



איור 1: דוגמה לקריעת פני שטח על קו העתק סיסמי (סן אנדרס – קליפורניה)

## מסמך הנחיות טיוטה ראשונית (לא רשמית)

# לתכן סיסמי בקרבת העתק

	VER	21/03/2021	Site specific seismic design guidelines	Yaron Offir					
	0.1			name	Sign.	name	Sign.	name	Sign.
	Rev.	Date	Description	Prepared		Checked		Approved	
	מעלה השחרור 11 חיפה 3328437			<b>ירון אופיר</b> <b>מהנדסים בע"מ</b>		טלפון: 04-8323102		פקס: 04-8323286	
e-mail: <a href="mailto:yaron@yoe.co.il">yaron@yoe.co.il</a>			www.yaron-offir.com						

סימוכין: 1214-4018

באזור העתק החשוד כפעיל קיימת סכנה לקריעת פני שטח (איזור 1) שעלולה לסכן מבנים ומתקנים. כדי להתמודד עם האיום, מפורטות להלן הנחיות עקרוניות ע"ב חו"ד של פרופ ג'ורג גזטס, מומחה עולמי מהמובילים ומוערכים בתחום.

מסמך זה, מתמקד בהנחיות פרקטיות לתכנן ויעסוק ב:

- 1) עיקרי המלצות לתכנן (למעט הערכה כמותית של מידת הקריעה הצפויה) על פי חוות דעת של פרופ' גזטס (באישורו מתאריך 21-1-18) לתוכנית שד"ת אילת שיכול לייצג קווי העתק אחרים בארץ, מתורגמים לעברית, לרבות המלצות להעמדת מבנים אדריכלית, וכלי עזר נוספים לתכנון יסודות למבנים בתחום התוכנית.
- 2) הנחיות תכנון מערכות תשתיות.

## 2 עיקרי המלצות על פי חוות דעת פרופ' גזטס לנושא בינוני בסמוך לקו העתק:

המסמך של פרופ' גזטס נועד להעריך שני נושאים:

- 1 **מיקום הופעת העתק** ומימדי ההזזה היחסית בין שני חלקי העתק (קריעת פני השטח), והאזור בו אסור לבנות לפי ת.י 413 ופרק 5-EC8 בגרסה הקרובה ביורוקוד.
- 2 **הנחיות ועקרונות להעמדת מבנים וביסוס מתאים באזורים העלולים לחוות קריעת פני שטח**, וכללי תכן פשוטים למבנים שכבר תוכננו או יתוכננו בתחום התוכנית.

### 2.1 מיקום ההעתק (התייחסות כללית)

הערכת איתור קו העתק וסיווג קרקעות ראשוני בתחום התוכנית יוגדרו ע"י חקירה גיאולוגית שיש לבצע באופן ספציפי לכל אתר. לפיכך, בשלב זה ההתייחסות הינה כללית. על פי התקן הישראלי 413 ג.ת. 6, **אין לבנות במרחק 15 מטר, מכל שפה של קו העתק פעיל**. פסקאות התקן הישראלי הרלוונטיות לנושא העתקה מובאות בציטטה באיזור 2 להלן.

## 202. מאפייני סביבה

### 202.1. תאוצות סיסמיות

#### 202.1.2. קרבה להעתק פעיל

הכתוב בסעיף יושמט, ובמקומו ייכתב:

- א. על עקבה של העתק פעיל ו-15 מ' משני צידי שפוחיה לא יוקמו מבנים שתקן זה חל עליהם.
- ב. בנייה באזור העתקה פעילה מחייבת חקירה גאולוגית בשטח, שמטרתה לוודא שההעתק שסומן במפת ההעתקים הפעילים והחשודים כפעילים של המכון הגאולוגי (ראו נספח ז) או שעקבה פעילה אחרת, אינם קיימים בתחום המבנה ועד 15 מ' ממנו. החקירה תלווה בחוות דעת איסור בנייה על עקבה של העתק פעיל יחול על כל המבנים שבהם הקרקע מסווגת כקרקע מסוג B, A או C לפי סעיף 202.2.1, למעט מבנים נמוכים שאינם מיועדים למגורים כמוגדר בסעיפים 103.6.3, 103.6.4, 103.6.5.
- ד. בנייה במרחק הקטן מ-15 מ' מהעקבה מותרת באתרים שבהם הקרקע מסווגת כקרקע מסוג D, E או F, לפי סעיף 202.2.1, אם הוכח באמצעות חישוב מפורט שהמבנה יעמוד בדרישות תקן זה בהתחשב בתזוזות יחסיות שמקורן בסלע. נוסף על כך, יש להוכיח באמצעות מיפוי תלת-ממדי של העקבה, כי אזור הגזירה/רצועת הגזירה בקרקע אינם חודרים את מעטפת המבנה, לרבות רכיבי הביסוס שלו.
- ה. כל חוות הדעת יצורפו למסמכים המופקדים ברשות המקומית ויהוו חלק מהתנאים למתן היתר בנייה.
- ו. לכל תוכנית מתאר, או לתוכנית מפורטת הכוללת בנייה הכפופה לדרישות לתכן לרעידות אדמה, תיערך סקירה גאולוגית שמטרתה לבחון הימצאות העתקים פעילים והעתקים חשודים כפעילים, ומסקנותיה יהוו חלק בלתי נפרד ממסמכי התכנון.

#### 202.1.3. קרבה להעתק חשוד כפעיל

הכתוב בסעיף יושמט, ובמקומו ייכתב:

- א. להעתק החשוד כפעיל יש להתייחס כהעתק פעיל אלא אם כן יוכח אחרת.
- ב. אם נערכה חקירה גאולוגית בשטח, ונמצאו ראיות לכך שההעתק שסומן במפת ההעתקים של המכון הגאולוגי (ראו נספח ז) כחשוד כפעיל, אינו העתק פעיל - יועבר דוח החקירה למכון הגאולוגי לאישור הממצאים.
- אם הממצאים יאושרו וההעתק יוגדר כהעתק שאינו פעיל - הבנייה מותרת.
- אם לא נעשתה פנייה למכון הגאולוגי לאישור הממצאים - יחולו על הבנייה בקרבת ההעתק המגבלות המפורטות בסעיף 202.1.2 בנוגע להעתק פעיל.

## איור 2: סעיפי התקן הישראלי 413 ג.ת. 6 הנוגעים להעתקה

בניגוד לכך, ובהתאם למחקרים ותצפיות אלו הגישות המובילות הנהוגות היום בעולם בנושא זה, בטיוטת התקן האירופאי החדש בנושא EC 8-5 (ציטטה באיור 3), וכן בהתאם לעקרונות המוצגים אצל דור ודייוויס (2018), מכוונות לתכנון כנגד פגיעה מהעתקה אפשרית ולא הגבלת הבניה (ראה פירוט בסעיף 2.2.1).

### 7.1.2 Potentially active seismic faults

(1) In the presence of active tectonic faults [...] structures of Consequence Classes CC2 and CC3 should only be constructed if a) and b) are satisfied:

- a) a continuous stiff foundation is provided,
- b) the soil cover exceeds a certain thickness  $H_{cov}$  between the rock formation and the foundation elevation.

(2) The depth  $H_{cov}$  defined in (1) may be taken from Figure 7.1.

(3) The foundations of structures of Consequence Classes CC2 and CC3 satisfying (2), constructed in the vicinity of tectonic faults, should be designed to minimize the effect of faulting on the structural performance of the structure. Bearing piles **should not be designed to cross the potential fault plane**, and their tip should be located at least 5 diameters away from this plane.

NOTE 1. The vicinity of a potential fault means a relative broad region (of the order of a few hundred meters) from a hypothesized (or even previously activated) fault line.

NOTE 2. To satisfy (3), design of appropriate foundations can include interventions in the soil under or surrounding the structure.

(4) For extended structures, like bridges, underground structures and tunnels, special provisions should be taken to accommodate differential displacements, or to design adequately stiff foundations.

(5) The simultaneous effects of fault rupture with structural vibrations due to ground shaking may be neglected.

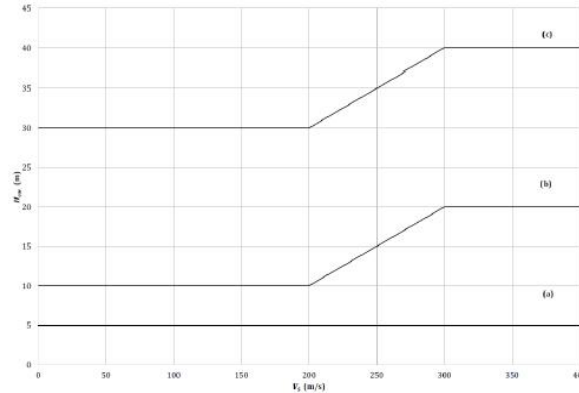


Figure 7.1: Thickness  $H_{cov}$  of minimum allowed soil cover versus average soil shear wave velocity vs in depth of influence of foundation: (a) low seismicity; (b) moderate seismicity; (c) high seismicity

איור 3- ציטטה מטיוטת התקן האירופאי החדש EC 8-5, בנושא העתקה (ההדגשה ע"י י.א.)  
From new EC8-5 (expert committee draft)

פירוט הנחיות כלליות הנדרשות לתכן המבנים, כולל העמדה אדריכלית, תכנון קונס' וביסוס בסעיף הבא.

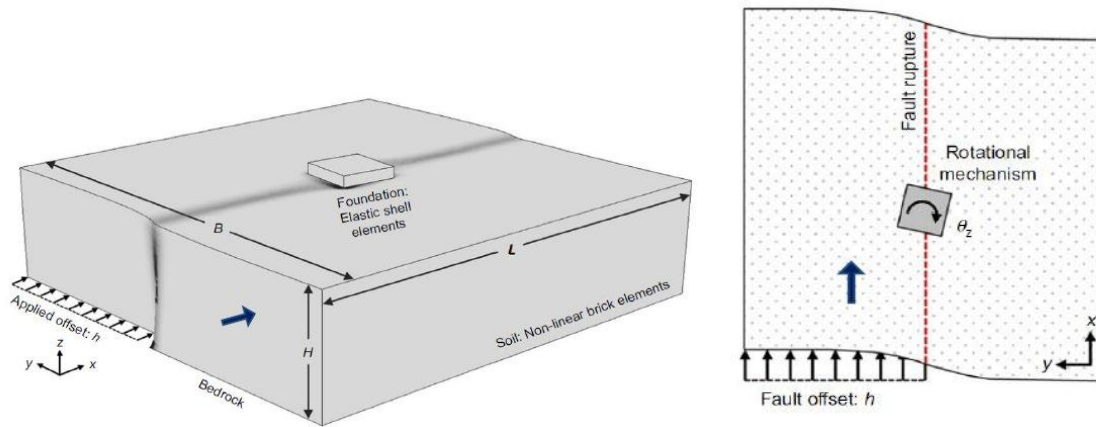
## 2.2 הנחיות ועקרונות תכן להעמדת מבנים אדריכלית, ותכן מבנים וביסוס בכל שטח התוכנית המתאימים כנגד קריעת פני שטח

### 2.2.1 הגישה המומלצת לטיפול במבנים אזור ההעתק וסביבתו

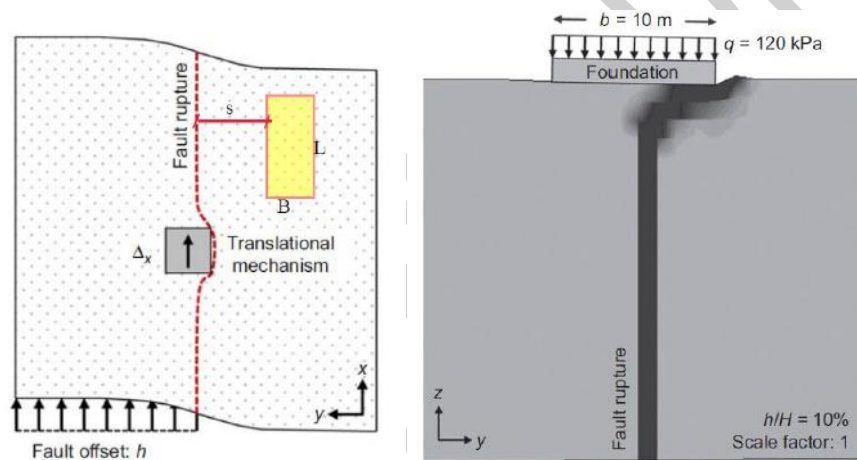
השאלות ההנדסיות הן האם ואיפה עשויה להתרחש הרעידה הבאה, ומה יהיה גודל הקריעה בפני השטח. במצב הידע הנוכחי אין כנראה תשובות מוחלטות לשאלות אלה. לפי הניתוח שפרופ' גזטס הכין לפיכך ניתן לטעון כי יש להתייחס לכל האזור כעל פוטנציאל לחוות קריעת פני שטח. הנחיות להשגת עמידות זאת יינתנו בשלושת הסעיפים הבאים.

### 2.2.2 אינטראקציית העתק סיסמי אופקי (strike slip) ומבנה

a. ניתן להתנגד לפגיעה מהעתקה אופקית בשימוש ביסודות קשיחים ורציפים, כפי שמכתיב למעשה התקן האירופאי (Eurocode), בגרסתו שתצא לאור בקרוב (ראה ציטוט מובא באיור 5). מחקר פרמטרי שנערך לאחרונה על תגובת יסודות דוברה קשיחים המוקמים מעל קו העתקה אופקית, העולה מסלע, באמצעות מידול בתלת מימד, ע"י Agalianos et al (2019), מראי מקום **בנספה ב'**, נמצא שקיימים 3 מנגנונים מכניים נפרדים שיכולים להתפתח: סיבוב, העתקה אופקית והישארות במקום ללא תגובה. באיורים 4 ו-5 מתארים 2 מהם.



**איור 4 - Sketch of a strike-slip fault under the middle of a square foundation causing rotation** (right: plan of the horizontal surface; left: 3D view). *Adapted from Agalianos et al, 2019.*



**איור 5 - Sketch of a strike-slip fault hitting under the 1/3 of the width from the side of a square foundation causing very small horizontal translation  $\Delta x$  along the fault strike** (right: plan of the horizontal surface; left: vertical section through the middle). *Adapted from Agalianos et al, 2019*

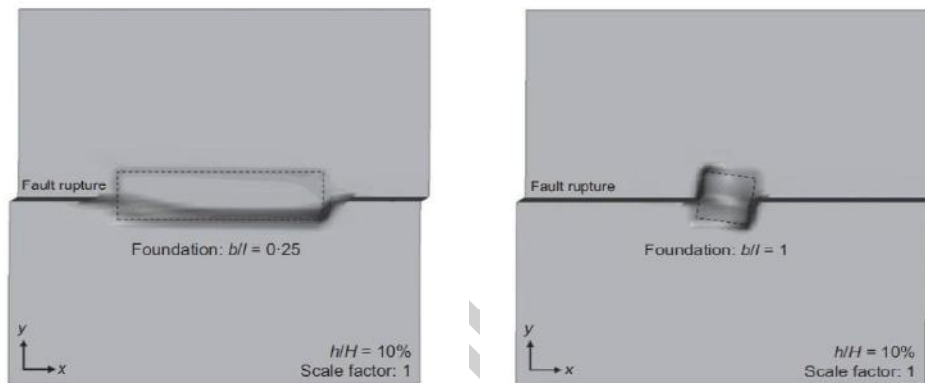
עבור פלטת יסוד מלבני קשיח לחלוטין שדפנותיו, אורך L ורוחב B, בהתאמה מקבילות ומאונכות לעקבת העתקה, הפרמטרים השולטים במנגנון (מוד) התגובה הם:

- $\Delta$  - גודל הייסט (ההעתק) האופקי שנמדד בשדה החופשי (לא בקרבה למבנים).
- $\mu$  - מקדם החיכוך, בין בסיס פלטת היסוד לבין קרקע הביסוס.
- $s/B$  - המיקום היחסי של פלטת יסוד ביחס לקו העתקה; זהו היחס בין המרחק, s, מדוד בניצב לקו העתקה (בשדה החופשי) לצד פלטת היסוד המקביל והקרובה אליו, ורוחב B של הפלטת יסוד. סימון באיור 5.
- $L/B$  - יחס הממדים של הפלטת יסוד, כלומר האורך L (במקביל להעתקה) חלקי רוחב B (בניצב לקו העתקה).
- P - העומס שנושאת פלטת היסוד.
- Jz - מומנט האינרציה הפיתולי של פלטת היסוד ביחס למרכז הכובד שלה.

ראוי לציין כמה מסקנות כלליות של מחקר הפרמטרים שהוזכר, לגבי מגמות הנוגעות לתנועת היסוד.

ראשית, יש להבין כי תנועתו של מבנה המונח על גבי העתקה אופקית מושפעת מכוחות החיכוך בין תחתית הפלטת יסוד לבין קרקע הביסוס. אם נניח ומקדם החיכוך של הממשק היה אפס ( $\mu = 0$ ), הקרקע תנוע אך המבנה לא יעקוב אחרי התנועה ויישאר במקומו (במקרה שהתנועה אופקית לחלוטין, ללא מרכיב אנכי). התרחשות העתקה קרוב לדפנות היסוד (כלומר כאשר  $s/B < 0.3$ ) נוטות להוביל להעתקה אופקית, ואילו העתקה שמתרחשת קרוב לקווי האמצע של פלטת הביסוס ( $s/B > 0.3$ ) מוביל בדרך כלל לסיבוב (ראה איורים 4 ו-5).

- יסודות ריבועיים קצרים נוטים להסתובב אם הם נפגעים קרוב לאמצע.
- יסודות מלבניים מוארכים ( $L/B \gg 1$ ) נוטים לנוע במקביל לרוחב ההעתקה, אם היסוד מונח ברובו בגוש שזז, או אפילו להישאר נייחים, אם היסוד מונח ברובו בגוש הסטטי, כמתואר באיור 6.



**איור 6 – Different response to strike-slip faulting emerging through the middle of two foundations:** (a) of a square foundation that is undergoing rotation – top; and (b) of a rectangular foundation with aspect ratio  $L/B = 4$  which causes the fault to almost completely deviate and leave the foundation intact – bottom.

מומנט האינרציה לפיתול, וגודל ההיסט בהעתקה, בעלי השפעה על התגובה של היסודות בהעתק. מנגנון ההעתקה חורג (באופן חלקי או מוחלט) מתזוזת השדה החופשי שלו, בתלות במשקל שהוא נושא, ובמיוחד מערך מומנט האינרציה לפיתול של פלטת היסוד. ככל שהאחרונים בעלי ערכים גדולים יותר, עקיפת עקבת ההעתק בולטת יותר.

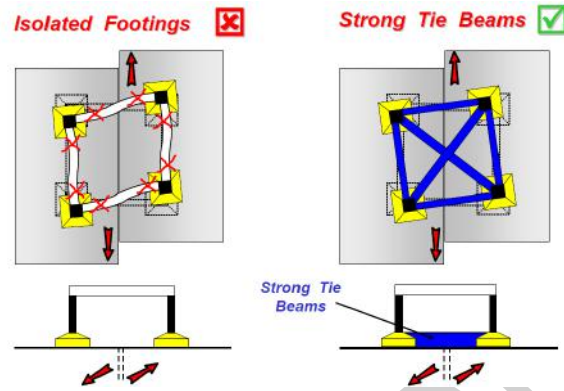
פרמטר נוסף שמשפיע על האינטראקציה הוא הדרך שבה המבנה העילי נתמך על פלטת הביסוס. לדוגמה, מבנה גבוה שנוטה עקב כוחות האינרציאליים שהתפתחו בו ברעידת האדמה, ילחץ חלק מסוים מדוברת הביסוס, ישנה את מידת הלחץ ומידת היסוד שבמגע עם הקרקע.

### 2.2.3 הנחיות תכן כלליות ע"פ מחקריו של פרופ' גזטס

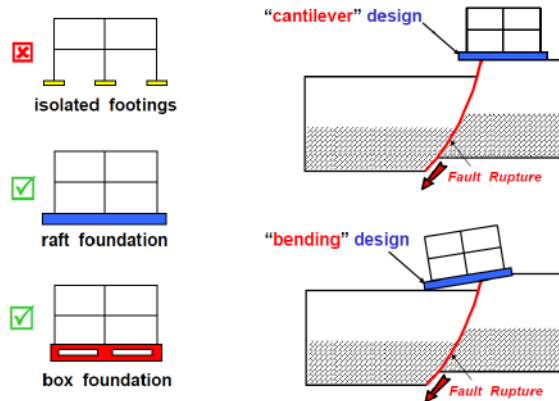
בהתבסס על התוצאות המוזכרות במחקר הפרמטרי המספרי לעיל ועל תצפיות במספר רב של רעידות אדמה, ניתן לספק כמה כללים פשוטים ליישום עבור תכנון יסודות הבניינים והעמדה אדריכלית נכונה באזור התוכנית. כמוכן שלא כל הכללים הללו הם מוחלטים, ויש להתייחס אליהם כמסמך הנחיות בסיסיות.

**במידה ויוכח כי אכן קיימת שכבת קרקע רכה ועמוקה באזור הנבחן בסיווג F-D**, ניתן יהיה להתיר בנייה באזור באופן שמאפשר לעמוד בדרישת סעיף 202.1.2 סעיף קטן ג' בת.י. 413.6 ובטיוטת תקן EC8-5 המצוטטות באיורים 2 ו-3 לעיל.

- על הבניינים להיות בעלי בסיס רציף וקשיח (דוברה, חתך ארגז, רשת קורות, וכו'). זהו הכלל המחמיר היחיד שיש להקפיד עליו בכל תנאי. אין שום בעיה עם רשת (גריד) של יסודות קשיחים, הקשורים בפלטה ועיבויים/קורות. באיורים 7 ו-8 מתארות סכימות ביסוס, מתאימות ולא מתאימות, למקרה העתקה אופקי ואנכי בהתאמה.



איור 7 - סכימת בסיס למקרה העתקה אופקית: מוקשחת נכונה - מימין, ושגויה עם יסודות בודדים - משמאל



איור 8 - סכימת בסיס למקרה העתקה אנכית + אופקית: למעלה משמאל יסודות בודדים - שגוי, באמצע ולמטה, יסוד דוברה וקופסא (או דוברה עם עיבויי קורות) - נכון

- אין להשתמש בבלונסאות. אם יש בעיה של שקיעות מבנה, יש לבצע החלפת קרקע או הגדלת עמידותה באמצעות pile raft, jet grouting, וכד'.

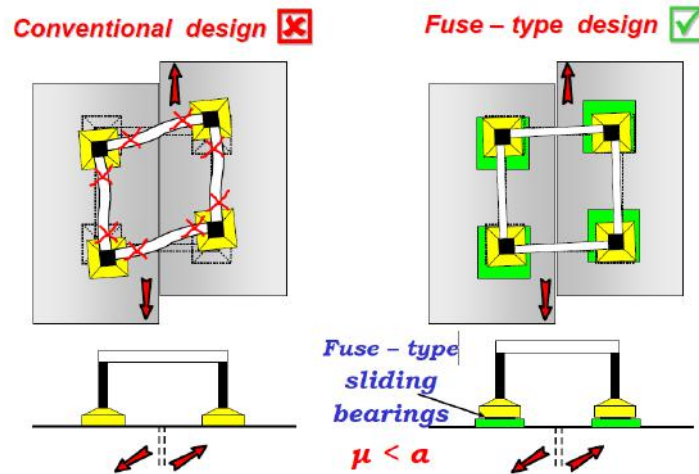
- הנחייה לאדריכלים: עדיף שתנוחת הבניינים תהיה בצורת מלבנים מוארכים, בשהצד הארוך מקביל לקו ההעתקה המשוער. שינוי שטח קומות בחלקים העליונים, כולל נסיגות ובליתות אפשריים. ניתן לשנות תצורות בחלק העילי, מעל הביסוס, ככל שחישוב ההנדסי יתיר זאת.

- עדיף שהבניין יכיל מספיק קומות כך שהמשקל ומומנט האינרציה הפיתולי האפקטיבי הכולל יהיו גדולים מספיק כדי להגביל או אפילו למנוע את סיבוב הבניין. הנחיות לבחינת יציבות של מבנה ניתנות בסעיף הבא.

- אם לא ניתן למלא את חלק משתי ההמלצות הנ"ל, מספר פעולות חלופיות יכולות לעזור למזער גם את הסיבוב וגם את ההעתקה האופקית. למשל, אפשר להפחית את מקדם החיכוך בין האדמה ליסוד באמצעות הכנסת שכבה בעלת חומר עם חיכוך נמוך, שתאפשר החלקה מתאימה, או שאפשר לבודד את מבנה העל

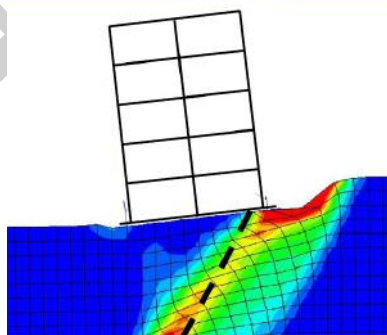


מהבסיס על ידי הפרדת השניים והכנסת מבודדי בסיס עם מקדם חיכוך נמוך (בצורת אלאסטומרים או מבודדי החלקה קוניים), שהוכחו כפתרון יעיל מאוד לבניה בקרבת קווי העתק, ראה **איור 9**. **מבודד כזה** ישמש התקני בידוד בסיס ויסייע גם בהקטנת התגובה הסיסמית של המבנה, לפי תכנון מתאים ובקרה בלתי תלויה על התכנון כמתחייב לפי התקנים בנושא זה.



**איור 9** - סכימת ביסוס עם מבודדי בסיס - הוכח כפתרון יעיל ביותר לבניה על קווי העתק.

- בכל המקרים (ובמיוחד אם מוצגים מבודדי בסיס) על המבנה להיות מסוגל להכיל תזוזות דיפרנציאליות ביחס לקרקע ולסביבה, ולכן יש להשאיר מרווחים מספיקים ולתכנן את המבנה לתזוזות דיפרנציאליות של **XXX** ס"מ בכיוון אופקי (לכל הכיוונים) ו- **YYY** ס"מ בכיוון אנכי (למעלה או למטה), (ערכים **XXX** ו- **YYY** ייקבעו לפי חקירה ספציפית לאתר מסוים).
- יש לתכנן את המבנים לאפשרות שהמבנה יטה על צידו (**איור 10**) בגלל שקיעה באזור הקריעה. במבנים גבוהים יש לקחת זאת בחשבון ולקחת בחשבון השפעות אפקט  $P-\Delta$ .



**איור 10** - סכימת ביסוס עם מבודדי בסיס - הוכח כפתרון יעיל ביותר לבניה על קווי העתק.

- \*הסכמות באיורים 7-10 לקוחות מתוך מצגת של פרופ' גזטס בנושא - מס' 2010 - מצורף **כנספח ב'** למסמך זה.
- צינורות הנכנסים לבניינים יצוידו בחיבורים גמישים מיוחדים. הנחיות מפורטות יותר בנושא מערכות וצנרת ניתנות בפרק 2.3.

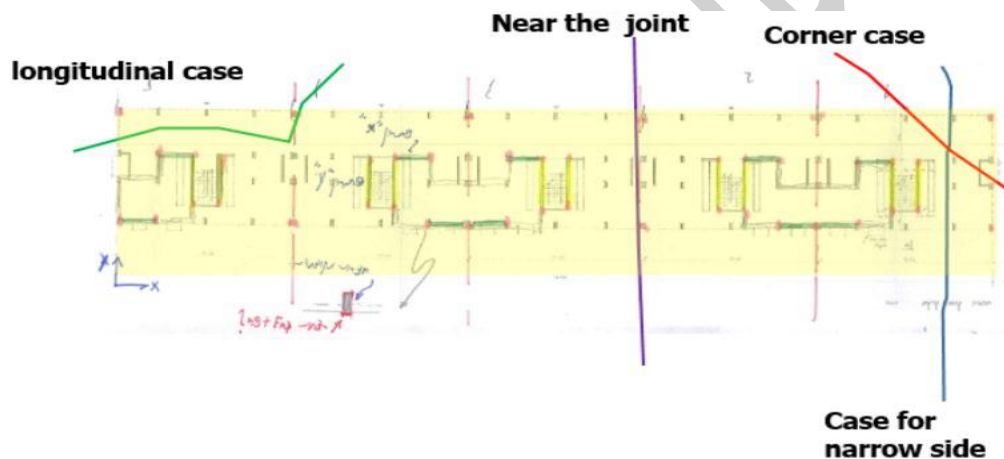


#### 2.2.4 דוגמה לגישת תכנון למבנה

כאשר בוחנים מבנה יש לכלול במודל המתמטי את היסודות ולבצע אינטראקציית קרקע-מבנה כפי, שמוסבר בסעיף 5.2 במסמך קריטריוני התכן הסיסמיים. יש לנתח מספר תרחישי קריעה קריטיים אפשריים בפינות המבנה או בקרבת החזית הצרה יותר. במקרה והמבנה מתוכנן לפי ההנחיות עם ביסוס דוברה או רשת (גריד) קורות קשיחות ורצה קושרת, ניתן לבצע אנליזה סטטית פשוטה של עומסי הכבידה, כאשר חלק היסודות מעבר לקווי הקריעה המוערכים מושמטים, לדימוי השקיעה של מספר ס"מ הצפויה.

באיור 11 מסומנים על גבי מבנה לדוגמה, המורכב מ-5 תתי מבנים מחוברים, קווי קריעה אפשריים בפינות ובחלק שלם של החזית הצרה. נוסף קו באזור מישק כדי לבחון מצב מסוכן שבו הדוברה לבדה מתמודדת עם הקריעה, לבחון אם נדרשת עזרת המבנה ויש צורך לחבר בין תתי המבנים לצורך עמידה במצב זה.

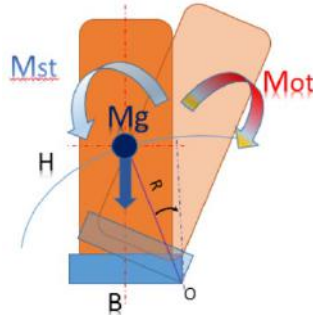
המתכנן במסגרת התכנון המפורט, יוכל לקבל ממומחים המלצות תכנון ספציפיות יותר עבור תוכניות מיוחדות של מבנים המתוכננים במסגרת הפרויקט.



איור 11 - דוגמה לסימון קווי עקבה של העתק על גבי תוכנית בנין

## 2.2.5 הערכה מקורבת של יציבות מבנה תמיר

לצורך הערכת יציבות בסיסית, למבנה תמיר שמבוסס על דוברה, ועלול תיאורטית להתהפך (ראה איור 12), ניתן לחשב בקירוב טוב את עמידות המבנה להיפוך בעזרת הליך בדיקה המצוי בתקינה האמריקאית ASCE 41-17.



**איור 12** – סימון מומנט מייצב  $M_{st}$  ומומנט מהפך  $M_{ot}$ , של מרכז הכובד סביב קצה היסוד על סקיצה של מבנה מלבני גבוה הנוטה על פינת יסוד רדוד/דוברה

לפי נוסחה 7.6 בסעיף 7.2.8.1 (ראה גם איור 13 – פסקאות רלוונטיות מצורפות מתקן ASCE-17):

$$0.9M_{ct} > MOT / (C1 * C2 * UoT) \quad (7.6)$$

כאשר:

$M_{st}$  – מומנט מייצב של המבנה, סביב נקודת הסיבוב (פינת פאת היסוד – נקודה  $o$  באיור 12) המושג בעזרת משקל עצמי וקבוע בלבד.

$M_{ot}$  – מומנט מהפך, סביב נקודת הסיבוב הנ"ל, לפי חישוב סטטי אקוויוולנטי בהתאם לדרישה הסיסמית ופריסת כוחות האינרציה לגובה הבניין, בצורת התנודה הבסיסית הדומיננטית בכיוון הצר שלו.

$U_{ot}$  – מקדם הקטנה להיפוך, כאשר עבור מבנים בקריטריון להצלת חיים  $LS$  המקדם יהיה 8 ועבור מבנים בקריטריון המחייב המשך פעילות מיידית  $IO$  המקדם יהיה 4.

$C_1, C_2$  – פרמטרים למידת משיכות המבנה, וקירבת צורת התגובה ההיסטרטית שלו לתצורה צרה בהתאמה. ניתן להניח 1.0 עבור שני המקדמים עבור זמני מחזור בסיסיים, (ראה הגדרות באיור 13)

**7.2.8 Overturning.** Buildings shall be evaluated or retrofitted to resist overturning effects caused by seismic forces. Each vertical-force-resisting element receiving earthquake forces caused by overturning shall be investigated for the cumulative effects of seismic forces applied at and above the level under consideration. The effects of overturning shall be evaluated at each level of the structure as specified in Section 7.2.8.1 for linear procedures and Section 7.2.8.2 for nonlinear procedures. The effects of overturning on foundations and geotechnical components shall be considered in the evaluation or retrofit of foundation regarding strengths and stiffnesses as specified in Chapter 8.

**7.2.8.1 Overturning Effects for Linear Procedures.** Where linear procedures are used, overturning effects shall be resisted through the stabilizing effect of dead loads acting alone or in combination with positive connections of structural components to components below the level under consideration.

Where dead loads alone are used to resist the effects of overturning, Eq. (7-5) shall be satisfied:

$$M_{ST} > M_{OT}/(C_1 C_2 J) \quad (7-5)$$

where

$M_{OT}$  = Total overturning moment induced on the element by seismic forces applied at and above the level

under consideration. Overturning moment shall be determined based on seismic forces calculated in accordance with Section 7.4.1 for LSP and 7.4.2 for LDP;

$M_{ST}$  = Stabilizing moment produced by dead loads acting on the element;

$C_1$  and  $C_2$  = Coefficients defined in Section 7.4.1.3.1; and  
 $J$  = A coefficient defined in Section 7.5.2.1.2.

The quantity  $M_{OT}/(C_1 C_2 J)$  need not exceed the overturning moment on the element, as limited by the expected strength of the structure. The element shall be evaluated for the effects of increased compression at the end about which it is being overturned. For this purpose, compression at the end of the element shall be considered a force-controlled action.

Alternatively, the load combination represented by Eq. (7-6) shall be permitted for evaluating the adequacy of dead loads alone to resist the effects of overturning.

$$0.9M_{ST} > M_{OT}/(C_1 C_2 \mu_{OT}) \quad (7-6)$$

where

$\mu_{OT}$  = 10.0 for Collapse Prevention;  
 = 8.0 for Life Safety; and  
 = 4.0 for Immediate Occupancy.

Where Eq. (7-5) or (7-6) for dead load stability against the effects of overturning is not satisfied, positive attachment between elements of the structure at and immediately above and below the level under consideration shall be provided. Positive attachments shall be capable of resisting earthquake forces in combination with gravity loads as deformation- or force-controlled actions in accordance with Eq. (7-34) or (7-35) and applicable acceptance criteria of Eq. (7-36) or (7-37), respectively.

$C_1$  = Modification factor to relate expected maximum inelastic displacements to displacements calculated for linear elastic response. For fundamental periods less than 0.2 s,  $C_1$  need not be taken as greater than the value at  $T = 0.2$  s. For fundamental periods greater than 1.0 s,  $C_1 = 1.0$ .

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{\text{strength}} - 1}{aT^2} \quad (7-22)$$

where

$a$  = Site class factor;  
 = 130 site Class A or B;  
 = 90 site Class C;  
 = 60 site Class D, E, or F;

$\mu_{\text{strength}}$  = Ratio of elastic strength demand to yield strength coefficient calculated in accordance with Eq. (7-31) with the elastic base shear capacity substituted for shear yield strength,  $V_y$ ;

$T$  = Fundamental period of the building in the direction under consideration, calculated in accordance with Section 7.4.1.2, including modification for SSI effects of Section 7.2.7, if applicable;

$C_2$  = Modification factor to represent the effect of pinched hysteresis shape, cyclic stiffness degradation, and strength deterioration on maximum displacement

להלן דוגמה לחישוב סכנת ההיפוך.

אורך המבנה (לתוך הדף)	L=	35	[m]
רוחב יסוד בצד הצר	B=	16	[m]
גובה המבנה	H=	80	[m]
גובה מרכז כובד	h=H/2	40	[m]

**מימדי מבנה (דוגמא)**

Wtotal= 156,800 KN  
 ΣFy\_seismic= 54,880 KN

**עומסים (דוגמא)**

משקל המבנה  
 עומס סיסמי אופקי אקוולנטי לפי  
 סקר האתר במרכז הכובד.  
 יחס כוח אופקי למשקל

ΣFy\_seismic/Wtotal= 0.35 [g]

$$0.9M_{ST} > M_{OT}/(C_1C_2\mu_{OT})$$

**בדיקת היפוך מקורבת (7-6)**

לקריטריון הצלת חיים LS 8

מקדם הקטנה (טבלה מעל) Uot

Mot=ΣFy\*h 2,195,200 [kN\*m]  
 Mst= 1,254,400 [kN\*m]  
 C1= 1.0  
 C2= 1.0

מומנט הופך  
 מומנט מחזיר  
 הנחה שזמן מחזור גבוה מ.1  
 "

0.9\*Mct= 1,128,960

Mot/(C1\*C2\*Uot)= 274,400

יחס דרישה לתסבולת DCR= 0.243 קטן מ.1 אין סכנה להיפוך  
 עבור Uot =4 לקריטריון IO DCR= 0.486 במידה ונתייחס למבנה בעל חשיבות ציבורית:  
 עדיין אין סכנה

**2.3 הנחיות מיוחדות לתכן צנרת ומערכות באזור העתק פעיל/חשוד כפעיל.**

קו תשתית על או תת קרקעי, החוצה קו העתק, עלול לספוג נזק שיגרום לדליפת הנוזלים שבו או אף להיקרע לחלוטין. ככל שהחומר ממנו עשוי קו התשתית, והתוואי שבו עובר ותמיכותיו קשיחים יותר (בד"כ הקשיחות עולה גם עם הגדלת הקוטר), הסכנה לנזק גדלה.

קיימים מדריכים מיוחדים לתכן קווי צנרת החוצים קווי העתק. אחד מהם הוא המדריכים של גוף American Lifelines Alliance לקווי מערכות (ALA, 2005), שאותם ניתן להוריד בחינם בקישורים הבא:

<https://www.americanlifelinesalliance.com/pdf/Updateo61305.pdf>  
<https://www.americanlifelinesalliance.com/Products.htm#WaterPipelines>

במדריך זה ניתנות הנחיות לתכן הצינור להעתקה סיסמית (פרק 8) ולתנודה סיסמית (פרק 11). הנחייה מפורטת לתכן מערכות לעומסי רעידות אדמה חורגת מהיקף מסמך זה.

## 2.4 הנחיות לתכן מבנים ומתקנים באזור רצועת ההעתקה ברוחב 30 מטר בתחום התוכנית

כאמור לעיל, רצועת ההעתקה לאורך תחום התוכנית נקבעה ע"ס דרישות סטטוטוריות, ואין מבחינה הנדסית שום שוני בינה לבין שאר אזור התוכנית, שכולו, כאמור, בעל פוטנציאל להיות נתון לקריעת פני שטח, ולכן הכללים שהודגשו בסעיף 2.2 תקפים גם לפה.

בהתאם להנחיות ת"י 413 ג.ת. 6 לגבי איזור העתקה פעילה בסעיף 202.1.2 ג' (ראה **איור 2**):

א. **ניתן לבנות מבנים נמוכים** שאינם מאוכלסים, המשמשים לאחסנה, חקלאות או למבנה ארעי, כמפורט בסעיפים 103.6.3-103.6.5 בתקן.

ב. **ניתן לבנות מבנים מאוכלסים**, כאשר הקרקע מסווגת F-D, במידה ומוכח באמצעות חישוב מפורט\* כי המבנה יעמוד בדרישות תקן זה, בהתחשב בתזוזות יחסיות שמקורן בסלע, וכן להוכיח כי אזור/רצועת הגזירה בקרקע אינה נמצאת בתחום המבנה לרבות רכיבי הביסוס שלו.  
**\* הערה: חישוב מפורט ייעשה ע"י מומחה מקובל בתחום.**

## 3 רשימת מקורות

- 1 EILAT OLD AIRPORT AREA: EARTHQUAKE-FAULT HAZARD (2019), SGM Seismic & Geotechnical Mechanics- Report by George Gazetas, December 2019.
- 2 ASCE 41-17 (2017), *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- 3 EN 1998-1 (2004), *Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings*, European Committee for Standardization.
- 4 EN 1998-3 (2005), *Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings*, European Committee for Standardization.
- 5 ת"י (תקן ישראלי) 413 (1998, 2004, 2009, 2013, 2015, 2016), *תכן עמידות מבנים ברעידות אדמה*, מכון התקנים הישראלי.
- 6 סקר סיכוני רעידות אדמה ראשוני עבור תכנית המתאר של אילת מס' תכנית 270/02/2, נספח מס' 4.13 (2019), הוכן ע"י ד"ר אורי דור עבור מנהל התכנון (יולי 2019).
- 7 מכתב בנושא אי התייחסות מספקת לסיכוני רעידות אדמה בתכניות מתאר מקומיות באילת (2019), ועדת ההיגוי הבין-משרדית להיערכות לרעידות אדמה, דצמבר 2019.
- 8 מיפוי סיכונים סייסמיים וגיאולוגיים ברזולוציה גבוהה באזור אילת והערבה הדרומית-השלכות על תחום הבנייה והתשתיות באזור העיר אילת, מסקנות מעבודות המכון הגיאולוגי במהלך השנים 2018-2016: מסמך עמדה (2018), המכון הגיאולוגי לישראל, יולי 2018