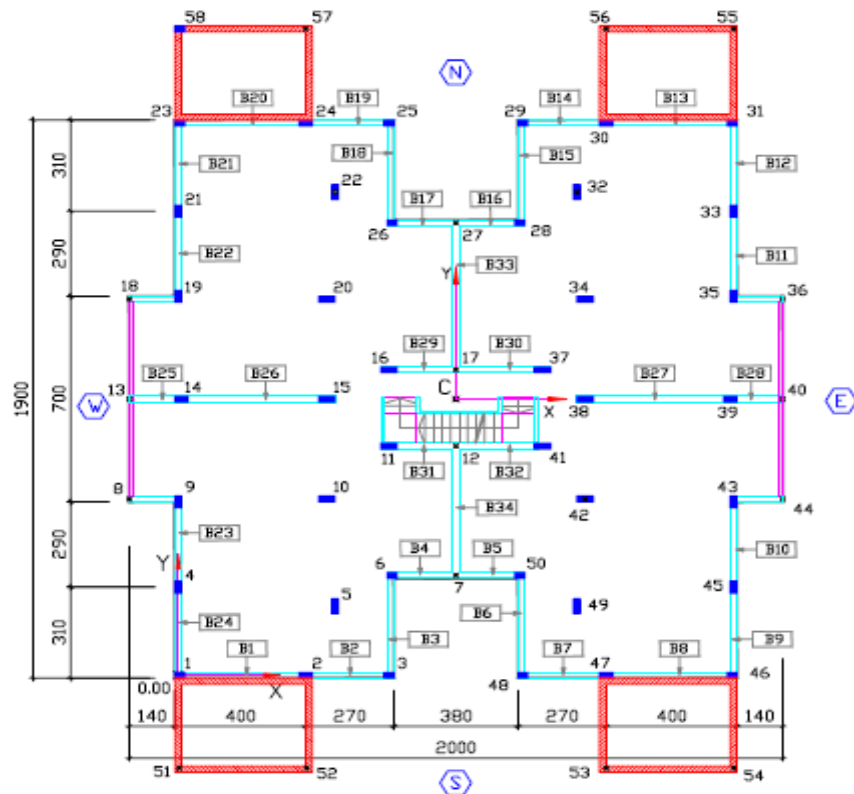
איור 5.1 – תכנית מבנה טיפוס T38-43

$\Sigma g_k = 6.5 \text{ KN/m}^2$ בהנחה שסך העומסים הקבועים על התקרה כולל משקל עצמי
 $q_k = 1.5 \text{ KN/m}^2$ העומס השימושי האופייני עבור מבנה מגורים
 ערך מקדם השכיחות לעומס שימושי לפי טבלה 8 ת"י 413 (ראו סעיף תהליך התכן) הינו 0.3
 עומס התכן על התקרה $F_d = 6.5 \text{ KN/m}^2 + 0.3 * 1.5 \text{ KN/m}^2 = 6.95 \text{ KN/m}^2$
 עומס שימושי על הקורה B24 $Q_k = 2.3 \text{ m} * 1.5 \text{ KN/m}^2 = 3.5 \text{ KN/m}$
 עומס קבוע על הקורה כולל קיר חיצוני $\Sigma G_k = 2.3 \text{ m} * 6.5 \text{ KN/m}^2 + 10 \text{ KN/m} = 25 \text{ KN/m}$
 עומס התכן על הקורה B24 $F_d = 25 \text{ KN/m} + 0.3 * 3.5 \text{ KN/m} = 26 \text{ KN/m}$
 העומס הצירי לעמודים יחושב לפי אזורי השפעה:
 שטח אזור ההשפעה בקומה אחת עבור עמוד מס' 1 הינו 3.3 מ"ר תקרה, 3.2 מ"א קירות חיצוניים.
 סה"כ עומס לעמוד מכל הקומות כולל קומת קרקע:
 $N_d = 5 * (3.3 \text{ m}^2 * 6.95 \text{ KN/m}^2 + 3.2 \text{ m} * 10 \text{ KN/m}) = 275 \text{ KN}$
 מידות עמוד מס' 1, 200/300 מ"מ.

S=320m²
L=92m

Centroid :
X=850.00 cm
Y=940.00 cm

MOMENT :
Centroid=0.00
X=8.31E+11 cm⁴
Y=9.72E+11cm⁴



תכנית סימון עמודים + קורות

COLUMN

סימון	מידות	הערות
C1	20/30	
C2	20/40	
C3	20/50	

BEAM

סימון	מידות	הערות
B1	20/40	
B2	20/50	
B3	20/60	

איור 5.2 – פרטי קורות ועמודים טיפוס T38-43

5 STORIES BUILDING

UNITS MASS [TON] ; LENGTH [M] ; FORCE [KN]

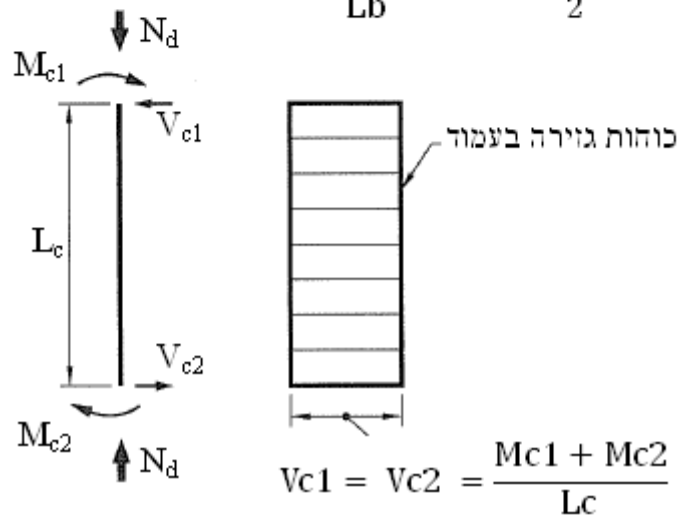
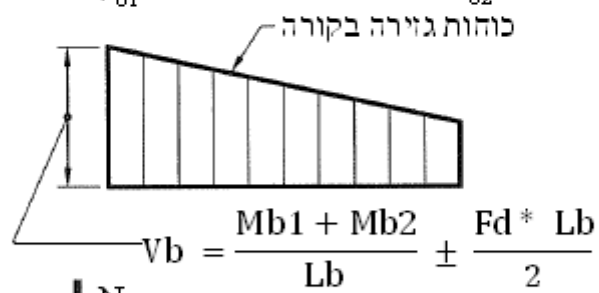
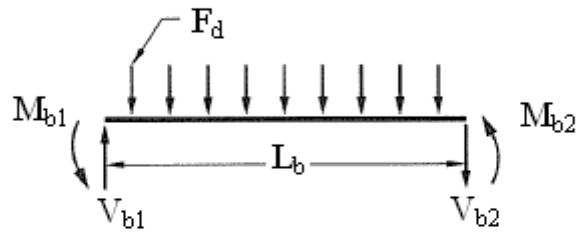
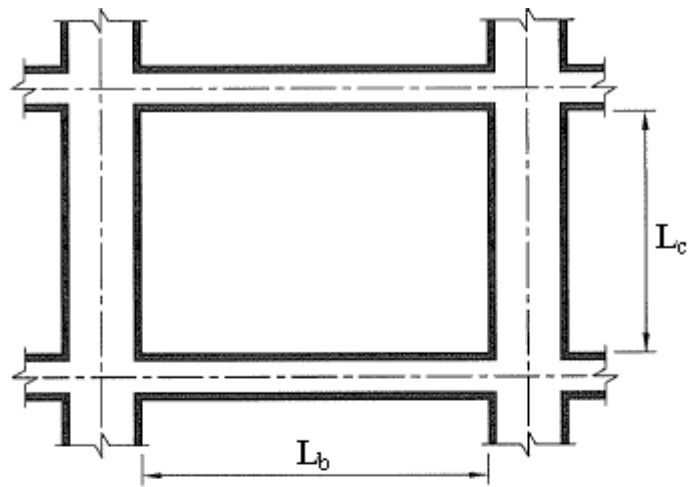
COLUMN FORCES AT LEVEL 1ST			IN FRAME MAIN_PIER					
COL ID	OUTPUT ID	OUTPUT POINT	MAJOR MOMENT	MAJOR SHEAR	MINOR MOMENT	MINOR SHEAR	AXIAL FORCE	TORSIONAL MOMENT
1	CASE 1	TOP	4.20	3.60	30.74	32.10	132.87	0.19
		BOTTOM	4.43		46.30			
1	CASE 2	TOP	50.49	44.93	1.83	1.24	376.52	0.00
		BOTTOM	57.34		1.13			
3	CASE 1	TOP	0.95	0.59	38.64	37.31	258.82	0.19
		BOTTOM	0.59		50.92			
3	CASE 2	TOP	41.27	38.79	1.66	1.07	203.15	0.00
		BOTTOM	51.84		0.91			
4	CASE 1	TOP	3.02	6.87	12.77	12.64	12.12	0.30
		BOTTOM	16.30		17.58			
4	CASE 2	TOP	0.07	0.05	168.19	170.39	197.91	0.00
		BOTTOM	0.06		240.81			
6	CASE 1	TOP	0.86	0.57	28.76	30.24	121.49	0.19
		BOTTOM	0.63		43.84			
6	CASE 2	TOP	45.63	41.69	3.54	2.32	202.96	0.00
		BOTTOM	54.43		2.03			

BEAM FORCES AT LEVEL 1ST			IN FRAME MAIN_PIER					
BAY ID	OUTPUT ID	OUTPUT POINT	MAJOR MOMENT	MAJOR SHEAR	MINOR MOMENT	MINOR SHEAR	AXIAL FORCE	TORSIONAL MOMENT
1	CASE 1	END-I	76.75	42.85	0.00	0.00	0.00	0.34
		END-J	75.37		0.00			
1	CASE 2	END-I	5.16	3.24	0.00	0.00	0.00	8.27
		END-J	6.35		0.00			
2	CASE 1	END-I	93.74	80.62	0.00	0.00	0.00	0.34
		END-J	87.66		0.00			
2	CASE 2	END-I	5.98	4.53	0.00	0.00	0.00	9.77
		END-J	4.21		0.00			
3	CASE 1	END-I	2.94	1.89	0.00	0.00	0.00	0.68
		END-J	3.11		0.00			
3	CASE 2	END-I	111.32	67.35	0.00	0.00	0.00	0.19
		END-J	104.20		0.00			
23	CASE 1	END-I	17.43	12.63	0.00	0.00	0.00	0.25
		END-J	15.41		0.00			
23	CASE 2	END-I	246.66	180.26	0.00	0.00	0.00	0.01
		END-J	222.01		0.00			
24	CASE 1	END-I	13.80	9.04	0.00	0.00	0.00	2.93
		END-J	10.62		0.00			
24	CASE 2	END-I	162.27	108.23	0.00	0.00	0.00	0.18
		END-J	129.96		0.00			

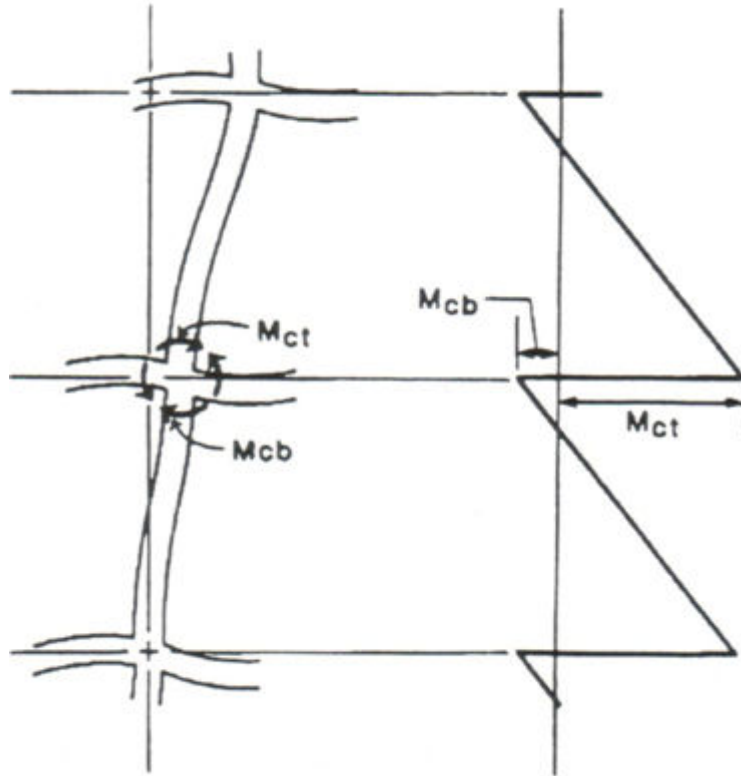
טבלה 5.1 – פלט חלקי של התוצאות הכולל את ערכי התוצאות המירביות שהתקבלו בקומת

הקרקע עבור קורות ועמודים טיפוס T38-43

נסכם כאן את התוצאות אשר ישמשו אותנו לתכן, מתוך פלט התוצאות המירביים עבור קומת הקרקע (לפי טבלה מס' 5.1). סיכום התוצאות עבור עמוד מס' 1 וקורה B24 ייעשה לפי הסימנים באיור מס' 5.3.



איור 5.3 – מומנטים וכוחות גזירה בקורה ובעמוד



איור 5.4 – תיאור הדפורמציות והסיבובים במסגרת הבלתי מוחזקת

תיאור סכמטי של מצב הדפורמציות והסיבובים המתקבל במסגרת הבלתי מוחזקת בהתאם למהלך המומנטים המתפתח לגובה העמוד נתון באיור 5.4.

עבור קורה B24:

$$F_d = 26 \text{ KN/m} \quad L_b = 2.7 \text{ m}$$

$$M_{b1} = 162.27 \text{ KN.m}$$

$$M_{b2} = 129.96 \text{ KN.m}$$

$$V_{b1} = 108.23 \text{ KN} + 26 * 2.7 / 2 = +143.33 \text{ KN}$$

$$V_{b2} = 108.23 \text{ KN} - 26 * 2.7 / 2 = +73.13 \text{ KN}$$

עבור עמוד מס' 1:

$$L_c = 2.4 \text{ m}$$

$$M_{c1} = 50.49 \text{ KN.m}$$

$$M_{c2} = 57.34 \text{ KN.m}$$

$$V_{c1} = V_{c2} = 44.93 \text{ KN}$$

$$N_d = 376.52 \text{ KN}$$

עמוד במסגרת כפיפה:

סה"כ העומס הצירי בעמוד בתוספת השפעת עומסי הגרביטציה יהיה:

$$N_d = 376.52 \text{ KN} + 275 \text{ KN} = 651.52 \text{ KN} > 0.7 A_g f_{cd} \quad (403.3.2)$$

מבדיקת המגבלה לפי סעיף 403.3.2: $0.7 A_g f_{cd} = 0.7 * 200 * 300 * 8.6 * 10^{-3} = 361.2 \text{ KN}$
לא עומד במגבלה.

במטרה להמשיך ולהדגים את תהליך התכן עבור עמודים, לאחר המסקנה שעמוד מס' 1 לא עומד בדרישות התכן, נדגים את החישוב עבור עמוד מס' 4 במידות 200/400 מ"מ, נסכם את התוצאות:

$$L_c = 2.4 \text{ m}$$

$$M_{c1} = 168.19 \text{ KN.m}$$

$$M_{c2} = 240.81 \text{ KN.m}$$

$$V_{c1} = V_{c2} = 170.39 \text{ KN}$$

$$N_d = 197.91 \text{ KN}$$

שטח אזור ההשפעה בקומה אחת עבור עמוד מס' 4 הינו 8.3 מ"ר תקרה, 3.6 מ"א קירות חיצוניים.

סה"כ עומס גרביטציוני לעמוד מכל הקומות כולל קומת קרקע:

$$N_d = 5 * (8.3 \text{ m}^2 * 6.95 \text{ KN/m}^2 + 3.6 \text{ m} * 10 \text{ KN/m}) = 468.4 \text{ KN}$$

סה"כ העומס הצירי בעמוד בתוספת השפעת עומסי הגרביטציה יהיה:

$$N_d = 197.91 \text{ KN} + 468.4 \text{ KN} = 666.31 \text{ KN} > 0.7 A_g f_{cd} \quad (403.3.2)$$

מבדיקת המגבלה לפי סעיף 403.3.2: $0.7 A_g f_{cd} = 0.7 * 200 * 400 * 8.6 * 10^{-3} = 481.6 \text{ KN}$
גם עמוד מס' 4 לא עומד במגבלה.

נחזור למהלך התכנון של עמוד מס' 1 במידות 200/300 מ"מ ונדגים את המשך תהליך התכן למרות אי-העמידה במגבלה לעיל.

נתכנן את חתך העמוד המוטרח ביותר עבור עומס צירי 651.52 KN ומומנט 57.34 KN.m , אלמנט בלתי מוחזק.

עמוד מס' 1 הינו עמוד פינתי (ראו תכנית קומה), הקורות המרסנות את הסיבוב בקצוות שלו (העליון והתחתון), בכיוון החלש של העמוד ($h = 200 \text{ mm}$) הן הקורות B24 במידות 200/500 מ"מ עם מפתח נקי 2.7 מ".

תכן אלמנטים לחוצים נעשה לפי חוקת הבטון ת"י 466 חלק 2 פרק 24. לפי השיטה המקורבת כאשר חתך הבטון והזיון קבועים לכל גובה הקומה סעיף 24.1.2.

נתחיל בקביעת האורך הפעיל סעיף 24.1.2.1 במטרה לקבוע את התמירות של האלמנט.

$$l_e = k \cdot l$$

ערך המקדם k עבור עמוד בלתי מוחזק הינו הקטן מבין :

$$k = 1.0 + 0.15 (\alpha_1 + \alpha_2)$$

$$k = 2.0 + 0.30 \alpha_{\min}$$

המקדמים α_1, α_2 מבטאים את הגמישות היחסית לסיבוב של החיסומים (הקורות) בקצוות 1, 2 בהתאמה של קצוות העמוד (העליון והתחתון). ניתן לחשב מקדמים אלה מתוך סכום הקשיחויות לכפיפה של העמודים מחולק בסכום הקשיחויות לכפיפה של הקורות המחוברים באותה צומת. לדוגמא בקומת ביניים עבור עמוד פינתי נפגשים בצומת שני עמודים וקורה אחת, הגמישות היחסית לסיבוב גדולה (כלומר קשיחות קטנה), במקרה זה α שווה:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 2 * [(300 * 200^3 / 12) / 2400] / [(200 * 500^3 / 12) / 2700] = 0.216$$

בגלל הקשיחות הגדולה של הקורה יחסית לעמוד קבלנו ערך נמוך!
עבור עמוד בקומת קרקע בהנחת ריתום ביסוד:

$$\alpha = 1.0$$

$$k = 1.0 + 0.15 * (1.0 + 0.216) = 1.18$$

$$l_e = 1.18 * 2.4 = 2.83 \text{ m}$$

התמירות λ עבור עמוד מלבני שווה:

$$\lambda = l_e * \sqrt{12} / h = 2.83 * \sqrt{12} / 0.2 = 49 > 40$$

מסקנה האלמנט תמיר, החישוב נעשה לפי סעיף 24.1.2.3. מתחשבים באקסצנטריות נוספת מסדר שני עקב הדיפורמציה של האלמנט אשר תבוטא לפי הביטוי:

$$\Delta e = 5 \cdot 10^{-4} \cdot k_1 \cdot \frac{l_e^2}{h}$$

עבור חתך מלבני ניתן לרשום:

$$\Delta e = k_1 \cdot \lambda^2 \cdot h / 24000$$

$$k_1 = \frac{A_c f_{cd}}{2 N_{od}} \leq 1.0$$

$$k_1 = (200 * 300 * 8.6) / (2 * 651520) = 0.396$$

$$\Delta e = 0.396 \cdot 49^2 \cdot 200 / 24000 = 7.9 \text{ mm}$$

החתך הקריטי של אלמנט תמיר יחושב לכווה ומומנט תכן מוגדלים לפי מקדם ההתנהגות γ_{n1} אשר ערכו שווה 1.2:

$$N_d = \gamma_{n1} \cdot N_{od}$$

$$M_d = \gamma_{n1} (M_{od} + N_{od} \Delta e)$$

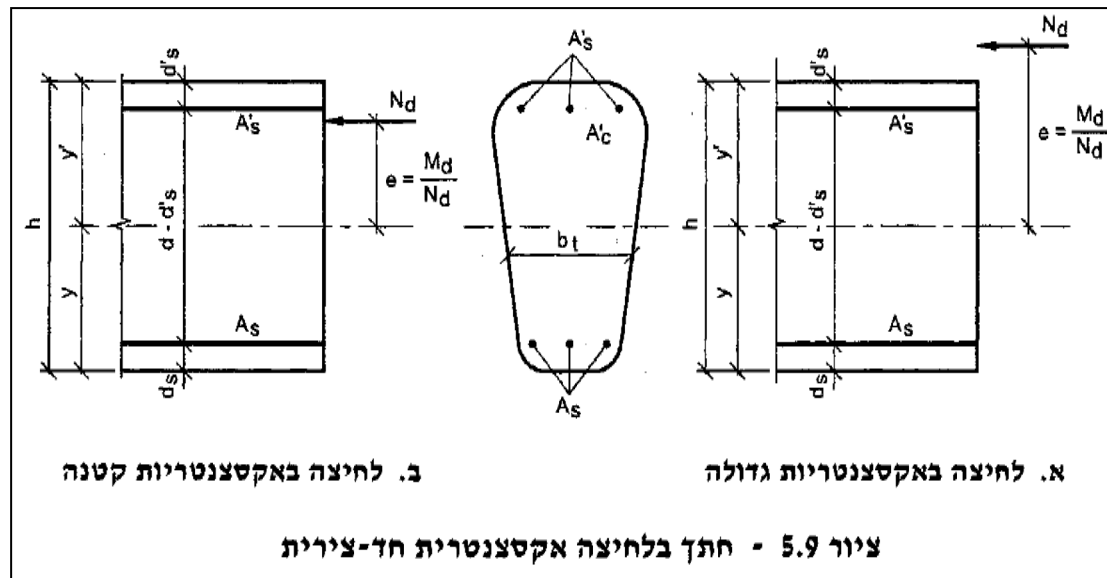
$$N_d = 1.2 * 651.52 \text{ KN} = 781.8 \text{ KN}$$

$$M_{e2} = 1.2 * (57.34 \text{ KN.m} + 651.52 \text{ KN} * 0.0079 \text{ m}) = 74.98 \text{ KN.m}$$

$$e_d = 74.98 \text{ KN.m} / 781.8 \text{ KN} = 0.0959 \text{ m}$$

מכאן עוברים לתכן חתכים בלחיצה אקסצנטרית אשר ייעשה לפי חוקת הבטון ת"י 466 חלק 1 סעיף 5.4. לפי השיטה המקורבת, ראו להלן ציור 5.9 מהתקן:

4.5. תכנן מקורב של חתך בלחיצה אקסצנטרית חד-צירית



נסכם את הנתונים של החתך ושל ההטרחות:

עמוד מלבני במידות 200/300 מ"מ, נבדק בכיוון החלש שלו ($h = 200\text{mm}$), סוג הבטון ב-20 ($f_{cd} = 8.6\text{ MPa}$), פלדה מצולעת ($f_{sd} = 350\text{ MPa}$).

$$N_d = 781.8\text{ kN}, \quad M_{c2} = 74.98\text{ kN.m}, \quad e_d = 0.0959\text{ m}$$

בהנחה שעובי בטון הכיסוי לפלדה הינו 20 מ"מ, קוטר מוטות הזיון 12 מ"מ, ניתן להניח $d_s = 35\text{ mm}$.
 $d = 0.165\text{ m}$ כלומר בהתאם להגדרה בתקן, זהו מקרה של אקסצנטריות גדולה:

א. לחיצה באקסצנטריות גדולה - כאשר כוח התכן האורכי בלחיצה פועל במישור הסימטרייה של החתך וקו פעולתו נמצא מחוץ למרווח שבין מרכזיות החתכים של הזיון המתוח A_s ושל הזיון הלחץ A'_s הקרוב לקו פעולת הכוח (ציור 5.9).

$$M_{sd} = N_d (e + y - d_s) \quad (5.21)$$

$$M_{sd} = 781.8 (0.0959 + 0.1 - 0.035) = 125.8\text{ kN.m}$$

נשווה ערך זה עם $M_{cd,max}$ לפי נוסחה 5.11 בתקן עבור חתך מלבני במטרה לבדוק אם נדרש זיון לחוץ:

$$M_{cd,max} = 0.32 b d^2 f_{cd} \quad (5.11)$$

$$M_{cd,max} = 0.32 * 300 * 0.165^2 * 8.6 = 22.5\text{ kN.m}$$

M_{sd} יותר גדול מ- $M_{cd,max}$ מסקנה שצריך זיון לחוץ לפי נוסחא 5.23 בתקן:

$$A'_s = \frac{M_{sd} - M_{cd,max}}{(d - d'_s) f'_{sd}} \geq A'_{s,min} \quad (5.23)$$

$$A'_s = (125.8 - 22.5) / [(0.165 - 0.035) * 0.350] = 2270 \text{ mm}^2$$

כמות זו עבור צד אחד של החתך, במידה והזיון הלחוץ יהיה המקסימלי והוא אשר יקבע את הכמות הכוללת של הזיון האורכי בחתך, הכמות הכוללת תהיה כפולה מאשר התקבל, כלומר 4540 mm^2 . לפי סעיף 403.3.2.2 מנת הזיון האורכי הכולל המקסימלית בעמודים ρ_c בכל רמות המשיכות באיזור רגיש בעמוד תקיים את תנאי (54) בתקן ולא תעלה על 4%.

$$0.04 * 200 * 300 = 2400 \text{ mm}^2$$

כלומר מגבלה זו לא מתקיימת וזה לא תקני.

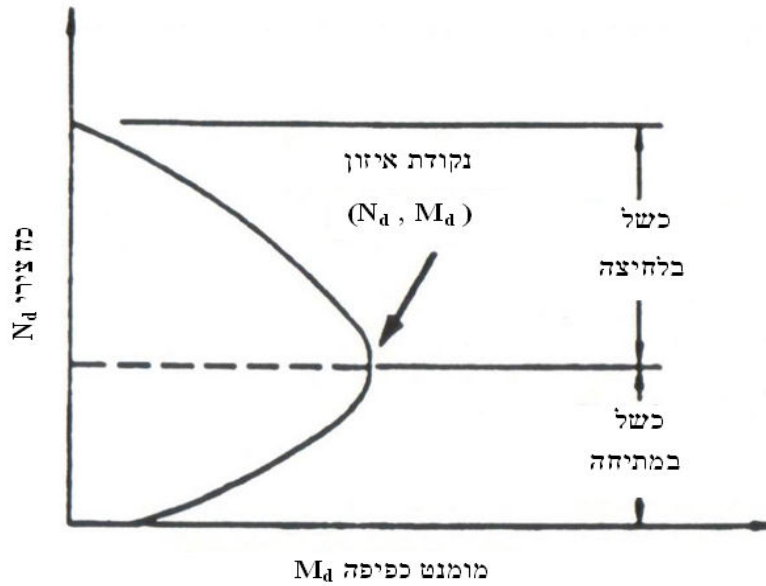
למען המשך הדגמת התהליך נחשב את כמות הזיון המתוח בחתך לפי נוסחא 5.22 בתקן:

$$A_s = A'_s \frac{f'_{sd}}{f_{sd}} + \left[\frac{M_{cd}}{z} - N_d \right] / f_{sd} \geq A_{s,min} \quad (5.22)$$

$$A_s = 2270 + [22.5 / (0.8 * 0.165) - 781.8] / 0.350 = 523 \text{ mm}^2$$

כלומר הזיון בצד המרוחק יותר מקו פעולת כח הלחיצה החיצוני כן נמתח, אולם הכמות הנדרשת יותר קטנה מזו הנדרשת בצד הלחוץ. היות ובתגובה לרעידות אדמה, הזיון בצד אחד יכול להיות פעם מתוח ופעם אחרת לחוץ, לכן תקבע כמות הזיון הנדרשת הגדולה יותר - הזיון הלחוץ במקרה זה, אולם כפי שצוין לעיל, כמות זו לא תקנית.

דרך נוספת לבדיקת העמודים הינה לבנות את עקומות האינטראקציה (ראו איור 5.5) עבור סוגי החתכים השונים השכיחים במבנה ולהשוות את צירופי הכוחות הציריים והמומנטים המתקבלים מהחישובים עם התסבולות המתקבלות לפי עקומות האינטראקציה. שימוש בתוכנות מחשב דוגמת תוכנת column של חברת עתיר מספק את הדרישה.



איור 5.5 – עקומת אינטראקציה

נעבור להדגמת תכן עמודים בגזירה לפי סעיף 403.3.2.3. כמוזכר לעיל ברמת המשיכות הנמוכה, התכן לגזירה של עמודים ייעשה לפי דרישות התקן הישראלי ת"י 466, במצב גבולי של הרס.

מתוך סיכום התוצאות לתכן לעיל (ראו איור מס' 5.3), הערכים לחישוב הגזירה עבור עמוד מס' 1 הינם:

$$V_{c1} = V_{c2} = 44.93 \text{ KN}$$

כוחות הגזירה המקסימליים מתקבלים בתוך תחומי האזורים הרגישים לגזירה בעמודים l_c , ברמת משיכות נמוכה, לפי המסומן בציור 9 בתקן. אורך התחום l_c מעל ומתחת לקורה בצומת הינו 450 מ"מ:

$$l_c = \max \{ 1.0 h_c, 2.4 \text{ m} / 6, 450 \text{ mm} \} = 450 \text{ mm}$$

תכן ופירוט האזורים הרגישים בעמודים יעמדו בדרישות סעיף 403.3.2.4. החישוקים לאורך העמוד ברמת המשיכות הנמוכה בתחומים הרגישים בעמוד יתאימו לדרישות טבלה 16 בת"י 413. חישוקי העמוד יורכבו גם בתחום הצומת (לכל גובה הקורות).

קוטר מינימלי לחישוק 8 מ"מ, יש להניח שבבניינים אלה בתקופת הקמתם נעשה שימוש לרוב בחישוקים מפלדה רגילה קוטר 6 מ"מ.

רוחק בין חישוקים:

$$s_h = \min [9\phi_L ; b_c/2 ; 200_{\text{mm}}]$$

$$s_h = \min [9*6 ; 200/2 ; 200_{\text{mm}}] = 100_{\text{mm}}$$

כלומר גם מבחינת המרחק בין החישוקים באזורים הרגישים, גם לא בתחום הצומת לגובה הקורה, אין התאמה לדרישות התכן והפירוט בתקנים הסיסמיים.

קורה במסגרת כפיפה:

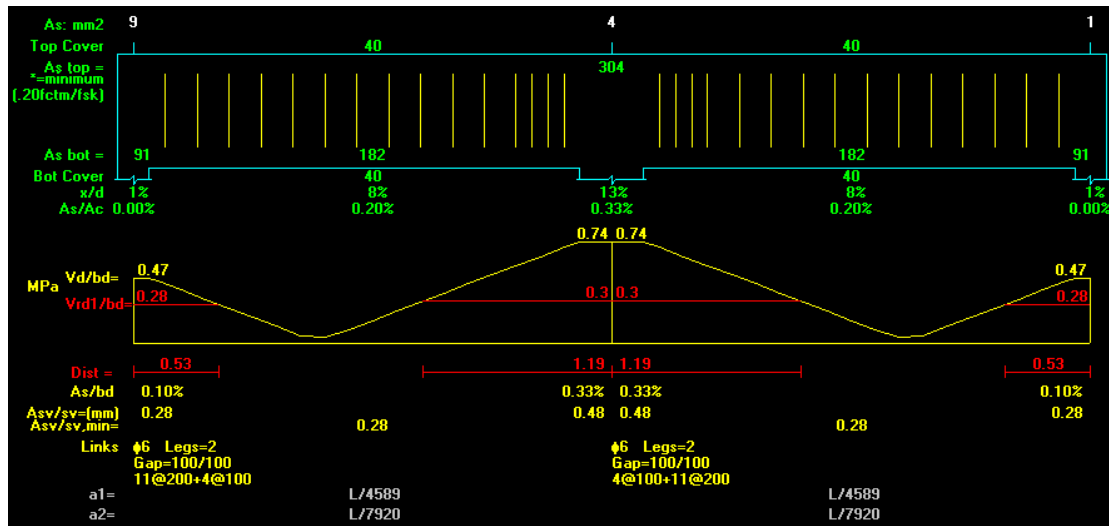
נחשב את הקורה B24 (200/500) למצב העמסה נוסף של הצירוף הרגיל של העומסים הקבועים והשימושיים.

נפרט כאן את הנתונים והתוצאות תוך שימוש בתוכנת עתיר BEAMD לחישוב קורות מבטון מזויין עבור הקורה B24 בת שני שדות במפתח צירי 3.0 מ', הנשענת על העמוד הפינתי מס' 1, עמוד השפה מס' 4 ועמוד מס' 9.

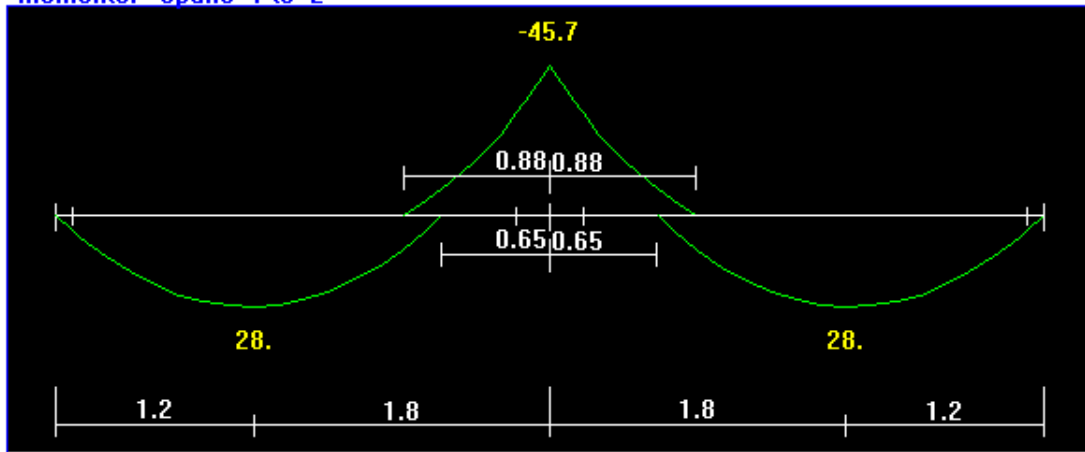
עומס קבוע על הקורה כולל קיר חיצוני $\Sigma G_k = 25 \text{ KN/m}$ קורה

עומס שימושי $Q_k = 3.5 \text{ KN/m}$ קורה

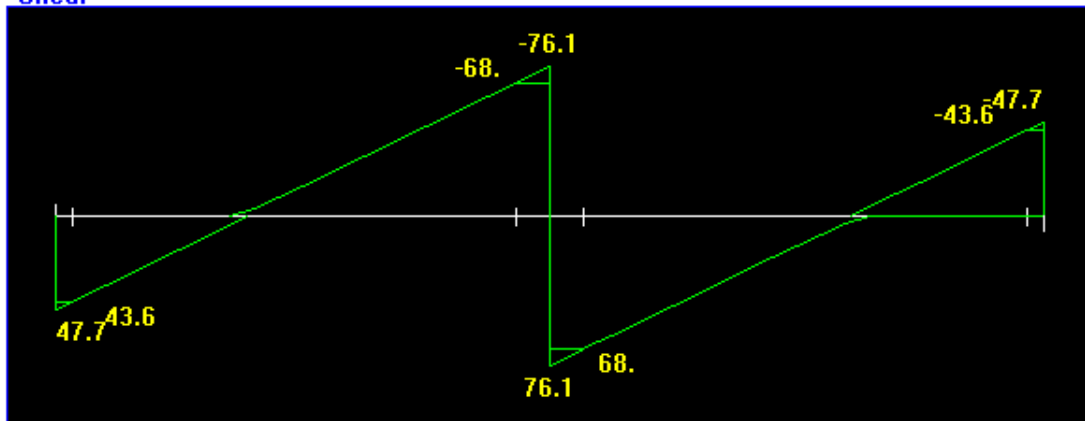
פלדת הזיון האורכי נבחרה מסוג מצולעת כפי שצוין קודם אולם הפלדה לחישוקים נבחרה מסוג פלדה רגילה כפי שכנראה השתמשו בפועל בבניינים אלה.



Moments: spans 1 to 2

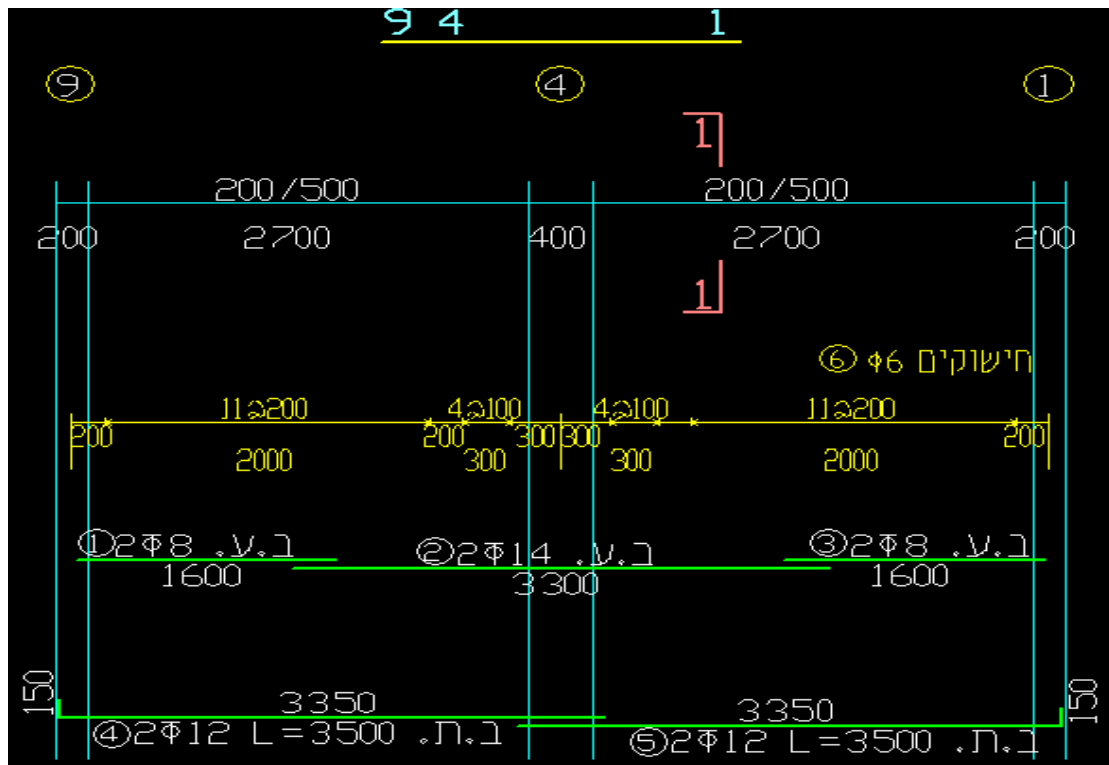
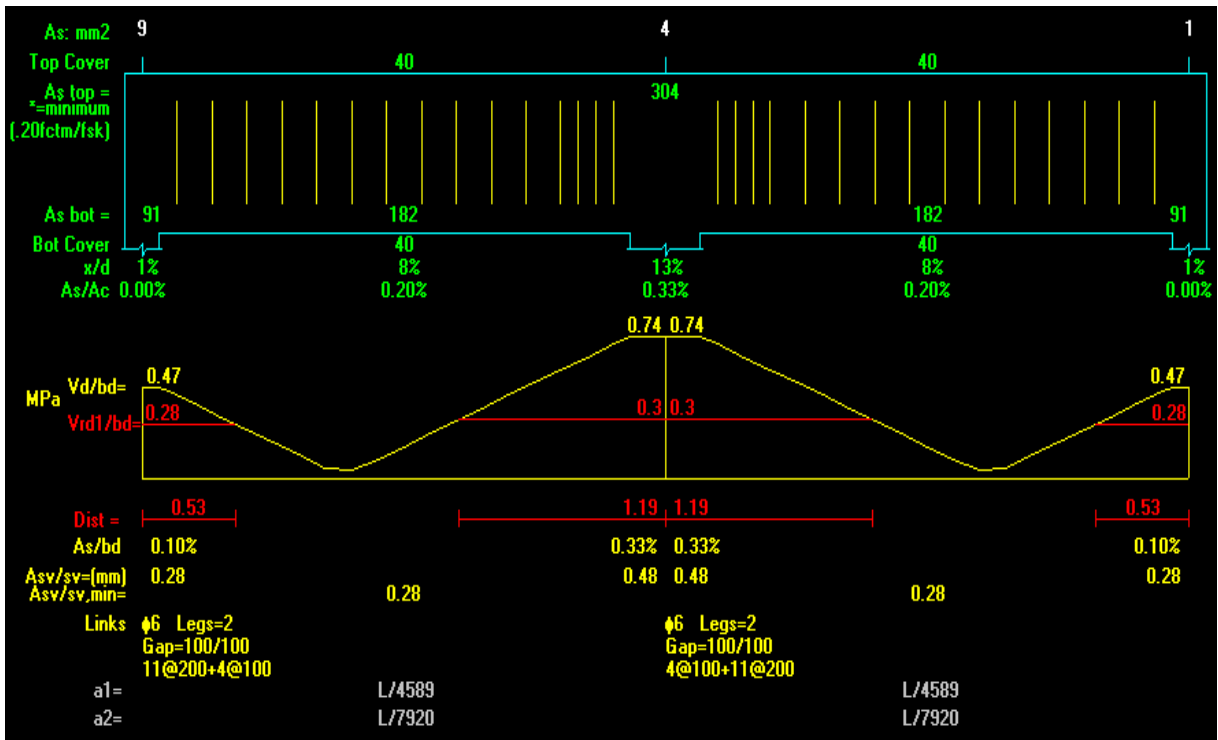


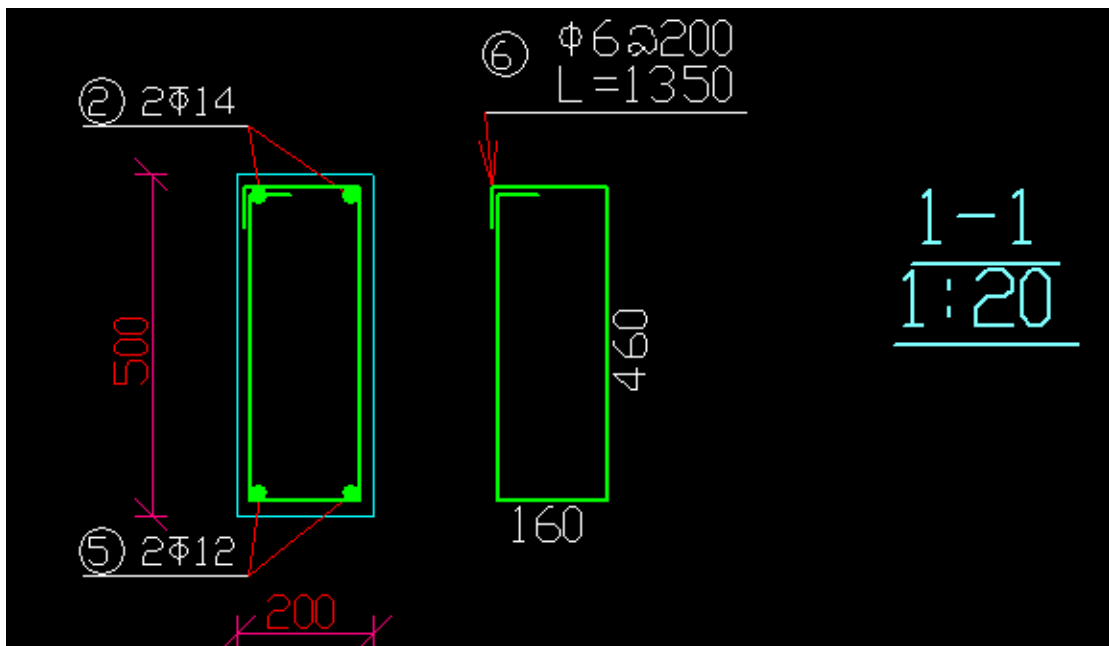
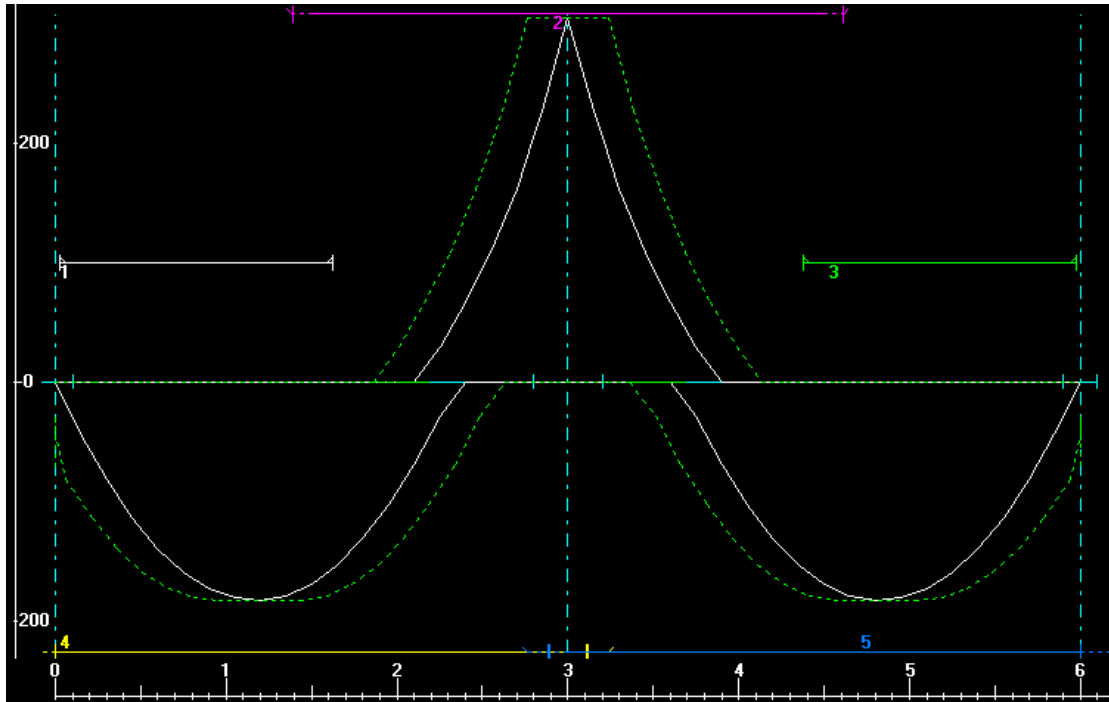
Shear



Reactions

Factored		
DeadR	40.31	40.31
LiveR	7.35	7.35
MaxR	47.66	47.66
MinR	31.76	31.76
Service		
DeadR	28.12	28.12
LiveR	4.59	4.59
MaxR	32.72	32.72
MinR	27.47	27.47





התוצאות תוך שימוש בתוכנת עתיר

כנהוג בחישוב רגיל של הקורה, נלקח שהקורה נשענת על העמוד בהשענה פרקית (מומנט אפס), אולם היות ודנים כאן במבנה ללא קירות הקשחה או גרעינים, חובה להתחשב בפעולת מסגרת לקבלת הכוחות כתוצאה מרעידת אדמה. כלומר הצומת החיצונית חייבת לעמוד במומנטים שליליים גדולים, וזה לא מתאפשר במבנים קיימים.

נדגיש כאן לפי התוצאות שהתקבלו שהקורה הקיימת לא תוכל לעמוד במומנט שלילי גדול בצומת המסגרת בחיבור בין העמוד הפינתי 1 לבין הקורה B24 בגלל כמות זיון מינימלית $2\Phi 8$ ועיגון לא מספיק (כנהוג באותם שנים).

נדגים כאן תכן קורות בגזירה לפי סעיף 403.3.1.4, כמוזכר לעיל ברמת המשיכות הנמוכה, התכן וחישוב התסבולת של הקורה בגזירה ובכפיפה ייעשו לפי דרישות התקן הישראלי ת"י 466, סעיף 5.7, במצב גבולי של הרס, כאשר בחישוב הגזירה מועברים כל כוחות הגזירה לזיון הגזירה בהזנחת תרומת הבטון.

מתוך סיכום התוצאות לתכן לעיל, הערך המירבי לחישוב הגזירה (ראו איור מס' 5.3) עבור קורה B24 הינו:

$$V_{b,max} = +143.33 \text{ KN}$$

$$(n * A_{sv}) / s_v = V_d / (0.9 * d * f_{sdv})$$

$$2*28 / s_v = 143330 / (0.9 * 165 * 200) = 4.8 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$s_v = 11.6 \text{ mm}$$

$(n * A_{sv})$ מבטא את סה"כ שטח חתך החישוקים הדרוש, כאשר n מבטא את מספר החישוקים, A_{sv} מבטא שטח חתך כל ענפי חישוק אחד, s_v המרחק בין החישוקים. $f_{sdv} = 200 \text{ MPa}$ חוזק התכן של פלדת החישוקים, אנו מניחים שנעשה שימוש בפלדה רגילה, חישוק אחד סגור (שני ענפים) קוטר 6 מ"מ. התוצאה המתקבלת לא תואמת את דרישות התכן והפירוט לגזירה!

לפי סעיף 403.3.1.6 (ראו לעיל), חישוקים וזיון גזירה – דרישות מינימום, חישוקים לאורך הקורה יעמדו בדרישות תקן ישראלי ת"י 466. תחומי האזורים הרגישים לאורך הקורה, ברמת משיכות נמוכה, יהיו באורך h_b (גובה הקורה) בקצוות כל שדה (משפת העמוד), לפי ציור 7 בתקן הישראלי ת"י 413. פירוט מסוג זה לא קיים במבנים שנבנו לפני פרסום ת"י 413 במתכונתו הנוכחית, כלומר לפני המהדורה משנת 1995.

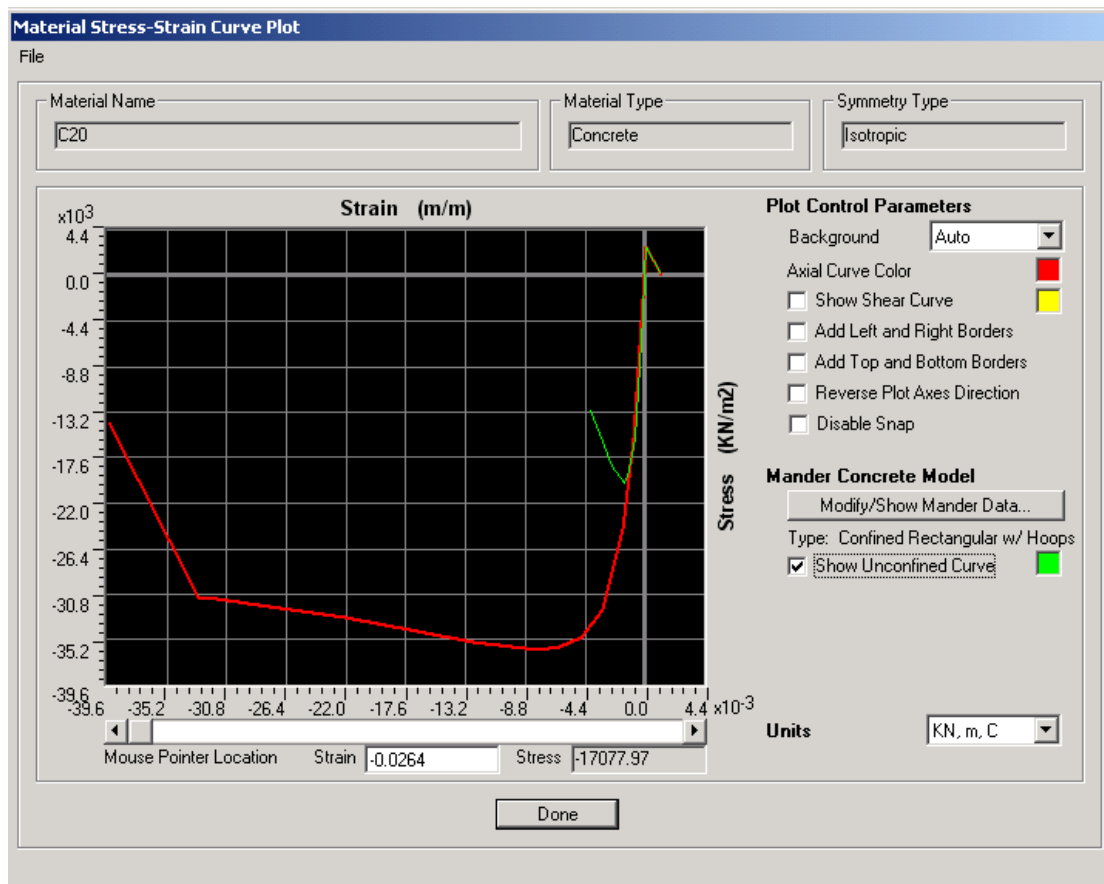
פרק 6 - חישוב ההתנהגות הלא-ליניארית של המבנים בעזרת תוכנת SAP2000

6.1 התנהגות החומרים.

6.1.1 התנהגות הבטון המזויץ במבנים המיועדים לחיזוק.

רוב המבנים שדורשים חיזוק הם מבנים שנבנו לפני שנות השמונים כאשר שיטת הבניה לא חייבה שימוש בחומרים שאפשרו חוזק גבוהה ומשיכות במבנים. בארץ הנחיות מפורטות לעמידות המבנים ברעידות אדמה מופיעים ב-ת"י 413 שפורסם בשנת 1995 שמאפשר חישוב העומסים לפי סיכון הסיסמי ונותן הנחיות לתכנן אלמנטים במבנים. בשלב הנוכחי רוב המבנים בארץ בנויים מבטון מזויץ. סוג הבטון בתוך המבנים האלה הוא ב-20 לא כלוא במידה מספקת. אלמנטים משיכים מיוצרים באמצעות ציפוף חישוקים בעיקר בקצוות של קורות ועמודים. חוזק של בטון המשיך גודל משמעותית ביחס לחוזק הבטון הלא-כלוא.

לסימולציות המועצות בעבודה הנוכחית משתמשים בסוג בטון C20 הנמצא בין החומרים בתוכנת SAP2000 הקרוב ביותר בתכונותיו ל ב-20. התנהגות מאמץ – עיבור של הבטון הזה נתון בצירור מס' 1.

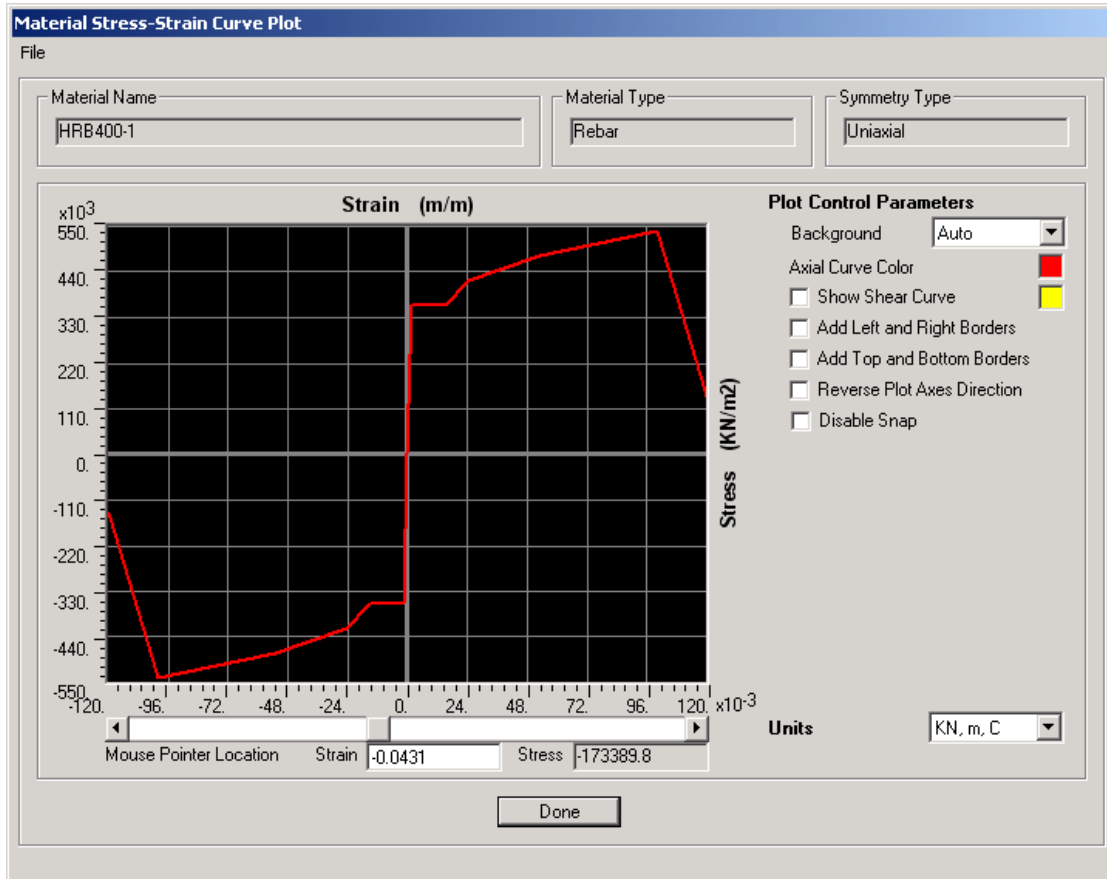


ציור מס' 1-6 התנהגות של בטון הלא כלוא (ירוק) והבטון הכלוא (אדום)

בציור מס' 1 נתון עקום ההתנהגות מאמץ – עיבור לבטון מסוג C20. הקו הירוק מסמן את התנהגות של בטון ללא משיכות (כליאה לא מספקת) והקו האדום מייצג את ההתנהגות של אותו סוג של בטון בתנאים של משיכות. אפשר לראות את ההבדל בין התנהגות של שני המצבים מהבחינה של מאמץ ויכולת של דפורמציה. משיכות גבוהה יוצרים בעזרת שימוש בחישוקים מצופפים. היום תקן הישראלי 413 מחייב את המתכנן להבטיח רמה מסוימת של משיכות במבנה שהוא מתכנן אבל בחינה של מבנים קיימים תעשה לפי הנחה שאין משיכות במבנה (לפי הקו הירוק).

6.1.2 התנהגות פלדת הזיון במבנה.

לוקחים בחשבון את ההתנהגות הלא – ליניארית של פלדת הזיון כאשר תחת עומסים הפלדה מתנהגת בצורה אלסטי-פלסטית. התנהגות הפלדה מיוצגת בתרשים מס' 2.

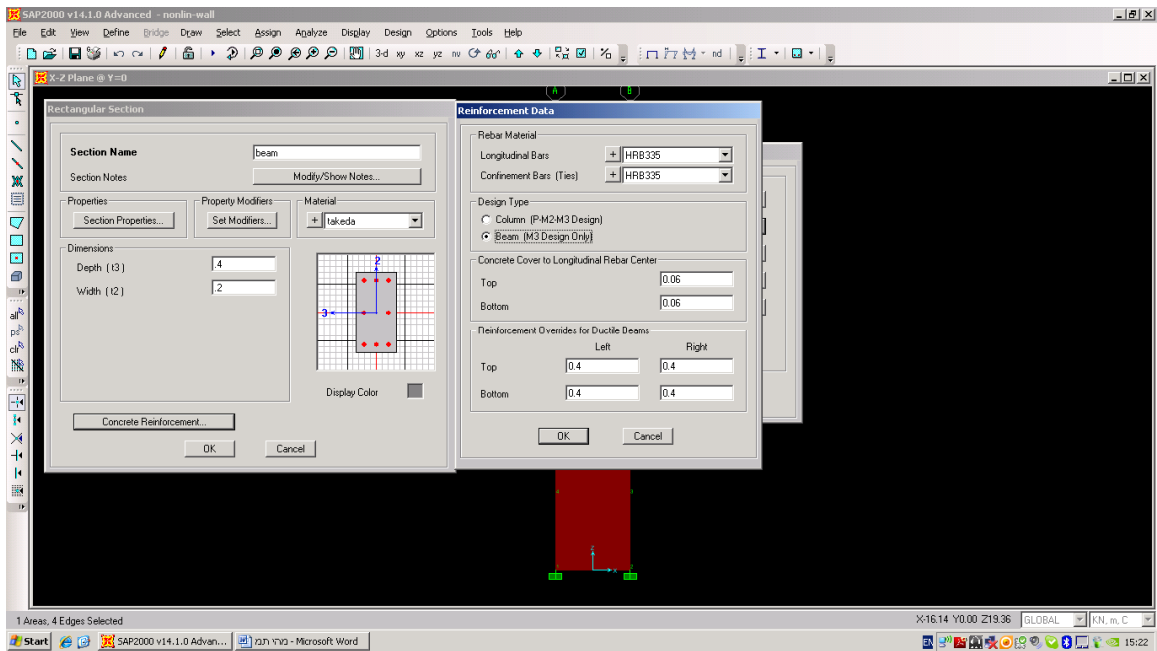


ציור מס' 2-60 התנהגות האלסטית – פלסטית של מוטות הזיון

הפלדה המשמשת עבור הסימולציה מגלה התנהגות אלסטי – ליניארית ער בערך 250MPa לאחר מאמץ זה החומר נכנס לפלסטיות.

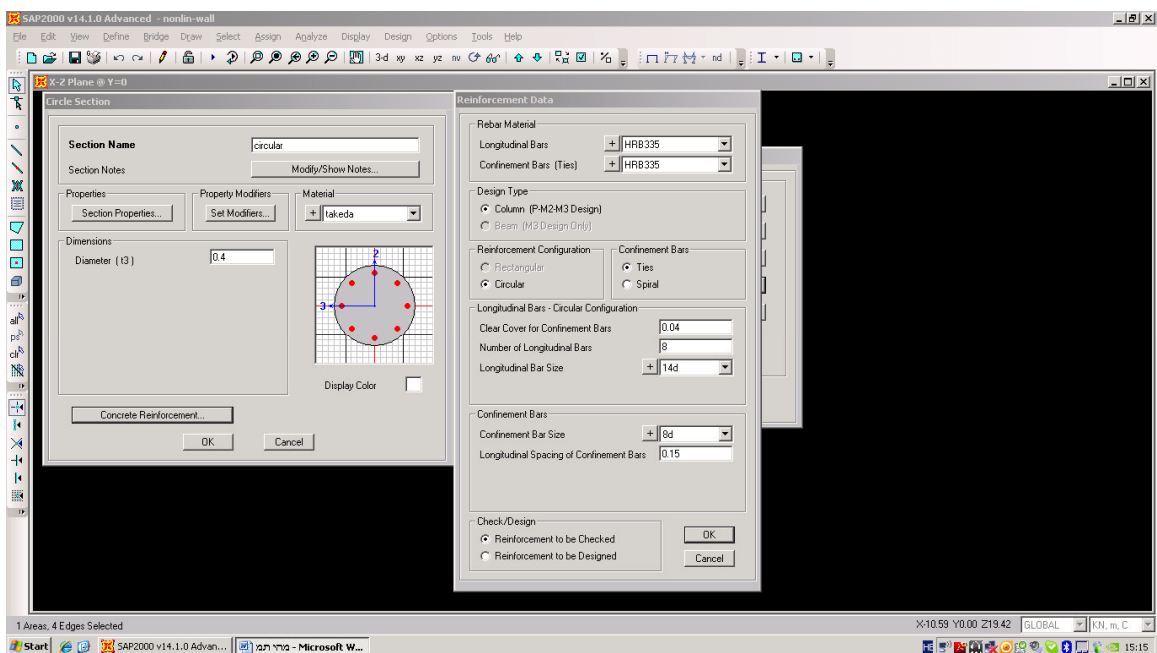
כמויות של זיון שמשמשים באלמנט בתוך המבנה הם מקסימום 4% עבור עמודים באזורים הרגישים ו-1.75% עבור קורות. ההנחה עבור הזיון בקירות החיזוק הינה רשתות של זיון בעל קוטר 8 מ"מ. מתחשבים בחוסר משיכות בחומרים וגם עוקבים אחרי ההתנהגות האלסטי-פלסטית של האלמנטים.

משתמשים בזיון של קורות לפי תרשים מס' 3



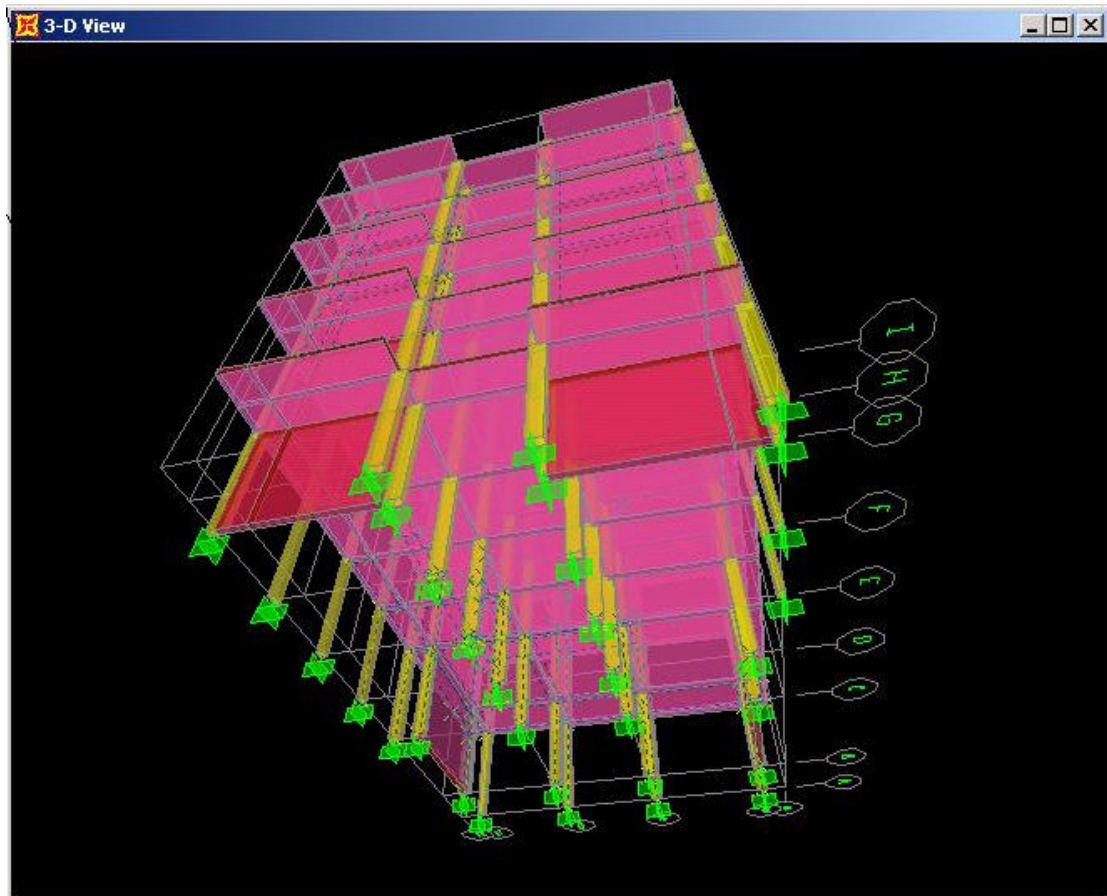
ציור מס' 6 - 3 חתך של קורה מבטון מזוין

תרשים מס' 4 מתאר את פלדת הזיון בתוך עמודים. כעיקרון משתמשים במוטות קוטר 12 מ"מ עבור הזיון האורכי ובמוטות קוטר 8 מ"מ בחישוקים.



ציור מס' 6-4 חתך של עמוד עגול לפי SAP2000

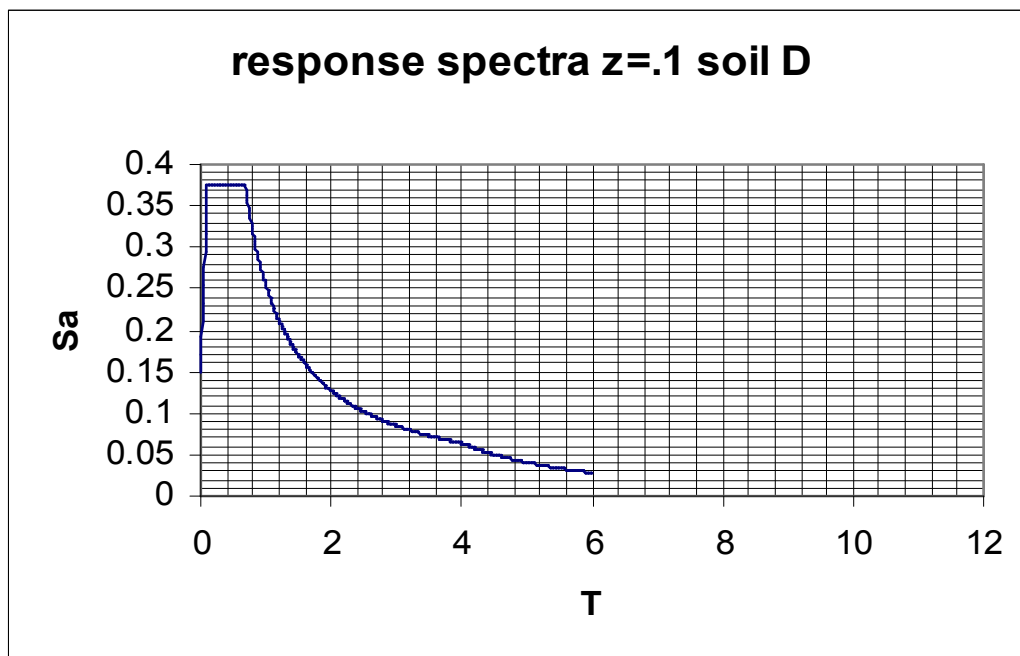
אלמנטי החיזוק של מבנים לפי תמ"א 38 המוצעים כאן הם קירות מבטון מזוין בעובי 20 ס"מ מזוינים בשני רשתות מפלדה בעלת קוטר 8 מ"מ עם פסיעה של 20 ס"מ. הקיר מתוכנן מבטון לא כלוא ועם מוטות זיון של התנהגות אלסטו-פלאסטית לפי ציור מס' 5



ציור מס 5-0' חיצוק מבנה בעזרת קיר מבטון מזוין – תמ"א 38

6.1.3 תיאור הסיכון הסיסמי עבור האנליזות הנוכחיות.

האנליזות המבוצעות הינן לפי שיטת התפקוד לפי השוואה בין יכולת המבנה לבין הדרישות עבור העמיסה הסיסמית החזויה בעזרת ספקטרום התאוצה של המבנה. מתחשבים בסוג קרקע לפי המוגדר בגיליון תיקון מס' 3 של ת"י 413 כקרקע מסוג D ומתחשבים בתאוצה מכסימלית שווה ל $0.1 g$. תרשים מס' 6 מכיל את המהלך של הספקטרום לתאוצה המשמש בסימולציות ההתנהגות לכל המודלים של המבנים עבור עמיסה סיסמית בהתחשבות בתגובה לא-ליניארית מבחינת התנהגות גיאומטרית ומבחינת התנהגות מאמץ-עיבור של החומר ממנו בנוי המבנה. למטרה זו נעשה שימוש בתוכנת .SAP2000.



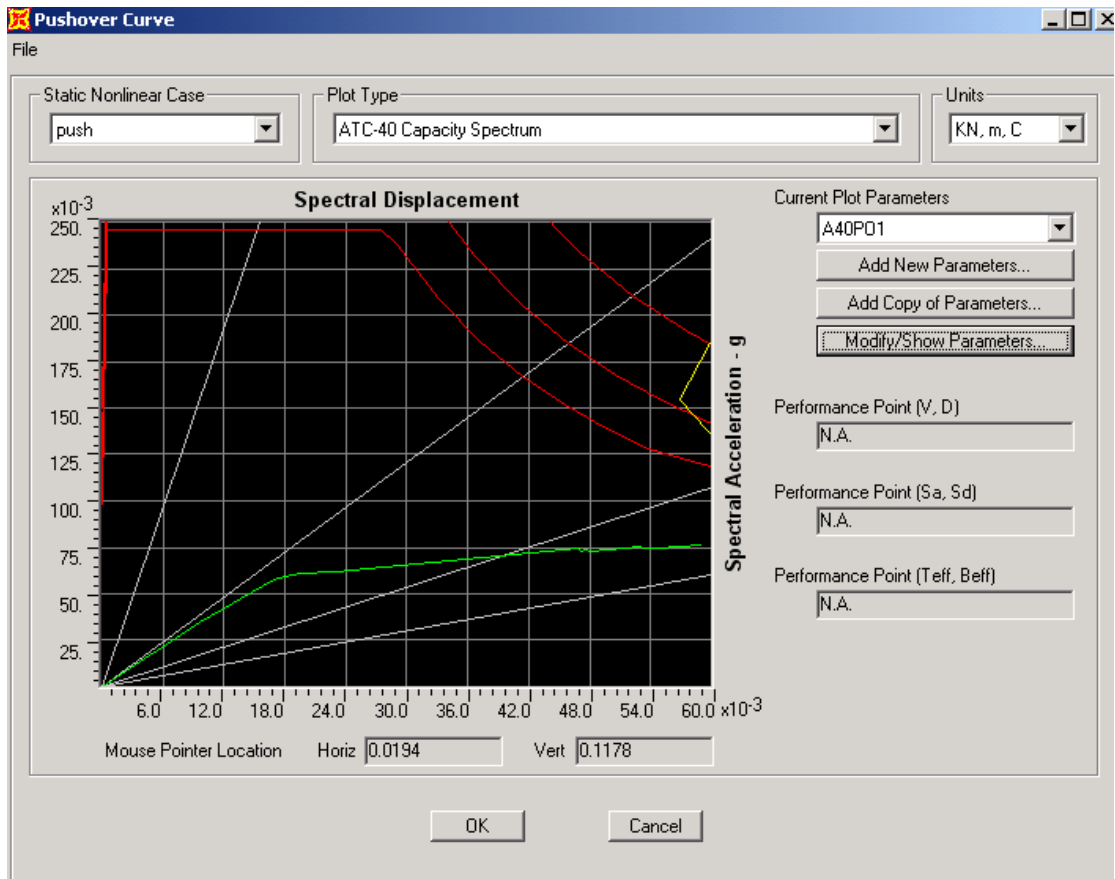
ציור מס' 6-6 ספקטרום לפי ת"י 413 - גיליון תיקון מס' 3

6.2 מבנה מס' TM38-43 בעל 5 קומות

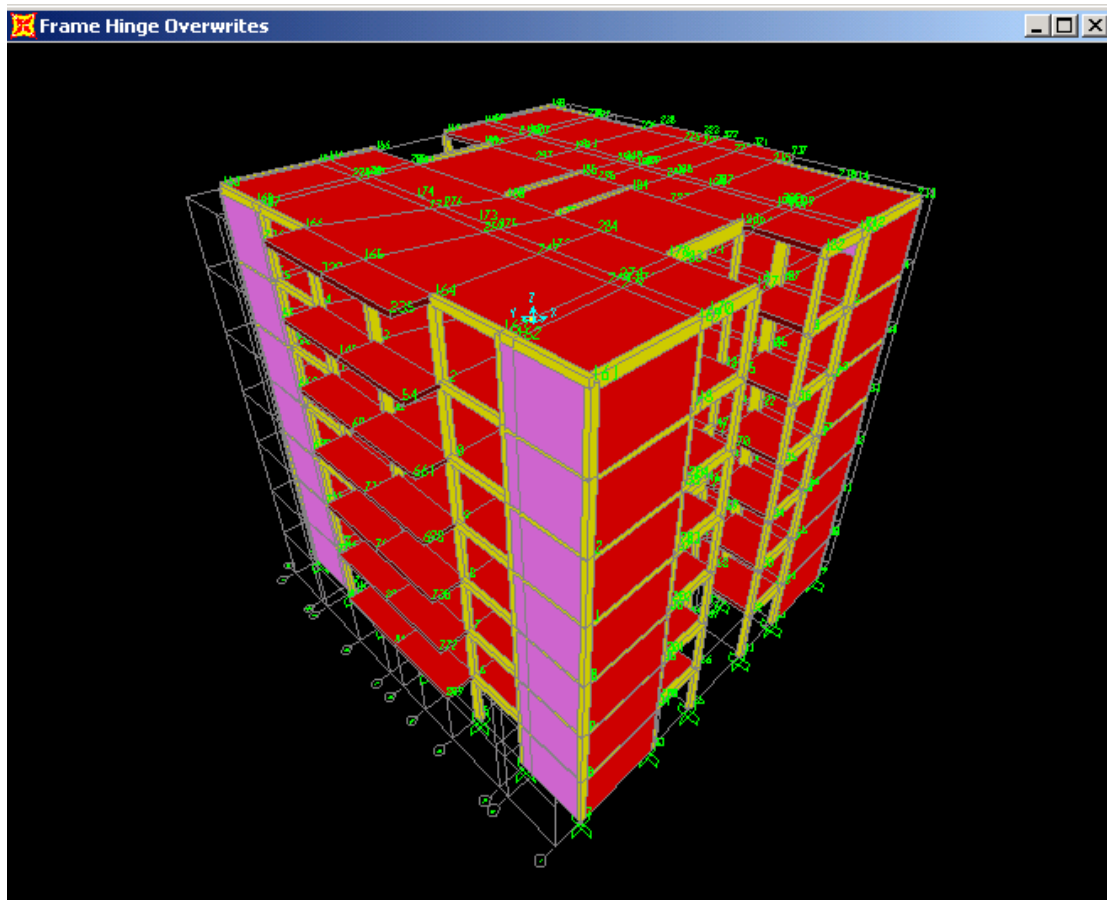
מערכת יציבות מבנה זה מורכבת מעמודים של בטון מזוין המתוארים בסיף 6.1.2, מבטון שנחשב לא כלוא בגלל מרחק גדול ביו החישוקים וממוטות אורכיים בעלי התנהגות אלסטו-פלסטית (ראו תרשים מס' 2). המבנה המקורי לא מכיל קירות הקשחה, במפלס של כל קומה נמצאת תיקרה קשיחה שפועלת כגוף קשיח במישורה במבנה. מידות העמודים והמפתחים בין העמודים נתונים בתרשים מס' 7 ו-8.

בודקים את המבנה המקורי בשיטת יכולת כנגד דרישה (Capacity – Demand) ובודקים את התוצאות של האנליזה לפי התפקוד של המבנה המקור לפי ציור מס' 9. אפשר לראות שבייצוג הספקטראלי קווים של יכולת המבנה (the pushover curve) והדרישה הספקטראלית לא נפגשים ולא מייצגים שום תחום של תפקוד. המבנה הזה יכול להיות עמיד תחת רעידות אדמה בעלות עוצמות נמוכות יותר או בתנאי קרקע שונים, אולם לא עבור התנאים הנתונים כאן.

לפי האנליזה שבוצעה בעזרת SAP2000 נובעת המסקנה שמבנים מסוג זה חייבים לקבל חיזוק להבטחת העמידות תחת רעידות אדמה. בתרשים מס' 7 מצוירים פתרונות שונים של חיזוק מבנה זה. ברוח התמ"א 38 תוך כדי חיזוק מוסיפים קומה אחת או שתיים למבנה. בתרשימים הבאים נציג את התוצאות עבור מבנים מסוג TM38-43 המחוזקים לפי הפתרונות המוצעים (ראה תרשים מס' 7), בהמשך מוצגים פתרונות החיזוק המכונים A, B, C בתרשימים הבאים.



ציור מס' 6-9 נקודת תפקוד למבנה המקורי תמ"א 38 - 43



צויר מס' 6-10 הבניין המחוזק TM38-43 המחוזק לפי פתרון A עם תוספת של שתי קומות.

המבנה בתרשים מס' 10 הוא הבניין הטיפוסי TM38-43 המחוזק בעזרת קירות הקשחה מבטון מזוין ב-20 עם שתי רשתות מוטות זיון מפלדה בקוטר 8 מ"מ. התוצאות המוצגות הינן למבנה המחוזק עם תוספת של שתי קומות. בעקבות האנליזה בעזרת SAP2000 מקבלים את נקודת התפקוד של המבנה המתואר בתרשים מס' 11.

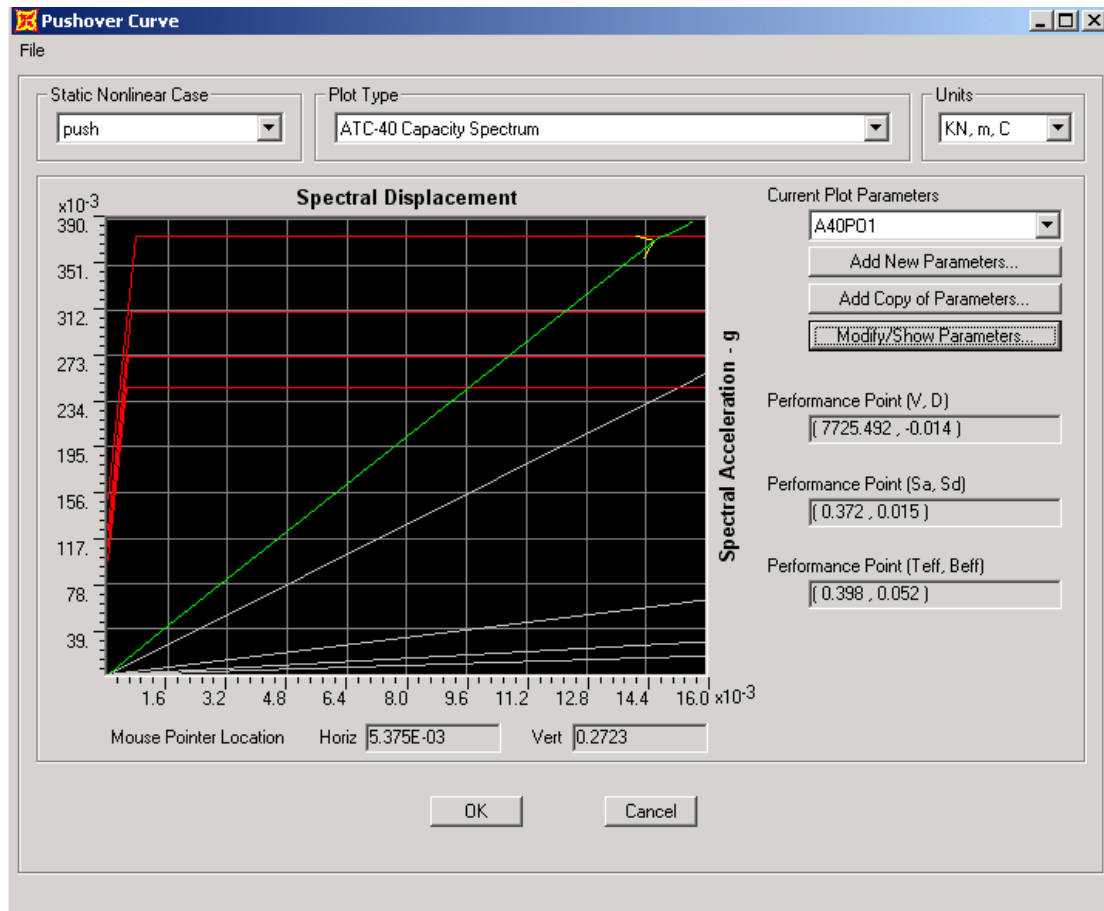
בתרשים אפשר לראות את נקודת התפקוד כמפגש בין קו הדרישה וקו היכולת של המבנה. אפשר לראות שהמפגש מתרחש בתחום הפעולה האלסטית של המבנה. לפי החישוב כוח הגזירה בבסיס המבנה שווה ל-

$$7725kN \text{ עבור זמן מחזור } T = 0.389\text{sec} \text{ ומנת הריסון של } \xi = 0.052 (5.2\%).$$

בטבלה מס' 1 ו מס' 2 נתונים זמני מחזור למבנה ומנת הריסון שמתחשבים בהם באנליזה ליניארית.

טבלה מס' 6 – 1 צורות התנודה של המערכת תמ"א 38 – 43 פתרון A

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNumber	Period	Frequency	CircFrequency	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
modal	Mode	1	0.4412	2.2662	14.239	202.74
modal	Mode	2	0.4053	2.4672	15.502	240.3
modal	Mode	3	0.3406	2.9359	18.447	340.29
modal	Mode	4	0.2268	4.4078	27.695	767.02
modal	Mode	5	0.1647	6.0691	38.134	1454.2
modal	Mode	6	0.1014	9.8614	61.961	3839.2
modal	Mode	7	0.0993	10.066	63.245	3999.9
modal	Mode	8	0.0808	12.376	77.76	6046.7
modal	Mode	9	0.0777	12.869	80.861	6538.4
modal	Mode	10	0.0468	21.347	134.13	17990
modal	Mode	11	0.0340	29.352	184.42	34012
modal	Mode	12	0.0270	37.003	232.5	54056



ציור מס' 6-1 תוצאת אנליזת התפקוד למבנה TM38-43 המחוזק לפי שיטת A עם תוספת של שתי קומות

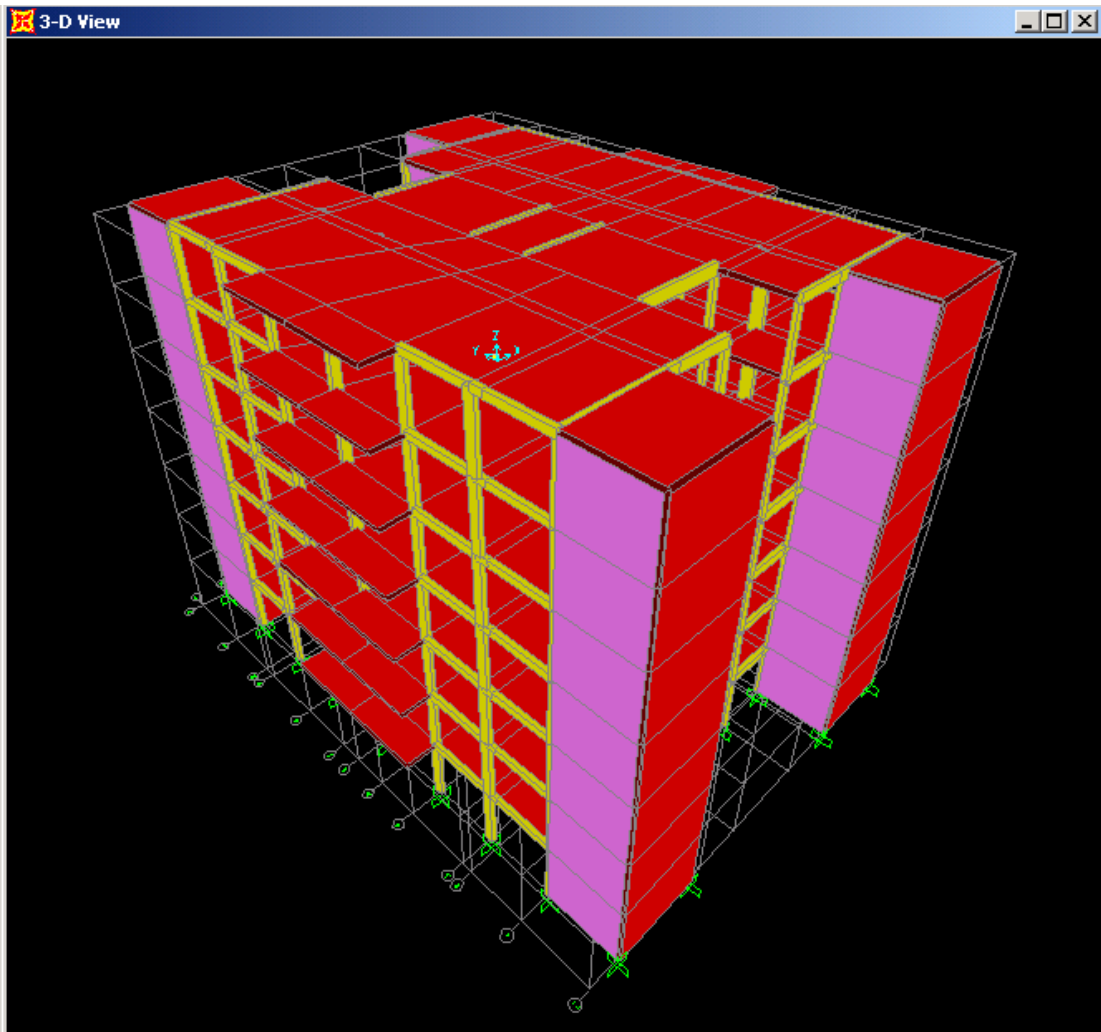
טבלה מס' 6-2 היחס יכולת - דרשה עבור המבנה תמ"א 38 - 43 פתרון A

TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - push

Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPhi
			m		m			
0	0.389308	0.05	0	0	0.014123	0.375128	1	1
1	0.389308	0.05	0.001395	0.037041	0.014123	0.375128	1.329376	0.995414
2	0.397917	0.051807	0.014728	0.374447	0.014624	0.371819	1.320887	0.975485
3	0.39956	0.055238	0.014968	0.377427	0.014508	0.365841	1.319338	0.971915
4	0.400828	0.057877	0.015092	0.378157	0.014427	0.361492	1.318134	0.96914
5	0.401954	0.059902	0.015452	0.385015	0.01438	0.358288	1.317096	0.966818
6	0.402382	0.060783	0.01549	0.385123	0.014355	0.356927	1.316692	0.965886
7	0.402714	0.061249	0.01567	0.388978	0.01435	0.356215	1.316399	0.965266

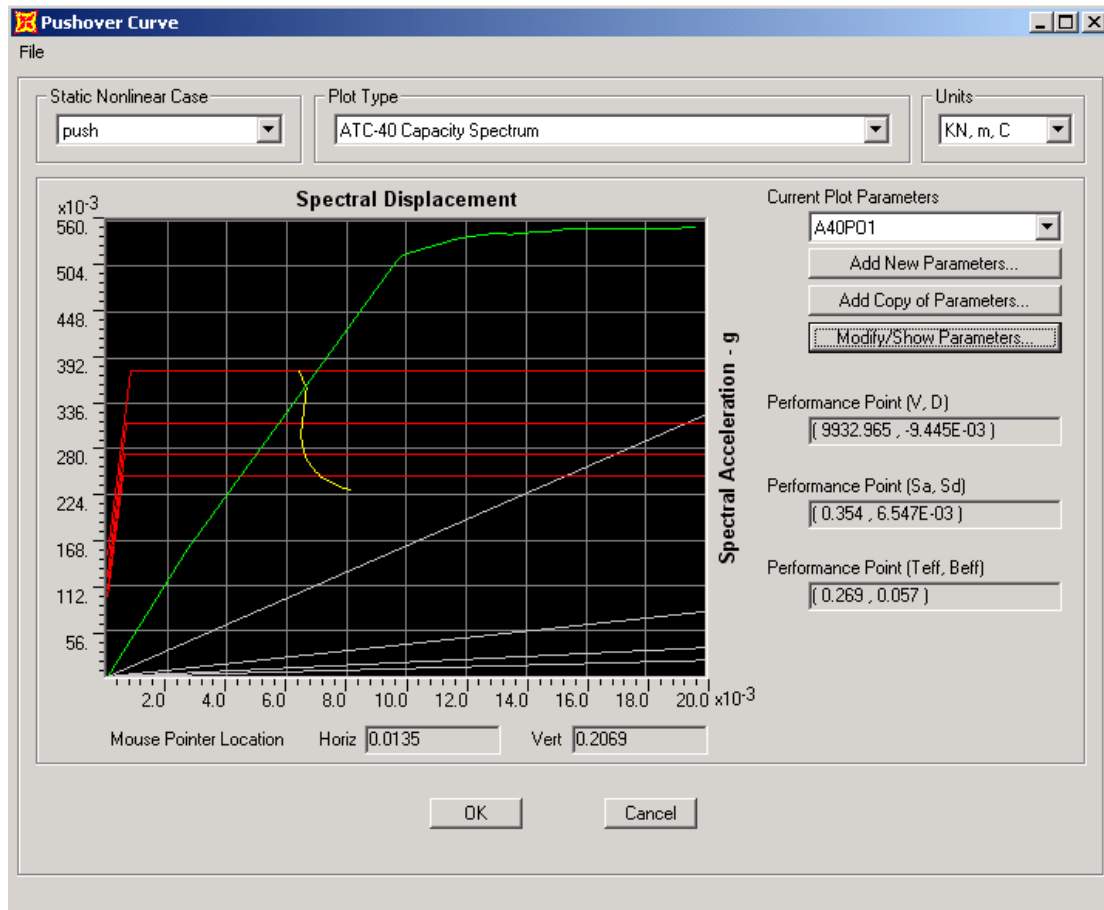
במקביל אפשר לראות בתרשים מס' 11 שנקודת התפקוד (the performance point) ממוקמת בקואורדינטות של זמני מחזור ומנת ריסון. במקביל אפשר לראות את התזוזה הספקטראלית ואת התאוצה הספקטראלית האפשרית (Capacity) של המבנה כנגד הדישה של המבנה (Demand).

6.2.2 פתרון B



ציור מס' 6-12 – הבניין המחוזק TM38-43 המחוזק לפי פתרון B עם תוספת של שתי קומות.

המבנה בתרשים מס' 12 הוא המבנה TM38-43 המחוזק בעזרת תוספת של פירים (ממ"ד-ים) בפינות המבנה. בנוסף נבדק המבנה עם שתי קומות נוספות. בדיקת התפקוד של המבנה בעזרת תוכנת SAP2000. ההשוואה בין יכולת המבנה כנגד הדישה נתונה בתרשים מס' 13.



ציור מס' 6 – 13 נקודת ביצועה של המסגרת B בתוספת של שתי קומות.

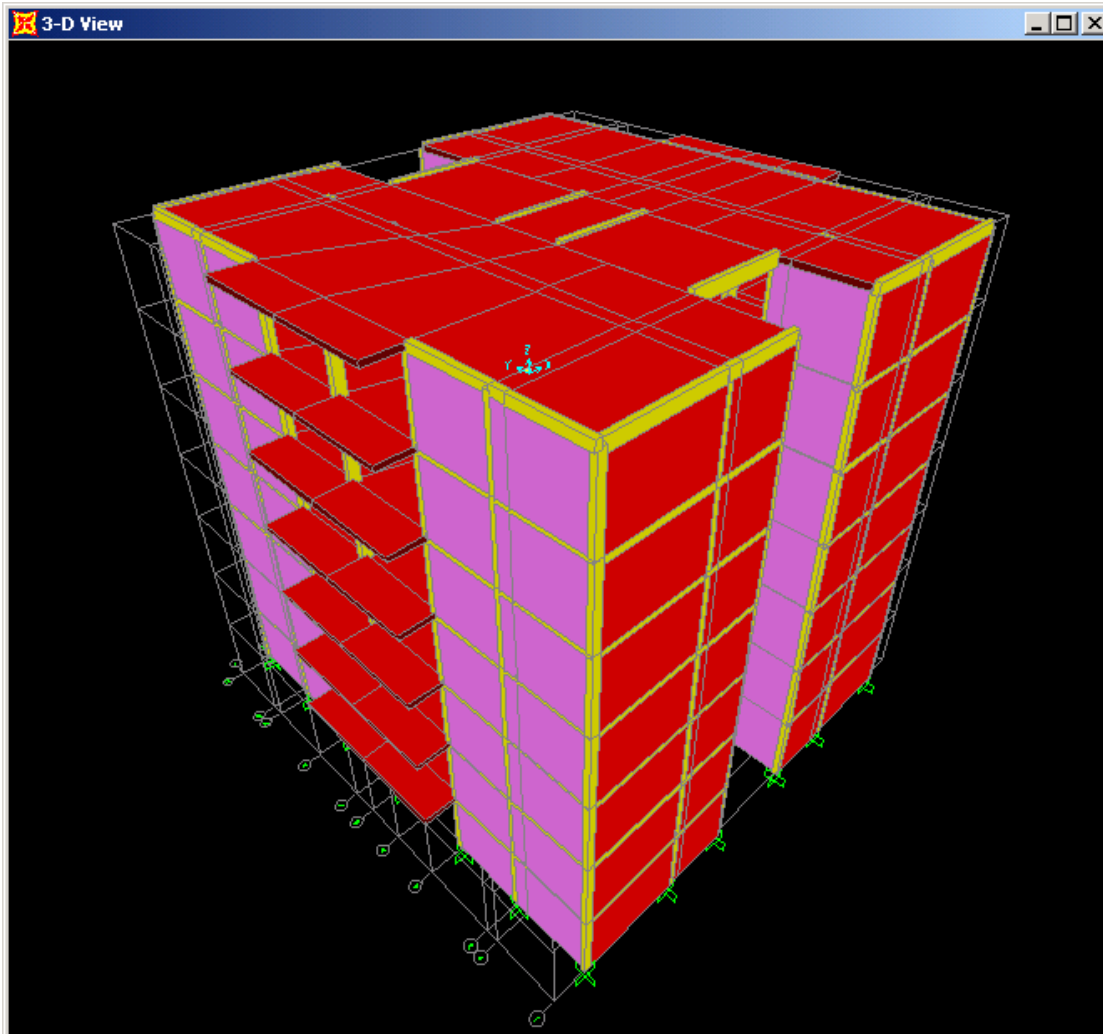
המבנה בתרשים מס' 13 הוא הבניין הטיפוסי TM38-43 המחוזק בעזרת פירי הקשחה מקירות בעובי של 20cm מבטון ב-20 עם רשתות כפולות בקוטר 8 מ"מ. התוצאות נתונות בתרשים מס' 13. בתרשים מתוארת נקודת התפקוד כמפגש בין היכולת לבין הדרישה עבור הרעדה בעלת ספקטרום לפי תרשים מס' 6. לפי התרשים מס' 13 מקבלים את ערך כוח הגזירה בבסיס הקיר שווה ל-9932kN עבור זמן מחזור $T = 0.269 \text{ sec}$ ומנת הריסון של $\xi = 0.057 (5.7\%)$.

טבלה מס' 2-6 נתוני של יכולת ודרישה עבור מבנה B

TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - push								
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPphi
			M		m			
0	0.261815	0.05	0	0	0.006387	0.375128	1	1
1	0.261815	0.05	0.002681	0.157455	0.006387	0.375128	0.692323	1.443045
2	0.275521	0.062754	0.009639	0.511177	0.006674	0.353952	0.695835	1.442008
3	0.276861	0.066358	0.009866	0.518156	0.00664	0.348747	0.696215	1.441875
4	0.278265	0.070299	0.010019	0.520872	0.006604	0.343369	0.696607	1.441736
5	0.296703	0.11631	0.011791	0.539208	0.006482	0.29644	0.702488	1.439606
6	0.309336	0.143744	0.012934	0.544128	0.006577	0.276701	0.705916	1.43825
7	0.313217	0.151942	0.013261	0.54414	0.006617	0.271531	0.706721	1.437922
8	0.31448	0.154668	0.01336	0.543817	0.00663	0.269874	0.706943	1.437831
9	0.319648	0.164715	0.013821	0.544537	0.006701	0.264008	0.708016	1.437384
10	0.325797	0.175401	0.014418	0.546812	0.006807	0.258149	0.709339	1.436814
11	0.328728	0.180492	0.014693	0.547368	0.006858	0.255483	0.709887	1.43657
12	0.335758	0.191324	0.015412	0.550349	0.007002	0.25005	0.711273	1.435943
13	0.338529	0.195759	0.015679	0.550772	0.007058	0.247915	0.711735	1.435736
14	0.342392	0.202151	0.016034	0.550612	0.007132	0.24492	0.712302	1.435478
15	0.343291	0.20399	0.016097	0.549885	0.007145	0.244076	0.712377	1.435442
17	0.346859	0.216314	0.018844	0.551123	0.007906	0.231238	0.712205	1.435526
18	0.371005	0.234114	0.019603	0.55324	0.008132	0.229485	0.715981	1.433715
19	0.377683	0.238557	0.019687	0.549724	0.008175	0.228261	0.716697	1.433368

בטבלה מס' 3 נתונים ערכים של היכולת והשוואה עם הדרישה עבור זמני מחזור שונים. נקודת התפקוד

נמצאת בזמן מחזור של 0.269 שניות

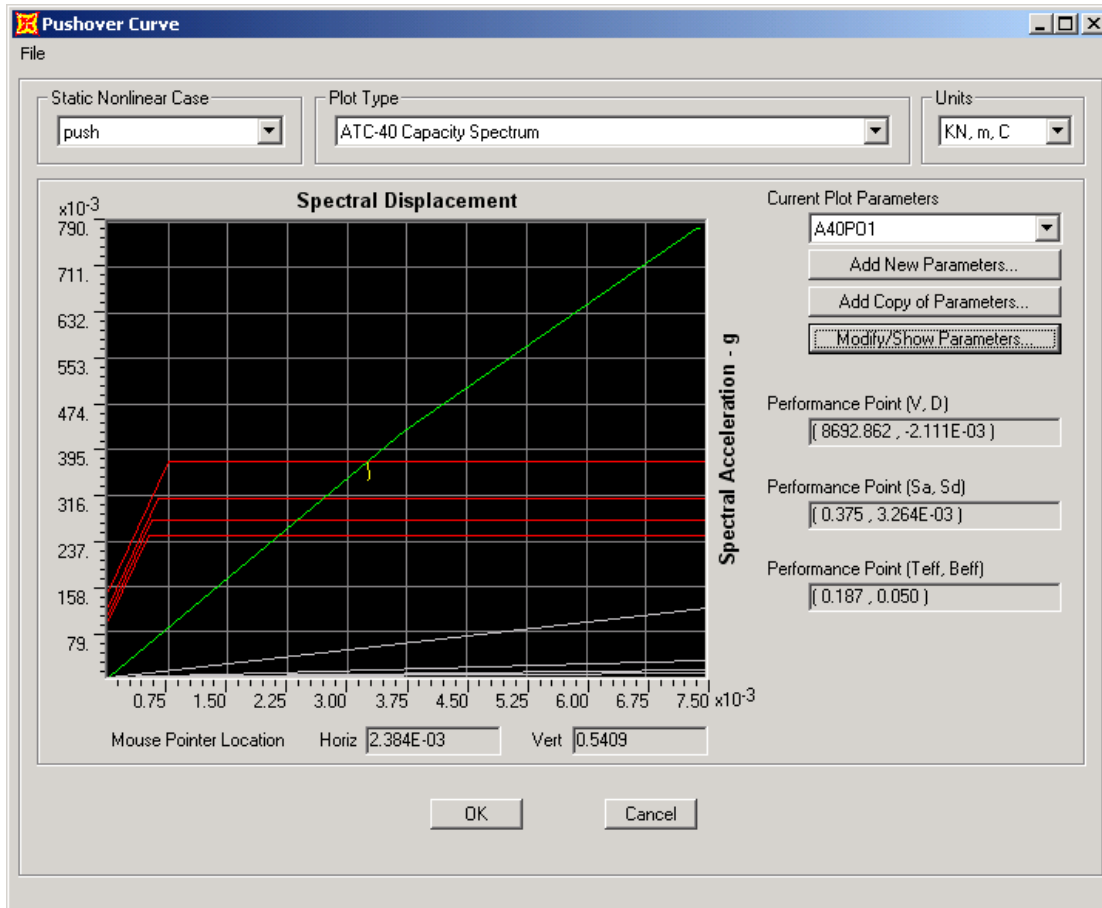


ציור מס' 6' – 14 הבניין הטיפוסי TM38-43 המחוזק לפי הפתרון C..

חיזוק המבנה הטיפוסי 43 – TM38 במקרה זה נעשה כעזרת קירות הקשחה מבטון מזוין בהיקף המבנה. עובי קירות ההקשחה היא 20 ס"מ עם רשתות זיון בקוטר 8 מ"מ ופסיעה של 20 ס"מ. הבדיקה נעשתה עם שתי קומות נוספות לבניין. חיזוק זה מייצר מבנה חזק במיוחד. עבור הרעידה שנבחרה אפשר לשפוט את התפקוד של המבנה לפי התרשים מס' 15.

בתרשים מס' 15 נתונים קווי התנהגות המבנה לפי יכולת כנגד הדרישה (Capacity vs. Demand) כאשר מפגש שני הקווים מסמל נקודת התפקוד של המערכת. הערכים שהתקבלו הם: כוח הגזירה בבסיס שווה ל $8692kN$, זמן המחזור $T = 0.187sec$ ומנת הריסון שווה ל $\xi = 0.050(5\%)$.

בטבלאות מס' 4,5 נתונים זמני מחזור ותדרים של צורות התנודה ביחד עם ערכי ריסון המתאימים לצורות התנודה השונים. טבלה מס' 4 כוללת את זמני מחזור מול מנת הריסון של המערכת. טבלה מס' 5 מראה את זמני המחזור עבור צורות התנודה השונים של המערכת.



ציור מס' 6-15 הבניין הטיפוסי TM38-43 המחוזק לפי הפתרון ..C.

טבלה מס' 2' הבניין הטיפוסי TM38-43 המחוזק לפי הפתרון ..C.

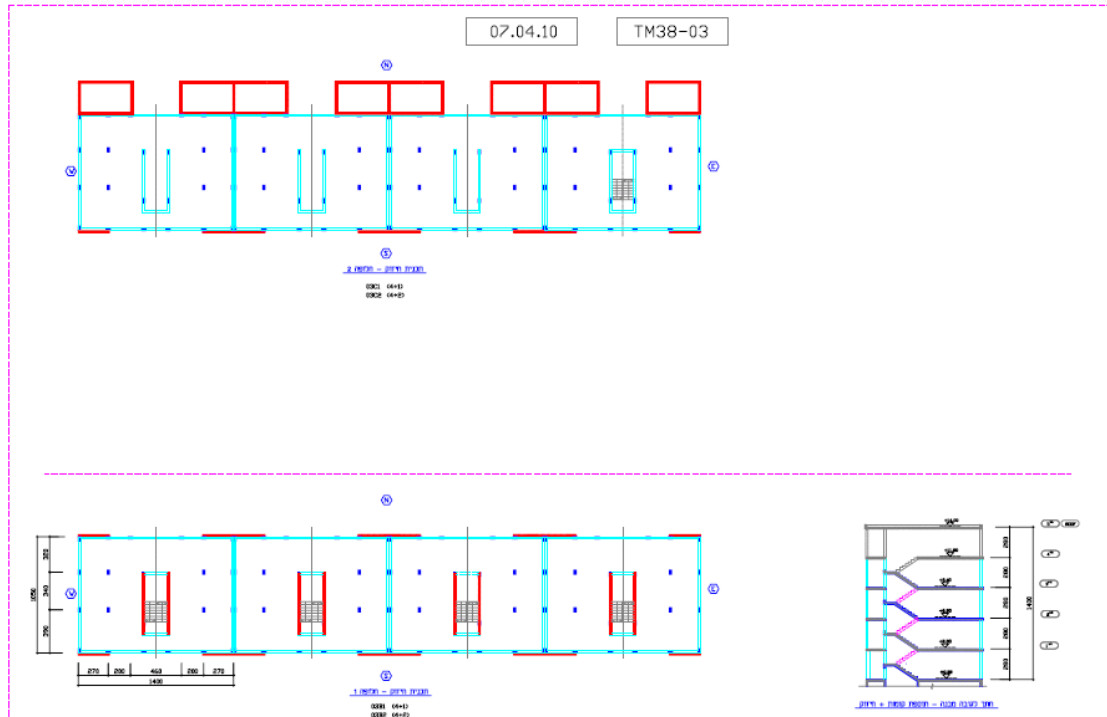
TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - push

Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFFhi
			m		m			
0	0.187158	0.05	0	0	0.003264	0.375128	1	1
1	0.187158	0.05	0.003726	0.428265	0.003264	0.375128	1.207218	0.617897
2	0.195355	0.069281	0.007384	0.778918	0.003268	0.34473	1.202361	0.591286
3	0.195584	0.070174	0.007413	0.780108	0.003264	0.343535	1.201731	0.590221
4	0.196408	0.073815	0.007435	0.775879	0.003247	0.33882	1.199285	0.586484

טבלה מס' 3-6 - הבניין הטיפוסי TM38-43 המחוזק לפי הפתרון C – צורות התנועה.

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.40914	2.4441	15.357	235.83
MODAL	Mode	2	0.40893	2.4454	15.365	236.07
MODAL	Mode	3	0.22393	4.4656	28.058	787.27
MODAL	Mode	4	0.16536	6.0471	37.995	1443.6
MODAL	Mode	5	0.16498	6.061	38.083	1450.3
MODAL	Mode	6	0.13609	7.3476	46.167	2131.4
MODAL	Mode	7	0.10503	9.5206	59.82	3578.4
MODAL	Mode	8	0.07829	12.772	80.247	6439.7
MODAL	Mode	9	0.07255	13.783	86.602	7499.9
MODAL	Mode	10	0.06272	15.943	100.18	10035
MODAL	Mode	11	0.05690	17.572	110.41	12190
MODAL	Mode	12	0.05656	17.68	111.09	12340
MODAL	Mode	13	0.04707	21.245	133.49	17818
MODAL	Mode	14	0.04562	21.917	137.71	18964
MODAL	Mode	15	0.03765	26.558	166.87	27845
MODAL	Mode	16	0.03260	30.674	192.73	37145
MODAL	Mode	17	0.02608	38.333	240.86	58011
MODAL	Mode	18	0.02529	39.535	248.41	61705
MODAL	Mode	19	0.0147	67.752	425.7	181220
MODAL	Mode	20	0.0142	70.311	441.78	195170

6.3 מבנה מס' TM38-3 בעל 5 קומות

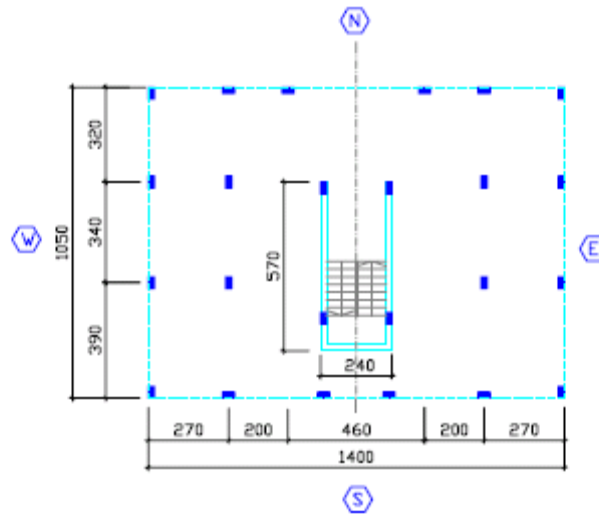


ציור מס' 6-16 המבנה TM38-03 השיפוסית ופתרונות של חיזוק לפי TAMA38

06.04.10

TM38-03

תורשים כבדיקה לפי
ה"י 2413

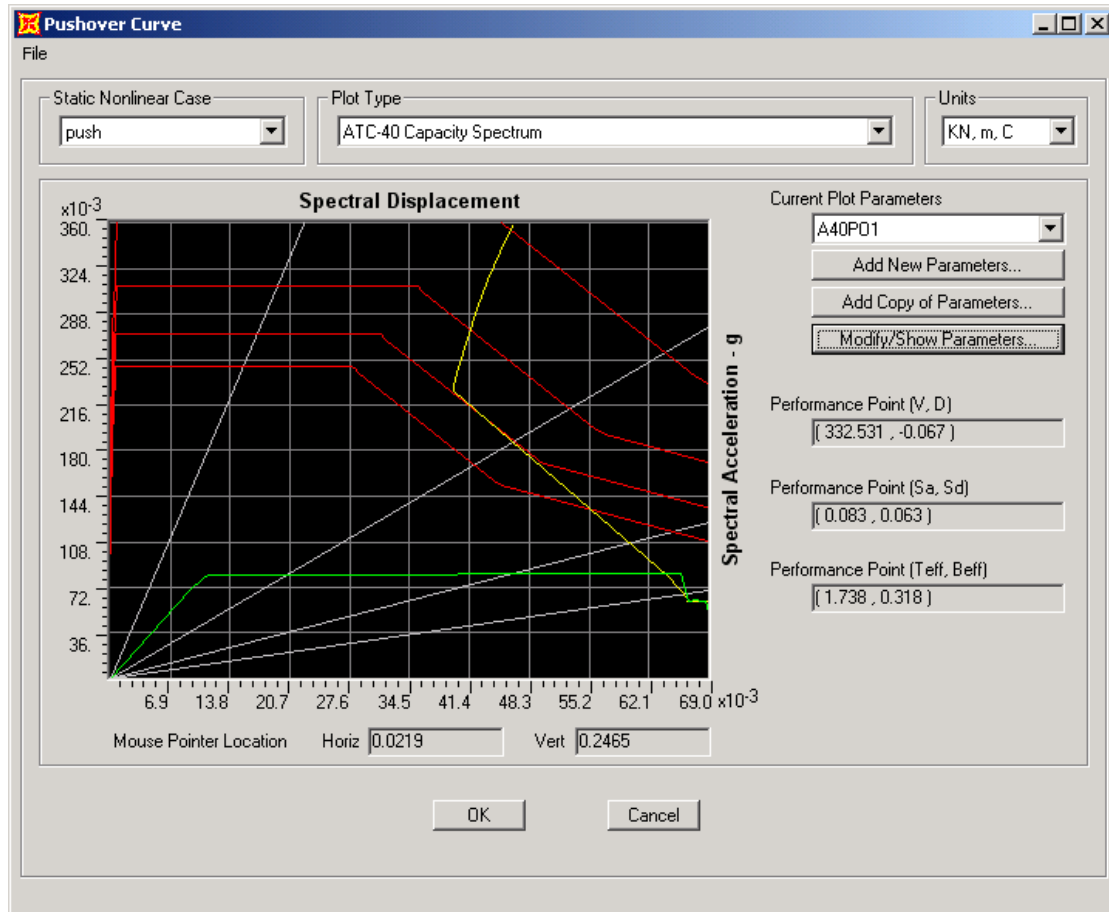


נחוני עמודים בקומת קרקע

סימן	מידות	תבנית	כמות
C1	20/40		8
C2	40/20		16

ציור מס' 6 – 17 מבנה הטיפוסי TM38-03

אנליזת המבנה TM38-03 לפי תוכנת SAP2000 מובילה לתוצאות רלוונטיות לגבי עמידות המבנה תחת רעידת אדמה שנבחרה.



ציור מס' 6 - 18 אנליזת התפקוד של המבנה הטיפוסי TM38-03

מבנה זה הוא גמיש מאוד ולא עמיד תחת הרעידה שנבחרה לבדיקה. בתרשים מס' 18 אפשר לראות שנקודת התפקוד היא באזור קרוב מאוד למצב של הרס המבנה.

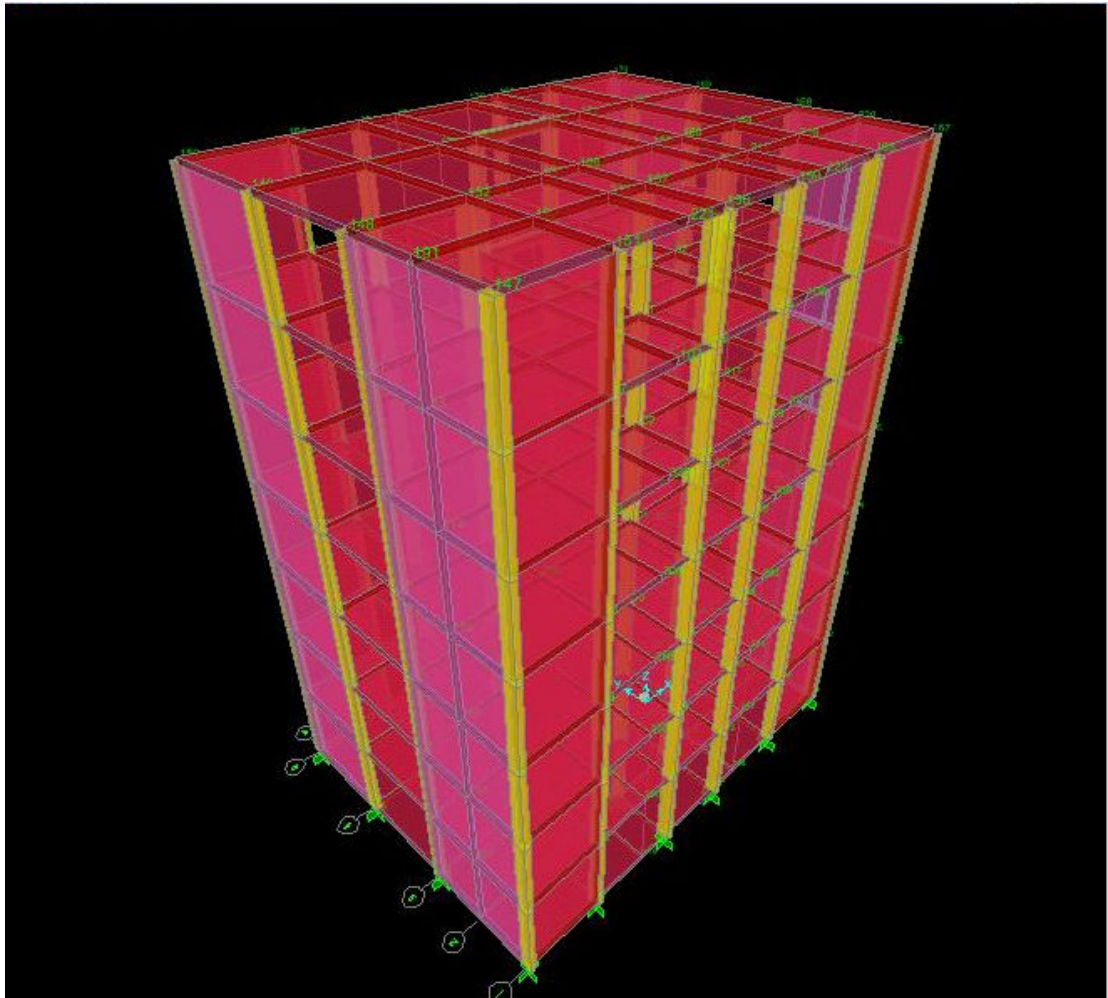
TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - push

Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPphi
			m		m			
0	0.723308	0.05	0	0	0.04639	0.356954	1	1
1	0.723308	0.05	0.009077	0.069844	0.04639	0.356954	0.875488	1.266899
2	0.733817	0.060613	0.010683	0.079868	0.045003	0.336437	0.880799	1.26337
3	0.746859	0.074258	0.011313	0.081648	0.043586	0.314563	0.886964	1.258836
4	0.76327	0.091045	0.011878	0.082075	0.04227	0.292088	0.894098	1.253605
5	0.811146	0.135762	0.013357	0.081723	0.040145	0.245625	0.912047	1.238495
6	0.832601	0.15368	0.01403	0.081472	0.039647	0.230235	0.918734	1.231541
7	0.837705	0.157814	0.014188	0.081391	0.039548	0.226873	0.920238	1.229917
8	1.789461	0.32774	0.065741	0.082648	0.064278	0.080808	0.981815	1.06645
9	2.095416	0.54287	0.066747	0.061197	0.066905	0.061342	0.983294	1.050466
10	2.086574	0.520732	0.067809	0.062699	0.066542	0.061527	0.983274	1.05093
11	2.12766	0.551002	0.067938	0.060415	0.068219	0.060666	0.983344	1.049023
12	2.136686	0.548836	0.06857	0.060463	0.068585	0.060476	0.983373	1.04863
13	2.300394	0.674948	0.068968	0.052467	0.074983	0.057043	0.983753	1.042653

טבלה מס' 6 – 7 צורות התנודה עבור המבנה תמ"א 38 - 3

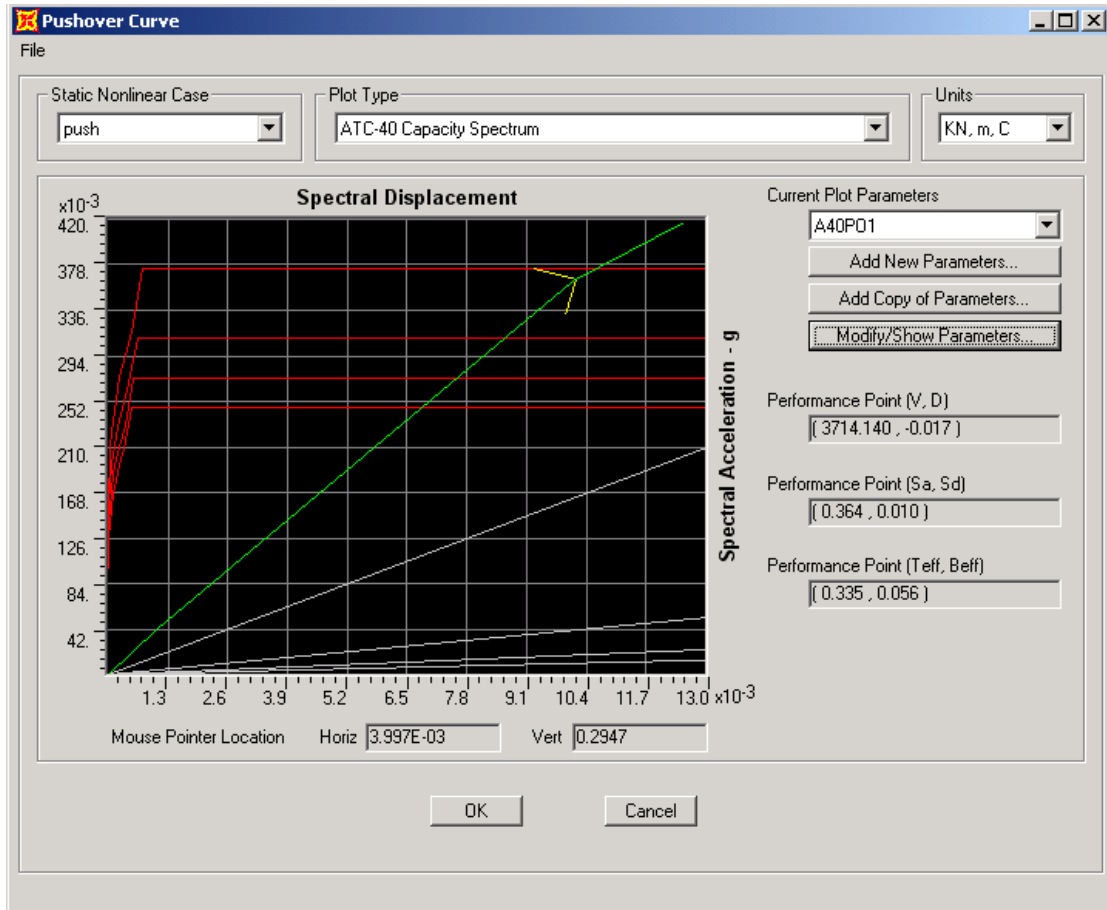
TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.778438	1.2846	8.0715	65.15
MODAL	Mode	2	0.530956	1.8834	11.834	140.04
MODAL	Mode	3	0.523306	1.9109	12.007	144.16
MODAL	Mode	4	0.260953	3.8321	24.078	579.74
MODAL	Mode	5	0.170615	5.8612	36.827	1356.2
MODAL	Mode	6	0.168592	5.9315	37.269	1388.9
MODAL	Mode	7	0.159252	6.2794	39.454	1556.6
MODAL	Mode	8	0.119851	8.3437	52.425	2748.4
MODAL	Mode	9	0.102354	9.77	61.387	3768.3
MODAL	Mode	10	0.097709	10.234	64.305	4135.1
MODAL	Mode	11	0.095418	10.48	65.849	4336.1
MODAL	Mode	12	0.082653	12.099	76.019	5778.9

בטבלאות 6 ו-7 מקבלים אל המאפיינים לערכים העצמיים של המבנה כזמני מחזור לפי צורות התנודה ואת הערכים ליכולת המבנה ולדרישות לפי המאלץ. מבנה זה אמור לקבל חיזוק כדי לעמוד בעומסים הסיסמיים החזויים. בחרנו שלושה שיטות חיזוק למבנה זה ובמקביל התחשבנו בהוספת קומה אחת או שתיים.



ציור מס' 6 - 19 – הבניין הטיפוסי TM38-03 המחוזק לפי הפתרון A

המבנה בתרשים מס' 19 מראה את המבנה הטיפוסי המחוזק בעזרת קירות הקשחה בעובי של 20 ס"מ מבטון ב-20 עם שתי רשתות זיון מפלדה בקוטר 8 מ"מ. תוצאות האנליזה למבנה בעל שתי קומות נוספות מוצגות בתרשים מס' 20. בתרשים מס' 20 נתונים הערכים המאפיינים את התוצאות של אנליזה התפקודית של המערכת תחת הסיכון הסיסמי שבחרנו כעומס שפועל. נקודת התפקוד (the performance point) במקרה הנתון מראה את הערכים הבאים: - כוח הגזירה בבסיס - 3417kN, זמן המחזור האפקטיבי $T_{eff} = 0.335 \text{ sec}$ וריסון האפקטיבי. ערכים שמראים את היכולת ואת הדרישה של המערכת נתונים בטבלאות מס' 8 ו-9.



ציור מס' 6-20 – תוצאות אנליזת התפקוד למבנה TM38-03 המחוזק לפי שיטת A עם תוספת של שתי קומות

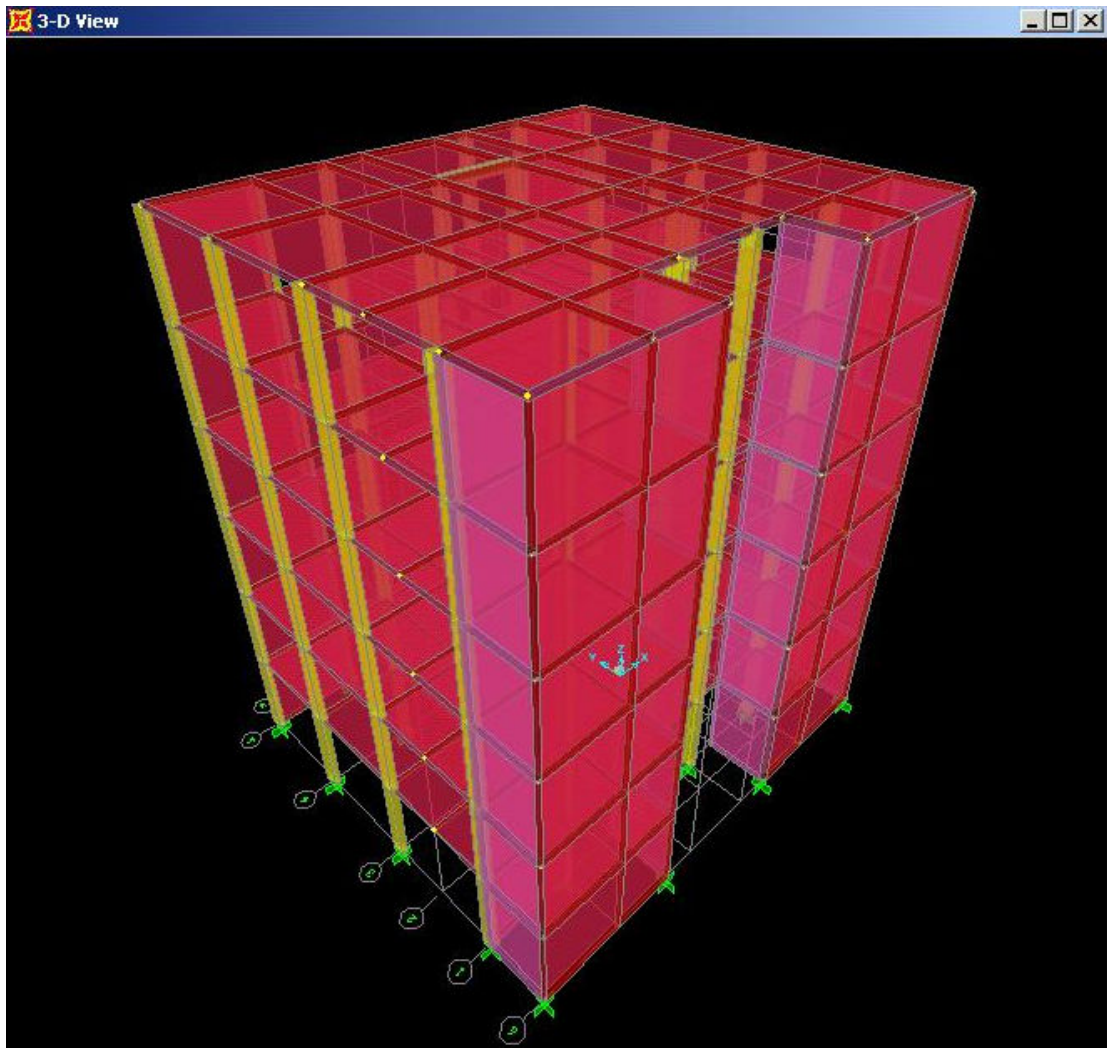
טבלה מס' 5 – ערכים עבור היכולת כנגד הדרישה של המבנה TM38-03 פתרון A.

TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - push

Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFFhi
			m		m			
0	0.315402	0.05	0	0	0.00927	0.375128	1	1
1	0.315402	0.05	0.001037	0.041969	0.00927	0.375128	1.173153	1.733576
2	0.335127	0.055646	0.010113	0.362494	0.010187	0.365157	1.158998	1.712341
3	0.347526	0.079931	0.012524	0.417446	0.009942	0.331402	1.159	1.707733

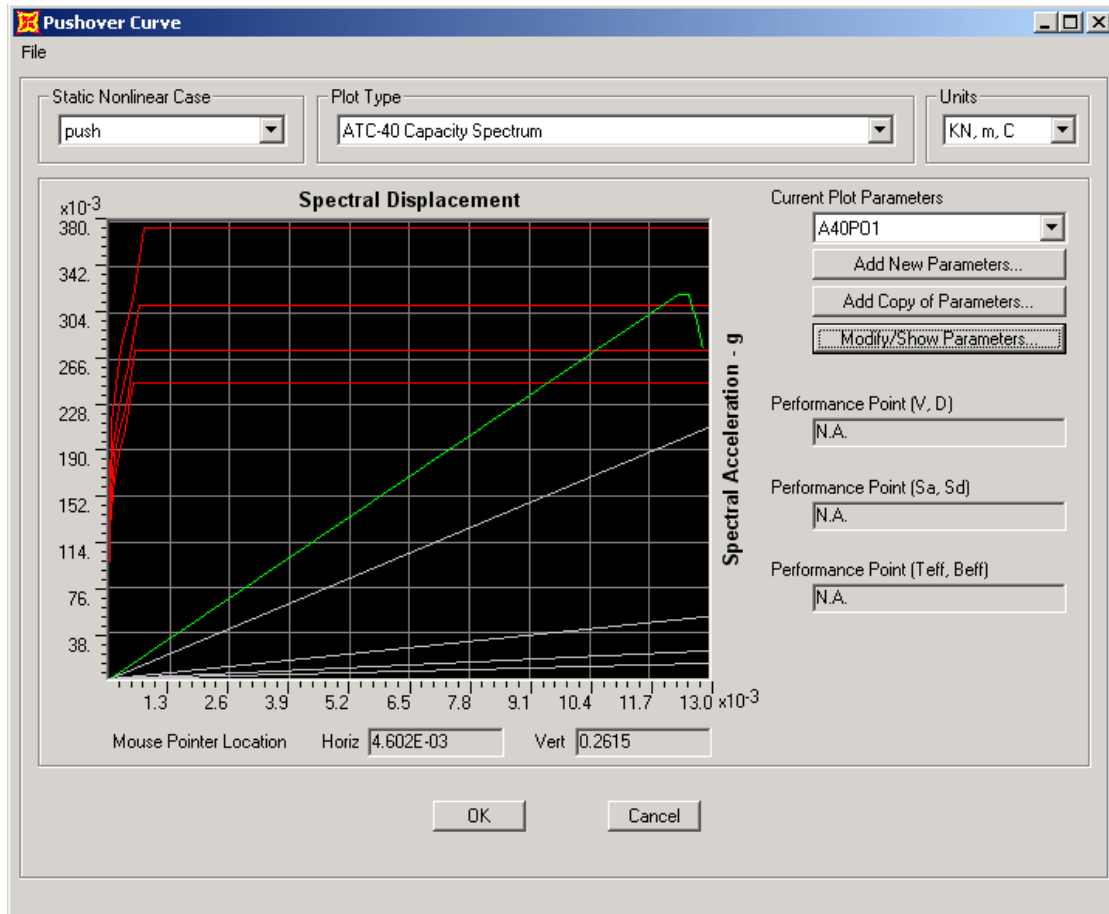
טבלה מס 6' 9- צורות התנודה של המבנה TM38-03 מחוזק לפי פתרון A

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.37749	2.649	16.644	277.03
MODAL	Mode	2	0.28125	3.5554	22.34	499.05
MODAL	Mode	3	0.19027	5.2556	33.022	1090.4
MODAL	Mode	4	0.0834	11.986	75.311	5671.8
MODAL	Mode	5	0.07963	12.558	78.902	6225.5
MODAL	Mode	6	0.07268	13.758	86.445	7472.7
MODAL	Mode	7	0.06634	15.073	94.704	8968.8
MODAL	Mode	8	0.06368	15.702	98.661	9734
MODAL	Mode	9	0.06299	15.875	99.747	9949.4
MODAL	Mode	10	0.0532	18.795	118.1	13947
	Mode	11	0.05156	19.393	121.85	14847

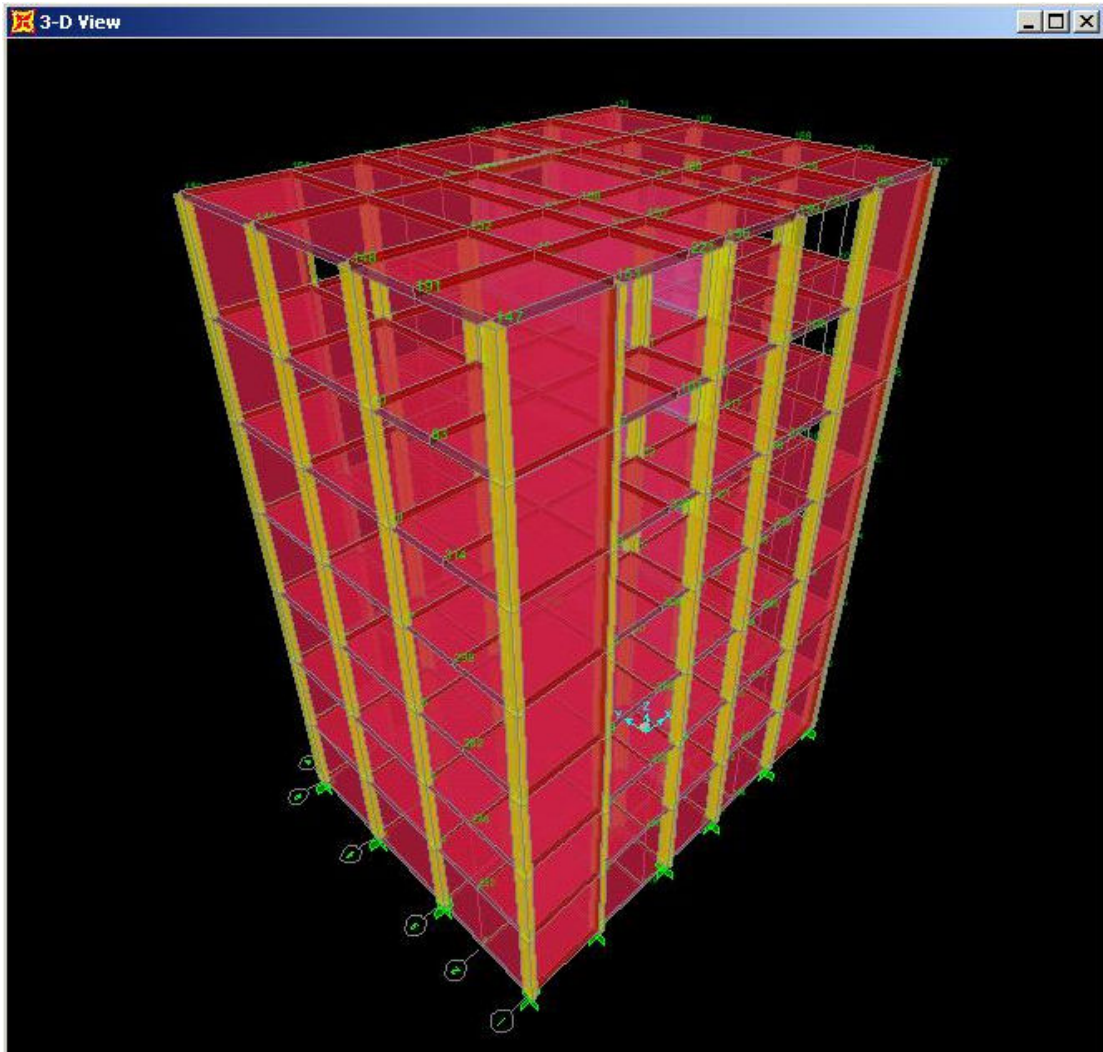


ציור מס 6-21 - המבנה TM38-03 המחוזק לפי שיטת B עם תוספת של שני פירים ושני קירות

בוחרים שוב את המקרה של המבנה המחוזק ותוספת של שתי קומות. האנליזה נעשתה בעזרת התוכנה SAP2000. המבנה המחוזק בעזרת שני פירים ושני קירות הקשחה לא עומד תחת העומס הסיסמי הדרוש. המבנה לא עומד תחת העומס שפועל עליו.



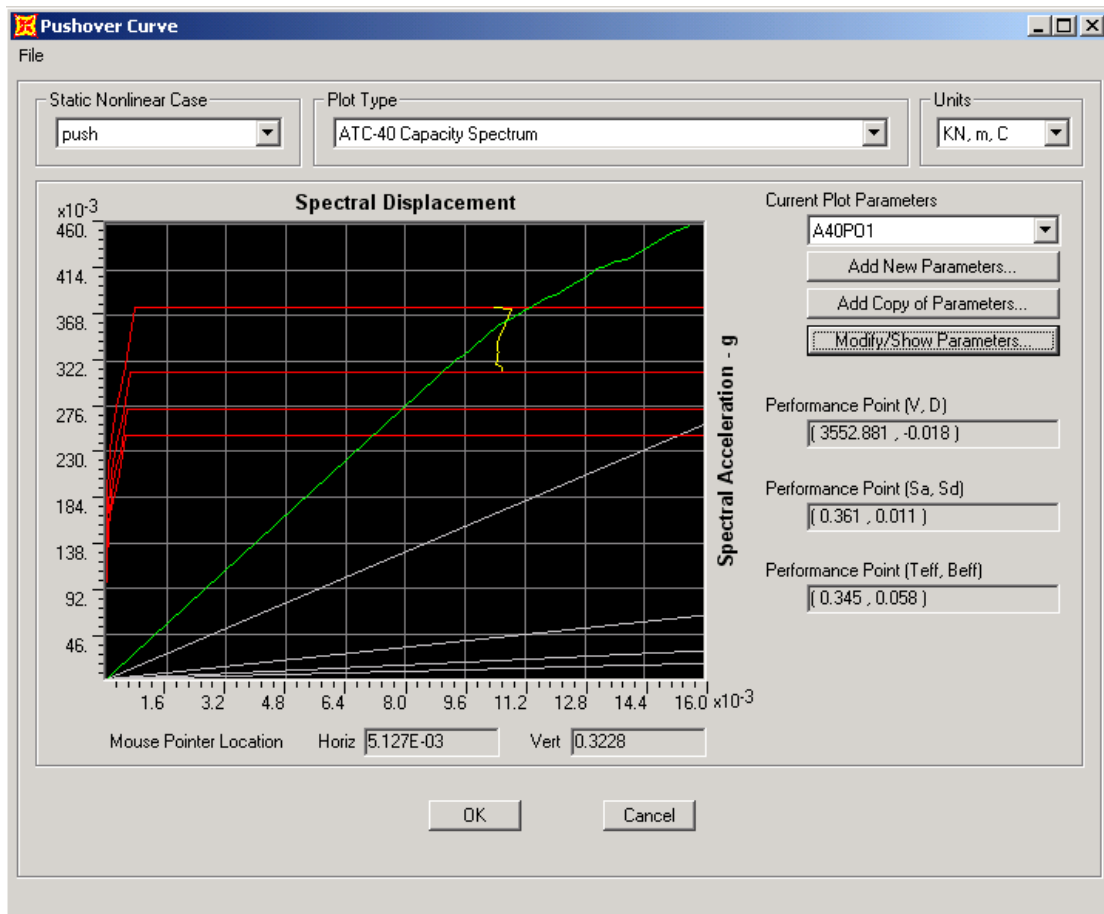
ציור מס' 22-6 - תוצאת אנליזת התפקוד למבנה TM38-03 המחוזק לפי שיטת B עם תוספת של שני פירים ושני קירות.



ציור מס 6 - 23 - הבניין TM38-03 המחוזק לפי פתרון C.

החיזוק עבור המבנה הטיפוסי TM38-03 הוא שימוש בקירות הקשחה בחזיתות המבנה ובמקביל קירות חיזוק בפיר חדר מדרגות. המבנה המחוזק לפי פתרון C מתנהג בצורה טובה יותר מאשר המבנה המחוזק לפי פתרון B.

תרשים מס 24 מראה שהמבנה המחוזק לפי פתרון C עומד בכוח גזירה בבסיס של $3552kN$ עבור זמן מחזור אפקטיבי של $T_{eff} = 0.347sec$ ומקדם ריסון אפקטיבי של $\beta_{eff} = 0.058(5.8\%)$.



ציור מס 6 – 24 – אנליזת תפקוד של המבנה TM38-03 המחוזק לפי הפתרון מס' C

טבלה מס' 6 - 6 ערכי יכולת נגד דרישה בנין TM38-03 מחוזק לפי פתרון C

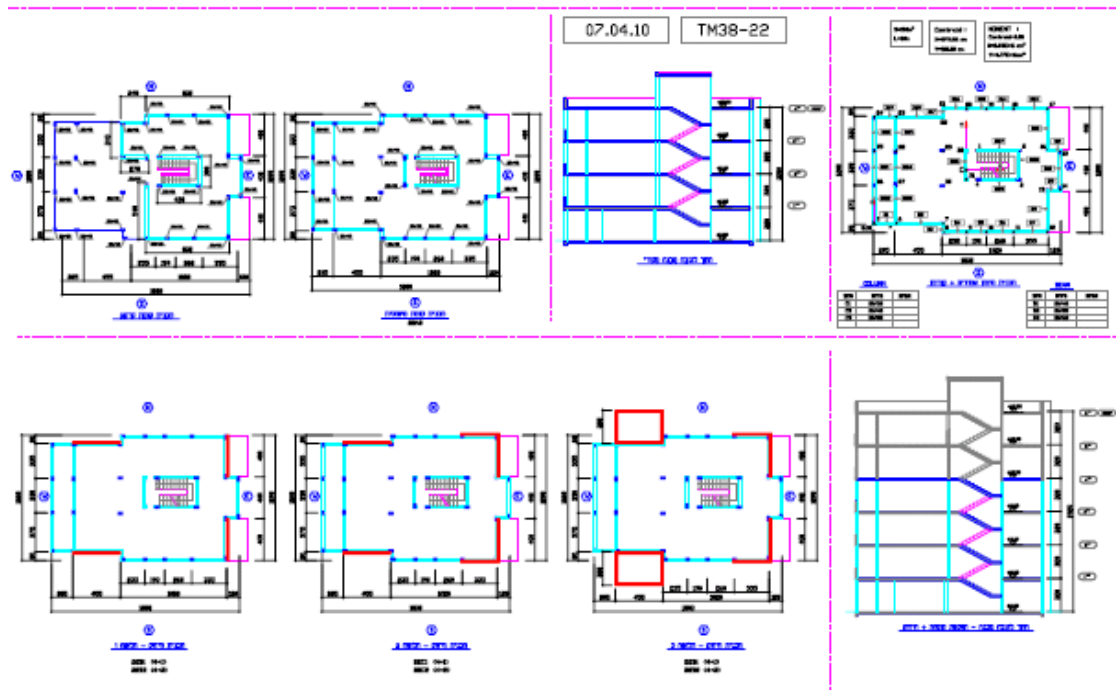
TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - push								
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPhi
			m		m			
0	0.245221	0.05	0	0	0.005603	0.375128	1	1
1	0.245221	0.05	0.002854	0.191087	0.005603	0.375128	1.397248	1.540424
2	0.264567	0.071813	0.009159	0.52679	0.005936	0.341383	1.394022	1.582146
3	0.279651	0.101835	0.012104	0.623043	0.005999	0.308828	1.393078	1.610194
4	0.283688	0.109941	0.012739	0.637247	0.006031	0.301689	1.392518	1.616648
5	0.284572	0.112074	0.012834	0.638002	0.006033	0.299898	1.392322	1.617755
6	0.288669	0.117687	0.013696	0.661657	0.006113	0.295343	1.391936	1.624825
7	0.289695	0.119802	0.013836	0.663706	0.006122	0.293683	1.391732	1.626165
8	0.294016	0.126578	0.014616	0.680639	0.006196	0.288555	1.391229	1.630607
9	0.295121	0.128858	0.014758	0.68213	0.006207	0.286891	1.39116	1.630668
10	0.300583	0.135158	0.015912	0.708964	0.006339	0.282441	1.391722	1.628522
11	0.303451	0.139563	0.016407	0.717294	0.006392	0.279452	1.391641	1.629249
12	0.306758	0.145554	0.016881	0.72217	0.006441	0.275535	1.390983	1.634047
13	0.308141	0.148367	0.017047	0.72275	0.006457	0.273751	1.39067	1.63588
14	0.314567	0.157464	0.018137	0.737871	0.006593	0.268204	1.389401	1.645521
15	0.316385	0.160458	0.018404	0.740141	0.006625	0.266448	1.389039	1.648016

טבלה מס 6 - 7' צורות התנודה של המבנה TM38-03 מחוזק לפי שטת C

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	Rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.4003	2.4981	15.696	246.36
MODAL	Mode	2	0.39289	2.5452	15.992	255.75
MODAL	Mode	3	0.29061	3.441	21.621	467.45
MODAL	Mode	4	0.09339	10.708	67.277	4526.2
MODAL	Mode	5	0.09246	10.815	67.952	4617.4
MODAL	Mode	6	0.0799	12.515	78.631	6182.9
MODAL	Mode	7	0.0699	14.3	89.849	8072.9
MODAL	Mode	8	0.05693	17.564	110.36	12178
MODAL	Mode	9	0.05614	17.81	111.9	12523
MODAL	Mode	10	0.05553	18.007	113.14	12801
MODAL	Mode	11	0.04712	21.221	133.34	17778
MODAL	Mode	12	0.04704	21.256	133.55	17837

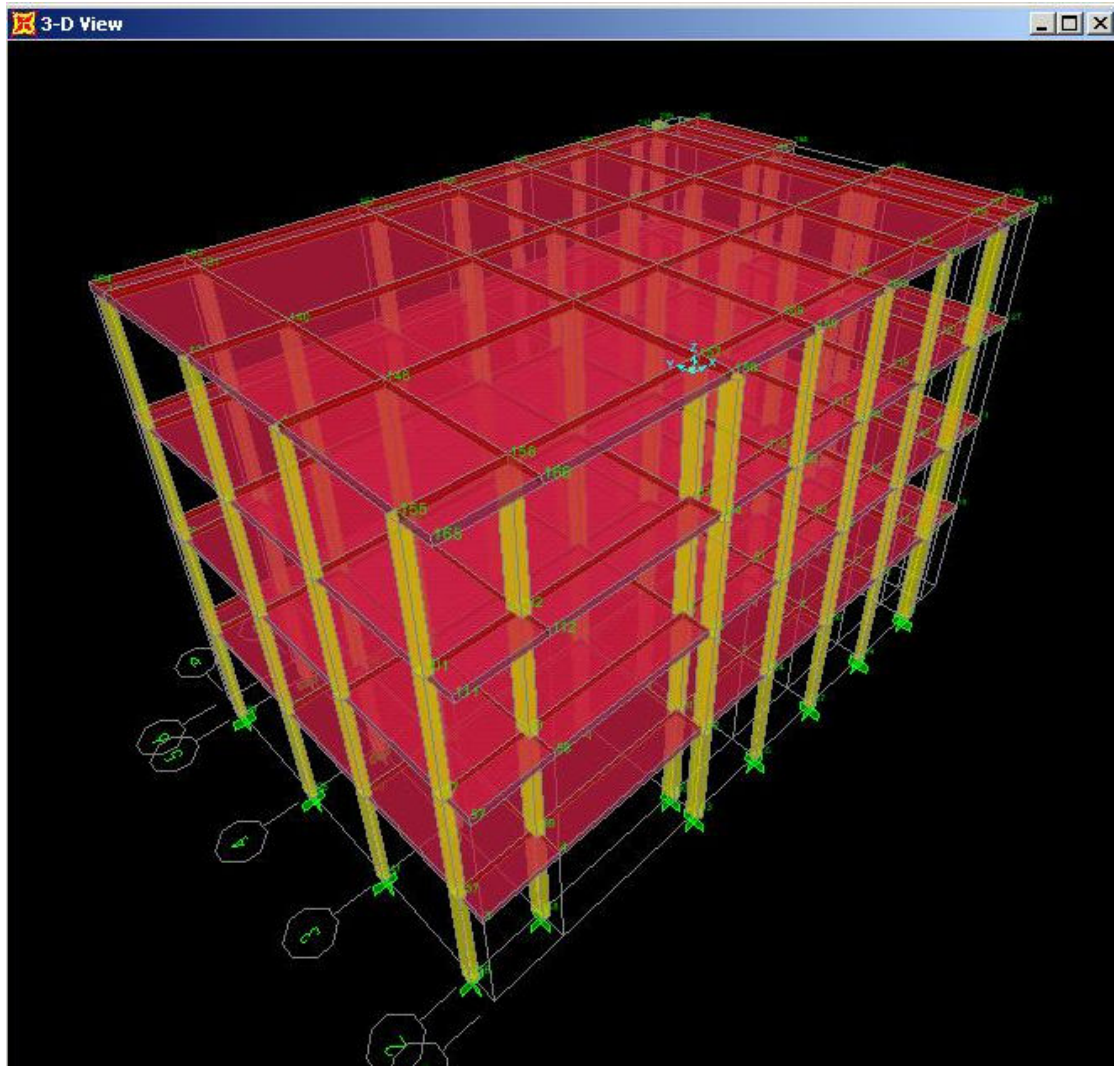
בטבלה מס' 10 רואים את הערכים של יכולת המבנה מול הערכים של הדרישה בעקבות העומס הסיסמי הלקוח. הטבלה מס' 11 מראה את הערכים העצמיים של המבנה עבור 12 צורות התנודה הראשונות.

6.4 מבנה מס' TM38-22 בעל 4 קומות



ציור מס' 6 - 25' 3 - מבנה TM38-22 בעל 4 קומות ופתרונות חיזוק

המבנה הנתון מכיל עמודים וקורות כאשר פיר המדרגות מורכב מקירות בני ועמודים בקצוות הקירות.

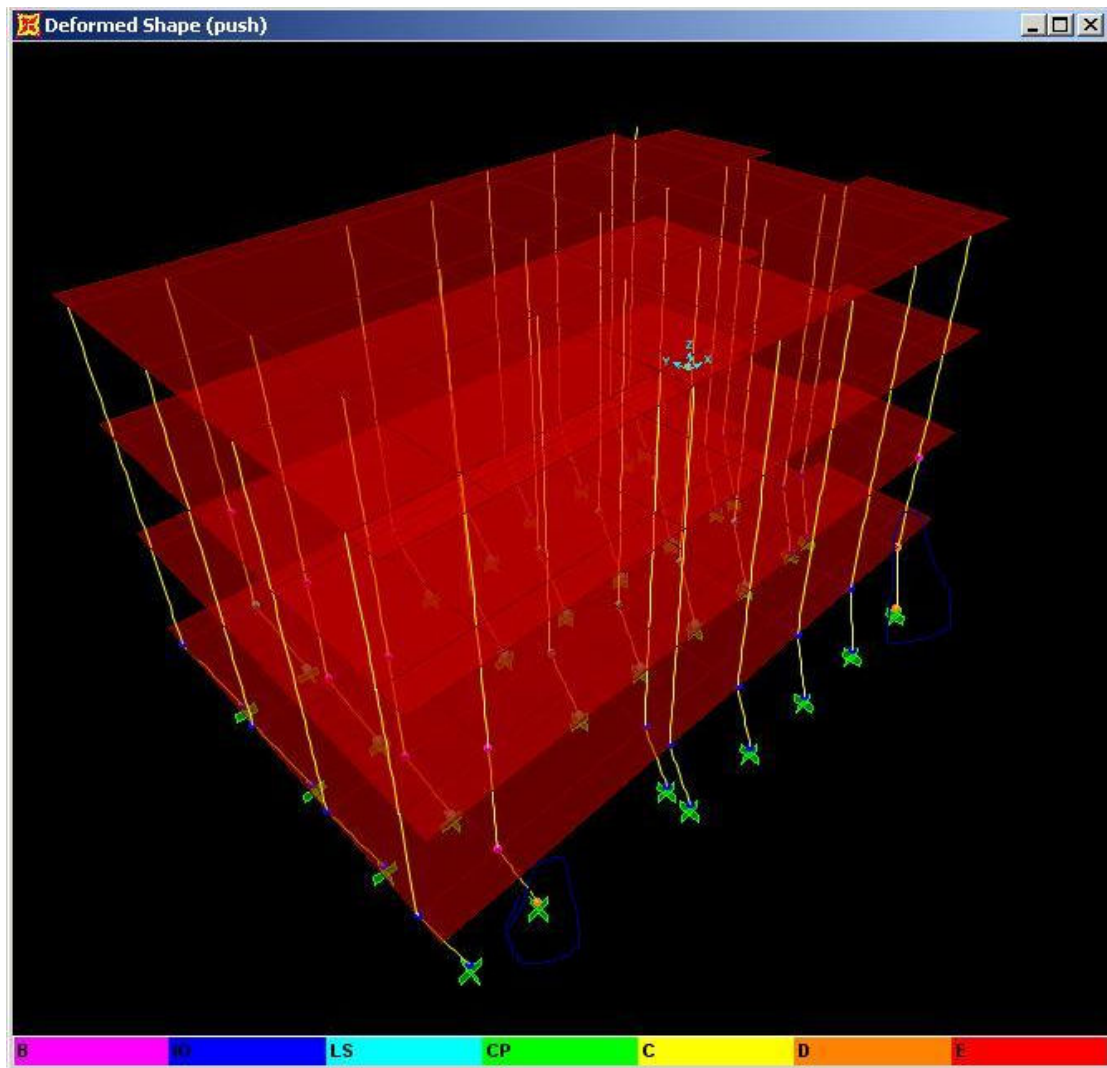


ציור מס 6 - 26 ' – הבניין הטיפוסי TM38-22

טבלה מס 6 - 8' צורות התנודה של מבנה TM38-22 המקורי

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.796874	1.2549	7.8848	62.17
MODAL	Mode	2	0.580008	1.7241	10.833	117.35
MODAL	Mode	3	0.530888	1.8836	11.835	140.07
MODAL	Mode	4	0.269953	3.7043	23.275	541.73
MODAL	Mode	5	0.190312	5.2545	33.015	1090
MODAL	Mode	6	0.17544	5.7	35.814	1282.6
MODAL	Mode	7	0.168917	5.9201	37.197	1383.6
MODAL	Mode	8	0.151628	6.5951	41.438	1717.1
MODAL	Mode	9	0.13	7.6923	48.332	2336
MODAL	Mode	10	0.113533	8.808	55.342	3062.8
MODAL	Mode	11	0.105684	9.4621	59.452	3534.6
MODAL	Mode	12	0.088703	11.274	70.834	5017.5

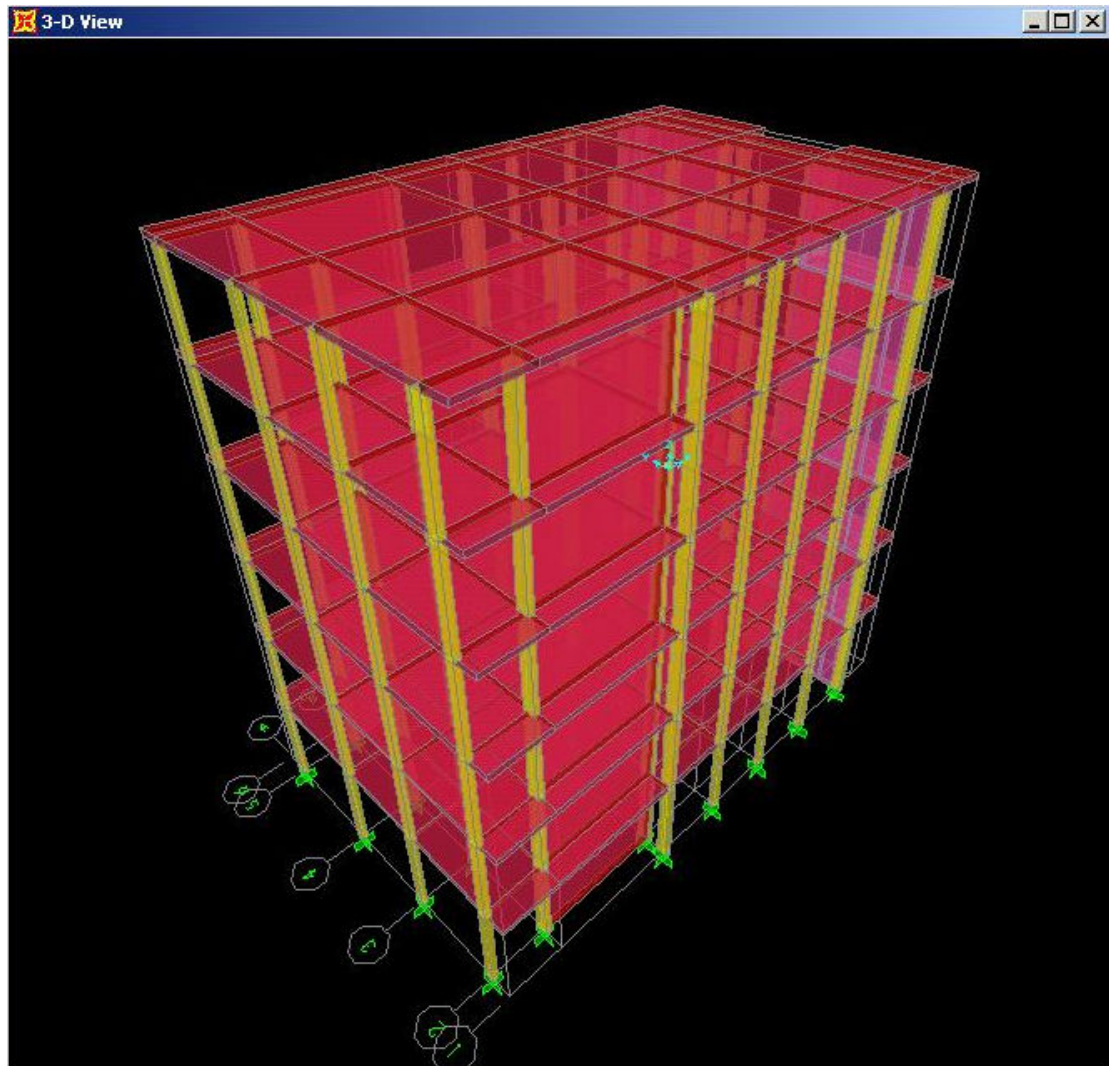
המבנה הנתון לא עומד תחת העומס הסיסי שלקחנו בחשבון, המערכת החישובית לא הצליחה לחשב את תגובת המבנה תחת המאליץ. המבנה דורש חיזוק כדי שיעמוד בעומס.



ציור מס' 6 - 27 - התנהגות המבנה TM38-22 תחת לחיצה צידית (Pushover)

המבנה הטיפוסי TM38-22 בעקבות לחיצה הצידית בנקודת הביצועים מראה הופעת של פרקים פלסטיים המובילים להתמוטטות (הצמתים המוקפים בכחול).

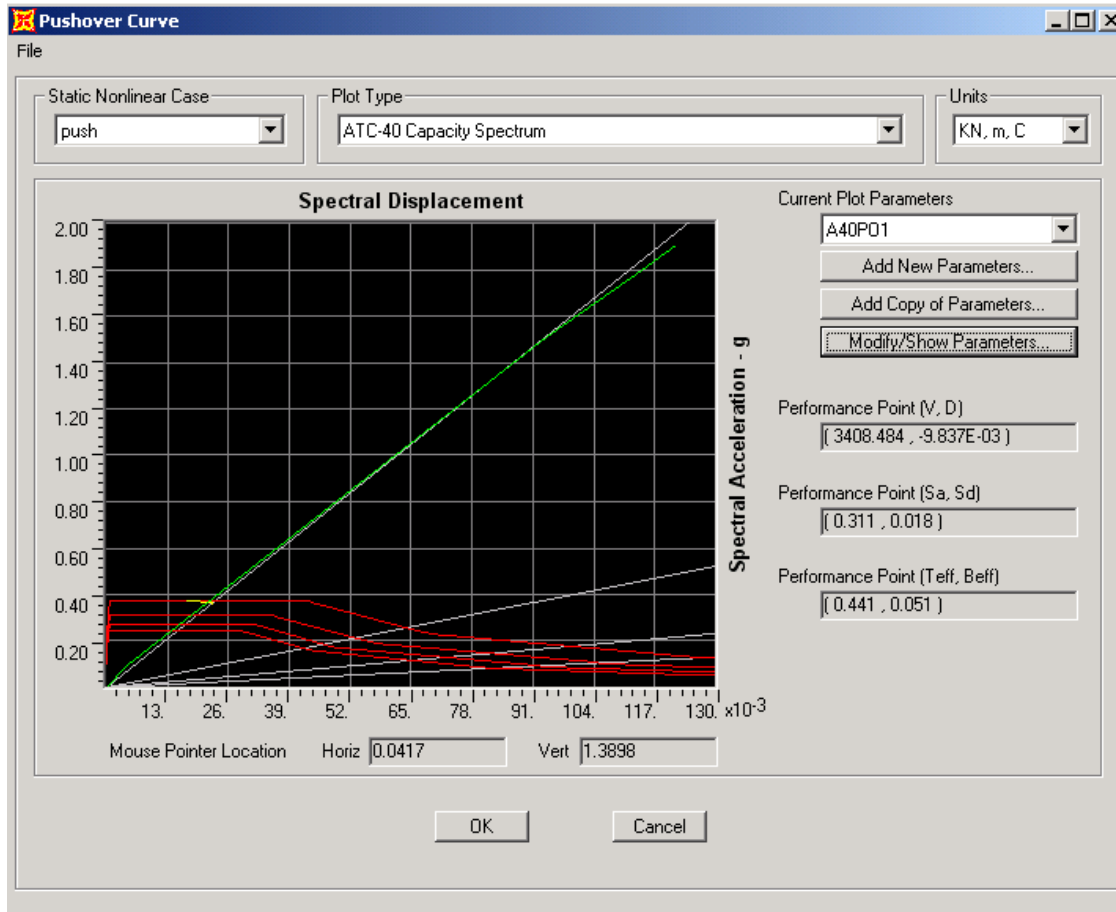
6.4.1 פתרון חיזוק A



ציור מס' 6 - 28 – הבניין המחוזק TM38-22 לפי פתרון A

לפי תרשים מס' 28 מחזקים את הבניין בעזרת קירות הקשחה בחזיתות המבנה. בעקבות אנליזת הביצועים מקבלים את התוצאות הבאות לפי התרשים מס' 29. כוח הגזירה בבסיס שווה ל- $3408kN$, זמן המחזור שווה ל- $T_{eff} = 0.441sec$ ומנת הריסון האפקטיבי הוא $\beta_{eff} = 0.051(5/1\%)$.

טבלאות מס' 13 ו-14 מראים את זמני מחזור לצורות התנודה של המבנה ואת הערכים ליכולת ודרישה של אנליזת הביצועים בעזרת התוכנה SAP2000.



ציור מס' 6 – 29 - הבניין המחוזק TM38-22 לפי פתרון A עם תוספת של שתי קומות

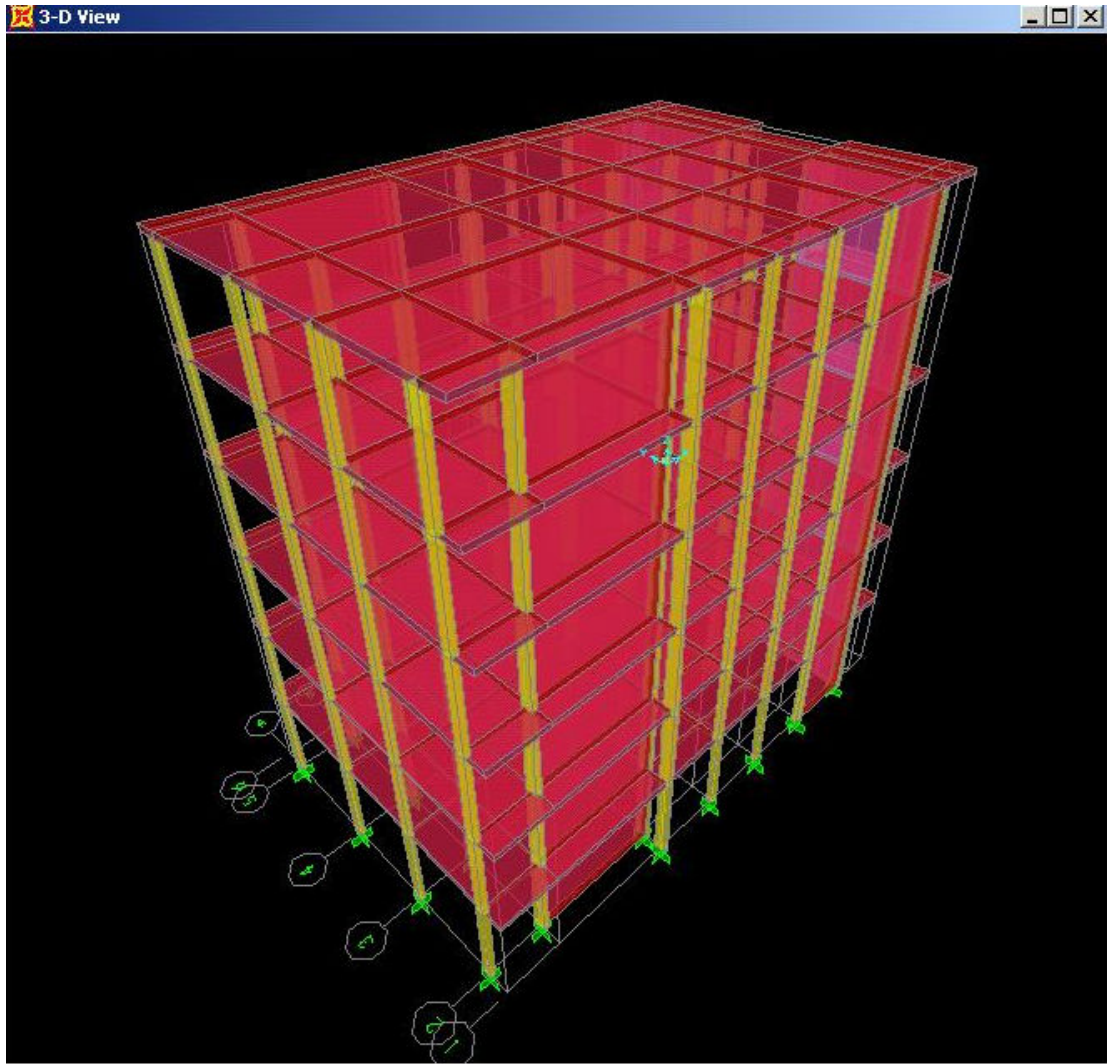
טבלה מס' 6 - 9 ערכי היכולת כנגד הדרישה עבור המבנה TM38-22 מחוזק לפי שיטה A.

TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 – push

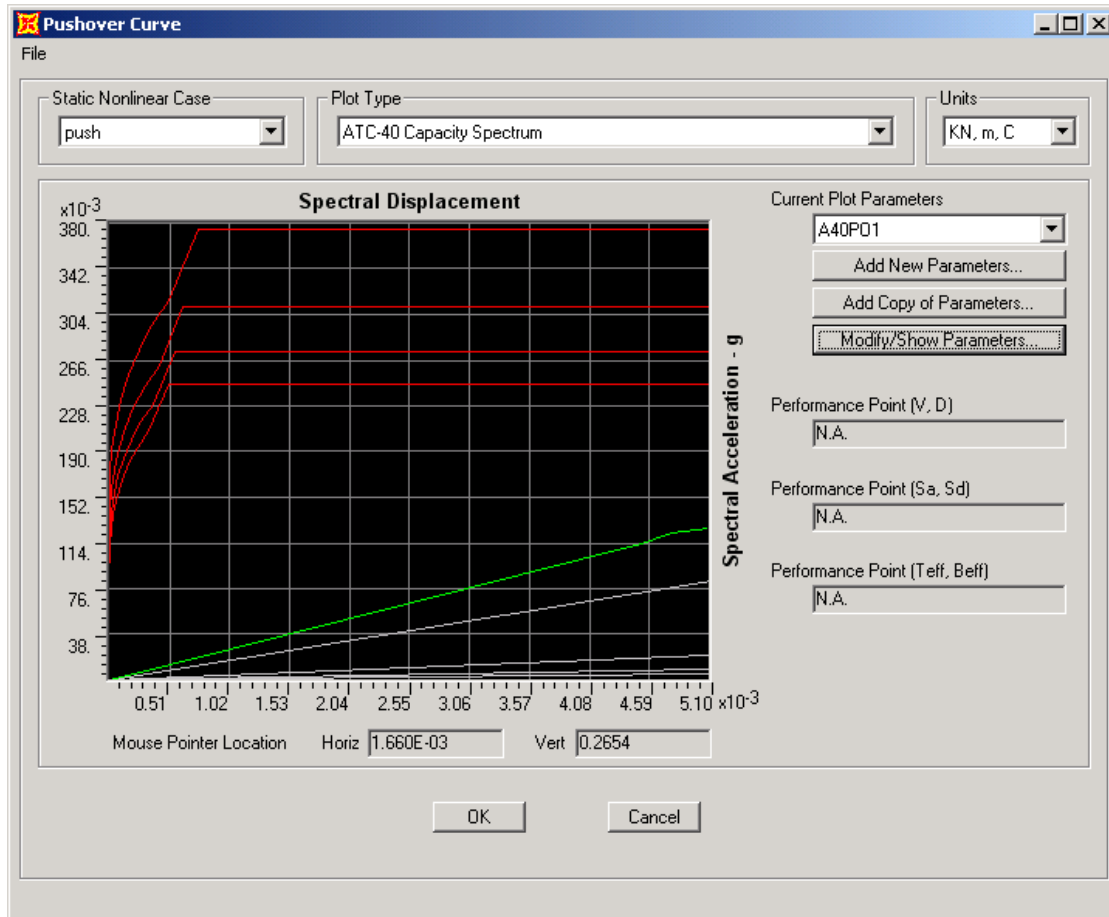
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPhi
			m		m			
0	0.43022	0.05	0	0	0.017247	0.375128	1	1
1	0.43022	0.05	0.004409	0.0959	0.017247	0.375128	1.201082	0.46526
2	0.500682	0.057088	0.094085	1.510894	0.02259	0.362771	1.223767	0.56787
3	0.505811	0.061997	0.115247	1.813385	0.022567	0.355083	1.234057	0.597991
4	0.505975	0.062196	0.115655	1.818629	0.022562	0.354784	1.234155	0.598759
5	0.507282	0.063192	0.121579	1.901959	0.022584	0.353303	1.236612	0.606772

טבלה מס 6 - 10' צורות התנודה עבור המבנה TM38-22 מחוזק לפי שטת A.

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	<u>0.52511</u>	1.9044	11.965	143.17
MODAL	Mode	2	0.37248	2.6846	16.868	284.53
MODAL	Mode	3	0.2616	3.8225	24.018	576.85
MODAL	Mode	4	0.14454	6.9184	43.47	1889.6
MODAL	Mode	5	0.08539	11.71	73.576	5413.5
MODAL	Mode	6	<u>0.07784</u>	12.847	80.719	6515.6
MODAL	Mode	7	0.0698	14.326	90.013	8102.3
MODAL	Mode	8	0.06516	15.345	96.417	9296.2
MODAL	Mode	9	0.06206	16.111	101.23	10248
MODAL	Mode	10	0.06072	16.468	103.47	10706
MODAL	Mode	11	0.05904	16.936	106.41	11323
MODAL	Mode	12	0.05621	17.789	111.77	12492



ציור מס' 6 - 30 - הבניין המחוזק TM38-22 לפי פתרון B

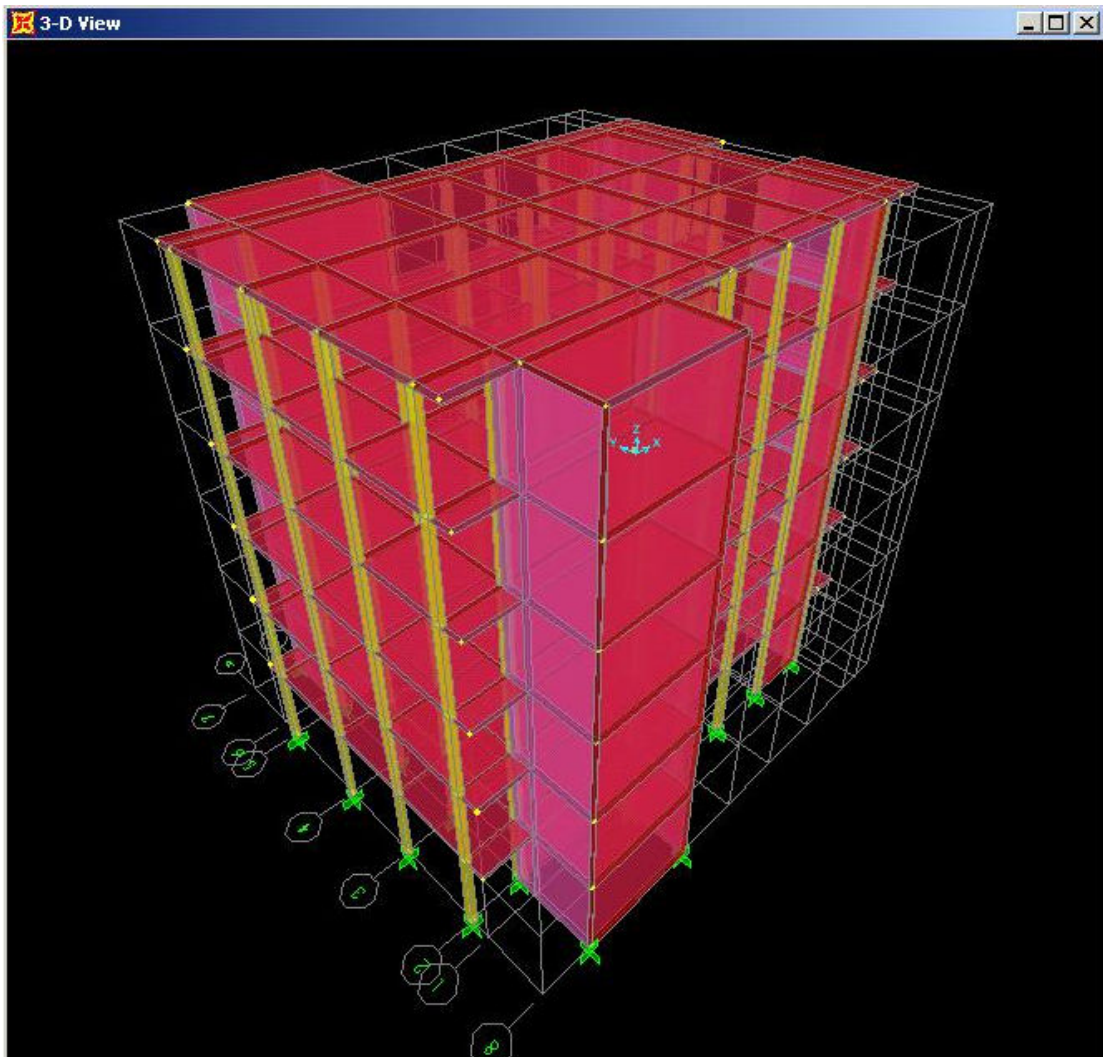


ציור מס' 6 – 31 נקודת תפקוד עבור המבנה TM38-22 פתרון חיזוק B – אינו יציב.
 המבנה המחוזק לפי הפיתרון B מוביל למערכת לא סימטרית שלפי אנליזת הביצועים לא מחזיק מעמד תחת הדרישה של העומס הסיסימי.

טבלה מס' 6 - 11 ערכי יכולת נגד דרישה

TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - push								
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPhi
			m		m			
0	0.400893	0.05	0	0	0.014976	0.375128	1	1
1	0.400893	0.05	0.004515	0.113101	0.014976	0.375128	1.108635	0.964358
2	0.397276	0.05	0.004779	0.121888	0.014707	0.375128	1.101439	0.948581
3	0.402987	0.05503	0.005082	0.125966	0.014772	0.366194	1.092461	0.93556

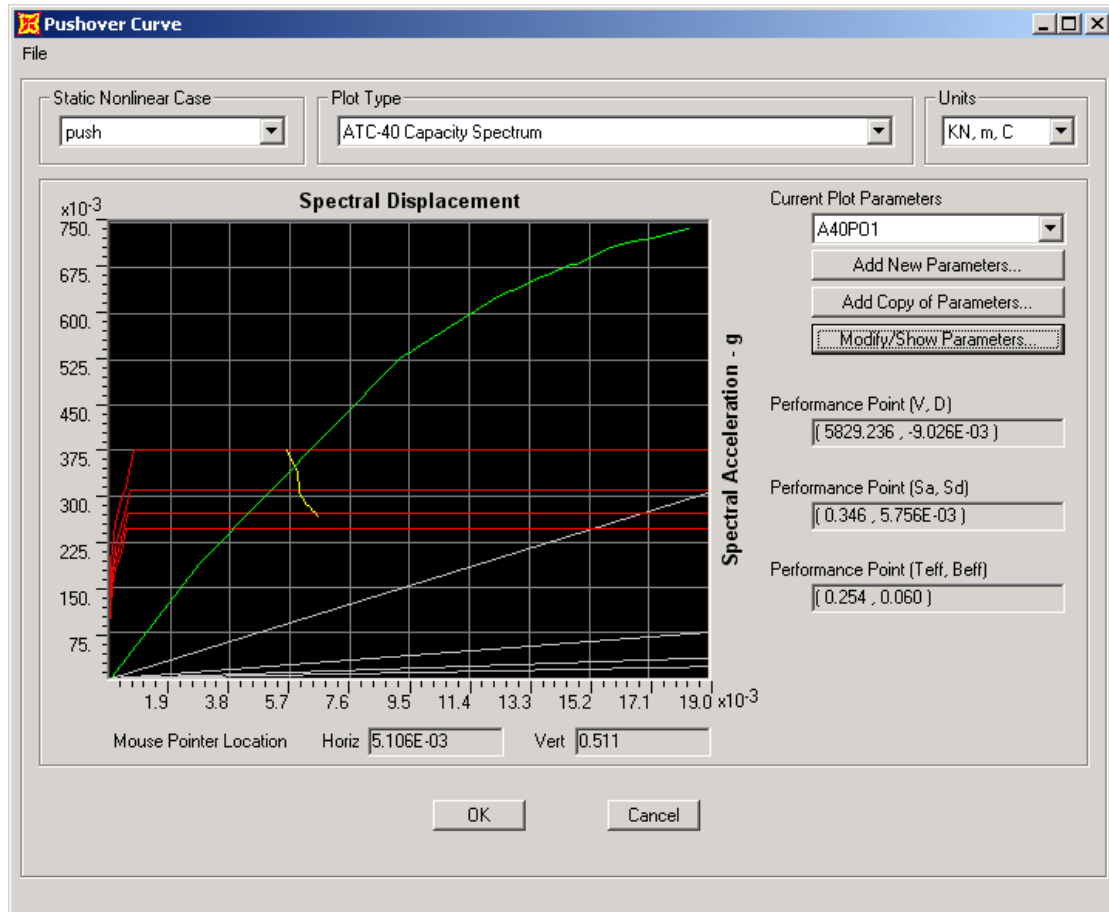
בטבלה מס' 15 אפשר לראות את ההבדלים בין היכולת לדרישה ואת האי-יציבות של המבנה המחוזק.



ציור מס' 6 – 32 – הבניין TM38-22 המחוזק לפי הפתרון C

הבניין TM38-22 המחוזק לפי הפתרון C מכיל שני ממ"דים ושני קירות הקשחה שמחזקים את המבנה באופן משמעותי. בתרשים מס' 33 אפשר לראות את ערך כוח הגזירה בבסיס שהוא שווה ל- $5829kN$, את ערך זמן המחזור האפקטיבי $T_{eff} = 0.254sec$ ואת ערך מנת הריסון בנקודת התפקוד $\beta_{eff} = 0.6(6\%)$.

בטבלאות מס' 16 ו-17 נתונים ההשוואות בין הדרישה ליכולת של המבנה ובמקביל נתונים זמני מחזור עבור צורות התנודה השונים של המערכת.



ציור מס 6-33 – אנליזת הביצועים של המבנה TM38-22 המחוזק לפי שיטת C.

טבלה מס' 6 - 12 צורות התנודה עבור המבנה TM38-22 המחוזק לפי פתרון C.

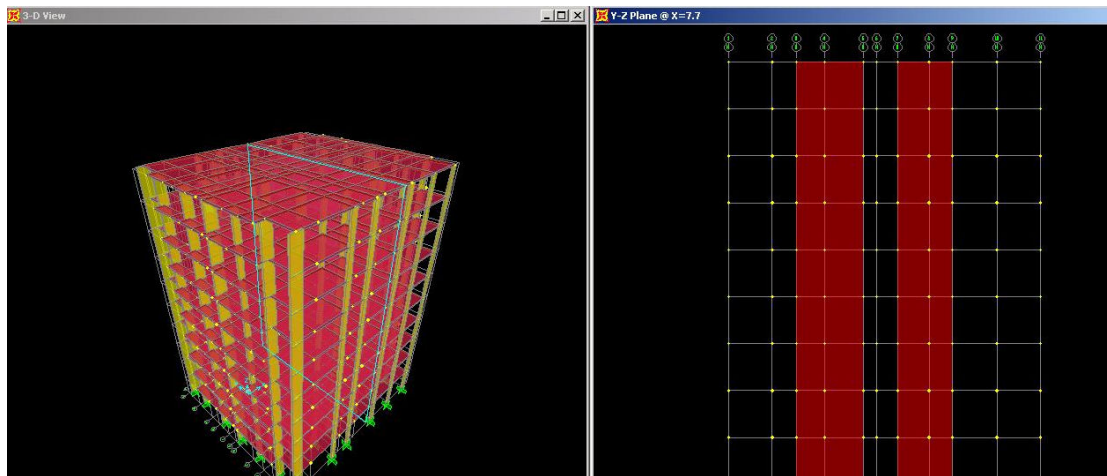
TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.24687	4.0506	25.451	647.74
MODAL	Mode	2	0.24416	4.0955	25.733	662.19
MODAL	Mode	3	0.15848	6.3099	39.646	1571.8
MODAL	Mode	4	0.06918	14.453	90.812	8246.7
MODAL	Mode	5	0.06409	15.601	98.023	9608.5
MODAL	Mode	6	0.05984	16.71	104.99	11023
MODAL	Mode	7	0.0579	17.259	108.44	11760
MODAL	Mode	8	0.05752	17.384	109.23	11930
MODAL	Mode	9	0.05731	17.449	109.63	12020
MODAL	Mode	10	0.05143	19.443	122.17	14924
MODAL	Mode	11	0.0505	19.779	124.27	15444
MODAL	Mode	12	0.05046	19.817	124.52	15504

טבלה מס' 6-13 ערכים של יכולת כנגד דרישה עבור המבנה TM38-22 מחוזק לפי שיטה C.

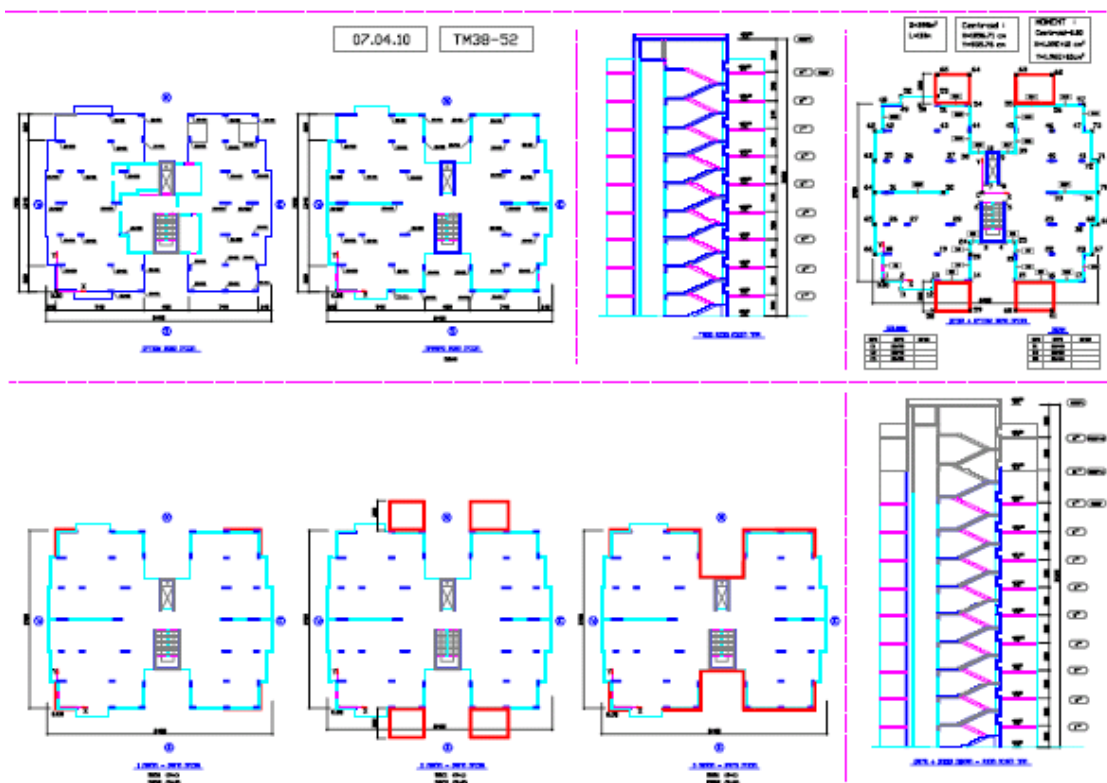
TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - push

Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPphi
			m		m			
0	0.245221	0.05	0	0	0.005603	0.375128	1	1
1	0.245221	0.05	0.002854	0.191087	0.005603	0.375128	1.397248	1.540424
2	0.264567	0.071813	0.009159	0.52679	0.005936	0.341383	1.394022	1.582146
3	0.279651	0.101835	0.012104	0.623043	0.005999	0.308828	1.393078	1.610194
4	0.283688	0.109941	0.012739	0.637247	0.006031	0.301689	1.392518	1.616648
5	0.284572	0.112074	0.012834	0.638002	0.006033	0.299898	1.392322	1.617755
6	0.288669	0.117687	0.013696	0.661657	0.006113	0.295343	1.391936	1.624825
7	0.289695	0.119802	0.013836	0.663706	0.006122	0.293683	1.391732	1.626165
8	0.294016	0.126578	0.014616	0.680639	0.006196	0.288555	1.391229	1.630607
9	0.295121	0.128858	0.014758	0.68213	0.006207	0.286891	1.39116	1.630668
10	0.300583	0.135158	0.015912	0.708964	0.006339	0.282441	1.391722	1.628522
11	0.303451	0.139563	0.016407	0.717294	0.006392	0.279452	1.391641	1.629249
12	0.306758	0.145554	0.016881	0.72217	0.006441	0.275535	1.390983	1.634047
13	0.308141	0.148367	0.017047	0.72275	0.006457	0.273751	1.39067	1.63588
14	0.314567	0.157464	0.018137	0.737871	0.006593	0.268204	1.389401	1.645521
15	0.316385	0.160458	0.018404	0.740141	0.006625	0.266448	1.389039	1.648016

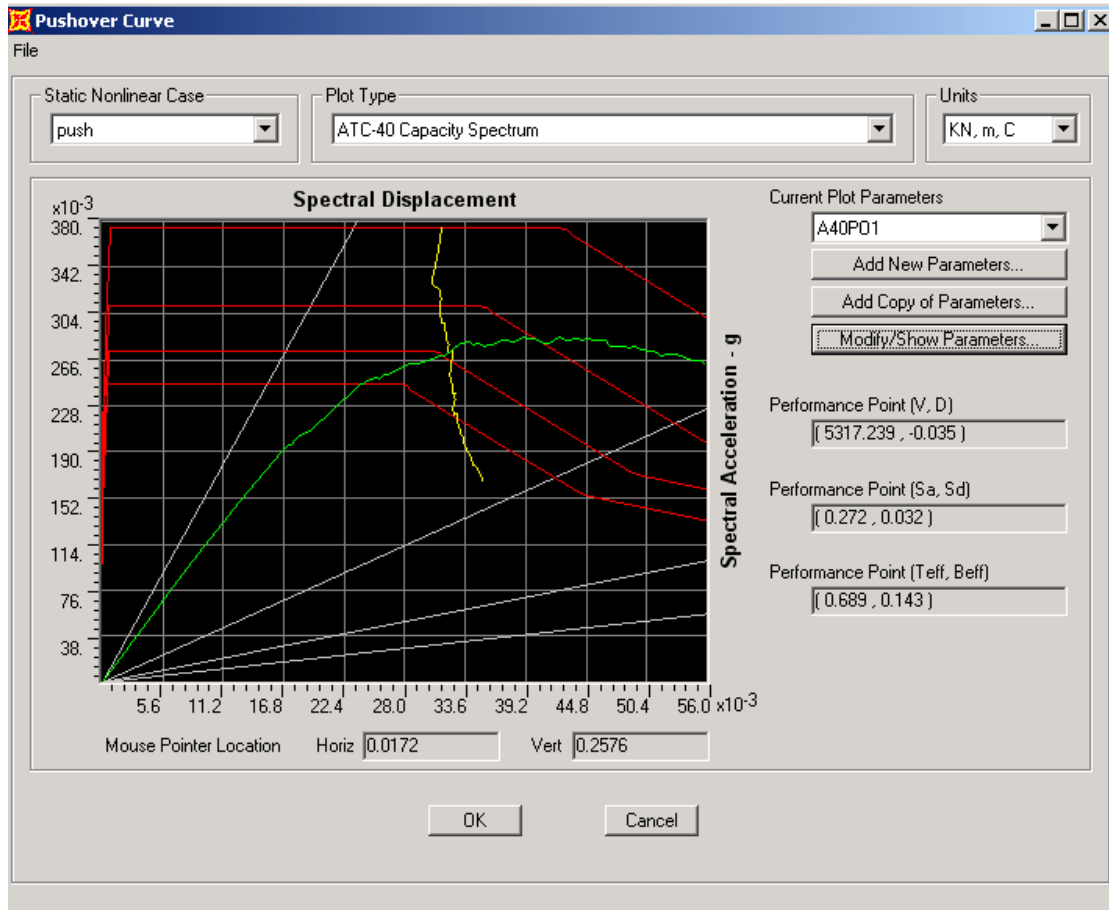
6.5 מבנה מס' TM38-52 בעל 9 קומות



ציור מס' 6 – 34 – המבנה TM38-52 בעל 9 קומות



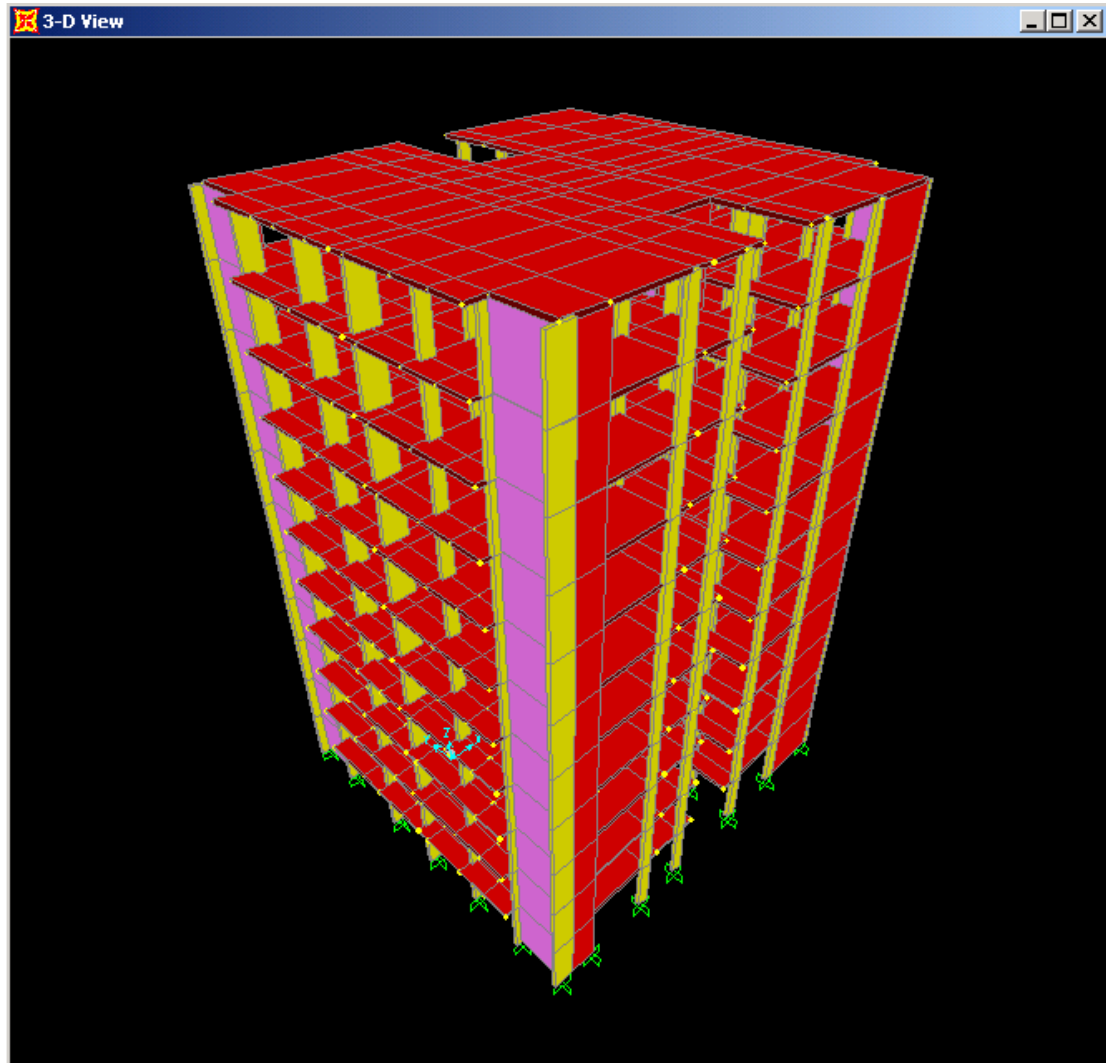
ציור מס' 6 – 35 – המבנה TM38-52 ושטות החיזוק לפי תמ"א 38.



ציור מס' 6 – 36 – אנליזת הביצועים של המבנה הטיפוסי TM38-52 בעל 9 קומות

מבנה זה מורכב מעמודים ותקרות בטון מזוין ובנוסף פיר המדרגות בנוי מקירות הקשחה מבטון מזוין. בעקבות אנליזת הביצועים אפשר לראות שכוח הגזירה בבסיס שווה ל- $5317kN$, זמן המחזור האפקטיבי שווה ל- $T_{eff} = 0.689sec$ ומנת הריסון האפקטיבי הוא $\beta_{eff} = 0.143(14.3\%)$. לפי התוצאות הנ"ל המבנה דורש חיזוק נגד עומסים סיסמיים.

6.5.1 המבנה TM38-52 המחוזק לפי שיטת A

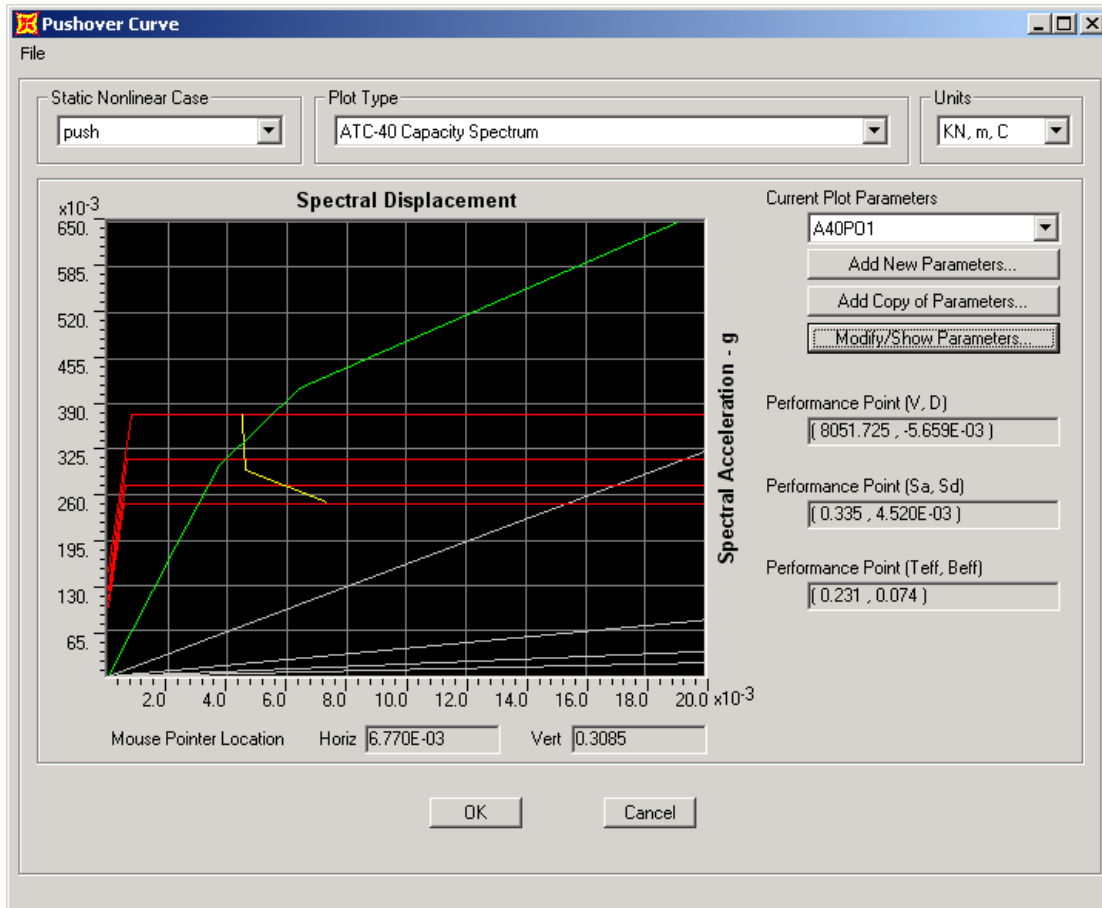


ציור מס' 6 – 37 – הבניין המחוזק TM38-52 לפי שיטת A

המבנה הנ"ל מחוזק על ידי קירות הקשחה בפינות המבנה . לפי תרשים מס' 38 אפשר לירות שערך כוח הגזירה בבסיס שווה ל $8051kN$, זמן המחזור האפקטיבי הוא $T_{eff} = 0.231sec$ ומנת הריסון האפקטיבי

$$\text{הוא } \beta_{eff} = 0.074(7.4\%) .$$

בטבלאות 18 ו-19 אפשר לראות את ערכי היכולת והדרישה ובמקביל את זמני המחזור לצורות התנודה של המערכת.



ציור מס' 6 - 38 – תוצאות אנליזת הביצועים עבור המבנה TM38-52 המחוזק לפי שיטת A

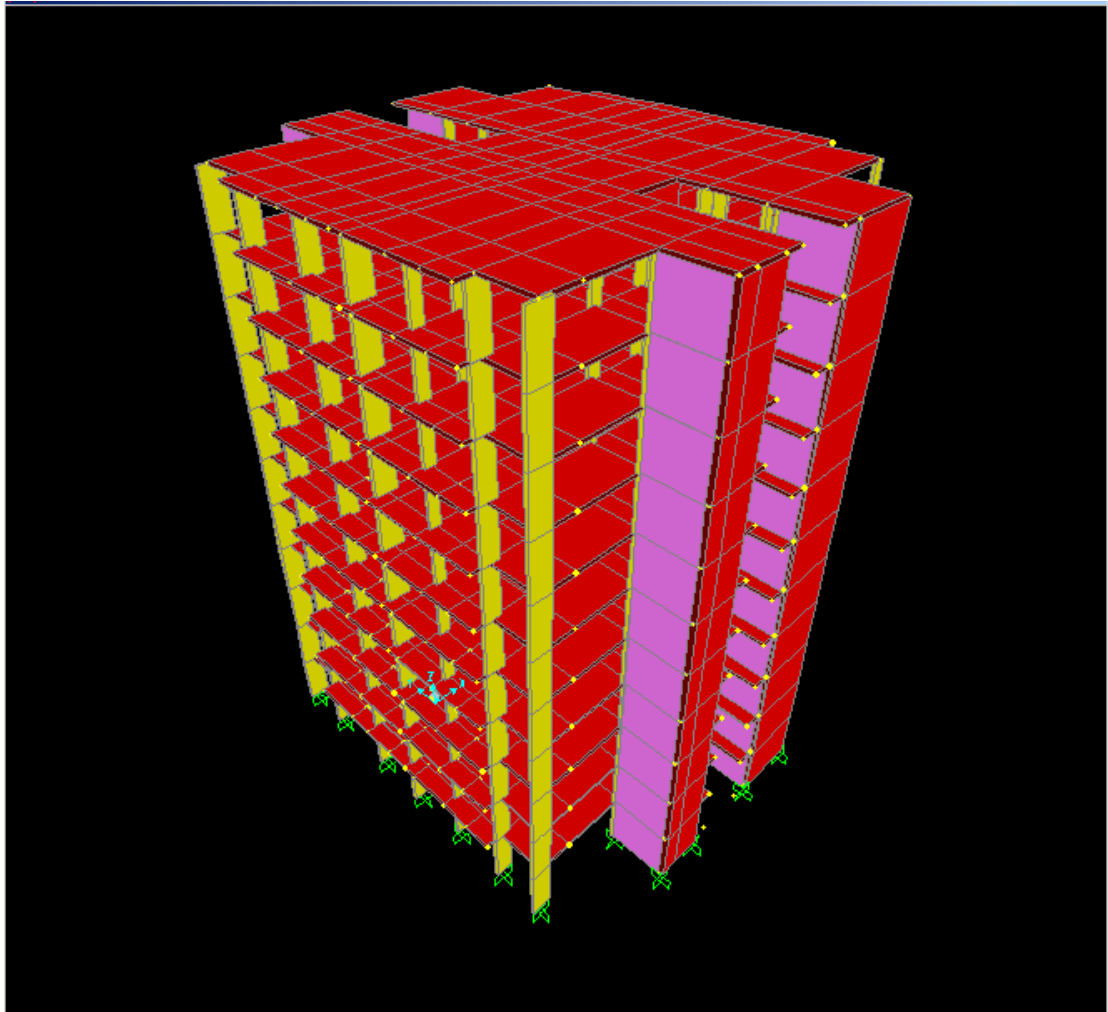
טבלה מס' 6 - 14 צורות התנודה עבור המבנה TM38-52 המחוזק לפי שיטת A.

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.24687	4.0506	25.451	647.74
MODAL	Mode	2	0.24416	4.0955	25.733	662.19
MODAL	Mode	3	0.15848	6.3099	39.646	1571.8
MODAL	Mode	4	0.06918	14.453	90.812	8246.7
MODAL	Mode	5	0.06409	15.601	98.023	9608.5
MODAL	Mode	6	0.05984	16.71	104.99	11023
MODAL	Mode	7	0.0579	17.259	108.44	11760
MODAL	Mode	8	0.05752	17.384	109.23	11930
MODAL	Mode	9	0.05731	17.449	109.63	12020
MODAL	Mode	10	0.05143	19.443	122.17	14924
MODAL	Mode	11	0.0505	19.779	124.27	15444
MODAL	Mode	12	0.05046	19.817	124.52	15504

טבלה מס' 6 - 15 ערכי יכולת נגד הדרישה עבור המבנה TM38-52 המחוזק לפי שטת C.

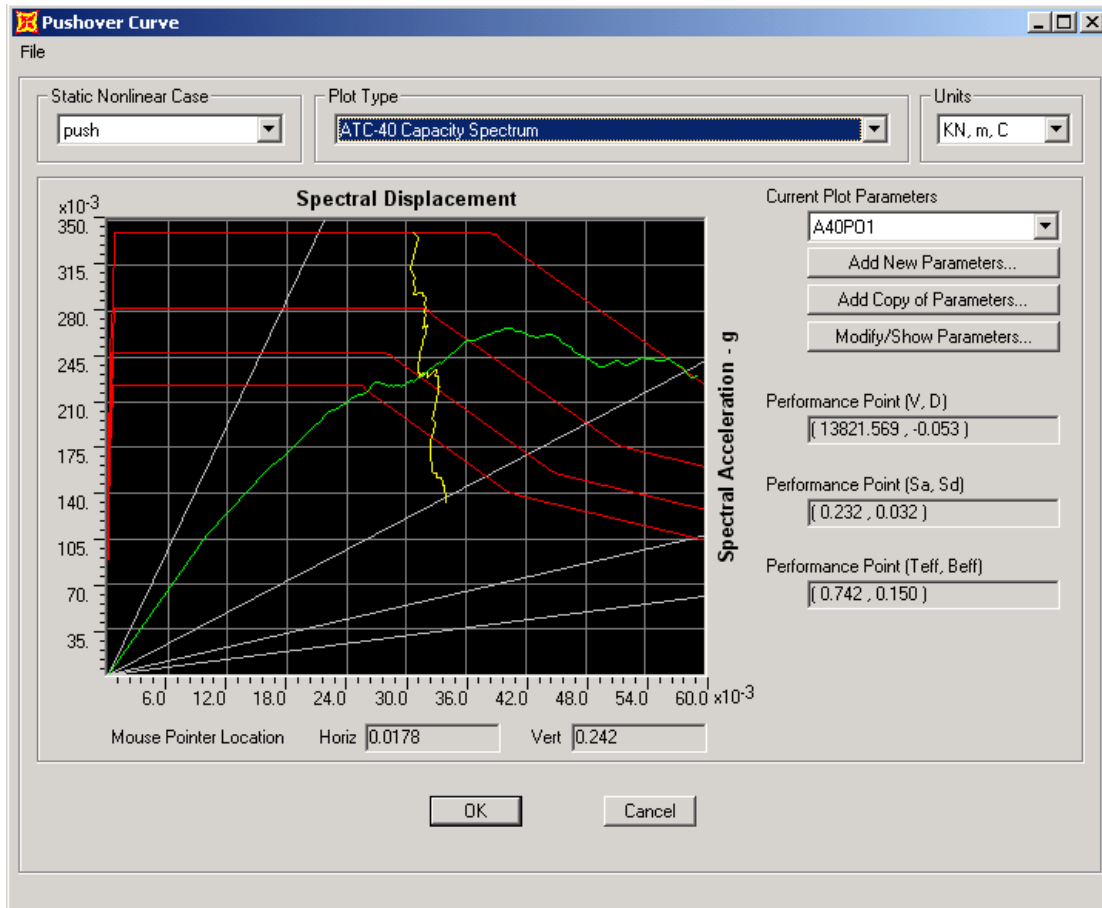
TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - push								
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPhi
			m		m			
0	0.751294	0.05	0	0	0.048698	0.347318	1	1
1	0.751294	0.05	0.007074	0.050453	0.048698	0.347318	1.38782	1.520937
2	0.756969	0.052958	0.015477	0.108738	0.048456	0.340431	1.386668	1.522844
3	0.76086	0.057299	0.01561	0.108548	0.047797	0.332377	1.38601	1.523907
4	0.772196	0.06862	0.01665	0.112405	0.046416	0.313369	1.38406	1.527
5	0.776207	0.072638	0.016901	0.112927	0.045993	0.307307	1.383387	1.528064
6	0.780349	0.077073	0.017028	0.112573	0.045538	0.301047	1.382713	1.529134
7	0.784474	0.081324	0.017191	0.112458	0.045142	0.295298	1.382053	1.53018
8	0.791658	0.078877	0.020557	0.132045	0.046028	0.295654	1.381186	1.532454
9	0.795771	0.082852	0.020814	0.13232	0.045672	0.290343	1.38056	1.533466
10	0.799973	0.086992	0.021031	0.132297	0.045318	0.285073	1.379918	1.534499
11	0.807663	0.092915	0.021837	0.134764	0.044954	0.277423	1.378806	1.53641
12	0.811735	0.096392	0.022148	0.135317	0.044726	0.273256	1.378204	1.537399
13	0.815252	0.098206	0.02269	0.137432	0.044698	0.270736	1.377709	1.538289
14	0.819402	0.101752	0.022986	0.137819	0.04448	0.266692	1.377091	1.5393
15	0.822976	0.104304	0.023341	0.138732	0.044364	0.263693	1.376573	1.540176
16	0.827779	0.109011	0.023531	0.138244	0.044054	0.258821	1.375849	1.541319
17	0.831689	0.112263	0.023793	0.138471	0.043884	0.255401	1.375275	1.542253
18	0.836937	0.117391	0.023987	0.137859	0.043574	0.25043	1.374492	1.543479
19	0.840886	0.120152	0.024322	0.138472	0.043478	0.247531	1.373915	1.544484
20	0.845548	0.124091	0.024589	0.138455	0.04329	0.243751	1.373226	1.54563
21	0.850536	0.129116	0.024734	0.13764	0.043008	0.239333	1.372485	1.546791
22	0.85449	0.131556	0.025085	0.138303	0.042957	0.236843	1.371906	1.547816
23	0.85913	0.13503	0.025395	0.138508	0.042834	0.23362	1.371219	1.548976
24	0.863179	0.137169	0.025794	0.139367	0.042821	0.231364	1.370641	1.550044
25	0.87297	0.145367	0.026292	0.138888	0.042486	0.224433	1.369318	1.552298
26	0.876996	0.146501	0.0268	0.140277	0.042572	0.222827	1.369073	1.553338
27	0.882157	0.150663	0.027074	0.140056	0.042416	0.219421	1.368594	1.55452
28	0.887757	0.156082	0.027244	0.139162	0.042166	0.215385	1.367931	1.555738
29	0.89284	0.159795	0.027547	0.139115	0.042057	0.212385	1.367499	1.556924
30	0.903614	0.168332	0.028089	0.138486	0.041769	0.205934	1.3665	1.559418
31	0.909585	0.174001	0.028269	0.13755	0.041532	0.202088	1.365817	1.560714
32	0.920786	0.182234	0.028865	0.137055	0.041302	0.196107	1.364847	1.563314
33	0.926717	0.187022	0.029126	0.136529	0.041146	0.192872	1.364338	1.564598
34	0.932319	0.191025	0.029422	0.136266	0.041041	0.190076	1.363928	1.565823
35	0.938941	0.196635	0.029676	0.135509	0.040848	0.186522	1.363297	1.567223

6.5.2 פתרון B לחיזוק המבנה



ציוציוור מס' 6 – 39 - הבניין המחוזק TM38-52 לפי פתרון B בתוספת של שתי קומות

המבנה המחוזק לפי הפתרון B מתנהג לפי הביצועים כאשר כוח הגזירה בבסיס שווה ל- $13821kN$, זמן המחזור האפקטיבי שווה ל- $T_{eff} = 0.742sec$ ומנת הריסון האפקטיבי הוא $\beta_{eff} = 0.15(15\%)$ הערכים שמאפיינים את היכולת ואת הדרישה מופיעים בטבלה מס' 20 וזמני המחזור צורות התנודה נמצאים בטבלה מס' 21.



ציור מס' 6 – 40 – אנליזת הביצועית של מבנה TM38-52 המחוזק לפי פתרון B

טבלה מס' 6 - 16' ערכי היכולת כנגד הדרישה של המבנה TM38-52 המחוזק לפי שטת B.

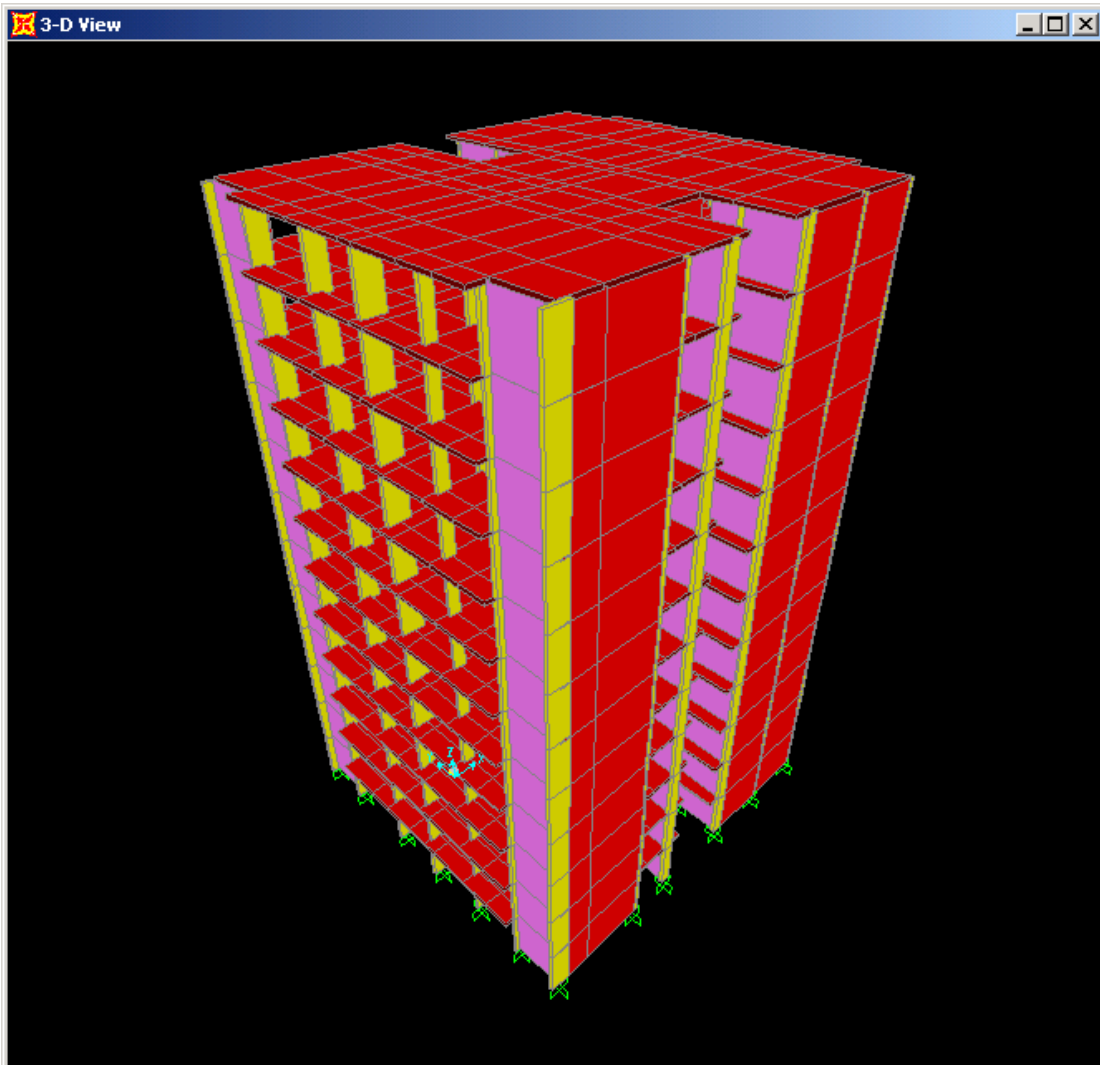
TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - push								
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPphi
			m		m			
0	0.602341	0.05	0	0	0.030707	0.340713	1	1
1	0.602341	0.05	0.002121	0.023539	0.030707	0.340713	1.328492	1.589022
2	0.609473	0.052162	0.009976	0.108111	0.031108	0.337129	1.32669	1.592301
3	0.621702	0.065879	0.012039	0.125389	0.030471	0.317365	1.32403	1.597658
4	0.624431	0.069095	0.012274	0.126721	0.030348	0.31333	1.323452	1.598786
5	0.636787	0.075196	0.015816	0.157014	0.030839	0.306167	1.320754	1.60438
6	0.639684	0.078644	0.016014	0.15755	0.030735	0.302372	1.320156	1.605552
7	0.646913	0.084403	0.017207	0.16552	0.030812	0.296389	1.318609	1.608723
8	0.649845	0.087718	0.017416	0.166024	0.030749	0.293128	1.31801	1.6099
9	0.658003	0.086356	0.02073	0.19274	0.031669	0.294453	1.31613	1.614148
10	0.660792	0.089178	0.021036	0.19394	0.031643	0.29173	1.315566	1.615289
11	0.664637	0.090261	0.022213	0.202435	0.0319	0.290709	1.314716	1.617148
12	0.667201	0.092479	0.022589	0.204275	0.031919	0.288653	1.31419	1.618236
13	0.670402	0.096086	0.02282	0.204401	0.03186	0.285374	1.313554	1.619491
14	0.672859	0.097931	0.023217	0.206443	0.031886	0.283526	1.313039	1.62055
15	0.678677	0.103322	0.023875	0.208668	0.031858	0.278436	1.311853	1.622943
16	0.680803	0.10397	0.024405	0.211972	0.031945	0.277459	1.311381	1.623972
17	0.685914	0.107495	0.025227	0.215856	0.03186	0.272612	1.310314	1.626194
18	0.689155	0.110799	0.025501	0.216153	0.031712	0.268801	1.309675	1.627458
19	0.691895	0.112829	0.025885	0.217671	0.031689	0.266485	1.309116	1.628596

20	0.692481	0.10941	0.0268	0.224984	0.03203	0.268891	1.308882	1.629267
21	0.695785	0.112871	0.02706	0.22502	0.031926	0.265483	1.308241	1.630538
22	0.698714	0.115642	0.027347	0.225503	0.031864	0.262753	1.307666	1.631674
23	0.702896	0.120825	0.027493	0.224015	0.031678	0.258116	1.306886	1.633146
24	0.705921	0.123683	0.027766	0.224305	0.031623	0.255463	1.306297	1.634296
25	0.710196	0.128918	0.027919	0.222836	0.031453	0.251045	1.305507	1.635781
26	0.713846	0.132824	0.028144	0.222341	0.03136	0.247746	1.304818	1.637092
27	0.717009	0.135381	0.028474	0.222967	0.031345	0.245451	1.304198	1.638312
28	0.720847	0.139622	0.028678	0.222182	0.031244	0.242057	1.303486	1.639657
29	0.724149	0.142374	0.028992	0.222569	0.031226	0.239717	1.302849	1.640895
30	0.727369	0.145228	0.029266	0.222688	0.031197	0.237379	1.302236	1.642075
31	0.73136	0.14923	0.029528	0.222235	0.03113	0.234289	1.301492	1.64348
32	0.734494	0.151671	0.029834	0.222623	0.031128	0.232283	1.300887	1.644649
33	0.736476	0.15036	0.030454	0.226028	0.031329	0.232524	1.30041	1.645697
34	0.740109	0.154125	0.030669	0.225398	0.03126	0.229739	1.299741	1.646953
35	0.740683	0.149139	0.031558	0.231571	0.031646	0.232214	1.299432	1.647798
36	0.743964	0.151694	0.03189	0.231951	0.031639	0.230125	1.298799	1.649033
37	0.743894	0.145765	0.032847	0.23895	0.032068	0.233289	1.298588	1.64972
38	0.7468	0.147222	0.033296	0.240338	0.032119	0.231839	1.297994	1.650933
39	0.751027	0.151729	0.033537	0.239359	0.032016	0.228508	1.297222	1.652349
40	0.750238	0.139289	0.035591	0.254558	0.032913	0.235399	1.296893	1.653578
41	0.75218	0.138732	0.036242	0.257872	0.033064	0.23526	1.296427	1.654608
42	0.756206	0.142757	0.036542	0.257251	0.032968	0.232089	1.29568	1.655987
43	0.759666	0.145547	0.036926	0.25759	0.03294	0.229784	1.295013	1.657252
44	0.761572	0.144727	0.037599	0.260971	0.033106	0.229785	1.294545	1.658258
45	0.768088	0.149042	0.038504	0.262735	0.033123	0.226021	1.293257	1.660733
46	0.770896	0.150381	0.03899	0.26412	0.03317	0.224694	1.292673	1.661864
47	0.774603	0.15321	0.039422	0.264495	0.033151	0.222425	1.291954	1.66321
48	0.776777	0.153003	0.040034	0.267102	0.03328	0.222037	1.291437	1.664242
49	0.780543	0.156205	0.040407	0.266992	0.033236	0.21961	1.290722	1.665544
50	0.784851	0.160344	0.040735	0.266213	0.033153	0.216663	1.289933	1.666946
51	0.789747	0.165641	0.040991	0.264576	0.03302	0.213125	1.28907	1.668443
52	0.793549	0.168552	0.041398	0.264648	0.033003	0.210981	1.288339	1.669766
53	0.798334	0.173114	0.041746	0.263682	0.032921	0.207941	1.28747	1.671288
54	0.803196	0.178127	0.042028	0.262264	0.032814	0.204768	1.286611	1.672762
55	0.816959	0.190737	0.04305	0.259666	0.032629	0.19681	1.284131	1.677018
56	0.823273	0.192372	0.044146	0.262207	0.032809	0.194871	1.282784	1.679452
57	0.827508	0.195503	0.044566	0.261999	0.032799	0.19282	1.281994	1.680804
58	0.83682	0.203613	0.045285	0.260335	0.032699	0.187979	1.280325	1.683583
59	0.849533	0.218085	0.045714	0.254991	0.032365	0.180533	1.278268	1.686828
60	0.859737	0.224325	0.046472	0.253104	0.032413	0.176536	1.276456	1.689754
61	0.872406	0.234043	0.046945	0.248309	0.032353	0.171127	1.274426	1.692868
62	0.883927	0.240692	0.047681	0.245671	0.032412	0.166999	1.272447	1.695948
63	0.890249	0.244638	0.047993	0.243778	0.032424	0.164694	1.271409	1.697518
64	0.895249	0.246595	0.048444	0.243325	0.032494	0.163212	1.270483	1.698962
65	0.902014	0.250839	0.048725	0.241083	0.032499	0.160798	1.269413	1.700542
66	0.907715	0.253646	0.049087	0.239831	0.032541	0.158992	1.268447	1.701983
67	0.915871	0.258899	0.049322	0.236706	0.032532	0.156126	1.267234	1.703705
68	0.920316	0.259609	0.04986	0.236983	0.032638	0.155126	1.26634	1.705079
69	0.920983	0.255848	0.050721	0.240724	0.032859	0.155954	1.265763	1.706131
70	0.924324	0.255345	0.051356	0.241981	0.032994	0.155461	1.264966	1.707402
71	0.931963	0.259889	0.05163	0.239301	0.03299	0.152905	1.263814	1.708996
72	0.937194	0.261355	0.052139	0.238972	0.033072	0.151579	1.262844	1.710409
73	0.939984	0.260093	0.052845	0.24077	0.033224	0.151374	1.262074	1.711617

74	0.940709	0.256551	0.053718	0.24437	0.033438	0.152112	1.26148	1.712644
75	0.946391	0.258622	0.054199	0.243606	0.033495	0.150549	1.260477	1.714065
76	0.951477	0.259854	0.054756	0.243485	0.033577	0.14931	1.25951	1.715438
77	0.957462	0.262055	0.055235	0.242554	0.03363	0.147678	1.258478	1.716858
78	0.962913	0.263724	0.055733	0.241979	0.033692	0.146282	1.257507	1.718193
79	0.96608	0.262686	0.056481	0.243621	0.033836	0.145944	1.256679	1.719411
80	0.982376	0.270774	0.057167	0.238468	0.033829	0.141116	1.254277	1.722477
81	0.988272	0.272282	0.057712	0.237877	0.033896	0.139713	1.253235	1.723848
82	1.016334	0.284515	0.058668	0.228647	0.033893	0.132093	1.249338	1.728556
83	1.020152	0.283922	0.059384	0.22971	0.034004	0.131535	1.248427	1.729758

טבלה מס' 6 - 17 צורות התנודה של המבנה TM38-52 המחוזק לפי שטת B.

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.657764	1.5203	9.5523	91.247
MODAL	Mode	2	0.599688	1.6675	10.477	109.78
MODAL	Mode	3	0.447546	2.2344	14.039	197.1
MODAL	Mode	4	0.137229	7.2871	45.786	2096.4
MODAL	Mode	5	0.129609	7.7155	48.478	2350.1
MODAL	Mode	6	0.113715	8.7939	55.254	3053
MODAL	Mode	7	0.106605	9.3804	58.939	3473.8
MODAL	Mode	8	0.097289	10.279	64.583	4171
MODAL	Mode	9	0.091589	10.918	68.602	4706.3
MODAL	Mode	10	0.087329	11.451	71.948	5176.6
MODAL	Mode	11	0.078896	12.675	79.639	6342.3
MODAL	Mode	12	0.078524	12.735	80.016	6402.6

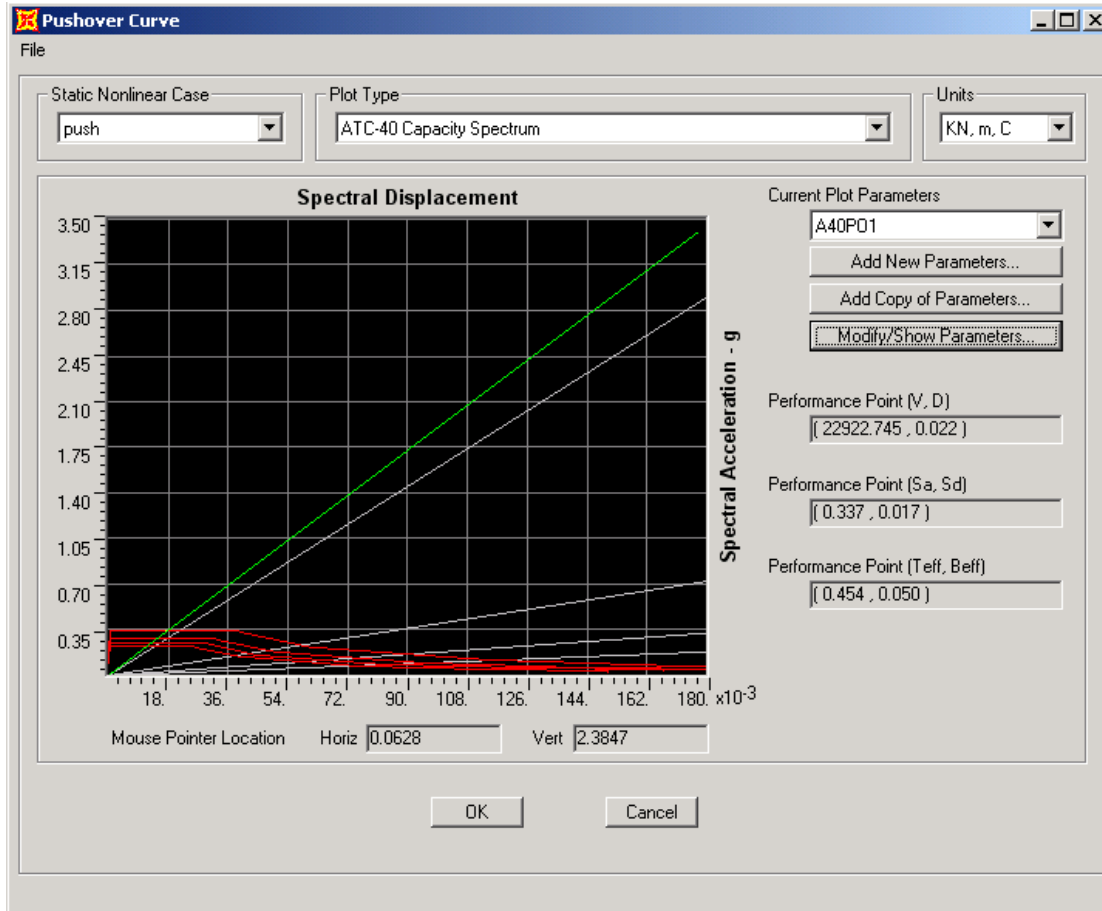


ציור מס' 6 - 41 – המבנה המחוזק TM38-52 לפי שטת C

חיזוק המבנה הנ"ל מתבצע בעזרת קירות הקשחה לאורך החזיתות. מתחשבים בבטון מסוג ב20 עם שתי רשתות זיון עם פסיעה של 20 ס"מ. הערכים המאפיינים את תוצאות אנליזת הביצועים הם: כוח הגזירה בבסיס שווה $22922kN$, זמן המחזור האפקטיבי הוא $T_{eff} = 0.454sec$ ומנת הריסון האפקטיבי הוא $\beta_{eff} = 0.05(5\%)$. בטבלאות מס' 22 ו-23 אפשר לראות את ההשוואה בין הערכים ליכולת המבנה לבין הערכים לדרישה לפי העומס הסיסמי המופעל על המבנה. במקבים נתונים זמני המחזור עבור צורות שונות של התנהגות המבנה.

טבלה מס' 6 - 18 הערכים ליכולת כנגד הדרישה עבור המבנה TM38-52 המחוזק לפי שטת C.

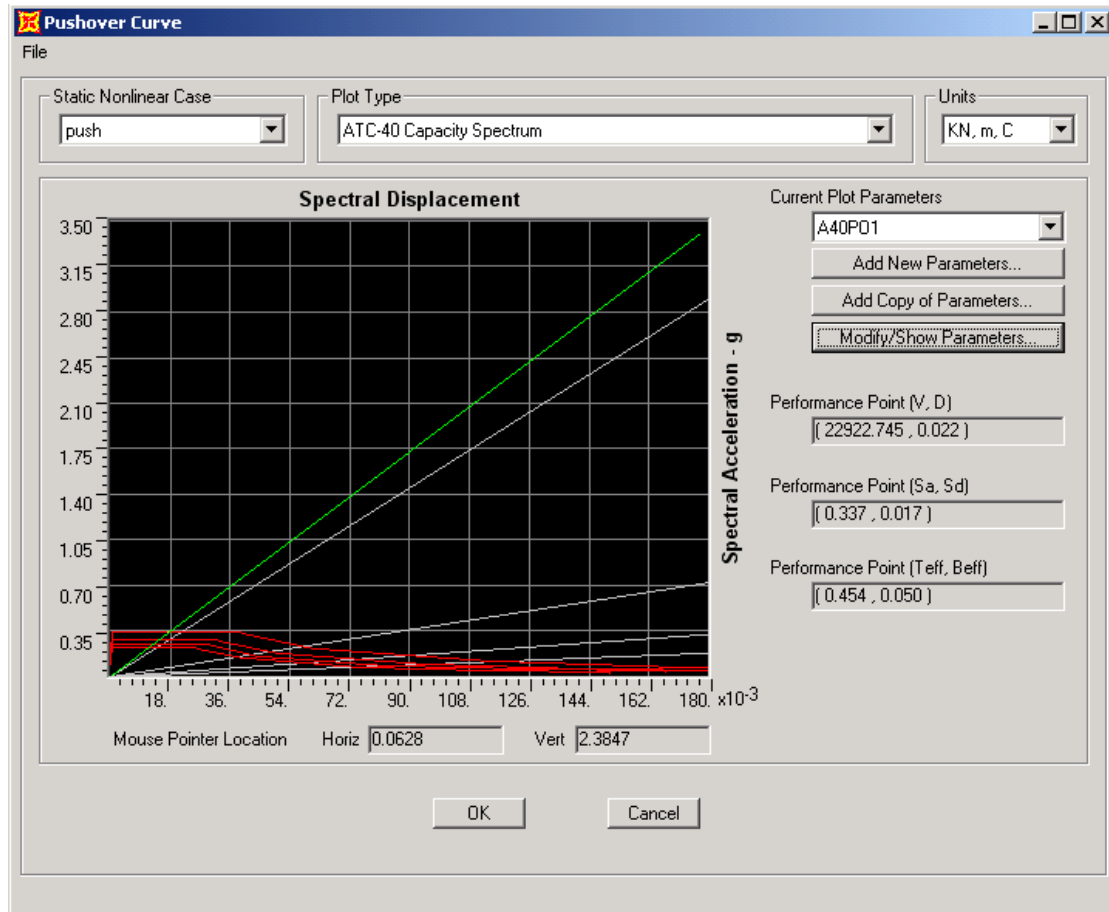
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPhi
			m		m			
0	0.453945	0.05	0	0	0.01744	0.340713	1	1
1	0.453945	0.05	0.007859	0.153527	0.01744	0.340713	1.399279	1.24019
2	0.458181	0.050364	0.172721	3.312158	0.017735	0.340098	1.401946	1.267679
4	0.458484	0.051036	0.177486	3.402706	0.017734	0.339999	1.402104	1.270251



ציור מס 6 - 42 - תוצאות אנליזת הביצועים עבור המערכת המחוזקת TM38-52 לפי שטת C

טבלה מס' 6 - 19 צורות התנודה עבור המבנה TM38-52 המחוזק לפי שטת C.

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.50122	1.9951	12.536	157.15
MODAL	Mode	2	0.434017	2.3041	14.477	209.58
MODAL	Mode	3	0.384844	2.5985	16.327	266.56
MODAL	Mode	4	0.126546	7.9023	49.651	2465.3
MODAL	Mode	5	0.11986	8.3431	52.421	2748
MODAL	Mode	6	0.099744	10.026	62.993	3968.1
MODAL	Mode	7	0.098087	10.195	64.057	4103.3
MODAL	Mode	8	0.09659	10.353	65.05	4231.5
MODAL	Mode	9	0.083457	11.982	75.286	5668
MODAL	Mode	10	0.081044	12.339	77.528	6010.6
MODAL	Mode	11	0.076255	13.114	82.397	6789.3
MODAL	Mode	12	0.071965	13.896	87.309	7622.9



ציור מס' 6 – 43 – תוצאות אנליזת הביצועים למבנה TM38-52 המחזק לפי שטת C.

6.6 סיכום תוצאות החישוב הלא לינארי שהתקבלו מתוכנת SAP2000

בטבלה מס' 1-6 נתונים התוצאות של האנליזה הלא-ליניארית הסטטית (NSA) עבור ארבעת המבנים הנבחנים בעזרת שטת התפקוד בעזרת תוכנת SAP2000.

תוצאות החישוב מתייחסות למבנה עם תוספת של שתי תקרות ומחוזק באמצעות קירות היקפיים חלקיים או מלאים או מחוזק באמצעות פירי ממ"דים. בפתרון המוצג בפרק זה מתחשבים במסה הנוספת שגורמת לכוחות אינרציה מוגברים שעלולים להשפיע שלילית על המבנה המחוזק.

שיטת החיזוק המוצגות בפרק 4 וגם בפרק 6 מסווגים לפי פתרונות A, B או C ומתוארות להלן:

- A – הוספת קירות חלקיים במעטפת החיצונית של המבנה בעיקר בפינות.
- B – הוספת ממ"דים במבנה.
- C – הוספת קירות מלאים לאורך המעטפת החיצונית בהיקף של המבנה.

תוצאות החישוב המפורטות בסעיף זה, כוללות השוואה לתוצאות שהתקבלו בפרק 4 ומוצגים בצורה מפורטת בטבלאות 20-6 ו-21-6.

תוצאות החישוב שהתקבלו באמצעות תוכנת ETABS מתייחסות לאנליזה מודלית ספקטרית תלת מימדית, שבאמצעותה התקבלו כוחות האינרציה הקומתיים באנליזה לינארית. יעילות הפתרון נבחנת בהשפעת החיזוק על זמן המחזור של המבנה (ככל שזמן המחזור קצר יותר המבנה קשיח יותר) ועל ההזזה בראש המבנה (ככל שההזזה קטנה יותר המבנה קשיח יותר). על מנת להגיע למסקנה סופית מהי תסבולת הכללית של המבנה יש לבצע תהליך תכן החתכים כמפורט בדוגמא שבפרק 5.

תוכנת SAP2000 לוקחת בחשבון את ההתנהגות של המבנה בכיוון הראשי של המבנה ומאפשרת בחינת תפקוד המבנה עבור הערך הספקטראלי של העומס הסיסמי.

החישובים המוצגים בטבלה מס' 6-20 מתאימים לספקטרום המבוסס על מקדם התאוצה החזויה $Z = 0.1$ וסוג קרקע D.

טבלה 20-6 – סיכום תוצאות החישובים הלא לינאריים שהתקבלו מתוכנת SAP2000 עבור 4 סוגי המבנים ופתרונות החיזוק השונים.

מבנה	מס' קומות	חיזוק	נקודת תיפקוד		ריסון %	זמן מחזור (sec)	ממצאי החישוב
			גזירת בסיס (kN)	תנועת גג (m)			
TM38-43	4						מבנה לא עומד בדרישות
	6	A	7725	0.014	5.2	0.389	
	6	B	9932	0.009	5.7	0.269	
	6	C	8692	0.002	5	0.187	
TM38-03	5		333	0.067	31	1.738	מבנה בעל תסבולת מוגבלת
	7	A	3417	0.017	5.6	0.335	
	7	B					מבנה חלש
	7	C	3552	0.018	5.2	0.345	
TM38-22	4						מבנה חלש פרקים פלסטיים
	6	A	3408	0.01	5.1	0.441	
	6	B					מבנה לא יציב
	6	C	5829	0.09	6.1	0.254	
TM38-52	9		5317	0.035	14.3	0.689	
	11	A	8051	0.006	7.4	0.231	
	11	B	13821	0.053	15	0.742	
	11	C	22922	0.022	5	0.454	

מיקום נקודת התפקוד שהתקבלה באנליזות הלא לינאריות צריכה לקיים את שני הקריטריונים:

- 1) הנקודה חייבת להיות על העקומה הספקטרית של היכולת כדי להציג את המבנה בתזוזה מסוימת.
- 2) הנקודה חייבת להופיע על עקומת הדרישה המוקטנת מהערך של התגובה האלסטית לתכן בעזרת מנת הריסון של 5%.

בשיטה הזו ישנם מקדמי הקטנה לפי הריסון האפקטיבי של המבנה. מחשבים את הריסון האפקטיבי על סמך צורת עקומת היכולת, התזוזה המחושבת ולולאת ההיסטרזה. לפי AT40 ישנם שלושה סוגים של מבנים לפי התנהגות ההיסטרית שלהם. הריסון הצמיגי האפקטיבי β_{eff} מוגדר לפי:

$$\beta_{eff} = \kappa\beta_0 + 5 = \frac{63.7\kappa(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5$$

β_0 - הוא הריסון ההיסטרי המיוצג כמו הריסון הצמיגי האקווילנטי המחושב (לפי Chopra 1995)

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}}$$

עבור:

E_D - האנרגיה המבוזבת דרך ריסון

E_{S0} - האנרגיה המקסימלית של העיבור

κ - הוא המקדם שמאפיין של ההתנהגות ההיסטרית לפי מקבילית שלמה לפני או אחרי הנזק. המקדם κ תלוי בהתנהגות של המבנה לפי שלושה טיפוסים.

טיפוס A של מבנים מאופיין על ידי הסטרזה קבועה עם מקדם $\kappa = 1$

טיפוס B מאופיין במקדם $\kappa = \frac{2}{3}$ ושטח התך קטן יותר של עקומת ההיסטרזה.

טיפוס C מאופיין על ידי הסטרזה פחות בולטת ומקדם $\kappa = \frac{1}{3}$. במקרה זה ההיסטרזה מאופיינת על ידי

צוואר בולט.

התוכנה SAP2000 מאפשרת חישוב של הערכים הספקטראליים של המבנים הנתונים לעומסים סיסמיים לפי ספקטרום התגובה של עומס סיסמי מסוים לפי תנאי קרקע ותכונות מבניות מסוימות.

התוצאות שהתוכנה נותנת הם:

- המאפיינים המודלים של המבנה במצב אלסטי

- ערכים עבור יכולת המבנה לפי תזוזה ותאוצה

- ערכים עבור הדרישה לפי אותם מאפיינים

טבלה 6-21 - השוואה בין התוצאות שהתקבלו בחישוב לא-לינארי (SAP2000)

ולפי חישוב לינארי (ETABS)

מבנה	תוצאות לפי ETABS				הערות לפי SAP2000
	זמן מחזור		תזוזה בגג		
	[sec]		[m]		
	כוון X	כוון Y	כוון X	כוון Y	
T38 – 43	0.85	1.33	0.0247	0.0654	מבנה לא עמיד
A	0.68	0.80	0.0179	0.0286	מבנה עמיד
B	0.42	0.51	0.0098	0.0148	=
C	0.27	0.36	0.0035	0.0066	=
TM38 - 03	1.08	0.95	0.0486	0.0362	מבנה חלש
A	0.77	0.43	0.0322	0.0096	מבנה עמיד
B					חיזוק לא סימטרי
C	0.38	0.38	0.0076	0.0077	מבנה עמיד
TM38 - 22	0.97	0.89	0.0319	0.0378	מתפתחים פרקים פלסטיים
A	0.97	0.67	0.024	0.0456	מבנה עמיד
B	0.85	0.48	0.126	0.0355	מבנה לא יציב
C	0.41	0.35	0.064	0.009	מבנה עמיד
TM38 - 52	1.26	1.17	0.0798	0.0748	מבנה עמיד
A	1.49	1.56	0.1071	0.1150	=
B	1.09	1.23	0.0679	0.0806	=
C	0.59	1.02	0.0196	0.0550	=

מתוך ההשוואה אפשר לראות ששתי השיטות מובילות למסקנות דומות בקשר להתנהגות של המבנה. אולם לפי השיטה האלסטית אין אפשרות לדעת את מצב המבנה בהיבט רמת התפקוד ו/או הנזק שלה צפוי המבנה ונדרש לבצע חישוב ובדיקה של התסבולות לפי דרישות התקן 413 ו-466 בכל רכיב וחתך של המבנה. השיטה הלא – לינארית נותנת אינדיקציה ישירה למצב המבנה ולמידת משיכותו בתחום הלא לינארי זאת עבור ספקטרום תגובה נתון.

הסיבה שבחרנו בבדיקה לפי השיטה הלא-ליניארית הייתה שמבנים תחת רעידות אדמה חזקות אמורים להיכנס למצב פלסטי ואנו מקבלים את האפשרות לבחון את המקדם הקטנת הכוח בצורה מדויקת יותר מאשר מופעים בת"י 413. ובנוסף המטרה הייתה לבחון יכולת ומשמעויות חישוביות ביישום טכניקות חישוב לא לינאריות על מבנים קיימים וחיזוקם, זאת לאור העובדה שדרישות התקנים ושיטות החישוב החדשות ממליצות לבצע בדיקה של יכולת עמידות ותפקוד של המבנה בתחום הלא לינארי.

פרק 7 – סיכום ומסקנות:

7.1 תקציר העבודה

העבודה המוצגת בפרקים 1 עד 6 עוסקת בסקירה ובחינה חישובית של המשמעויות ההנדסיות של תוכנית תמ"א 38 לחיזוק מבני מגורים קיימים לרעידות אדמה. לאור העובדה שחיזוק המבנים מלווה בדרך כלל בתמריצים הכוללים תוספת של קומות ויחידות דיור, נערכו חישובים הכוללים את מצב העומסים הנדרשים לפי ת"י 413 על המבנה הקיים לפני החיזוק, ומצב העומסים על המבנה הקיים ומערכת החיזוק בהתחשב באפשרויות חיזוק שונות על המעטפת החיצונית של המבנה ותוספת של קומות.

פרקים 1 ו-2 מציגים את עיקרי התוכנית תמ"א 38 וסוקרים את מקורות המידע הנדרשים למתכנן לצורך בחינה של מבנים קיימים ביניהן: ת"י 2413 ות"י 413. בנוסף מוצגת סקירה מורחבת של מסמך אמריקאי ASCE 41-06, מהווה גישה חדישה לאיבחון מצבם של בניינים קיימים בהתבסס על גישת התכן התפקודי.

פרק 3 מציג את המבנים השונים שנבחרו לצורך ביצוע חישובי העומסים והבדיקות לפי ת"י 413 ולפי 2413 ואת מגוון פתרונות החיזוק השונים עבורם נבדקו המבנים.

פרק 4 מציג את תוצאות החישובים של כל אחד מהמבנים בבדיקה לפי ת"י 2413 ובדיקה וחישוב לפי ת"י 413. בהתאם לחלק זה ניתן לראות את יעילות פתרון החיזוק ומידת ההקטנה בעומסים האופקיים של המבנה הקיים ומנגד העומסים הכוללים עבורם נדרש לתכנן את מערכת החיזוק.

תהליך הבחינה והטיפול במבנה קיים חייב לכלול לפחות את התייחסות לנקודות הבאות:

מס"ד	תיאור	הערות
1	איסוף מידע והשלמת נתונים מפורטת ככל האפשר לגבי המבנה הקיים בהתבסס על: תוכניות ההגשה לרשויות, מדידות באתר, תוכניות שלד המבנה, נתוני הקרקע והביסוס, השלמה ואימות נתונים באמצעות בדיקות מעבדה.	
2	זיהוי מערכת ורכיבי המבנה אשר מהווים את מערכת ההתנגדות לכוחות אופקיים, בהתבסס על העמודים, קורות, קירות בטון מזויין, קירות בני, מערכת הביסוס.	
3	זיהוי נקודות תורפה ומאפיינים מבניים העלולים להביא להקטנה בתסבולת כתוצאה מאי סדירות בתנוחה (בעיות פיתול, חוסר התנגדות לפיתול), אי סדירות לגובה (בעיית קומה גמישה/חלשה), עמודים קצרים, עמודים בגובה שונה וכדומה.	
4	זיהוי נקודות תורפה בסביבת המבנה כגון: מבנים על מדרונות, חשד להעתקים פעילים, בעיות גיאוטכניות אחרות כגון קרקעות רכות וחלשות.	
5	בניית מודלים של המבנה וחישוב הכוחות לפי ת"י 413, הערכת עמידות המבנה וחישוב האינדקס הסייסמי לפי ת"י 2413.	
6	בדיקת ההסטות הבינקומתיות ובדיקת מקדם היציבות.	
7	בדיקת רכיבי המבנה הקיים לפי דרישות ת"י 413, ת"י 466.	
8	בדיקת ותכנון מערכת הביסוס הקיימת והחדשה.	
9	בחירת פתרון חיזוק ובחינת השיפור בעמידות של המבנה הקיים בהיבט ההזזות הבינקומתיות, מקדם היציבות, חלוקת הכוחות בין מערכות ההקשחה השונות.	
10	תכנון מפורט של מערכת החיזוק, ותכנון מפורט של החיבורים בין מערכת החיזוק למבנה הקיים כך שתובטח העברת הכוחות האופקיים למערכת החיזוק החדשה ואח"כ למערכת הביסוס החדשה.	
11	הכנת מפרט בדיקות ובקרת איכות להבטחת ביצוע מתאים של החיזוק, תוך התחשבות בגורמי סיכון כגון עבודה בסמיכות למערכת ביסוס קיימת.	

פרק 5 מציג את סיכום הדרישות המובאות בת"י 413 המתייחס לבדיקה של האלמנטים מבטון מזויין ומציג דוגמא חישובית לבדיקת רכיבים נושאים עיקריים במבנה הקיים.

פרק 6 – מציג בצורה מפורטת ונרחבת את האנליזות הלא ליניאריות שבוצעו בגישות החדשות של התכן התפקודי באמצעות אנליזה דחיפה ומסכם את הערכת מצב תפקוד המבנים השונים בהתחשב בתוספת קומות וחיזוקים שונים. בפרק זה מוצגת הדגמה ותוצאות חישוב של המבנים השונים בעזרת תוכנת מחשב SAP2000 בשיטת אנליזת הדחיפה (אנליזה לא-ליניארית סטטית Non-linear Static Pushover Analysis - NSA) במטרה להשוות ולהביא עבודה זו לרמה העדכנית של הידע הקיים. בחינה נוספת זו עם מודלים לא ליניאריים, אשר לוקחים בחשבון פלסטיפיקציה במבנה בעת רעידת אדמה, נותנת תמונה מתאימה יותר של ההתנהגות.

התהליך העיקרי המפורט בעבודה זו לתכן הינו לפי תקן ישראלי ת"י 413 הקיים והדגמת בחינת מצב המבנה הקיים לפי ת"י 2413, המבוסס על ידע מלפני קרוב ל-30 שנה. הידע העדכני בעולם, גם אחרי מה שנסקר בכנס האירופי ה-14 מכוון לכוון התכן על בסיס התפקוד של המבנה (performance-based design), כמו כן עבור מבנים גבוהים לתכן על בסיס ההזזות (displacement-based design).

התכן של מבנים נמוכים עם זמני מחזור נמוכים כפי שנידון בעבודה זו, יכול להיות מיוצג בצורה טובה על בסיס הנתון לפי תקן ישראלי ת"י 413 הקיים. זהו התחום של זמני המחזור הקצרים הנשלט על ידי החוזק במקום על ידי הדיפורמציות (force-based design).

בכל מקרה נתון ומפורט התכן על בסיס התפקוד של המבנה (performance-based design), לפי הידע העדכני לפי תקן ASCE/SEI 41-06, יכול להיות מפתח ועזר לתכן כאשר יעודכנו התקנים הסיסמיים ת"י 413, ת"י 2413.

כמו כן נעשתה הדגמה לבדיקת כל הדוגמאות לפי תוכנת מחשב SAP2000 בשיטת אנליזה הדחיפה (אנליזה לא-ליניארית סטטית Non-linear Static Pushover Analysis - NSA) במטרה להשוות ולהביא עבודה זו לרמה העדכנית של הידע הקיים. בחינה נוספת זו עם מודלים לא ליניאריים, אשר לוקחים בחשבון פלסטיפיקציה במבנה בעת רעידת אדמה, נותנת תמונה מתאימה יותר של ההתנהגות.

מבחינת התוצאות מבדיקת פתרונות החיזוק ניתן לציין שנבדקו שלוש חלופות לחיזוק המבנה ונבחנה יעילות החיזוקים השונים. עיקר ההתמקדות בחיזוקים חיצוניים, בצורה של קירות הקשחה, חלקיים או היקפיים, או גרעינים מבטון מזויין, במטרה למזער את הוצאות הבנייה ואת ההפרעה למהלך חיים תקין של דיירי הבניינים נשוא החיזוק.

ההשוואה בין פתרונות החיזוק נעשתה על סמך:

➤ ההזזה המקסימלית בחלק העליון של הבניין

➤ ההזזה הקומתית המקסימלית

➤ כוחות הגזירה בסיס

בעזרת חיזוק מהסוג הראשון, קירות חלקיים, מבחינת ההזזה בראש המבנה וההזזה הקומתית המקסימלית, תוספת שתי קומות כמעט החזירה את המבנה למצבו המקורי לפני החיזוק. לעומת זאת הכוחות המתקבלים במבנה המקורי קטנו לידי 10%-40% מסך הכח, עיקר הכוחות התקבלו במערכת החיזוק.

אולם חיזוק מהסוג השלישי, בעזרת גרעינים, אשר הינו כמעט אקוויולנטי לשני מבחינת תשומות בנייה, הקטין את ההזזות הקומתיות למימדים קטנים מאד. גם עם תוספת שתי קומות, ההזזות המקסימליות הינן מתחת לשליש ההזזות המקוריות, והכוחות המתקבלים ע"י המבנה המקורי הינם מתחת ל-20%.

חיזוק באמצעות קירות היקפיים, הסוג השני, כרוך בהגדלת תשומות הבנייה, לרוב ללא צורך, לעומת שני הקודמים, ולמרות זאת, יעילות החיזוק בעזרת גרעינים עולה עליו. גם מבחינת הביסוס, פתרון זה יהיה בעייתי יותר בהשוואה לפתרון באמצעות גרעינים. לסיכום ניתן לציין כי:

➤ חיזוק באמצעות קירות גזירה הינו מספיק. חיזוק באמצעות גרעינים מבטון, הקטין את ההזזות בראש המבנה משמעותית, אפילו עם תוספת שתי קומות.

➤ כוחות הגזירה שהתקבלו במבנה המקורי קטנו לכדי אחוזים בודדים מהכוח הכולל, החלק העיקרי התקבל במערכת החיזוק.

החיזוק באמצעות גרעינים משלב ועונה בעת ובעונה אחת על דרישות החיזוק למטרות התגוננות אזרחית, בצורת מרחבים מוגנים, וזה בפני עצמו מחוייב צו השעה וגם בנושא זה יש מהלכים לעידוד ומתן הקלות ברישוי מטעם הרשויות.

נושא זה נוסף ליעילות הפתרון בפני עצמו, מטה את הכף לטובת החיזוק באמצעות גרעינים מבטון מזוין (מרחבים מוגנים).

יש לציין שכיום מחוייבים לפי תקנות התכנון והבנייה להגיע עד מפלס ביסוס המבנה עם 70% מקירות המרחב המוגן (ממ"ד). מומלץ מאד עד הכרחי להמשיך את הקירות בחתך אופקי (תכנית plan) זהה לקומות, (כלומר 100%), עד מפלס הביסוס, גם אם זה עולה בהפסד של מקום חנייה אחד. הרווח מבחינת חיזוק בפני רעידות אדמה הינו משמעותי יותר. כמו כן ההתייחסות אל החתך האופקי של המרחב המוגן בחישוב לרעידות אדמה כרוכה בהחלטה בין שתי אפשרויות:

א. התייחסות לחתך פתוח (מרכז הגזירה מחוץ לחתך). יש לציין כי השפעת ההתעקלות (warping) משמעותית בחתך פתוח, אולם זה לא המקרה.

ב. התייחסות לחתך סגור (מרכז הגזירה בפנים), השפעת ההתעקלות (warping) זניחה.

נוכחות התקררות אשר סוגרות את המרחבים המוגנים למין קופסא סגורה, מקטינה עד מאד את השפעת ההתעקלות. כתוצאה מכך ניתן בקירוב טוב להתייחס למרחב מוגן בתוך חתך סגור עם עובי מוקטן באיזורי הפתחים, ניתן לעשות קירוב לפי יחס החומר בפועל לגובה הקומה. כלומר ההתנהגות שונה מאשר קירות בהיקף פירי מעליות או חדרי מדרגות, כאשר במקרים אלה הנחת חתך פתוח יכולה לשקף את ההתנהגות שלהם בצורה נאותה. גם כאשר בונים מודל תלת-מימדי, עבור חישוב בהשפעת רעידות אדמה, להרצה בעזרת מחשב יש לתת תשומת לב להתאמת המודל להתנהגות.

בנוסף למוזכר לעיל בעניין בעייתיות הביסוס, פתרון החיזוק באמצעות גרעינים מאפשר להסתמך על מערכת ביסוס חדשה ללא הפרעה ליסודות הבניין הקיים. מערכות ביסוס של אלמנטי החיזוק והקשר למבנה הקיים, לא נידונו כאן בשלב זה, אולם אין להתעלם מכך שלנושאים אלה יש חשיבות מכרעת.

אינטראקציה בין המבנה לקרקע יכולה להוות בסיס חיוני וחשוב להמשך פיתוח מחקר זה.

ולבסוף יש לציין :

- הידע שנצבר בנושא התקן על בסיס התיפקוד בעולם נרחב, מקיף ורב ערך. בין אם בתקנים, בספרים וכולל דוגמאות
- התקנים שלנו עדיין לא מאמצים גישה זו
- חומר זה לא נלמד במסגרת תואר ראשון
- כל הגורמים המעורבים, כולל :
 - מכון התקנים
 - המוסדות להשכלה גבוהה
 - איגוד המהנדסים
 - משרד הבינוי והשיכון
 - משרד התשתיות הלאומיות
- חייבים לחבור יחד ע"מ להביא ידע זה למהנדס הישראלי
- למטרה זו, יש לעודד ולארגן קורסים וחברות הדרכה המשקפים את ההתפתחות המקצועית המתמשכת

מקורות מידע וביבליוגרפיה :

- 1 SAP2000 Integrated Solution for Structural Analysis & Design , Computers & Structures, Inc. 1995 University Avenue, Berkeley, California 94704 USA
- 2 ASCE STANDARD ASCE/SEI 41-06, Seismic Rehabilitation of Existent Buildings
- 3 SI 413 Seismic design of structures 1998
- 4 SI 2413 Guidelines for seismic resistance assessment and for strengthening of existing structures, The Standards Institute of Israel, December 2003.
- 5 BS EN 1998-3, Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings (2005).

נספחים

בנספח המוצג בהמשך מרוכזים דרישות הנדסיות שהוצאו על ידי משרד הפנים על מנת לתת הנחיות לגבי התוכנית תמ"א 38, וכך הנחיות לגבי תחולת החישובים הנדרשת להגשה לצורך ביקורת.