

13. קורות*

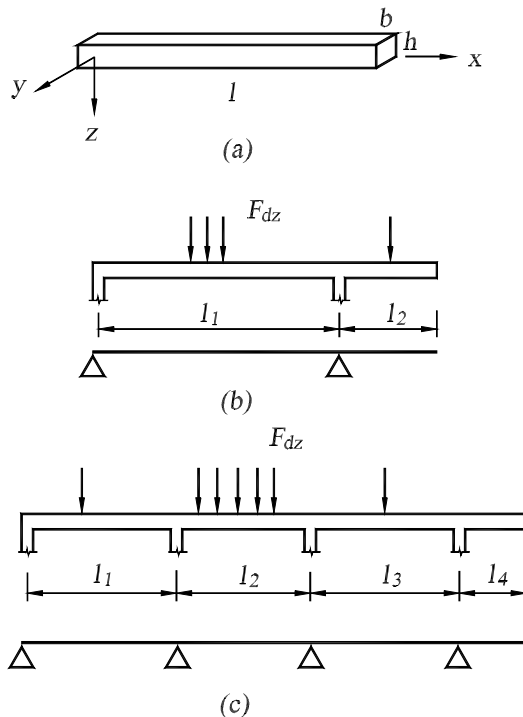
13.1 כללי

קורה היא אלמנט קווי – מימדי החתך שלו (הגובה h והרוחב b כאשר החתך מלבני) קטנים ביחס למימד השלישי – המיפתח L (ציור 13.1a), אלא אם כן מדובר בקורה גבוהה בה היחס L/h נמוך. במקרה זה חלות הוראות אחרות ותפיסן תכנונית אחרת שאינה חלק מפרק זה. חתך הקורה יכול להיות מלבני, בעל צורת קמץ או ריש או כל צורה אחרת, אך בכל מקרה מידות החתך תהיינה קטנות ביחס למיפתח (לרוב יחס L/h גבוה מ 8 לערך. מרבית צורות חתכי הקורה ניגזרות מן העבודה בתבניות ולכן צורה מרובעת, חתך קמץ או דומות להן הן הצורות המצויות ביותר. קורות יכולות להיות יצוקות באתר או טרומות או שילובים של יציקה באתר עם אלמנטים טרומיים. פרק זה עוסק בקורות יצוקות במלואן באתר.

קורה יכולה להיות שעונה על שני סמכים (ציור 13.1b) או יותר (ציור 13.1c). לצורך התאמת הדיון לאלמנטים קוויים נניח כי ציר הקורה מתלכד עם מרכז הכובד של החתך, כאשר הוא מתלכד עם ציר x בו בזמן שהחתך מצוי במישור yz (13.1a). נניח כמו כן את ההנחות הבאות לצורך נוחיות החישוב:

1. העומסים פועלים במישור xz בלבד. וקטור המומנטים מקביל לציר y בכל מקרה.
2. העיבורים והמאמצים בכיוונים y ו z (כיווני מידות החתך הנחשבות קטנות ביחס למיפתח) מוזנחים (למעט מקרים של תליית עומס על הקורה).
3. הזזות הקורה הן קטנות ולכן מבחינה סטטית היא נחשבת כמתפקדת בתחום ההזזות הקטנות ולכן כל ההנחות של חישוב סטטי מסדר ראשון מספיקות לחלוטין.
4. פועל יוצא מההנחות לעיל הוא כי ההזזות הרלבנטיות היחידות הן שקיעה בניצב לציר הקורה (בכיוון z) עיבורים ומאמצים בכיוון x (עקב כפיפה בלבד או כפיפה משולבת עם כוח צירי) ומאמצי דחייה במישור xz (אלא אם כן מתברר כי נמנעת מן הקורה תזוזה אופקית – קרי בכיוון x).
5. הנחת קירקהוף בתוקף – חתך מישורי וניצב לציר הקורה לפני ההטרחה יישאר מישורי וניצב לאותו ציר גם לאחר ההטרחה (בהזנחת הדפורמציות עקב גזירה).
6. עיבורים עקב גזירה מוזנחים, גם בשל היותם קטנים בסדר גודל מהעיבורים בכיוון ציר הקורה (כפיפה וכוח צירי) – למעט הטרחה בפיתול טהור, שם אין אפשרות להזניחם (ושם עקב הדפורמביליות הגבוהה העיבורים בגזירה עקב פיתול גבוהים). מערכת הנחות זו מטרתה להציג את הקורה כאלמנט קווי, לבצע את החישוב סטטי על ציר הקורה כאשר כל תכונות החוזק והדפורמביליות מרוכזות בציר הקורה לצורך החישוב הסטטי. עם סיום החישוב הסטטי באים לתכנן את הקורה על סמך כל מה שרוכז בציר הקורה לצורך החישוב שלה. כמובן שככל שהקורה אלמנט תמיר יותר (יחס מיפתח לגובה החתך גדול יותר) ההנחה תקפה יותר.

לקורה ולטבלה מתוחה בכיוון אחד הרבה מאד משותף ולכן חלק גדול מהדרוש להבנת ותכן קורות כבר מצוי בפרק על טבלות מתוחות בכיוון אחד פרק 12.



ציור 13.1

השוני ביניהן הוא בשניים: א. עובי הטבלה נקבע בעיקר מתוך שיקולי מצב שרות. כוחות הגזירה בטבלה מתוחה בכיוון אחד לרוב מביאים להתפתחות הטרחה אשר תסבולת הקורה כסדוקה בכפיפה (או כלל לא סדוקה) לבדה תוכל לעמוד בה. שיקולי כפף בקורה יכולים להיות גורם לא משפיע לעומת החוזק – בקורה יכולים חתכים להגיע לניצול מירבי של תסבולת הגזירה והכפיפה. ב. המשקל העצמי של הקורה אינו גורם בעל משמעות. הקורה מסוגלת לשאת עומסים העולים בשיעור ניכר על משקלה העצמי. בטבלה המשקל העצמי הינו מרכיב גדול במכלול העומסים הפועלים על הטבלה.

13.2 שלבים עיקריים בתכן קורות

בכל האלמנטים הקונסטרוקטיביים, וגם בקורות, התכנון כולל חלקים אשר בהם יש לבצע חישוב בעליל וחלקים בהם ניתן, באמצעות מלוי הוראות והמלצות כל שהן, לעקוף את הצורך בביצוע חישוב (ולמרות זאת מה שניתן ייחשב כשווה ערך למחושב).

השלבים העיקריים הם:

- א. קביעת עומסי התכן. פה כלול המשקל העצמי, אולם הוא גורם קטן בכל מיכלול העומסים ולכן גם סטייה ניכרת מאומדן נכון של מידות החתך תהיה סטייה מיזערית במיכלול עומסי התכן.
- ב. בדיקת העמידה בקריטריון הגבלת השקיעה.
- ג. חישוב סטטי (כולל כפיפה וגזירה לפחות, וכן כוח צירי אם יש).
- ד. אימות סופי של מידות החתך או תיקון תוך מבחן עמידת החתכים בכפיפה ובגזירה (וגם בחינה מחדש של העמידה במצב גבולי של שרות).
- ה. חישוב כל כמויות הזיון לכפיפה ולגזירה.
- ו. אבטחת מעטפת קו כוח המתיחה ומעטפת כוחות הגזירה ועיגון כל הזיון.
- ז. עריכת תכנית מפורטת עם כל פרטי הזיון, מידות גיאומטריות של הקורה ומיקומה במבנה.

13.3 שיקולים בקביעת מידות החתך

כפי שנאמר בסעיף 13.1, בניגוד לטבלה, החתך ייקבע לא רק משיקולים של מצב שירות (הגבלת הכפף) אלא גם, ולפעמים בעיקר, משיקולים של חוזק – חוזק בכפיפה וחוזק בגזירה. מבחינת כפיפה – יכולים להיות מצבים בהם תהיה התקרבות למומנט התסבולת המקסימלי ללא זיון ללחיצה - $M_{cd,max}$. יש לזכור כי בניגוד לשנים רבות של ניצול חתך מלבני, לפי הוראות התקן [1] לאחר הרביזיה יהיה $x \leq 0.4d$ (או באופן כללי $S_e \leq 0.64 S_0$). מבחינת גזירה, אין לשכוח כי המבחן העליון לתסבולת החתך בגזירה הינו תסבולת המוטות הלחוצים (ראה $V_{Rd,max}$ בפרק 11) וככל שיש זיון רב יותר לגזירה אשר חוצה אותם הם מאבדים חלק מחתכם.

שיקול נוסף אשר איננו בטבלה הינו היכולת למקם את הזיון. רוחב הקורה מוגבל מכל מיני טעמים, ביניהם ארכיטקטוניים, אי לכך לעתים נוצר קושי אוביקטיבי למקם בו כמויות זיון אשר מתקבלות בחישוב.

יש מקרים בודדים בהם המיפתח גדול מאד לעומת רוחב הקורה ובהעדר תמיכה צידית כל שהיא אפשר להתקרב לסכנת קריסה צידית. שיקול זה יש להביא בחשבון כבר בהנחה הראשונית למידות החתך.

אבטחת מצב שירות תמיד יותר מורכבת בקורה מאשר בטבלה. המינימום אשר יש להבטיח עבור הענות לדרישות מצב שרות הוא הגבלת הכפף והסדיקה. הגבלת הכפף היא פונקציה של שנוי בגובה החתך וזה נושא שניתן לפתור. הגבלת הסדיקה הינה בעיה קשה יותר בגלל רוחב החתך המוגבל (לפעמים). בטבלה אין קושי להקטין את קוטרי המוטות על חשבון הגדלת הצפיפות ביניהם. אפשרות זו אינה קימת בקורה ועל כן קשה יותר להענות לדרישות הגבלת הסדיקה.

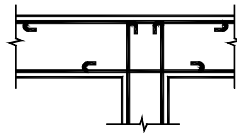
אופטימיזציה של עלות הקורה הינה תמיד לגיטימית (ובמשואה זו נכנסים תמיד שני החומרים – בטון ופלדה ולא רק אחד מהם) אך בצידה צריכה לעמוד נגד עיני המתכנן טובת הבטון המזוין – תנוחה נוחה של הזיון בקורה על מנת שתובטח עטיפתו המושלמת בבטון וכך גם יובטח הקיים לשנים רבות.

13.4 החישוב הסטטי

בחישוב הסטטי של קורות קיים יותר חופש מאשר בטבלות מתוחות בכיוון אחד מן הטעם הבא: הגובה הסטטי של הטבלה ניקבע ברוב המקרים של המקרים מטעמי שרות (הגבלת הכפף) ולכן, אף כי החתכים לא מנוצלים מבחינת החוזק, יכולת התמרון עם גובהם מוגבלת. בקורה בחלק גדול מן המקרים יש מקום לדפורמביליות נוספת (כלומר להגיע ל ω גבוהות יותר - סיבוב פלסטי פוטנציאלי) מאחר וגודל החתך ניקבע משיקולי חוזק (לרוב) ולא משיקולי מצב שרות.

13.4.1 סמכים ומיפתחים

כסמכים לקורות ישמשו קירות, עמודים, עמודי יסוד, יסודות או קורות אחרות. אם הסמך שוקע – יש להביא זאת בחשבון בחישוב הסטטי. שקיעת סמך נובעת מהישענות על קורה (שבעצמה שוקעת) או על יסוד שוקע. הנטייה להביא למונוליטיזציה של המבנה אינה מותרת מקום לסמכים המוגדרים תאורטית כפרק (העדר תזוזה אך סיבוב חופשי סביבו) או סמך נייד (אפשרות תזוזה אופקית ללא הפרעה). יש להשקיע מאמץ מיוחד ליצירת סמך המהווה פרק או סמך נייד וזה כולל השקעה יקרה בפרטים. החיבור המצוי בין קורות לסמכים שלהם (ציור 13.2) יכול תמיד זיון אופקי עליון ותחתון (של הקורה) וכן זיון חודר מהעמוד אל הקורה, ואף כי בחישוב הסטטי מתייחסים (אם לא נדרש להניח מסגרת) כקורה נשענת פירקית על עמוד, קיימת כאן מונוליטיות גדולה אשר לא תמיד באה בחשבון בחישוב.

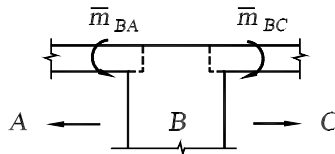


ציור 13.2

אף כי בהרבה מקרים ניתן לחשב קורה כאלמנט קווי נימשך, מחובר פרקית אל הסמכים שלו, יש לשקול היטב אם במקרה המיוחד הנדון החישוב כקורה אינו מעוות וחוטא להבנת התנהגות המבנה.

סמך רחב מאד הינו בעיה מיוחדת (ציור 13.3). האפשרות של איזון מומנטים מעל הסמכים מבוססת על יכולת הסמך להסתובב על מנת לאפשר את שנוי זווית הקו האלסטי מעל הסמך. אם הסמך רחב מדי תהינה שתי אפשרויות: א. יש לסמך הרחב יסוד איתן, ועל כן הוא יקבל את המומנט מצד אחד ומצד שני אך לא יאפשר סיבוב. את הפרש המומנטים הוא יקבל ויעביר ליסוד שלו. כל קורה תישאר רתומה בו ואיזון או העברה לא יהיה. ב. אין לסמך הרחב יסוד קשיח ולכן הוא יגיב באופן שאם שני המומנטים משני הצדדים לא שווים – הוא יבצע סיבוב בכניעה להפרש המומנטים. זו אפשרות שבדרך כלל לא צריכה להתאפשר כלל כי לא עולה על הדעת לאפשר סיבוב מסוג זה של אלמנט ואם נתאפשר – זו בדרך כלל טעות תכנונית.

כמיפתח יש לקחת את המרחק בין צירי הסמכים או את המרחק בין הסמכים נטו בתוספת חצי גובה הקורה מכל צד – האורך הקטן ביניהם. במקרים כאשר הסמך רחב ייקבע המיפתח נטו ועוד חצי גובה הקורה אל תוך הסמך הרחב, אולם כאשר הסמך רחב ביותר גם נוסחה זו אינה מביעה נכונה את המצב. אז יש להתייחס אל הקורה כרתומה בסמך הרחב, מעבירה אליו את מומנט הריתום שלה ובסמך הרחב יש למצוא פתרון למומנט שהועבר אליו.



ציור 13.3

13.4.2 הקורה כחלק ממסגרת

אין חופש מוחלט בבחירת הסכימה הסטטית של הקורה. אין כמעט קורה שאינה חלק ממסגרת. כל מערכת קורות ועמודים במבנה מהווה מסגרת, אם נרצה ואם לא. המקרה הכללי הוא שבדרך כלל יש לחשב את הקורה כחלק ממסגרת. השאלה היא למעשה – מתי מותר להתייחס אל קורה שהיא חלק ממסגרת כקורה מתוחה בכיוון אחד, בהתעלמות מפעולת המסגרת.

כאשר הקורה היא חלק ממסגרת בלתי מוחזקת (ראה פרק 8) תייבם לחשב אותה כחלק ממסגרת. כחלק מפעולת המסגרת הבלתי מוחזקת לקבלת כוחות אופקיים מתפתחים מומנטים בצמתים בהם הקורה תורמת חלק מן הקשיחות ולכן גם אין מנוס מלהביא בחשבון מומנטים אלה בתכנון הקורה.

במסגרת מוחזקת, אף כי החיבורים בין המשקוף לעמודים הינם קשיחים, המומנטים המועברים מן העמודים (הפנימיים בעיקר) אל הקורות, כחלק מפעולת מסגרת לקבלת כוחות אנכיים בלבד, אינם גדולים ואפשר בדרך כלל (שבודאי יש לו יוצאים מן הכלל) להתעלם מהם ולחשב את הקורה כקורה נימשכת – אלמנט קווי נימשך ללא פעולת מסגרת, אבל קרוב לודאי יהיה צורך להניח ריתום כל שהוא בעמודים הקיצוניים.

פרק זה מתייחס אל הקורה כאילו היא חלק ממסגרת מוחזקת שתחושב כאלמנט קווי ולא כחלק ממסגרת.

13.4.3 שיטות לחישוב סטטי

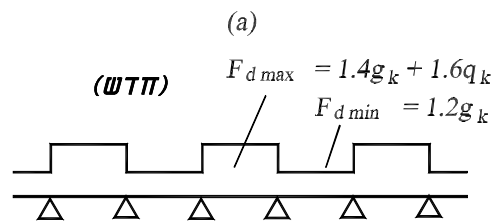
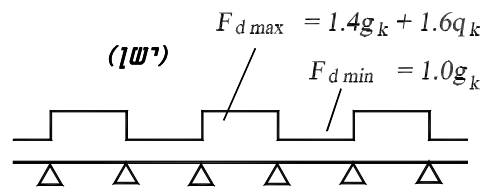
כל השיטות המקובלות לחישוב סטטי של אלמנט קווי מתוח בכיוון אחד, כמוזכר בפרק 8, אפשר ליישם, דהיינו – השיטה האלסטית, השיטה האלסטית עם רדיסטריבוציה של מומנטים ושיטת הפרקים הפלסטיים (כשיטת חישוב להרס). כאשר מתקיימים התנאים לחישוב מקורב (ראה פרק 9) מותר לבסס את החישוב על המומנטים המקורבים המקובלים לחישוב מקורב, וכאשר עומדות לעיני המתכנן מגבלותיהם וכי זכור לו כי בהמלצות לחישוב מקורב כלולות כל ההפחתות המותרות לפי כל חישוב ואין אחריהן כל הנחה/הפחתה נוספת.

מצבי עמיסה מסוכנים הינם חובה. מי שמתעלם מחובה זו נוטל על עצמו את הסיכון כי המבנה שתכנן אינו עונה על דרישות מקסימום המתפתחות עם העמסת המבנה במצב עמיסה מקסימלי. נכון כי הבעיה של התרחשות מצב עמיסה מקסימלי אשר יגרום להטרחת מירבית בחתך מסוים הינה שיקול הסתברותי אך זה אינו פוטר את המתכנן מאחריות אם לא הביא בחשבון את האפשרות של מצב עמיסה מקסימלי (כאשר נכון כי את הסתברות קיומה הוא אינו יודע).

13.4.4 מומנטים בשדות ובסמכים

מומנטים בשדות

אין ספק כי יש לחשב את המומנטים המקסימליים בשדות ולהביאם בחשבון בחישוב הסטטי. לגבי המומנטים המינימליים בשדות ת"י 466 [1] בגירסתו האחרונה הלך צעד לכיוון ההקלה במובן של הפחתת ההתחשבות בקיטוב בהפרש בין עומס יתר בשדה אחד לעומת גריעת עומס בשדה השכן – הכל לגבי העומס הקבוע. בגירסת התקן [1] אשר היתה בתוקף 26 שנים, באותו מצב עמיסה בו חושבו מומנטים מקסימליים חושבו גם המומנטים המינימליים (ציור 13.4 a), כאשר עבור המומנט המקסימלי והמינימלי הובא בחשבון: $F_{d,max} = 1.4g_k + 1.6q_k$ ו $F_{d,min} = 1.0g_k$.



13.4 ציור

בגירסה הקיימת של [1] המומנטים המקסימליים יחושבו לפי אותו מצב עמיסה ובשימוש אותו מתכון של עומסים ($F_{d,max}$ $F_{d,min}$). ואולם לגבי המומנטים המינימליים בשדות בלבד (ציור 13.4 b) הותר להגדיל את העומס המינימלי בשדה לערך: $F_{d,min} = 1.2g_k$ ועל ידי כך להקטין את הפער בין מקסימיני בשדות השכנים ($F_{d,max}$ נשאר אותו הערך). אין מאחורי זה חישוב אלא אומדן וגם חיקוי תקנים זרים.

מומנטים בסמכים

לגבי המומנט אשר חושב כאשר הסמך הוא חוד סכין, מותר לבצע הפחתות – אלסטיות בגין רוחב הסמך וגם רדיסטריבוציה, אך בתנאי שההפחתה הכוללת בקצה הסמך לא תעלה על המקסימום רדיסטריבוצית המומנטים המותרת, וזה מתוך שיקול

שהדפורמביליות (המשיכות למעשה) בסמך מוגבלת וכל עוד לא סופקו כלים לחישוב מדויק יותר וישיר, מוטב שההפחתה תהיה מוגבלת לפי כללים הידועים לנו (פחות או יותר) – אלה של הגבלת הרדיסטריווציה. בכל מקרה – מידת הרדיסטריווציה המותרת בתקן הישראלי היא מן הגבוהות בעולם.

13.4.5 סיכום החישוב הסטטי

סיכום החישוב הסטטי הינו בקבלת מעטפת המומנטים (או קו כוח המתיחה) ומעטפת הגזירה. בעידן המחשב קל מאד לקבל את אלה בתנאי שיש למתכנן כלי כל שהוא נוסף על מנת לאמוד את תוצאות המחשב בדרך עקיפה, כדי שתהיה לו ביקורת כל שהיא על התוצאות שקיבל תוך שניות במחשב. החישוב המקורב יכול לשמש דרך מסוימת לביקורת תוצאות המחשב, כאשר המקרה מתאים לחישוב מקורב.

13.5 חתכי קמץ לאורך הקורה

חתך הקורה המקובל והמצוי ביותר הוא המלבני, אולם המציאות יוצרת חתכים שונים אחרים. טבלה (מקשית או אחרת) יצוקה יחד עם קורות בולטות עליהן היא נשענת, יוצרת חתך קמץ לאורך הקורה. הקמץ נוצר על ידי שיתוף חלק מהטבלה, כאשר היא בצד הלחוץ, כאגף של חתך קמץ לו משמשת הקורה הבולטת כדופן. הדבר מתאפשר כאשר היציקה של שניהם מונוליטית, אם כי אפילו בחתך מרוכב, בחלק משלבי ההעמסה נוצר חתך קמץ.

בציור 13.5 נתונים שני שדות מתוך קורה נימשכת, יצוקה יחד עם הטבלה המקשית הנסמכת עליה. בשדה הראשון AB הקטע AD מהווה את איזור המומנט החיובי, כלומר הטבלה בצד הלחוץ ובאופן טבעי מותר לנצל את פעולת חתך הקמץ. גם בשדה השני – BC הקטע EF לאורכו מומנט חיובי שם מותר השימוש בחתך קמץ. ביתר האיזורים, ובעיקר בקטע סביב העמוד B הקורה באיזור מומנט שלילי ועל כן אין לטבלה תרומה כאיזור לחוץ ועל כן אין חתך קמץ. בכל הקטעים בהם המומנט שלילי החתך הפעיל הינו בעל צורה מלבנית.

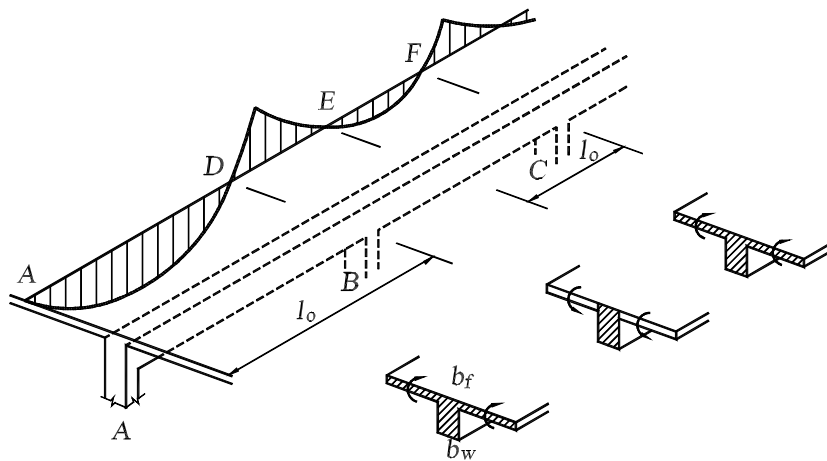
לתופעה הזאת של חתך פעיל בעל מידות לא אחידות למעשה ובעל נטייה ברורה של הקטנת קשיחותו בסביבות הסמכים (מומנט שלילי) יש אפקט של רדיסטריווציה אשר לא מובאת בחשבון ויכול להיות כי היא ראויה לבדיקה.

רוחב האגף המשתף פעולה עם הדופן ומהווה חלק מן הטבלה אינו חד משמעי. בהנחה של חומר אלסטי הומוגני איזוטרופי ומודל נומרי צפוף ניתן להראות כי מאמצי הלחיצה בטבלה, היא האגף הלחוץ, הם הגדולים ביותר מעל הדופן והולכים וקטנים עם התרחקות מהדופן. תופעה דומה מתרחשת בקרבת סמך לא נימשך: המומנט שואף לאפס וכוח הגזירה במילא מתקבל על ידי הדופן כך שחלק האגף אשר אינו דרוש יותר הולך ומצטמצם ונעלם סופית בסמך, עם העלמות מומנט הכפיפה.

החישוב אותו מבצעים באלמנטים מבטון מזוין הינו למצב גבולי של הרס. לשם ביצוע חישוב כזה יש לעשות הנחה מסוימת בענין רוחב האגף הפעיל b_f . בתקנים השונים קיימות המלצות שונות באשר ל"רוחב האגף הפעיל הסביר להניח" כמשתתף בחתך הקמץ. הדבר נוסח בזהירות מאחר והגבוי וההנמקות לרוחב המומלץ אינם

קיימים או שהם גרורה היסטורית של שנים רבות אשר אף אחד לא טרח להצדיק בשנים האחרונות. יש לציין כי הרוחב המומלץ כמעט תמיד הרבה יותר גדול מהדרוש לצורך תכן החתך בכפיפה ולכן אין הוא מהווה בעיה של ממש. בשים לב לכך כי כוחות הגזירה מתקבלים תמיד על ידי הדופן בלבד, וכי תרומת הקמץ למצב שרות לא גדולה, וכי במומנטים השליליים במילא לקמץ אין תרומה, הרי שהרוחב המוצע של האגף b_f הינו למרות חוסר הודאות, לרוב מספק לחלוטין.

לפי ת"י 466 חלק 2 [2] מומלץ להניח עבור רוחב האגף הפעיל בחתך קמץ [T] את הערך $b_f = b_w + 0.25 L_0$ כאשר העומס מפורס אחיד ו $b_f = b_w + 0.20 L_0$ כאשר מרבית העומסים מרוכזים. L_0 הינו המיפתח השקיל בשדה (המרחק בין נקי 0 סמוכות במהלך המומנטים) ו b_w – רוחב דופן הקורה. עבור חתך בעל צורת ריש [Γ] מוצעים הערכים $b_f = b_w + 0.125 L_0$ ו $b_f = b_w + 0.10 L_0$ בהתאמה. המלצות אלו לקוחות מתקנים זרים ובדרך כלל מומלץ רוחב פעיל b_f גדול מאד לעומת הדרוש. יש ב EN2 התעלמות מוחלטת מנושא חתך קמץ.



ציור 13.5

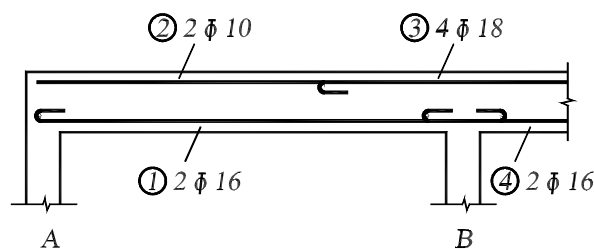
13.6 בדיקת תסבולת החתכים וחישוב הזיון

13.6.1 כפיפה

בדיקת התסבולת של כל חתך לכפיפה נעשית לפי המפורט בפרק 4 (או 5 לפי הצורך). חישוב הזיון נעשה גם לפי פרק 4 בשים לב להערות המיוחדות בנוגע לאלמנט קווי אשר בפרק 12. בניגוד לטבלות מתוחות בכיוון אחד (פרק 12) בקורות נתקלים בבעיות מיוחדות, כגון: התקרבות תדירה ל ω_{max} ואף (לא לעתים קרובות) היוקקות לזיון לחוץ. בנוסף – בטבלות הצורך בזיון לגזירה הינו נדיר בו בזמן שבקורות נדיר שלא יהיה צורך בזיון לגזירה ודרוש תמיד לתת זיון מינימלי לגזירה.

ההחלטה ביחס לעיצוב החתך הינה הענות למכלול של שיקולים, בהם הכפיפה היא רק אחד מהם.

דוגמה נוספת לשיקולים נוספים, אשר אינם נובעים רק מהסתכלות על חתך אלא על שדה שלם של אלמנט (לפחות) הינה הדוגמה אשר בציור 13.6. בציור זה נתון שדה ראשון מתוך קורה נמשכת, בו בחלק התחתון, הפן המתוח עבור מומנט חיובי, יש שני מוטות $\Phi 16$ mm המעוגנים בתחתית סמך קיצוני – לפי אורך מחושב (בתחתית סמך A) ובתחתית סמך ביניים – לפי אורך נומינלי מומלץ בתקנים (בסמך B). העליון מעל סמך B יש $4\Phi 18$ mm הדרושים לקבלת המומנט השלילי. בהמשך - $2\Phi 10$ mm כזיון הרכבה, להשלמת שלד זיון הקורה.



ציור 13.6

אם עבור מומנט חיובי מעוניינים לנצל את זיון ההרכבה, $2\Phi 10$, משמעות הדבר היא כי יש להבטיח את המוטות האלה נגד קריסה, כלומר – המרחק בין החישוקים שיינתנו, אפילו באמצע הקורה, שם בודאי הצורך בזיון לגזירה הוא מיזערי, יהיה לא יותר מ 16 פעם קוטר המוטות, כלומר 160 מ"מ שהוא מרחק קצר יחסית.

אם עבור המומנט השלילי מעוניינים להשתמש במוטות $2\Phi 16$ אשר בתחתית הסמך B, כזיון לחוץ, זה אפשרי, אולם אז יש להבטיח חפייה בין המוטות $\Phi 16$ הבאים משני צידי תחתית הסמך B שהיא משמעותית ביותר מפני שתפקידה להעביר כוחות ממוט למוט, בו בזמן שהעיגון הנומינלי אשר ניתן כשיגרה בתחתית סמך ביניים הוא חלק קטן בלבד מאורך העיגון הנ"ל.

13.6.2 גזירה

תכן חלקי קורה לעמידה בכוחות הגזירה ולהבטחת הזיון הדרוש לשם כך נערך לפי פרק 11.

יש לשים לב לכך שבקורות חייבים זיון מינימלי לגזירה בצורת חישוקים. כלל זה היה תמיד. החידוש הוא בכך שאם בעבר ניתן היה להסתפק בזיון מינימלי בצורת חישוקים ולגבי היתר המתכנן היה חופשי בשיקוליו, לאחר הרביזיה לפחות מתצית הכוח שמתקבל באמצעות זיון לגזירה חייב להיות מועבר באמצעות חישוקים. דרישה זו, יחד עם שיקול של נוחות בעבודה עם מוטות זיון ישרים בלבד, יכולה להוביל למיעוט השימוש במוטות משופעים לגזירה ואף הימנעות מכך. אין שום סיבה פורמלית, יחד עם זאת, שלא יהיה שימוש במוטות זיון משופעים.

13.7 כסוי קו כוח המתיחה

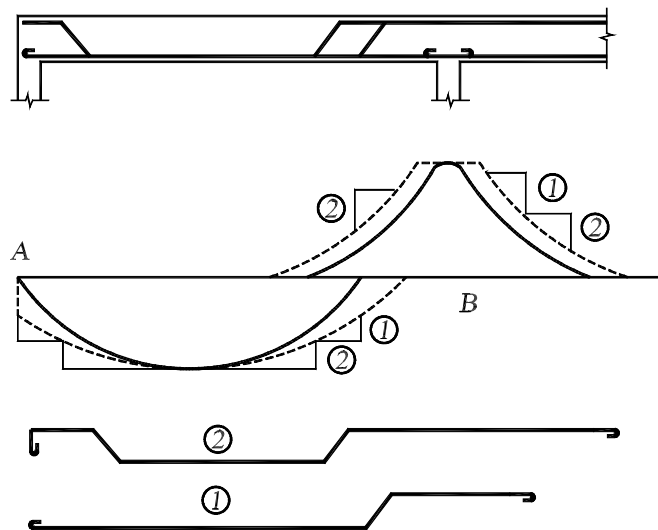
כסוי קו כוח המתיחה נעשה כמתואר בסעיף 12.6 עבור טבלות מקשיות מתוחות בכיוון אחד. מידת ההעתקה שונה כאן ובדרך כלל קטנה יותר. פרוט ניתן למצוא בפרק 11. לגבי קורות, מאחר ויש בהן זיון לגזירה, מידת ההעתקה תנוע בין מינימום $0.5d$ ועד מקסימום $0.75d$ אם כי הנסיון לחסוך פה אינו מביא לתוצאות ממשיות.

בקורות בעיית כסוי קו כוח המתיחה מורכבת יותר מאשר בטבלות מתוחות בכיוון אחד מפני ש: א. יש מספר רב יותר של מוטות זיון או צורות מוטות זיון, וב. מנסים לשלב את הזיון לכפיפה כזיון לגזירה גם כן, במידת האפשר, וזה מכניס אילוצים למעטפת אשר לא נובעים רק מצרכי כפיפה אלא גם מטעם מעטפת הגזירה.

אפשרות נוחה היא להפריד לחלוטין בין שתי המעטפות – מעטפת קו כוח המתיחה ומעטפת הגזירה. את זה ניתן לעשות כאשר כל הזיון לגזירה הינו חישוקים בלבד או כאשר בנוסף לחישוקים, לפי הצורך, מוסיפים רוכבים – זיון משופע לגזירה אשר "רוכב" על סמך ביניים (בלבד) אך בגלל היותו צר בחלקו העליון אינו יכול לקחת חלק בקו כוח המתיחה.

השילוב הרצוי ביותר, שהינו נדיר, נתון בציור 13.7. הציור כולל שדה ראשון

של קורה נמשכת. הזיון התחתון בו כולל, בין השאר, שני מוטות – (1) ו (2).



ציור 13.7

שני המוטות פועלים למתיחה בתחתית הקורה, באיזור המומנט החיובי (יש גם מוטות ישרים העוברים מתחתית סמך קיצוני לתחתית סמך ביניים אשר לא נראים בציור. את שני המוטות ניתן לכופף ולנצל לקבלת כוחות גזירה, בהנחה כי הם דרושים כמובן. מוט (1) מכופף קרוב מדי לסמך (על מנת להתאים את מיקומו לקבלת גזירה) וכתוצאה מכך הוא לא בולט על פני המעטפת מצד שמאל לסמך. מסיבה זו הוא גם אינו פעיל למתיחה בצד שמאל של הסמך.

מוט (2) מכופף במיקום (אף הוא על מנת להתאימו לקבלת כוחות גזירה) אשר מאפשר לו לבלוט גם משמאל לסמך, אי לכך מוט זה ייחשב כפעיל מעל הסמך משני הצדדים. לפי כך מוט (2) מנוצל למתיחה בכפיפה באיזור המומנט החיובי וגם באיזור המומנט השלילי וגם לגזירה. זהו כאמור שילוב נדיר למדי.

גם בקורה, כמו בטבלה מתוחה בכיוון אחד, כאשר אין בה כוחות ציריים בכל קטע מאורכה, מעטפת זיון לקו כוח המתיחה או מעטפת למהלך מומנטי הכפיפה יביאו לאותה התוצאה בדיוק, בתנאי כמובן של אותה מידת העתקה.

13.8 עיגון הזיון

כל הכללים לעיגון מוטות הזיון של הקורה, הן מבחינת פרטים (עיגון בתחתית הסמכים) והן מבחינת הענות לצרכי מעטפת קו כוח המתיחה, זהים לחלוטין לאלה המפורטים עבור טבלות מתוחות בכיוון אחד (ראה סעיף 12.7) וכן ליתר הפרטים הנתונים בפרק 10. פרטי עיגון מוטות זיון מכופפים לגזירה וכן פרטי החישוקים נתונים בסעיף 11.4.

13.9 כללים ביחס לפרטי הזיון

כפי שהובהר יותר מפעם אחת, פרטי הזיון הינם תוצאה של חישוב ויתרם ניתנים כהנחיות תקן או דרישות מינימום וכו' ואלו באים להשלים את מה שלא מחשבים בעליל. בסעיף זה יינתן מנין כללים ביחס לפרטי הזיון של קורות ותהיה חפיפה מסוימת בין סעיף זה לסעיף המקביל לו בטבלות מתוחות בכיוון אחד (פרק 12) אולם הכל יינתן כאן בשלמות.

13.9.1 הזיון האורכי

א. מנת הזיון האורכי המינימלית תהיה כמפורט להלן (השימוש בברזל עגול ϕ אינו מעשי עקב ההידבקות המוגבלת שלו עם הבטון):

מטעמי הגבלת הסדיקה (מקור הנוסחה יובהר בפרק על מצב שרות):

$$\rho_{min} = 0.28 f_{ctm} / f_{sk} \quad (13.1)$$

בה: f_{sk} - החוזק האופייני של הפלדה (400 Mpa או 500 Mpa כאשר יאושר)

f_{ctm} - החוזק הממוצע של הבטון במתיחה

ρ_{min} - מנת הזיון המינימלית מחושבת מתוך $b_t d$ בה b_t הינו הרוחב

הממוצע של הבטון באיזור המתוח של החתך (למעשה הרוחב

הממוצע של דופן החתך במקרה שאינו בעל רוחב אחיד).

מטעמי הבטחת חוזק החתך נגד שבר פריך - ראה סעיף 4.7 נוסחה (4.42):

$$\rho_{min} = 0.20 f_{ctm} / f_{sk} \quad (13.2)$$

ברור כי שתי הכמויות הנתונות בנוסחאות (13.1) ו (13.2) שונות זו מזו. כאשר

יש צורך להפעיל את קריטריון הגבלת הסדיקה מובן שהכמות לפי (13.1) תיקבע.

כאשר אין הכרח לעמוד בקריטריון זה (למשל האלמנט פנים ומצופה) – הכמות הקטנה תקבע.

מנת הזיון המינימלית התואמת את נוסחה (13.2) נתונה בטבלה 4.1 בסעיף 4.7 כאן.

ב. הקוטר המינימלי של מוטות הזיון בקורה יהיה 8 מ"מ.
ג. באיזור התחתון (בדרך כלל מתוח ברוב אורכו) יהיו לפחות 2 מוטות ישרים אשר יעוגנו בסמכים.

ד. יש להעביר אל תחתית סמך ביניים לפחות 1/4 כמות הזיון המחושבת למתיחה בסביבות אמצע השדה הקיצוני ולא פחות משני מוטות.
ה. יש להעביר את תחתית סמך קיצוני פרקי לא פחות מ 1/3 כמות הזיון המחושבת למתיחה בסביבות אמצע השדה הקיצוני ולא פחות משני מוטות (לפי EN2 – 1/4 גם פה).

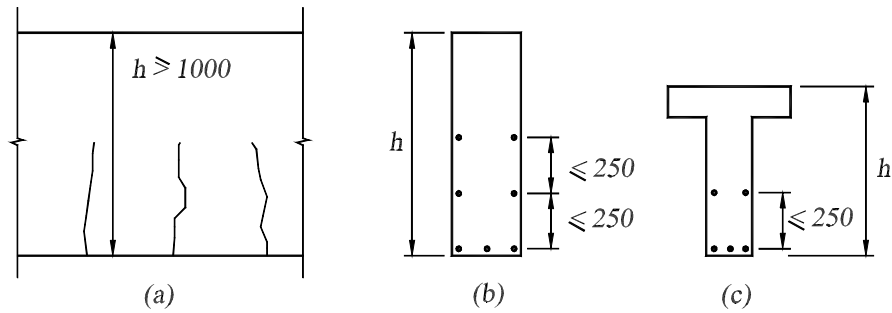
ו. באיזור העליון, כאשר הוא מתוח יהיו לפחות שני מוטות ישרים בכל אורך האיזור המתוח. אם אין האיזור מתוח יהיו בו לפחות שני מוטות הרכבה ישרים אשר קוטרם לא יפחת מ 8 מ"מ ולא ממחצית קוטר המוט בעל הקוטר הגדול ביותר באיזור המתוח. כאשר הזיון באיזור העליון מחושב כזיון לחוץ יש להבטיח כי המרחק בין החישוקים לא יעלה על 16 פעמים קוטר מוטות הזיון הלחוף (זה נחשב כאבטחה סבירה של אורך קריסה נמוך עבורם).

ז. כאשר קורה בעלת גובה $h \geq 1.0 m$ והזיון המתוח בה מרוכז בתחתית הקורה בלבד (קצה האיזור המתוח) – ראה ציור 13.8a, יש לתת תוספת זיון למתיחה על פני החלק המתוח בדופן הקורה משני הצדדים בין תחתית הקורה וציר האפס, בתוך החישוקים, במרחקים שלא יעלו על 250 מ"מ ובקוטר שלא יפחת מ 8 מ"מ (ציור 13.8b ו 13.8c). שטחו הכולל של זיון זה לא יפחת מ $0.01 h c$ כאשר h גובה החתך ו c עובי כסוי הבטון של החישוקים. חיזוק האיזור דרוש על מנת לתת זיון סדיקה באיזור מתוח וגבוה בו אלמלי זיון זה לא היה ניתן שום זיון.

ח. כאשר הקורה מוטרחת בפיתול בנוסף להיותה מוטרחת בכפיפה, ובגזירה עקב כפיפה ופיתול, יש למלא אחר דרישות המפורטות בפרק 14 סעיפים 14.7 ו 14.8 כאן.

הערה: באלמנטים מתוחים בכיוון אחד מופיע כמעט כשגרה הנחיה המציעה לתת זיון למומנט שלילי מעל סמך קיצוני שחושב כפרק ועקב מונוליטיות המבנה יש חשש להתהוות ריתום חלקי בו. זו הנחיה נכונה מאד בטבלה מתוחה בכיוון אחד אולם לא במקומה בקורה. כאשר הקורה ניסמכת על עמוד קומות במילא בצומת בין עמוד וקורה יש המשכיות ההופכת את הקורה לחלק ממסגרת ויש להתייחס אליה כמסגרת כבר בשלב החישוב - התהוות המסגרת שם אינה מקריות שלא הובאה בחשבון אלא יש להביא אותה בחשבון על הסף.

לא מעט מן הפרטים שנמנו לעיל לא מוזכרים ב EN2 האחרון. אין זה אומר כי אינם חשובים ואין חשיבות בישומם. אלה הם פרטים מתוך נסיון של שנים רבות ואין להזניח אותם או לזלזל בהם.



ציור 13.8

13.9.2 זיון החישוקים

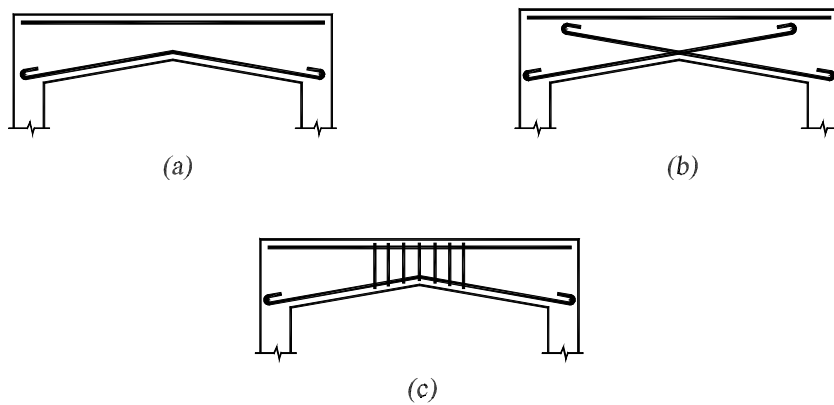
כל הכללים ביחס לזיון החישוקים מפורטים בסעיף 11.4 ואם יש צורך להוסיף השלמות בהיות הקורה מוטרחת גם בפיתול – בפרק 14.

13.9.3 זיון משופע לגזירה

כל ההנחיות מרוכזות בסעיף 11.4. אין לשכוח כי זיון לגזירה במקרה של פיתול לא יכול מוטות זיון משופעים (אלא אם כן בנסיבות יוצאות מן הכלל).

13.9.4 כוחות הטייה

סידור וצורת הזיון בכל אלמנט מבטון מזוין ובמיוחד בקורות צריך להיות כזה שלא יאפשר תזוזת הזיון מבלי שיופעל לכוחות מתיחה או לחיצה.



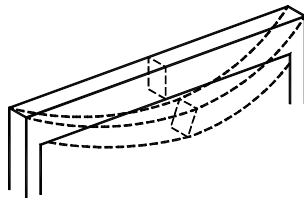
ציור 13.9

בציור 13.9a נתונה קורה בעלת גובה משתנה. מוטות הזיון בצדה התחתון האמור להיות המתוח מסודרים האופן שעם הפעלת כוחות על הקורה בכיוון ניצב כלפי

מטה הקורה תצטרך לממש שקיעה גדולה ביותר עד שהפך התחתון יגיע להפעלת הזיון המצוי בו למתיחה. ניתן למנוע מצב זה אם סידור המוטות יינתן כמתואר בציור 13.9b על פיו כל אחד מן המוטות מעוגן בבטחה בפני עצמו. באלטרנטיבה הנתונה בציור 13.9c במקום בו רוצים למנוע מהמוטות לנוע תנועה חופשית לפני שיגיעו למתיחה, ניתנת סדרת חישובים המשמשים לקבלת כוח הטיה – הכוח במשולש כוחות המתיחה הנוצר בצומת אליה באים שני כוחות המתיחה של מוטות הזיון הראשי אשר בצומת (וזאת הדרך לחשב את כמות זיון חישובים זו).

13.10 מניעת קריסה צידית

כאשר מיפתח הקורה גדול ביחס לרוחבה והיא לא ניתמכת בכיוון ניצב למיפתח (ציור 13.10) קיימת סכנת קריסה צידית בעקבות קריסת האיזור הלחוץ בה, אשר מתנהג כמוט לחוץ (אמנם מוחזק חלקית מאד על ידי דופן אחת שלו) ותמיר במיוחד. עבור קורה עשויה מחומר אלסטי הומוגני איזוטרופי קיימים פתרונות לבעיה זו מבוססים על תורת האלסטיות. קיימים, כמו כן, פתרונות לגבי אלמנטים מפלדה, כולל מרוכבים. בבטון מזוין קיימת אי ליניאריות ממקורות שונים המקשה על הפתרון. מחקרים שונים (לא מן התקופה האחרונה), בעיקר מגרמניה, מובילים להמלצות כגון: אין להתיר אורך בלתי ניתמך של האיזור הלחוץ הקורה העולה על $50b$ כאשר b – רוחב הקורה. בכל מקרה זהו ערך מאד לא שמרני (אם נביא בחשבון כי ברוחב דופן קורה של 0.2 מ' מותר כאן אורך של 10 מ') ונראה לא כדאי להסתפק בהמלצה זו בלבד.



ציור 13.10

13.11 השימוש בתוכנות מחשב לתכנן קורות

כל הכתוב בסעיף 12.10 – השימוש בתוכנות מחשב לתכנן טבלות תקף גם כאן לגבי קורות.