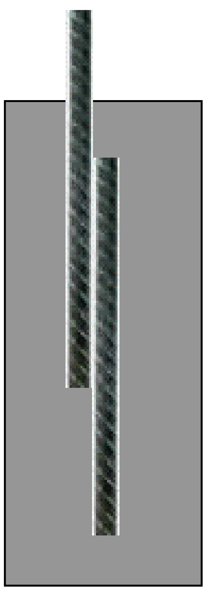
פתרונות תכנון
לחישוב קוצים עם דבקים

איגוד המהנדסים



מרצה : איב דה לטואר

מהנדס אדיט בע"מ

<u>תקנים/תכנון</u>

- כיום <u>**אין תקן בישראל**</u> בתחום העיגון (מלבד דף בודד ללא משמעות משנות ה- 70').

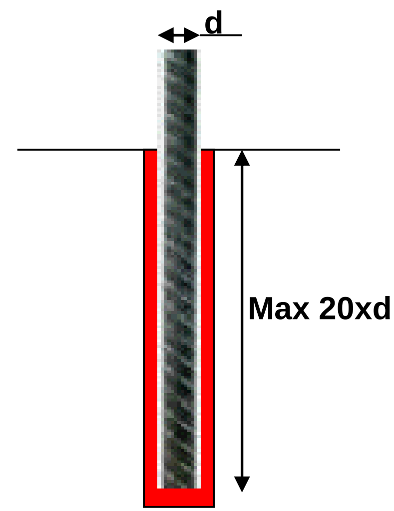
- לפי <u>**תקנים אירופאים**</u>, ישנם 2 אופציות לחישוב קוצים המותקנים עם דבק :

1 - התקן Design Bonded Anchor **EOTA TR029** המאפשר חישוב שמרני ובטוח לכל עיגון כימי.

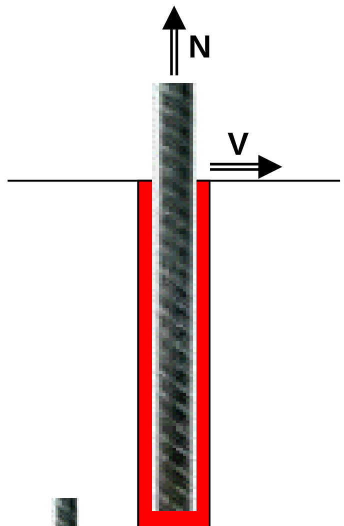
2 - התקן post-installed rebar connections **EOTA TR023** משולב עם התקן EN1992-1-1 לבניית בטון הנותן פתרון לחישוב קוצים המודבקים עם דבק כימי. המקביל האמריקאי הינו התקן **ACI318**.

<u>תקן EOTA TR029</u>

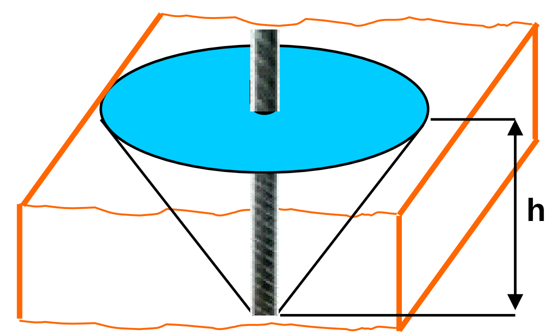
מאפשר חישוב לפי
כל קוטר וכל עומק
עד לעומק
"20xקוטר".



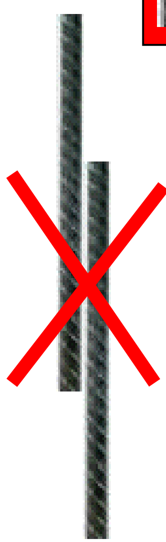
מאפשר חישוב
עומסים בשליפה
ובגזירה.



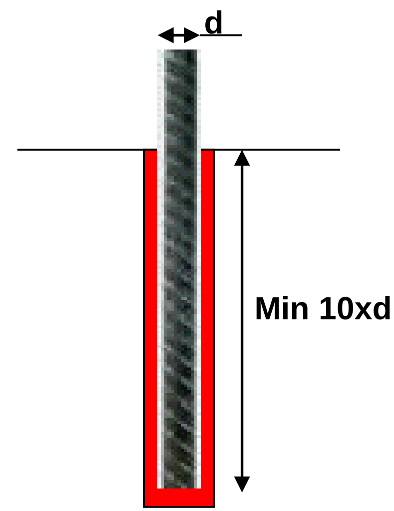
דורש חישוב של קונוס
הבטון שמגביל מאוד
את גבולות מרחק
ההתקנה מקצה הבטון
ובין הקוצים.



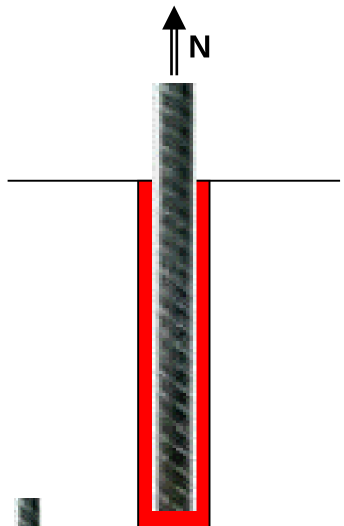
לא נותן לחשב אורך
נדרש למעבר כוחות
בין קוצים. מקווים
שהמעבר מתבצע
דרך הבטון...



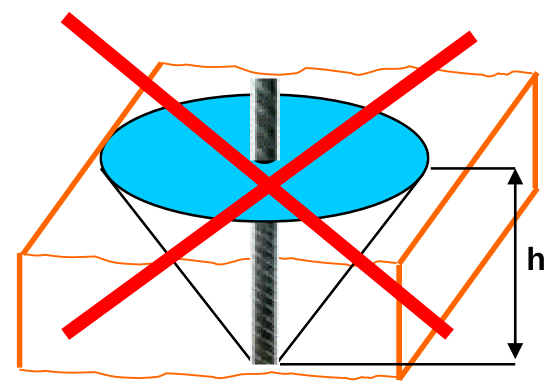
תקן EOTA TR023 או ACI 318



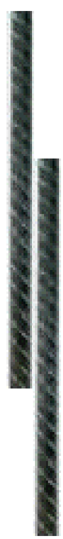
מאפשר חישוב לפי
כל קוטר וכל עומק
מעל "10xקוטר"



מאפשר חישוב
עומסי שליפה
בלבד (חוזק
מופחת)

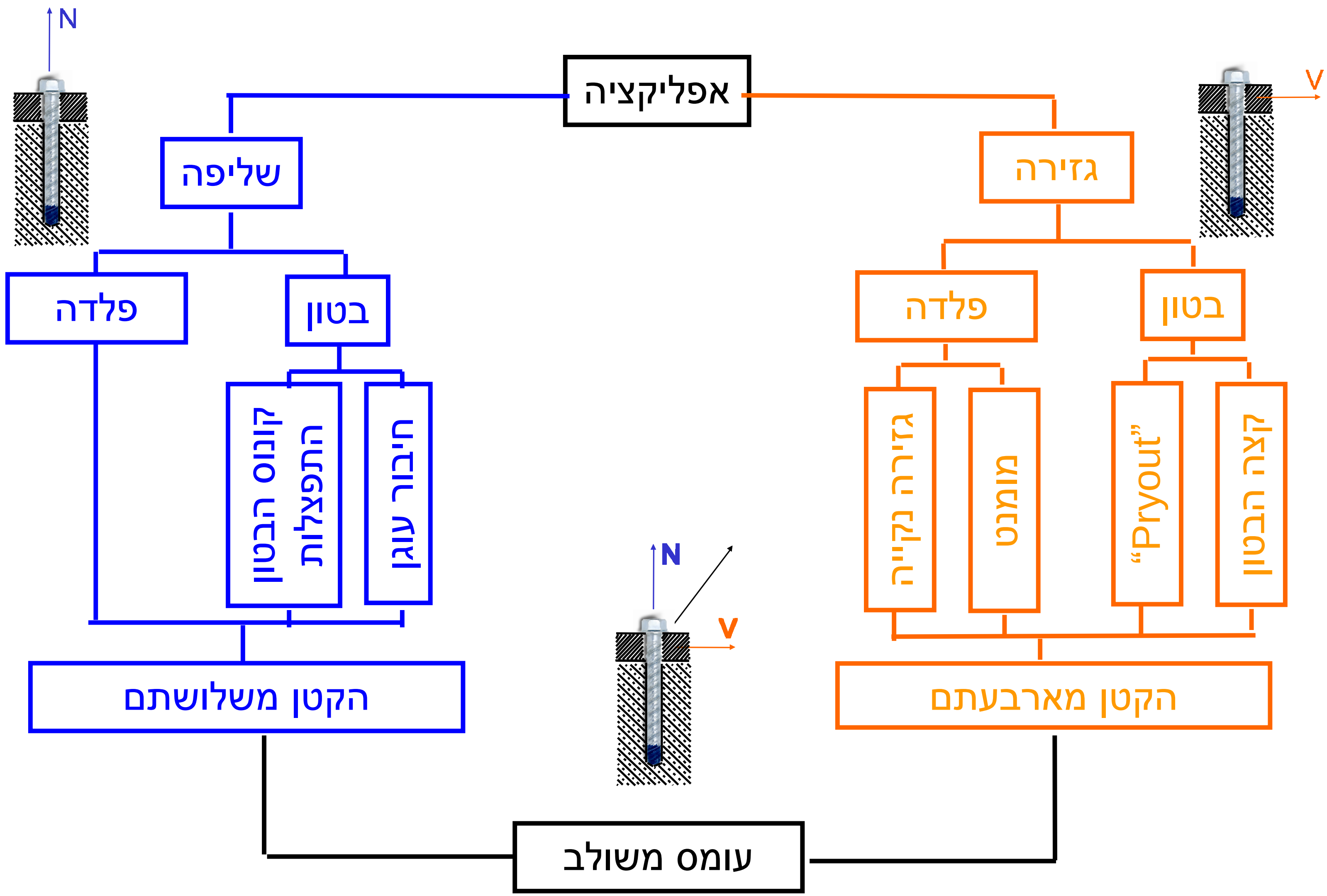


לא דורש חישוב של
קונוס הבטון. הגבלות
מרחק דומים לאלו של
הזיון המותקן לפני
יציקת בטון



מאפשר לחשב
אורך נדרש
למעבר כוחות
בין קוצים.

תקן TR029

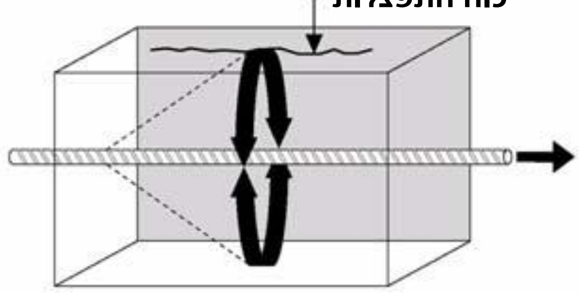

N
אפליקציה
שליפה
פלדה
בטון
קונוס הבטון
התפצלות
חיבור עוגן
הקטן משלושתם
V
גזירה
פלדה
בטון
גזירה נקייה
מומנט
"Pryout"
קצה הבטון
הקטן מארבעתם
N
V
עומס משולב

חישוב ברזל זיון מותקן עם דבק כימי לפי תקן אירופאי EOTA TR023 ותקן אמריקאי ACI 318

התכנון לפי תקנים אלו מבוסס על תכנון ברזל זיון **מותקן לפני יציקת** בטון ומותאם לברזל זיון מותקן עם דבק כימי.

שני התקנים כמעט זהים חוץ מחישוב ב**כוח תכן בהתפצלות** בין הברזל זיון לבטון שהינו הכוח הקובע בדרך כלל.

לפי שיטה אירופאית, מתחשבים במצב הגרוע ביותר (מרחק מינימאלי מקצה הבטון, מרחק מינימאלי בין הברזל זיון, ללא ברזל זיון מרחבי). אם **כוח ההדבקה** של דבק כימי הינו פי-4,3 יותר חזק מכוח התפצלות מינימאלית, אז כוח ההתפצלות הינו הקובע. אם כוח הדבקה של הדבק קטן יותר, מקטינים יחסית את כוח ההתפצלות.



התקן האמריקאי מאפשר חישוב מדויק יותר של כוח ההתפצלות שתלוי במרחקים לקצה הבטון ובין ברזלי זיון וגם מעקף ברזל זיון רוחבי.

תקן EOTA TR023 או ACI 318

חישוב אורך הנדרש l_{bd}

חישוב שטח פלדה נדרש $A_{s,req}$

$$N_d \Rightarrow A_{s,req} = N_d \,/\, f_{yk}$$

N_d הינו הכוח הנדרש בשליפה

f_{yk} הינו חוזר האופייני הפלדה

חישוב סטרס נדרש σ_{sd}

$$\sigma_{sd} = (A_{s,req} / A_s) \times (f_{yk} / 1{,}15)$$

A_s הינו שטח הפעיל של החתך של הברזל זיון

d קוטר ברזל	mm	8	10	12	14	16	20	25	28	32	36	40
A_s שטח פעיל	mm^2	50	78	113	154	201	314	491	616	804	102	1257

$$l_{bd,req} = (d / 4) (\sigma_{sd} / f_{bd,sp})$$

חישוב אורך נדרש $l_{bd,req}$

$f_{bd,sp}$ הינו החוזק תכן לפי כשל בהתפצלות

f_{bm} הינו החוזק תכן לפי כשל בהדבקה

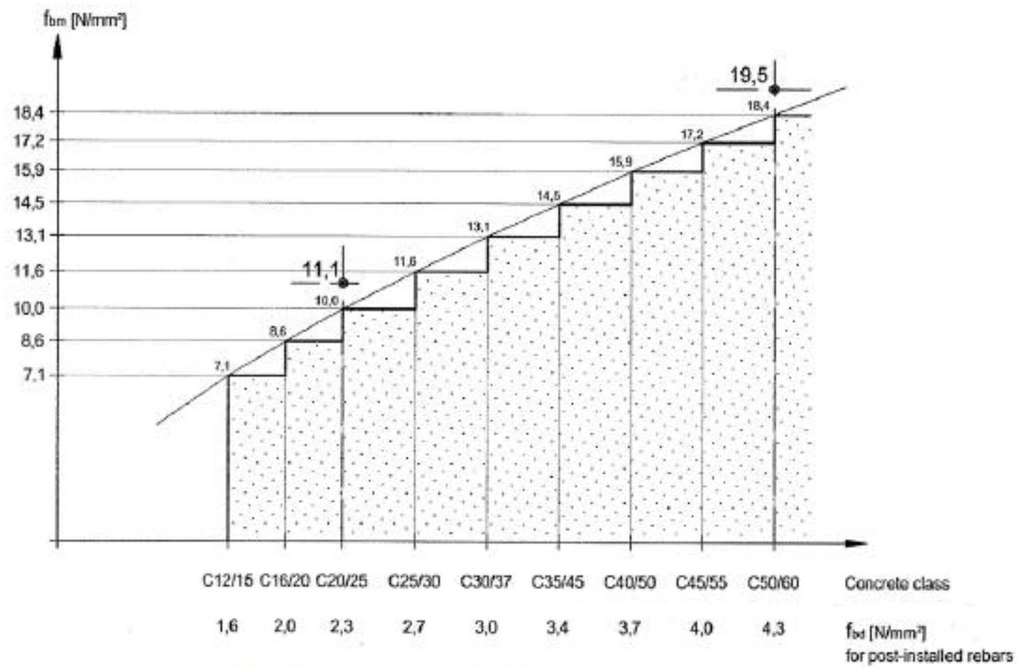


Figure 3.1: Design according to EC2 without limitation

Table 3.1 Required bond resistance

Concrete strength class (1)	Design values of the ultimate bond resistance according to EC2 for good bond conditions f_{bd} (N/mm²) (2)	Required bond resistance for post-installed rebars f_{bm}^{req} (N/mm²)
C12/15	1,6	7,1
C16/20	2,0	8,6
C20/25	2,3	10,0
C25/30	2,7	11,6
C30/37	3,0	13,1
C35/45	3,4	14,5
C40/50	3,7	15,9
C45/55	4,0	17,2
C50/60	4,3	18,4

חישוב לפי תקנים EOTA TR023 או ACI318

Minimum anchorage length and minimum lap length

The minimum anchorage length $\ell_{b,min}$ and the minimum lap length $\ell_{0,min}$ according to EN 1992-1-1:2004+AC:2010 ($\ell_{b,min}$ acc. to Eq. 8.6 and Eq. 8.7 and $\ell_{0,min}$ acc. to Eq. 8.11) shall be multiply by the amplification factor α_{lb} according to Table C1.

Table C1: Amplification factor α_{lb}

Concrete class	Drilling method	Bar size	Amplification factor α_{lb}
C12/15 to C50/60	Hammer drilling (HD) and compressed air drilling (CD)	8 mm to 32 mm	1,0
	Hammer drilling (HD) and compressed air drilling (CD)	> 32 mm	1,5
	Diamond coring (DD)	8 mm to 40 mm	1,5

Table C2: Design values of the ultimate bond resistance f_{bd} in N/mm² for hammer (HD) and compressed air drilling (CD) methods for good conditions

according to EN 1992-1-1:2004+AC:2010 for good bond conditions
(for all other bond conditions multiply the values by 0.7)

Rebar - ∅	Concrete class								
d_s	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
8 to 32 mm	1,6	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3
34 mm	1,6	2,0	2,3	2,6	2,9	3,3	3,6	3,9	4,2
36 mm	1,5	1,9	2,2	2,6	2,9	3,3	3,6	3,8	4,1
40 mm	1,5	1,8	2,1	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0

Table C3: Design values of the ultimate bond resistance f_{bd} in N/mm² for Diamond coring (DD) method for good conditions

according to EN 1992-1-1:2004+AC:2010 for good bond conditions
(for all other bond conditions multiply the values by 0.7)

Rebar - ∅	Concrete class								
d_s	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
8 to 28 mm	1,6	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3
32 mm	1,6	2,0	2,3	2,7					
34 mm	1,6	2,0	2,3	2,6					
36 mm	1,5	1,9	2,2	2,6					
40 mm	1,5	1,8	2,1	2,5					

Injection system Chemfix 500 for rebar connection	Annex C 1
Performances Amplification factor Design values of ultimate bond resistance f_{bd}	

Table C2: Design values of the ultimate bond resistance f_{bd} in N/mm² for hammer (HD) and compressed air drilling (CD) methods for good conditions

according to EN 1992-1-1:2004+AC:2010 for good bond conditions
(for all other bond conditions multiply the values by 0.7)

Rebar - ∅	Concrete class								
d_s	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
8 to 32 mm	1,6	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3
34 mm	1,6	2,0	2,3	2,6	2,9	3,3	3,6	3,9	4,2
36 mm	1,5	1,9	2,2	2,6	2,9	3,3	3,6	3,8	4,1
40 mm	1,5	1,8	2,1	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0

Table C3: Design values of the ultimate bond resistance f_{bd} in N/mm² for Diamond coring (DD) method for good conditions

according to EN 1992-1-1:2004+AC:2010 for good bond conditions
(for all other bond conditions multiply the values by 0.7)

Rebar - ∅	Concrete class								
d_s	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
8 to 28 mm	1,6	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3
32 mm	1,6	2,0	2,3	2,7					
34 mm	1,6	2,0	2,3	2,6					
36 mm	1,5	1,9	2,2	2,6					
40 mm	1,5	1,8	2,1	2,5					

לקוצים במתיחה/שליפה :

$$l_{bd} = l_{bd,req} \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5$$

לקוצים בלחיצה :

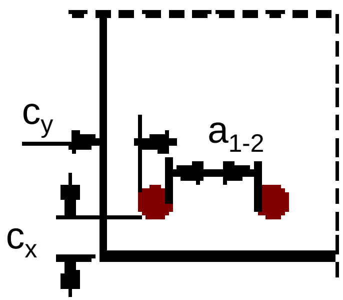
$$l_{bd} = l_{bd,req}$$

מחשבים α_2 רק אם יש מרחק קרוב מקצה הבטון או בין ברזלי זיון שאנו מתקינים. אם לא, $\alpha_2 = 1$

חישוב α_2

$$\alpha_2 = 1 – 0,15 \times (c_d - d) / d$$

$$1 \geq \alpha_2 \geq 0,7$$



$$c_d = \min (c_x ; c_y ; s_{1-2} / 2)$$

a_{1-2} הינו המרחק הפנימי בין הקוצים

s_{1-2} הינו המרחק בין הקוצים (מאמצע עד אמצע - **מינימום 40 מ"מ**)

אם הקוצים שמתקינים רחוקים מכל קצה בטון, על מנת לקבל $\alpha_2 = 0,7$ המרחק הנדרש לפי קוטר ברזל d הינו :

40	36	32	28	25	20	16	14	12	10	8	mm	d
280	252	224	196	175	140	112	98	84	70	56	mm	s_{1-2}

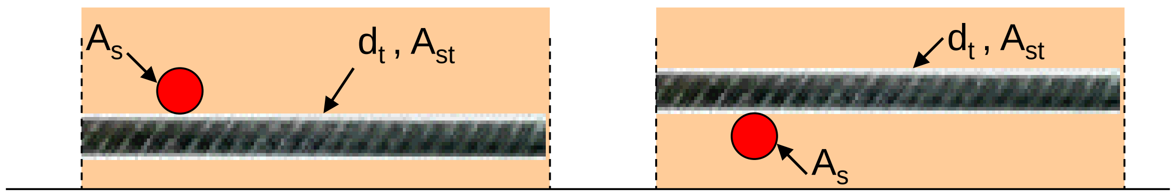
חישוב α_3

$$\boxed{\alpha_3 = 1 - K\lambda}$$

$$1 \ge \alpha_3 \ge 0,7$$

מחשבים α_3 רק אם יש ברזל זיון רוחבי. אם אין ברזל זיון רוחבי, $\alpha_3 = 1$

חישוב K

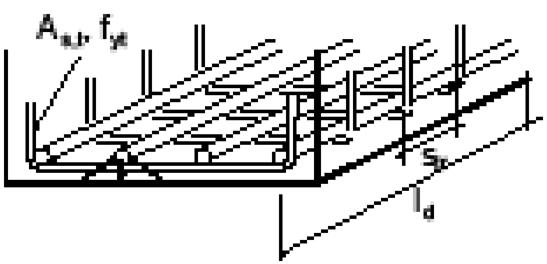


d_t הינו קוטר הברזל זיון הרוחבי לא מרותך

A_{st} הינו שטח הפעיל של חתך הברזל הרוחבי לא מרותך

חישוב λ

$$\boxed{\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s}$$



ΣA_{st} הינו כל השטח הפעיל של הקוצים הרוחביים

$\Sigma A_{st,min} = 0$ לרצפה; $A_{st,min} = 0,25 \times A_s$ לעמודים

קוטר ברזל d	mm	8	10	12	14	16	20	25	28	32	36	40
שטח פעיל A_s	mm^2	50	78	113	154	201	314	491	616	804	102	1257

חישוב α_5

$$\boxed{\alpha_5 = 1 - 0,04p}$$

$$1 \geq \alpha_5 \geq 0,7$$

מחשבים α_5 רק אם יש לחץ רוחבי. אם אין לחץ רוחבי, $\alpha_5 = 1$

p הינו הלחץ לאורך הברזל זיון המותקן לאורך l_{bd}

$$\Longrightarrow \quad \boxed{l_{bd} = l_{bd,req} \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5}$$

בדיקת התאמת הדבק לכוח הנדרש

$l_{b,min} = \alpha_{lb}$ x Max (0,3 x $l_{bd,req}$, 10 x d , 100 mm) לקוצים במתיחה

$l_{b,min} = \alpha_{lb}$ x Max (0,6 x $l_{bd,req}$, 10 x d , 100 mm) לקוצים בלחיצה

$l_{o,min} = \alpha_{lb}$ x Max (0,3 x $l_{bd,req}$, 15 x d , 200 mm) לקוצים בחפיפה

α_{lb} מקדם השפעה של חוזק הדבקה,שווה ל-1,5 אם לא מוגדר אחר. (בין 1 ל-1,5)

Table C1: Amplification factor α_{lb} related to concrete class and drilling method

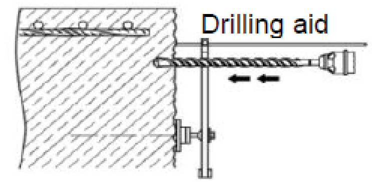
Concrete class	Drilling method	Rebar size	Amplification factor α_{lb}
C12/15 to C50/60	Hammer drilling (HD), hollow drilling (HDB) and compressed air drilling (CD)	8 mm to 32 mm	1,0

$$\boxed{F_d = l_{bd} \times d \times \pi \times f_{bd,chem} \geq N_d}$$

כוח ההדבקה של הדבק צריך להיות גדול יותר מהכוח הנדרש

מרחק מינימאלי לקצה הבטון : c_{min}

Table B1: Minimum concrete cover min c[1] of post-installed rebar depending of drilling method



Drilling method	Rebar diameter	Without drilling aid	With drilling aid
Hammer drilling (HD)	< 25 mm	$30\text{ mm} + 0{,}06 \cdot \ell_v \geq 2\,\phi$	$30\text{ mm} + 0{,}02 \cdot \ell_v \geq 2\,\phi$
	≥ 25 mm	$40\text{ mm} + 0{,}06 \cdot \ell_v \geq 2\,\phi$	$40\text{ mm} + 0{,}02 \cdot \ell_v \geq 2\,\phi$
Compressed air drilling (CD)	< 25 mm	$50\text{ mm} + 0{,}08 \cdot \ell_v$	$50\text{ mm} + 0{,}02 \cdot \ell_v$
	≥ 25 mm	$60\text{ mm} + 0{,}08 \cdot \ell_v$	$60\text{ mm} + 0{,}02 \cdot \ell_v$

c_{min}(mm)	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
s1	30	30	30	30	30	30	30	30
s2	30	30	30	30	30	30	30	35
s3	30	30	20	30	30	30	35	40
s4	30	30	30	30	30	35	40	45
s5	30	30	30	30	35	40	45	50
s6	30	30	35	35	40	45	50	55

הגדרת רמת סיכון לקורוזיה		
X0	אין קורוזיה	יבש מאוד
XC1	קורוזיה מקַרְבּוֹנִיזַצְיָה	קבוע רטוב או יבש
XC2/XC3		מתחלף רטוב/יבש באופן חריג
XC4		מתחלף רטוב יבש באופן מחזורי
XD1	קורוזיה מקלורידים	קצת רטוב
XD2		מתחלף רטוב/יבש באופן חריג
XD3		מתחלף רטוב יבש באופן מחזורי

אם s4 הינו הרמה ההתחלתי הסטנדרטי לתכנון ל-50 שנה.

הגדרת רמת סיכון לתכנון	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
חוזק הבטון	חוזק מעל C30/37, להוריד 1		חוזק מעל C35/45, להוריד 1		חוזק מעל C40/50, להוריד 1			חוזק מעל C45/55, להוריד 1
תכנון ל-100 שנה	להוסיף 2 ברמת סיכון							
פיקוח מיוחד על איכות הביצוע	להוריד 1 ברמת סיכון							

אורך חפיפה בין קוצים : $l_{b,splice}$

$$l_{b,splice} = l_{bd,req} \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 + c$$

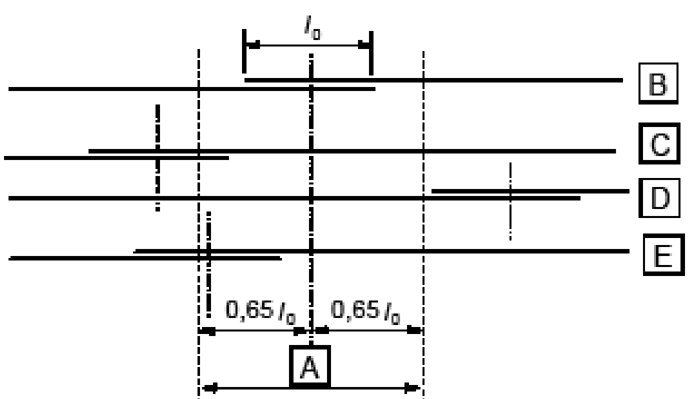
α_5, α_2 ראה חישוב l_{bd}

α_3 ראה חישוב l_{bd} אבל לקחת $A_s \times \sigma_{sd} / f_{yd} = \Sigma A_{st,min}$

f_{yd} הינה חוזק כניעה של הפלדה

חישוב α_6

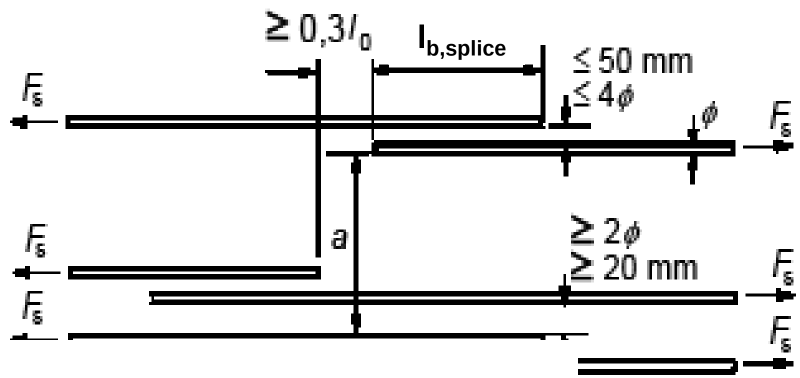
$$1 \leq \alpha_6 = (p_1/25)^{0,5} \leq 1,5$$



p_1 הינו אחוז מספר הקוצים החופפים יחסית לקוצים לא חופפים באזור הנבדק. האזור הנבדק הינו באורך של 1.3 כפול האורך החפיפה.

p_1	< 25%	33%	50%	> 50%
α_6	1	1,15	1,4	1,5

מרחק בין קוצים : a_{1-2}



Amplification factor α_{lb}

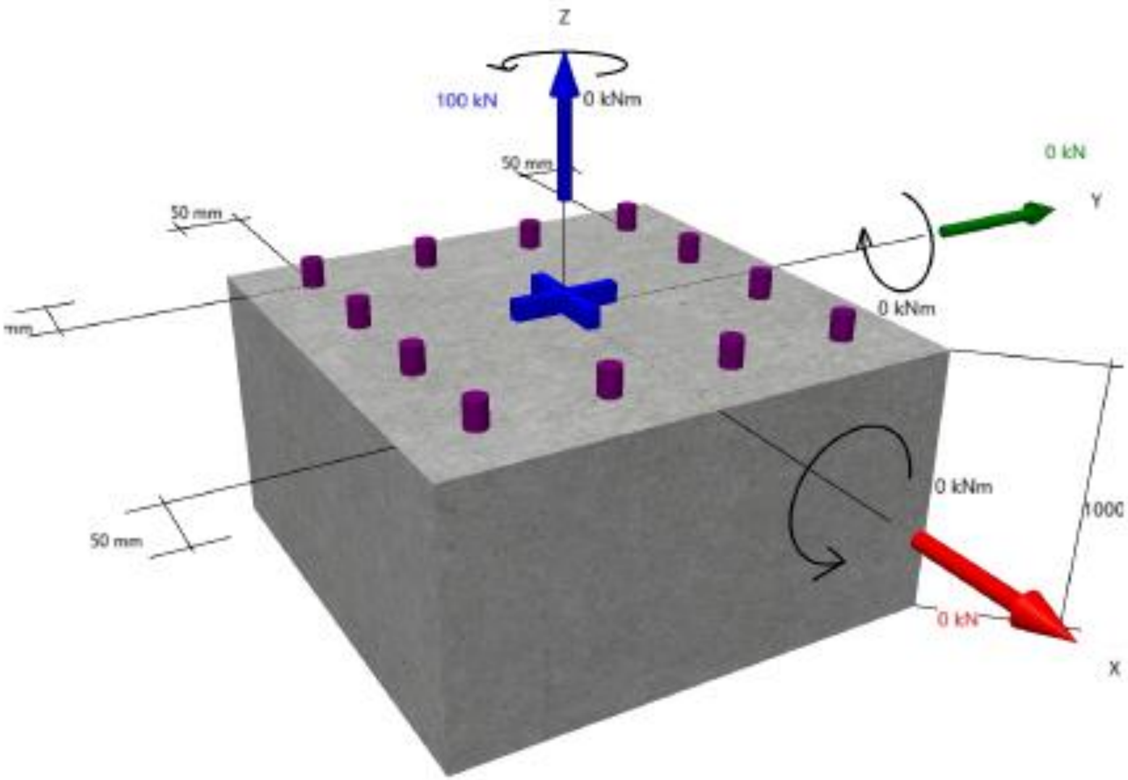
Minimum (4xd;50mm) ≥ a_{1-2} ≥ Minimum (2xd;20mm)

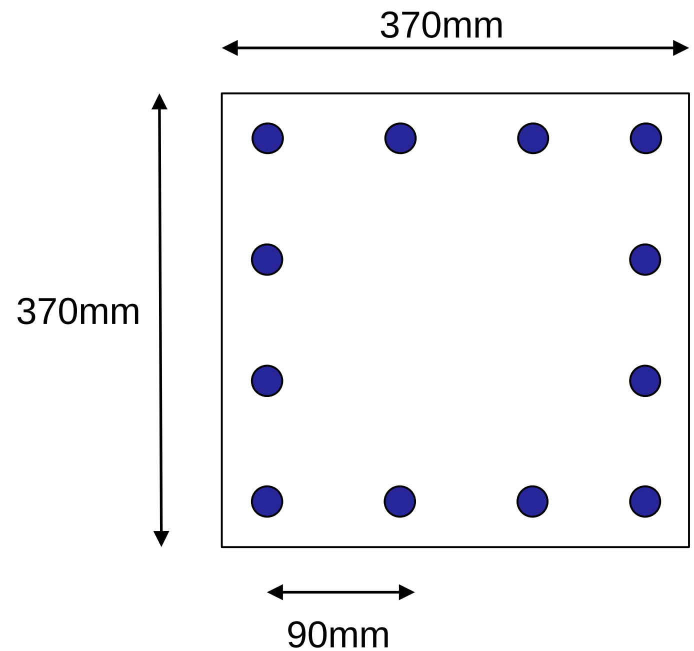
$$l_{o,min} > \alpha_{lb} \times \text{Max} \left(0{,}3 \times \alpha_6 \times l_{bd,req} \text{ , } 15 \times d \text{ , } 200 \text{ mm} \right)$$

α_{lb} מקדם השפעה של חוזק הדבקה.

שווה ל-1,5 אם לא מוגדר אחר. (בין 1 ל-1,5)

דוגמא חישוב





איך להאריך עמוד קיים 370x370 מ"מר עם ברזל היקפי קוטר 12 מ"מ כל 90 מ"מ במרחק 50 מ"מ מהקצה. הבטון הינו ב-40.

דרישה לעומס תכן לכל מוט ברזל חדש בשליפה הינו 4 טון.

הכוונה להתקין קוצים מוטות ברזל חדשים עם דבק כימי כדי להעביר את הכוח מהברזל הישן לחדש.

נשתמש לדוגמא בדבק Chemfix200

$l_{bd} = l_{bd,req} \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 + c =$ 307 x 0,7 x 1 x 1 x 1,5 + 50 **= 370mm**

$l_{bd,req} = (d/4) \times (\sigma_{sd} / f_{bd}) =$ (12/4)x(307/3) = 307mm

$\sigma_{sd} = (A_{s,req}/A_s) \times (f_{yk} / 1{,}15) =$ (100/113)x(400/1,15)= 307N/mm^2

$A_{s,req} = N_d / f_{yk}$ = 40000 / 400 (לפי ST400) = 100mm^2

$f_{bd} =$ 3

$\alpha_2 = 1 – 0{,}15 (c_d – d) / d$ = 1-0,15x(50-12)/12 = 0,52 => 0,7

$\alpha_3 = \alpha_5 = 1$ (כי אין מידע על ברזל רוחבי)

$\alpha_6 = 1{,}5$

p_1	< 25%	33%	50%	> 50%
α_6	1	1,15	1,4	1,5

$F_d = l_{bd} \times d \times \pi \times f_{bd,chem} / 1{,}8 > N_d$

=> 370x10x3.1418x12/1800 = 77,5kN > 40kN   ok!

$$l_{o,min} = 1 \times Max\,(0{,}3 \times \alpha_6 \times l_{bd,req}\ ,10 \times d,\ 200mm)$$

$$\Rightarrow Max\,(0{,}3x1{,}5x307;10x12;200) = 200mm$$

$$\Rightarrow l_{bd,sp} = 370\ mm$$

$$c_{min} = 30 + 0.06 \times l_{bd} = 30 + 0.06 \times 310 = 48.6mm < 50mm\ ok\ !$$

$$Minimum\ (4xd;50mm) \geq a_{1\text{-}2} \geq Minimum\ (2xd;20mm)$$

$$Min\ (48;50mm)=48 \geq a_{1\text{-}2} \geq Min(24;20mm)=24$$

זה אומר שאנחנו צריכים להתקין את הקוצים קוטר 12 מ"מ בין 24 ל-48 מ"מ מהקוצים הקיימים עם חפיפה של לפחות 37 ס"מ.

אם היינו משתמשים בתקן TR029 לגבי אותה תסבולת מבחינת הדבק בלי לקחת בחשבון את קונוס הבטון עם אותו דבק כדי לקבל 4 טון בעומס תכן בשליפה היינו צריכים 150 מ"מ או 15 ס"מ. הרבה פחות אבל אז היינו נתקלים בבעיות קשות מצד קונוס הבטון.

בעיות יישום

- אם הקוצים שעליו מתחברים לא מותקנים ישר, יש קושי לשמור על מרחק קבוע :

  - התקן ENV 1992-1-1 מאשר סטייה יחסית. ראה התקן ליתר פרטים.

- קושי בקידוח אנכי לקוצים חדשים :

  - יש להשתמש ברגל יציבה על מנת להבטיח אנכיות.

- קידוח יהלום

  - יש להיזהר לא לחתוך את הקוצים שמעבירים את הכוחות וגם להשתמש בדבק כימי המתאים לקידוח יהלום (בבדיקות אירופאיות ETA של דבקים כימיים מאושרים לשימוש עם קידוח יהלום מופיעות נתוני חוזק ההדבקה של הדבק במצב של קידוח יהלום).

- קידוח חור

  - יש להתאים את קוטר קידוח החור לקוטר הברזל ועומק התקנה. מומלץ ליצור קשר עם מהנדס מנוסה על מנת לקבוע את קוטר החור המתאים.

- בחירת דבק כימי

  - יש להשתמש בדבק בהתייבשות איטית, בחוזק גבוה, בטכנולוגיה המאפשרת ערבוב ומילוי אפקטיבי (הזרקה).

תודה על הקשבתכם

איב דה לטואר

טל : 0547-976110