

הזוית ההנדסית של התמ"א

מר שרון יהודה, מהנדס

תקן ישראלי 413 - תכן עמידות מבנים בר"א התפתחות התקינה

- בשנת 1975 יצא לראשונה תקן ישראלי לתכנון מבנים לרעידות אדמה.
- הערכה היא כי בשנת 1980 התחילו להכיר את התקן לרעידת אדמה.
- עד למועד זה בנו בנינים בהתעלמות בדרך כלל מרעידות אדמה.
- סה"כ ההערכה היא כי 50% מהבניה המאוכלסת היום נבנתה באותה תקופה.

- **שנת 1990 לא הייתה מודעות לתכנון לפי התקן לר"א.**

- **בטכניון, המהנדסים לא שמעו על רעידות אדמה בתקופה זאת חוץ מלימודי תואר שני.**

- **רק לקראת שנות התשעים התחילו להעלות את הנושא על הסדר הציבורי.**

- **בתקופה זאת מעריכים כי נבנו עוד 25% מהבניה הרלבנטית סה"כ 75%.**

- **בשנת 1995 יצא תקן רעידות אדמה חדש שהציב סטנדרטים חמורים בנושא רעידות אדמה.**

- **בטבריה הוגדלו הקריטריונים ב - 300 % ב יחס לתקן הקודם.**
- **בתל-אביב בבניינים גבוהים הוגדלו הקריטריונים ב-200%.**
- **בשנת 1998 לאחר הערות מומחים מחו"ל תוקנו נוסחאות התקן והקריטריונים הוקטנו במידה מסוימת בעיקר עבור בניה גבוהה.**
- **עד 1998 נבנו 80 % מ היקף הבניה הפעילה.**
- **בשנת 2004 עודכנה מפת תאוצות הקרקע. (המקדם בתל-אביב מ - 0.075 ל- 0.09 (הגדלה של 20%)**
- **ב 2009 - פורסם ג"ת 3 לת"י 413 המציג קריטריונים.**
- **המוגדלים במקרים מסוימים במאות אחוזים.**

מסקנה

- רוב המבנים לא תוכננו לפי תקן ישראלי במהדורתו האחרונה.
- הערכה - רוב הבניינים לא עומדים בקריטריונים שמדינת ישראל קבעה כסטנדרטיים הראויים לבטיחות אזרחי המדינה ברעידת אדמה.
- המשמעות מתעצמת לאור העובדה כי יש מגמה לעדכן שוב את התקן הישראלי לרעידות אדמה.
- יש לי ידע את כל המהנדסים לגבי כל שינוי בתקן.

מצב המבנים בארץ עד ל 1980 - מבחינת עמידות לרעידת אדמה

- מתבססים על סקירה שנעשתה במרכז מיפוי ישראל, הכוללים נתונים של משרד הבינוי והשיכון, מינהל הדיור הממשלתי, משרד החינוך ומשרד הבריאות.
- מבנים פרטיים (הערכה): בישראל יש כמיליון מבני מגורים פרטיים, ע"פ אומדנים מס' המבנים עם שלוש קומות ומעלה שניבנו עד 1980 הוא כ - 61,000.
- מוסדות חינוך (הערכה): 5,400 גני ילדים מתוך 12,000 שנבנו לפני 1980, 1,800 בתי ספר מתוך 3,800 שנבנו לפני 1980.
- מוסדות בריאות (הערכה): כמחציתם נבנו לפני 1980, מתוך 2 מיליוני מ"ר. הערכה של עלות החיזוק כ 100 \$ למ"ר.
- מוסדות ממשלתיים (הערכה): 1,700 מבנים מתוך 5,000 נבנו לפני 1980.

תהליך תכנון החיזוק מבנה קיים וביצוע חישובים לפי דרישות תמ"א 38 ותקנים ישראלים

1. קביעת/הוכחת הצורך בחיזוק המבנה הקיים.
2. קביעת שיטת החיזוק המתאימה למבנה הקיים.
3. תכנון חיזוק המבנה הקיים כולל תוספת הבניה.

1. הוכחת הצורך בחיזוק המבנה הקיים

לימוד מעמיק על המבנה הקיים:

- בחינה ויזואלית של המבנה הכוללת סקירת נזקים קיימים ותייעודם.
- איסוף מידע טכני לגבי מצב המבנה כמו: הוספת אגפים, חיזוקים ותיקונים קודמים אם בוצעו וכיצד.
- סקירת תוכניות, חישובים, ותכניות ביצוע.
- בדיקות קרקע מקומיות.
- זיהוי ואפיון מערכות ראשיות ומשניות.
- מדידת הגיאומטריה, ההזות, שקיעות, סדקים ומיפוי הנזקים הקיימים.
- בדיקה מקומית של חומרים.
- בדיקות NDT.

1. הוכחת הצורך בחיזוק המבנה הקיים - המשך

חישובי אינדיקטיבי לצורך בחיזוק המבנה:

• תקן ישראלי 2413 – הנחיות להערכת מבנים קיימים ברעידת אדמה ולחיזוקם. התקן כולל שני נושאים עיקריים:

1. הערכת עמידותם הצפויה של מבנים קיימים ברעידת אדמה.
2. אופני חיזוק למבנים קיימים לשם עמידותם ברעידת אדמה.

~~• בדיקה ברמה 1 – אבחון מהיר ברמה סטטיסטית לפי טבלה המפרטת מקדמי צבירה לזכות או לחובה, להערכת הסיכון הסיסמי למקבץ מבנים.~~

• בדיקה ברמה 2 – אבחון ראשוני למבנה קיים ע"י חישובים מקורבים עבור מבנה מסוים. האינדיקציה מתקבלת על ידי חישוב אינדקס סיסמי ובחינתו בגבולות מומלצים.

$$I_s = \frac{F_{aT}}{F_T}$$

$$F_{aT} = (1 + \Sigma a) \Sigma \left(\frac{\alpha_j}{\alpha_{\max}} F_{a,j} \right)$$

$$F_T = cW_T$$

$$c = c_o (1 + \Sigma f)$$

$$W_T = G + k_q Q$$

1. הוכחת הצורך בחיזוק המבנה הקיים - המשך

אפיון בעיה נקודתי:

- תקן ישר אלי 413 – תכן עמידות מבנים ברעידת אדמה, ות"י 2413:
- אנליזה של המבנה הקיים לפי ת"י 2413 בהתאמות לת"י 413 – למעשה אנליזה מלאה של המבנה הקיים ובחינתו בקריטריונים הנתונים בת"י 413.
- דוגמאות:
- מקדם יציבות (השפעות מסדר שני) החורג מהחסם העליון המותר – אינדיקציה לבעיית יציבות.
- הסטה קומתית החורגות מהדרישות התקניות – אינדיקציה לחוסר קשיחות.
- מישק בין מבנים סמוכים שלא מקיים את דרישות ת"י 2413 ו/ או ת"י 413.
- בעיות הקשורות לביסוס הקיים: כוחות שליפה גדולים, ביסוס לא מתאים.

1. הוכחת הצורך בחיזוק המבנה הקיים - המשך אפיון בעיה נקודתי - המשך:

- הימצאות קומה חלשה במבנה.
- הימצאות קומה גמישה במבנה.
- מבנה גמיש מידי: הסטה קומתית חריגה ו/ או בעיית יציבות.
- אי קיום הדרישות של רכיבי ההקשחה הקיימים ב דרישות התקן בת"י 413

פרק ד':

1. חוסר זיון אורכי.
2. חוסר בחישוקים לגזירה.
3. בטון חלש.
4. חסם עליון ב גזירה.
5. תסבולת עמודים קטנה ביחס לתסבולת קורות (מבנה מסגרת).

1. הוכחת הצורך בחיזוק המבנה הקיים - המשך

אפיון בעיה נקודתי - המשך:

- תסבולת גזירה נמוכה של קירות בני.
- בדרך כלל כאשר יש צורך בחיזוק מבנה קיים לרעידת אדמה ניתן לראות שילוב של מס' סיבות לצורך בחיזוק כגון: יציבות, קשיחות ותסבולת רכיבים קיימים.
- בחלק מהבניינים קיימת בעיה של אי עמידה בקריטריונים של עומסים אנכיים בלבד.
- ניתן להיעזר בתקנים זרים, כדוגמת תקנים אירופאים:
- Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance
- Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings
- Part 3: Strengthening and repair of building

2. קביעת שיטת החיזוק המתאימה למבנה הקיים

- באמצעות ממ"דים.
- קירות הקשחה בתוך המבנה.
- קירות הקשחה בחזיתות המבנה.
- חיזוק על ידי מסגרת.
- שימוש בחומרים מורכבים.
- באמצעות רכיבי פלדה נוספים.
- ממ"דים + מעטפת חיצונית מבטון + חיזוק עמודים קיימים

3. איך מתכננים חיזוק מבנה קיים לעמידה ברעידת אדמה ?

- תקן ישראלי 2413 – הנחיות להערכת מבנים קיימים.
- ברעידת אדמה ולחיזוקם + אופני חיזוק למבנים קיימים.
- תקן ישראלי 413 – תכן עמידות מבנים ברעידת אדמה. תקנים זרים המשמשים כעזר, כדוגמת תקן אירופאי:
- Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance
- Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings
- Part 3: Strengthening and repair of building.

טכניקות מקובלות לתיקון נזקים ולחיזוק אלמנטים מבניים:

1. יציקות בטון מצמנט פורטלנד ושימוש בבטונים בעלי חוזק גבוה.
2. התזת בטון בלחץ.
3. שימוש בשרפים אפוקסיים לתיקון סדקים וחללים.
4. שימוש במלטנים אפוקסיים לתיקון חללים גדולים.
5. שימוש במלטנים מהירי התחזקות.
6. החלפה וטיפול במוטות זיון חלודים.
7. חיזוק באמצעות פחים מודבקים ומוחזקים באמצעות ברגים.
8. חיזוק באמצעות הדבקה של רצועות עשויות מחומרים מורכבים עתירי חוזק.

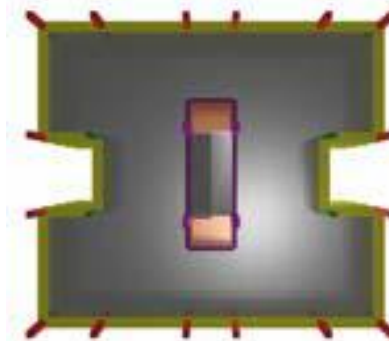
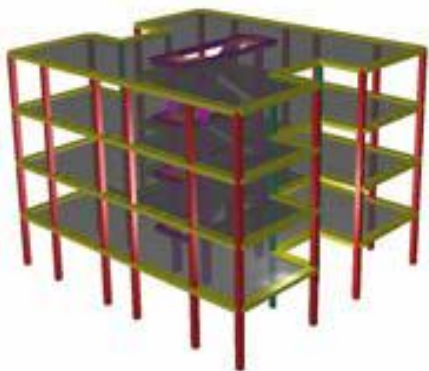
קירות גזירה - זהירות !

- קירות גזירה חדשים עלול להשפיע לרעה מבחינת מיקום מרכז הגזירה והקשיחות הקומתית.
- מיקום נכון יכול לתקן בעיות של אסימטריה.
- חשוב גם לבדוק את מערכת הביסוס הקיימת.

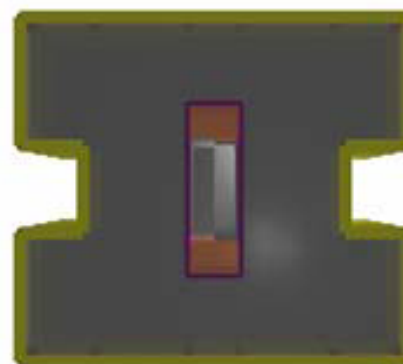
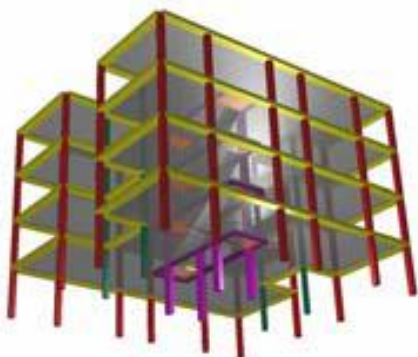
דוגמאות של חיזוק מבנים

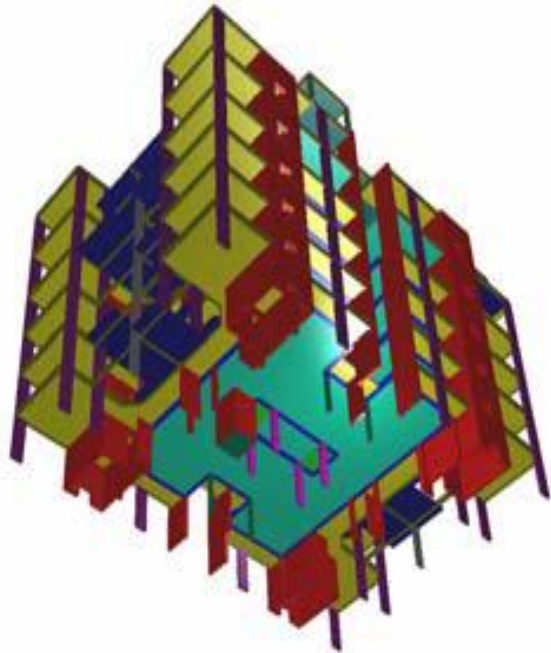
- חיזוק על ידי הוספת ממ"דים.
- חיזוק על ידי הוספת מעטפת חיצונית.
- חיזוק המשלב מעטפת חיצונית וממ"דים.

חיזוק ע"י הוספת ממ"דים



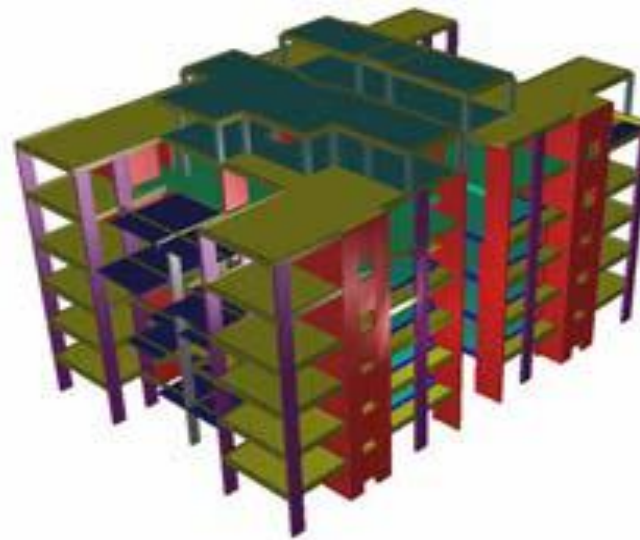
- מבנה קיים
- מודל חישובי

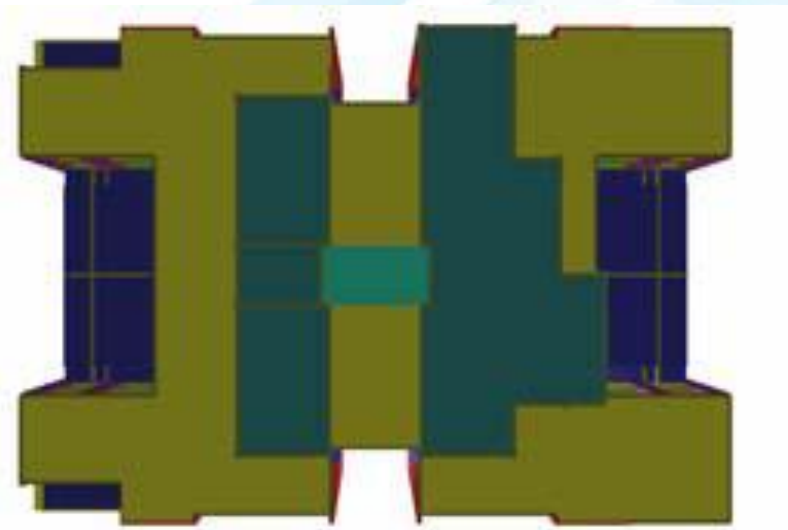
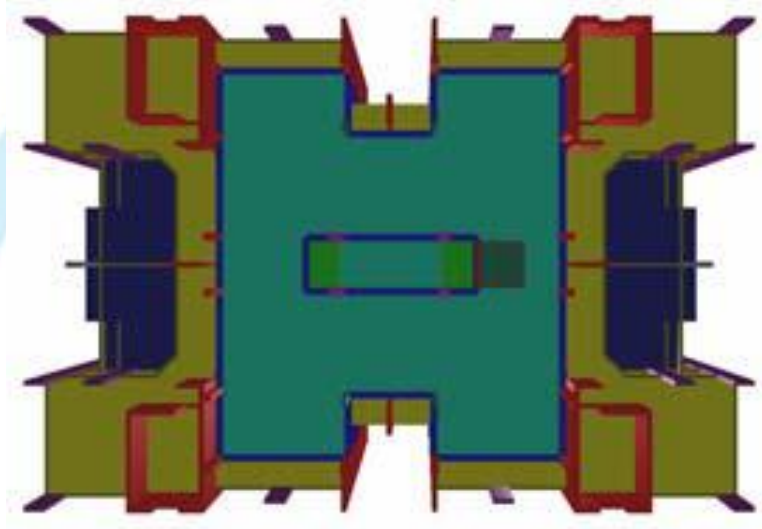


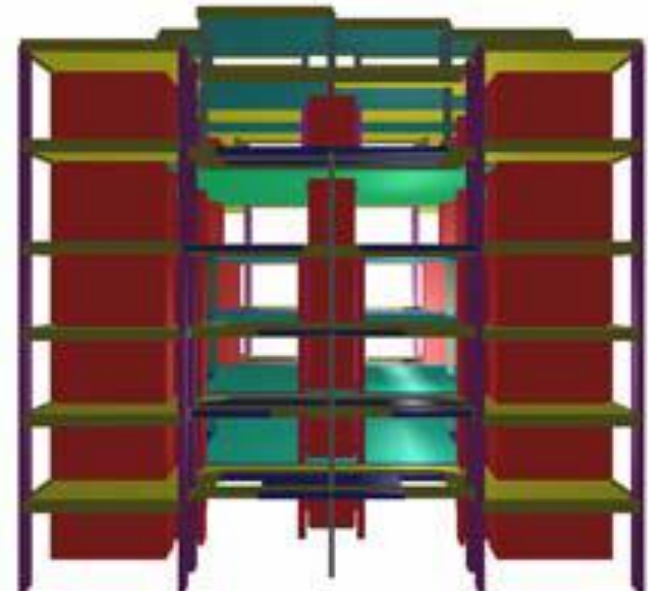
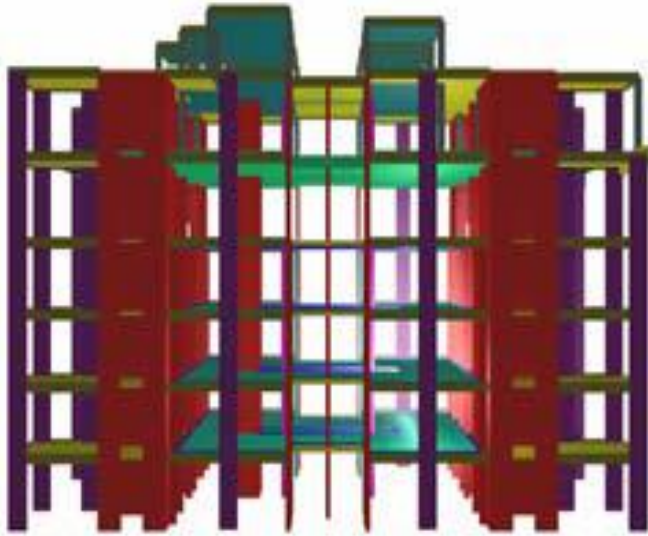


• מבנה מחוזק

• מודל חישובי

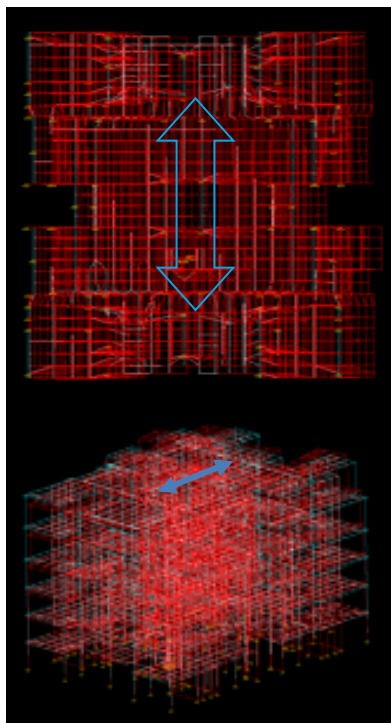




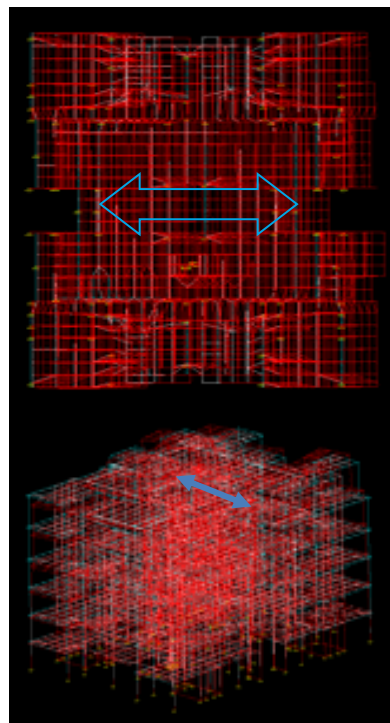


תגובה דינאמית לצויה

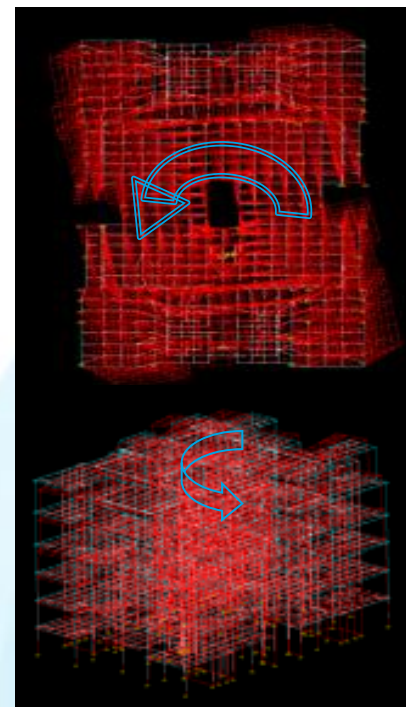
Mode 1



Mode 2



Mode 3

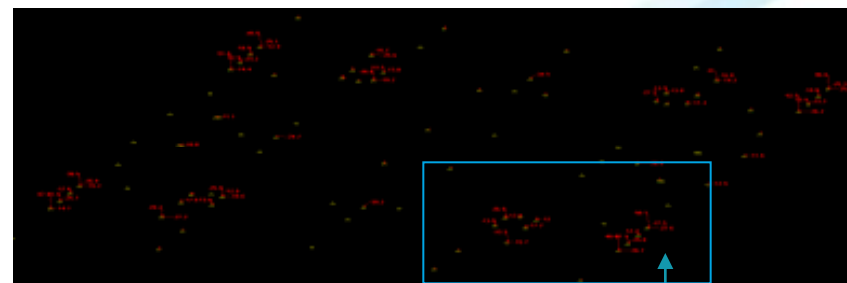
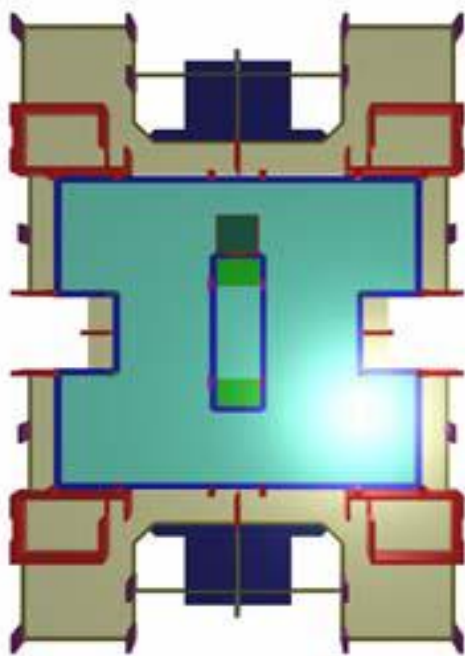


תגובת מבנה רצויה / מספקת

STORY DRIFTS							
Height direction=X3, COC over 1 to 12							
No.	Level m	Height m	Drift mm	Max. Defl. mm	Min. Defl. mm	X1-Drift	X2-Drift
	0.00						
1	2.75	2.75	0.7	0.5	0.4	0.1	0.7
2	5.50	2.75	0.9	1.3	1.1	0.1	0.8
3	8.25	2.75	1.0	2.3	1.9	0.1	1.0
4	11.00	2.75	1.1	3.4	2.8	0.2	1.1
5	14.28	3.28	1.2	4.6	3.8	0.2	1.2
6	17.50	3.22	1.0	5.6	4.6	0.2	1.0
7	19.92	2.42	2.1	7.4	5.8	0.3	2.1

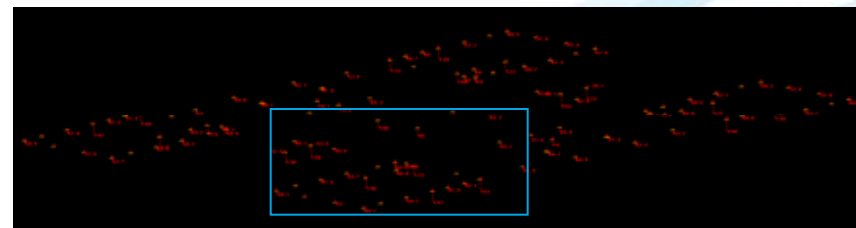
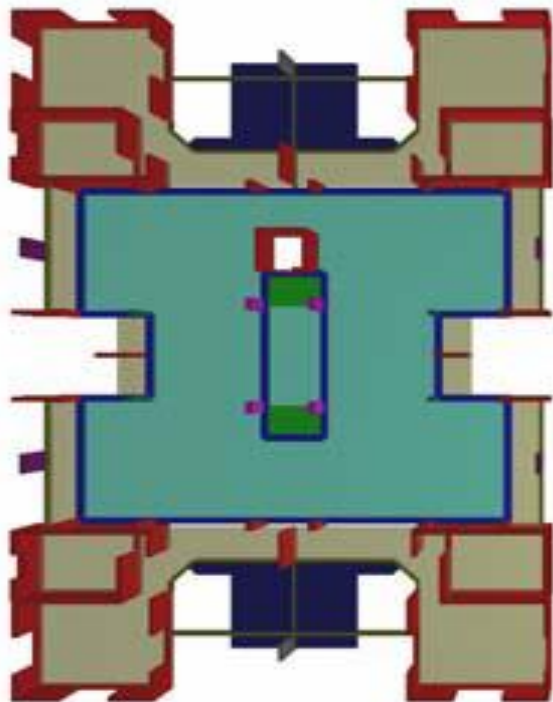
WEAK STORIES						
Height direction=X3						
Allowable shear stress(mPa): Concrete= 1.35, Steel= 0.00						
No.	Level m	Height m	X1-Shear	Ratio	X2-Shear	Ratio
	0.00					
1	2.75	2.75	1548.66	1.00	1379.23	1.00
2	5.50	2.75	1548.66	1.00	1379.23	1.00
3	8.25	2.75	1548.66	1.00	1379.23	1.00
4	11.00	2.75	1548.66	1.32	1379.23	1.37
5	14.28	3.28	1171.66	0.88	1009.33	0.88
6	17.50	3.22	1335.36	4.78	1152.43	4.12
7	19.92	2.42	279.45		279.45	

דוגמא – בעיית מתיחה/לחיצה



- כוחות לחיצה נקודתיים כ-200 טון
- מתיחה כ-50 טון
- פ. הארכת קירות ההקשחה
תוך יצירת פתחים פונקציונאליים.

דוגמא – בעיית מתיחה/לחיצה



כוחות לחיצה נקודתיים הוקטנו ב - 25%-50%

מתיחה הוקטנה ב- 50%-100%

פ. הארכת קירות ההקשחה

תוך יצירת פתחים פונקציונאליים.

היבט כלכלי: עלות קירות מילוי בני קרוב

לקירות בטון = חיסכון משמעותי

בעלות הביסוס

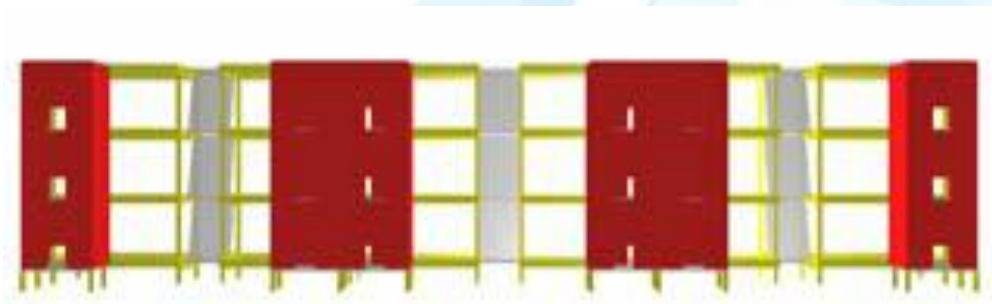
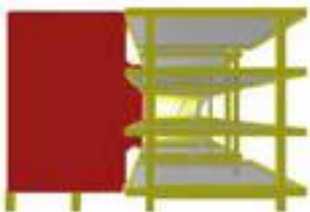
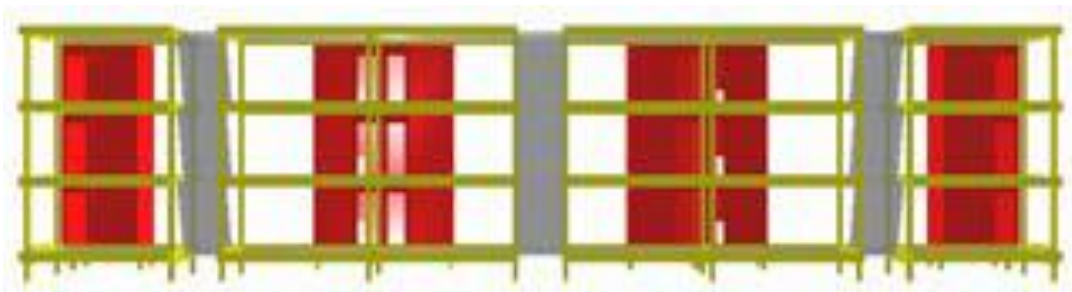
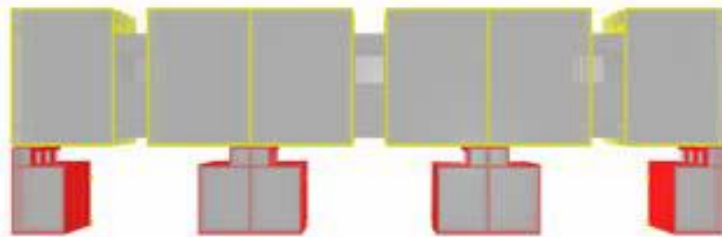
חיזוק ע"י מעטפת חיצונית

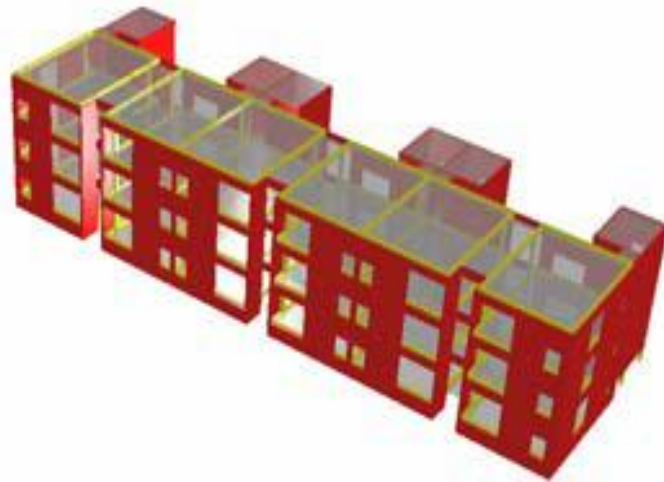
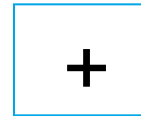


- מודל מתמטי

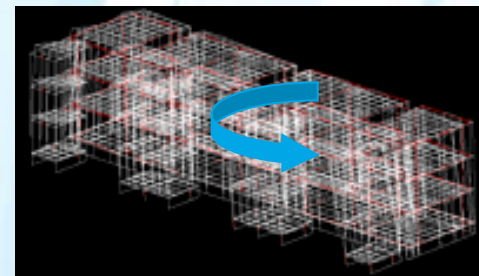
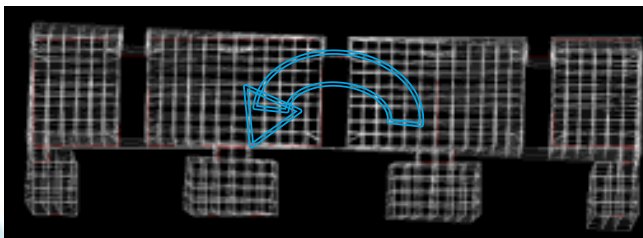
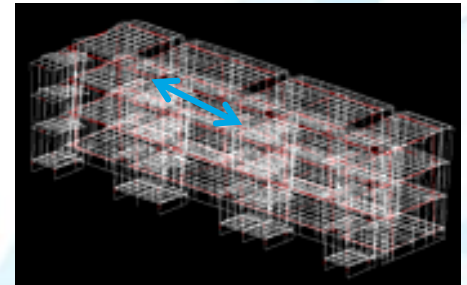
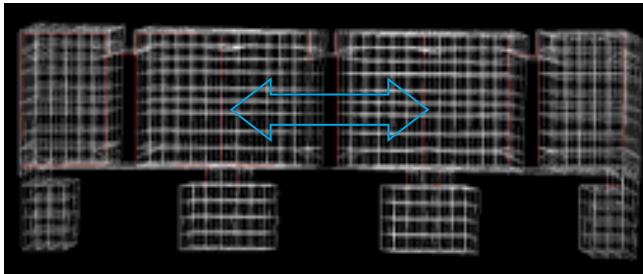
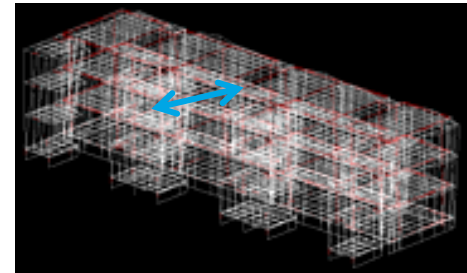
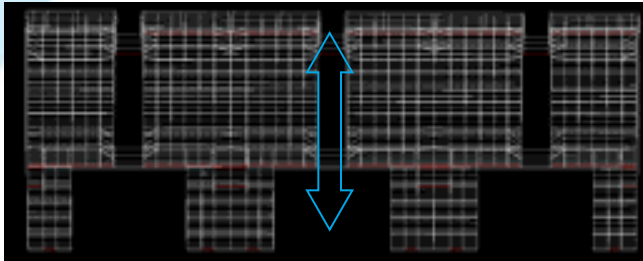
- מבנה קיים







תגובה דינאמית רצויה



אומדן עלויות

אלמנט	חומר	כמות	מחיר ליחידה [ש"ח]	סה"כ [ש"ח]
מעטפת חיצונית	קירות הקשחה וקורות	בטון [מ"ק]	145	181,250
		ברזל [טון]	145x0.1=14.5	50,750
	ענני חיבור קירות/תקרה	בטון וברזל [מ']	4x117.5+18=468	73,200
סה"כ עלות מעטפת חיצונית				
יסודות	כלונסאות קוטר 45 ס"מ	בטון [מ"ק]	48x0.159x7=53.24	63,888
		ברזל [טון]	48x0.11=5.28	18,480
	קורות יסוד	בטון [מ"ק]	0.45x0.55x115.5=28.6	34,320
		ברזל [טון]	28.6x0.1=2.86	10,010
	סה"כ עלות יסודות			
סה"כ עלות חיצון המבנה				
בתוספת מע"מ				
סה"כ עלות חיצון המבנה ליחידת דיור (18 יחידות)				
סה"כ עלות חיצון המבנה למ"ר				
עלות חיצון מבנה 300-350 ש"ח למ"ר				

• 350-400 ₪ למ"ר

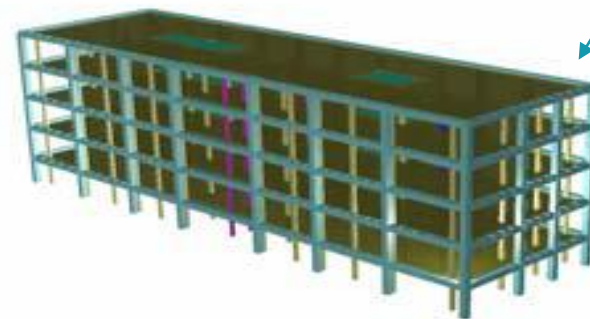
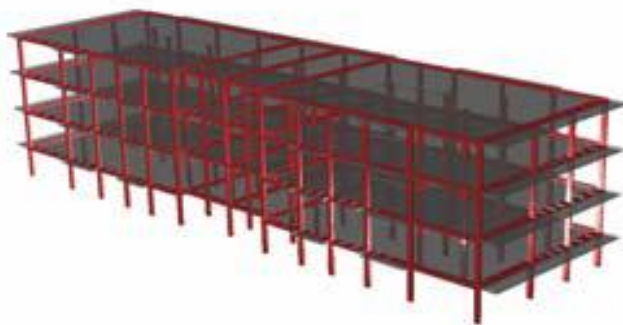
1. חיזוק על ידי מסגרת גמישה.

2. הקשחה של כיוון אחד כאשר הכיוון הניצב לא מקבל טיפול נאות.

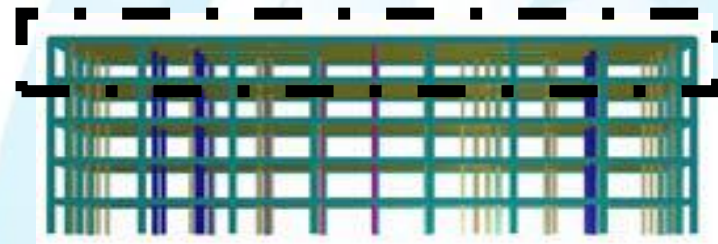
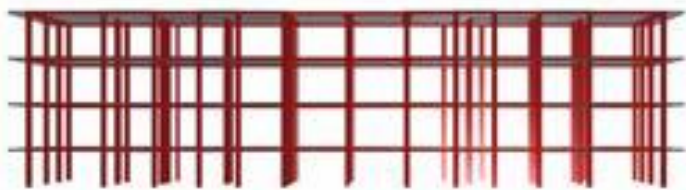
3. הוספת קירות גזירה אקסצנטרים.

4. ריכוז קירות הקשחה רבים בקומות חדשות ויצירת קומה קיימת חלשה.

חיזוק על ידי מסגרת גמישה + הוספת קומה



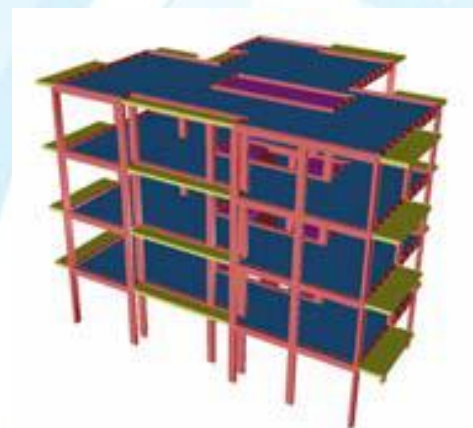
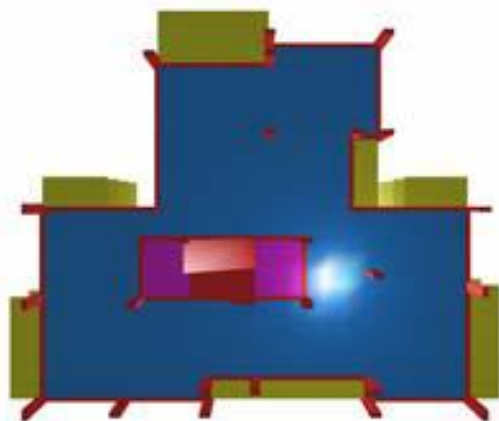
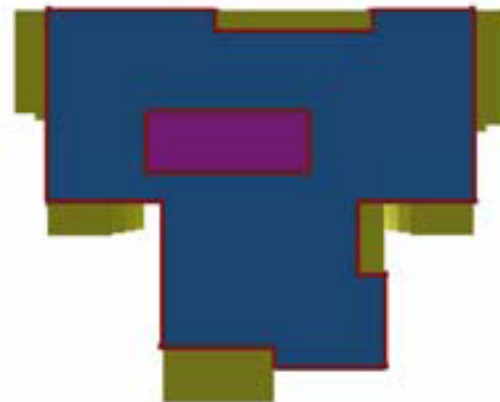
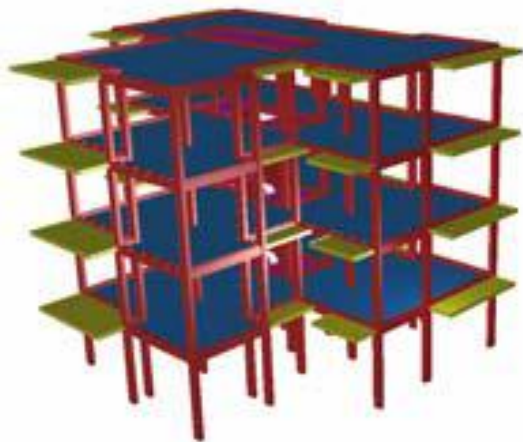
תוספת קומה

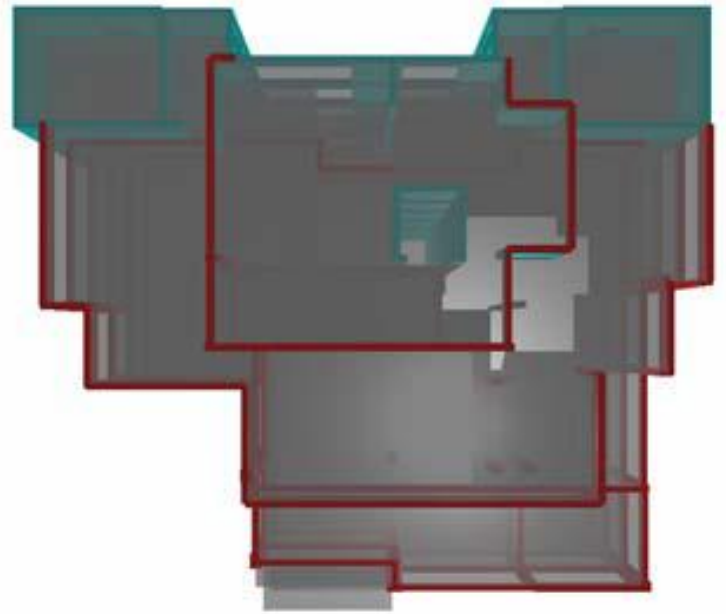
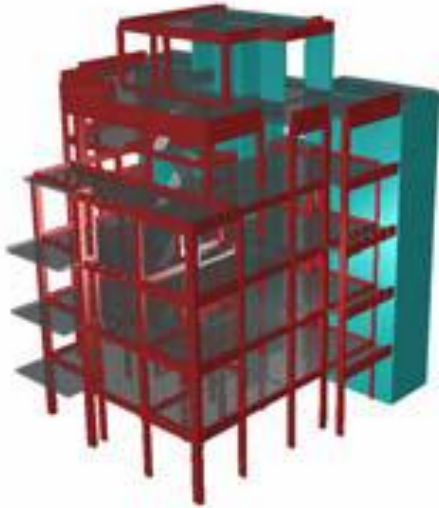


חיזוק על ידי מסגרת חיצונית גמישה + הוספת קומה

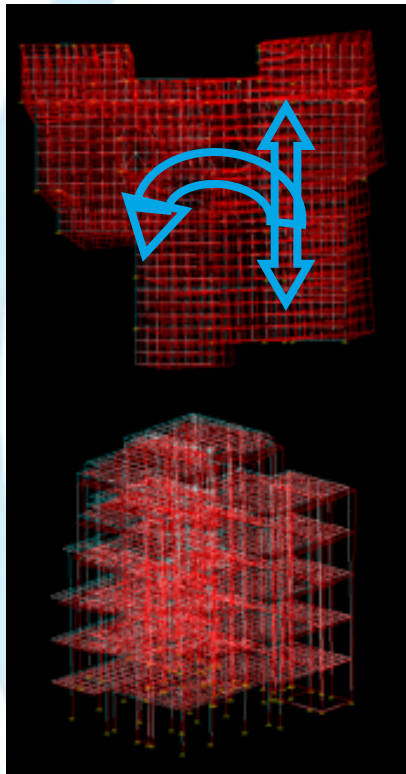
- דפורמציות גדולות של המסגרת הגמישה שבתוכה מבנה מתפורר יוצרת חוסר אמינות של הפתרון.
- משיכות גדולה של המסגרת המקשיחה ביחס למשיכות קטנה של מבנה קיים.
- הסטה בין קומתית גדולה היוצרת בעיות מסדר שני, ובעיות יציבות.
- פרטי ברזל מסובכים לביצוע.

ריכוז קירות הקשחה אקסצנטריים

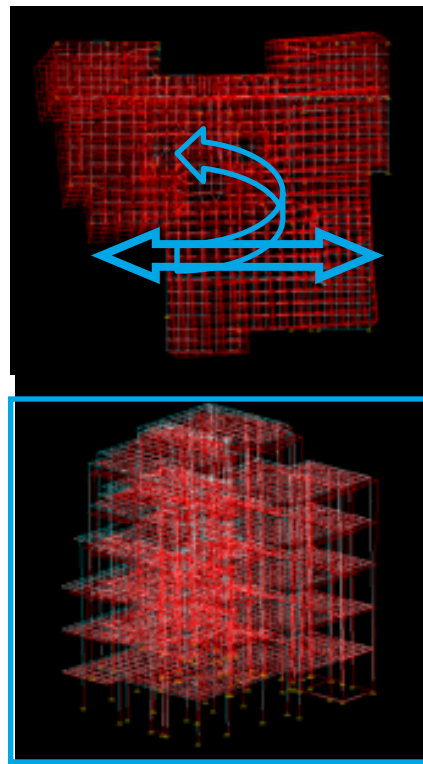




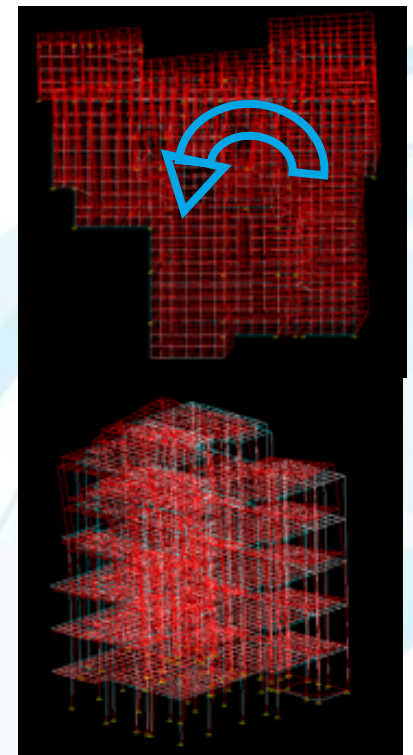
Mode 1



Mode 2



Mode 3



קשיים הנדסיים בתכנון לחיזוק מבנה לרעידת אדמה.

- אפיון בעיה נקודתית.
- לימוד מעמיק על התנהגות המבנה.
- בחינת תגובת המבנה המחוזק.
- קביעת סוג החיזוק המתאים למבנה.
- קושי חישובי במודל מייצג מבחינת קירות בני.
- התחשבות במבנה צמוד או סמוך למבנה המחוזק.
- חיזוק יסודות של מבנה קיים ומתפקד.
- תוספות בנייה מכוח זכויות קיימות: הוספת קשיחות בקומות עליונות, או הוספת קשיחות אסימטרית בקומת הקרקע.

תודה על ההקשבה