

החוזק לגזירה לפי ת"י 413

ד"ר א. פיזנטי

מבוא

במבנים מבטון מזוין שני רכיבים עיקריים מקבלים כוחות אופקיים עקב רעידות אדמה: קירות קשיחים (כולל פירי מעליות וחדרי ממ"ד) ומסגרות. יעילותן של המסגרות נמוכה ככל שמש' הקומות עולה, כמו כן רמת ואיכות פרטי הברזל בהן מורכבים הן לתכנון והן לביצוע וכתוצאה מכך הקירות מהווים את הרכיב העיקרי לקבלת כוחות עקב רעידת אדמה. יש כמובן מערכות משולבות של קירות בני אולם גם אלה משמשים בנינים נמוכים (לרוב עד 2 קומות).
התעורר ויכוח על התסבולת הדרושה לגזירה של קירות לעומת כוחות הגזירה המתעוררים כתוצאה מהפעולה הדינמית של כוחות רעידת האדמה. דברים אלה כאן באים לשפוך אור על ויכוח זה ולהחזירו מהמישור הפוליטי אל המישור ההנדסי.

המצב לפני גליון התיקון מס' 3 לת"י 413 [2]

התקן 413 [1] במקורו (כולל גליון תיקון מס' 1 ו 2) התבסס על [3] EC8 אולם בגירסתו משנת 1968. לפי גירסה זו כוח הגזירה בעקבות אנליזה סטטית אקוילנטית הוכפל במקדם הגברה ω (נוסחאות 70 או 71 שם) אשר אינו עולה על 1.5.
בשים לב לכך שתסבולת התכן לגזירה מכילה בתוכה מקדם בטחון 1.5 ובשים לב לכך שכוחות עקב רעידת אדמה הם כוחות אופייניים (ללא מקדם בטחון חלקי לעומס), מקדם הבטחון המשולב, הכולל לגזירה לא עלה על 2.25, ערך נמוך בצורה שערורייתית בהביא בחשבון שאותו מקדם בטחון משולב לגזירה היה קיים אלמלי היה העומס עקב רעידת אדמה (כלומר עומס מחזורי) אלא עומס סטטי רגיל, בו מקדם הבטחון החלקי לעומסים היה בממוצע 1.5.
אין ספק כי נדרש שנוי ושנוי זה היה דחוף ממש - מייד.

המצב לאחר גליון תיקון מס' 3 לת"י 413

בגליון תיקון מס' 3 תוקנו מקדמי ההגברה כלהלן:

באנליזה סטטית שקילה:

$$\omega_{elf} = 0.75 + 0.22(T + K + TK) \geq 1.5 \quad (70)$$

ובאנליזה מודלית:

$$\omega_{ma} = \frac{0.75 + 0.22(T + K + TK)}{\omega_{elf} (K = 1)} \geq \max(1.5; 0.5\omega_{elf}) \quad (71)$$

בהתחשב במקדמי K הקיימים בתקן ובהנחת $T = 1$ ובהנחה כי זמן המחזור T נקבע באותה השיטה באנליזה סטטית שקילה ובאנליזה מודלית, נוסחה (70) נותנת מקדם הגברה 3.17 ונוסחה (71) נותנת מקדם הגברה 2.25 (עבור $K=5$). ערך זה (2.25) נמוך מדי.
הערך המינימלי של 1.5 בשתי הנוסחאות בהחלט לא סביר ויש להעלות אותו בשים לב לשיקולים אשר הועלו לעיל. היה רצוי כי הערך המינימלי בשתי הנוסחאות יהיה 2.5.

תסבולת הקיר לגזירה

יש טענה חוזרת כי הנוסחה (73) הקיימת הינה גבול עליון יותר מדי נמוך של התסבולת לגזירה.

טענה זו אינה נכונה והבדיקה הבאה תוכיח זאת.

הנוסחה קובעת: (73) $V_d \leq 5f_{vd} A_g$ ולמעשה $V_d \leq 2.5\tau_{dl} b_w h$
 הערך של τ_{dl} צריך להילקח מהגירסה הקודמת של חוקת הבטון דהיינו יתאים לערכים להלן:

סוג הבטון

מנת הזיון האורכי	ב30	ב40	ב50
≥ 0.005	1.0	1.1	1.2
$= 0.010$	1.2	1.4	1.5
≥ 0.015	1.4	1.6	1.8

מנת זיון אורכי 0.005 הינה נמוכה ובלתי סבירה. לעומתה מנת זיון אורכי 0.015 הינה בהחלט בתחום האפשרי והלא חריג, לפיכך נוסחה (73) עבור סוגי הבטון לעיל ומנות זיון אורכי 0.01 ו 0.015 תתן:

$$V_d \leq 2.5\tau_{dl} b_w h$$

מנת הזיון האורכי	ב30	ב40	ב50
$= 0.010$	$3.0 b_w h$	$3.5 b_w h$	$3.75 b_w h$
≥ 0.015	3.5	4.0	4.5

מה היה קורה לו השתמשנו בתסבולת לגזירה כפי שמופיעה ב EC2 ? שם מופיע:

$$V_{Rd,max} \leq 0.50.6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] f_{cd} b_w z \left\{ \leq 0.27 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] f_{cd} b_w h \right\}$$

כמובן שהערכים ב EC2 הם עבור בטונים שחוזקם נמדד בגליל ומקדמי הבטחון הם לא שלנו, אולם לאחר התאמת הנוסחה הנ"ל עבור הבטונים המקובלים בישראל, לפי אותו פורמט מקבלים:

$$V_{Rd,max}$$

ב30	ב40	ב50
$3.44 b_w h$	$4.49 b_w h$	$5.47 b_w h$

ניתן לראות כי רק עבור בטון 50 היישום של $V_{Rd,max}$ יביא שנוי של ממש! (22%) אי לכך הצעקה אינה מוצדקת.

גליון תיקון מס' 4 לתקן 413

בעת כתיבת מאמר קצר זה ישנו "בתנור" גליון תיקון 4 לת"י 413. תהיה לפיו דרישה להקטין את $V_{Rd,max}$ עד ל 40% מערכו באיזור הקריטי. לפי מה? לפי סעיף ב EC8 אשר מתייחס לקירות ברמת משיכות גבוהה בלבד. אם ענין זה ייתקבל – זו תיהפך לבעיה ממש ולא בטוח לגמרי בצדק.

ראשית: EC8 מייחד את הדרישה הזאת לדרגת משיכות הגבוהה בלבד (3 אצלנו). שנית: בפרשנות של EC8 נאמר בפירוש כי תוספת בטחון כנ"ל לא יושמה לגבי יתר רמות המשיכות מאחר והמידע הגיע ממקור אחד בלבד [4] ועד שלא יאושר ממקורות נוספים – מהססים להרחיב על כל רמות המשיכות. מבלי להיכנס לפרשנות עמוקה בענין זה, שכן הבעיה היא רבת פרמטרים, פרסום נוסף [5] מאותו המקור לא קורא לאמצעי דרסטי כזה שכן הוא אינו מצליח למקד בעיה ברמת סיכון כזאת הדורשת מקדם בטחון משולב בגודל כפי שעשוי להיות אצלנו: $11.25 \sim 2.5 \times 3.0 \times 1.5$.

סיכום

הפעלת מקדם ההגברה הדינמי על כוחות הגזירה בקירות היא ענין שלא סובל דיהוי של יום אחד. התסבולת לגזירה לפי נוסחה (73) בתקן בגירסתו הקיימת אינה אסון – אפשר להיות אתה. לדעת המחבר דרגת משיכות 3 (העליונה בתקן שלנו) היא בעיית מבחינות רבות, כולל קונספטואלית, ומכל הסיבות לא כדאי לתכנן לפיה, וממילא לא חשוב איזו דרישה למקדם בטחון נוסף לגזירה תחול עליה. אם תהיה דרישה להפחתת $V_{Rd,max}$ גם בדרגת משיכות 2 – יש לנהל על זה דיון ציבורי.

מקורות

- [1] ת"י 413 תכן עמידות מבנים ברעידות אדמה – כולל גליונות תיקון 1 ו 2.
- [2] ת"י 413 גליון תיקון 3 – ספטמבר 2009.
- [3] Eurocode 8 – Design of structures for Earthquake Resistance. EN 1998-1: 2004.
- [4] Biskinis, D.E. and Fardis, M.N. (2004) Cyclic strength and deformation capacity of RC members, including members retrofitted for earthquake resistance. In: Proceedings of the 5th International Ph.D Symposium in Civil Engineering. Delft.
- [5] Biskinis, D.E., Roupaklas, G.K. and Fardis, M.N., Degradation of Shear Strength of RC Members with Inelastic Cyclic Displacements, ACI Structural Journal, Vol. 101, No. 6, pp. 773-783.