



פרופ' מתי אדון – יעוץ הנדסי



עם כלביא

השתלמות מהנדסי רשויות ומהנדסי פקע"ר

דגשים והנחיות מקצועיות לביצוע מיון הנדסי למבנים לאחר פגיעה מירי תמ"ס

רס"ן (במיל") פרופ' מתי אדון

18.06.2025

לו"ז של ההשתלמות

מיון הנדסי למבנים לאחר פגיעה מירי תמ"ס		
שעה	נושא ההרצאה	מרצה
13:15-13:00	פתיחה והצגת הנושא	מר יצחק (איזי) לרר
14:45-13:15	מיון ראשוני וסיווג נזקים במבנים לאחר פיצוץ	פרופ' מתי אדן
15:30-14:45	אפקטי פיצוץ	סא"ל (מיל") רסאן טריף
18:30-15:30	הרצאה מקצועית למהנדסי פקע"ר	פרופ' מתי אדן



פרופ' מתי אדן – יעוץ הנדסי



מיון ראשוני וסיווג נזקים במבנים לאחר פיצוץ

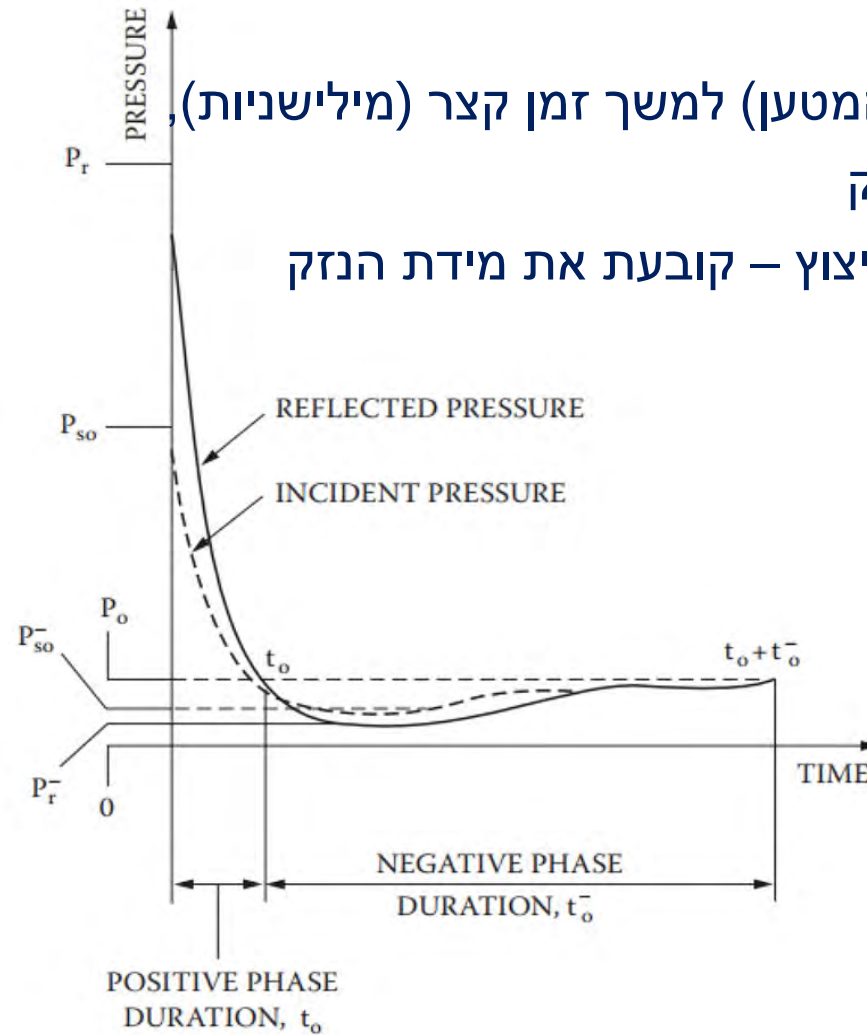
רס"ן (במיל") פרופ' מתי אדן

מושגים בסיסיים בנושא פיצוץ

- דטונציה - DETONATION: ניפּוץ מלא במהירות של אלפי מטר לשנייה (על-קולי*).
- דפלגרציה - DEFLAGRATION: בעירה עזה במהירות של עד מאות מטר בשנייה (תת קולי*).
- פיצוץ – EXPLOSION: בקיעה פתאומית של מכל כאשר הלחצים הפנימיים עולים על תסבולת קיר המכל.
- בעירה – COMBUSTION: שריפה.

* מהירות הקול באוויר היא 343 מ' לשנייה (כ-1,235 קמ"ש).

השפעות דטונציה



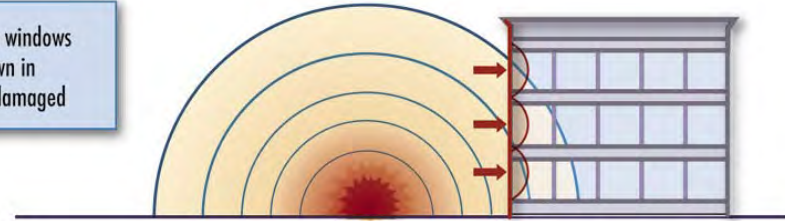
- גל ההדף (פוגע ומוחזר)
- לחצים גבוהים (בתלות בגודל המטען) למשך זמן קצר (מילישניות), דעיכה מהירה של לחץ עם מרחק
- אימפולס = אנרגיה האצורה בפיצוץ – קובעת את מידת הנזק
- רסיסים ורגמות (שיחון)
- מכתוש בקרקע
- תזוזות קרקע (הלם קרקע)
- כדור אש



השפעות הדף על מבנה – פיצוץ חיצוני

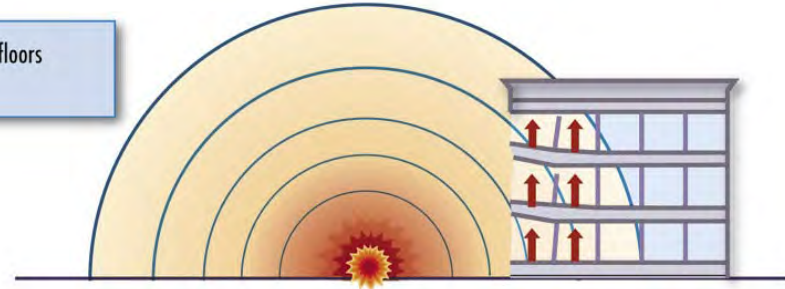
1. גל הדף שובר חלונות, ומעיף קירות חזית פנימה. פיצוץ מטענים כבדים עלול לגרום נזק לעמודים, קירות בטון וגם חדירת קירות ממ"ד (לא תוכננו לפגיעה ישירה)

1. Blast wave breaks windows
Exterior walls blown in
Columns may be damaged



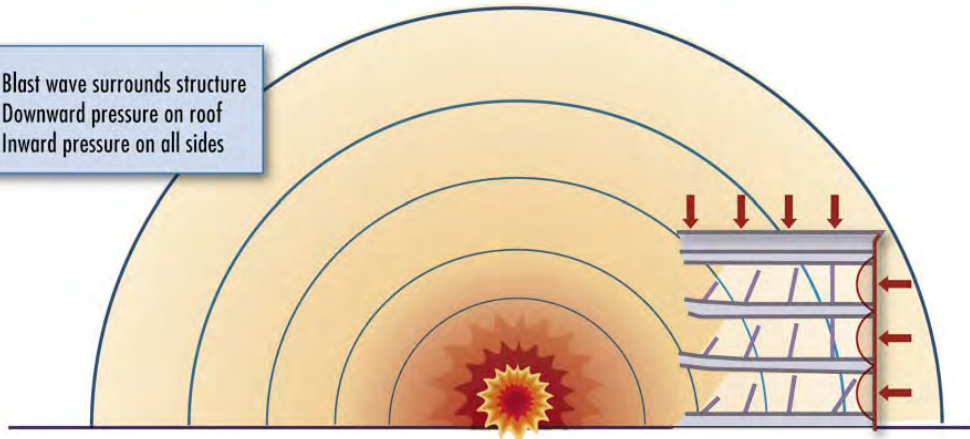
2. גל הדף גורם לכוחות עילוי על תקרות, כשל אפשרי במומנטים הפוכים וכוחות גזירה גדולים ונפילה חזרה. התייצבות אפשרית בצורת ממברנה (עם שקיעה גדולה)

2. Blast wave forces floors upward



3. גל הדף עוטף את המבנה, לוחץ על הגג כלפי מטה ועל הקירות פנימה, נזק לגגות (במיוחד קלים), ולחזיתות אחרות.

3. Blast wave surrounds structure
Downward pressure on roof
Inward pressure on all sides



*FEMA 427

קיים גם לחץ שלילי (יניקה)
שפועל בכיוון הפוך

השפעות הדף על מבנה – הגברת לחץ כלוא



*E. Sunarso, Blast Effects on Reinforced Concrete Structures, 2018

השפעות הדף על מבנה – פיצוץ פנימי / פריצת מעטפת

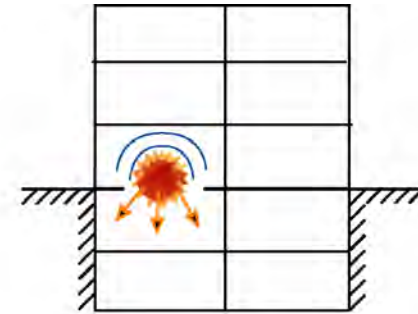
1. פיצוץ פנימי של מטען או חדירת רש"ק עם השהייה. פיצוץ כלוא עם לחץ מוגבר. פריצת תקרות (הדף או קינטי), שבר עמודים, ואם האימפולס גדול גם פריצת קירות בטון (ממ"דים).

2. גל הדף גורם לכוחות עילוי על תקרות מעל הפיצוץ, ולחץ כלפי מטה על תקרות מתחת. הרס מחיצות, וכשל כלפי חוץ של קירות מעטפת וחלונות.

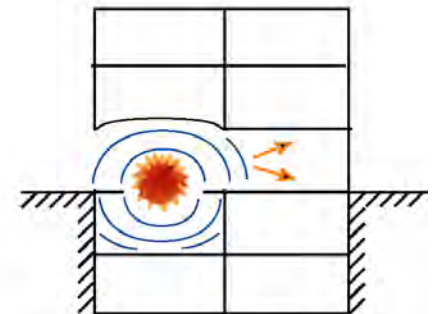
3. התפשטות הדף ברחבי הבניין, אפשרות לכשל תקרות מעל ומתחת, והתמוטטות בשרשרת.

היקף הנזק הפנימי תלוי בגודל המטען ונקודת הפיצוץ, אבל גם במכשולים להתפשטות ההדף וספיגת אנרגיה ע"י כשל רכיבים פנימיים.

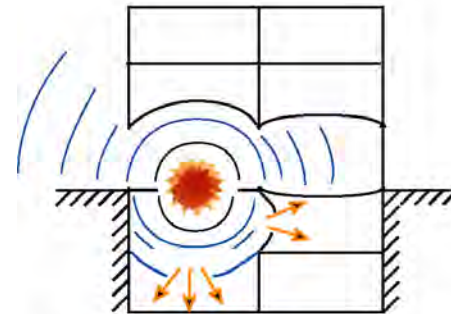
*FEMA 427



1. Localized floor breach



2. Ceiling uplift, wall and window failure



3. Air blast venting to exterior, damage and possible failure of floors and walls on levels above and below

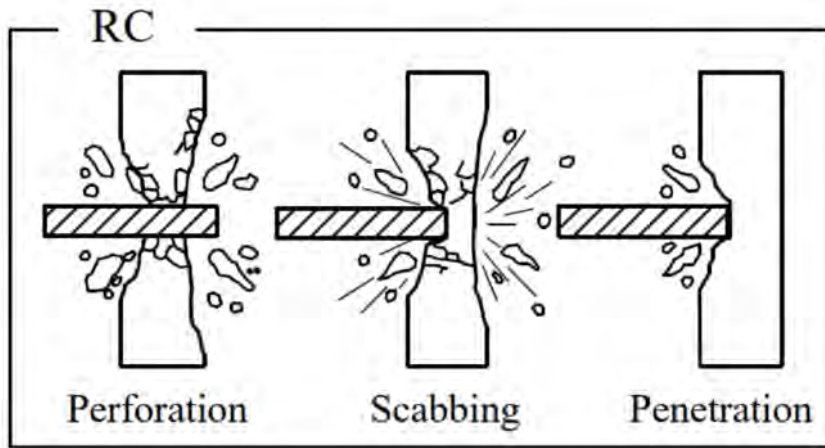
פגיעה ישירה במבנה

סוגי ייזום בפגיעה ישירה

- **ייזום מידִי** – דטונציה חיצונית והולם
- **ייזום מושהה** – חדירה ודטונציה פנימית
- **תיתכן חדירה קינטית של חלקי**
רקטה/טיל (מנוע) לאחר הייזום.



רסיסים



■ בעת פיצוץ רש"ק נוצרים רסיסים

- ✓ מספר גדול של רסיסים
- ✓ במרחקים בינוניים וגדולים – הרסס מגיע לפני גל ההדף
- ✓ נזק למבנים ובעיקר לאנשים

■ רסיסים ראשיים

- ✓ נוצרים עקב התפרקות המעטפת של החנ"מ או עקב רסס מבוקר שמוטמע ברש"ק

■ רסיסים משניים (רגמות)

- ✓ תוצר נלווה עקב פגיעת רסיסים וגלי הדף באלמנטים בזירה כמו חומת מפגע

■ מאפיינים עיקריים

- ✓ אלפי עד עשרות אלפי רסיסים
- ✓ מהירות בסדר גודל 1,000-3,000 מ' לשנייה
- ✓ מסה מעשירית גרם ועד עשרות גרמים

תגובה לפגיעת אמל"ח

■ דיווחים על נפילות מתקבלים במוקדי החירום

■ **שלב המענה המיידי** (דקות עד שעות מהאירוע) – משטרה/פקע"ר אחראית בזירה

✓ חברת כוחות תגובה וחילוץ בזירה: משטרה, פקע"ר, כב"א, מד"א, זק"א, רשות מקומית

✓ זיכוי הזירה ע"י חבלן משטרה (נפלים), גז (כב"א) וחשמל (חח"י או נציג מטעם הרשות)

✓ כיבוי שריפות במידה ופרצו (כב"א)

✓ ביצוע סריקה הנדסית (**מיון ראשוני**) של הבניינים באזור שנפגע עם תיעוד מצולם, לאפיון היקף וחומרת

הנזקים, מעגלי ההרס, הפוטנציאל לקיום לכודים, והצורך בפינוי מידי של הדיירים – (פקע"ר, כב"א)

✓ פינוי זמני של דיירים עפ"י החלטת הסוקרים במיון ראשוני בתיאום עם הרשות המקומית (ומס רכוש?)

✓ ביצוע פעילות גילוי וחילוץ לכודים (אם קיימים) בתוך הבניינים הפגועים, ע"י פקע"ר וכב"א

✓ במקביל, קיום שיחות של דיירים לגבי לכודים פוטנציאליים ומקום הימצאם במבנים שנפגעו

(רשות מקומית, פקע"ר – מדור התנהגות אוכלוסייה)

חשוב: יש למנוע מסקרנים ו/או גורמים אחרים שלא בכוחות החירום להיכנס או לעמוד בצמוד למבנים שנפגעו (משטרה)

תגובה לפגיעת אמל"ח

■ שלב המענה הראשוני/משלים (שעות עד ימים ספורים מהאירוע) – רשות מקומית אחראית בזירה

- ✓ ביצוע סקירה הנדסית (מיון מפורט) במבנים שסווגו "מוגבל בשימוש" (צהוב) או "מבנה מסוכן" (אדום) במיון ראשוני. כניסה לבניינים מסוכנים מותרת לכוחות חירום בלבד.
- ✓ איפיון רמות הנזק (I-V) הפנימיות במבנה, והחלטה על יציבות המבנה והצורך בתימוך ו/או הריסה (ע"י הרשות מקומית, עם מהנדסים שהוסמכו על ידה)
- ✓ החלטה על פינוי קבוע או אכלוס של בניינים לפי רמת הנזק (רשות מקומית, מס רכוש)
- ✓ החלטה על אכלוס מחדש של בניינים בעלי רמת נזק I "קל מאוד" או II "קל" על פי טבלת החלטה (רשות מקומית, מס רכוש)
- ✓ המשך טיפול באוכלוסייה

סקירה חיצונית

- ❖ סקירה מלאה סביב המבנה – ככל האפשר, ותייעוד מצולם
- ❖ איפיון המבנה: סוג המבנה, גיל, מערכות השלד (נושאת והקשחה), ממ"דים, בלייה משמעותית
- ❖ סוג הפגיעה במבנים במעגל ההרס:
 - ✓ פגיעה ישירה, או
 - ✓ פגיעה קרובה (דטונציה ורסס) עם נזק קונסטרוקטיבי, או
 - ✓ פגיעה קרובה ללא נזק קונסטרוקטיבי, או
 - ✓ רסס בלבד מפגיעה רחוקה

סקירה פנימית

אם המבנה זוהה מבחוץ כמסוכן או לא יציב – הכניסה מותרת אך ורק לכוחות חירום (כב"א, מהנדסי חילוץ ובקרת נזקים מפקע"ר, מהנדסים מטעם הרשות שהוסמכו לכך)

- ❖ כניסה זהירה והדרגתית למבנה תוך זיהוי גורמי סיכון פוטנציאליים (מבניים ואחרים), אפיון מנגנוני שוו"מ חלופיים ומצבים לא יציבים
- ❖ בדיקה ויזואלית של חדרי מדרגות, כניסות ויציאות, אזורים פגועים, ושאר המבנה (מרוחק מהאזורים הפגועים) – ככל האפשר
- ❖ ווידוא ההנחות לגבי מערכת נושאת והקשחה של המבנה
- ❖ בדיקת שלמות המערכת הנושאת מחוץ לאזור הפגוע
- ❖ בדיקת שלמות ותפקוד מערכת ההקשחה
- ❖ הקצאת רמות נזק בבניין לאזורים קרובים או מרוחקים מאזור הפגיעה
- ❖ חסימת גישה (מתרס קשיח) לאזורים מוגבלים בשימוש או מסוכנים כנדרש

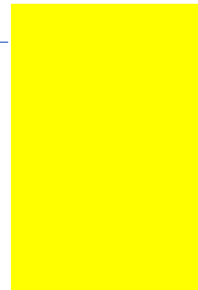
סיווג מבנים פגועים מפיצוץ



מתאים לאכלוס



מוגבל בשימוש



מבנה מסוכן



קריטריונים לסיווג מבנים לאחר פיצוץ



מתאים לאכלוס

❖ הבניין (או חלק נרחב ממנו) לא נפגע או נפגע בצורה קלה
❖ הנזקים שנצפו הם קלים מאוד עד קלים ואינם מהווים סיכון לדיירים

❖ אין נזקים קונסטרוקטיביים

❖ אין גורמי סיכון נוספים משמעותיים

❖ **מותר לאכלס את המבנה** (או חלק ממנו שסווג "מתאים לאכלוס")
ללא מגבלות

קריטריונים לסיווג מבנים לאחר פיצוץ



מוגבל בשימוש

- ❖ הבניין (או חלק נרחב ממנו) נפגע באופן בינוני ללא נזק משמעותי לשלד
- ❖ הנזקים שנצפו אינם קונסטרוקטיביים ולא משפיעים על יציבות כלל המבנה
- ❖ ייתכנו סיכונים קלים נוספים (נפילה וכד')

- ❖ אין לאכלס את האזורים שנפגעו וסווגו "מוגבל בשימוש"
- ❖ לשיקול הרשות - לאפשר כניסה פרטנית לזמן קצר של דיירים בליווי מתאים, להוצאת ציוד ורכוש מהדירות

קריטריונים לסיווג מבנים לאחר פיצוץ



מבנה מסוכן

- ❖ שלד הבניין או חלק ממנו נפגע קונסטרוקטיבית עם נזק כבד עד כבד מאוד למערכת הנושאת ו/או ההקשחה. ייתכן שחלק מהבניין התמוטט או לא יציב, או
- ❖ ישנם גורמי סיכון חמורים נוספים או רחבי היקף (סכנת נפילה, חומרים מסוכנים, פגיעה בחשמל, פגיעה בגז, התמוטטות רחבת היקף של קירות חוץ מבני וכד')
- ❖ הבניין (או חלק ממנו) מסוכן, ואין להיכנס אליו או לאכלס אותו – פרט לכוחות חירום.

סימון אזורי סיכון



אזור מסוכן

- ❖ סימון וחסימת גישה בהיקף מוגבל
- ❖ האזור המסומן מסוכן
- ❖ קיימת סכנת נפילה או סכנה אחרת
- ❖ הגבלה מקומית, שיכולה להתלוות לכל סיווג של הבניין/אזור
- ❖ אין לעבור את המחסום, כניסה פרט לכוחות חירום

מיון הנדסי ראשוני

אין כניסה למבנים מסוכנים בעליל או שהתמוטטו, פרט לכוחות חירום או מהנדס מבנים מסוכנים מטעם הרשות המקומית.

■ סקירה ראשונית מהירה (מוקדם ככל האפשר לאחר הפגיעה):

- ✓ סקירה חיצונית של המבנה
- ✓ סקירה פנימית במבנה מסוכן תיערך אך ורק ע"י מהנדס מוסמך ע"י פקע"ר או הרשות המקומית
- ✓ קובעים את רמת הנזק (I-V) של כל חלק של המבנה
- ✓ באזורים עם נזק כבד או כבד מאוד (IV, V) יש להעריך את יציבות המבנה (מנגנוני שוו"מ חלופיים באזור שנפגע, אפשרות להתמוטטות בשרשרת בהמשך)
- ✓ במבנים לא יציבים יש למנוע גישה לאזור סביב המבנה
- ✓ ניתן לבצע מתרס זמני למניעת גישה סביב אזורים מסוכנים

במיון ראשוני כל המבנה מקבל סיווג אחד (ירוק, צהוב או אדום) – בהתאם לרמת הנזק החמורה ביותר שנצפתה במבנה.

מיון הנדסי מפורט

■ סקירה משלימה מפורטת (יבוצע ע"י **מהנדס מוסמך מטעם פקע"ר או הרשות המקומית**):

✓ **סקירה מפורטת** (שנייה) נדרשת בעיקר כאשר המבנה סווג "**מוגבל בשימוש**" או "**מבנה מסוכן**" במיון ראשוני, ופונה בהתאם מדייריו

✓ רצוי להשיג את **תוכניות המבנה** למיון המפורט

✓ באזורים עם **נזק כבד או כבד מאוד** (V, IV) מוודאים את **יציבות המבנה לטווח ארוך**,

✓ קובעים את הצורך **בתימוך זמני** לצורך קבלת יציבות

✓ אם קיימים חלקים גדולים של מבנה שפונה, ללא נזק עם נזק קל מאוד (I) עד קל (II), המהנדס יכול להמליץ לרשות המקומית לאכלס אותם (סיווג "**ראוי לאכלוס**")

במיון מפורט, ניתן לסווג אגפי מבנה בסיווגים שונים (ירוק, צהוב או אדום)

תמוכות זמניות או תיקונים



- בהמלצת המהנדס ובהחלטת הרשות המקומית, ייתכן שיידרשו חיזוקים או **תמוכות זמניות** בחלק מוגבל שנפגע בבניין - כדי לאפשר אכלוס של שאר המבנה
- התמוכות או החיזוקים יתוכננו ע"י מהנדס מבנים רשוי בעל ניסיון מתאים
- **אכלוס (או אכלוס חלקי) של בניין שפונה בסמכות הרשות המקומית בלבד**

חשוב:

במבני תעשייה, מסחר או בחלקי מבנים שאינם משמשים למגורים – אלא הם משמשים פונקציה תפקודית - הזמינות והזמן הנדרש לביצוע תיקונים, חיזוקים או תמוכות זמניות להחזרת המבנה/מתקן לשימוש, היא חלק בלתי נפרד מסיווג המבנה.

רמות הנזק למבנים מפגיעת אמל"ח

רמת הנזק		תיאור הנזק
I	נזק קל מאוד	✓ פגיעת הדף חלקית בתריסים וחלונות, מעקות, שלטים ✓ ו/או פגיעות רסיסים מועטות/ קלות בקירות מעטפת המבנה
II	נזק קל	✓ פגיעה הדף נרחבת בתריסים וחלונות (כולל גגות קלים) ✓ ו/או פגיעות רסיסים רבות/ עמוקות בקירות מעטפת המבנה
III	נזק בינוני	✓ הרס מלא או חלקי של קירות מעטפת המבנה ✓ אין נזק משמעותי לשלד המבנה
IV	נזק כבד	✓ הרס מלא או חלקי של קירות ומחיצות המבנה ✓ עיוות/שבר בהיקף משמעותי של שלד המבנה המחייב הערכת בטיחות הנדסית
V	נזק כבד מאוד	✓ פגיעה קשה באלמנטים נושאים או הקשחה של השלד וביציבותו

מעגלי הרס לפי רמות הנזק

חשוב לזכור:

- ✓ הקטרים של מעגלי ההרס משתנים על פי משקל החנ"מ.
- ✓ נדרש לבדוק את כל המבנים באזור הפגוע.
- ✓ "מעגל" ההרס יכול להיות כיווני או בצורה שונה, לפי כיוון ההדף, הצללה וכד'.



פגיעה ישירה של טיל בבניין מגורים בת ים 15.6.25



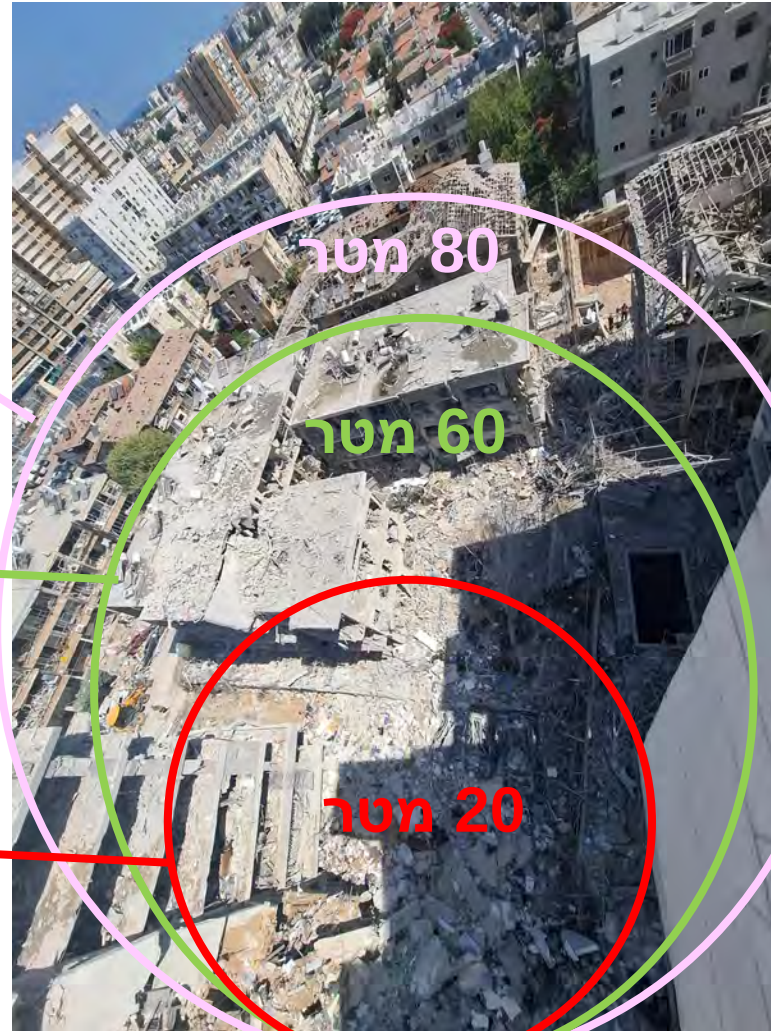
מעגלי הרס

מקור: מחלקת מומחים, פקע"ר

נזק לתריסים וחלונות- קל
II, I

נזק קונס' בינוני
III

נזק קונס' כבד
V, IV



נזק קל מאוד I

- ✓ פגיעה הדף חלקית בתריסים וחלונות, מעקות, שלטים
- ✓ ו/או פגיעות רסיסים מועטות/ קלות בקירות מעטפת המבנה



נזק קל מאוד I

- ✓ פגיעה הדף חלקית בתריסים וחלונות, מעקות, שלטים
- ✓ ו/או פגיעות רסיסים מועטות/ קלות בקירות מעטפת המבנה



נזק קל II

✓ פגיעה נרחבת בתריסים וחלונות

✓ ו/או פגיעות רסיסים רבות/ עמוקות בקירות מעטפת המבנה



נזק קל II

- ✓ פגיעה הדף נרחבת בתריסים וחלונות (כולל גגות קלים)
- ✓ ו/או פגיעות רסיסים רבות/ עמוקות בקירות מעטפת המבנה



נזק קל II

- ✓ פגיעה הדף נרחבת בתריסים וחלונות (כולל גגות קלים)
- ✓ ו/או פגיעות רסיסים רבות/ עמוקות בקירות מעטפת המבנה



נזק קל II

- ✓ פגיעה הדף נרחבת בתריסים וחלונות (כולל גגות קלים)
- ✓ ו/או פגיעות רסיסים רבות/ עמוקות בקירות מעטפת המבנה



נזק בינוני III

✓ הרס מלא או חלקי של קירות מעטפת המבנה

✓ אין נזק משמעותי לשלד המבנה



נזק בינוני III

✓ הרס מלא או חלקי של קירות מעטפת המבנה

✓ אין נזק משמעותי לשלד המבנה

פגיעת הדף בבניין ישן – שלד עמודים וקורות מבטון, מילוי קירות בלוקים וגג רעפים. קירות הבלוקים תורמים לייצוב המבנה.

בגלל שהמבנה הוא ישן, ללא מערכת הקשחה "מודרנית", נזק לקירות הבלוקים בחזיתות – גם ללא פגיעה משמעותית ברכיבי בטון - נחשב **נזק בינוני**.

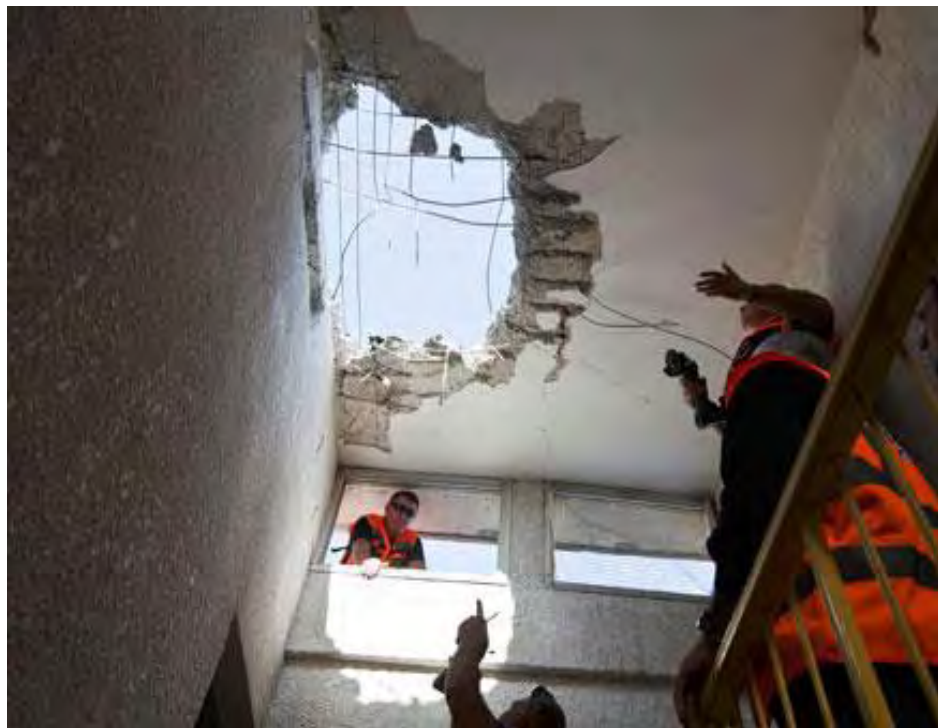


נזק כבד IV

✓ הרס מלא או חלקי של קירות ומחיצות המבנה

✓ עיוות/שבר בהיקף משמעותי של שלד המבנה
המחייב הערכת בטיחות הנדסית

חדירה ופיצוץ פנימי של רקטה, וחדירה קינטית.
פגיעה ישירה במבנה מסווגת במיון ראשוני כ-נזק כבד לפחות.



נזק כבד IV

✓ הרס מלא או חלקי של קירות ומחיצות המבנה

✓ עיוות/שבר בהיקף משמעותי של שלד המבנה המחייב הערכת בטיחות הנדסית



שריפה נרחבת בבניין מסווגת במיון ראשוני כ-נזק כבד לפחות.

האש פוגעת בשלד הבניין, גם ברכיבי פלדה וגם ברכיבי בטון – אם הטמפרטורה גבוהה ונמשכת במשך זמן ממושך.

במקרה זה, נדרשות בדיקות הנדסיות מפורטות כדי להעריך את מידת הנזק המדויק שנגרם לשלד מהשריפה.

נזק כבד IV

✓ הרס מלא או חלקי של קירות ומחיצות המבנה

✓ עיוות/שבר בהיקף משמעותי של שלד המבנה המחייב הערכת בטיחות הנדסית



פגיעה ישירה של רקטה בעמוד נושא של בניין "רכבת" (ישן).

בגלל שהמבנה הוא ישן (עם המשמעות לגבי עמידות השלד), ולמרות שלא נראים שום נזקים או דפורמציות נוספות, הנזק נחשב **נזק כבד**.

נזק כבד IV

- ✓ הרס מלא או חלקי של קירות ומחיצות המבנה
- ✓ עיוות/שבר בהיקף משמעותי של שלד המבנה
- המחייב הערכת בטיחות הנדסית

פגיעת הדף בבניין מסגרות עם מילוי קירות
בני (ישן), שגרמה להרס נרחב בקירות
בלוקים בחזיתות ובמחיצות פנימיות.

בגלל שהמבנה הוא ישן, ללא מערכת
הקשחה "מודרנית", נזק לקירות הבלוקים
בחזיתות ובמחיצות – עם פגיעה חלקית
ברכיבי בטון - נחשב **נזק כבד**.



נזק כבד IV

- ✓ הרס מלא או חלקי של קירות ומחיצות המבנה
- ✓ עיוות/שבר בהיקף משמעותי של שלד המבנה המחייב הערכת בטיחות הנדסית



נזק כבד IV



✓ הרס מלא או חלקי של קירות ומחיצות המבנה

✓ עיוות/שבר בהיקף משמעותי של שלד המבנה המחייב הערכת בטיחות הנדסית

פגיעה ישירה בבניין עם חדירה באזור מוגבל. נזק משמעותי סביב אזור הפגיעה. **במיון ראשוני מסווג כ-נזק כבד מאוד V.**

עם זאת, בבחינה הנדסית **במיון מפורט**, בבניינים "מודרניים" (לרבות מבנים רבי קומות), הבניינים "עוקפים" את ה-"חור" ללא חשש לאובדן יציבות, ולכן הנזק יסווג **נזק כבד IV.**

נזק כבד מאוד V

✓ פגיעה קשה באלמנטים נושאים או הקשחה של השלד וביציבותו



נזק כבד מאוד V



✓ פגיעה קשה באלמנטים נושאים
או הקשחה של השלד וביציבותו

נזק כבד מאוד V



✓ פגיעה קשה באלמנטים נושאים
או הקשחה של השלד וביציבותו

נזק כבד מאוד V

✓ פגיעה קשה באלמנטים נושאים
או הקשחה של השלד וביציבותו



נזק כבד מאוד V



✓ פגיעה קשה באלמנטים נושאים
או הקשחה של השלד וביציבותו

נזק כבד מאוד V

✓ פגיעה קשה באלמנטים נושאים או הקשחה של השלד וביציבותו



טבלת החלטה לסיווג מבנים לפי רמת הנזק

סיווג המבנה		רמת הנזק	
מתאים לאכלוס		נזק קל מאוד	I
מוגבל בשימוש	מתאים לאכלוס	נזק קל	II
מוגבל בשימוש		נזק בינוני	III
מבנה מסוכן	מוגבל בשימוש	נזק כבד	VI
מבנה מסוכן		נזק כבד מאוד	V



אם חלקי בניין מתאימים לסיווגים שונים, אזי:

✓ **במיון ראשוני** מסווגים את כל המבנה בהתאם לנזק החמור ביותר.

✓ **במיון מפורט** ניתן לקבוע מספר סיווגים לאזורים שונים בבניין –

עם הפרדה פיזית ביניהם.

החלטה לסיווג מבנה ברמת נזק קל

- ✓ פגיעה נרחבת בתריסים וחלונות
- ✓ ו/או פגיעות רסיסים רבות/ עמוקות בקירות מעטפת המבנה

סיווג המבנה		רמת הנזק	
מוגבל בשימוש	מתאים לאכלוס	נזק קל	II



- ✓ בנזק קל אין סכנה קונסטרוקטיבית או משמעותית למבנה או ליציבותו.
- ✓ עם זאת, הנזקים לאלמנטים כגון תריסים וחלונות עלולה להוות (לא תמיד) אי נוחות או סכנה לדיירים. לדוגמה:
 - סכנת נפילה על הרס בתוך המבנה או סכנת נפילה החוצה מפתחים שאין בהם מחסום (מעקה) שימנע נפילה – במיוחד לילדים.
 - הגנה לא מספקת לדיירים מבחינת חדירת רוח, גשם, עשן וכד'.
 - סכנת פגיעה מחלקי זכוכית מפוזרים בשטחים גדולים.
- ✓ אם סכנות אלה הן מזעריות, ניתן לסווג את המבנה "מתאים לאכלוס" במיון ראשוני.
- ✓ אם סכנות אלה משמעותיות או רחבות היקף, ניתן לסווג את המבנה "מוגבל בשימוש" במיון ראשוני, ואז יש לפנות את המבנה. לשיקול הרשות - לאפשר כניסה פרטנית לזמן קצר של דיירים בליווי מתאים, להוצאת ציוד ורכוש מהדירות.

נזק קל – II ראוי לאכלוס



פגיעת הדף בבניין "רכבת".

הפגיעה העיקרית היא בהיקף מוגבל בתריסים וחלונות בחזית. מעקות הבטיחות במרפסות לא נפגעו.

אם היקף הנזק לחלונות הוא קטן, ניתן לאפשר אכלוס במיוחד בדירות האחוריות שלא נפגעו. אפשר לשקול אכלוס בדירות שנפגעו לפי היקף הנזק ולאחר ניקוי הזכוכיות.

החלטה על פינוי ודיור חלופי לרוב תדרוש תיאום עם מס רכוש.

נזק קל – II מוגבל בשימוש



פגיעת הדף ורסס בבנייני מגורים.

היקף הנזק לתריסים וחלונות נראה משמעותי, וייתכן גם נזק קל לעמודים. מומלץ סיווג מוגבל בשימוש – אם הנזק לחלונות ורכיבים אחרים לא מאפשר אכלוס סדיר.



החלטה לסיווג מבנה ברמת נזק כבד

✓ הרס מלא או חלקי של קירות ומחיצות המבנה

✓ עיוות/שבר בהיקף משמעותי של שלד המבנה המחייב הערכת בטיחות הנדסית

סיווג המבנה		רמת הנזק	
מבנה מסוכן	מוגבל בשימוש	נזק כבד	VI



✓ **בנזק כבד ישנה סכנה קונסטרוקטיבית משמעותית למבנה או יציבותו, שמחייבת הערכה הנדסית מפורטת (במיון מפורט), וייתכן גם גורמי סיכון נוספים.**

✓ **ללא כל ספק, אכלוס המבנה הוא אסור** ויש לפנותו מידית.

✓ אם המבנה הוא עם פגיעה (שבר והרס) רחבת היקף, וקיים עיוות משמעותי של השלד יש לסווגו "**מבנה מסוכן**".
לדוגמה: נטייה צידית; סדקים רחבים שמתפשטים לחלקים מרוחקים יותר של המבנה; הרס פנימי ממושט מפיצוץ פנימי כלוא; מבנה יחסית קטן שנפגע ברוב שטחו ללא אזורים מרוחקים עם פגיעה קלה.

✓ עם זאת, אם המבנה יחסית גדול והפגיעה היא בחלק מוגבל של המבנה, והנזקים בחלקים נרחבים אחרים של המבנה (מרוחקים ממקום הפגיעה) הם קטנים, אפשר לשקול לסווג את המבנה "**מוגבל בשימוש**" במיון ראשוני, ולשיקול הרשות - לאפשר כניסה פרטנית לזמן קצר של דיירים בליווי מתאים, להוצאת ציוד ורכוש מהדירות.

מוגבל בשימוש

נזק כבד – VI





נזק כבד – VI מבנה מסוכן

פגיעה ישירה של רקטה בגג מבנה משולב (טרומי/יצוק באתר) ישן עם קומת עמודים פתוחה. פיצוץ פנימי, חדירה קינטית ושריפה.

הנזק באגף הפגוע הוא רב, ופחות באזורים אחרים של הבניין.

למרות זאת מומלץ סיווג **מבנה מסוכן** בכל המבנה – בגלל ההרס הפנימי הרב, הקירות הטרומיים (חשש להתפשטות הנזק), ושריפה.

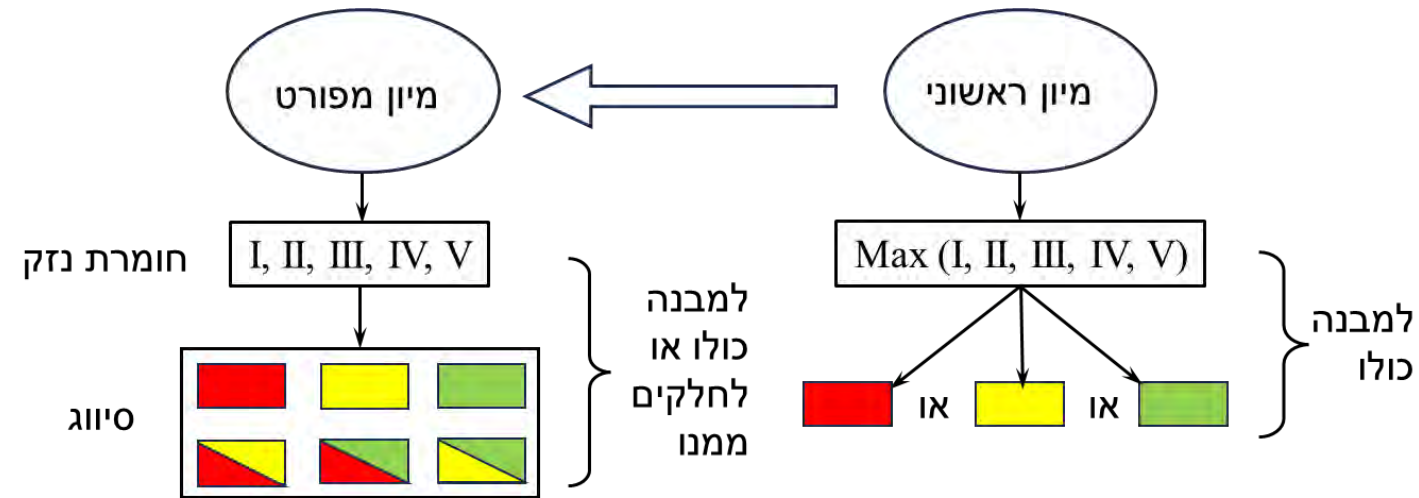
מבנים סמוכים – ראויים לאכלוס.



נזק כבד – VI מבנה מסוכן

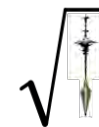


סיכום תהליך סווג מבנים לאחר פגיעת אמל"ח



רמת הנזק		סיווג המבנה/ אזור	
I	נזק קל מאוד	מתאים לאכלוס	
II	נזק קל	מוגבל בשימוש	מתאים לאכלוס
III	נזק בינוני	מוגבל בשימוש	
VI	נזק כבד	מוגבל בשימוש	מבנה מסוכן
V	נזק כבד מאוד	מבנה מסוכן	

הפסקה



פרופ' מתי אדן – יעוץ הנדסי



איווד המהנדסים
לבנייה ולתשתיות בישראל



משרד
הבינוי 57



פרופ' מתי אדן – יעוץ הנדסי



עקרונות הערכת נזק ויציבות במבנים שנפגעו מפיצוץ

רס"ן (במיל") פרופ' מתי אדן



פרופ' מתי אדון – יעוץ הנדסי



הקדמה – מערכות השלד

מערכות מבניות בשלד הבניין

מערכת נושאת *Load bearing system* - חלק משלד הבניין שתפקידו להעביר **עומסי כבידה** (גרביטציה) ממקום פעולתם אל הקרקע.

מערכת הקשחה *Horizontal load retaining system* - חלק משלד הבניין שתפקידיו:

1. להעביר **עומסים אופקיים** (רוח, רעידת אדמה) ממקום פעולתם אל הקרקע.
2. להקנות למבנה **יציבות אופקית** לדפורמציות גוף קשיח, כך שהוא יחזור למקומו המקורי לאחר כל הפרעה קטנה ולא יהפוך למכניזם.

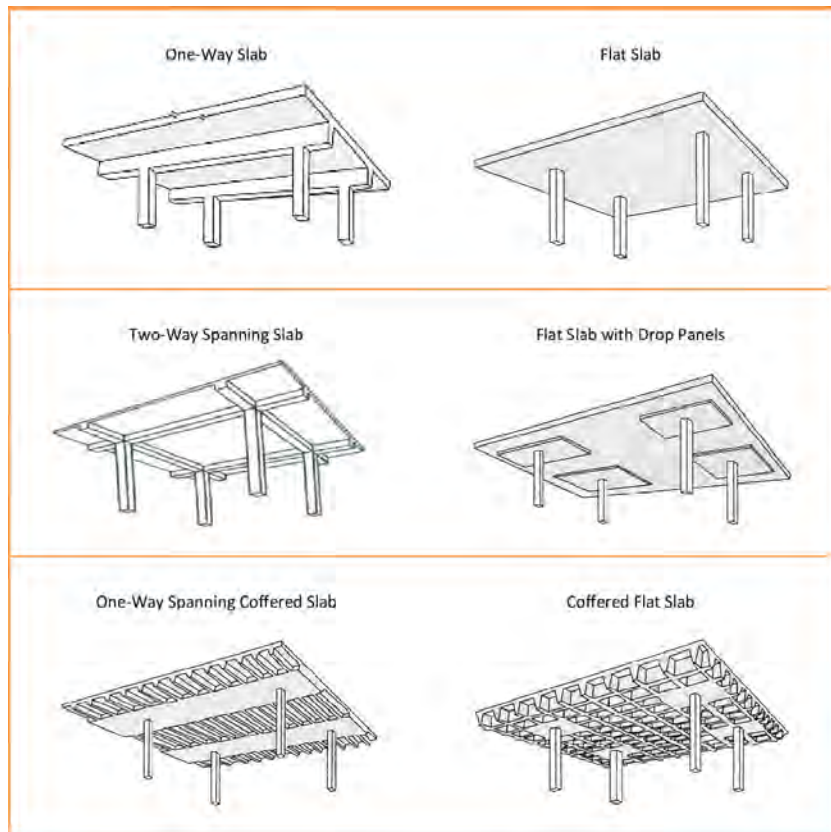
מערכת הביסוס *Foundation* - חלק משלד הבניין המעביר את הכוחות בבסיס הבניין לקרקע.

הערה: אלמנט שלד עשוי להיות חלק מהמערכת הנושאת ומערכת ההקשחה בעת ובעונה אחת.

מערכת נושא - תקרות

סוגי תקרות נפוצים מבטון ופלדה:

- ✓ **תקרה מקשית מונוליטית** (בכיוון אחד, מצולבת, שטוחה, דרוכה).
- ✓ **תקרת צלעות** (עם או בלי גופי מילוי; עם טבלה עליונה או טבלות עליונה ותחתונה).
- ✓ **תקרת ערוגות** (כולל קסטות).
- ✓ **תקרת לוח"דים** - לוחות טרומיים חלולים ודרוכים עם השלמת יציקה.
- ✓ **תקרות קרום** – תקרות בטון יצוקות ע"ג פחי סיפון מפלדה (flex-deck).
- טבלה Plate** – תקרה הנושאת עומסי כבידה (אנכיים) הכוללים את משקלה העצמי, עומס קבוע נוסף ועומסים שימושיים (מפורסים ומרוכזים) לפי ייעוד הבניין.
- לוח Diaphragm** – תקרה הנושאת עומסים אופקיים (רעידת אדמה, רוח) בפעולת קורה במישורה, ומעבירה את העומסים לרכיבי ההקשחה האנכיים.



מערכת נושא - קורות

קורה *Beam, girder, spandrel* - רכיב חד-ממדי (קווי) עליו נשענות התקרות (והקירות). נושא את משקלו העצמי ואת העומסים האנכיים המועברים אליו מהאלמנטים הנשענים עליו. קורה עשויה להיות על 2 סמכים או נמשכת.

סוגי קורות נפוצות:

- **קורות בטון יצוקות באתר** (קורות על שני סמכים, זיזים וקורות נמשכות).
- **קורות בטון טרומיות** (נשענות על עמודים או קירות, ישירות או על סמכים אלסטומריים, לרוב עם השלמת יציקה וזיון ליצירת מונוליטיות והמשכיות). מזוינות או דרוכות.
- **קורות בטון דרוכות** בדריכת קדם או דריכת אחר.
- **קורות פלדה** – מעורגלות בחם, קורות פחים.
- **מרישי פלדה** – חתך דק דופן מכופף בקר.
- **קורות מרוכבות** (פלדה ובטון, עם שגמי גזירה).

מערכת נושאת – עמודים וקירות

עמוד Column - רכיב חד-ממדי (קווי) לרוב אנכי, עליו נשענות הקורות (או התקרות ישירות), ומוטרח בעיקר בכוח צירי לחיצה.

עמוד קצר Short Column – עמוד שהיחס בין אורכו (הנקי) לרוחבו קטן מ-2 עד 2.5; או עמוד קצר באופן משמעותי משאר העמודים בקומה.

קיר Wall - אלמנט אנכי מבטון מזוין, שהיחס בין האורך לבין העובי בחתכו האופקי עולה על 4, ואורכו אינו פחות מ-80 ס"מ.

מבחינה תפקודית, מבדילים בין **3 סוגי קירות**: (ישנם קירות שלהם 2 או אף 3 תפקידים):

✓ **קיר נושא Bearing wall** - קיר שתפקידו העיקרי הוא להעביר כוחות כבידה (אנכיים).

✓ **קיר תומך Retaining wall** - קיר שתפקידו העיקרי הוא להעביר כוחות אופקיים בניצב למישורו.

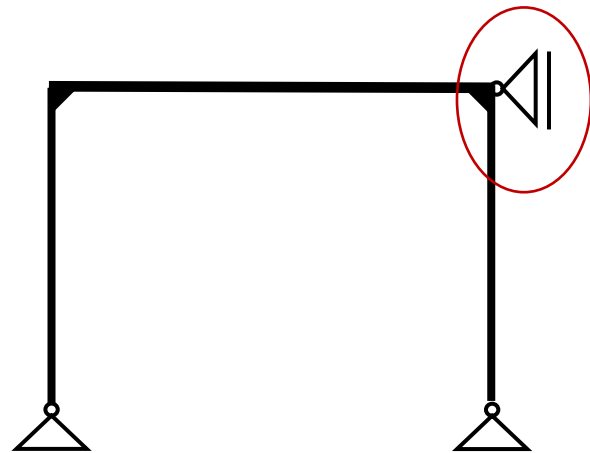
✓ **קיר הקשחה Shear wall** - קיר שתפקידו העיקרי הוא להעביר כוחות אופקיים במישורו.

✓ **(קיר חיזוק – קיר T ניצב בקצה קיר הקשחה).**

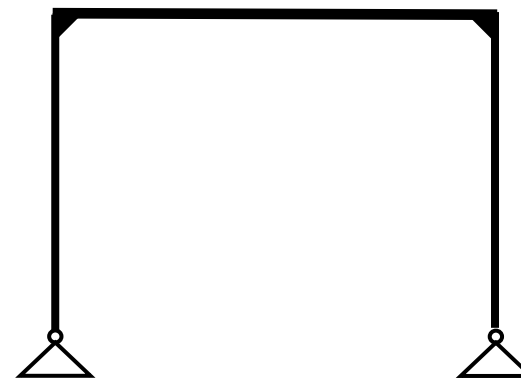
מערכת נושאת/הקשחה - מסגרות

מחלקים את המסגרות לשני סוגים:

- ✓ **מסגרות מוחזקות** *Laterally supported frames*: בהן יש סמך אופקי (לרוב וירטואלי) במישור המשקוף.
- ✓ **מסגרות לא מוחזקות** *Sway Frames*: בהן אין סמך אופקי במישור המשקוף.
- ✓ במבני פלדה, יש גם **מסגרות מוקשחות באלכסונים** (*Braced Frames*) שהן מסגרות לא מוחזקות.
- ✓ בנוסף, ישנן גם **מסגרות מוקשחות אקסצנטריות** (*Eccentric braced frames*) שבנויות בצורת מסבך עם אזור חיבור אקסצנטרי של האלכסונים, המיועד לקבל כפיפה ופלסטיות ולספוג אנרגיה, ולהיות מוחלף (אלמנט הקרבה *Sacrificial element*).



מסגרת מוחזקת - נושאת



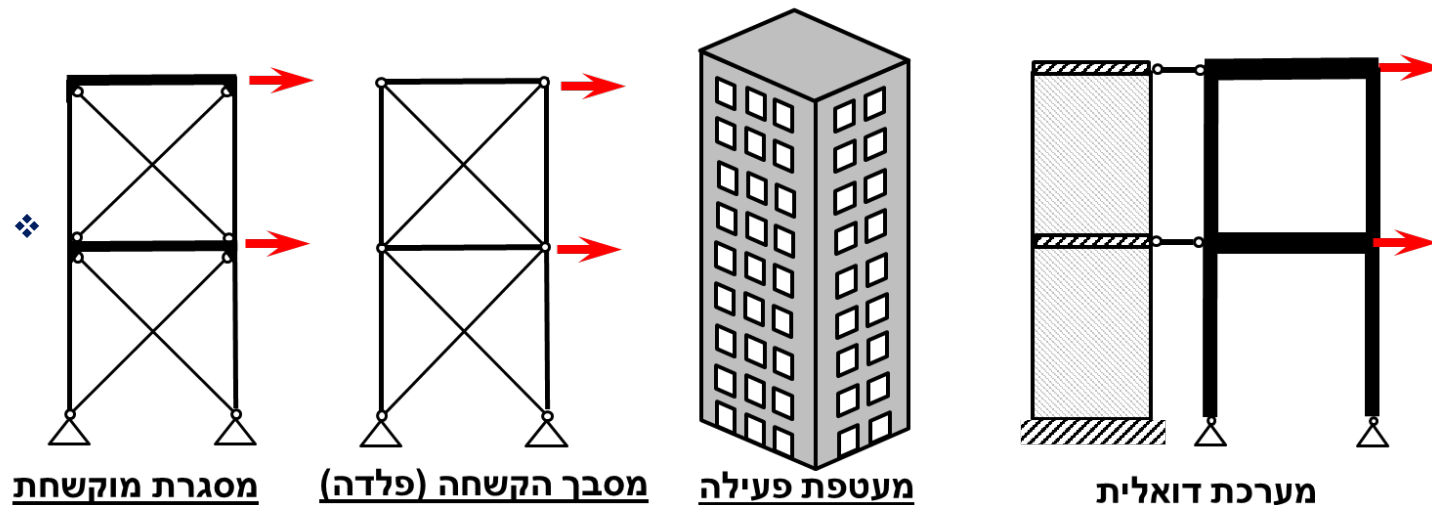
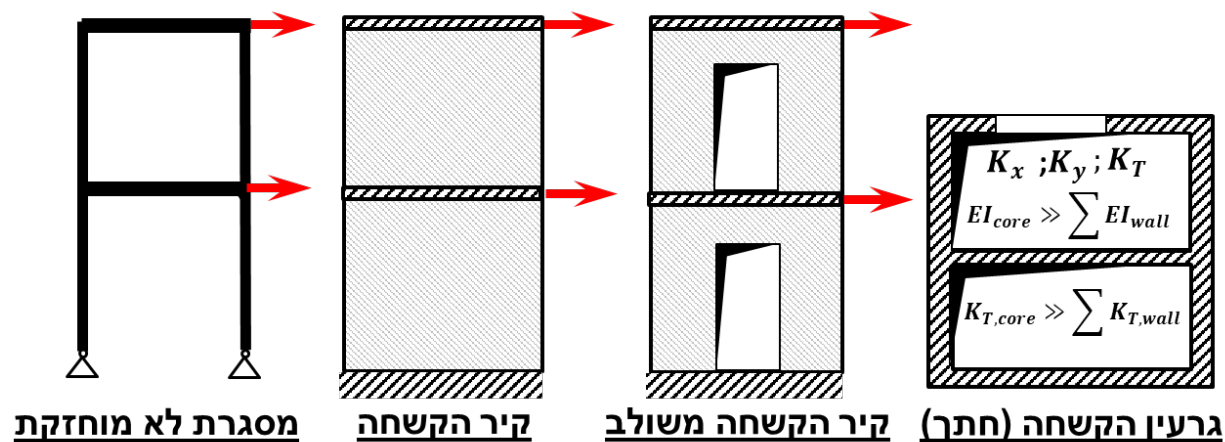
מסגרת לא מוחזקת – נושאת והקשחה

מערכת הקשחה – רכיבים וסוגי מערכות נפוצות

❖ **מסגרות עם מילוי קירות בני:** בניה קונבנציונלית למגורים שנות 50,60 ו-70; 3-4 קומות; **קומת עמודים מפולשת**; מקלט (אקסצנטרי) בקומת קרקע. מערכות אלה הן לא תקניות היום.

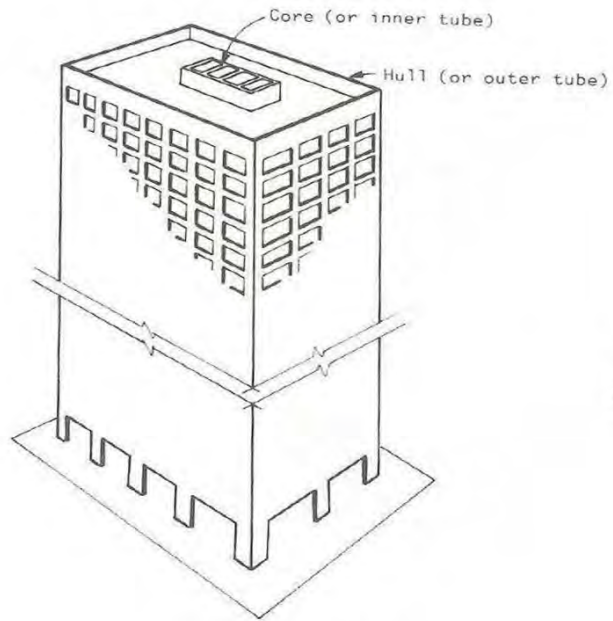
❖ **קירות וגרעיני הקשחה:** רוב מבנים גבוהים (6 קומות ומעלה); תחילת שנות 70 והלאה; **החל משנת 1992 מרחבים מוגנים**. לאחר 1995 תכנון גם לרמות משיכות גבוהות. כולל קירות הקשחה משולבים.

❖ **מערכות הקשחה נוספות:** במבנים מודרניים, לרוב בשילוב עם גרעיני הקשחה (פיר מדרגות, ממ"דים): מערכת דואלית, מעטפת פעילה, Outrigger מערכות.

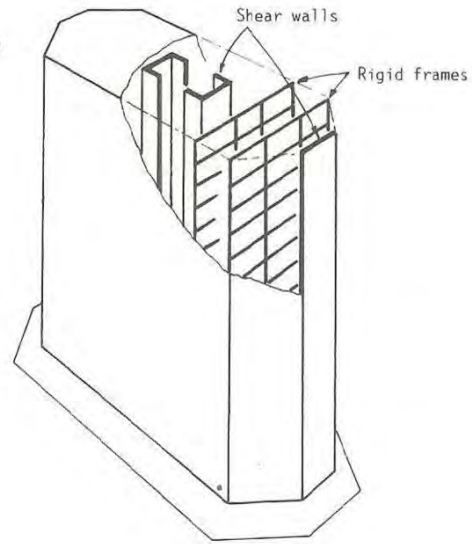


מסגרות מקבלות לפחות 25% מהכוח האופקי

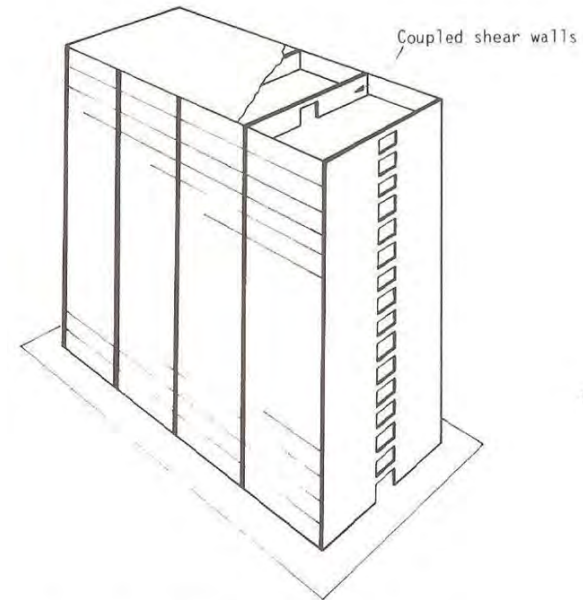
מערכת הקשחה – שילוב רכיבים



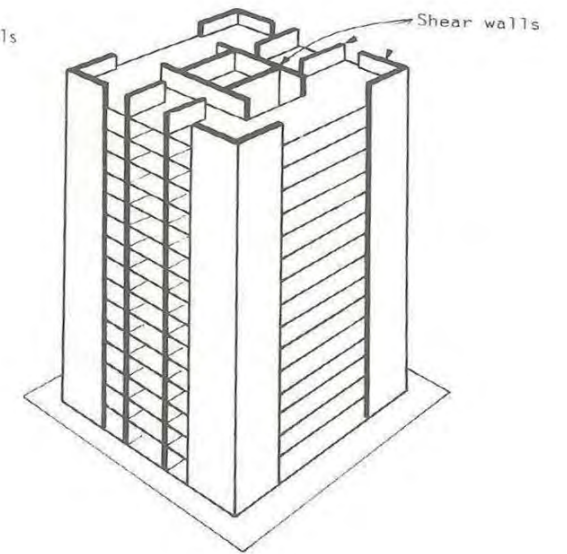
שילוב של גרעין הקשחה מרכזי
ומעטפת פעילה



שילוב של קירות הקשחה
ומסגרות קשיחות (לא מוחזקות)



קירות משולבים (עם פתחים)



קירות הקשחה וגרעיני הקשחה

זרימת עומסי כבידה במבנה רגולרי

- ❖ "זרימת העומסים*" (כבידה או גרביטציה) במערכת נושאת של מבנים "רגולריים", היא לרוב בסכמה פשוטה.
- ❖ העומסים עוברים ישירות מרכיב נושא אל סמכים פיזיים (עליהם הוא נשען), כאשר העומסים זורמים ומצטברים מלמעלה כלפי מטה.
- ❖ סכמה טיפוסית של זרימת עומסי כבידה כוללת:
 - ✓ עומס אנכי על תקרה (פעולת טבלה/פלטה) ← קורות (או ללא קורות) ← עמודים ו/או קירות נושאים ← יסודות.
- ❖ חשוב שהמערכת הנושאת תהיה מונוליטית ככל האפשר, כדי לאפשר העברת עומסים כולל מתיחה מרכיב לרכיב לאחר נזק או כשל מקומי.
- ❖ חשוב שרכיבי המערכת הנושאת יהיו בעלי יתירות סטטית (אי סיום סטטי) כדי לאפשר רדיסטריבוציה והתפתחות מנגנוני שוו"מ חלופיים לאחר נזק או כשל מקומי, ולמנוע קריסת גוף קשיח או התמוטטות בשרשרת.

*המונח "זרימת עומסים" נובע משימוש באנלוגיית הזרימה לתיאור העברת עומסים מרכיב לרכיב, בצורה שתהיה מערכתית ומובנת אינטואיטיבית.

זרימת עומסים אנכיים במבנה רגולרי

- ❖ **זרימת העומסים האופקיים** (רע"ד, רוח, הדף) **במערכת ההקשחה** מתבצעת בסכמה:
✓ **עומס אופקי במישור הקיר/תקרה** ← **פעולת לוח/דיאפרגמה של תקרה** ← **רכיבי הקשחה אנכיים**
(קירות הקשחה/גרעיני הקשחה/ מסגרות/ מעטפת פעילה) ← **יסודות (ע"י ריתום ביסוד בודד או צמדי כוחות בכלונסאות).**
- ❖ **ייצוב המבנה אופקית** (מניעת תזוזה/סיבוב כגוף קשיח) מובטח ע"י מערכת הקשחה המסוגלת לעמוד בעומסים אופקיים וסיבוב תוך שמירה על תזוזות קטנות, חוזק ומניעת מכניזמים (עיקרון 3 הלוחות).
- ❖ חשובה גם **דרגת היתירות המבנית** (מספר רכיבי ההקשחה מעבר המינימום הנדרש) של מערכת ההקשחה – שנועדה לאפשר התפתחות **מנגנוני שו"מ חלופיים** במקרה של כשל מוגבל, **ולהקטנת הסכנה של התמוטטות בשרשרת.**

רכיבי מעבר (טרנספורמציה)



❖ **רכיב מעבר (טרנספורמציה)** הוא רכיב או מערכת המגשרת על אי רציפות של המערכת הנושאת ו/או מערכת ההקשחה, ומעביר עומסים (אנכיים ו/או אופקיים) באזור אי הרציפות.

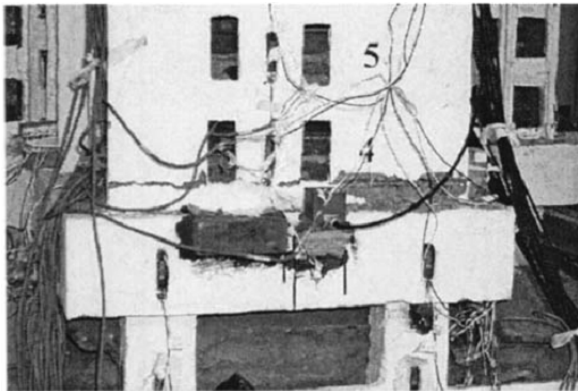
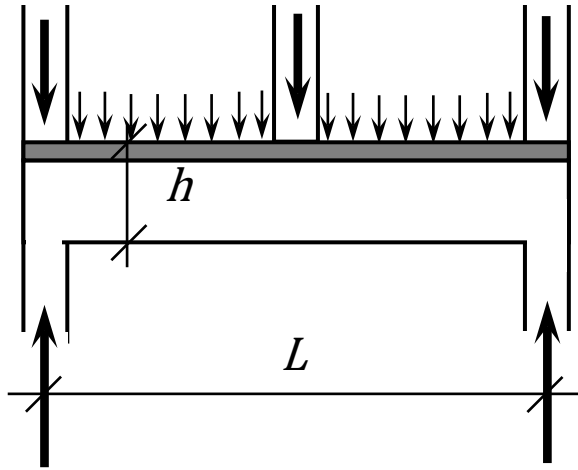
❖ **רכיבי המעבר כוללים בין היתר:**

✓ **קורת מעבר (טרנספורמציה) *Transfer girder* :** המגשרת על אי רציפות בזרימת הכוחות האנכיים במערכת הנושאת.

✓ **תקרת מעבר (טרנספורמציה) *Transfer slab* :** תקרה או חלק ממנה (כוללת קורות) המגשרת על אי רציפות בזרימת הכוחות האנכיים במערכת הנושאת ו/או מגשרת על אי רציפות בזרימת הכוחות האופקיים במערכת ההקשחה.

✓ **קומה/ות מעבר (טרנספורמציה) *Transfer floor/s* :** קומה שלמה או מספר קומות המשמשות לרוב לשינוי אופי מערכת השלד (נושאת והקשחה) בבניינים גבוהים ביו החלק מעל קומת המעבר לבין החלק מתחתיה.

קורות מעבר (Transfer Girder)



- ❖ קורה אופיינית עמוסה בכוחות מרוכזים גדולים.
- ❖ כוחות אלה גורמים **לכוחות גזירה ומומנטי כפיפה גדולים**.
- ❖ למניעת שקיעות גדולות ולקבלת הכוחות הפנימיים, נדרש לרוב **חתך גבוה ביחס למפתח** ($h/L \gg 1/10$).
- ❖ כוחות הגזירה הגדולים מחייבים שימוש **בזיון משופע לקבלת הגזירה** – ולא רק חישוקים.
- ❖ יחס גדול בין גובה למפתח גורם **לדפורמציית הגזירה להיות דומיננטית**, ובמקרה כשל הוא יהיה לרוב **כשל פריך בגזירה** ללא התראה או אפשרות לתסבולת שיורית.
- ❖ במקרה של קורה מסוימת סטטית – **לא קיימת אפשרות לרדיסטריבוציה של כוחות** - גם במקרה של היווצרות כשל משיך בכפיפה או פרק פלסטי.
- ❖ כשל של הקורה יגרום **לאובדן השענה של העמוד ועלול להוביל להתמוטטות בשרשרת**.

זרימת עומסים וסמכים במבנה לא רגולרי

- ❖ לעיתים, אילוצים גיאומטריים, אדריכליים או אחרים, גורמים למבנים להיות "לא רגולריים".
- ❖ במבנה לא רגולרי, **הסמכים הפיזיים הישירים** (קורות, עמודים וכד') **אינם מספיקים כדי שרכיב נושא ו/או רכיב הקשחה יהיה יציב או בעל סכמה סטטית יעילה.**
- ❖ במקרה כזה, **ניתן לעיתים לייצב את המבנה או לייעל את הסכמה הסטטית באמצעות שימוש בסמכים וירטואליים.**
- ❖ **סמכים וירטואליים** הם **סמכים** (חיסומים) **אופקיים עקיפים**, הנובעים מההתנהגות המרחבית של מערכת ההקשחה של המבנה השלם, תוך שיתוף מספר רכיבים נושאים ורכיבי הקשחה.
- ❖ אם נעשה שימוש בסמכים וירטואליים, אופן זרימת העומסים במערכת של השלד הוא מורכב - **והמבנה יהיה יציב רק לאחר השלמת הבניה של רכיבי השלד המשתתפים במנגנון המרחבי היוצר את הסמכים הוירטואליים.** כלומר, המבנה עשוי לא להיות יציב בזמן הבניה עד להשלמת השלד. לפיכך **על המתכנן להבטיח את יציבות המבנה בשלבי ביניים של הבניה/הקמה באמצעות תמוכות זמניות מתאימות.**



פרופ' מתי אדון – יעוץ הנדסי



נזקים וכשלים ברכיבים מבניים

כשלים ברכיבים נושאים

- ❖ **עמודים, קורות וקירות נושאים מהווים משענת אנכית** למשקל של כל רכיבי הבניין ולעומס השימושי, והם נושאים בכוחות לחיצה באופן רציף (24/7)
- ❖ הרכיבים שנשענים עליהם, יתעוותו ועלולים להינזק קשות או להתמוטט כאשר הסמך האנכי שלהם נכשל או שוקע באופן משמעותי
- ❖ כמו כן, אם האלמנטים שנמצאים בסביבת הרכיב שנכשל אינם מסוגלים "לגשר" על הסמך החסר, עלול להיווצר כשל כולל של כל המבנה או חלקים גדולים ממנו בהתמוטטות בשרשרת
- ❖ לפיכך, **נזק חמור בעמודים/קירות נושאים, או בצומת של קורות או תקרה שנשענים עליהם, לרוב מלווה בשקיעה והתפוררות - הוא אינדיקציה ברורה למצב מסוכן למבנה**

סדקים ברכיבי בטון

אפשר לסווג את הסדקים הקונסטרוקטיביים לפי ההטרחה שגרמה להם: מתיחה, כפיפה וגזירה.

סדקי גזירה (פריך)

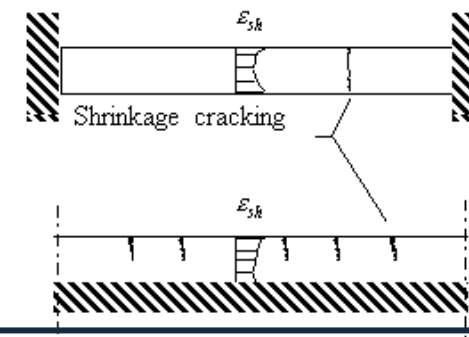
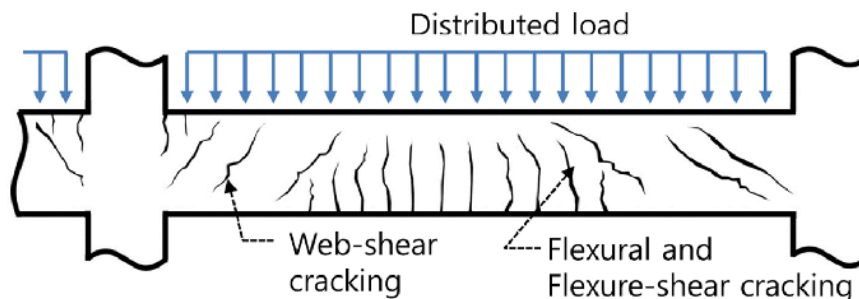
- ✓ תמיד אלכסוניים
- ✓ עוברים לכל עומק החתך
- ✓ בקורות עקב עומס אנכי
- ✓ בעמודים עקב עומס אופקי
- ✓ בקירות עקב שקיעה או עומס אופקי
- ✓ סדקי גזירה עלולים להיות מסוכנים, בתלות ברוחבם.

סדקי כפיפה (משיר)

- ✓ ניצבים לציר הרכיב
- ✓ בצד המתוח של החתך
- ✓ בקורות עקב עומס אנכי
- ✓ בעמודים עקב עומס אופקי
- ✓ לרוב, סדקי כפיפה דקים עד בינוניים אינם מהווים אינדיקציה לכשל הרכיב

סדקי מתיחה (משיר)

- ✓ ניצבים לציר הרכיב
- ✓ לרוב במרווחים שווים
- ✓ בעמודים מתוחים
- ✓ הצטמקות והתקררות ברכיבים מרוסנים
- ✓ לרוב אינם מהווים בעיה קונסטרוקטיבית



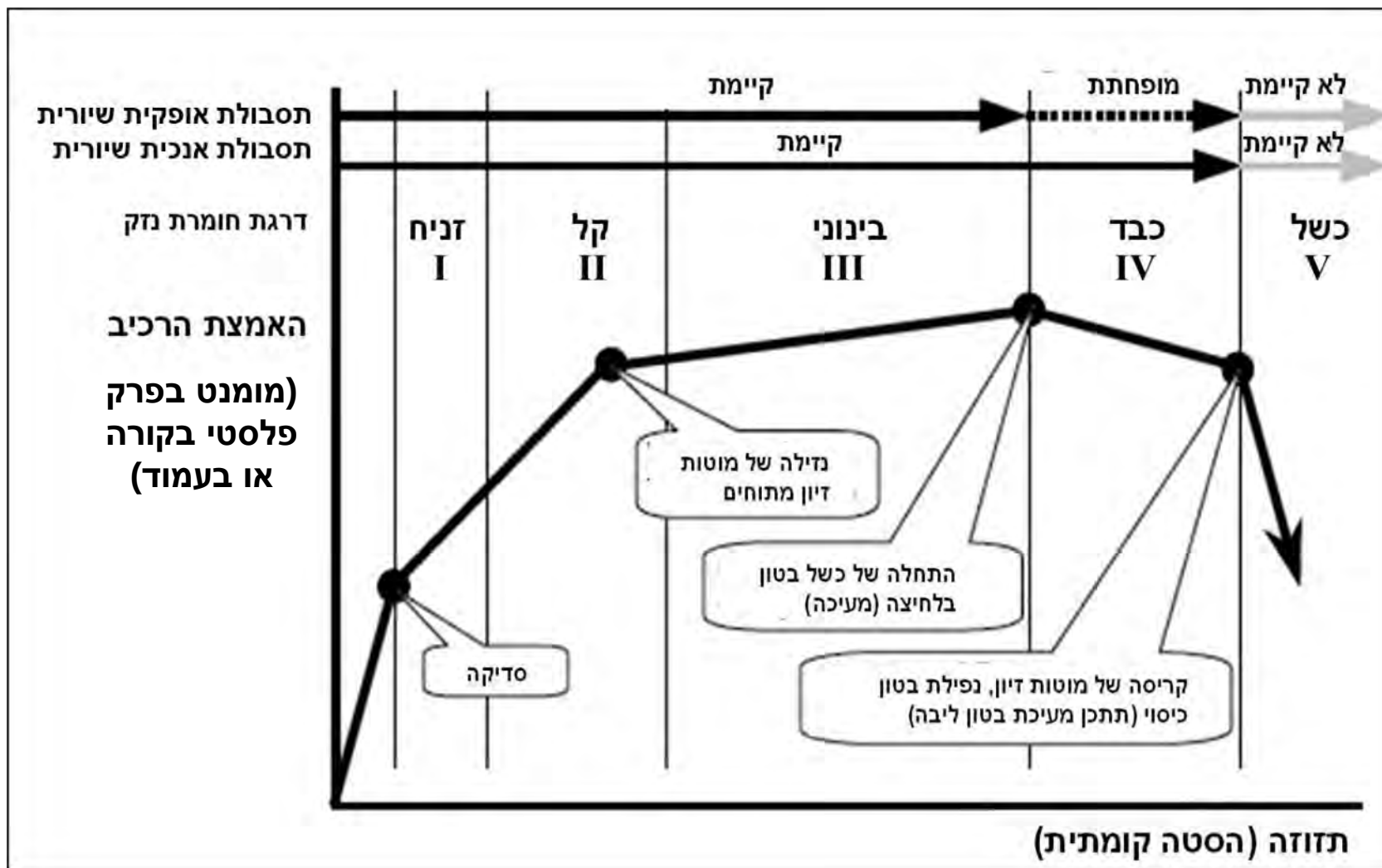
רוחב הסדק – אינדיקציה לחומרת הנזק

- ❖ בסדקים קונסטרוקטיביים, חשוב להבין האם הסדק עובר לכל עובי האלמנט, מהו הגורם לסדק, מהו סוג הסדק ומה רוחבו.
- ❖ רוחב הסדק מהווה אינדיקציה טובה לחומרת הדפורמציה או מאמץ שגרמו לו וגם קשור לתסבולת השירית (רזרבה של חוזק או יכולת של הרכיב להמשיך ולשאת בעומס שפועל עליו).
- ❖ ניתן לסווג את חומרת הסדקים גם לפי רוחבם:

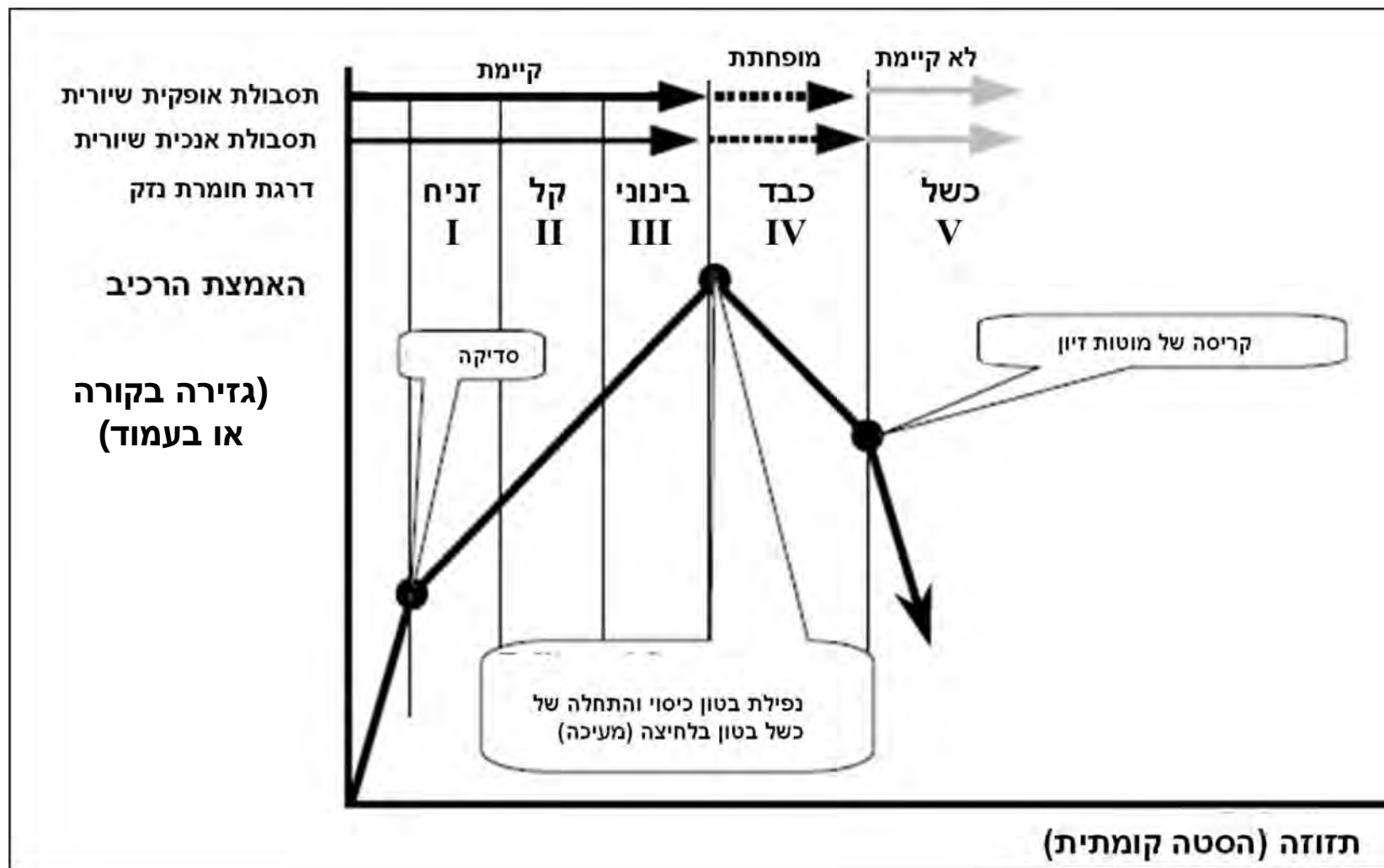


רוחב הסדק	סיווג הסדק
עד 0.2 מ"מ	נימי
0.2-1.0 מ"מ	דק
1.0-2.0 מ"מ	בינוני
גדול מ-2.0 מ"מ	רחב

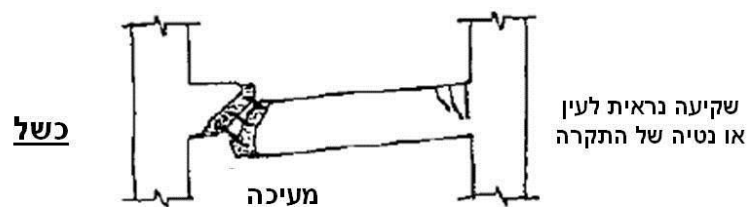
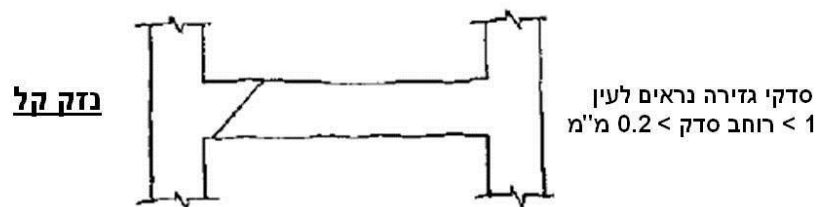
כשל משיך בכפיפה – דרגות חומרת נזק



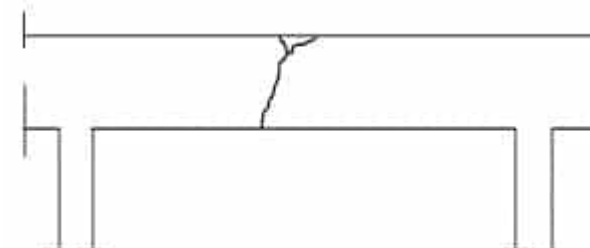
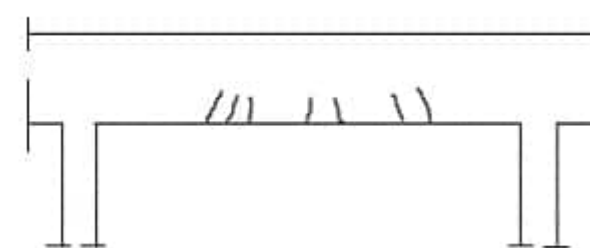
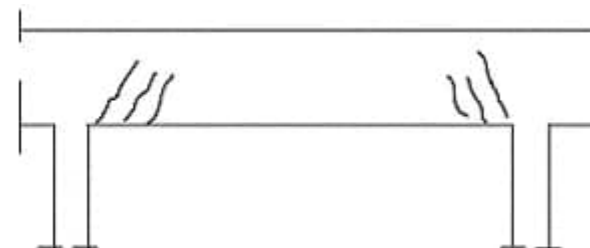
כשל פריך בגזירה – דרגות חומרת נזק



נזקים בקורות בטון מזוין

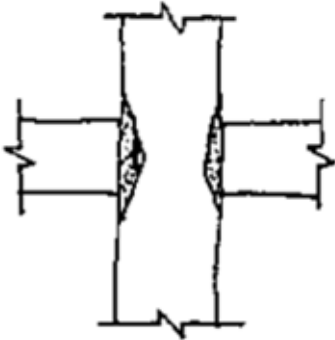
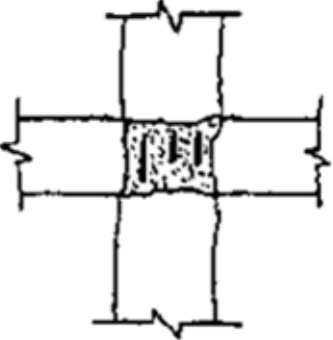
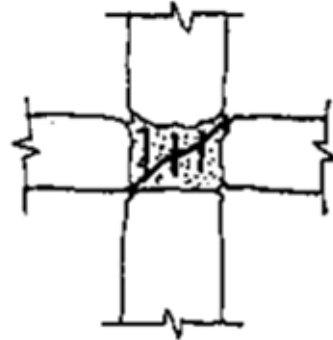
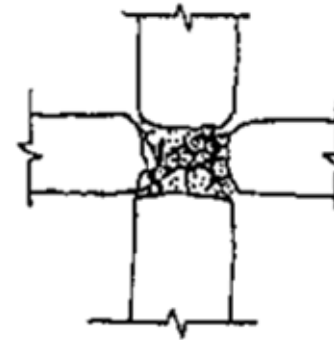


**דרגות חומרת נזק של
סדקי גזירה בקורות**

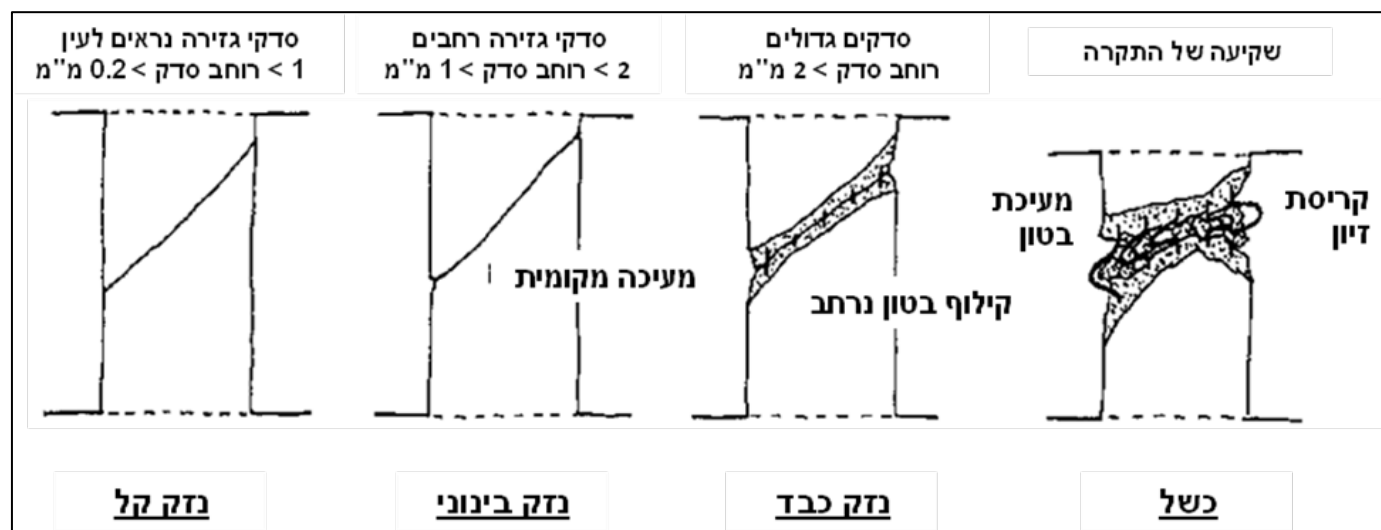
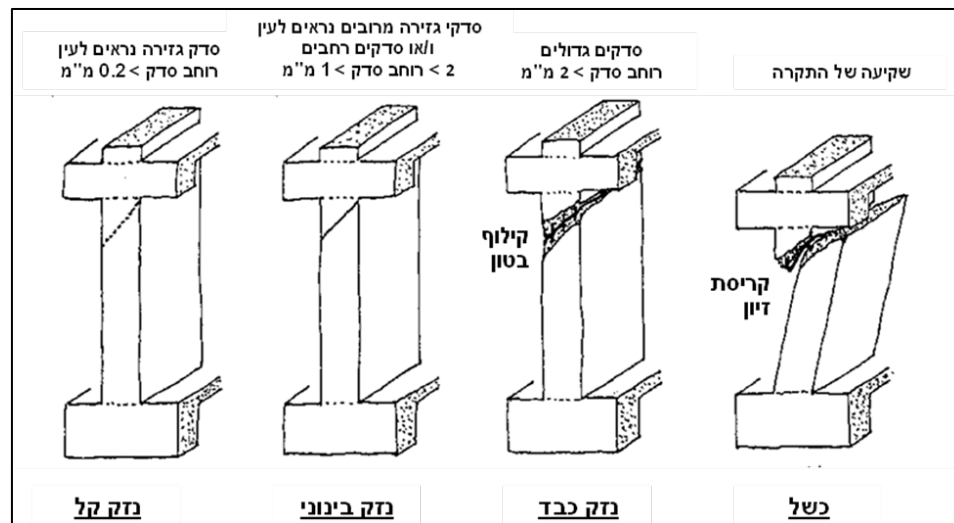


**כשל בטון במעייכה
(זיון יתר)**

נזקים בצומת קורה-עמוד

קילוף בטון הכיסוי בפינות העמוד	קילוף בטון הכיסוי בצומת קורה-עמוד	סדקי גזירה אלכסוניים בצומת קורה-עמוד	מערכת בטון ליבה (פנימי) וקריסת מוטות זיון בצומת קורה-עמוד
			
<u>נזק קל</u>	<u>נזק בינוני</u>	<u>נזק כבד</u>	<u>כשל</u>

כשלים בגזירה בעמודים וקירות



כשלים בגזירה וכליאה לקויה בעמודים וקירות



כשלים בצומת קורה-עמוד וכשל עמוד בזחילה



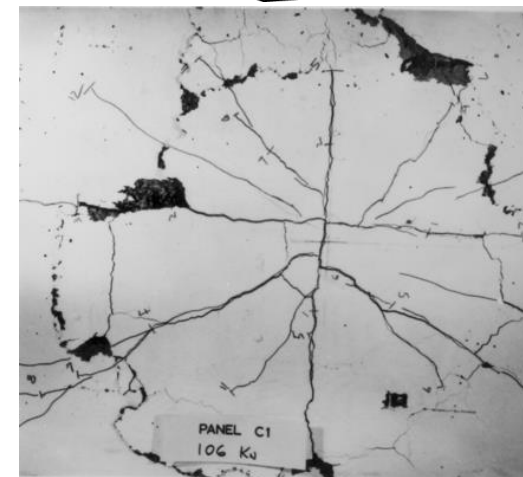
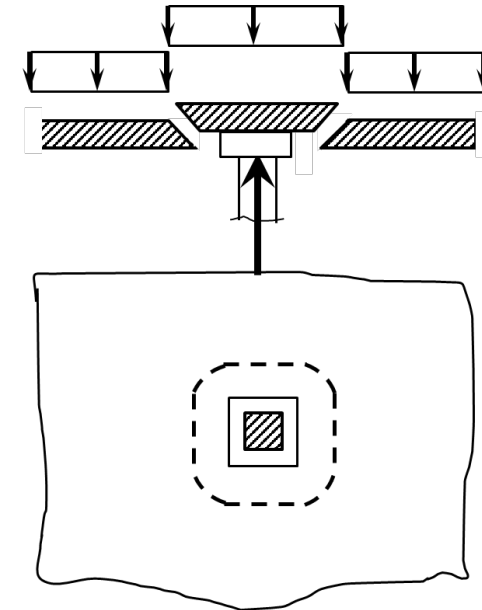
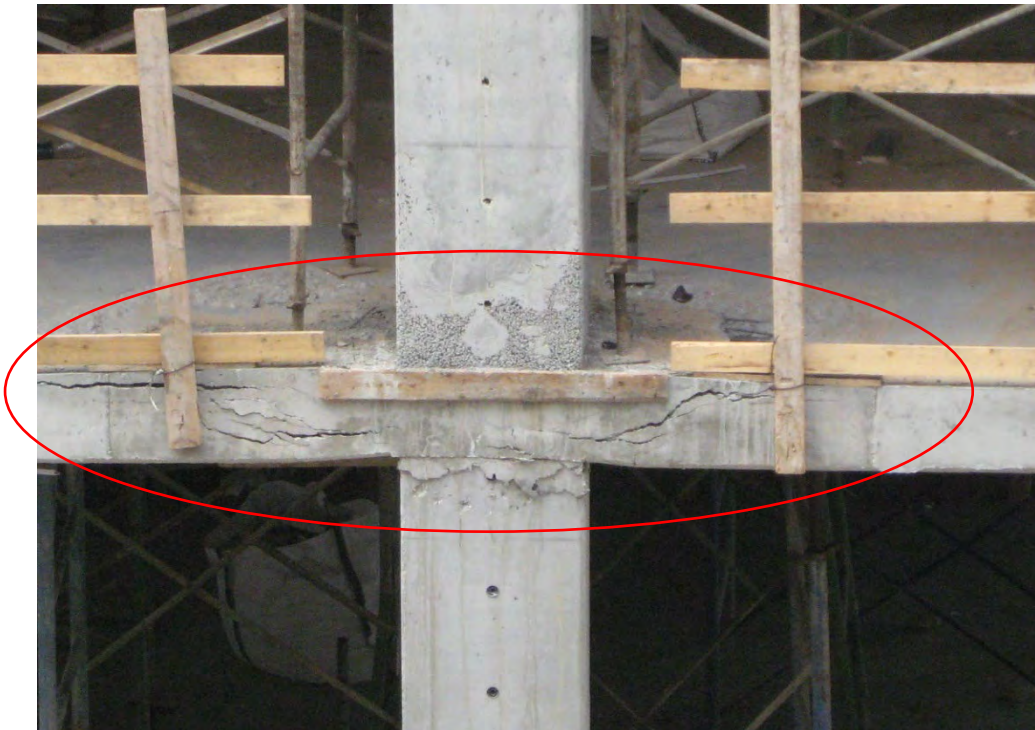
כשל עמוד בפגיעה ישירה (דינמית) בפיצוץ



כשל קיר ממ"ד בגזירה/כפיפה/מתיחה ממברנית מהדף



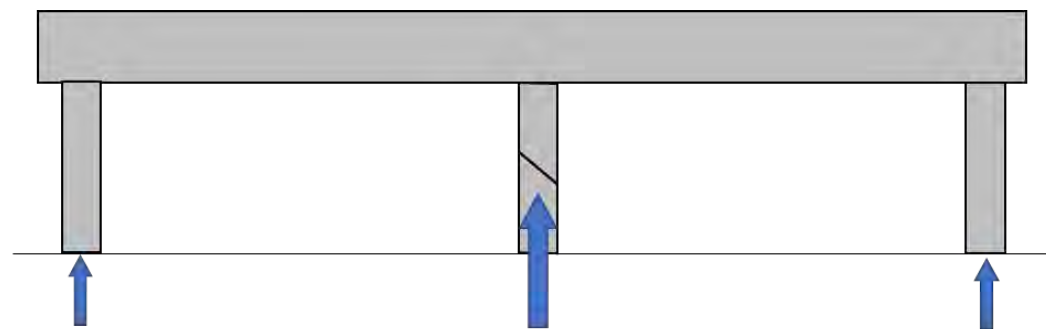
כשל בחדירה בתקרות ללא קורות



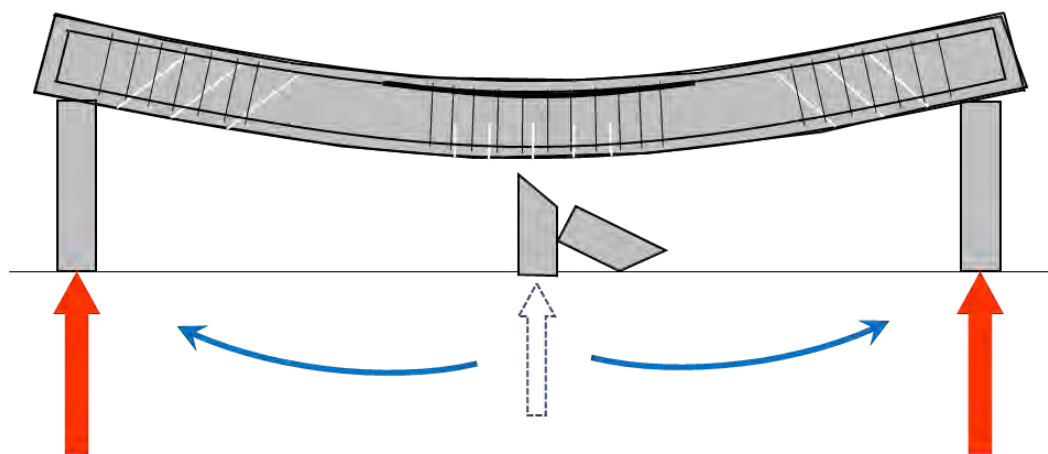
כשל עמוד עם תסבולת לחיצה נמוכה



נזקים או כשלים של רכיבים נושאים השפעת יתירות סטטית



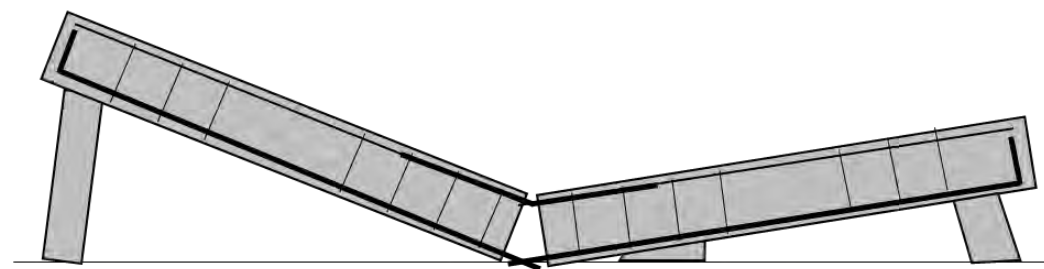
קורה או רכיב לא מסוים סטטית



רדיסטריבוציה, וגישור במנגנון שו"מ חלופי

יציב או לא יציב?

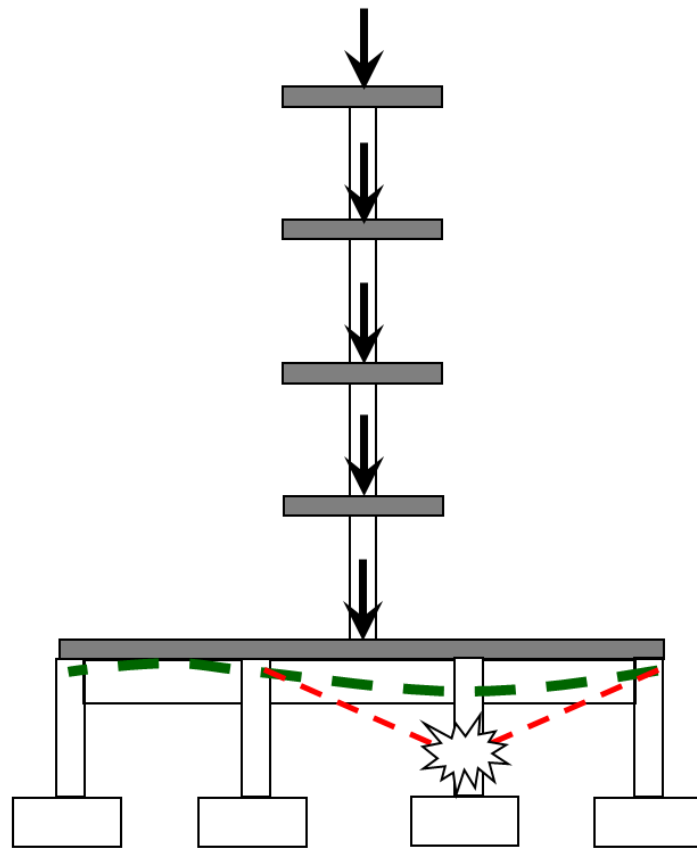
או



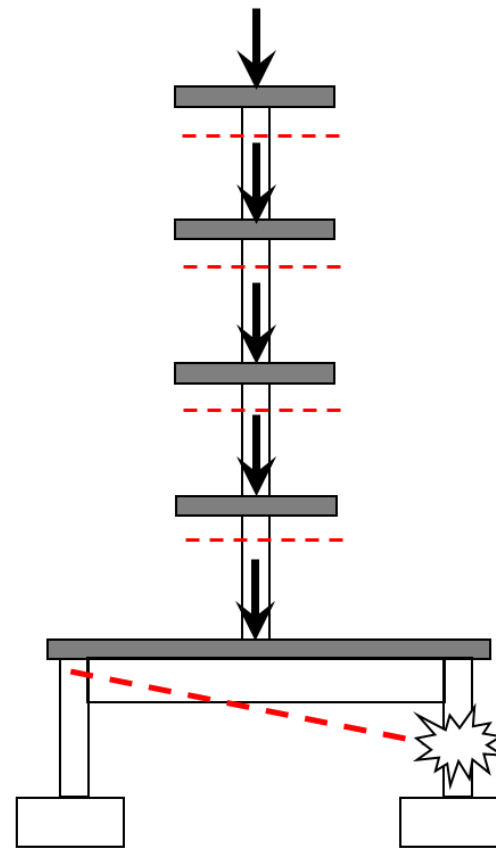
שבר והתמוטטות

יציב או לא יציב?

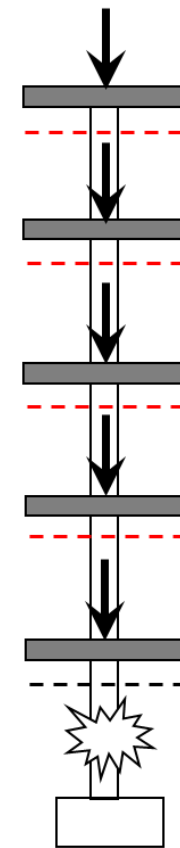
נזקים או כשלים של רכיבים נושאים קורות טרנספורמציה



כשל עמוד על קורת טרנספורמציה
לא מסוימת סטטית

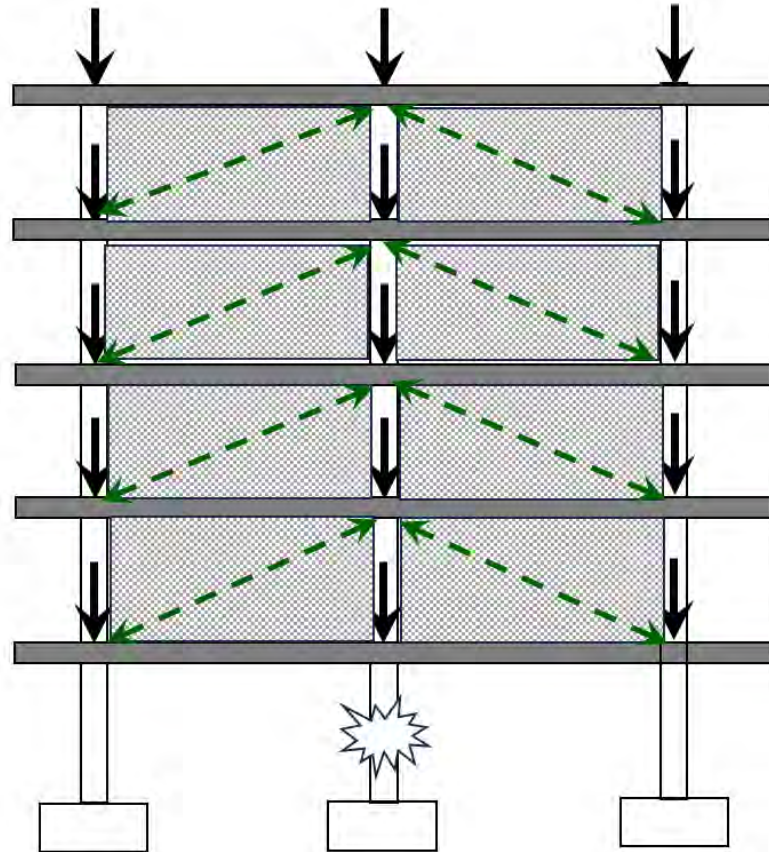


כשל עמוד על קורת טרנספורמציה
מסוימת סטטית



כשל עמוד בדיד

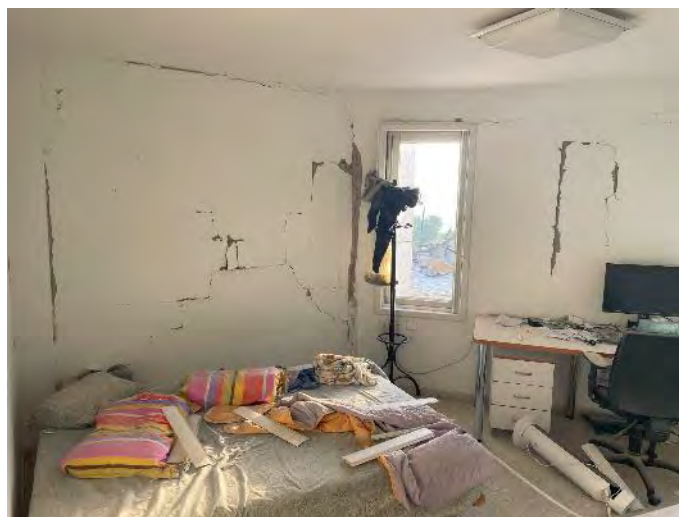
נזקים או כשלים של רכיבים נושאים מסגרות במילוי קירות בני – פעולת דיאפרגמה של קיר



כשל עמוד כחלק ממסגרת מוקשחת
(פנלים מבטון או קירות בני)

נזקים בקירות בני

- **קירות בני** (בלוקים, לבנים, איטונג וכד') משמשים לרוב כמחיצות ו/או קירות חוץ בבניינים. עקרונית, קירות הבני אינם מתוכננים כקורות נושאים או קירות הקשחה, ואינם נחשבים חלק משלד הבניין – למרות קשיחותם הניכרת.
- עם זאת, בבניינים ישנים בהם אין מערכת הקשחה ייעודית או בבניינים בהם התרחשו שקיעות לאחר הבניה (של תקרות, קורות או יסודות), **קירות הבני מקבלים כוחות למרות שלא תוכננו לכך**. הם גם מגדילים את היתירות המבנית, ומשמשים כחלק ממערכות שוו"מ חלופיות במקרה של נזק למערכת הנושאת של הבניין.



נזקים בקירות בני

- בבניינים רבים שנבנו לפני תחילת שנות ה-80 ולא תוכננו לעומס רעידת אדמה, **קירות הבני משמשים למעשה כחלק ממערכת ההקשחה** – והמבנה עלול להיות לא יציב או גמיש מידי בלעדיהם.
- לפיכך, **חשוב לבדוק ולהבין את הנזקים בקירות הבני במיוחד בסמוך לאזור הפגוע**. התמוטטות מאוחרת של קירות בני עלולה להפר מנגנוני שוו"מ חלופיים בהם הם משתתפים ולגרום לאי יציבות של המבנה או חלקו.



- נזקים בקירות בני כוללים:
 - ✓ שבר פריך של הקיר או חלקו
 - ✓ מעיכה של הבלוקים
 - ✓ הפרדה בין הקיר למסגרת הבטון
 - ✓ שבר והחלקה לאורך מישק בין בלוקים
 - ✓ סדקי הפרדה בין בני לבטון
 - ✓ סדקי כפיפה מלחץ ניצב לקיר
 - ✓ סדקי גזירה אלכסוניים או מדורגים
 - מכוחות במישור הקיר



פרופ' מתי אדן – יעוץ הנדסי



הערכת יציבות של מבנים פגועים

תכן מבנים לעומסים חריגים

מבנה תקין מסוגל לשאת את עומסי השירות הפועלים עליו בדרך שגרה, עם מקדמי בטחון מתאימים.

■ מבנים מתוכננים גם לשאת **עומסים חריגים** או אקראיים:

- ✓ כל המבנים מתוכננים לעמידות **ברעידת אדמה**. עבור מבנה "רגיל" (דרגת חשיבות ג), עמידות משמעותה שהמבנה יישאר יציב ויאפשר מילוט ממנו ("הצלת חיים"), תוך פיתוח דפורמציות פלסטיות וספיגת אנרגיה. מבנים חשובים יותר (דרגות חשיבות א' ו-ב') מתוכננים לכוחות מוגדלים ולתפקוד טוב יותר.
- ✓ כל המבנים מתוכננים לעמידה בעומס **רוח**.
- ✓ מבנים מוגנים (ביטחוניים או אחרים) המתוכננים לעמוד באפקטים של **פיצוץ** בקריטריון איום מוגדר, המאפשר יציבות ורציפות תפקודית לאחר פגיעת הקריטריון.
- ✓ מרבית המבנים, שאינם מתוכננים לפיצוץ (פרט למרחב מוגן בתוך המבנה), עלולים **להינזק** או **להתמוטט** בדטונציה, או בפגיעה קרובה או ישירה של ירי תמ"ס או בדפלגרציה (פיצוץ גז).

הבדלים עקרוניים במאפייני תגובת מבנה ברעא"ד ופיצוץ

רעידת אדמה

✓ **תכן שגרתי לעמידות לרעא"ד**

✓ **עומס אינרציה גלובלי**. כל נקודה חומרית רועדת ומקבלת כוח אינרציה ממסה ותאוצה

✓ **משפיע בעיקר על מערכת ההקשחה**. לרוב העומס האופקי הוא דומיננטי

✓ **עומס מחזורי מתחלף** – אופקי (ולרוב במידה פחותה אנכי), גורם לגזירה והסטה קומתית (נטייה מהאנך)

✓ **יציבות רגעית** – ע"י פרקים פלסטיים וספיגת אנרגיה במערכת ההקשחה

✓ **יתירות מבנית** של מערכת ההקשחה

✓ **התמוטטות** נגרמת לרוב מכשל בגזירה קומתית,

הסטות גדולות שעלולות לגרום גם כשל של עמודים

פיצוץ

✓ **לרוב לא מתבצע תכן לפיצוץ**

✓ **פגיעה בעלת אופי מקומי**. הלחץ מדטונציה גורם לנזק בחלק מהמבנה הקרוב ביותר למוקד הפגיעה, ודועך במהירות עם המרחק ($\sim R^3$). בנוסף קיימים נזקי רסס וחדירה

✓ **משפיע בעיקר על המערכת הנושאת**, (גם על ההקשחה)

✓ **עומס כבידה עם הגברה דינמית** - אובדן סמכים אנכיים בזמן קצר מאוד, והגברה עקב תאוצות נפילה אנכיות

✓ **יציבות** – ע"י רדיסטריבוציה של עומס אנכי, גישור והתפתחות מנגנוני שוו"מ חלופיים (כוללים פרקים פלסטיים)

✓ **יתירות סטטית** של רכיבי המערכת הנושאת, עם תרומה פוטנציאלית של קירות מילוי מבני כדיאפרגמות נושאות

✓ **עלול לגרום התמוטטות בשרשרת** במבנים הרגישים לכך, והתפשטות כשל אנכית ואופקית

עקרונות הערכה הנדסית של מבנה פגוע

- ❖ ניתוח הנדסי של מבנה פגוע חייב להתבסס על **עקרונות הנדסיים וניתוח מובנה**, הנובעים מהבנת המבנה של ומערכותיו, ניתוח הנזקים ואופי הכשל, מנגנוני שוו"מ החדשים שנוצרו, ואפיון התסבולת השירית ויציבות המבנה במצבו אחרי הפגיעה.
- ❖ **נקודות תורפה** מבחינת התמוטטות בשרשרת, והשפעת הבלאי הקיים במבנה.
- ❖ הערכת המבנה היא תהליך של **הנדסה הפוכה** בתנאי אי וודאות, שדורש ידע, מיומנות וניסיון הנדסי.
- ❖ אין לתת חו"ד לא מבוססות המסתמכות על "הרגשות בטן", או קביעת דעה מראש לפני לימוד המבנה והעובדות, ובטח שלא על "סמוך עלי" ו-"יהיה בסדר"....

יתרונות בהערכת נזק קיים

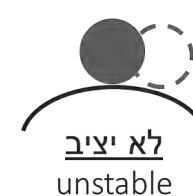
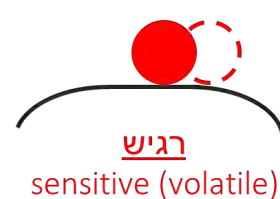
- ✓ רואים בבירור את מצב (שוו"מ) המבנה לאחר הפגיעה.
- ✓ אין צורך לנחש או להעריך
- ✓ כעובדה, המבנה התייצב במצב שוו"מ סטטי לאחר עומס והגברה דינמיים. יש להעריך את יציבות שוו"מ

קשיים בהערכת נזק קיים

- ✓ לרוב אין ברשותנו תוכניות, ורמת המידע על המבנה (אלמנטים נסתרים, חוזק חומרים וכד') נמוכה
- ✓ נדרשת הערכה מהירה ואמינה ללא בדיקות מעבדה או אנליזה מפורטת

הערכת יציבות בהרס

- ❖ לאחר ההרס (מקומי או חלקי במקרה של דטונציה), האזורים הפגועים לרוב מתייצבים **במצב שו"מ חלופי נייח (סטטי)**
- ❖ באזורים יותר רחוקים מההרס המקומי – אם לא מתרחשת התמוטטות בשרשרת - המבנה נפגע פחות או לא נפגע כלל מבחינה קונסטרוקטיבית. ייתכנו סדקים באלמנטי חיפוי ומחיצות, חדירת רסס, שבר חלונות וכד'
- ❖ עקרונית - **מצב שווי משקל סטטי זה הוא יציב**, ונובע מהתייצבות ההרס לאחר **עומס דינמי רגעי** מוגבר כתוצאה מאימפולס ו/או נפילה - **כל עוד הוא לא מעורער** ע"י גורם חיצוני (כדוגמת פעילות חילוץ, פיצוץ נוסף וכד')
- ❖ עם זאת, ייתכנו מצבים בהם מצב השו"מ הסטטי **רגיש לשינויים** שעלולים לערער אותו ולהפוך אותו למצב לא-יציב, כך **שמרווח הביטחון לקריסה/התמוטטות הוא קטן**
- ❖ מקרים אלה חייבים להיות מזוהים ע"י המהנדס לצורך הערכת בטיחות לכניסה למבנה, **וצורך בתימוך**



מקדם הגברה דינמי (רגעי) DLF

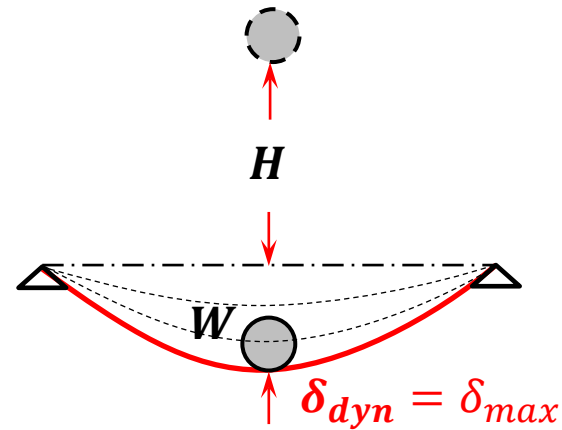
H/δ_{st}	DLF
0	2.0
5	4.3
10	5.6
50	11.0
100	15.2
250	23.4

דוגמאות:

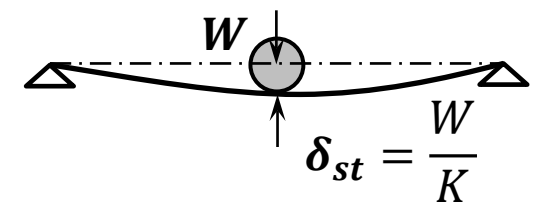
- ✓ תקרה נופלת לאחר כשל בחדירה
- ✓ תקרה מתרוממת מעילוי בפיצוץ, ויורדת חזרה
- ✓ נפילת הרס מפיצוץ (מחיצות, וחלקי תקרה וכד')

מקדם הגברה דינמי **DLF** בשל נפילת חלקי מבנה מגובה
DLF - Dynamic Load Factor

נפילת משקל W מגובה H על קפיץ בקשיחות K



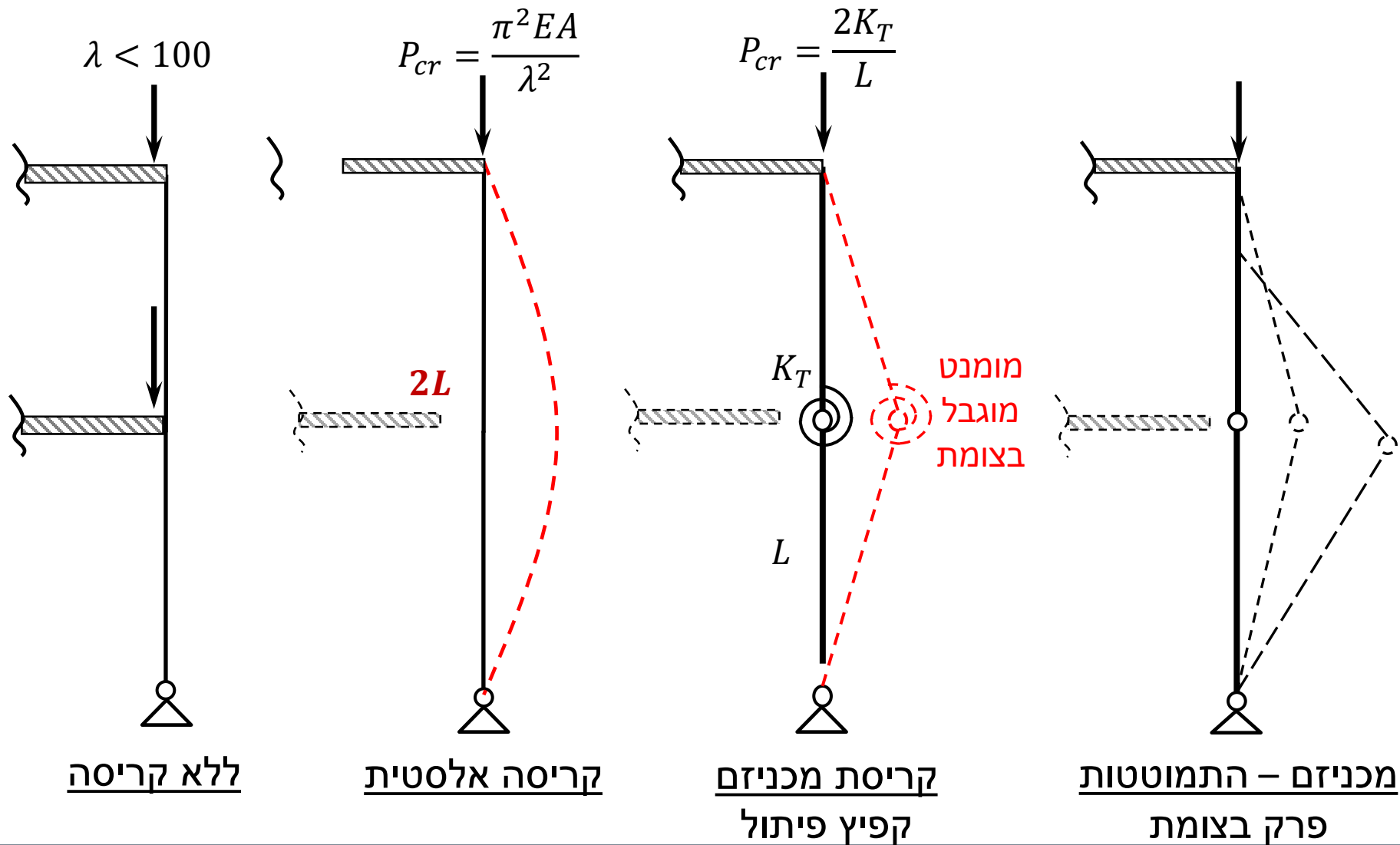
דינמי
Dynamic



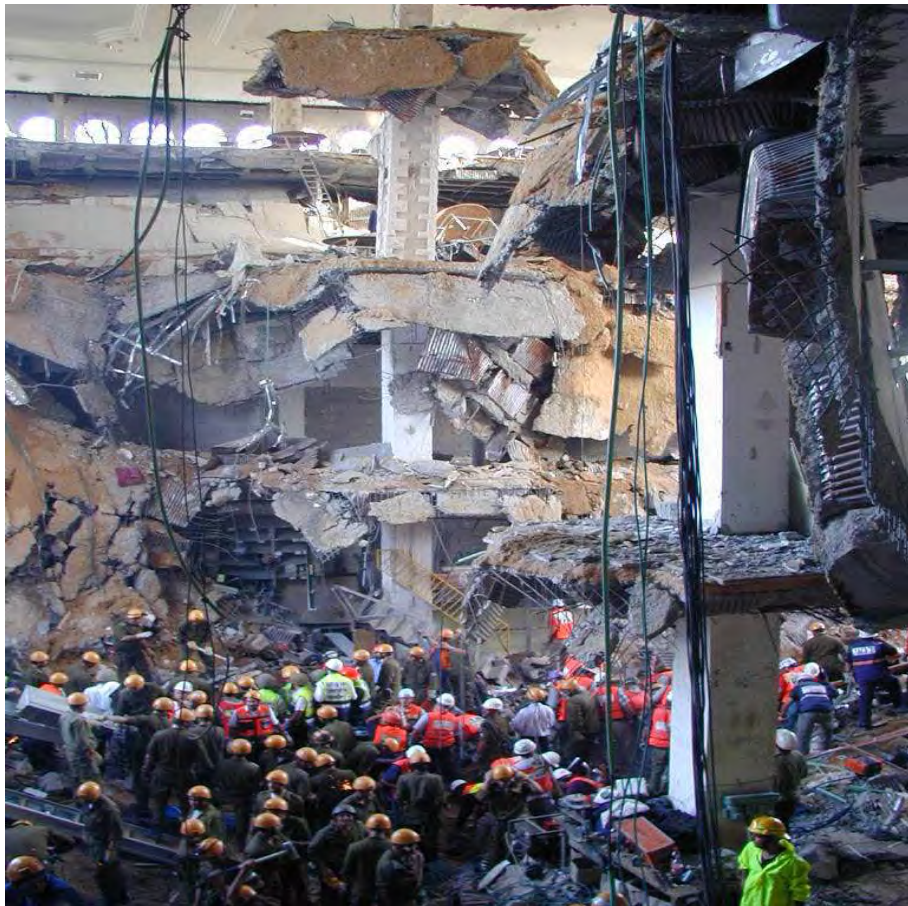
קוואזי-סטטי
Quasi-static

יציבות עמוד/קיר נושא לאחר אובדן סמך אופקי

$$\lambda > 100$$

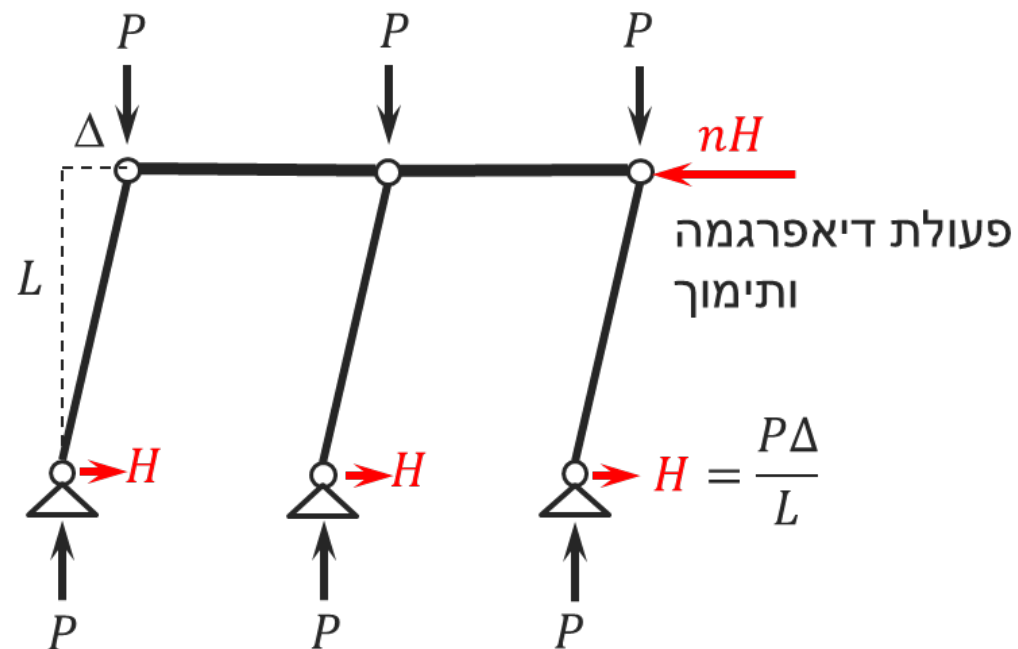


יציבות עמוד/קיר נושא לאחר אובדן סמך אופקי



יציבות קומתית של עמודים עם הסטה

פעולת P-Δ



כוח אופקי מפעולת P-Δ
Drift related lateral load

תופעת התמוטטות בשרשרת



- ❖ *Disproportionate Collapse* או *Progressive Collapse*.
- ❖ כשל לא פרופורציונאלי בלתי נשלט של המבנה כולו או חלק גדול ממנו.
- ❖ נגרם כתוצאה מהרס מקומי מוגבל של אלמנטים נושאים.
- ❖ התפשטות ההרס כלפי מעלה עקב איבוד סמך אנכי.
- ❖ התפשטות ההרס לצדדים עקב רדיסטריבוציה ואי יכולת לגשר.
- ❖ התפשטות כלפי מטה כתוצאה מתוספת משקל ו/או נגיפה בנפילה (עומס דינמי עם מקדם הגברה) בשל נפילת חלקי מבנה.



הקטנת הסכנה להתמוטטות בשרשרת

- מבנים מסוימים, הרגישים לכך, עלולים להתמוטט חלקית או כללית גם כאשר ישנה פגיעה מוגבלת ברכיבים נושאים (עמוד/קיר). תופעה זאת נקראת **התמוטטות בשרשרת** או "כשל לא פרופורציונלי". עמידות מבנה להתמוטטות בשרשרת נקראת **איתנות מבנית** Robustness.
- ת"י 466 כולל הנחיות לתכן עקיף לאיתנות מבנית (חגורות המשכיות להגדלת מונוליטיות) אבל הן לא מבטיחות אותו, ולרוב אינן מספיקות.
- בשנים האחרונות עולה דרישה לתכן מבנים גדולים/חשובים לאיתנות מבנית בשיטה ישירה לפי תקן אמריקאי UFC 4-023-03 ("שיטת הנתיב החלופי"), שבה מוכיחים חישובית שהמבנה מסוגל לגשר על רכיב נושא שנוטרל. אבל עדיין יש ללמד את המהנדסים בישראל איך ליישם אותה במלואה [אדן, רייכמן, 2023].
- מבנים "רגילים" או קיימים שלא תוכננו לאיתנות מבנית, ובמיוחד בשילוב עם נזקי בלייה או בעלי רגישות מובהקת להתמוטטות בשרשרת, רמת הנזק המבני הסופי במקרים מסוימים עלולה להיות גדולה לאין שיעור מהנזק המיידי בפיצוץ.
- עם זאת, ישנם ברוב המבנים **מנגנונים חלופיים המונעים התמוטטות בשרשרת** (נלמד בהמשך), ולכן המבנה עשוי להישאר יציב למרות הפגיעה.

סוגי מבנים הרגישים להתמוטטות בשרשרת

1968 - פיצוץ גז



2025 - פגיעת טיל בליסטי



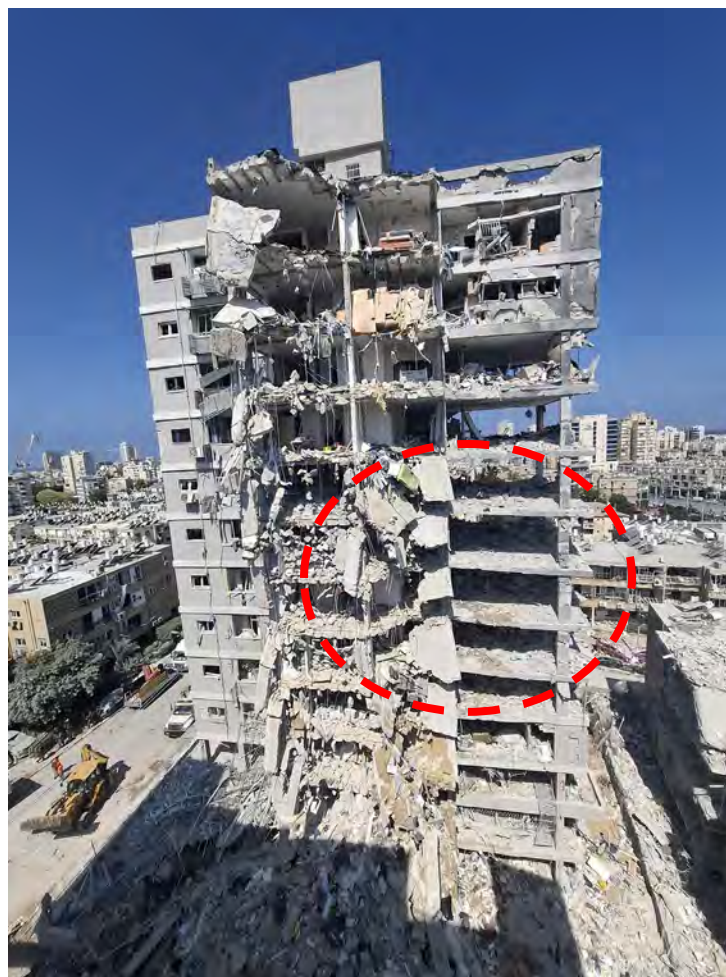
- ❖ מבנים ישנים עם נזקי בלייה משמעותיים
- ❖ מבנים עם רמת יתירות נמוכה
- ❖ מבנים טרומיים מלאים
- ❖ מבנים לא שלודים
- ❖ מבנים שלודים עם פרטי זיון לא המשכיים
- ❖ תקרות שטוחות ללא קורות בחזיתות
- ❖ מבני מסגרות מבטון עם חזיתות קלות
- ❖ תקרות לוח"דים

התמוטטות בשרשרת – מבנה בבת-ים 15.06.2025

חזיתות פתוחות (תריסים)



תקרות שטוחות (צלעות על קורות סמויות)



התמוטטות בשרשרת של אגף



התמוטטות בשרשרת – מבנה בבת ים 15.06.2025



אובדן השענה
אנכית, כשל
תקרות וחזיתות
ונפילה

פגיעה ישירה
וגזירת עמודים
בקומה 6

קריסת פנקייק
עקב עומס דינמי
של נפילה מגובה
של חלק עליון



מבנים מאלמנטים טרומיים - נקודות תורפה בפיצוץ



❖ **נקודות תורפה** עיקרית של מבנה מאלמנטים טרומיים:

✓ חוזק ומשיכות של **המחברים** בין האלמנטים

✓ **יתירות ומונוליטיות** נמוכות

✓ **רגישות להתמוטטות בשרשרת** – בכשל פריך של מחברים

❖ העברת כוחות והמשכיות בין אלמנט אחד לשני מתבצעת דרך המחברים

❖ הבטחת יכולת המבנה להעביר עומסים אנכיים ואופקיים תלויה בסוג

המחברים, חוזקם ומשיכותם

❖ נזקים במבנים טרומי יבואו לידי ביטוי בסדקים, שברים, תזוזות באזורי

החיבור, ו/או תזוזה משתיירת כללית של המבנה

❖ לעומת זאת, מחברים חזקים מספיק ומשיכים מאפשרים רדיסטריבוציה

של כוחות והתפתחות מנגנוני שוו"מ אלטרנטיביים – והמבנה עשוי

להישאר יציב לאחר פיצוץ

תקרות לוח"דים - נקודות תורפה בפיצוץ



❖ לוח"דים (לוחות חלולים ודרכים)

- ✓ הם אלמנטים טרומיים בדריכה מלאה (ללא סדיקה בשרות)
- ✓ נשענים חופשית על הקורות (חיבור בטופינג בלבד)
- ✓ השלמת יציקה – לעיתים ללא חגורות המשכיות עם זיון מעוגן – בעל רמת מונוליטיות נמוכה
- ✓ רגישים להעמסה כלפי מעלה (כיוון הפוך מהדריכה, ללא זיון)
- ✓ רגישים לכשל אלכסוני בפיתול כתוצאה משרשריה של קורות השענה (חתך חלול דק דופן ללא חישובים)
- ✓ תיתכן נפילת לוח"דים תוך קילוף מהטופינג מעליהם (הידבקות בלבד)
- ❖ כתוצאה מכל אלה, **מבנים עם תקרות לוח"דים רגישים לפיצוץ, ולהתמוטטות בשרשרת שעלולה לבוא אחריה.**

קירות בני – רכיב חשוב לעמידות בפיצוץ

- בבניינים רבים שנבנו לפני תחילת שנות ה-80 ולא תוכננו לעומס רעידת אדמה, **קירות הבני משמשים למעשה כחלק ממערכת ההקשחה – למרות שלא תוכננו לכך - והמבנה עלול להיות לא יציב בלעדיהם.**
- לפיכך, **חשוב לבדוק ולהבין את הנזקים בקירות הבני במיוחד בסמוך לאזור הפגוע.** התמוטטות מאוחרת של קירות בני עלולה להפר מנגנוני שוו"מ חלופיים בהם הם משתתפים ולגרום לאי יציבות של המבנה או חלקו.



- נזקים בקירות בני כוללים:
 - ✓ שבר פריך של הקיר או חלקו
 - ✓ מעיכה של הבלוקים
 - ✓ הפרדה בין הקיר למסגרת הבטון
 - ✓ שבר והחלקה לאורך מישק בין בלוקים
 - ✓ סדקי הפרדה בין בני לבטון
 - ✓ סדקי כפיפה מלחץ ניצב לקיר
 - ✓ סדקי גזירה אלכסוניים או מדורגים
 - מכוחות במישור הקיר



פרופ' מתי אדן – יעוץ הנדסי

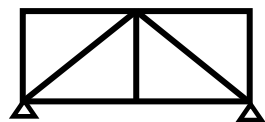
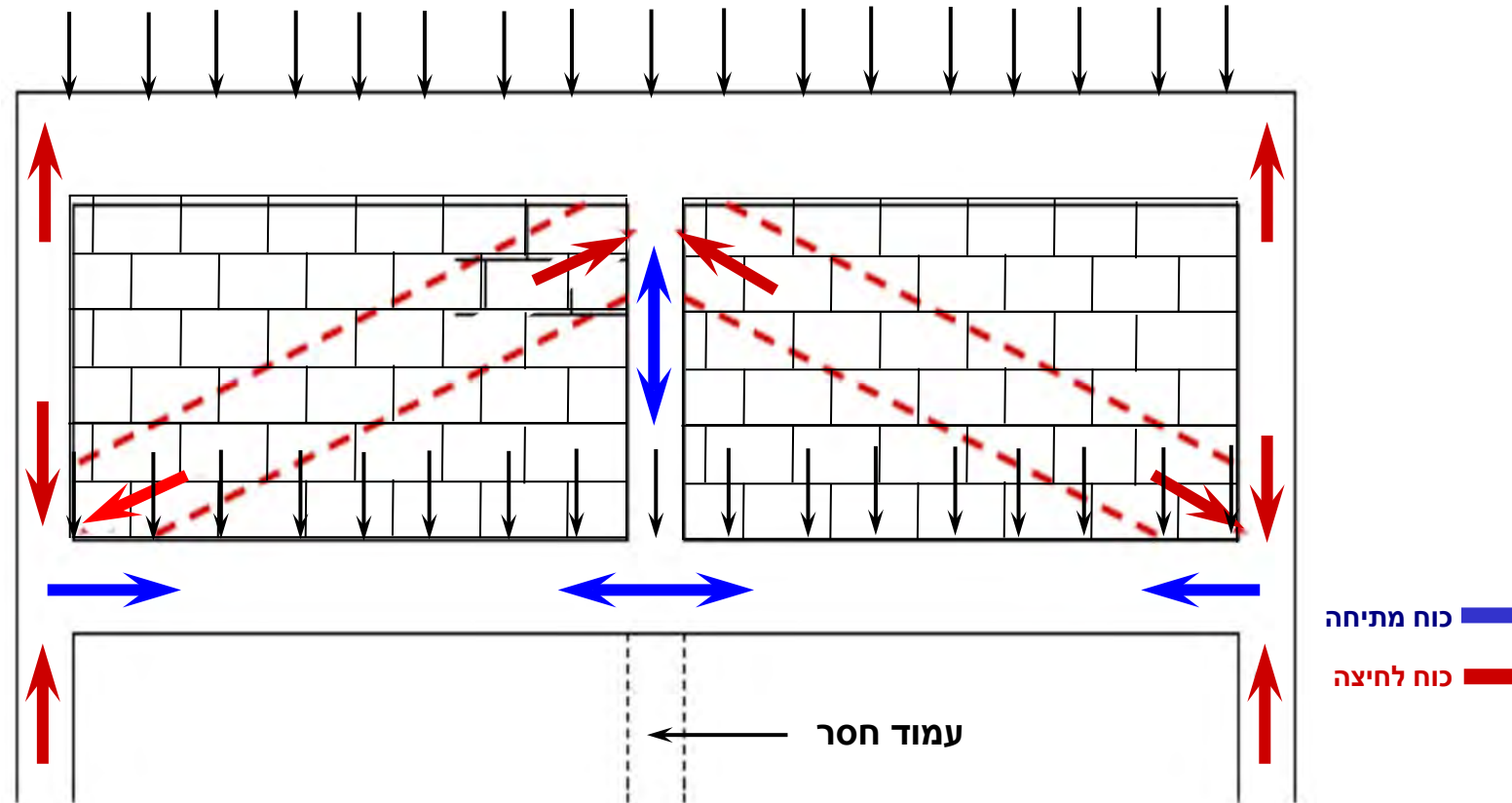


מערכות שווי-משקל חלופיות

מגבולי שו"מ חלופיים



קורות / מסבכים בקירות

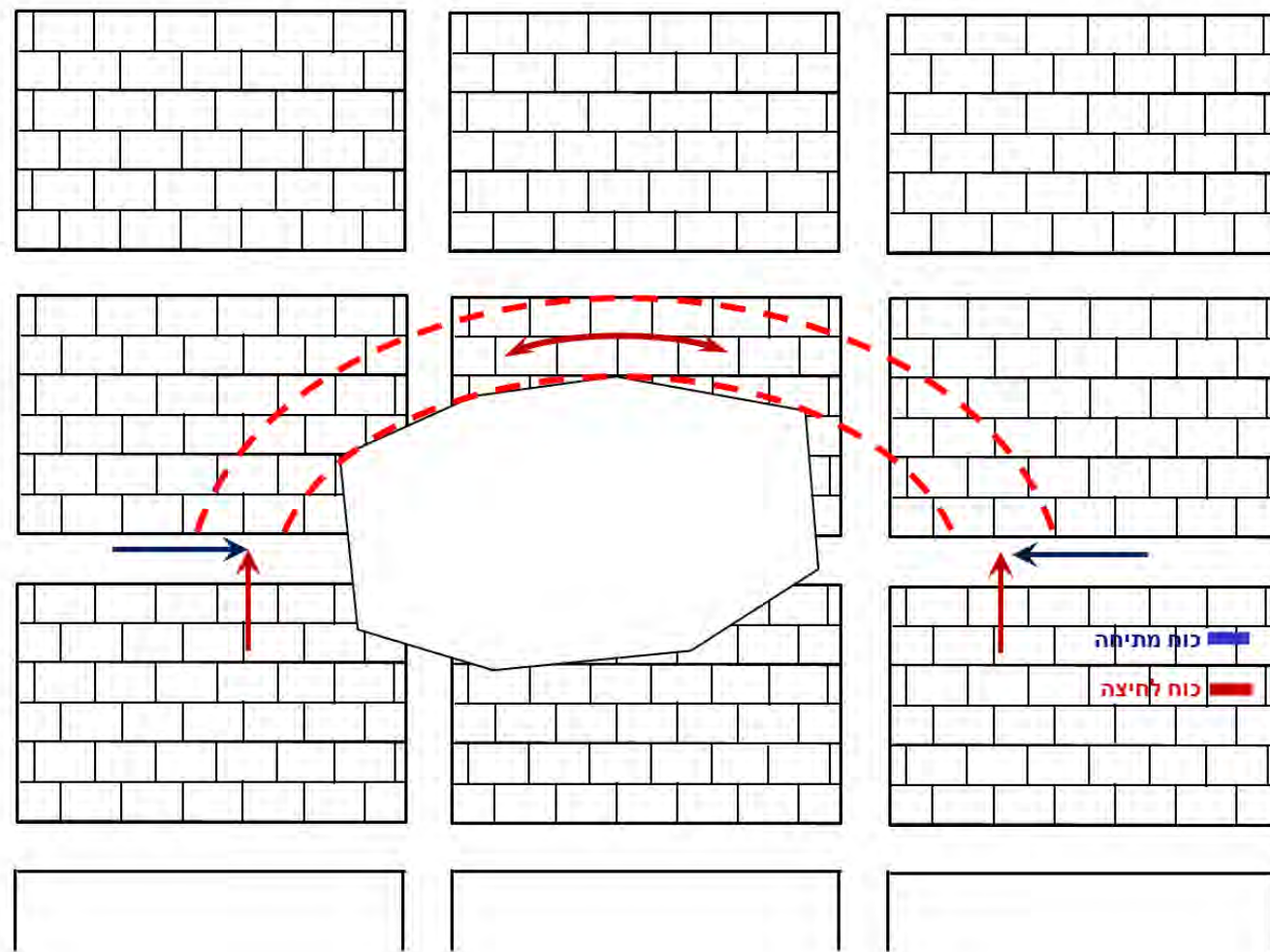
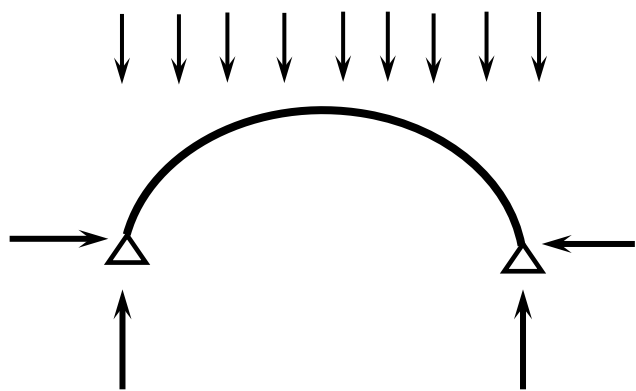


- ❖ בדיקת רציפות הזיון בחגורה תחתונה !
- ❖ עיגון הזיון בקצוות החגורה והעמוד האמצעי !
- ❖ חביקה היקפית של הקירות בקורות ועמודים מבטון

קורות / מסבכים בקירות



הקשתה Arching



הקשתה Arching

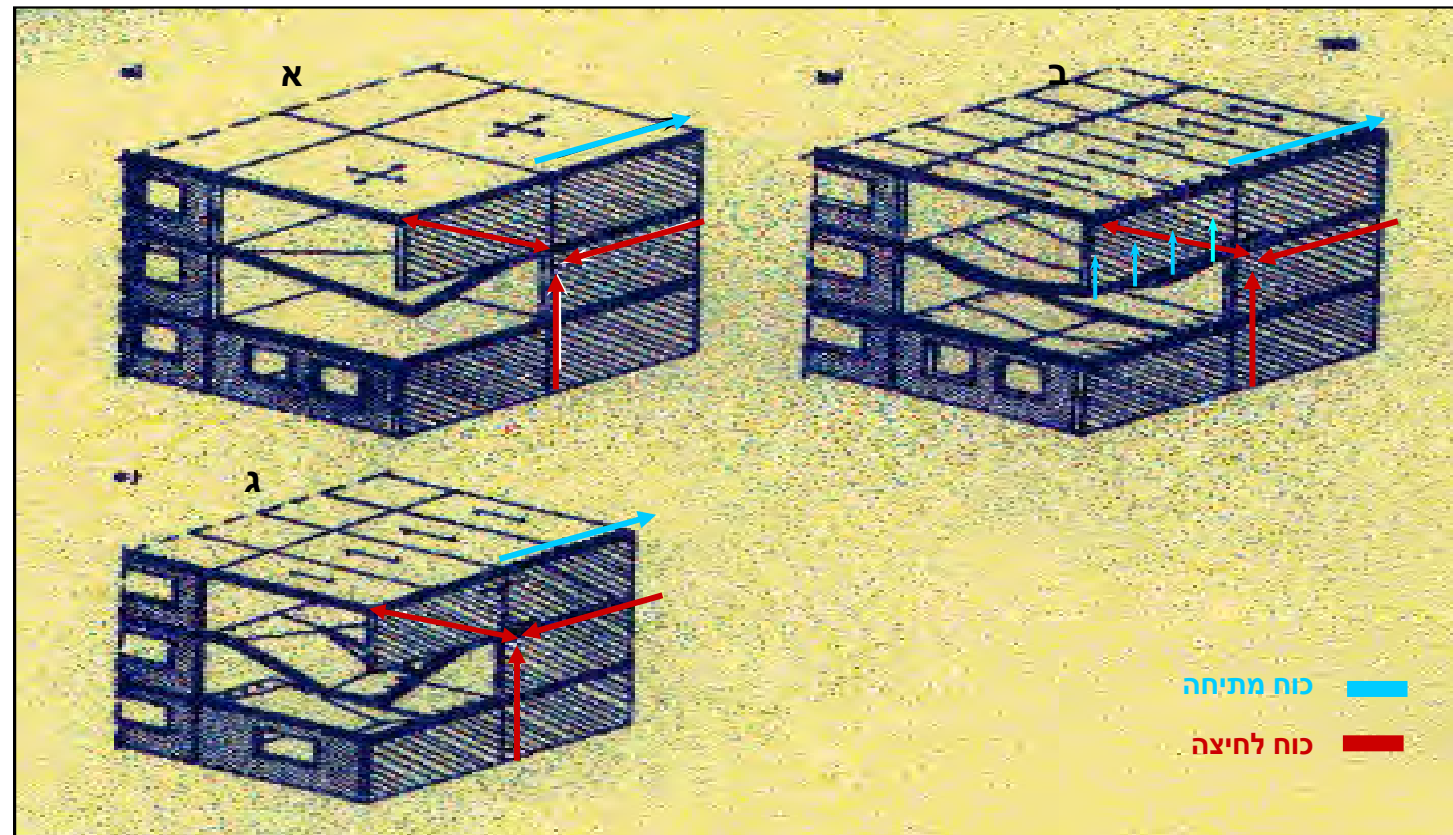
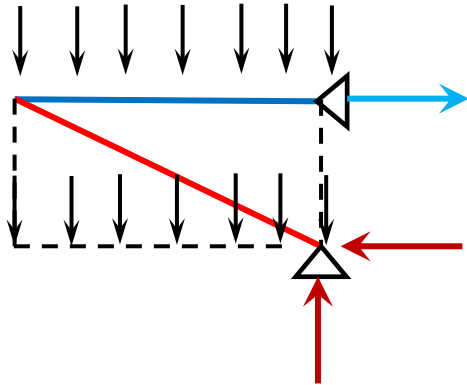


הקשתה Arching



זיזים קצרים בקירות

- ❖ נוצרים לאחר הרס קירות ואיבוד תמיכה אנכית.
- ❖ הקיר הנותר מתפקד כזיז בגובה קומה או יותר, ונושא את התקרות שמעליו
- ❖ בדיקת רציפות הזיון והעיגון בחגורה עליונה של הזיז !



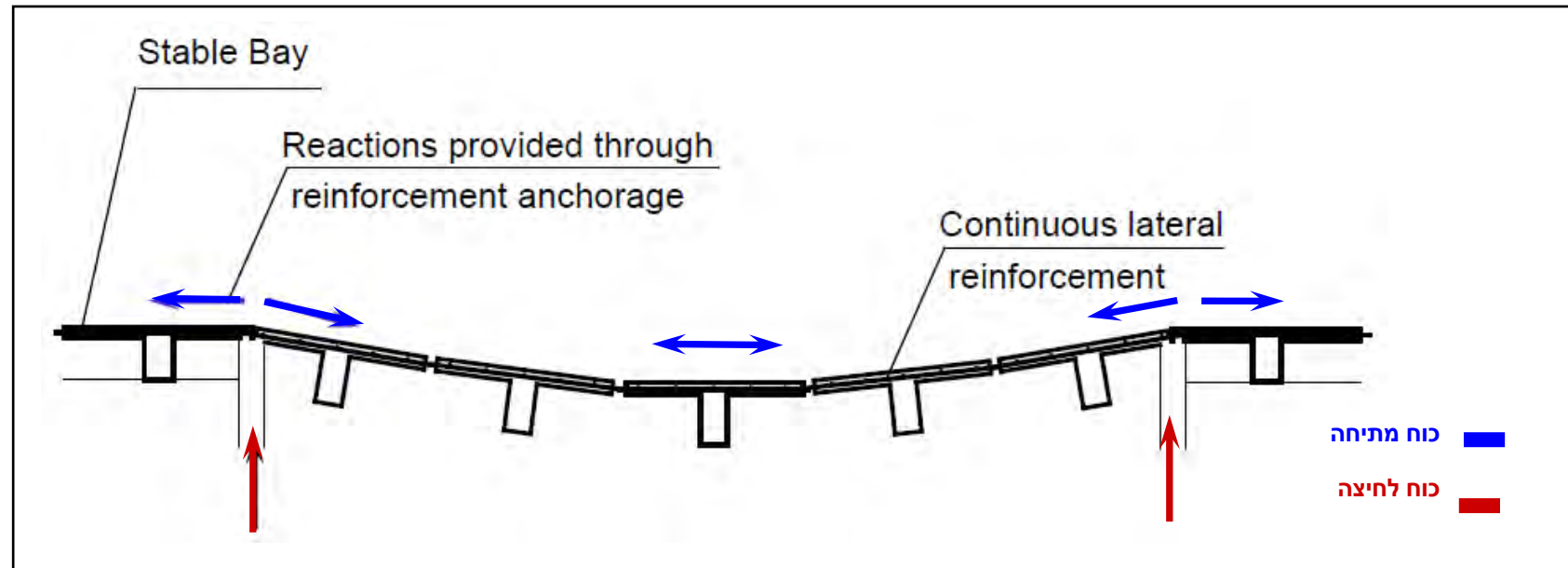
זיזים קצרים בקירות



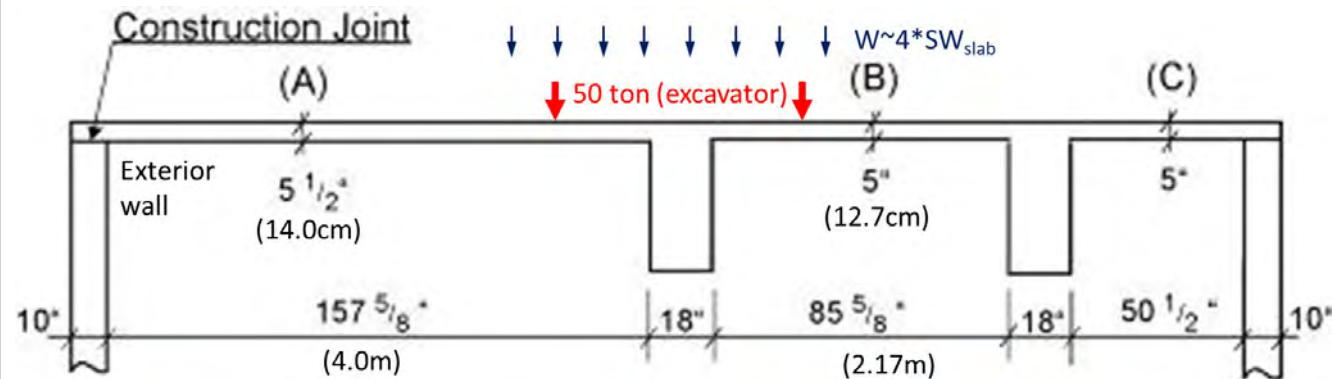
פעולת שרשריה של תקרות/ קורות



- ❖ כשל של תקרה/ קורה עקב עומס חריג או עומס עילוי ונפילה.
- ❖ נוצרות שקיעות גדולות – הרס הבטון ומתיחה בזיון.
- ❖ התקרה/ קורה עובדת כממברנה מתוחה/ כבל מתוח – זיון המשכי מעוגן.
- ❖ זיון מחלק בתקרה או חישובים בקורה עשוי לתרום לפעולת השרשריה.
- ❖ התקרה/ קורה נושאים עומסים גדולים בהרבה מעומס התכן.
- ❖ בדיקת רציפות הזיון והעיגון בקצוות !



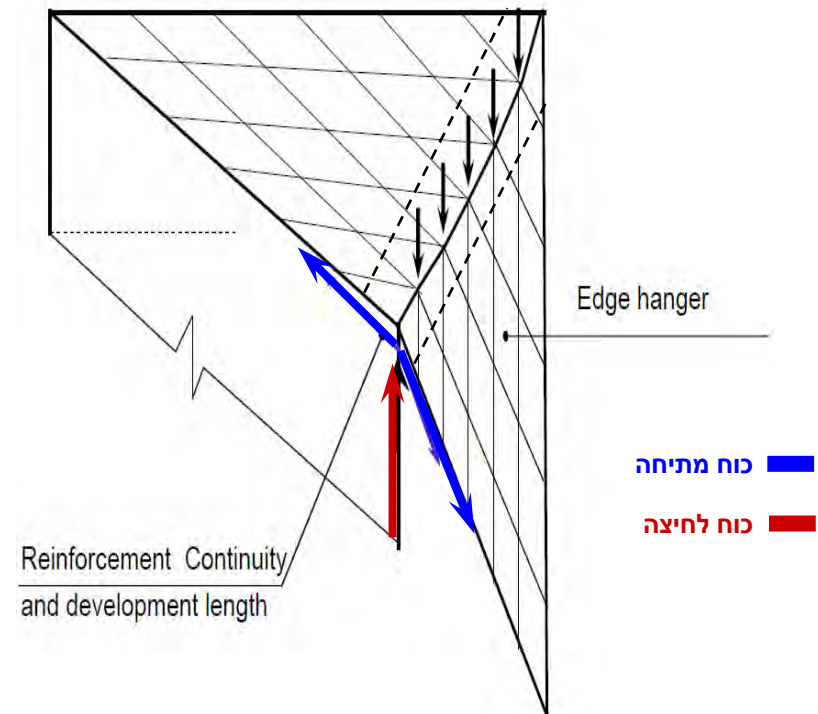
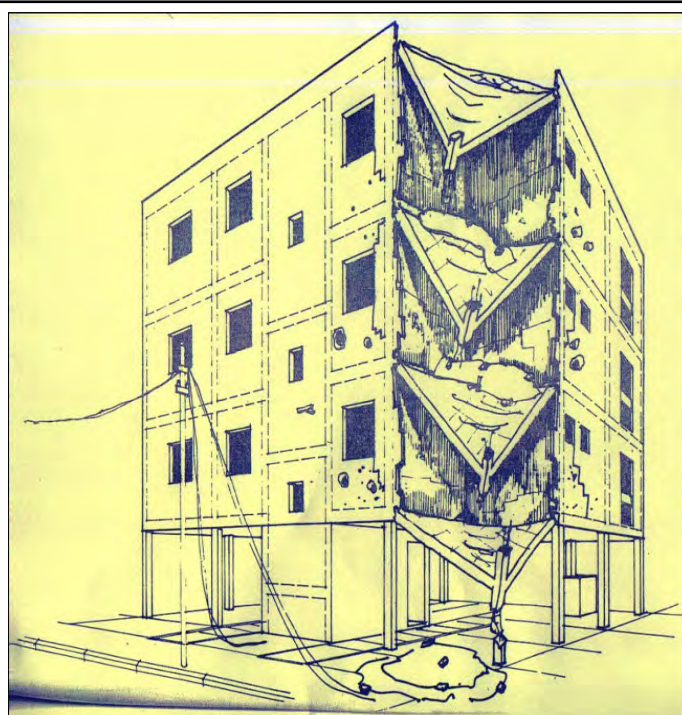
פעולת שרשרה – דוגמה



תקרות פינתיות תלויות

❖ איבוד השענה לאורך שתי שפות סמוכות

- ❖ שבר התקרה לאורך האלכסון
- ❖ נוצרת קורה (קמט) לאורך השבר המחזיקה את התקרה המשולשת.
- ❖ בדיקת רציפות הזיון והעיגון לרוחב קו השבר !
- ❖ בדיקת יציבות השענה לאורך 2 שפות תמוכות



תקרות פינתיות תלויות



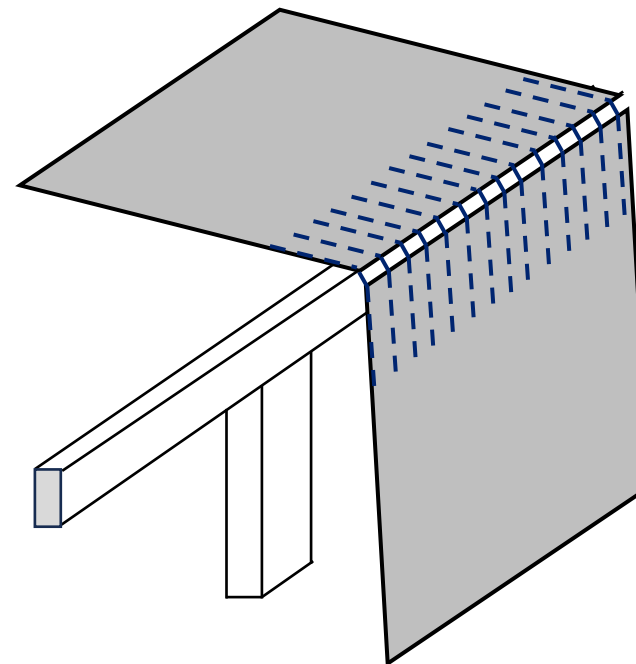
תקרות/אלמנטים תלויים

❖ שבר התקרה לאורך שפה עם זיון עובר מעוגן.

❖ האלמנט נשאר תלוי.

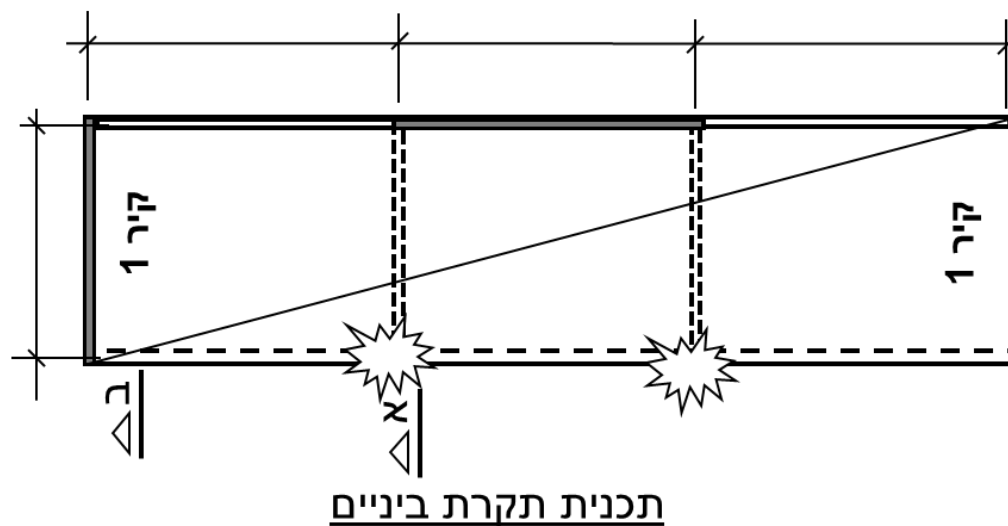
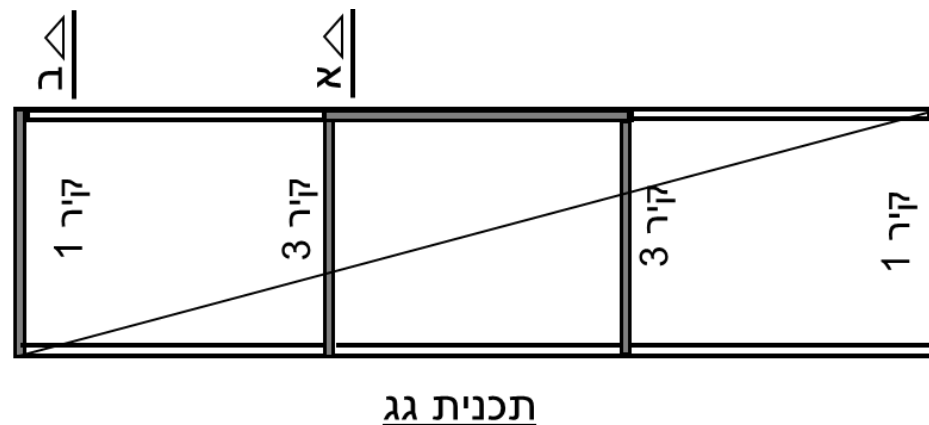
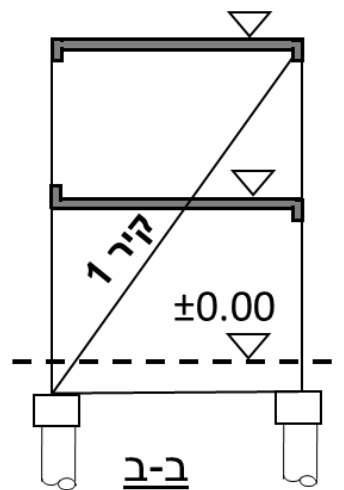
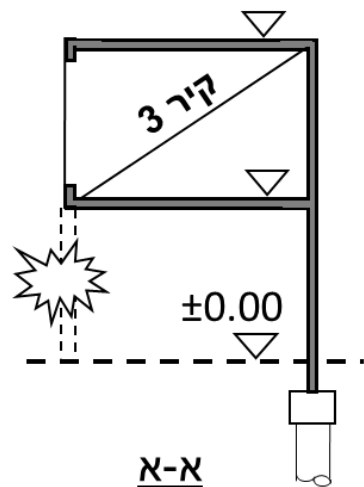
❖ בדיקת כמות הזיון ותסבולת המתיחה שלו לעומת משקל התקרה/ אלמנט.

❖ בדיקת רציפות הזיון והעיגון לרוחב קו השבר !

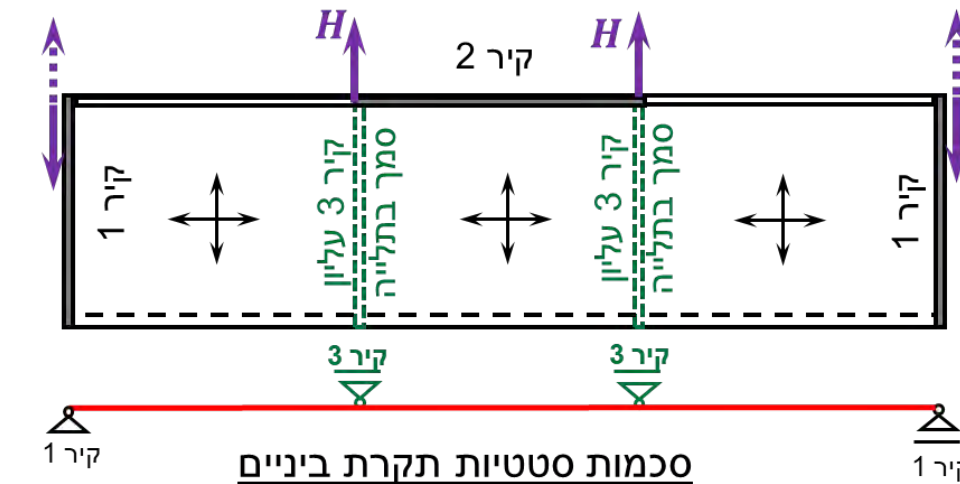
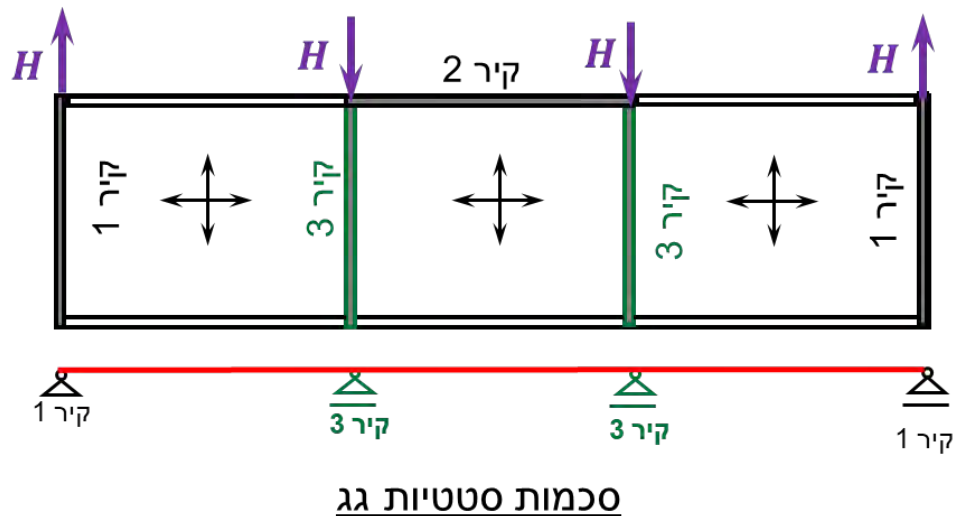
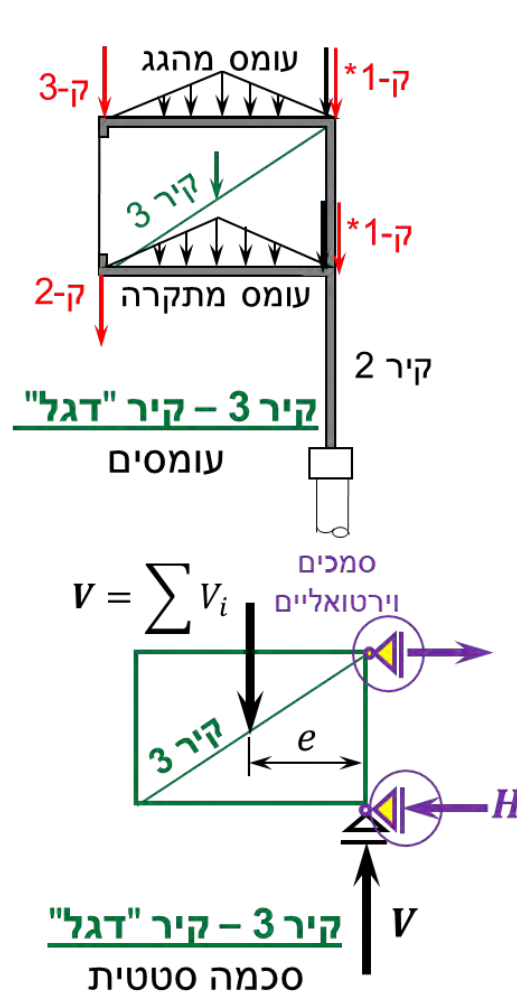


כוח מתיחה

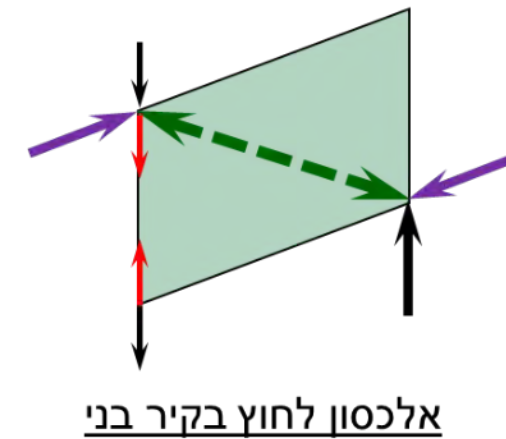
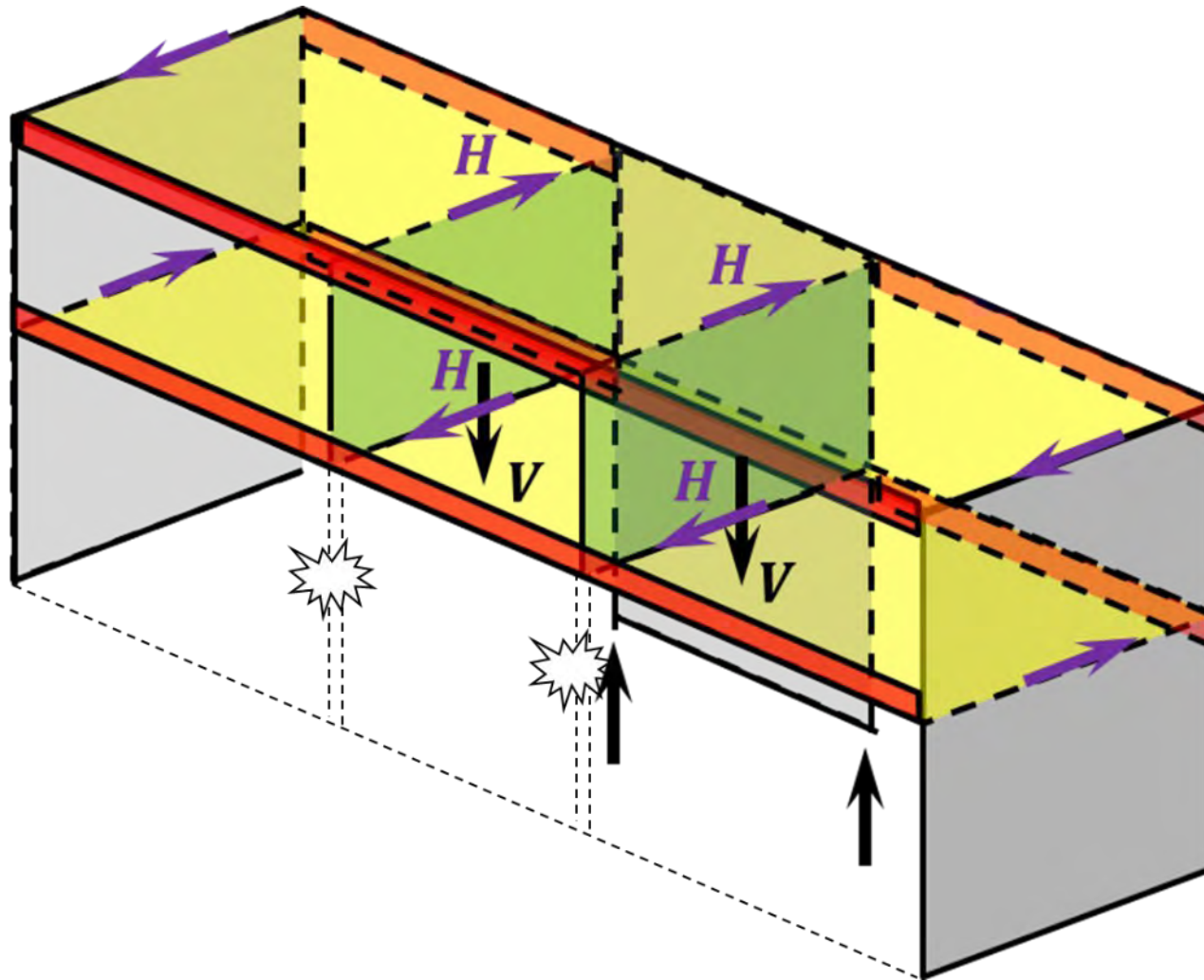
סמכים וירטואליים אופקיים (לאחר כשל רכיבים נושאים)



סמכים וירטואליים אופקיים (לאחר כשל רכיבים נושאים)



סמכים וירטואליים אופקיים (לאחר כשל רכיבים נושאים)





פרופ' מתי אדן – יעוץ הנדסי



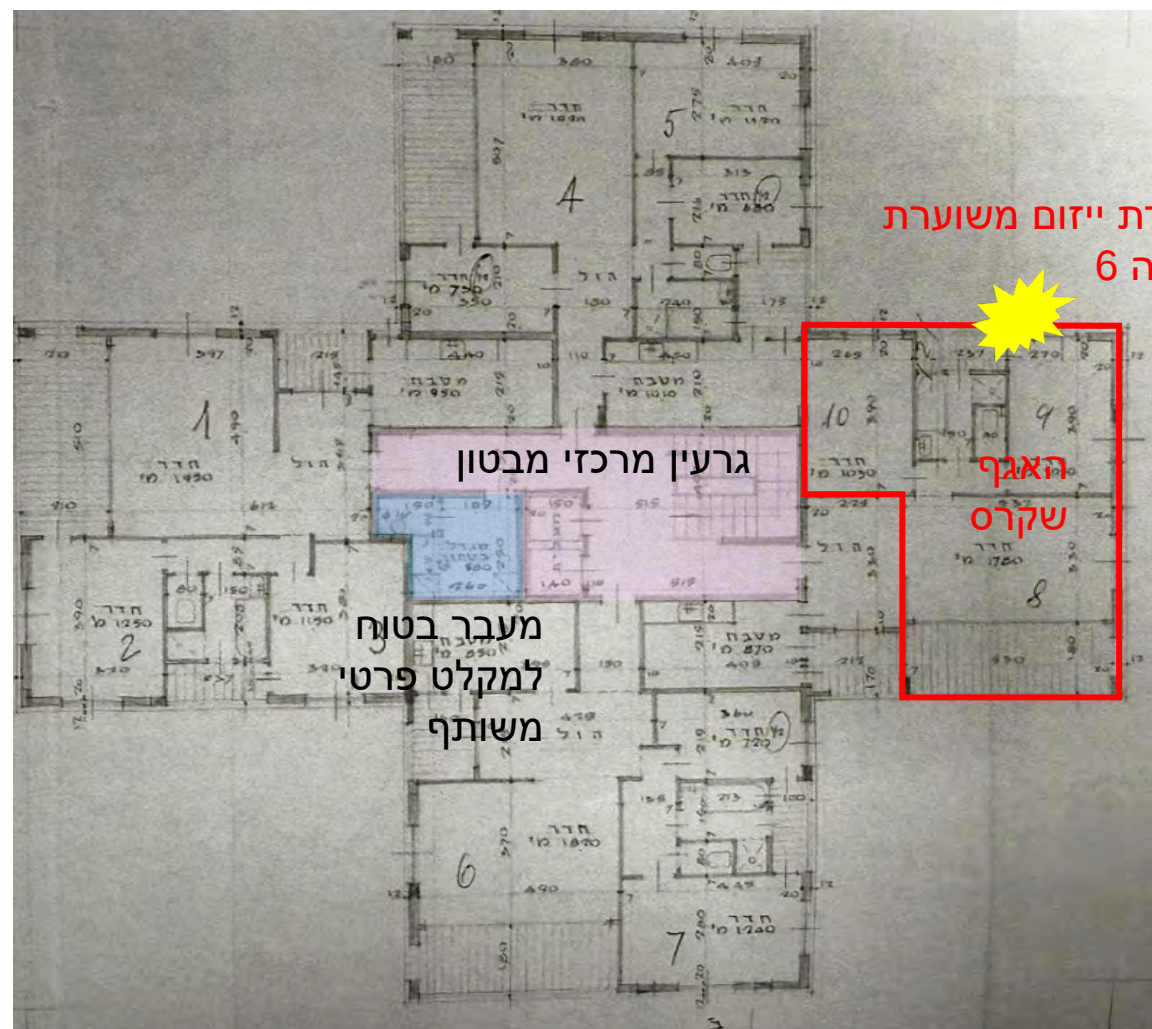
דוגמאות למיון מבנים לאחר פיצוץ

פגיעה ישירה של טיל בליסטי בבניין מגורים בבת-ים מלחמת עם כלביא 15.06.2025

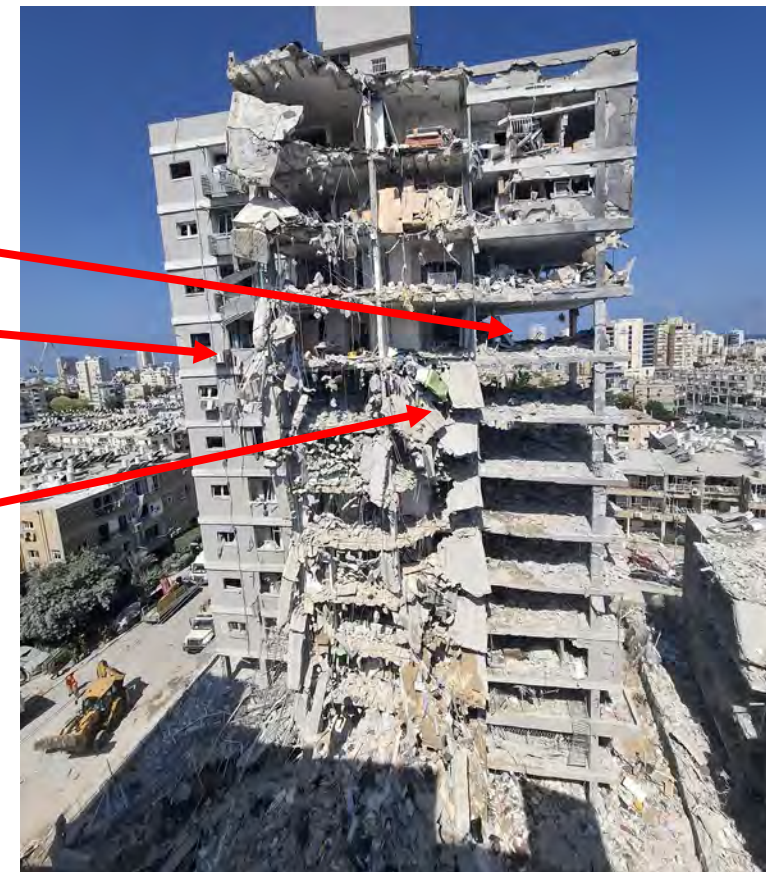
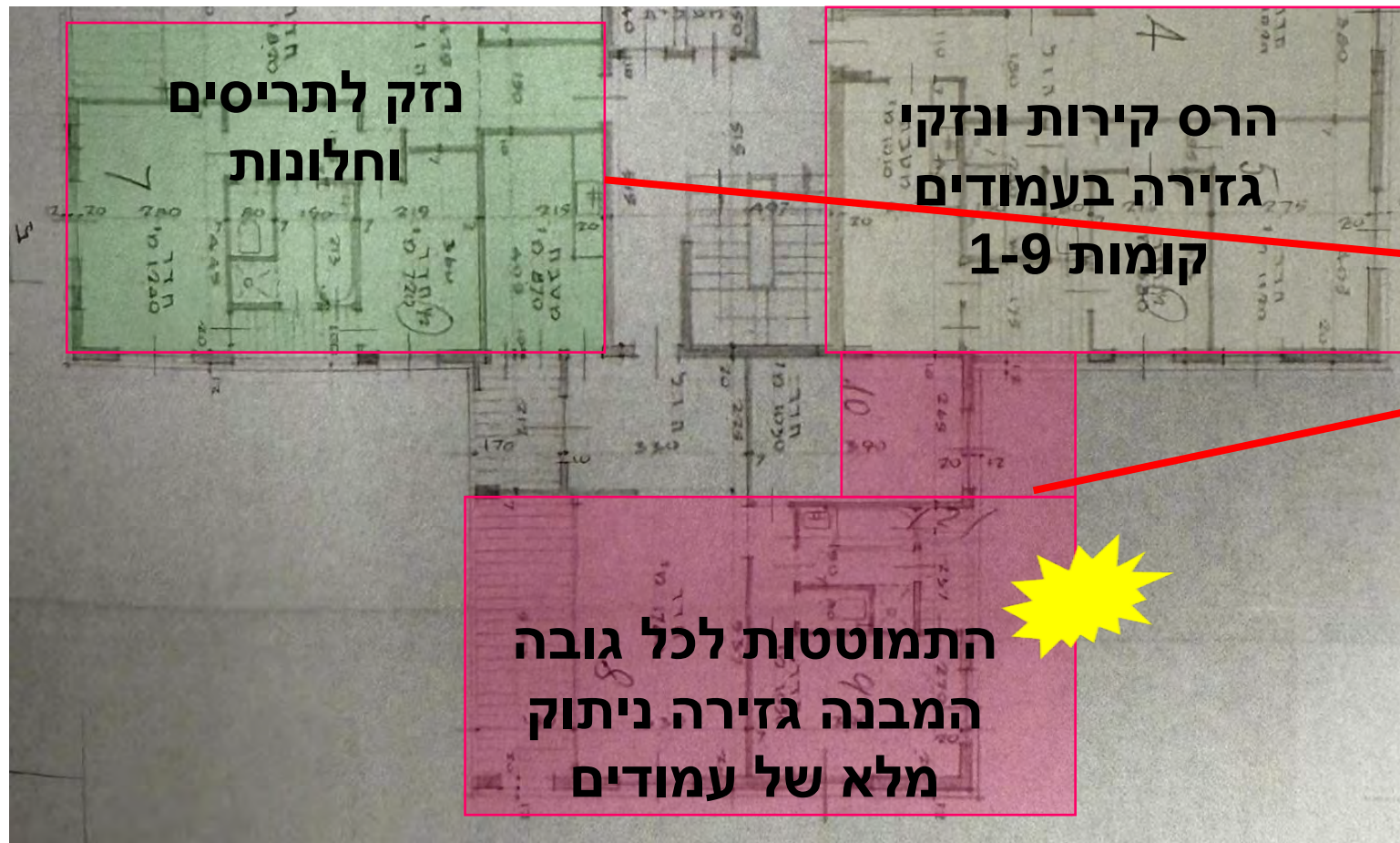


*מקור מידע ותמונות בסקירת נזקים ראשונית – ענף הנדסה בפקע"ר
* תודה מיוחדת למהנדסי פלוגות ב' ו-ג' ביחצ"א שפעלו בזירת ההרס, על המידע, התמונות והתובנות ששיתפו

התמוטטות אגף מפגיעה ישירה



מפת הנזק ביחס לתוכנית הקומה וכיוון האיום



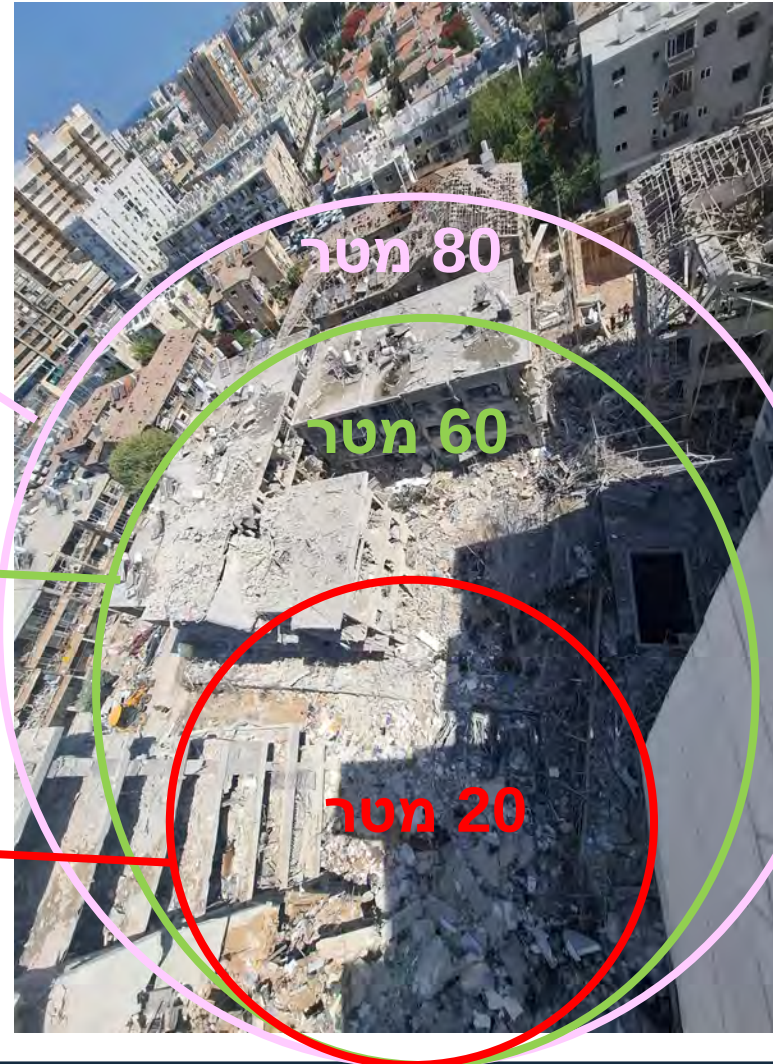
מעגלי הרס

מקור: מחלקת מומחים, פקע"ר

נזק לתריסים וחלונות- קל
II, I

נזק קונס' בינוני
III

נזק קונס' כבד
V, IV



מנגנון כשל - התמוטטות בשרשרת



אובדן השענה
אנכית, כשל
תקרות וחזיתות
ונפילה

פגיעה ישירה
וגזירת עמודים
בקומה 6

קריסת פנקייק
עקב עומס דינמי
של נפילה מגובה
של חלק עליון



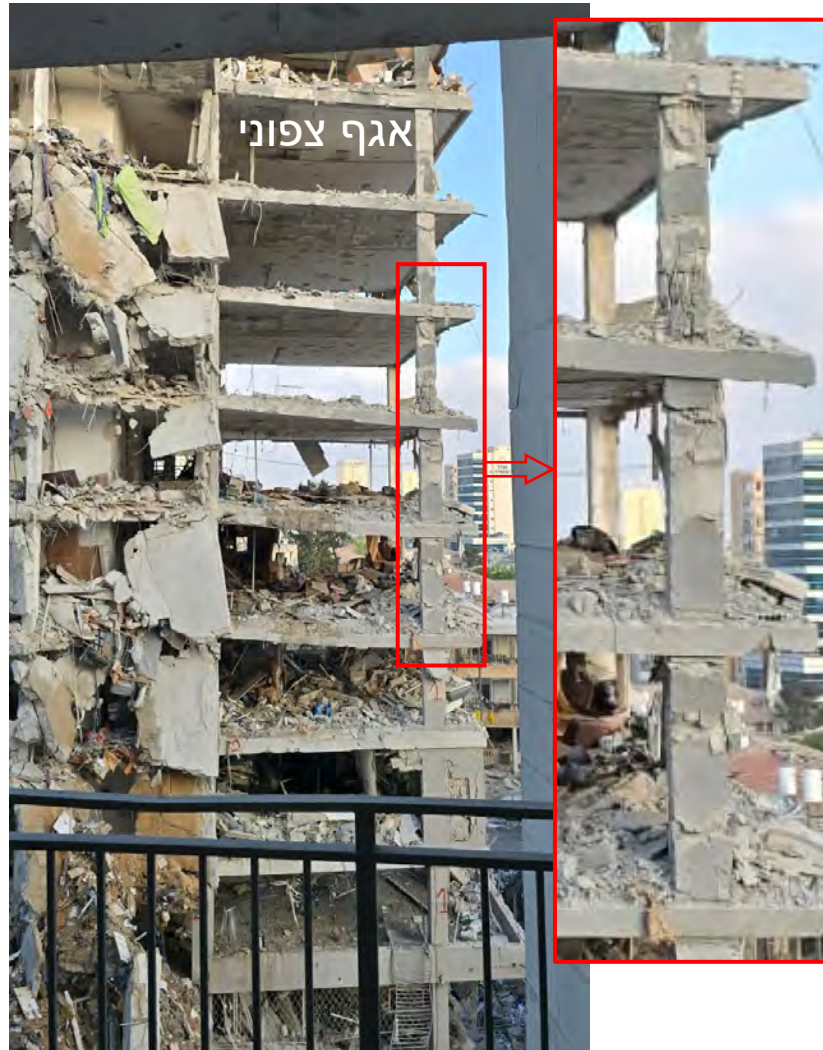
פגיעה ישירה של טיל בליסטי בבניין בבת-ים

נתוני המבנה

- מבנה שלוד / לא שלוד? מבנה שלוד
- סוג המבנה בטון יצוק באתר עם קירות בני
- גובה המבנה / קומת עמודים? 10 קומות מעל 2 קומות עמודים פתוחות (קומה מסחרית גבוהה וקומת כניסה)
- מבנים סמוכים לא קיימים מבנים צמודים
- מערכת נושאת עמודים וקורות מבטון, תקרות צלעות על קורות סמויות, קירות בני
- מערכת הקשחה גרעין הקשחה מרכזי כולל: חדר מדרגות, פיר מעליות, ו-"מגדל ביטחון" (מעבר בטוח)
- ממד"ים / מקלט מקלט פרטי משותף קבור חלקית

פגיעה ישירה של טיל בליסטי בבניין בבת-ים

נתוני הפגיעה



- פגיעה ישירה וייזום בקיר צידי של אגף מזרחי ככל הנראה בקומה 6
- באגף מזרחי שנפגע: גזירה וניתוק מלא של עמודים, התמוטטות בשרשרת לכל גובה האגף
- באגף צפוני סמוך – הרס קירות מלא בקומות 1-9; נזק גזירה חמור לעמודים; שפוכת וכפף נראה לעין של מספר תקרות
- באגפים הדרומי ומערבי (מוצללים מהדף ישיר) – נזק לתריסים וחלונות

פגיעה ישירה של טיל בליסטי בבניין בבתי-ים

סיכום תוצאות המיון

❖ מהי חומרת הנזק באגף שהתמוטט? **נזק כבד מאוד V**

❖ מהי חומרת הנזק בבניין באזור מחוץ לאזור הפגיעה? **נזק חמור מאוד V באגף צפוני, נזק בינוני III בגרעין; נזק קל II באגפים אחרים**

❖ מהי חומרת הנזק במבנים סמוכים במעגל ההשפעה של פגיעת האמל"ח? **נזק כבד IV ברדיוס כ- 20 מ'**

❖ מהו סיווג הבניין במיון ראשוני? **מבנה מסוכן**. יש לפנות את הדיירים מכל המבנה.

❖ האם יש עדיין בעיית יציבות גלובלית או התמוטטות בשרשרת? **כן, באגף צפוני עם עמודים שנכשלו בגזירה**

❖ מהם הסיווגים המתאימים לבניין מפורט? **מבנה מסוכן** בכל המבנה, ובסביבתו בחזית הצפונית.

אפשרות לשינוי סיווג **מוגבל בשימוש** באגפים דרומי

ומערבי – רק לאחר תמיכת העמודים לגובה האגף הצפוני.

רמת הנזק		סיווג המבנה/ אזור
I	נזק קל מאוד	מתאים לאכלוס
II	נזק קל	מתאים לאכלוס מוגבל בשימוש
III	נזק בינוני	מוגבל בשימוש
VI	נזק כבד	מוגבל בשימוש מבנה מסוכן
V	נזק כבד מאוד	מבנה מסוכן

רמת הנזק	תיאור הנזק
I	נזק קל מאוד פגיעה חלקית בתריסים וחלונות, מעקות, שלטים ו/או פגיעות רסיסים מועטות/ קלות בקירות מעטפת המבנה
II	נזק קל פגיעה נרחבת בתריסים וחלונות ו/או פגיעות רסיסים רבות/ עמוקות בקירות מעטפת המבנה
III	נזק בינוני - הרס מלא או חלקי של קירות מעטפת המבנה - אין נזק משמעותי לשלד המבנה
VI	נזק כבד - הרס מלא או חלקי של קירות ומחיצות המבנה - עיוות/שבר בהיקף משמעותי של שלד המבנה המחייב הערכת בטיחות הנדסית
V	נזק כבד מאוד פגיעה קשה באלמנטים נושאים או הקשחה של השלד וביציבותו

פגיעה ישירה של רקטה במבנה

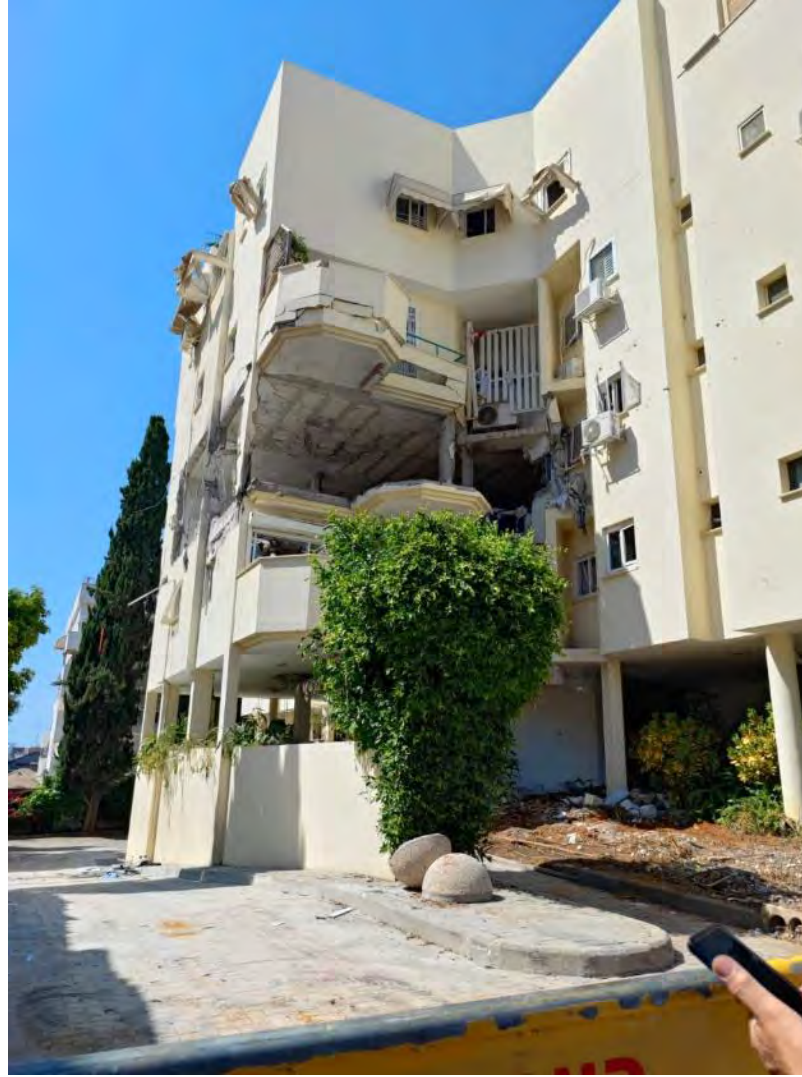


*מקור מידע ותמונות בסקירת נזקים ראשונית – ענף הנדסה בפקע"ר

פגיעה ישירה של רקטה בבניין ברחובות מבצע מגן וחץ 11.5.23



פגיעה ישירה של רקטה בבניין ברחובות



פגיעה ישירה של רקטה בבניין ברחובות



פגיעה ישירה של רקטה בבניין ברחובות



פגיעה ישירה של רקטה בבניין ברחובות



פגיעה ישירה של רקטה ברחובות

נתוני המבנה

- מבנה שלוד / לא שלוד? מבנה שלוד
- סוג המבנה בטון יצוק באתר עם קירות בני
- גובה המבנה / קומת עמודים? 4 קומות מעל קומת עמודים פתוחה גבוהה
- מבנים סמוכים קיים מבנה צמוד
- מערכת נושאת עמודים וקורות מבטון, תקרות צלעות על קורות סמויות, קירות בני
- מערכת הקשחה גרעיני הקשחה: חדרי מדרגות ופירי ממ"דים
- ממד"ים / מקלט ממ"דים.

פגיעה ישירה של רקטה בבניין ברחובות

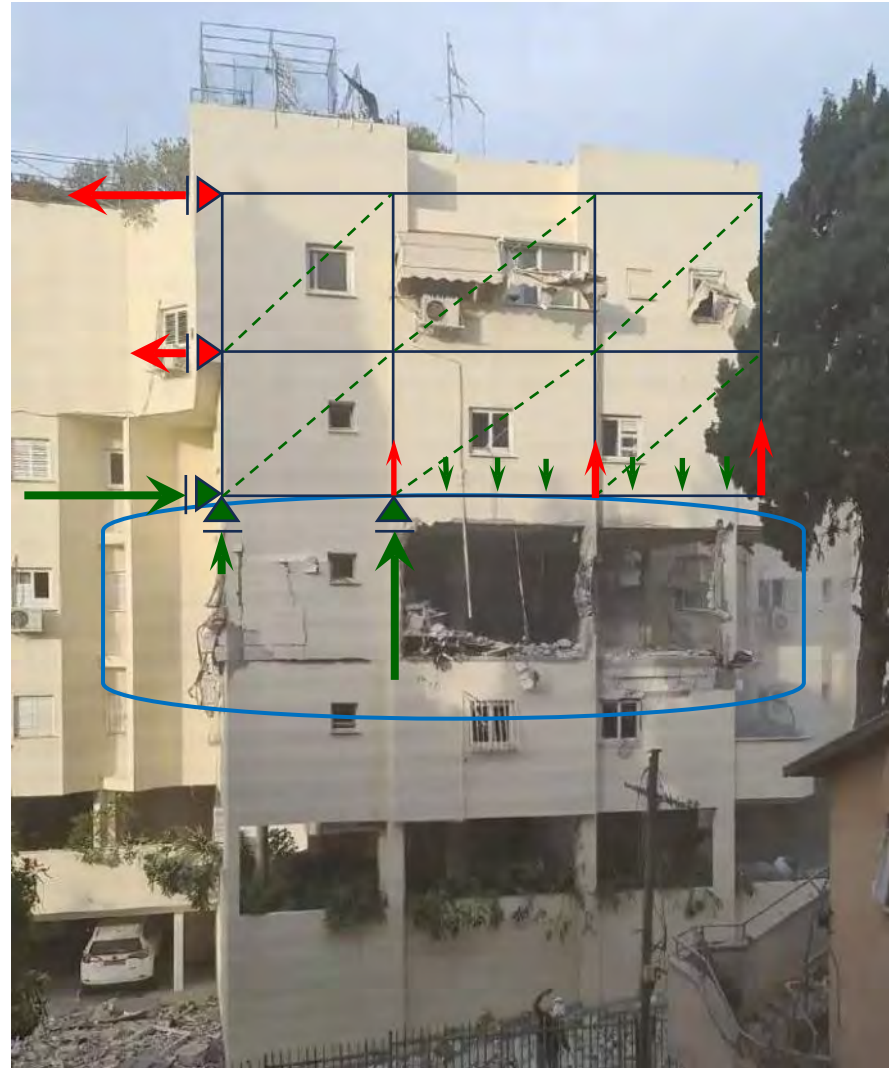
נתוני הפגיעה

- פגיעה ישירה בקיר קומה 2, ייזום ופיצוץ פנימי.
- חזיתות: שבר של 3 עמודים, הרס קירות בני וסדקי גזירה בקורות בקומה 2. סדקי מתיחה בחזית הקצרה בקומות 3 ו-4. בחזית הארוכה לא נצפו סדקים בקומות אלה.
- נזק לתקרת צלעות של קומה 2 באזור הפגוע. חדירה בתקרות בקומות 1 וקרקע.
- נזק משמעותי למעקות מרפסת בקומה 3.
- שבר מחיצות פנימיות, ערמות שפוכת ופגיעות רסס באזור הפגוע.
- דפורמציה ותלישה מהצירים של דלת ממ"ד שהייתה פתוחה.
- פגיעות רסס קלות בקירות חיצוניים סמוכים של הבניין.
- לא נצפה נזק משמעותי באגפים אחרים של הבניין או בקומת העמודים.

פגיעה ישירה של רקטה בבניין ברחובות מגנן שוו"מ חלופי בתלייה



פגיעה ישירה של רקטה בבניין ברחובות מנגנון שוו"מ חלופי – מסבך בקירות בני וסמכים וירטואליים



פגיעה ישירה של רקטה בבניין ברחובות

סיכום תוצאות המיון

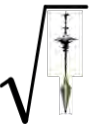
- ❖ מהי חומרת הנזק באזור הסמוך לפגיעה? **נזק כבד מאוד V**
 - ❖ מהי חומרת הנזק בבניין באזור מחוץ לאזור הפגיעה? **נזק קל II**
 - ❖ מהי חומרת הנזק במבנים סמוכים במעגל ההשפעה של האמל"ח? **נזק קל II**
 - ❖ מהו סיווג הבניין במיון ראשוני? **מבנה מסוכן**. יש לפנות את הדיירים מכל המבנה.
 - ❖ האם יש בעיית יציבות גלובלית או התמוטטות בשרשרת? **לא**. מערכת שוו"מ חלופי יציבה.
 - ❖ מהם הסיווגים המתאימים לבניין מפורט? **מבנה מסוכן** לגובה המבנה הפגוע. יש להתקין תימוך זמני לכל העמודים שנפגעו.
- ראוי לאכלוס במבנה הסמוך לאחר בידוד האזור הפגוע ע"י מתרס קשיח.**

סיווג המבנה/ אזור		רמת הנזק	
מתאים לאכלוס		I	נזק קל מאוד
מוגבל בשימוש	מתאים לאכלוס	II	נזק קל
מוגבל בשימוש		III	נזק בינוני
מבנה מסוכן	מוגבל בשימוש	VI	נזק כבד
מבנה מסוכן		V	נזק כבד מאוד

רמת הנזק	תיאור הנזק
I	נזק קל מאוד פגיעה חלקית בתריסים וחלונות, מעקות, שלטים ו/או פגיעות רסיסים מועטות/ קלות בקירות מעטפת המבנה
II	נזק קל פגיעה נרחבת בתריסים וחלונות ו/או פגיעות רסיסים רבות/ עמוקות בקירות מעטפת המבנה
III	נזק בינוני - הרס מלא או חלקי של קירות מעטפת המבנה - אין נזק משמעותי לשלד המבנה
VI	נזק כבד - הרס מלא או חלקי של קירות ומחיצות המבנה - עיוות/שבר בהיקף משמעותי של שלד המבנה המחייב הערכת בטיחות הנדסית
V	נזק כבד מאוד פגיעה קשה באלמנטים נושאים או הקשחה של השלד וביציבותו



תודה רבה



פרופ' מתי אדן – יעוץ הנדסי



איווד המהנדסים
לבנייה ולתשתיות בישראל



משרד
הבנייה