12. טבלות מתוחות בכיוון אחד*

12.1 כללי

טבלה היא אלמנט מישורי אשר מידה אחת שלו h – העובי (בכיוון z) קטנה בצורה משמעותית משתי המידות האחרות (כיוונים x ו y) – ראה ציור 12.1a . הטבלה מקשית כאשר היא יצוקה במלוא עובייה h . פתחים קטנים לצרכים שונים אינם משנים הגדרה זו. סדרות שיטתיות של פתחים או שקעים משנים את אופי פעולתה הקונסטרוקטיבית ואז היא לא תהיה מקשית לפי ההגדרה כאן (תקרת צלעות למשל).

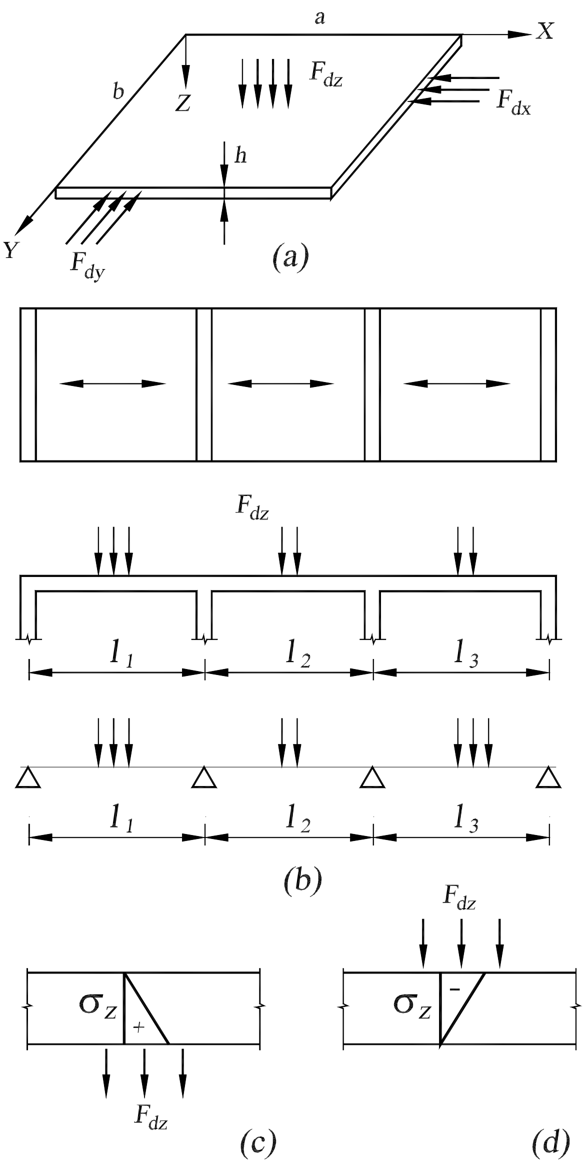
כאשר על הטבלה פועלים כוחות בניצב למישורה האמצעי (במישור xy) – $F_{d,z}$ זו תהיה טבלה (slab) . כאשר על הטבלה פועלים כוחות במישורה בלבד – $F_{d,x}$ $F_{d,y}$ יהיה זה לוח (plate) - ראה ציור 12.1a. פרק זה עוסק בטבלות בלבד (slabs) .

בהיות הטבלה דקה מאד $a >> h$ ו $b >> h$ נתעלם מענין חשוב ביותר, אשר בקורות, ובכל אלמנט אחר בו התמירות שלו (היחס בין מיפתח לגובה) קטנה אין להתעלם ממנו והוא: כיצד מופעל העומס על הטבלה. אם העומס היה תלוי על הטבלה על הפן התחתון שלה בכיוון z היו נוצרים מאמצי מתיחה עד היעלמם בפן העליון, כמתואר בציור 12.1c . אם העומס היה מונח על הפן העליון שלה היו נוצרים בכיוון z מאמצי לחיצה בכיוון מטה עד היעלמם בפן התחתון של הטבלה – ציור 12.1d . מאחר ולצורך הטיפול בטבלה דקה המאמצים והעיבור בכיוון z מוזנחים (פרט לעיבורי גזירה) איננו מקדישים לענין זה תשומת לב. אם זו היתה קורה, כאשר העומס מונח על הקורה – אין הדבר מחייב נקיטת אמצעים, אולם אם העומס תלוי על הקורה מלמטה הדבר מחייב בהחלט זיון תליה. גם בטבלה יהיה צורך בזיון תליה אם העומס תלוי על הטבלה מלמטה, ברם, נמשיך להתעלם (לצורך התכן והחישוב) ממאמצים כל שהם המתפתחים בטבלה בכיוון z.

הטבלות כאן הן טבלות מתוחות בכיוון אחד בלבד ובניצב לסמכים קוויים (קורות או קירות) כלומר – המקרה הבסיסי ביותר של טבלות – ציור 12.1b. לצורך הגדרת המקרה הבסיסי ביותר לא מספיק להתייחס רק לצורת ההשענה אלא גם לעומסים. החישוב הסטטי של טבלה מקשית מתוחה בכיוון אחד מניח כי הטבלה מהווה רצועות מקבילות לעצמן ומספיק לחשב רצועה אחת ואז דין כל הרצועות כדין הרצועה אשר חושבה. את זה ניתן להשיג כאשר: העומס השימושי עבורו מתוכננת טבלה לא גדול וההבדל בהתנהגות בין רצועות שכנות אינו מחייב תכנון וחישוב מיוחד.

כאשר העומס השימושי גדול, וכאשר רצועות סמוכות בגין הפרשי עומסים ביניהן נוטות לשקוע בפערי שקיעה גדולים בשעה שאינן עמוסות בצורה אחידה – אז נוצר הצורך בחישוב רוחבי, כלומר – בניצב למיפתח, ואז במילא החישוב בכיוון אחד אינו תשובה לבעיה.

*פרק זה מעודכן ליוני 2011



ציור 12.1

ניתן לתכנן טבלות מקשיות מתוחות בכיוון אחד (בהתעלמות מהצורך בחישוב בכיוון הניצב) אך ורק כאשר בכיוון ניצב למיפתח עליו נערך החישוב הסטטי, אפשרי להסתפק בהנחיות קונסטרוקטיביות (זיון רוחבי מינימלי) ללא צורך בחישוב נוסף. כאשר יש צורך לערוך חישוב בכיוון הניצב תהיה זו טבלה מצולבת (מתוחה בשני כיוונים). הזיון המינימלי, הניתן כהוראות בתקנים, אמור לתת תשובה ל: חלוקה לא חידה של העומס השימושי, הפרשי טמפרטורה עונתיים, וכו'.

בדרך כלל, עובי טבלה דקה מתוחה בכיוון אחד ייקבע מטעמים של עמידה במצב גבולי של שרות (הגבלת הכפף) ובדרך כלל חוזק החתכים לכפיפה לא יהיה מנוצל. כמובן שכל זה לא פוטר מבדיקת התסבולת לכפיפה ולעתים (רחוקות) לגזירה.

12.2 השלבים העיקריים בתכן טבלות מקשיות מתוחות בכיוון אחד

תכן טבלה מקשית כולל מספר שלבים, ביניהם ביצוע חישובים כפי שיפורטו להלן, אבטחת מלוי דרישות מינימום ותכן פרטים. השלבים העיקריים הם :

א. קביעת עובי הטבלה.

ב. קביעת עומסי התכן.

ג. חישוב סטטי (קביעת מומנטי התכן וכוחות התכן בגזירה, בחתכים שונים כנדרש, לאורך הטבלה).

ד. בדיקת התסבולת וחישוב כמויות הזיון הדרושות.

ה. אבטחת כסוי קו כוח המתיחה ועיגון מוטות הזיון.

ו. פרוט הזיון המחושב ועמידה בדרישות מינימום ופרטים לפי התקנים.

השלב המסכם ומסיים את התכן הוא עריכת תכנית עבודה מפורטת. תכנית העבודה חייבת להיות שלמה, ברורה ומקיפה את כל מה שדרוש על מנת לבצע את המבנה לפי התכנון. על תכנית העבודה לכלול את כל המידות הגיאומטריות של המבנה ואת המפלסים הדרושים וכמו כן את כל כמויות הזיון ופרוט צורות הזיון ומיקומם במבנה.

תכנית העבודה היא עבור המבצע אשר לא ערך את החישוב, לא מכיר אותו ולא צריך להכיר אותו. לעומת זאת – התכנית צריכה לשקף את כל מה שהמהנדס התכוון לתת בתכנון מבלי למסור בתכנית את כוונות ופרטי התכנון אשר אינם בתחום התמחותם של המבצעים. אי לכך רק המתכנן יכול לדעת מה צריך להופיע בתכנית כך שהיא תשקף את התכנון לו הוא התכוון, ומשום כך – עריכת התכנית היא כל כולה באחריות המתכנן.

"חבילת דרישות" – פרטים קונסטרוקטיביים. בכל תקן יש דרישות כלליות, דרישות מינימום כלליות וכן מספר דרישות מיוחדות עבור כל אלמנט קונסטרוקטיבי. מלוי אחר דרישות המינימום הוא חלק אינטגרלי מתהליך התכנון. עמידה בדרישות המינימום בדרך כלל משחררת את המתכנן משורה של חישובים, לכן היא משלימה את התכנון והיא באה לתת תשובות לאי אילו השפעות עקיפות, בגינן לרוב לא נערך חישוב.

12.3 קביעת עובי הטבלה ועומסי התכן

עובי הטבלה קובע את משקלה העצמי. על מנת לקבוע את העומסים יש לקבוע את המשקל העצמי. עובי הטבלה יקבע את קשיחותה לכפיפה ועל כן את עמידתה בדרישות הכפף – מצב גבולי של שרות. מסיבה זו קביעת עובי הטבלה כך שהיא תעמוד בדרישות הגבלת הכפף הינו רק השלב הראשון בכל מקרה.

מנין העומסים הפועלים על הטבלה יכלול לפחות את המשקל העצמי, עומס (או עומסים) קבוע נוסף ועומס שימושי וכן עומסים נוספים, לפי הענין. המשקל העצמי הינו מרכיב נכבד בחבילת עומסים זו גם אם הטבלה דקה.

קביעת העובי הינו הליך של ניסוי וטעייה. מניחים עובי, הופכים אותו למשקל עצמי, מצרפים למכלול העומסים, בודקים עמידה בדרישות הכפף. אם מתאשרת עמידה בדרישות הכפף אפשר להישאר עם ההנחה. אם אין עומדים בדרישות לעמידה בהגבלת הכפף - יש להגדיל את העובי ולעבור את התהליך מחדש עד התכנסות – כלומר העובי שנבחר ויצר משקל עצמי ידוע עונה לדרישות.

עמידה בדרישות להגבלת הכפף בתקן הישראלי [1] ובתקנים רבים אחרים נעשית באחת משתי הדרכים הבאות: א. חישוב הכפף בפועל והעמדתו במבחן ההגבלה מול המותר בתקנים. ב. עמידה בדרישות עקיפות כך שאם מולאו דרישות אלה – הטבלה עומדת <u>לכאורה</u> בדרישות להגבלת הכפף מבלי שזה חושב בפועל (ראה פרק 19).

השיטה של עמידה בדרישות שמעמיד התקן ואשר במילוי אחריהן נוצר פטור מלבצע חישוב מסוים מקובלת כשיטת deemed to satisfy, כלומר: יש במילוי הדרישה מלוי עקיף של עמידה בקריטריון מבלי לבצע חישוב.

לגבי עמידה בהגבלת הכפף מקובל בתקן הישראלי [1] וגם באחרים, שאם מולאו דרישות של הגבלת התמירות (l_o / h) לפי מפתח אשר עובד בתקן (ראה פרק 6 שם), פטורים מלחשב את הכפף (המפתח הוא שימוש בטבלה אשר עובדה לפי קריטריון לעמידה בדרישות להגבלת הכפף). מערכת דרישות מקבילה ובאותה השיטה מוצעת גם עבור הגבלת הסדיקה. שתי המערכות המתייחסות להגבלת הכפף והגבלת הסדיקה מצויות בפרק 6 בת"י 466 [1] (ראה פרק 19 כאן).

עם קביעה סופית של העובי (לפי קריטריון הכפף) אפשר לסכם את העומסים:

g_k - המשקל העצמי של הטבלה

Δg_k - עומסים קבועים אופייניים נוספים, אם יש.

q_k - עומסים שימושיים

עומסים נוספים אם יש.

אפשר לחשב את עומסי התכן עבור ביצוע החישוב, לפי מצבי עמיסה מסוכנים: $F_{d,max}$ ו $F_{d,min}$. בצורה הכללית ביותר (מבלי להתעמק כאן במקדמי שכיחות שהינם חשובים ויש לשים לב אליהם ויש להתייחס אליו בזהירות):

$$F_{d,max} = 1.4\ \Sigma\ g_k + 1.6\ q_k$$

$F_{d,min} = 1.0\ g_k$ אם כי יש מצבים בהם יהיה $F_{d,min} = 1.2\ g_k$

כמובן שהעובי אשר נקבע ובינתיים ידוע כי הוא עונה לדרישות להגבלת הכפף, ייחשב סופי רק לאחר החישוב הסטטי, כאשר הוא מתאים גם לדרישות החוזק.

<u>12.4 החישוב הסטטי</u>

מטרת החישוב הסטטי הינה לקבוע את גודל הכוחות הפנימיים המתפתחים כתוצאה מפעולת העומסים החיצוניים על האלמנט. מידע על ערכי הכוחות הפנימיים דרוש עבור בדיקת כל חתך של האלמנט על מנת לאפשר את אבטחת החוזק שלו.

בטבלות מקשיות מתוחות בכיוון אחד הערכים הסטטיים המעניינים לצורך התכן הם: מומנטי התכן – M_d , כוחות התכן בגזירה – V_d וכוחות ציריים – N_d . ככל שהטבלות דקות יותר בעיית כוחות הגזירה תאבד ממשמעותה. פורמלית – יש לבדוק את התסבולת לגזירה. מעשית – רק לעתים רחוקות ובטבלות נושאות עומסים גדולים ייווצר הצורך באבטחת הגזירה באמצעות זיון לגזירה. כוחות ציריים יכולים להתפתח כתוצאה מהבדלי טמפרטורה למשל ובסכימות לא מסוימות סטטית.

להלן התייחסות למס' נושאים עקרוניים בנושא החישוב הסטטי (וזה יהיה נכון לגבי מכלול האלמנטים במתוחים בכיוון אחד, כולל קורות):

12.4.1 הסמכים

מאחר והטבלות בהן עוסקים נשענות על סמכים רצופים (שנוצקו יחד עם הטבלה) מדובר בקורות או קירות כסמכים. אם הסמכים הם קורות או משקופים של מסגרות, אפשר כי תהיה להם שקיעה עצמית. יש להפעיל שיקול אם להביא בחשבון את השפעת שקיעת הסמכים על הטבלה. בדרך כלל אם טבלה מומשכת נשענת על מספר סמכים בעלי אותו אופי, אותה סכימה סטטית ואותה הקשיחות, צפויה שקיעה זהה של כל הסמכים ובמקרה זה אין צורך להביא בחשבון שקיעת סמכים.

בחישוב סטטי בסיסי מתייחסים לסמך כסמך נקודתי/קווי. בפועל יש לסמך גודל פיזי אשר לו השפעה על הסביבה הקרובה לסמך של הטבלה ועל כן בעיית הגודל הפיזי של הסמך חייבת לבוא לביטוי בחישוב הסטטי. ענין זה יורחב בהמשך.

12.4.2 המיפתח

בדרך כלל רוחב הסמכים יהיה קטן ביחס למיפתח. אי לכך כמיפתח לצורך החישוב הסטטי ישמש הקטן מבין: א. המרחק בין מרכזי הסמכים. ב. המיפתח הנקי בין הסמכים בצרוף מחצית גובה הסטטי של הטבלה h מכל צד.

כאשר רוחב הסמכים לא קטן ביחס לעובי הטבלה וביחס למיפתח יכול להתפתח מצב של חוסר אפשרות מעבר מומנטים (איזון וחלוקה) ממיפתח לשכנו דרך הסמך הרחב. במקרה כזה ייחשב כל מיפתח, מכל צד של הסמך הרחב, כרתום בסמך הרחב ולעומת זאת הסמך הרחב יצטרך למצוא מענה להפרש בין מומנטי הריתום בביסוס שלו או בהעברתו לאלמנטים אחרים אליהם הוא קשור (ראה 8.7.2).

12.4.3 החישוב הסטטי

מספר שיטות חישוב סטטי עומדות לרשות המתכנן. בתקן 466 [1] מוזכרות 4 שיטות: א. השיטה האלסטית, ב. שיטה אלסטית עם רדיסטריבוציה, ג. שיטת חישוב לא ליניארית, ו ד. שיטת חישוב להרס. שיטת חישוב לא ליניארית לא מתאימה לטבלה מקשית נשענת בכיוון אחד. היא בכלל לא מתאימה לטבלות דקות עמוסות עומסים לא גדולים. שיטת חישוב להרס עבור אלמנטים מתוחים בכיוון אחד היא שיטת הפרקים הפלסטיים. שיטה זו מתאימה לקורות ומסגרות אך לא לטבלות דקות (אמנם שיטת קווי השבר ושיטת הרצועות מתאימות מאד לטבלות מתוחות בשני כיוונים אך לא בכיוון אחד). למעשה השיטות המתאימות הן השיטה האלסטית והשיטה האלסטית עם רדיסטריבוציה. צריך להדגיש: אין פגם בשיטות החישוב להרס. הן מצוינות. הענין

הוא שבמקביל ליישום שיטת חישוב להרס יהיה צורך להפעיל שיטת חישוב אלסטי על מנת לוודא את הגבלת השקיעות.

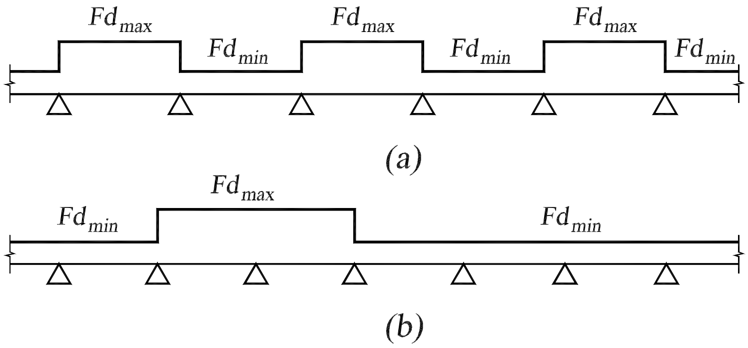
בכל אותם האלמנטים בהם הכפף הוא הקובע את הגובה הפעיל של החתך מעשי יותר להיזקק לשיטת החישוב האלסטית או אלסטית עם רדיסטריבוציה.

אין הבדל ממשי בין השיטה האלסטית לבין השיטה האלסטית עם רדיסטריבוציה זולת אחד – בשיטה עם רדיסטריבוציה יש למתכנן שיקול רחב (מבוקר) לבצע שנויים במומנטים בו בזמן שבשיטה האלסטית אין שנוי.

א. <u>בשיטה באלסטית</u> ההתייחסות אל הטבלה היא כאל אלמנט עשוי מחומר אלסטי הומוגני איזוטרופי. יש לבצע חישוב הכולל מצבי עמיסה מסוכנים ולקבל מעטפת מומנטים. השנוי היחידי המותר במומנטים הוא בגין המידות הפיזיות של הסמכים (רוחבם) .

לצורך בחינת מצבי עמיסה מסוכנים יש להקפיד על :

עבור מומנטים גבוליים (מקסימליים ומינימליים) בשדות יש להעמיס את הטבלה בעומסי מקסימום מינימום לסירוגין (ציור 12.2a).



<u>ציור 12.2</u>

עבור המומנט הגדול ביותר מעל סמך מספיק להעמיס את הטבלה בעומס מקסימלי משני צידי הסמך ואת יתר השדות בעומס מינימלי. תאורטית עמיסה לסירוגין במקסימום/מינימום החל בשדה השני לכל כיוון אמורה להוסיף למומנט הגבולי מעל הסמך, אך מעשית השפעה זו מצומצמת (ציור 12.2b).

ב. <u>בשיטה האלסטית עם רדיסטריבוציה</u> יש לבצע חישוב אלסטי הכולל מצבי עמיסה מסוכנים ולקבל מעטפת מומנטים. עמידה בשני תנאים מחייבת – שווי משקל ואבטחת המשיכות. מותר לבצע שנויים מפליגים במעטפת המומנטים מתוך מגמה לצמצמה (להפחית את ערכי המומנטים השליליים והחיוביים).

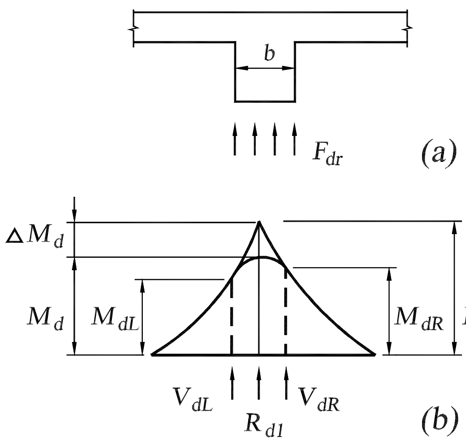
אבטחת המשיכות (רזרבה של שנוי זווית פוטנציאלי פלסטי בסביבות הסמך) נתונה כהמלצה ב CEB [4] וב EC2 [8] [40] אך לא ברמה של יישום פשוט בתקנים. בתקנים, כולל ב [5] [6] [7] וגם ב [1] יש המלצה על שמירה של קשר בין הגובה הלחוץ המתפתח עבור המומנט לאחר הרדיסטריבוציה ובין שיעור הרדיסטריבוציה (ראה פרק 7).

ב [1] ניתן היתר ברור (דבר שאינו מובן מאילו לפי רוב התקנים) לבצע רדיסטריבוציה של מומנטים וגם הפחתה בגין רוחב הסמך (ראה להלן) בתנאי שסה"כ ההפחתה בפני הסמך אינה עולה על 30% מערך המומנט לפני הרדיסטריבוציה בציר הסמך – שיעור ההפחתה המירבי המותר ברדיסטריבוציה.

12.4.4 הפחתת מומנט בסמך ביניים

הפחתת מומנטים בסמך ביניים נעשית עקב הרוחב הפיזי של הסמך וגידול אפשרי בגובה הסטטי בציר הסמך, אם קיים.

בציור 12.3 נתון סמך פנימי בעל רוחב b כאשר הטבלה יצוקה יחד עם הסמך (קורה או קיר) . בהנחה של סמכים קוויים תוצאות החישוב הסטטי נותנות מומנט בשיעור M_{d1} בציר הסמך וריאקציה R_{d1} הכוללת כוחות גזירה V_{dL} ו V_{dR} משמאל ומימין בהתאמה.



<u>ציור 12.3</u>

אם נניח כי הריאקציה R_{d1} מחולקת כעומס מפורס אחיד על פני רוחב הסמך וערכה $F_{dr} = R_{d1} / b$ הרי שניתן לומר כי ההבדל בין המומנט אשר גורם עומס מרוכז R_{d1} באמצע מיפתח b ובין המומנט אשר גורם עומס מחולק F_{dr} על מיפתח b הינו :

$$\Delta M_d = 1/4\, R_{d1} b - 1/8\, (R_{d1}/b)\, b^2 = 1/8\, R_{d1}\, b \qquad (12.1)$$

המומנט המופחת במרכז הסמך יהיה :

$$M_d = M_{d1} - \Delta M_d = M_{d1} - 1/8\, R_{d1}\, b \qquad (12.2)$$

לגבי המומנטים בקצה הסמך, משמאל ומימין הם יהיו :

$$M_{dL} = M_{d1} - ½\, V_{dL}\, b \qquad (12.3)$$

$$M_{dR} = M_{d1} - ½\, V_{dR}\, b \qquad (12.4)$$

כאשר הטבלה לא יצוקה יחד עם הסמך אלא בניפרד ממנו וקיימת הפרדה בין הטבלה לסמך (למשל – הטבלה נשענת על קיר בני), גובה הטבלה ברוטו יהיה h והגובה הפעיל d <u>בכל</u> רוחב הסמך. אם, לעומת זאת, הטבלה יצוקה יחד עם הסמך

מותר להניח כי העובי הפעיל של הטבלה במרכז הסמך גדל לפי שיפוע של 1:3 (נתון אמפירי) וכתוצאה מכך העובי הפעיל במרכז הסמך יהיה $(d + 1/6\, b)$.

12.4.5 מומנטים בסביבות אמצע המיפתח בטבלה מומשכת

החישוב הסטטי המביא בחשבון מצבי עמיסה מסוכנים ימציא את המומנט הגדול ביותר והקטן ביותר בשדה. הטכניקה של הצבת הזיון באלמנט מסוג טבלה שטוחה מקילה על הצבת זיון תחתון (למומנט חיובי) בטבלה ומקשה על הצבת זיון למומנט שלילי (עליון) באמצע השדה עקב העדר חישוקים. החישוב הסטטי יכול, במקרים של עומסים שימושיים גדולים ו/או של הפרשי מיפתחים גדולים, להביא לכך שייווצר באמצע השדה מומנט שלילי הדורש זיון עליון. במקרה כזה אפשר לבדוק אם יש לטבלה ללא זיון חוזק כפיפה מספיק באמצעות חוזק הבטון למתיחה $(1/6h^2 f_{ctd})$ לכל יחידת רוחב) ולתת זיון עליון לכפיפה (עם כל הקושי של התמיכה בו) כאשר המומנט עולה על הערך לעיל.

בסביבת אמצע כל שדה נהוג להבטיח תסבולת לכפיפה למומנט חיובי שאינו נמוך מהערך $1/24\, F_{d,max}\, l^2$ שהינו המומנט בשדה אם אותו השדה היה רתום מלא בשני קצותיו.

המומנט המינימלי בשדה הינו תוצאה של מצב עמיסה בו השדה הנדון עמוס עומס מינימלי $F_{d,min}$ והסמוכים לו ב $F_{d,max}$ וכך לסירוגין לשני הכיוונים. פער בין מקדמי הבטחון החלקיים לעומסים קבועים $\gamma_{fg,max} = 1.4$ ו $\gamma_{fg,min} = 1.0$ נחשב לקביל עבור מומנטים מעל הסמכים (שליליים) אך גדול מדי כאשר מדובר במומנטים בשדה. משיקולים סטטיסטיים גרידא מניחים כי ההסתברות לחריגה כלפי מעלה בשדה אחד פי 1.4 ובשדות סמוכים לו לחריגה כלפי מטה פי 1.0 הינה נמוכה ביותר. אי לכך מותר, לצורך המומנט המינימלי בשדה בלבד, להניח את $\gamma_{fg,min} = 1.2$ בשדה בו ניבדק מומנט מינימלי ו $\gamma_{fg,max} = 1.4$ בשדות הסמוכים לו .

12.4.6 חישוב מקורב

כאשר מתקיימים התנאים לחישוב מקורב מותר להניח את המומנטים המומלצים בחישוב מקורב עבור רכיב מתוח בכיוון אחד (ראה פרק 9).

החישוב המקורב אינו מציע למתכנן מעטפת מומנטים אלא ערכי מומנטים במקומות מסוימים בטבלה – בדרך כלל בסביבת הסמכים ובסביבת אמצע כל מיפתח. גם הריאקציות המתקבלות הן מקורבות אולם אין זה קושי ממשי עבור המתכנן. אם הוא יכול, מתוך נסיון קודם או מתוך שיקול שיפעיל, לספק מעטפת זיון אשר מהווה כסוי נאות למעטפת קו כוח המתיחה, אין סיבה מדוע לא להסתפק בחישוב מקורב.

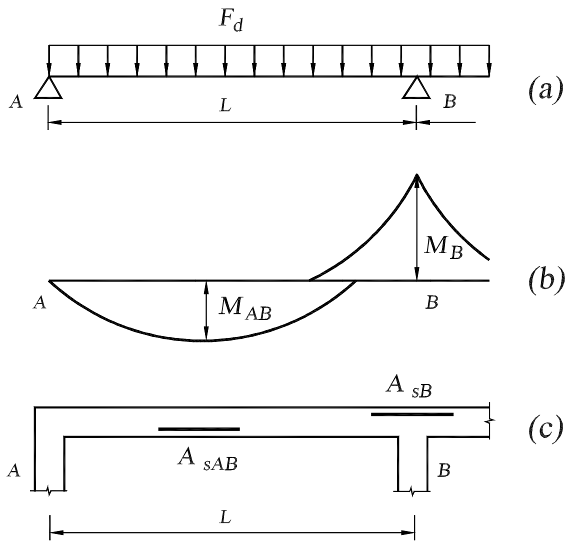
ניתן להוכיח כי חריגה לא גדולה מכסוי נאות של מעטפת קו כוח המתיחה (ראה 12.6 להלן) לא תביא להתמוטטות או לכשל. היא תגרום להפחתה מקומית של מקדמי הבטיחות להרס וכן לשנויים בתגובות המבנה במצב גבולי של שרות.

12.5 חישוב הזיון ואבטחת חוזק החתכים

עם סיום החישוב הסטטי קימת לפני מתכנן מעטפת מומנטים ומעטפת כוחות גזירה, כל אחת מהן לאחר כל ההפחתות המותרות . שתי מעטפות אלו מהוות בסיס לקביעת אבטחת חוזק החתכים של האלמנט לכל אורכו.

כל החתכים ייבדקו לגזירה ויובטחו לקבלת גזירה לפי פרק 11 וייבדקו ויובטחו לקבלת מומנטי הכפיפה לפי פרק 4, אלא אם כן פועל גם כוח צירי ואז לפי פרק 5. אין חובה לתת זיון מינימלי לגזירה בפלטות דקות מקשיות לפיכך אם אין רוצים לתת זיון לגזירה כל שהוא יהיה צורך לקיים את התנאי : $V_d \le V_{Rd,c}$ כאשר V_d הינו כוח התכן בגזירה ו $V_{Rd,c}$ יהיה התסבולת לגזירה בהעדר זיון לגזירה – ראה פרק 11. זיון לגזירה יהיה דרוש בעיקר כאשר העומס הוא גבוה. הגדלת התסבולת $V_{Rd,c}$ כדי להימנע מלתת זיון לחדירה תהיה במקרה זה על ידי העלאת סוג הבטון או הגדלת עובי הטבלה.

באופן עקרוני יש לחשב את הזיון בכל חתך כאשר לצורך כך מחשבים גם את הזרוע הפנימית (לאחר חישוב ω לצורך חישוב הזרוע הפנימית z). זו יכולה להיות מעמסה חישובית רצינית ולעומת זאת קשה לתת סוגי זיון רבים ולשנות שנויים תדירים את מוטות הזיון בחתכים רבים במבנה, מטעמי ביצוע. ניתן לגשת לבעיית חישוב הזיון בדרך מקורבת כמתואר להלן ובציור 12.4 .



ציור 12.4

בציור 12.4b נתונה מעטפת המומנטים עבור שדה אחד מתוך שורת שדות של טבלה נמשכת (אשר הסכימה הסטטית שלו והעומס שלו נתונים בציור 12.4a). במעטפת זו בולטים שני איזורים : איזור המומנט החיובי בו המקסימום בשדה M_{AB} ואיזור המומנט השלילי, בו המקסימום M_B (נניח כי הוא בקצה הסמך). אפשר לחשב את כמויות הזיון בשני חתכים : החתך הרלבנטי בסמך (קצה הסמך או מרכז הסמך –

החתך שידרוש כמות זיון גדולה יותר) בו תחושב ω_B עבור M_B ותחושב כמות הזיון A_{sB}, וכמו כן בחתך בסביבת מרכז השדה בו תחושב ω_{AB} עבור המומנט M_{AB} ותחושב כמות הזיון A_{sAB} (ציור 12.4c). בכל חתך אחר בסביבת אותו M_{AB} תינתן כמות זיון פרופורציונלית למומנט כך שעבור כל האיזור של המומנט החיובי כמויות הזיון תהיינה פרופורציונליות למומנט המקסימלי עבורו חושבה כמות הזיון פעם אחת. תהיה בזה משום הגזמה קטנה מאחר ובחתך סמוך בו המומנט קטן יותר ω קטנה יותר, והזרוע הפנימית גדולה יותר, וכתוצאה מכך כמות הזיון אמורה להיות קטנה יותר מאשר הפרופורציונלית למומנט. יחד עם זאת - מעטפת הזיון תמיד גדולה יותר ממעטפת קו כוח המתיחה (ראה המשך) ולכן הליך זה נוח ומעשי וכמובן בטוח.

אותו הדבר נעשה עבור איזור המומנט השלילי – כמויות הזיון סביב החתך של המומנט המקסימלי, על פני כל איזור המומנט השלילי ניתנות פרופורציונלית לכמות הזיון אשר חושבה עבור המומנט המקסימלי שם – M_B , עם ההגזמה הקטנה הכרוכה בזאת, כפי שהוסבר עבור המומנטים בשדה.

לפי עקרון זה ניתן לכסות את כל מעטפת המומנטים, כאשר החישוב נעשה עבור מספר חתכים בלבד – החתכים בהם אותר מומנט מקסימלי בסביבה קרובה.

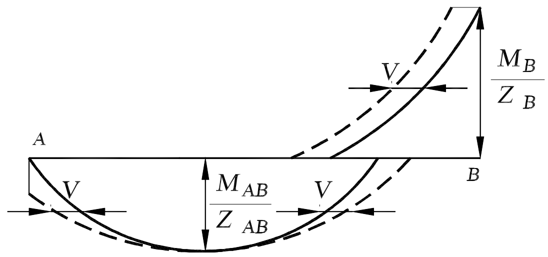
__12.6 מעטפת קו כוח המתיחה באלמנטים קוויים וכיסויה__

בפרק 10 נדונו בעיות עקרוניות של הידבקות, עיגון וחפייה. בפרקים שונים, כולל בסעיפים בפרק זה נדונה בעיית חישוב כמויות זיון ואבטחת חוזק חתכים באיזורים שלמים באלמנטים. בסעיף זה נדונה הבעיה הכללית – כיצד על סמך כל מה שידוע עקרונית וכן על סמך מה שחושב, מובטחת שלמות ורציפות קבלת כוחות מתיחה לאורך אלמנט קווי מבטון מזוין גם כאשר לא בכל חתך נערך חישוב מפורט ויש אי רציפות בכמויות הזיון לאורך האלמנט.

בציור 12.4b הוצגה מעטפת מומנטים עבור שדה ראשון מתוך אלמנט קווי נימשך. קטע זה ישמש בסעיף זה להדגמת ההתמודדות עם הבעיה של כסוי קו כוח המתיחה.

בסעיף 12.5 הובהר כי מקובל, נורמטיבי ובתחום אי הדיוק הסביר, לתכנן את הזיון באיזור מסוים של מעטפת המומנטים לפי הזיון המחושב במקום המקסימלי וביתר האיזור ינתן הזיון כחלקים פרופורציונליים למומנט. כתוצאה מכן כמעט מתבקש כי מעטפת המומנטים תשמש הבסיס המספיק לקביעת כמויות הזיון ומכאן למעטפת הזיון.

קו כוח המתיחה הינו מושג מקיף הכולל את המקרה הפרטי של כפיפה טהורה. כאשר מחשבים אלמנט עליו פועל כוח אקסצנטרי, הובהר בפרק 5 כי הטכניקה של החישוב המקורב במצב גבולי של הרס היא להעתיק את הכוח הצירי אל ציר מרכז הכובד של הזיון בצד המתוח (או המתוח יותר). כתוצאה מכך הזיון באותו צד מחושב לכוח $M_{Sd}/z + N_d$ כאשר N_d חיובי במקרה של מתיחה ו M_{Sd} - מומנט התכן כאשר הכוח הצירי הועתק אל ציר הזיון המתוח . ברור איפוא כי במקרה הכללי דרוש לספק את המענה לבעיה מה כמות הזיון הדרושה לכסוי כוח המתיחה הדרוש בזיון עליו פועל



ציור 12.5

$M_{Sd}/z + N_d$, לכל אורך האלמנט, על פי הערכים המחושבים בכל חתך לאורכו. ברור גם כי המקרה של כפיפה טהורה (M_d/z) הינו מקרה פרטי.

נשוב לציור 12.5 בו נתון שוב קטע דמוי מעטפת המומנטים של אלמנט נימשך – השדה הראשון בו. הפעם לא נתונה מעטפת מומנטים אלא M_d/z – מעטפת כוח המתיחה. גם מעטפת זו חושבה כאשר רק שני ערכים חושבו בה – הערך המקסימלי בשדה – $M_{d,AB}/z_{AB}$ והערך המקסימלי בסמך – $M_{d,B}/z_B$. לפי אותו קו מחשבה אשר הוסבר בסעיף 12.5 כל יתר ערכי כוח המתיחה הם פרופורציונליים לכוח המתיחה המקסימלי באיזור הרלבנטי (סביב הערך הגדול במומנט החיובי וסביב הערך הגדול במומנט השלילי). אם היה על קטע זה פועל כוח תכן צירי N_d היה עלינו להמיר את שני ערכי כוח התכן הנתונים ב: $M_{Sd,AB}/z_{AB} + N_d$ ו $M_{Sd,B}/z_B + N_d$ (N_d על סימנו, מתיחה או לחיצה).

נוספה בציור 12.5 גם ההעתקה v אשר הצורך בה הוסבר פרק 11 ושיעורה ניתן שם.

את הקו המרוסק המהווה את מעטפת קו כוח המתיחה המורחבת יש לכסות באמצעות זיון, לאורך הטבלה. ל"כסוי" זה נקרא "מעטפת הזיון" והיא צריכה לעמוד במספר מבחנים ולענות על מספר עקרונות:

א. צריך להשתדל ש"מעטפת הזיון" תהיה חופפת מהחוץ, קרוב ככל האפשר, את מעטפת קו כוח המתיחה המורחבת. זה יהיה מבחן היעילות והחסכון.

ב. הכסוי חייב לעמוד גם במבחני דרישות ביצוע - מס' המוטות לא יכול להיות רב מדי כי ריבוי מוטות זיון מייקר את הביצוע.

ג. שיטת הכסוי צריכה לעמוד גם בדרישות מצב גבולי של שרות ולא רק בדרישות מצב גבולי של הרס – יש להקפיד על מרחקים בין המוטות וכן על קוטרי המוטות כך שלתוצאה תהיינה השלכות חיוביות על מצב גבולי של שרות (סדיקה בעיקר).

ד. כאשר חושבים על המעטפת יש תמיד לצרף לפרטי כסוי קו כוח המתיחה גם את נושא העיגון של המוטות (אורכי העיגון נוספים לאלה המוכתבים על ידי עצם המעטפת).

בציור מס' 12.6 נתונות שלוש אלטרנטיבות של כסוי מעטפת קו כוח המתיחה שבציור 12.5 . החישוב הצביע על כך כי במקום כוח המתיחה המקסימלי (המומנט

המקסימלי) בסביבת הסמך B כוח התכן במתיחה הוא 275 kN ודרושים 785 ממ״ר ובסביבת אמצע השדה – כוח התכן במתיחה הוא 175 kN ודרושים 500 ממ״ר – שתיהן מסוג מוטות זיון מצולע בעלי חוזק אופייני $f_{sk} = 400$ MPa .

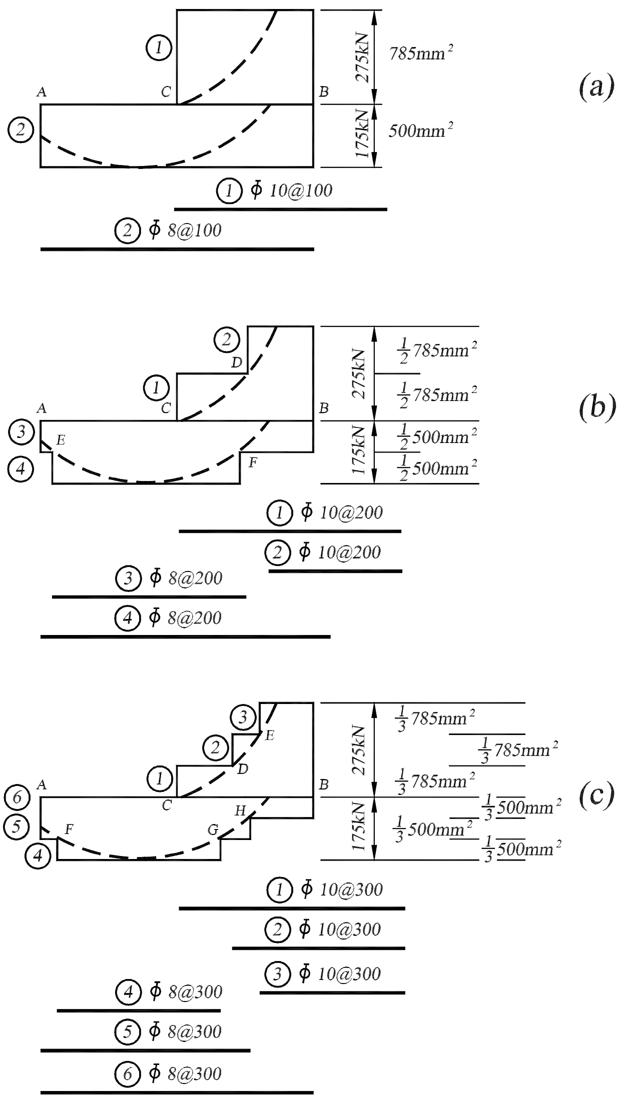
ניתן לתת את הזיון לפי כל שלושת האלטרנטיבות אשר בציור 12.6 אולם: הכסוי לפי ציור 12.6a הינו באמצעות סוג אחד של מוטות בכל צד ולכן כל אחד המוטות חייב להגיע עד קצה המעטפת ועל כן אלטרנטיבה זו לא סבירה מבחינת החסכון.

האלטרנטיבה בציור 12.6c הינה החסכונית ביותר, לכאורה, מאחר והפער בין מעטפת הזיון ומעטפת קו כוח המתיחה הינו הקטן ביותר. ברם, באלטרנטיבה זו יש שלושה סוגי מוטות והם מהווים השקעה גדולה יותר בביצוע. בנוסף על כך על כל מוט יש להוסיף את אורך העיגון שלו. בנסיבות מסוימות אלטרנטיבה זו יכולה להיות מומלצת, ולא – האלטרנטיבה המועדפת היא זו שבציור 12.6b , בה הכסוי חסכוני יותר מאשר ב 12.6a ויחד עם זאת אין ריבוי מוטות כה גדול כמו ב 12.6c .

צריך לזכור לגבי דוגמה זו מס׳ דברים: א. חסרים בה עדיין אורכי העיגון. ב. חסרים פרטי זיון, כמו עיגון בסמכים. ג. היא עוסקת במוטות ישרים בלבד. אם היו משולבים בה מוטות מכופפים התמונה היתה משתנה קצת.

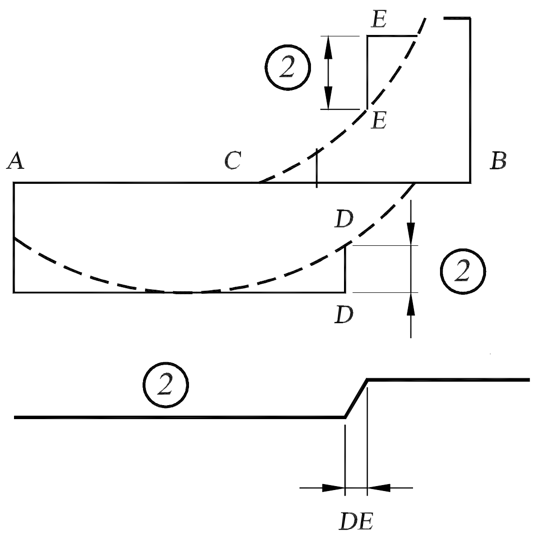
<u>כיפוף מוט והשימוש בו בשני צידי המעטפת</u> ניתן לראות בציור מס׳ 12.7 . מוט מס׳ (2) כאן, אינו דרוש יותר החל בנקודה D . מאחר והתאור הוא של כוח מתיחה הכיוון האנכי מתאר את הכוח במוט (2) עליו אפשר לוותר בחלק התחתון של המעטפת. המוט כופף בזוית בתחום המותר ($45\text{-}60^0$ בקורה ו $30\text{-}45^0$ בטבלה) והוא מופיע בצד העליון בנקודה המסומנת E . בתחום DE הוא אינו פעיל בכפיפה. עד הנק׳ D הוא פעיל למטה והחל בנק׳ E הוא פעיל למעלה. הוא פעיל מיד ובמלואו בנק׳ E מאחר והוא מהווה מוט שלם אחד ואינו זקוק לעיגון בין הנק׳ E ו D . החל ב E הוא פעיל לכיוון הסמך B ומקבל אותו כוח ולכן בכיוון אנכי מסומן שיעור הכוח (2).

באופן זה מנוצל המוט למומנט חיובי ושלילי. אם קיים צירוף נסיבות מיוחד בו ניתן להשתמש במוט גם לגזירה הניצול שלו יהיה מושלם. במקרה כמו הנדון הנק׳ E D הן רחוקות מהסמך B ולכן הסיכוי שהמוט ישמש לגזירה נמוך. הרחבת מעטפת קו כוח המתיחה בשיעור ההעתקה v גרמה לכך שקשה יותר לנצל מוט זיון בודד לשימוש המשולש של כפיפה (חיובי) גזירה וכפיפה (שלילי).



ציור 12.6

שימוש במעטפת המומנטים במקום מעטפת קו כוח המתיחה אפשרי כאשר אין על האלמנט כוח צירי. כאשר אין כוח צירי במקום $M_{Sd}/z + N_d$ יהיה M_d/z בלבד. מאחר וכוח המתיחה מחושב, בדרך כלל, בשימוש זרוע פנימית אחת z עבור כל איזור מומנטים, הרי שאופי וצורת עקום מעטפת המומנטים ומעטפת קו כוח המתיחה זהים לחלוטין במקרה שאין כוח צירי N_d . אי לכך במקרה בו אין על האלמנט כוח צירי אפשר לתת כסוי למעטפת המומנטים המורחבת על ידי מעטפת הזיון (מעטפת המומנטים אשר הזיון הניתן בפועל מקבל) או לתת כסוי לקו כוח המתיחה באמצעות מעטפת הזיון (מעטפת הכוח אשר הזיון הניתן בפועל מקבל). התוצאה תהיה זהה.



ציור 12.7

12.7 פרטי הזיון לאורך מעטפת הזיון לכפיפה באלמנטים קוויים

סעיף זה עוסק בכל הנוגע לפרטי הזיון לאורך מעטפת הזיון לכפיפה של אלמנט קווי מתוח בכיוון אחד. מכלול הנושאים אותם סעיף זה מקיף עושה אותו מתאים לא רק לטבלות מתוחות בכיוון אחד אלא גם לקורות, אשר ביסודן גם הן אלמנט מתוח בכיוון אחד עם הבדלים אחדים, כגון: בקורות בדרך כלל יהיה צורך להתמודד עם נושא הזיון לגזירה, והבדל נוסף – בקורה יהיה תמיד שלד של זיון אשר יחייב זיון עליון (זיון "הרכבה") גם באותם המקומות בהם הוא אינו מתחייב מן החישוב. המינימום המספיק על מנת לענות לצרכי סעיף זה הוא אבטחת הרציפות לאורך המעטפת ופרטי הזיון הנכנס או מסתיים בסמכים.

12.7.1 הפסקת חלק הזיון לאורך מעטפת הזיון לכפיפה ואבטחת העיגון

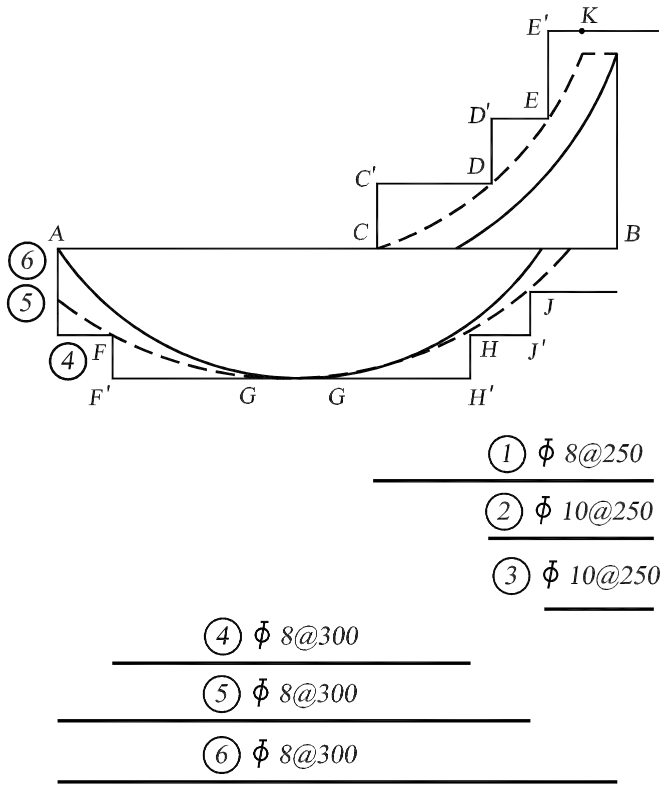
בהתאם לתכנון, מעטפת הזיון בקורה תורכב ממספר מוטות, בעלי קטרים שווים או שונים, בכל צד של המעטפת (במומנט החיובי או במומנט השלילי) לפי צרכי קו כוח המתיחה. בטבלה אלו תהיינה קבוצות של מוטות בקטרים שונים ובמרחקים שונים ביניהם. בציור 12.6 הוצגו שלוש אלטרנטיבות לתכנון הזיון בטבלה, כאשר עבור כל אחת מהן ניתנו הערות ביקורתיות שנועדו לדון ביתרונות וחסרונות כל אלטרנטיבה. למעט האלטרנטיבה של מוט יחיד עבור המומנט השלילי והמומנט החיובי (ציור 12.6a), ברור כי אין צורך להמשיך את מוטות כל קבוצות המוטות עד הסמכים ולפחות חלק מהם ניתן להפסיק פעולתם בשדה, בין אם פעולתם עבור מומנט חיובי (בחלק התחתון של הטבלה) או עבור מומנט שלילי (סמוך לפן העליון של הטבלה).

אם נשוב להתבונן בציור 12.6c ניראה כי מתוך שלוש קבוצות זיון תחתון שתיים ניתן להפסיק מבלי שיגיעו אל אחד הסמכים. באיזור המומנט השלילי, מתוך

שלוש קבוצות זיון, רק אחת יש להביא עד לקצה מעטפת קו כוח המתיחה ואילו שתיים אחרות ניתן להפסיק בסמוך יותר לסמך B , כל אחת במרחק שונה.

לצורך הבהרת הכללים להפסקה אפשרית של מוטות הזיון נציג את הנתונים בציור 12.8 המהווה חזרה על חלק הנתונים בציור 12.6c . נתון שדה ראשון של טבלה נמשכת, AB , וקו כוח המתיחה בצד המומנט החיובי בו מכוסה באמצעות שלוש קבוצות זיון (4) (5) ו (6) כאשר כל אחת מהן מייצגת כוח מתיחה של 175: 3 kN ובכל אחת $50\ mm^2$ @ 300 mm . כמות הזיון תואמת בדיוק את הנדרש בחישוב ועל כן קו מעטפת הזיון משיק בדיוק לקו כוח המתיחה בשדה.

באיזור המומנט השלילי נתונות שלוש קבוצות מוטות זיון (1)Φ8@250 mm (2) Φ10@250 mm ו (3) Φ10@250 mm . כמות הזיון הדרושה עבור כוח מתיחה של 275 kN היא $785\ mm^2$ אך הכמויות שניתנו לפי הקבוצות הן: $200mm^2$ $312\ mm^2$ ו $312\ mm^2$ וביחד $824\ mm^2$ שהם קצת יותר מהנדרש לפי החישוב ועל כן מעטפת הזיון מרוחקת קצת מקו כוח המתיחה.



ציור 12.8

כפי שיובהר להלן, חלק מהזיון התחתון חייב להגיע עד הסמך החיצוני וחלק עד לסמך הביניים. לפי הכמויות הנדרשות היה מספיק כי מוט (6) יגע אל תחתית הסמך B אולם לא מספיק עבור תחתית סמך A .

הכלל לגבי העיגון הדרוש עבור המוטות המופסקים לאורך המעטפת הוא כדלקמן: עיגון המוט ייבחן החל במקום בו הוא דרוש במלואו והחל במקום בו הוא לא דרוש כלל. האורך הגדול מבין השניים קובע. בנוסף לכך קיימת הדרישה לגבי המעטפת, כפי שנתונה בציור 12.8 לגבי אלמנטים מתוחים בכיוון אחד והיא שאורך העיגון לא יפחת מ d (הגובה הפעיל של האלמנט) מעבר לכל יתר דרישות המינימום המפורטות בפרק 10.

כזכור מתוך פרק 10 , l_b - הינו אורך העיגון הבסיסי, l_{a0} - אורך העיגון הבסיסי המתואם ו l_a – אורך העיגון :

$$l_a = \alpha_1 l_{a0} \geq l_{a,min} \qquad\qquad l_{a0} = l_b \frac{A_{s,calc}}{A_{s,act}}$$

בה : α_1 הינו מקדם בהתאם לצורת סיום המוט (עבור סיום פשוט ללא תוספות $\alpha_1=1.0$).

במעטפת למומנט חיובי מצד ימין (אל הסמך B) :

מוט (4) צריך להיות מעוגן ימינה אל B באורך עיגון מלא החל בנקי G ובאורך עיגון מינימלי ימינה החל בנקי `H .

מוט (5) צריך להיות מעוגן ימינה אל B באורך עיגון מלא החל בנקי H ובאורך עיגון מינימלי החל בנקי `J .

מוט (6) צריך להיות מעוגן ימינה אל B באורך עיגון מלא החל בנקי J , אבל – עליו להגיע אל תחתית הסמך B . <u>שליש</u> מכמות הזיון המחושבת בשדה חייבת להגיע לתחתית סמך ביניים ומוט (6) עונה על דרישה זו.

במעטפת למומנט חיובי מצד שמאל (אל הסמך A) :

מוט (4) צריך להיות מעוגן שמאלה אל A באורך עיגון מלא החל בנקי G ובאורך עיגון מינימלי החל בנקי `F .

מוט (5) צריך להיות מעוגן באורך עיגון מלא החל בנקי F . מאחר והוא קרוב מדי לסמך A ומאחר ומוט (6) בלבד המהווה שליש מכמות הזיון אינו מספיק – שני המוטות (5) ו (6) יובאו אל תחתית הסמך הקיצוני (עד לשם חייבים להביא לפחות <u>מחצית</u> הזיון אשר חושבה באמצע השדה).

במעטפת למומנט שלילי :

המוט מסי (1) דרוש במלוא אורך העיגון החל בנקי D ודורש אורך עיגון מינימלי החל בנקי `C .

המוט (2) זקוק לאורך עיגון מלא החל בנקי E ולאורך עיגון מינימלי החל בנקי `D .

המוט (3) זקוק לאורך עיגון מלא החל בנק K ולאורך עיגון מינימלי החל בנקי `E . אבל כמות הזיון שניתנה מעל סמך זה היא גדולה מן המחושב ולכן כבר בנקי K לא יידרש מלוא אורך העיגון אלא הוא יעודכן כבר שם לפי היחס $A_{s,calc} / A_{s,act}$ אשר במקרה זה יהיה 785/824 . אותו העידכון ייעשה גם עבור אורך העיגון המינימלי החל בנקי `E .

בנוסף לכל הנ"ל יש לציין עוד פרט חשוב לגבי חישוב אורך העיגון המקסימלי והמינימלי כפי שהוסבר לעיל. עבור כל מוט יש לחשב את אורך העיגון פעמיים : א. מהמקום בו הוא דרוש במלואו. שם שטח המוט עצמו יובא בחשבון עבור $A_{s,calc}$ וגם עבור $A_{s,act}$. ב. מהמקום בו חישובית הוא לא דרוש יותר (אבל גם משם דרוש עיגון קטן כל שהוא שכן פעולת מוט לא מסתיימת באותו המקום) . שם שטח המוט לא יובא בחשבון ב $A_{s,calc}$ אולם יובא בחשבון ב $A_{s,act}$.

נדגים את הנ"ל עבור מעטפת הזיון העוטפת את קו כוח המתיחה במומנט השלילי בסביבת סמך B לפי ציור 12.8 :

מוט (1) צריך להיות מעוגן במלוא אורך העיגון החל בנקי D ושמאלה ובאורך העיגון המינימלי החל בנקי C (שהיא גם `C) שמאלה. החל ב D $A_{s,act} = A_{s(1)}$ וגם $A_{s,calc} = A_{s(1)}$. אי לכך החל בנקי D, עבור מוט (1), יהיה $l_{a0} = l_b$ ו $l_a = \alpha_1 l_b$. החל ב נקי C יהיה $A_{s,calc} = 0$ (לא דרוש זיון מחושב כלל) אבל : $A_{s,act} = A_{s(1)}$ אולם : $l_a = \alpha_1 l_{a0} \geq l_{a,min}$.

מוט (2) דרוש במלואו החל בנקי E ובה דרושים רק שני מוטות, לכן :
$A_{s,calc} = A_{s(1)} + A_{s(2)}$ וגם $A_{s,act} = A_{s(1)} + A_{s(2)}$ (מוט (3) לא מופיע שם כי הוא נחשב כסיים את תפקידו . אי לכך מ E ושמאלה דרוש אורך העיגון המלא. מוט (2) לא דרוש החל בנקי D ושמאלה כלל לכן יחושב לו שם אורך עיגון מינימלי : $A_{s,calc} = A_{s(1)}$ אולם $A_{s,act} = A_{s(1)}+A_{s(2)}$ אי לכך החל בנקי D ושמאלה יהיה $l_a = \alpha_1 l_{a0} \geq l_{a,min}$.
כעת l_{a0} של מוט (2) יהיה ארוך יותר מאשר l_{a0} של מוט (1).

עבור מוט (3) החל בנקי K הוא דרוש באורך עיגון מלא אולם $l_a = \alpha_1 l_{a0}$ אבל עבור l_{a0} נצטרך להניח : $A_{s,calc} = 785 \text{ mm}^2$ (כך חושב) ומה שניתן בפועל הינו : $A_{s,act} = A_{s(1)}+A_{s(2)}+A_{s(3)}$. החל בנקי E דרוש אורך עיגון מינימלי ולכן יהיה :
$A_{s,calc} = A_{s(1)}+A_{s(2)}$ ואילו $A_{s,act} = A_{s(1)} + A_{s(2)} + A_{s(3)}$

מענין לציין כי בנקודות המינימום עבור המוטות החל ב E עבור (3) והחל ב D עבור (2) והחל ב C עבור (1) היחס $A_{s,calc} / A_{s,act}$ משתנה באופן הדרגתי :
$[A_{s,calc}/A_{s,act})]_{(1)} < [A_{s,calc}/A_{s,act}]_{(2)} < [A_{s,calc}/A_{s,act}]_{(3)}$.

12.7.2 עיגון מוטות ורשתות בתחתית סמך קיצוני

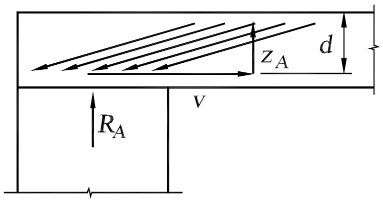
בתחתית סמך קיצוני, אשר חושב כפרקי, יש למלא אחת משתי הדרישות (הגבוהה בהן): א. להעביר לתוכו חלק מכמות הזיון אשר חושבה לכפיפה בשדה הסמוך, ב. להעביר אליו כמות זיון מחושבת.

הדרישה התקנית להעביר: בטבלה - לא פחות ממחצית כמות הזיון המחושבת בשדה ובקורה – לא פחות משליש (רבע לפי EN2) הכמות המחושבת בשדה (ולא פחות משני מוטות). דרישה זו מעוגנת במחשבות על ההתנהגות הגלובלית של המבנה שלא כאן המקום לפרט.

הדרישה לכמות זיון מחושבת היא פשוטה:

אם הריאקציה בסמך A (ראה ציור 12.9a) היא R_A , הרי שמותר להניח כי אל כיוון הסמך מכוון כוח לחיצה אלכסוני ומהסמך כלפי השדה מכוון כוח מתיחה אופקי Z_A שהינו קצה קו כוח המתיחה. שלושת הכוחות האלה יוצרים משולש כוחות בו ההנחה היא כי עבור זווית השיפוע של המוט המשופע אפשר להניח v/d כאשר d הוא הגובה הפעיל ו v מידת ההעתקה. אי לכך: $Z_A = (v/d)\ [R_A+N_d]$, כאשר N_d הינו הכוח הצירי באלמנט, אם קיים (חיובי במתיחה). על כן כמות הזיון הדרושה בכיוון אופקי (היא כמות הזיון אשר יש לעגן בתחתית הסמך לפי חישוב): $A_{S,A} = Z_A / f_{sd}$.

כאשר מדובר בטבלה דקה v יכול להיות מקסימום d (בעבר זה היה 1.5 d) ולכן Z_A יהיה בדרך כלל כוח לא גדול ולכן במקרים נדירים כמות הזיון המחושבת תעלה על מחצית הזיון המחושב בשדה (אין לשכוח כי מדובר בטבלה נשענת חופשית בשדה הקיצוני). בקורה יכול Z_A המחושב להיות גדול יותר מאשר הכוח בשליש הזיון המחושב בשדה.

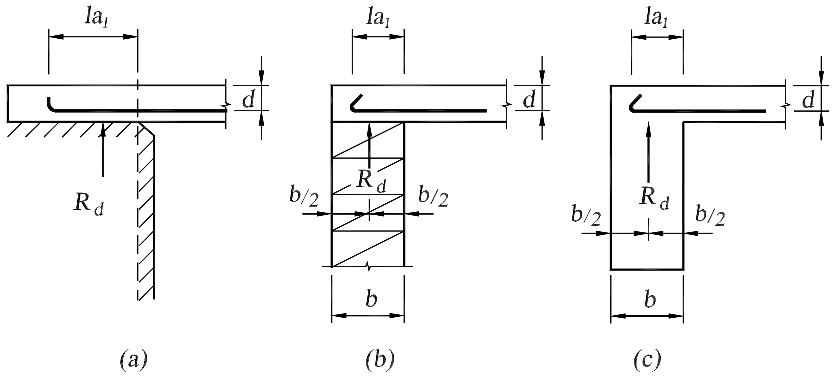


<u>**ציור 12.9**</u>

יש להתייחס לשתי שאלות נוספות כאשר אחת נובעת מהשניה: הראשונה היא – מה אורך העיגון הדרוש בסמך? השניה: מאיפה לחשב את אורך העיגון הזה? לצורך כך יש להבחין בין שני סוגי השענה: השענה ישירה והשענה בלתי ישירה.

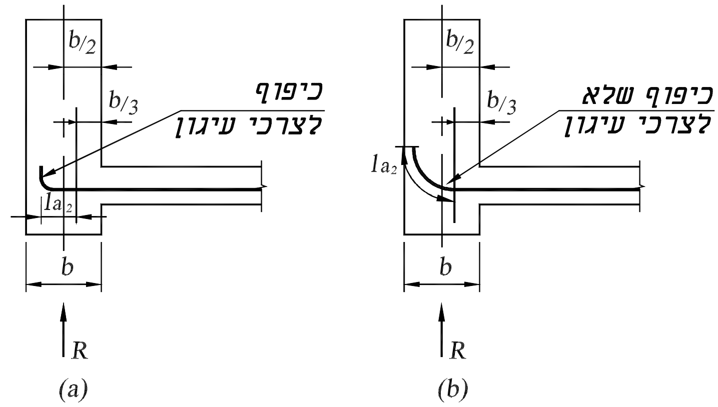
<u>השענה ישירה</u> – האלמנט (טבלה או קורה) מקבל את השענתו על סמך באופן שהזיון המגיע אל תחתית הסמך מצוי בסביבת לחיצה משני בצדדים (למעלה ולמטה) ובאופן זה הוא מצוי בסביבה משופרת מבחינת תנאי העיגון שלו. דוגמאות של השענה ישירה הם: השענה על קורה , על הפן העליון הלחוץ שלה (ציור 12.10c) על קיר בטון

או בני (ציור 12.10b) או גוש קשיח (ציור 12.10a). בכל אחד משלושת הציורים מסומן הסמך התאורטי לצורך החישוב הסטטי. בכל אחד משלושתם נקי המגע הראשונה בין הטבלה לבין הסמך הינה הנקי בה ניתן להתחיל את מדידת אורך העיגון l_{a1} (ראה בהמשך).



ציור 12.10

השענה בלתי ישירה – כל השענה שאינה ישירה (כל השענה בה לא נגרמת סביבת לחיצה באיזור עיגון מוטות הזיון בתחתית הסמך ולכן תנאי העיגון שלהם נחותים). דוגמאות להשענה בלתי ישירה נתונות בציור 12.11. בשני חלקי הציור הסמך התאורטי לצורך החישוב הסטטי הינו באמצע הסמך, במרחק ***b/2*** מקצה הסמך, אך בכולם הנקי ממנה ניתן להתחיל את מדידת אורך העיגון l_{a2} (ראה בהמשך) היא במרחק ***b/3*** מקצה הסמך (***b*** – רוחב הסמך) וזה מביא בחשבון את אפשרות סיבוב הסמך.



ציור 12.11

אורך העיגון הדרוש בתחתית סמך קיצוני, כאשר ההשענה ישירה הינו l_{a1}:

$$l_{a1} = 2/3\ l_a \geq 2/3\ l_{a,min} \qquad (12.5)$$

אורך העיגון הדרוש בתחתית סמך קיצוני כאשר ההשענה היא בלתי ישירה הינו l_{a2} :

$$l_{a2} = l_a \geq l_{a,min} \qquad (12.6)$$

הערה : EN2 האחרון לא מתייחס כך אל סמך בהשענה בלתי ישירה, אך מצד שני הוא לא מתייחס אל בעיה עיגון המוט בסמך בהשענה בלתי ישירה כאשר העיגון הוא בסביבה מתוחה מובהקת. אי לכך מוצע כאן להישאר עם הפרוש המחמיר יותר של עיגון בסמך בהשענה בלתי ישירה מאחר וזה יהיה לצד הבטחון. הדוגמה הנתונה בציור 12.10c הינה זו אשר בEN2 ושם כמו בתקן הישראלי התחלת נק' העיגון היא במגע הראשון של הטבלה עם הקורה.

העובדה אם המוט מסתיים בוו או אוזן מובאת בחשבון ב l_a הכולל את המקדם α_1 המגלם את השפעת צורת סיום המוט.

טבלות עם זיון עשוי רשתות מרותכות.

יש להבחין בין רשתות עשויות ממוטות מצולעים או ממוטות חלקים. רשת עשויה מוטות חלקים מותר לעגן רק כרשת, כלומר עם נוכחות מוטות רוחביים באיזור העיגון (או החפייה). רשת עשויה ממוטות מצולעים מותר לעגן גם ללא נוכחות מוטות רוחביים, כלומר כמוטות בודדים מעבר למוט הרוחבי האחרון.

כאשר מהרשת מטעמי ביצוע נחתכו המוטות הרוחביים הסמוכים לסמך באופן שלתוך הסמך נכנסים אך ורק מוטות מקבילים למפתח וניצבים לסמך, ללא שום מוט רוחבי בסמך, העיגון של מוטות הרשת הוא כמו מוטות זיון בודדים לכל דבר ללא כל תרומה של הרשת.

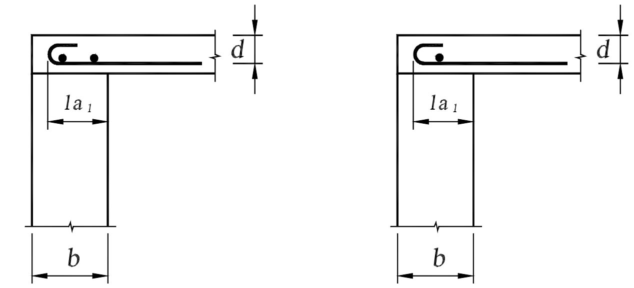
תרומה של הרשת לעיגון יש אך ורק כאשר באיזור העיגון יש מוט רוחבי, אחד או יותר, של הרשת – ציור 12.12 .

ההגדרה של ההשענה בסמך כישירה או בלתי ישירה אינה משתנה – היא קימת. ההגדרה של אורכי העיגון כ l_{a1} בהשענה ישירה וכ l_{a2} בהשענה בלתי ישירה גם כן בתוקף.

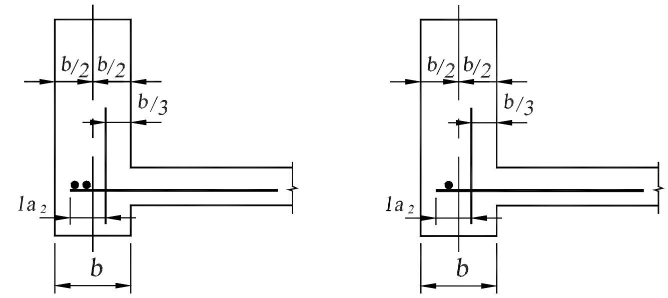
המקום ממנו מחושב העיגון : נק' המגע הראשונה בהשענה ישירה ו b/3 מפני הסמך כלפי המיפתח בהשענה בלתי ישירה כפי שנקבע לעיל.

הדבר היחידי שמשתנה הינו העובדה אם יש או אין תרומה של מבנה הרשת, באמצעות המוטות הרוחביים שלה, על אורך העיגון.

רשת עשויה מוטות מצולעים ולה מוט רוחבי אחד באיזור העיגון α_1 עבורה יהיה 0.7 . רשת לה שני מוטות רוחביים באיזור העיגון α_1 עבורה יהיה 0.5 . כאשר הרשת עשויה מוטות חלקים תרומת שני מוטות רוחביים מאפשרת קיצור העיגון ב 30% בלבד, כלומר α_1 שם יהיה 0.7 . ההבדל בין הרשתות, כלומר אם הן עשויות ממוטות חלקים או מוטות מצולעים יבוא גם בתוך l_b (אורך העיגון הבסיסי) של כל אחת.



השענה ישירה

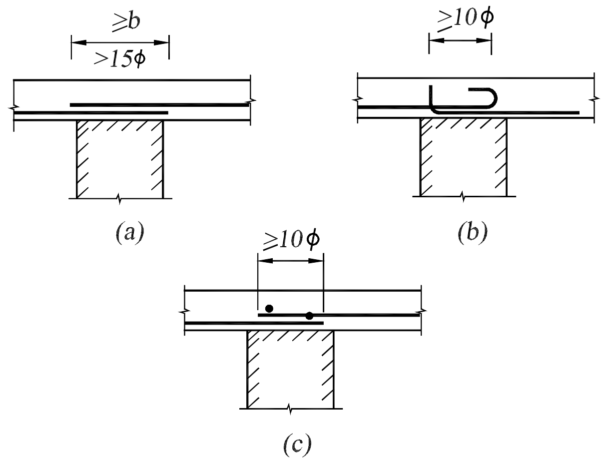


השענה בלתי ישירה

ציור 12.12

12.7.3 עיגון מוטות ורשתות בתחתית סמך ביניים

תחתית סמך ביניים היא בדרך כלל סביבה לחוצה. בדרך כלל תיווצר שם מתיחה רק עם היווצר מומנט חיובי בעת שקיעת סמכים. כל ההנחיות הניתנות בפרק זה אינן מביאות בחשבון שקיעת סמכים בכל מקרה. מסיבות אלה אין דרישה לערך מחושב של הכוח בזיון הנכנס לתחתית סמך ביניים. ערך מחושב של הכוח בתחתית הסמך יש לערוך לפי צרכי מצב סטטי מסוים אשר חושב.



ציור 12.13

כמות הזיון המינימלית אשר יש להביא אל תחתית הסמך היא (לפי תקן ישראלי):

בטבלות – שליש כמות הזיון המחושבת בשדה הסמוך למומנט חיובי.

בקורה - רבע כמות הזיון המחושבת בשדה הסמוך למומנט חיובי אך לא פחות משני מוטות.

בציור 12.13. נתון לקט פרטים אפשריים לעיגון בתחתית סמך ביניים: 12.13a מוטות ישרים ללא סיום של וו או אוזן – חפייה לפחות 15ϕ ולא פחות מרוחב הסמך, 12.13b – מוטות ישרים עם סיום וו או אוזן – חפייה לפחות 10ϕ , 12.13c – חפייה של 10ϕ לפחות עבור רשתות כאשר יש לפחות מוט רוחבי אחד בתחום החפייה. חשוב להדגיש - כל אחת מהאפשרויות הללו מספיקה על מנת לעגן בתחתית סמך ביניים את הזיון הבא מן השדה לצרכי הכפיפה בשדה. מומנט חיובי בסמך. הדרישה בEN2 היא קצת פחותה אך לא נראית הצדקה ממשית מדוע הדרישה בת"י היא מוגזמת. אף אחת מהן אינה מתאימה לענות לצרכי מומנט חיובי בסמך. לצורך זה יש לחשב את הזיון ולתת חפייה מחושבת מלאה ואין לזה תשובה באמצעות פרט שטחי. כאשר הזיון הבא אל תחתית סמך ביניים הוא של טבלה ובצורת רשת מרותכת ממוטות מצולעים קיימת האפשרות, אם לא קיימים באיזור תחתית הסמך מוטות רוחביים – יש להתייחס לזיון הרשת כמו מוטות בודדים רגילים.

12.8 רשתות זיון עבור טבלות מקשיות

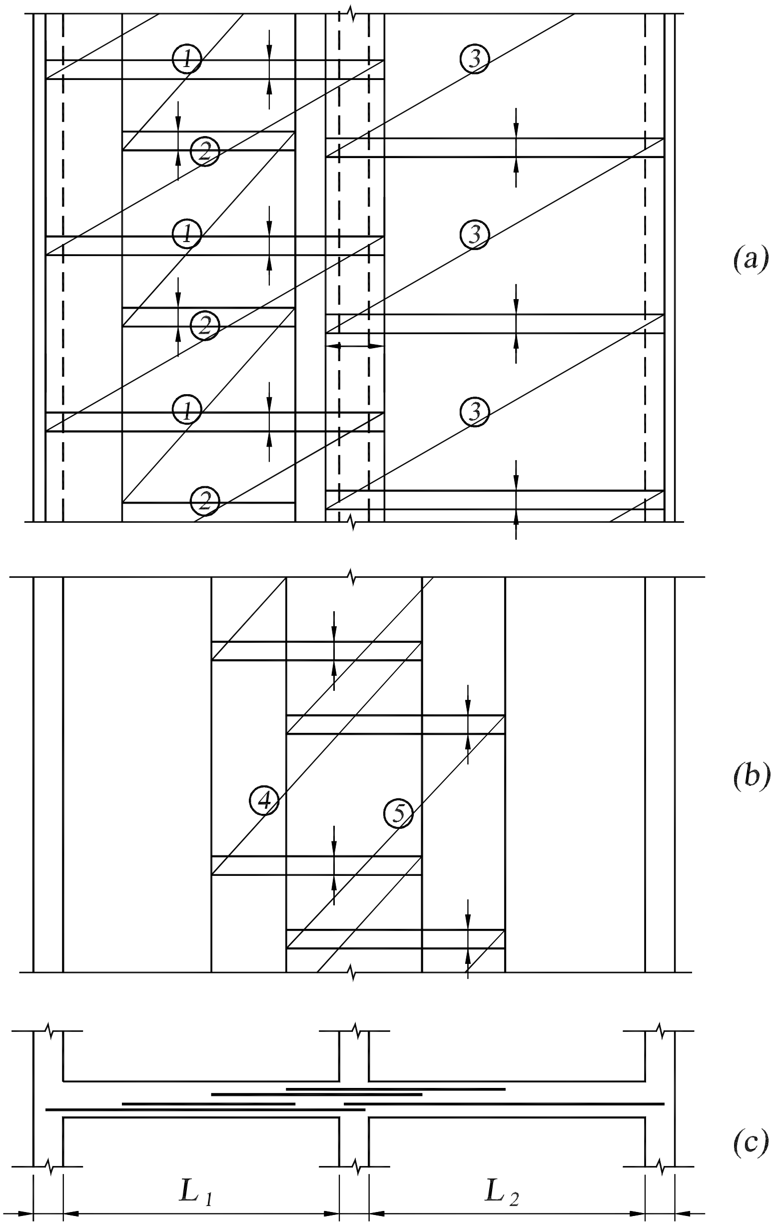
כפי שהוסבר בפרק 10 יתרון השימוש ברשתות זיון אינו מתבטא בכמויות הזיון המחושבות לכפיפה אלא בשניים:

א. תיעוש – שינוע ושימה של כמות זיון גדולה במקום עיסוק במוטות רבים בודדים. חוסר הגמישות בכיפופים מונעת את התמרון של שימוש בזיון שפעל בכפיפה במומנט החיובי למשל, גם למומנט שלילי (ולפעמים כאשר מדובר במוטות בודדים – מתאפשר גם איזה שהוא ניצול עבוד גזירה). העדר גמישות זו עולה בדרך כלל בכמויות ברזל ומכאן לעלויות יתר (נוטות להתקזז בחסכון עקב שינוע ושימה).

ב. קיצור אורכי העיגון – המוטות הרוחביים יוצרים בלם שליפה בדיוק כמו וו או אוזן במוט זיון בודד.

בציור 12.14 נתונה טבלה על שלושה סמכים ABC אשר חושבה לעומסים אנכיים קוויים מחולקים שווים וניתן הזיון בצורת רשתות מרותכות. נסקור את פרטי הזיון על מנת לעמוד על כמה נקודות מפתח בשימוש ברשתות מרותכות. לא מוצגים כאן מספרים ולא נתונים מחושבים אלא רק עקרונות.

בציור 12.14a נתון הזיון התחתון – הזיון למומנטים בשדות. בשדה AB שני סוגי רשתות: רשת (2) עוברת מסמך לסמך ומעוגנת בתחתית סמך A כבסמך קיצוני (שם יש לערוך גם חישוב עבור הכוח Z_A). בסמך B היא מוכנסת כבתחתית סמך ביניים.



ציור 12.14

רשת מסי (1) דרושה כהשלמת זיון בחלק מן השדה בלבד. מסומן המרחק מאחד הסמכים על מנת לאפשר למקם אותה במיקומה הדרוש המתוכנן.

יש לשים לב לכך כי לרשתות גודל סופי וביניהם יש חפיות. על מנת לא להרבות בחפיות באותו החתך החפיות של רשת (2) מוזזות לעומת החפיות של רשת (1) בהפרש פזה. את מיקום הרשתות בחתך ניתן לראות גם בחתך הנתון בציור 12.14c, שם יש לראות גם את פרט העיגון בסמכים A ו B .

בשדה BC רק סוג רשת אחד (3) וגם היא מגיעה אל תחתית סמך C כאל סמך קיצוני ואל תחתית סמך B כאל תחתית סמך ביניים. החפיות בין הרשתות (3) מוזזות מעט לעומת החפיות של הרשתות בשדה הסמוך – AB .

בציור 12.14b נתון הזיון העליון – הזיון למומנט שלילי. לא ניתן לתת את שתי תכניות הזיון בתכנית אחת. הזיון כולל שני סוגי רשתות – (4) ו (5). בחלק המיפתח מופיעה רק רשת (4) או (5) ובחלק המרכזי – שתי הרשתות על מנת לענות לצרכי מומנט גדול יותר.גם פה נעשה מאמץ לגרום לכך כי החפיות של שני סוגי הרשתות לא תהיינה באותו חתך אלא בהפרש פזה.

יש לשים לב לעובדה חשובה : כל הזיון בטבלה זו הוא של אלמנט מתוח בכיוון אחד, אי לכך זיון הרשתות בכיוון ניצב למיפתחים הינו כולו זיון מחלק – כלומר, עשוי להיות הפרש לא קטן בין הקטרים והמרחקים בין המוטות. בנוסף – כל החפיות בין הרשתות הן חפיות של הזיון המחלק ובאופן טבעי תהיינה קצרות יותר. אין בתכנית זו, אשר כוללת מעט סוגי רשתות ובאה רק להדגים סידור עקרוני של רשתות, כל חפיות בין מוטות זיון ראשי של הרשתות.

12.9 פרטי זיון ודרישות מינימום

בסעיף זה נחזור ונסכם מספר אבני דרך בתכנון, נאזכר כמה פרטים ונשלים כמה דרישות מינימום. מטבע הדברים – חלק מן הדברים נאמרו בסעיפים הקודמים או בפרקים הקודמים.

א. עמידה בדרישות מצב גבולי של שרות . עומדות לפני המתכנן שתי דרכים : להניח הנחה כל שהיא ולבדוק אם היא מאפשרת עמידה בדרישות התקן. לחליפין – למלא אחר דרישות מסוימות שבתקן אשר יש בהן משום מלוי עקיף אחר הדרישה בתקן מבלי לבצע בדיקה חישובית.

לדוגמה – עמידה בדרישות הכפף. חוקת הבטון [1] קובעת כי הכפף המירבי יהיה ***l/250*** כאשר ***l*** הינו המיפתח. אפשר להניח עובי האלמנט ולוודא את התאמתו לחוזק ואחר כך לחשב את הכפף ולהיווכח כי העובי עומד בדרישות. אפשר לעשות חישוב יותר מדויק (אינטגרציה) של הכפף או חישוב מקורב לפי נוסחת Branson לפי התקן האמריקאי [5] – סעיף 6.4.2 ב [1] (חישוב מקורב של הכפף). אולם אפשר גם לבחור את העובי בהתאם לסעיף 6.4.3 ב [1] - הגבלת תמירות רכיבים בכפיפה כתחליף לחישוב הכפף.

לדוגמה – עמידה בדרישות הגבלת הסדיקה. חוקת הבטון [1] קובעת כי באלמנט המצוי בתנאי הסביבה הנוחים ביותר יהיה רוחב הסדק המותר 0.3 ממ׳. ניתן להניח הנחות ביחס למידות האלמנט וכמויות וצורת הזיון בו. אפשר לאחר מכן לחשב את רוחב הסדק לפי סעיף (ב [1]) 6.3.1 – חישוב רוחב הסדק. לחליפין – מותר להניח הנחות מסוימות לפי סעיף (ב [1]) 6.3.2 – תנאים לפתור מחישוב רוחב הסדק. התנאים הם : הגבלת קוטר המוטות כפונקציה של מידת ההטרחה במצב שרות [1] : סעיף

6.3.2.1 – קוטר מקסימלי של מוטות הזיון, וסעיף 6.3.2.2 – מרחק מקסימלי בין מוטות הזיון, הכל כפוף גם לשמירה על מידת הכסוי נטו הדרושה לבטון.

ב. <u>הקפדה על כמות זיון מינימלית</u>: זיון ראשי לכפיפה.
שני קריטריונים לקביעה זו: הראשון - מנת זיון מינימלית מחושבת (כחלק מדרישות החוזק, או אבטחת מצב גבולי של הרס). השני – אבטחת זיון מינימלי לסדיקה (סעיף 6.3.3 – זיון מינימלי לסדיקה).

זיון מינימלי להבטחת מצב גבולי של הרס ניתן בתקנים יחד עם חבילת הדרישות לגבי אלמנטים ראה חלקים 1 [1] ו 2 [2] של חוקת הבטון.

בתור מנת זיון מינימלית אפשר להניח $\rho_{min} = 0.0015$ (לפי EN2 יהיה $\rho_{min} = 0.26 f_{ctm} / f_{sk} \geq 0.0013$) כאשר הזיון מצולע, ו $\rho_{min} = 0.0025$ כאשר הזיון עגול (ללא צילוע). מנת הזיון מחושבת מתוך bd - שטח החתך הפעיל.

קוטר המוטות המינימלי יהיה: 8 ממ' בזיון עגול ו 6 ממ' בזיון מצולע ו 5 ממ' בזיון מצולע או עגול ברשתות מרותכות.

המרחק המקסימלי בין מוטות הזיון הראשי יהיה הקטן מבין: 2d ו 250 ממ' (הערה: בEN2 מירווחים אלה גדולים יותר).

באופן זה, הקוטר המינימלי עם המרחק המקסימלי יוצרים גם הם קריטריון מסוים לכמות זיון מינימלית. קריטריון זה תקף רק עבור אמצע המיפתח – סביבת המומנט המקסימלי בשדה. אין באלה אבטחה מפורשת לשמירה על רוחב הסדקים.

ג. <u>הקפדה על כמות זיון מינימלית</u>: זיון ניצב לראשי לכפיפה (זיון מחלק).
לגבי זיון זה אין כללים אחידים וקיימות הרבה מאד המלצות, חלקן מאד רחוקות אחת מן השניה:

הזיון המחלק יהיה מסוגל לשאת לפחות 20% מה<u>כוח</u> אותו מסוגל לשאת הזיון הראשי לכפיפה באותה סביבה.

המרחק בין המוטות יהיה הקטן מבין: 3.5d או 350 ממ'.

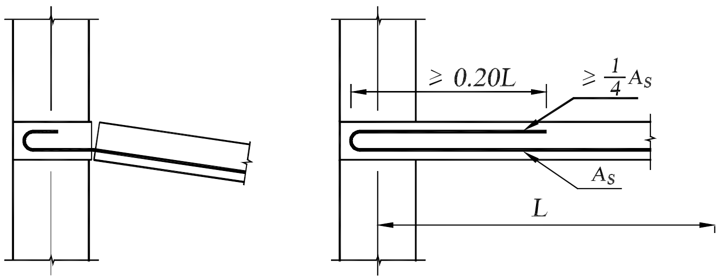
הקטרים המינימליים – כמו בזיון האורכי הראשי.

מנות הזיון המינימליות תהיינה: 0.0010 בזיון עגול 0.0008 בזיון מצולע או רשתות.

ד. <u>משיכת חלק מהזיון לכפיפה עד לסמכים</u>: בטבלה לפחות חצי מהזיון שחושב למומנט חיובי בשדה יועבר עד לתחתית סמך קיצוני ויעוגן בו לפי סעיף 12.7.2. לפחות שליש הזיון המחושב כנ"ל יועבר את תחתית סמך ביניים ויעוגן בו לפי הפרטים בסעיף 12.7.3 .

ה. <u>זיון מינימלי עליון בסמך קיצוני פרקי</u>.
כאשר טבלה חושבה בהנחה כי הסמך הקיצוני הוא פרקי וכתוצאה מהנחה זו לא ניתן זיון למומנט שלילי מחושב שם, יחד עם זאת, החיבור המונוליטי בין הטבלה

לבין הסמך יכול לגרום למומנט שלילי שם, אי לכך יש לתת מעל סמך כזה לפחות רבע מכמות הזיון אשר חושבה בשדה הקיצוני למומנט חיובי כזיון עליון ובאורך שלא יפחת מ 20% מאורך המיפתח הקיצוני. זיון זה ניתן על מנת למנוע מצב של סדק בסביבת הסמך הקיצוני (ציור 12.15) והחלשת החתך לכוח גזירה.

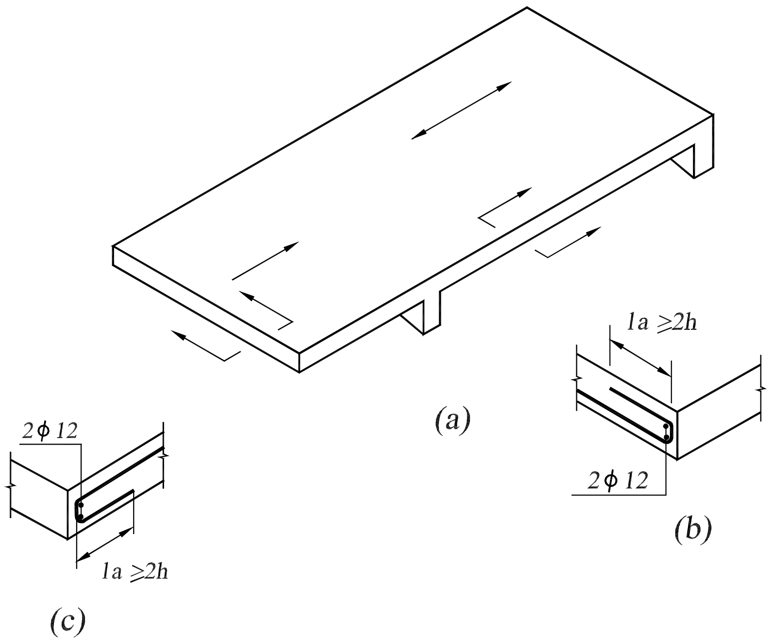


<u>ציור 12.15</u>

ו. <u>הגנה על שפה חופשית בטבלה</u>.

בטבלה מתוחה בכיוון אחד קיימות השפות המקבילות למיפתח והשפות הניצבות למיפתח (ציור 12.16a) השפות המקבילות למיפתח רגישות להטרחה מקומית, נקודתית, או מתמשכת (למשל קיר או מחיצה לאורך שפת הטבלה) . על שפה כזאת יש להגן באמצעות זיון אשר ייצור אפקט של קשירה / חגורה . ההגנה נעשית על ידי חישוק פתוח בצורת "ח" (ציור 12.16b) כאשר אורך הרגליים האופקיות שלו לפחות 2h , ובשתי הפינות 2 מוטות זיון. קוטר המוטות צריך להיות תואם את קוטרי הזיון הראשי לכפיפה בכיוון המיפתח. הוא לא יהיה פחות מ $2\Phi10$ ויכול להגיע גם ל $2\Phi16$ אם עובי הטבלה והזיון בה כבדים מאד (בתעשיה למשל).

ביחס לשפה ניצבת למיפתח – כאשר הטבלה נישענת על קורה ומסתיימת שם – הקורה משמשת לחיזוק השפה. כאשר הטבלה מסתיימת בזיז – קצה הזיז הוא נקודת תורפה ויש לטפל בו בדיוק כמו בשפה מקבילה למיפתח הטבלה – ציור 12.16c. חלק מהזיון העליון של הזיז המגיע עד קצה הזיז יכול לשמש במקום החישוק, בתנאי שקוטרי הברזל אינם גדולים וניתן לכופף אותם בצורה נוחה על מנת לקבל את אפקט החישוק.



ציור 12.16

12.10 השימוש בתוכנות מחשב לתכן טבלות

קיימת נטייה גוברת להיזקק לתוכנות מחשב לתכן מבנים בכלל ולתכן מבני בטון מזוין בפרט. אין ספק כי הנוחיות והיעילות הרבה מפתים אך הסיכונים רבים. לצורך החישוב הסטטי של מבני בטון מזוין חישוב אלסטי במרבית הגדולה של המקרים מספיק בהחלט, ומאחר וזה מבוסס על אלסטיות ליניארית, הרי שהחישוב הינו בעצם מתמטיקה, אי לכך האמינות של התוכנות, אם לא נעשתה טעות בהקלדת נתוני הפתיחה, הינה גבוהה.

כאשר מגיעים להפקת פרטי ברזל (אורכי ו/או גזירה) הבעיה נעשית מורכבת הרבה יותר. רגישות התוצאות לנתוני הדרישה שיוכנסו לתוכנה, כגון: קטרי מוטות, מרווחים בין המוטות, כסוי המוטות, וכן' וכו', גבוהה ביותר. גם התוכנה, כול תוכנה שתהיה, אינה יכולה לספק את כול מהוויה המשתמש. אי לכך לצורך הפקת כמויות, פרטי וסידור הברזל דרושה מומחיות אשר אינה בידי הלומד או המהנדס המתחיל.

אי לכך מומלץ מאד למשתמש בתוכנה לרכוש מיומנות הן בתכן מבני בטון מזוין והן ביכולות התוכנה, כי רק כך יוכל להפיק ממנה את התוצאות הנכונות והטובות, ואם אין בידיו מיומנות כזאת, אין הוא יכול "לתקשר" עם התוכנה ועל כן תוצאות התכנון שלו תהיינה ירודות ולעתים לא נכונות.