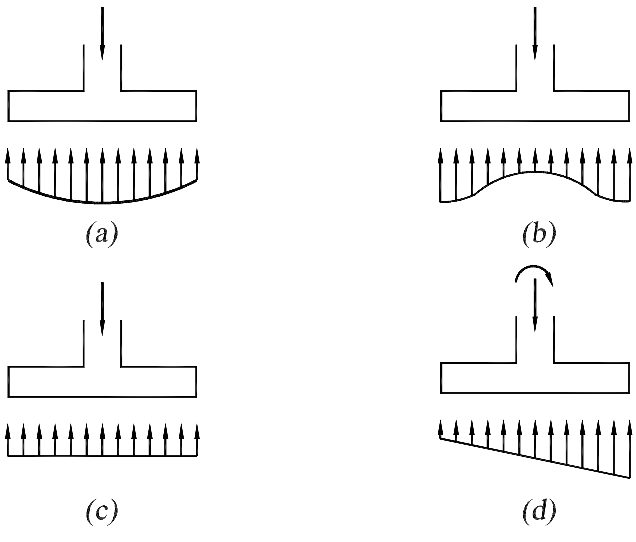
# 17. יסוד בודד שטוח *

## 17.1 כללי

יסוד בודד מעביר אל הקרקע באמצעות מגע עומס בודד. זה יהיה בדרך כלל אלמנט שטוח, בצורת טבלה, עליה עמוד מצד אחד, המביא את עומסי המבנה בלחיצה ומהצד השני, מלמטה, – לחצי הקרקע בצורת מאמצי מגע עם הטבלה . עומס העמוד יכול שיהיה צירי או מלווה במומנט (כלומר – כוח אקסצנטרי). מסירת הכוח מהעמוד אל הקרקע באמצעות טבלת היסוד צריכה להתבצע בעומק בו הקרקע תהיה טבעית ולא מלוי ולאחר שנעשו בדיקות לשביעות רצון על מנת להבטיח מידע מספיק על שכבות הקרקע מתחת ובסביבת היסוד הבודד.

### 17.1.1 פרוס מאמצי המגע

פרוס מאמצי המגע קרקע-יסוד ביסוד עמוס עומס צירי והקרקע גרנולרית (מרכיב גבוה של חול) דומה למתואר בציור 17.1a וכאשר הקרקע קוהסיבית (מרכיב גבוה של חרסית) - דומה למתואר בציור 17.1b . שני התיאורים עקרוניים. כאשר



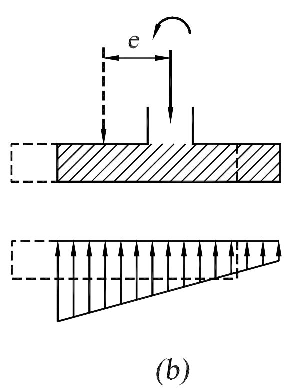

**ציור 17.1**

היסוד לא גדול מאד והוא קשיח מספיק מקובל להניח כי פרוס מאמצי המגע ליניארי : פרוס אחיד כאשר העומס צירי (ציור 17.1c ) ופרוס משולשי כאשר העומס מלווה במומנט (ציור 17.1d).

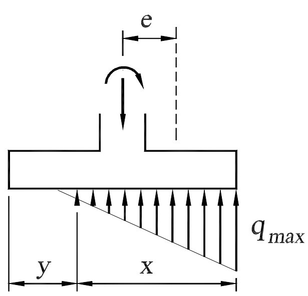
* פרק זה מעודכן לחודש אפריל 2011

ההנחה של פרוס מאמצי מגע ליניארי הינה מקורבת ובדרך כלל לצד הביטחון. כאשר מידות היסוד גדולות או כאשר יש סיבה אחרת לחשש כי הפירוס הליניארי אינו מוביל לפתרון מניח את הדעת,יש להפעיל שיטה של מצע אלסטי (כמו למשל שיטת וינקלר) לקבלת פרוס וגודל מאמצי המגע.

כאשר העומס הצירי מלווה במומנט אשר מחליף כיוון (למשל עקב כוחות רוח או רעידת אדמה) אין מנוס אלא לפעול כמתואר בציור 17.2a , כלומר להתמודד עם בעיית עומס אקסצנטרי . כאשר האקסצנטריות הינה חד כיוונית ברורה, כמתואר בציור 17.2b , אפשר לנסות להסיט את מיקום העמוד על היסוד כך שקו פעולת הכוח כצירי יתלכד (בקרוב) עם מרכז הטבלה דבר שמביא לפירוס מאמצי מגע אחיד. מקרה זה דורש הקפדה על יסוד קשיח במיוחד.




**<u>ציור 17.2</u>**




**<u>ציור 17.3</u>**

במקרה של תכן יסוד לעומס אקסצנטרי (ציור 17.3 ) רצוי להיעזר בעצה של יועץ ביסוס בשני נושאים: א. מאחר ולא יתכנו מאמצי מגע במתיחה אלא רק בלחיצה עשוי להיווצר מצב שרק על חלק מן היסוד קיים מגע עם הקרקע – השאלה תהיה עד כמה מותר או רצוי להצטמצם עם שטח המגע לעומת שטח היסוד המלא. ב. מה

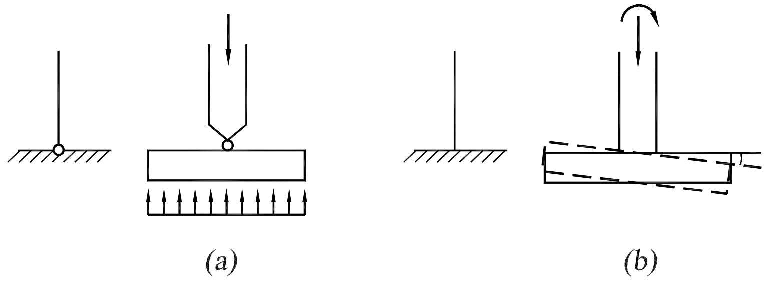
המאמץ הגבוה ביותר $q_{max}$ אליו מותר להגיע כאשר פועל המומנט ופרוס המאמצים נעשה משולשי, בשים לב לעובדה כי זה הוא מצב רגעי – המומנט הוא עקב עומס רגעי וחולף (אמנם בעל עוצמה).

### 17.1.2 יסוד בודד פרקי מול רתום

מקובל לבסס עמוד בודד על יסוד שטוח. לעתים קרובות אין אבחנה ברורה ומודעת לעובדה מה הסטטיקה של המערכת הזאת – האם העמוד פרקי או רתום? התשובה לבעיה זו מורכבת ולכן נבהיר אותה מכמה זוויות.

העובדה אם החיבור בקצה העמוד הינו פרקי או רתום תלוי קודם כל בפרטי הזיון של החיבור בין העמוד ליסוד השטוח. חיבור פרקי מאולץ, כדוגמת הנראה בציור 17.4a הוא חיבור פרקי אמיתי בו מושקעים מאמצים לאפשר העברת כוח צירי תוך מתן אפשרות לסיבוב חופשי. צורת חיבור זו חייבת להבטיח חיבור פרקי, אולם היא יקרה ובשנים האחרונות לא מקובל להשקיע בה.

בדרך כלל זיון העמוד הנכנס ליסוד יהיה מורכב ממוטות זיון בהיקף חתך העמוד עם זרוע כל שהיא ביניהם כך שחתך העמוד מסוגל לקבל מומנט כפיפה. גם היסוד מסוגל לקבל מומנט כפיפה אולם מוגבל מאחר ובפן העליון שלו לרוב אין ברזל. אי לכך כושר כפיפה כל שהוא תמיד קיים.




**<u>ציור 17.4</u>**

זו איננה המגבלה היחידה. אם הדפורמביליות של הקרקע מתחת ליסוד גדולה, היסוד העמוס עומס אקסצנטרי יסתובב (ציור 17.4b) וכך לא יאפשר את הריתום. עם הסיבוב חלוקת מאמצי המגע תשאף להיות אחידה ככל האפשר.

המסקנה מכך היא שיש לבחון היטב אם היסוד יכול לשמש כיסוד לעומס צירי בלבד (פרקי) או שהוא יהיה בעל דרגת ריתום מסוימת – ממלאה ועד חלקית. אין כאן נסיון להכתיב כיצד יתנהג היסוד אלא להבהיר כי בבעיה זו משתתפים מספר פרמטרים אשר יש לתת עליהם את הדעת. הפרק הנוכחי עוסק בתכן היסוד כאלמנט מבטון מזוין.

## 17.2 קביעת שטח היסוד

עומס התכן הכולל של העמוד הנסמך על היסוד הבודד השטוח הינו $N_d$ ובהנחה הפשטנית ביותר של עומס הכולל מרכיב של עומס קבוע ושימושי יהיה $N_d$ מוגדר כ:

$$N_d = G_k\,\gamma_{fg} + Q_k\,\gamma_{fq} \tag{17.1}$$

בה: $G_k$ ו $Q_k$ יהיו העומסים הקבוע והשימושי ו $\gamma_{fg}$ $\gamma_{fq}$ מקדמי הביטחון החלקיים המתאימים.

אם קימת אפשרות להגדיר את חוזק התכן של הקרקע במונחים של מצבים גבוליים (כלומר – ערכי תכן) ניתן לכנות חוזק זה כ $\sigma_d$ ושטח היסוד (העמוס צירית) יהיה:

$$A_b = N_d / \sigma_d \tag{17.2}$$

לפחות בעת כתיבת טקסט זה לא קימת מערכת מוגדרת של חוזקי תכן לקרקע הביסוס אלא בדיסציפלינה זו פועלים עם מאמצים מותרים ( $\sigma_{מותר}$). תכן אלמנטים מבטון מזוין נערך היום רק במצבים גבוליים. אי לכך, על מנת לגשר על פער זה אפשר לנהוג בדרך הבאה:

יוגדר העומס האופייני של העמוד:

$$N_k = G_k + Q_k \tag{17.3}$$

שטח היסוד הדרוש $A_b$ ייקבע בעימות בין עומס אופייני ו"תסבולת" אופיינית:

$$A_b = N_k / \sigma_{מותר} \tag{17.4}$$

לצורך תכן האלמנט (היסוד השטוח) במונחים של מצב גבולי של הרס נהפוך את ההטרחה של הקרקע למונחי תכן - $\sigma_d$ לחץ הקרקע במונחי תכן, מושג חסר משמעות פיזיקלית אך משרת את צרכי התכן עבור אלמנטים מבטון מזוין והוא גם נכון מבחינת גודלו:

$$\sigma_d = N_d / A_b \tag{17.5}$$

מנקודה זו יש לתכנן את היסוד כאשר פועל עליו עומס תכן מטעם העמוד ועומס תכן מפורס מטעם הקרקע.

אם קשה או מצריך מאמץ רב להפריד את $Q_k$ $G_k$ אפשר לאמוד את $N_k$ מתוך $N_d$ ועם שיקלול מקדם בטחון חלקי ממוצע לעומס - $\gamma_{f,ממוצע}$.

## 17.3 תכן יסוד בודד שטוח בפעולת עומס צירי

תכן יסוד בודד שטוח כמוצג בסעיף זה כולל מספר מרכיבים והוא שמרני. השמרנות נובעת מכמה טעמים: א. אין הסכמה רחבה בין המקורות השונים ביחס לתכן אלמנט כזה, להיפך – יש הבדלים וגישות שונות, כאשר בכמה מקורות בקושי מוזכר התכן שלו. ב. תכן יסוד בודד הוא פרק בחוקת הבטון 2 [2] אשר הרביזיה שלה

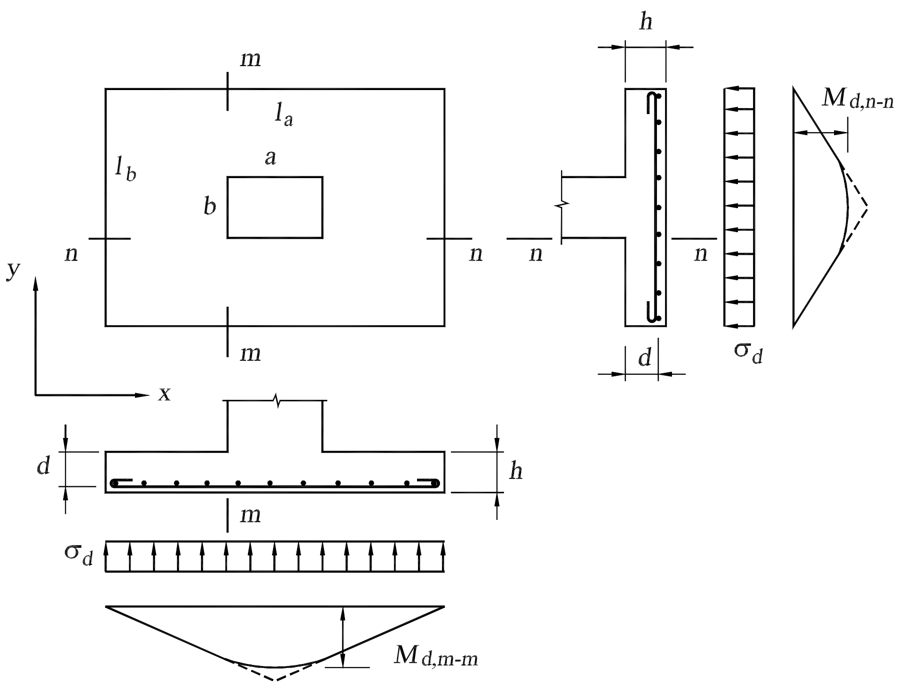
מתקיימת (במועד כתיבת קטע זה) ויש אפשרות כי ב 3-2 השנים הבאות לא יהיה תקן מעודכן. ג. יסוד שטוח בודד ממוקם באיזור קשה ביותר לביצוע. ד. אין בקורת תקופתית על תיפקוד יסודות – יסוד שניקבר באדמה קרוב לודאי כי לא יראו אותו יותר לעולם. ה. לעומת זאת, החשיבות של היסוד כאלמנט קונסטרוקטיבי אינה נופלת מזו של אחרים ואולי, מהטעמים לעיל, חשיבותו עולה.

אין ספק כי יש לענות על הצורך בעיגון הזיון. אין ספק כי יש להתייחס לבעיית מומנטי הכפיפה. יש הסכמה כי יש להתייחס לבעיית החדירה – יש בעיה באיזה היקף. לגבי בעיית הגזירה אין אחדות דעים וכן יש הצלבה מסוימת בין חדירה לגזירה. בהמשך יומלצו, כאמור,כל ארבעת הבדיקות וכאשר ייראה כי יש שוני או החמרה ביחס למקור אחר הדבר יוסבר וינומק.

**17.3.1 תכן לכפיפה**

בציור 17.5 נתון יסוד בודד בעל מידות $l_a$ ו $l_b$ עליו עומד עמוד בעל מידות $a$ ו $b$ כאשר העמוד ממוקם במרכז היסוד. נתונים כמו כן שני חתכים המסומנים בתכנית היסוד $n$-$n$ ו $m$-$m$ בכיוונים $x$ ו $y$ בהתאמה, אך כל אחד מהם בפני העמוד.

אבטחת קבלת הכפיפה בשני חתכים (בשים לב לסימטריה) תכסה את כל בעיית הכפיפה ביסוד.




**ציור 17.5**

החתך הראשון הוא ***m-m*** ( בפני העמוד ) ובו המומנט הגדול ביותר בכיוון $x$ :

$$M_{d,m\text{-}m} = \tfrac{1}{2} [\, \tfrac{1}{2} ( l_a - a ) \,]^2 \, l_b \, \sigma_d \qquad (17.6)$$

החתך השני הוא ***n-n*** (בפני העמוד) ובו המומנט הגדול ביותר בכיוון $y$ :

$$M_{d,n\text{-}n} = \tfrac{1}{2} [\, \tfrac{1}{2} ( l_b - b ) \,]^2 \, l_a \, \sigma_d \qquad (17.7)$$

בחתך ***m-m*** הרוחב הפעיל של החתך $l_b$ ואילו בחתך ***n-n*** הרוחב הפעיל $l_a$ .

יש להביא בחשבון כי מדובר בזיון בשתי שכבות ולכן יהיו $d_x$ ו $d_y$ ועדיפות יש לתת לכיוון בו המומנט גדול יותר. יש הוראות ביחס לפיזור הזיון והעיגון ואלו מפורטות בסעיף פרטי הזיון.

הגידול של המומנט אל מרכז היסוד (גם מרכז העמוד) אינו ממשי ואין צורך להתחשב במומנטים קרובים יותר אל מרכז העמוד.

הגובה הפעיל של היסוד לא ייקבע משיקולי כפיפה בדרך כלל. כמויות הזיון לכפיפה הנדרשות בחישוב לכפיפה לא תהיינה גבוהות ולעתים קרובות יש להקפיד לתת את הזיון המינימלי.

מנת הזיון המינימלית לכפיפה ביסוד היא בעיה ללא התייחסות ברורה בתקנים ובספרות. מצד אחד מתייחסים אל טבלת היסוד כטבלה או כאלמנט מתוח בשני כיוונים, עבורו חל הכלל של מינימום 0.2% בכל כיוון (או פחות, בהתאם לסוג הזיון). מצד שני יש כאן בעיה ברורה של חדירה וכאשר מתייחסים לחדירה גם [16] וגם [8] מדגישים כי התחולה של תיאורית החדירה חלה עבור טבלות בהן מנת הזיון לכפיפה בכל כיוון אינה פחותה מ 0.5% . יש כאן סתירה מובנית, אי לכך מומלץ פה כי מנת הזיון המינימלית לכפיפה תשאף לערך גבוה יותר מהמינימום של 0.2% בכל כיוון.

### 17.3.2 תכן לגזירה

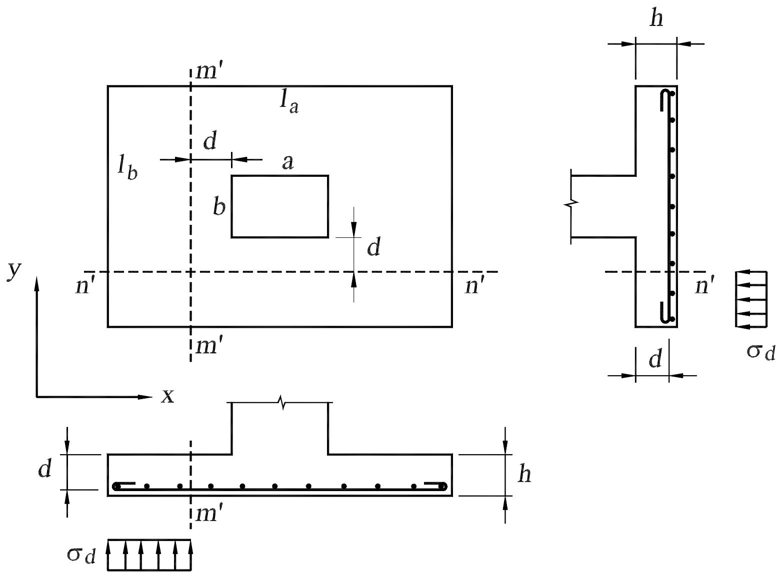
תכן לגזירה כקורה (מבחן עמידה בגזירה בכל אחד משני הכיוונים הראשיים) נידרש ב [5] וב [6] ובאופן עקיף גם ב [4] וב [16] . מאחר וההתייחסות היא כאל קורה הבדיקה נעשית במרחק d מפני הסמך (כלומר העמוד) כאשר הרוחב הפעיל הוא כל רוחב היסוד. אי לכך, לפי ציור 17.6 , שני החתכים הרלבנטיים הם : ***m'-m'*** במרחק ***d*** מחתך ***m-m*** וחתך ***n'-n'*** במרחק **d** מחתך ***n-n*** אפשר לקחת $d_m$ (ממוצע הגובה הפעיל).

כוח התכן בגזירה בחתך ***m'-m'*** יהיה :

$$V_{d,m'\text{-}m'} = [\tfrac{1}{2}(l_a - a) - d] \, l_b \, \sigma_d \qquad (17.8)$$

כוח התכן בגזירה בחתך ***n'-n'*** יהיה :

$$V_{d,n'\text{-}n'} = [\tfrac{1}{2}(l_b - b) - d] \, l_a \, \sigma_d \qquad (17.9)$$




**<u>ציור 17.6</u>**

עקרונית מותר השימוש בזיון לגזירה, ברם יש קושי במיקום הזיון לגזירה ובשמירה על מיקומו ביסוד בעת היציקה. בנוסף – אפשר כי שימוש בזיון לגזירה יביא להפחתת הגובה הפעיל הדרוש, אולם יש גורמים נוספים המשפיעים על הגובה הפעיל ביניהם הדומיננטי (לרוב) הוא אורך העיגון של הזיון של העמוד ובגינו אין הפחתות. מסיבות מעשיות לחלוטין ולא מנימוק תיאורטי כל שהוא, מומלץ כאן <u>לא</u> לתכנן יסוד בודד שטוח עם זיון לגזירה.

נובע מכך שהתסבולת המירבית של כל אחד משני החתכים הקריטיים אשר צוינו לעיל תהיה $V_{Rd,c}$ (ראה סעיף 11.4 נוסחה (11.21)) ובמקרים המיוחדים כאן :

עבור חתך $m'$-$m'$ יהיה $V_{Rd,c}$ :

(17.10)

$$V_{d,m'-m'} \le V_{Rd,c} = \left[0.12\left(1+\sqrt{\frac{200}{d}}\right)\left(100\rho_l\ 0.70 f_{ck}\right)^{1/3}\right] l_b d$$

ועבור חתך $n'$-$n'$ יהיה $V_{Rd,c}$ :

(17.11)

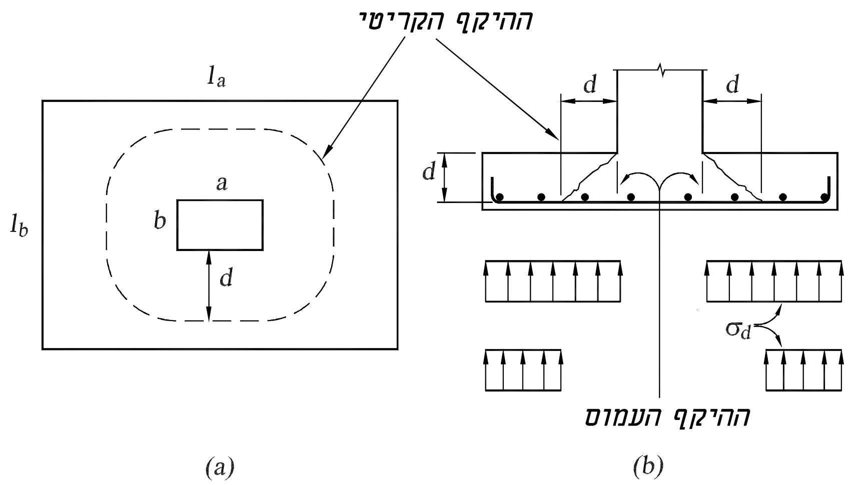
$$V_{d,n'-n'} \le V_{Rd,c} = \left[0.12\left(1+\sqrt{\frac{200}{d}}\right)\left(100\rho_l\ 0.70 f_{ck}\right)^{1/3}\right] l_a d$$

אפשר להשתמש ב $d_m$ בנוסחאות (17.8) עד (17.11). יתר הפרטים – כמוגדר בפרק 11.

**17.3.3 תכן לחדירה**

התכן לחדירה יהיה תואם עקרונית את ההליך המתואר בפרק 16. ההיקף הקריטי הראשון המומלץ ב [8] הינו במרחק 1.5d מהעמוד. ב [4] יש המלצה לבדוק היקפים קריטיים עד מרחק 2.0d מפני העמוד. אין לשכוח כי הכסוי המחקרי של חדירה טוען כי הידוע על חדירה [16] תקף עבור מנות זיון לכפיפה שאינן פחותות מ 0.5% לכל כיוון. בדרך כלל החישוב לכפיפה מניב כמויות זיון קטנות יותר. שיקול נוסף הוא שהחישוב לגזירה לפי 17.3.2 אינו שמרני דיו בכך שהוא מניח כחתך לבדיקה זה אשר במרחק $d_m$ מפני הסמך (כאן העמוד) אולם העמוד אינו סמך רציף.

כבר בגירסת ספר זה לפני שנים רבות וכעת בעקבות [40] מומלץ כאן לערוך את הבדיקה לחדירה בהיקף קריטי המצוי במרחק $d_m$ מפני העמוד (ציור 17.7).




**ציור 17.7**

בציור מסומנים שני היקפים: ההיקף העמוס – $u_0$ ו ההיקף הקריטי – $u_1$. העומס שיש להביא בחשבון עבור כל בדיקה הינו העומס מחוץ להיקף. מותר באופן תיאורטי להפחית ממאמצי המגע עם הקרקע $\sigma_d$ את המשקל העצמי של היסוד ואת עומס הקרקע מפני היסוד העליונים ועד פני הקרקע. הדעה כאן היא כי הפחתה זו קטנה והיא מסדר גודל אי הדיוק המובנה בחישוב יסודות (למשל – הסטייה הכרוכה בהנחה שמאמצי המגע פרוסים שווה לעומת הפרוס האמיתי תביא לטעות גדולה יותר מאשר הזנחת העומס המוזכר) ולכן אין טעם לטרוח ולעשות אותה עבור $u_0$.

בהיקף העמוס בודקים את העמידה בתנאי $V_d \le V_{Rd,max}$. $V_{Rd,max}$ יהיה:

$$V_{Rd,max} = 0.32\left[1-0.70\frac{f_{ck}}{250}\right] f_{cd}\, u_0 d_m \qquad (17.12)$$

כאשר עבור עמוד במידות $a/b$ יהיה $u_0 = 2\ (a+b)$ . מותר להפחית את העומס בתחום השטח העמוס (שטח העמוד) אבל, כאמור לעיל, גם זה מרכיב קטן שניתן להזניח, כך שבאופן מעשי $V_d$ יכול להיות מלוא העומס על היסוד.

בהיקף הקריטי הראשון (והוא היחיד מאחר והומלץ כאן לתכנן את היסוד ללא זיון לחדירה) יהיה העומס לבדיקה – כל העומס מחוץ להיקף הקריטי. בדיקה זו תוכיח כי $V_d \le V_{Rd,c}$ . כאשר היסוד מלבני $l_a / l_b$ והעמוד מלבני וההיקף הקריטי במרחק $d_m$ מקצה העמוד, סה"כ העומס לבדיקה כאן יהיה:

$$V_d = [\ l_a\ l_b - (a+2d)b - 2ad - \pi d^2\ ]\sigma_d \qquad (17.13)$$

ההיקף הקריטי עבור החדירה יהיה: $u_1 = 2\ (\ a + b\ ) + \pi 2d$ ו $V_{Rd,c}$ יהיה:

$$V_{Rd,c} = \left[0.12\left(1+\sqrt{\frac{200}{d_m}}\right)\left(100\,\rho_l\,0.70\,f_{ck}\right)^{1/3}\right]u_1 d_m \qquad (17.14)$$

אולם לא פחות מהערך הבא:

$$V_{Rd,c} \ge \left[0.035\left(1+\sqrt{\frac{200}{d_m}}\right)^{3/2}\left(0.70\,f_{ck}\right)^{1/2}\right]u_1 d_m \qquad (17.14א)$$

### 17.3.4 אבטחת עיגון כל חלקי הזיון

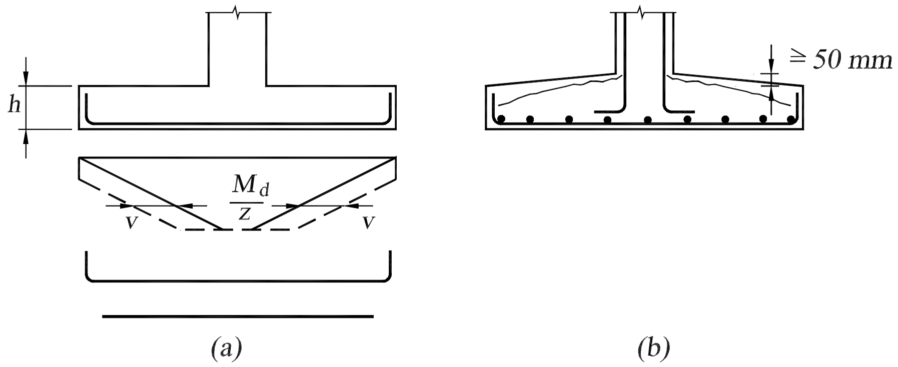
יש להבטיח את עיגון זיון הכפיפה של היסוד ואת עיגון זיון העמוד אשר חודר לתוך היסוד בניצב לו.

א. הזיון לכפיפה ביסוד

תיאורטית קו כוח המתיחה ביסוד הוא כמתואר בציור 17.8a . אם נניח מידת העתקה משוערת של $0.5d$ נימצא שתיאורטית לפחות, ניתן להפסיק חלק מהזיון לכפיפה, אולם גם לחלק הזיון שהופסק יש לתת עיגון והאפשרות המעשית היא כי עם העיגון מוט זיון שלכאורה הופסק יגיע לקרבת קצה היסוד.

גם לחלק הזיון אשר יגיע לקצה היסוד קשה לספק עיגון מחושב (בקצה היסוד יש עדיין כוח מתיחה מסוים אולם אין אפשרות להבליט ממנו והלאה אורך עיגון כל שהוא.

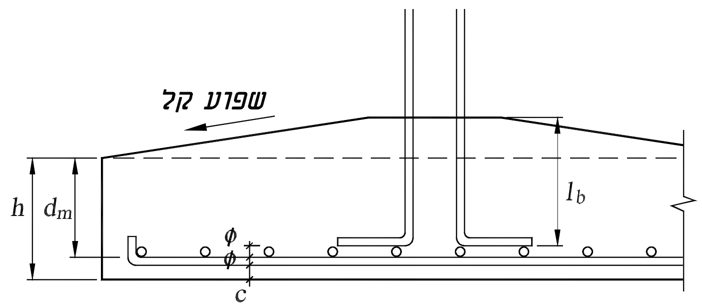
אי לכך מומלץ להניח כי ביסוד נוצרת פירמידת כוחות לחיצה, כמתואר בציור 17.8b , אשר מוטות הלחיצה הנטויים שלה, בחלקם העליון מתכנסים בתחתית עמוד היסוד ובחלקם בתחתון מגיעים אל היקף היסוד ושם מעוגנים בוו אשר ניתן בזיון המתיחה האופקי של היסוד. אי לכך רצוי להביא את כל זיון המתיחה של היסוד עד הקצה ולסיימו בוו ארוכה באורך של לפחות $12\phi$ מעבר לכיפוף הוו, כך שייווצר שם מקום אחיזה בטוח למוטות הלחיצה המרחביים.




**ציור 17.8**

ב. הזיון האורכי של עמוד היסוד.

נצא מתוך הנחה כי זיון עמוד היסוד הנו חלק מזיון העמוד וזיון זה מנוצל במלואו. ממקום היכנסו ליסוד הזיון הזה צריך להיות מעוגן באורך עיגון מלא $l_b$ . אורך העיגון העומד לרשותנו הינו מפני היסוד העליונים ועד רשת זיון הכפיפה של היסוד, כלומר $l_b \geq h - c - 2\phi$ , כאשר $h$ – עובי היסוד, $c$ – עובי כסוי הבטון ו $\phi$ - קוטר מוט הזיון בכיוון אחד של זיון הכפיפה ביסוד. במקרים רבים עובי היסוד הדרוש ייקבע דווקא מתוך שיקול זה של הצורך באבטחת אורך עיגון מספיק לזיון עמוד היסוד. וו, אשר הכרחי לתת בקצה זיון עמוד היסוד, לא יכול להיחשב כתורם לקיצור אורך העיגון מפני שהזיון הזה מצוי בלחיצה, ועל כן, אף כי יינתן הוו לצורך העמדת הזיון של עמוד היסוד יש לתת את $l_b$ המלא – ציור 17.9 .



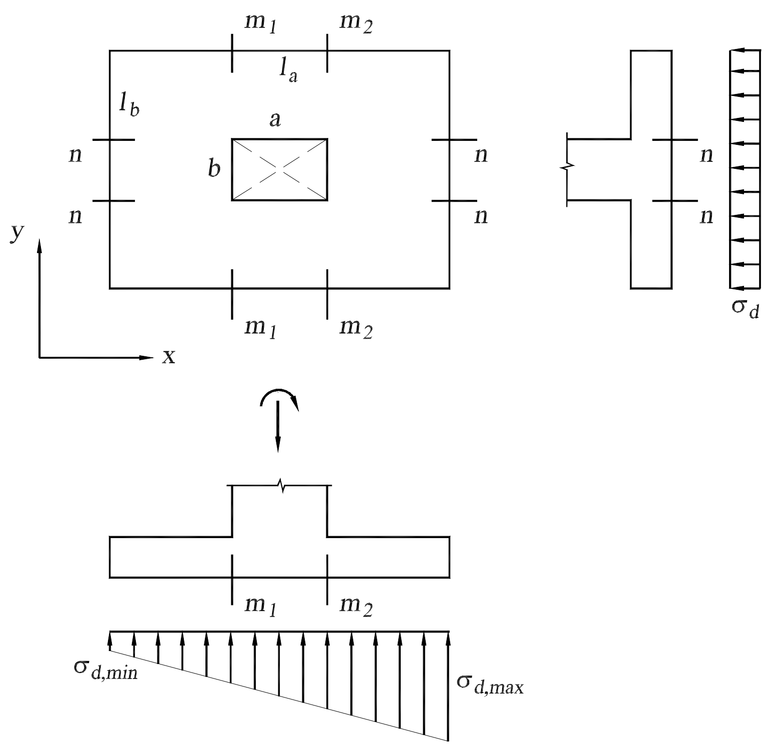

**ציור 17.9**

הערה: מותר לתת שיפוע <u>קל</u> לפני היסוד העליונים אשר <u>לא</u> יובא בחשבון עבור גובה היסוד $h$ ( רק כ 50 ממ' לניקוז פני היסוד העליונים) אך מותר להוסיף 50 ממ' אלה לאורך העיגון של זיון עמוד היסוד.

## 17.4 תכן יסוד בודד שטוח לפעולת עומס אקסצנטרי

האפשרות של פעולת עומס אקסצנטרי על יסוד בודד שטוח הוזכרה בסעיף 17.1.1 והוצגה בציור 17.2 עם שתי אפשרויות. נתייחס לשתי האפשרויות על רקע גישה העקרונית אשר הוצגה בסעיף 17.3.3. ברור כי יהיה אשר יהיה פרוס מאמצי המגע קרקע – יסוד יש להידרש לצרכי התכן לכפיפה, גזירה, חדירה ועיגון הזיון.

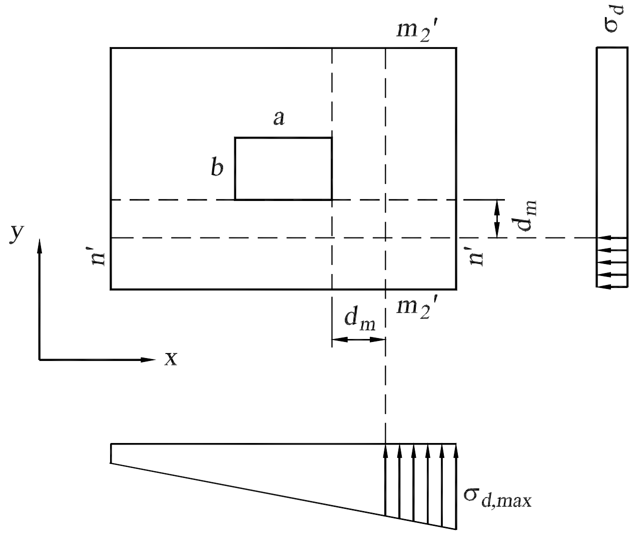
א. פרוס לינארי משתנה של מאמצי המגע בין קרקע ליסוד בתכנון יסוד תחת פעולת עומס אקסצנטרי נתון בציור 17.10.




**ציור 17.10**

על מנת לענות לצרכי הכפיפה יש לבדוק מומנט ביסוד בכיוון $\boldsymbol{x}$ בחתכים $\boldsymbol{m_1}$- $\boldsymbol{m_1}$ ו $\boldsymbol{m_2}$-$\boldsymbol{m_2}$ ובכיוון $\boldsymbol{y}$ בחתכים $\boldsymbol{n}$-$\boldsymbol{n}$ . מובן שאם האקסצנטריות חד כיוונית ברורה יהיה שוני בין המומנטים שכל אחד משני חתכי ה $\boldsymbol{m}$-$\boldsymbol{m}$ דורש וכן אפשר להביא בחשבון כי בניצב לחתך $\boldsymbol{n}$-$\boldsymbol{n}$ המומנטים אינם שווים.

לעומת זאת – אם המומנט בעל סימן מתהפך (כמו במקרה של אקסצנטריות הנובעת מכוחות אופקיים על המבנה, בעלי סימן מתהפך) אין מנוס אלא להתחשב בגדול מהמומנטים ***m-m*** – כן בגדול המומנטים בניצב לחתך ***n-n*** .




**<u>ציור 17.11</u>**

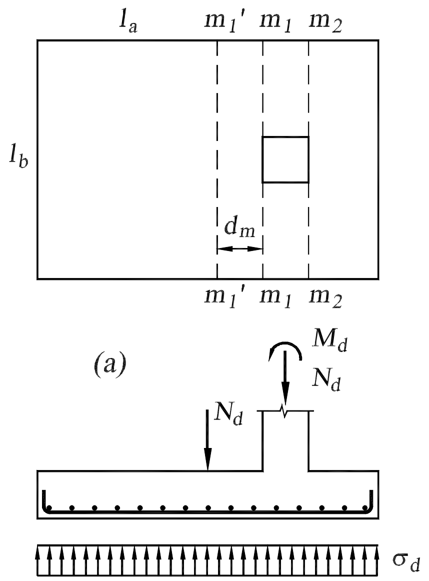
<u>לגבי גזירה</u> יקבעו החתכים הקריטיים המסומנים בציור 17.11 הקבועים במרחק $d_m$ מפני העמוד בכל כיוון. גם פה יש להפעיל את השיקול כפי שהובהר לעיל ביחס לבעיה אם האקסצנטריות היא חד כיוונית ברורה או בעלת כיוון מתהפך ולפעול בהתאם. גם פה לא ניראה מעשי לתכנן עם זיון לגזירה ועל כן ניראה שאין לעלות על $V_{Rd,c}$ (גם אם בניצב לכיוון ***n\`-n\`*** יש לענות על הדרישה לפי בדיקה מקומית על חלק מן החתך).

<u>החדירה</u> תיבדק בחתך קריטי המצוי בהיקף המרוחק מרחק $d_m$ מהעמוד כמסומן בציור 17.11 . כאן יש באופן ברור חדירה עם כוח אקסצנטרי. שלוש אפשרויות עומדות לפני המתכנן: א. לגשת לבעיה מתוך ידיעה כיצד לתכנן עם כוח אקסצנטרי – ראה פרק 16, לפי המוצע בגליון תיקון 3 של חוקת הבטון. ב. להניח מקדם הגדלה מקורב (ראה המפורט בגליון התיקון לחוקת הבטון – פרק 16 ).

<u>עיגון הזיון</u> – כל מה שנקבע לגבי עיגון הזיון ביסוד בודד שטוח עמוס עומס צירי תקף גם כאן , ביחס לעיגון זיון עמוד היסוד וגם ביחס לזיון הכפיפה של היסוד עצמו.

ב. <u>פרוס מאמצים אחיד</u> – כמצוין בציור 17.12a (ראה גם ציור 17.2b ).

בנוגע <u>לכפיפה</u> ברור כי בחתך $m_1$-$m_1$ מתפתח מומנט גדול יותר מאשר בחתך $m_2$-$m_2$ ודאי כי חתך זה יקבע את כמות הזיון בכיוון $x$ . בעיית התחלקות המומנט בכיוון $y$ מחייבת ריכוז זיון גבוה יותר במחצית היסוד המכילה את העמוד.




**<u>ציור 17.12</u>**

גם לגבי <u>הגזירה</u> (ציור 17.12b) חתך `$m_1$`-$m_1$ יהיה ללא ספק הקובע.

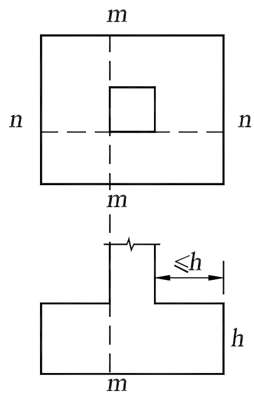
ביחס ל<u>חדירה</u> – בציור 17.12b מצוין היקף החדירה. ללא ספק יש כאן בעיית כוח חדירה אקסצנטרי – הכוח המהווה את שקול מאמצי המגע לעומת מרכז הכובד של העמוד. הטיפול בה יהיה לפי אחת הדרכים המוצעות בגליון תיקון 3 לחוקת הבטון 1 (ראה פרק 16).

<u>עיגון הזיון</u> - שוב, ההוראות לגבי יסוד עמוס צירית יתאימו, עם שימת לב מיוחדת לעיגון הזיון לכפיפה בצד אליו העמוד קרוב יותר (לכיוון החתך $m_2$-$m_2$).

## <u>17.5 תכן יסוד מבטון לא מזוין</u>

ביסוד מבטון לא מזוין חסר זיון לכפיפה ( ולגזירה וחדירה אם היתה כוונה להשתמש בזיון כזה בכלל). כמובן שזיון עמוד היסוד קיים ויש להבטיח לו פתרון עיגון בתוך היסוד. נותר, איפוא, לטפל בבעיית כפיפה גזירה וחדירה.

בציור 17.13 נתון יסוד מבטון לא מזוין.




**ציור 17.13**

החתכים אשר יש להבטיח בכפיפה הם החתכים בפני העמוד ***m-m*** ו ***n-n*** כמסומן. לכל יחידת רוחב בכל כיוון מומנט הכפיפה לא יעלה על $1/6\, h^2\ (f_{ctk}/\gamma_c)$ בה $h$ הינו גובה היסוד בחתך הנבדק ו $f_{ctk}$ חוזק הבטון האופייני במתיחה.

בנוגע לגזירה ולחדירה המצב באלמנט ללא זיון לכפיפה כלל שונה מבחינה עקרונית: כל מה שמבטיחים עבור חדירה מבוסס על תיאוריה על פיה קיים זיון לא קטן (0.5% ויותר) בכל כיוון בצד המתוח בכפיפה. כל מה שמבטיחים עבור גזירה ללא זיון לגזירה מבוסס על כך כי קיים זיון מינימלי כל שהוא בצד המתוח בכפיפה . במקרה הנדון אף אחת משתי הנחות אלו אינה מתקיימת, כלומר חסר הבסיס עליו ניתן להשתית את התכן המקובל.

הדרך היחידה בה ניתן להבטיח את מניעת השבר בגזירה או בחדירה היא להבטיח כי בכל נקודה ביסוד המאמץ הראשי במתיחה לא יעלה על $f_{ctk}/\gamma_c$ כאשר עבור $\gamma_c$ יש להניח לפחות 2.0 . בדרך כלל ניתן להשיג זאת כאשר הזווית בה מתפשט העומס דרך היסוד כלפי התחתית הינה $45^0$ ( או גובה היסוד לא קטן מהמידה בה בולט היסוד אופקית מפני העמוד.

## 17.6 הנחיות תכן ופרטי הזיון

העובי המינימלי הכולל (את הזיון והכסוי שלו) יהיה 200 ממ׳. יש לתת שכבת בטון רזה לפני הכנת המשטח ליציקה פלטת היסוד ולפני הנחת הזיון לכפיפה של היסוד על מנת להבטיח משטח יציקה נקי. אם דפנות בור היסוד אינם יציבים יש להבטיח מניעת התמוטטותם וגלישת עפר אל בור היציקה.

עומק הביסוס יהיה לא פחות מהדרוש עד שכבת קרקע טבעית יציבה.

מאחר ופרט עיגון זיון עמוד היסוד ביסוד נדון וניתן פרט בציור 17.9 נותר להתייחס לרשת זיון לכפיפה של היסוד.

המלצה להמשיך את כל הזיון לכפיפה של היסוד עד קצה היסוד וכיפופו כלפי מעלה ניתנה בסעיף 17.3.4 ובציור 17.8 . נותר להתייחס לנושא חלוקת הזיון לכפיפה על פני רוחב היסוד.

בדרך כלל ביסוד רבוע אפשר לחלק את הזיון חלוקה שווה על פני רוחב היסוד.

אף על פי כן ממליץ [6] ביסוד בעל מידות גדולות מאד (מקרה נדיר יחסית) לפזר את הזיון באופן הבא: כאשר צלע היסוד $l_a$ ומידת העמוד באותו כיוון $a$ והגובה הפעיל של היסוד $d$ , אם $l_a>2.5a+4.5d$ לרכז 2/3 הזיון המחושב בחתך בניצב ל $l_a$ על רוחב $3d+b$ המרכזיים ויתרת 1/3 הזיון ביתרת רוחב היסוד. כנ"ל לגבי הכיוון השני.

המלצה ישנה היא: עבור יסוד מלבני בעל מידות $l_a$ ו $l_b$ , כאשר $l_a>l_b$ וכאשר $l_a/l_b = \beta$ לתת ברצועה בעלת רוחב $l_b$ מתוך $l_a$ $2/(\beta+1)$ חלקים מהזיון המחושב בניצב לחתך $l_a$ ואת היתר ברוחב הנתר.

## <u>17.7 דוגמת חישוב</u>

יש לתכנן יסוד שטוח רבוע עבור עמוד יסוד הנושא עומס תכן $N_d$=2040 kN ועומד על קרקע בה מאמץ המגע המותר $2\ kg/cm^2$ השווה ל $\sigma_{\text{מותר}} = 200\ kN/m^2$. מידות חתך העמוד 400/300 ממ' והזיון בו כולל $16\ \Phi\ 10$. היסוד יהיה עשוי בטון ב30. העומס מורכב מ $G_k = 1000$ kN ו $Q_k = 400$ kN .

<u>פתרון</u>

א. שטח היסוד:

העומס האופייני הינו 1400 kN ומאמץ המגע - $\sigma_{\text{מותר}} = 200\ kN/m^2$ לכן שטח היסוד:

$$A_b = N_k / \sigma_{\text{מותר}} = 7\ m^2 = 2.65 / 2.65\ m$$

ב. מאמץ המגע במונחי תכן:

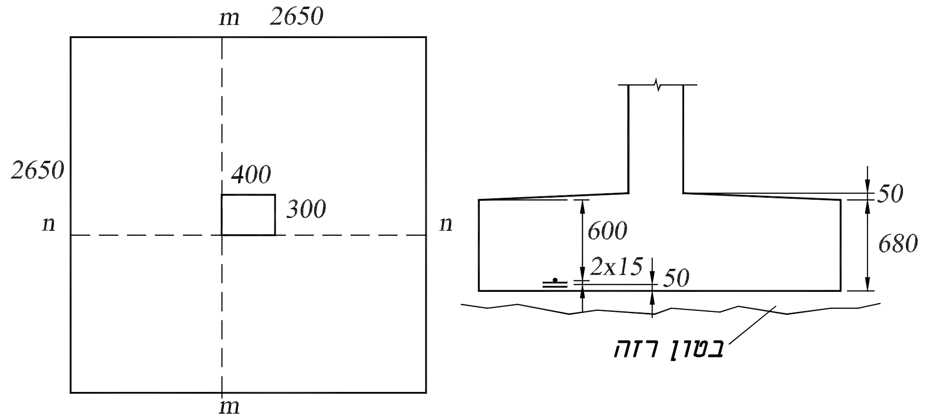
$$\sigma_d = N_d / A_b = 2040 / 7 = 292\ kN/m^2$$

ג. אורך העיגון הדרוש עבור זיון עמוד היסוד ( עבור ב30 $f_{bd} = 2.45$ MPa):

$$l_b = \frac{f_{sd}\ \phi}{4\ f_{bd}} = \frac{350\ 16}{2.45\ 4} \cong 600\ mm$$

ד. הנחת פתיחה עבור עובי היסוד: 50 ממ' על חשבון שיפוע קל כלפי המרכז, ולכן:

$$h \sim 600 + 2 \times 15 + 50 \sim 680\ m \qquad d \sim 600 + 15 = 615\ mm$$




**ציור 17.14**

ה. בין שני החתכים החתך n – n קובע ולכן מומנט הכפיפה הקובע:

$$M_{n\text{-}n} = 292\ 2.65\ ½\ [\ ½\ (2.65 – 0.3)\ ]^2\ = 534\ \text{kNm}$$

ו. חישוב הזיון לכפיפה:

$$A_s = \frac{534}{0.615\ 0.95\ 0.35} = 2612\,\text{mm}^2$$

ז. מנת הזיון: $\rho = \frac{2612}{615\ 2650} = 0.0016$ רצוי לתת 0.2% כלומר 3260 ממ"ר

$\Phi 14\ @120\ \text{mm} \qquad 22\ \Phi\ 14$

ח. כוח התכן בגזירה במרחק d מפני העמוד:

$$V_d = 292\ \ 2.65\ [\ ½\ (2.65 – 0.3) – 0.615\ ] = 433\ \text{kN}$$

ט. התסבולת לגזירה: הבטון ב30 ו $\rho = 0.002$ :

$$V_{Rd,c} = \left[0.12(1+(200/615)^{1/2})(100\ 0.002\ 0.70\ 30)^{1/3}\right]2650\ 615\ 10^{-3} = 495\text{kN}$$

$$V_{Rd,c}\ >\ V_d \qquad \text{OK}$$

י. בדיקה לחדירה כאשר ההיקף הקריטי במרחק d מפני העמוד:

ההיקף הקריטי: $u_1\ =\ 2\ \pi\ \ 0.615 + 2\ (0.4 + 0.3) = 5.262\ \text{m}$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12(1+(200/615)^{1/2})(100\ 0.002\ 0.70\ 30)^{1/3}\right]615\ 5262\ 10^{-3} = 983\text{kN}$$

השטח מחוץ להיקף החדירה:

$$7.0 – (0.3 + 2\ 0.615)\ 0.4 – 2\ 0.3\ 0.615 – \pi\ 0.615^2 = 4.831\ \text{m}^2$$

כוח התכן בחדירה: $V_d\ =\ 292\ \ 4.831\ =\ 1411\ \text{kN}\ >\ V_{Rd,c}$

י"א. מאחר וכוח התכן בחדירה גדול מ $V_{Rd,c}$ יש להגדיל את התסבולת. סוג הבטון לא יוגדל, לכן רק העובי יועלה מ 0.615 ל $d_m = 0.68$ m בשוליים.

במרכז נביא בחשבון גם את השיפוע כך ש במרכז יהיה $d_m = 0.73$ m :

ההיקף הקריטי החדש : $u_1 = 2\pi\ 0.730 + 2\ (0.4 + 0.3) = 5.984$ m

בהיקף הזה יהיה בממוצע $d_m = 0.70$ m ולכן :

התסבולת לחדירה : $V_{Rd,c} = 0.2985\ 5.984\ 0.700\ 10^3 = 1250$ kN

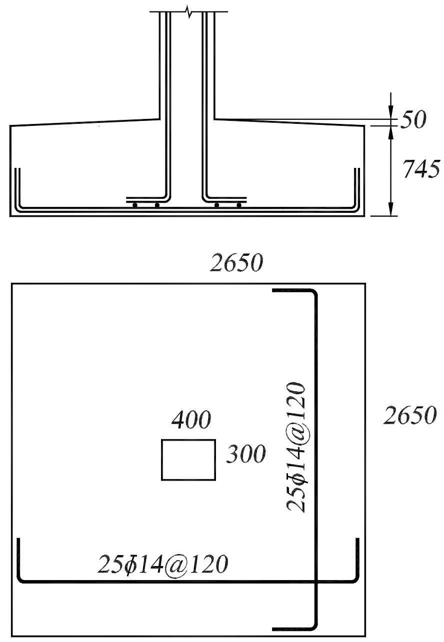
השטח מחוץ להיקף החדירה :

$$7.0 - (0.3 + 2\ 0.730)\ 0.4 - 2\ 0.3\ 0.730 - \pi\ 0.730^2 = 4.185\ m^2$$

כוח התכן בחדירה : $V_d = 292\ \ 4.185 = 1222$ kN $< V_{Rd,c}$ בסדר!

<u>סיכום :</u>

היסוד יהיה בעל עובי $h = 680 + 14 + 50 = 745$ mm בהיקף, בתוספת 50 ממ' במרכז ליצירת שיפוע קל. היסוד יהיה רבוע בעל צלע 2.65 מ' מבטון ב30 עם זיון $25\Phi14$ בכל כיוון כאשר הכסוי לזיון יהיה 50 ממ'. העמוד במרכז היסוד. ראה ציור 17.15 . עם עובי זה ניתן לתת בעמוד היסוד גם 6 $\Phi$ 20 במקום 16 $\Phi$ 10.




**<u>ציור 17.15</u>**