

9. חישוב מקורב של אלמנטים קוויים

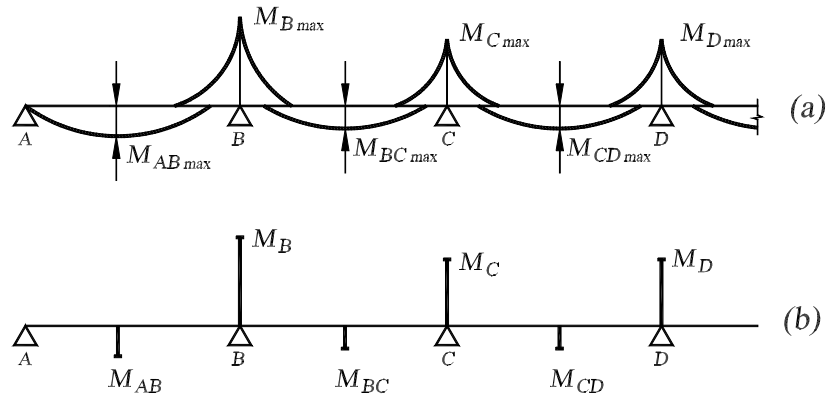
9.1 כללי

החישוב הסטטי הינו חלק חשוב בתהליך התכן ובמהלכו, כאמור בפרק 8, נקבעים הכוחות הפועלים לאורך המבנה ובחתיכי האלמנטים, כגון מומנטי כפיפה, כוחות ציריים, כוחות גזירה וכו'. המתכנן מעונין לפשט ולקצר חלק זה של התכן במידת האפשר, תוך שמירה על דיוק (או אי דיוק) מבוקר וסביר. אלמנטים רבים משמשים מטרה לחוקרים ומהנדסים למציאת דרכים לפשט את החישוב הסטטי שלהם. בין אלה האלמנטים הקוויים (קורות, טבלות מתוחות בכיוון אחד ואי אילו מסגרות פשוטות) זוכים לתשומת הלב העיקרית. כמעט בכל תקן יש הנחיות כל שהן המתירות חישוב מקורב בתנאים מסוימים מגבילים.

לכאורה, בעידן המחשב, יש אולי הרגשה כי עבר זמנו של החישוב המקורב, שהרי כמעט כל מתכנן יושב מול מחשב, אולם הדבר אינו בדיוק כך. ראשית: יש עדיין לא מעט מקרים בהם חישוב מקורב יעיל ומהיר יותר ואין זה מביך להודות בכך. שנית: כל חישוב יש לבדוק. חישוב באמצעות המחשב על אחת כמה וכמה יש לבדוק מחמת הקלות הרבה בה יכולה להתרחש טעות, בין אם בהכנסת הנתונים או בביצוע התהליך במחשב ממכלול של סיבות. החישוב המקורב הינו אולי הכלי החשוב ביותר למטרה זו (במקום בו כמובן הוא ישים).

באלמנטים קוויים המטרה היא להציע ערכי מומנטים וכוחות גזירה במספר חתכים (ראה ציור 9.1b) אשר מהווים בדרך כלל הערכים המקסימליים לפי מעטפת המומנטים לו חושבה (ראה ציור 9.1a), כל זה תוך נסיון להקפיד על סטייה לא גדולה מהערכים המחושבים בחישוב אלסטי (לאחר התחשבות ברדיסטריבוציה מסוימת של המומנטים).

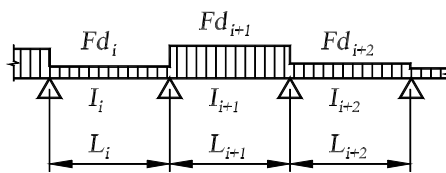
החישוב המקורב הינו מקורב במובן נוסף, לא פחות חשוב. בו בזמן שחישוב מפורט, כולל מצבי עמיסה מסוכנים, בין אם הופק בשימוש במחשב או לאו, מספק את ערכי הכוחות הפנימיים לכל אורך האלמנט, החישוב המקורב מציע ערכים רק עבור חתכים בודדים לאורך האלמנט – בדרך כלל בקצה סמך נמשך ובסביבות אמצע השדה, קיצוני או פנימי. כתוצאה מכך המתכנן יצטרך להחליט לבדו על כסוי המעטפת אשר קיימת אבל אינה עומדת לפניו כי לא ביקש ולא קיבל חישוב מפורט. כסוי מעטפת כאשר נעשה חישוב מקורב, כמוסבר בפרק זה דורש נסיון תכנוני.



ציור 9.1

9.2 הנחות יסוד

הגורמים בעיקריים המשפיעים על ערכי הכוחות הפנימיים באלמנטים הם: המיפתחים, הקשיחויות והעומסים, כאשר מדובר בסכימה סטטית פשוטה של אלמנט קווי (ראה ציור 9.2). תחום האפשרויות בעקבות שנוי פרמטרי בשלושת הגורמים הללו גדול ביותר. אי לכך, כאשר ניתנות המלצות לחישוב מקורב, הן מביאות בחשבון תחום השתנות מוגבל בין הקשיחויות והמיפתחים בתוך המערכת הסטטית וכמוכן תחום יחס מסוים בין העומס השימושי האופייני לבין העומס הקבוע האופייני (או העומס הכולל) שכן ברור כי בהעדר עומס שימושי מעטפת המומנטים נהפכת למהלך אחד ויחיד ואילו החריגה ממהלך לכיוון מעטפת הולכת וגדלה עם גדול העומס השימושי.



ציור 9.2

רק אם יובא בחשבון יחס מגביל כל שהוא בין העומס השימושי לקבוע ואם טובא בחשבון רדיסטרביוציה מסוימת של מומנטים ניתן יהיה להגיע לערך מומלץ

מקורב אשר אינו עומד בחריגה מהותית מהחישוב האלסטי. מובן מאליו כי שום חישוב מקורב לא יכול להציע התחשבות בשקיעת סמכים. בסעיף 9.3 להלן ניתנות שתי דוגמאות מתקנים זרים.

9.3 חישוב מקורב לפי תקנים זרים

9.3.1 התקן הבריטי BS 8110 [6]

התקן הבריטי BS 8110 [6] מציע חישוב מקורב לפי הכללים הבאים:

- א. המערכת תהיה בת 3 מיפתחים לפחות.
- ב. מיפתחים יהיו שווים פחות או יותר, עם הבדל מקסימלי בשיעור של עד 15% מאורך המיפתח הגדול ביותר ($l_{min} \geq 0.85 l_{max}$).

ג. העומס השימושי האופייני q_k לא יעלה על העומס הקבוע האופייני g_k .

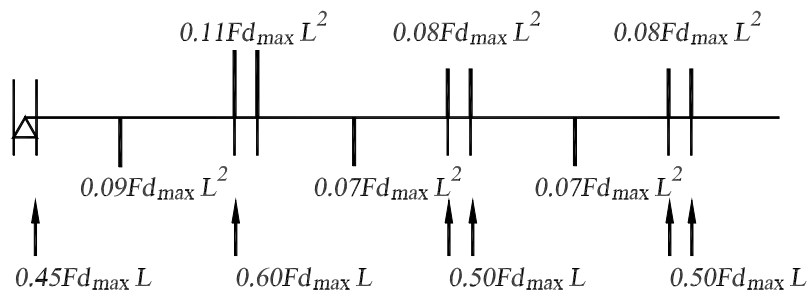
ד. חתך האלמנט לא משתנה לאורכו (כלומר הקשיחות קבועה).

ה. אסורה רדיסטריבוציה לגבי ערכי המומנטים וכוחות הגזירה המקורבים.

ו. המיפתח מוגדר כמרחק בין צירי הסמכים.

ערכי המומנטים וכוחות הגזירה המקורבים המוצעים לפי התקן הבריטי

מסוכמים בציר 9.3 כאשר גם שם מקובל עבור העומס: $F_{dmax} = 1.4 g_k + 1.6 q_k$.



9.3 ציור

9.3.2 התקן האמריקאי ACI 318 99 [5] ACI 318 05 [43]

התקן האמריקאי [5] ו [43] מציע עבור חישוב מקורב את הערכים המסוכמים בציר 9.4 אולם כפוף לכללים והגדרות הבאות:

- א. המערכת הנימשכת תהיה בת 3 מיפתחים לפחות.
- ב. המיפתחים שווים פחות או יותר אך בכל מקרה בין שני מיפתחים סמוכים

$$l_i \leq 1.2 l_{i+1}$$

ג. העומס מחולק שווה.

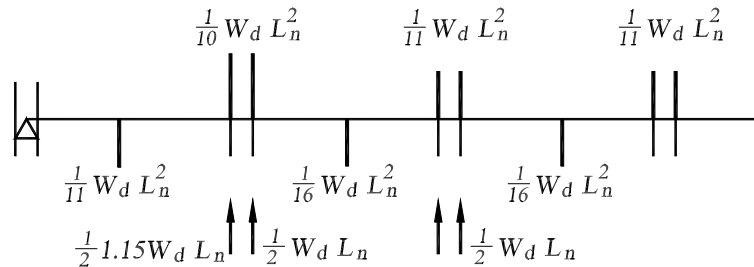
ד. העומס השימושי q_k לא יעלה על $3 g_k$.

ה. אין שנוי בקשיחות לאורך האלמנט כולו.

ו. המיפתח לצורך החישוב יהיה המיפתח נטו בין הסמכים.

ז. אסורה רדיסטריבוציה של המומנטים אשר חושבו בחישוב מקורב.

ניתן לראות כי יש הבדלים בין הערכים המומלצים בתקן הבריטי והתקן האמריקאי. יש להבין את הבדלים אלה על רקע הכוונה של התקן האמריקאי להמליץ על הערכים המקורבים כחליף לחישוב מסגרת, אשר פירושו כי חלק מהמומנטים בצמתים מועבר לעמודים, דבר המאפשר את הקטנת המומנטים באלמנט הנמשך אופקית. על רקע זה ניתן לראות כי המרחק בין המלצות שני התקנים קטן.



9.4 ציור

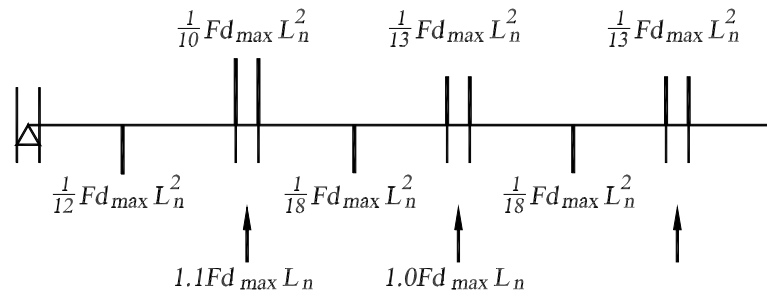
9.3.3 חישוב מקורב לפי התקן הישראלי ת"י 466 חלק 2 [2]

המומנטים בחישוב מקורב לפי התקן הישראלי ת"י 466 חלק 2 [2] נמוכים מאד ביחס למומנטים המופיעים בכל התקנים ויש צורך להגדילם. התנאים לחישוב מקורב בתקן הישראלי הם כדלקמן:

- א. היחס בין המיפתחים יהיה $l_{max} \leq 1.25 l_{min}$ או $l_{min} \geq 0.8 l_{max}$.
- ב. היחס בין מומנטי האינרציה של המיפתחים יהיה $I_{max} \leq 1.25 I_{min}$ (או $I_{min} \geq 0.8 I_{max}$).

- ג. העומס השימושי האופייני לא יעלה על העומס הקבוע האופייני $q_k \leq g_k$.
- ד. חתך האלמנט אינו משתנה בתוך השדה.
- ה. העומס מפורס אחיד בתוך השדה.
- ו. הסכימה תכלול לפחות 3 שדות.

ההמלצות בתקן הישראלי נתונות בציור מס' 9.5.



ציור 9.5

לא ניתנה אזהרה כי אין לבצע רדיסטריבוציה על ערכי המומנטים לפי חישוב מקורב. על אף העובדה כי לא נאמר שחתך האלמנט שווה לכל אורכו, היחס בין מומנטי האינרציה אינו מתיר שוני ממשי בין החתכים בשדות השונים. לא נאמר כי מדובר בעומס אחיד על פני כל השדות אף על פי שמתוך האילוצים השונים נובע כי העומסים על השדות השונים אינם יכולים להיות שונים בצורה משמעותית אחד מן השני. ערכי המומנטים בחישוב מקורב בתקן הישראלי נמוכים מאד ואין הצדקה לכך. אם ימוצו התנאים הגבוליים ביחסי המיפתחים ו/או הקשיחויות חלק המומנטים יהיו קטנים בעשרות אחוזים מהחישוב האלסטי ולגבי אחרים משמעות הדבר היא כי בוצעה רדיסטריבוציה של 30% או יותר, דבר הגורר משמעות חמורה ביחס לניצול לכפיפה. הערכים המתקבלים ביותר על הדעת הם ההמלצות של התקן האנגלי [6] כמפורט בסעיף 9.3.1 וזו צריכה להיות המגמה ברביזיה של ת"י 466 חלק 2 [2].

ערכים מומלצים עבור התקן הישראלי העובר רביזיה נתונים כדלקמן:

$$M_{\max} = 1/11 F_{\text{dmax}} l_1^2 \quad \text{המומנט בקרבת אמצע המפתח הקיצוני:}$$

$$M_{\max} = 1/15.3 F_{\text{dmax}} l_1^2 \quad \text{המומנט בקרבת אמצע מפתח פנימי:}$$

$$M_{\max} = 1/9 F_{\text{dmax}} l_1^2 \quad \text{המומנט מעל סמך נמשך ראשון:}$$

$$M_{\max} = 1/10.4 F_{\text{dmax}} l_1^2 \quad \text{המומנט מעל סמך נמשך אחר:}$$

כל הנ"ל בתנאים של: $l_{\max} \leq 1.25 l_{\min}$, $q_k \leq g_k$ וחתך האלמנט קבוע לכל

אורכו.