

שגיאות תכנון נפוצות בהשפעת דרגות החשיפה לבטון

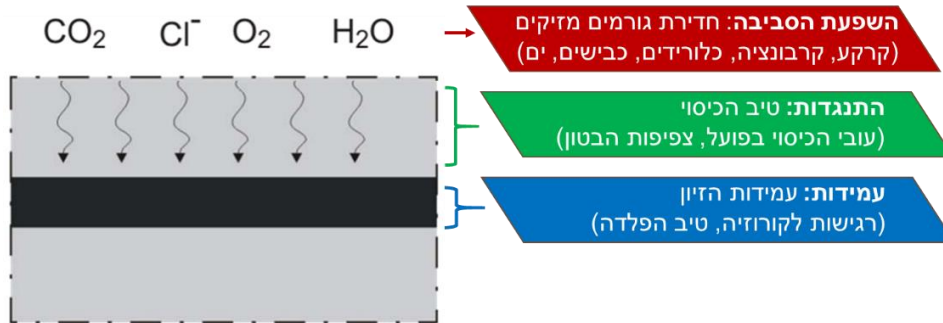
(על פי תקנים 466 חלק 1 ו-118):

קיים מבנה ומשך שירות

תקן 466 חלק 1 – חוקת הבטון, מגדיר את קיים המבנה:

קיים המבנה מוגדר ככושר עמידותו בתנאי החשיפה לסביבתו, מבחינת התקפה פיזית או כימית (על הבטון, על הזיון ועל מתכות המשוכנות בו), במשך חיי השירות שלו.

כושר עמידות המבנה בתנאי החשיפה, תלוי ברמת האגרסיביות של הסביבה, טיב כיסוי הבטון על ברזל הזיון, וטיב עמידות ברזל הזיון בפני קורוזיה.



משך השירות של מבנים מוגדר כפרק הזמן ממועד הבניה ועד הצורך בשיקום קונסטרוקטיבי ראשון. מרבית המבנים מתוכננים למשך שירות של 50 שנה.

משך שירות מיועד (שנים)	סוג המבנה
1-5	מבנה זמני
20-25	בניה "קלה"
50	בניה "רגילה" (מגורים)
+100	מבנים מיוחדים (גשרים, מונומנטים, גבוהים)

תהליך סיום משך השירות של המבנה, מתואר במודל TUTTI להלן, כסכום של תקופת הדגירה ותקופת התפתחות הקורוזיה.

מודל TUTTI למשך השירות

סוף משך השירות = צורך בשיקום



במקרים רבים, מבנים מחזיקים פחות ממשך השירות המתוכנן בשל מספר גורמים:

- ליקויי בנייה ושגיאות יישום
- שגיאות תכנון
- גורמי סיכון שאינם מוגדרים עדיין בתקנים (אגרסיביות סביבה עקב שימוש, נזקי זרם תועה ועוד)

לקונסטרוקטור המתכנן אחריות על קיים המבנה במשך השירות שלו. עליו מוטלת האחריות להבין את מורכבות המבנה, התאמתו ליעודו, והשימוש שלו בסביבה הנתונה. הקונסטרוקטור רשאי וצריך להחמיר מעבר למינימום המוגדר בתקן במידת הצורך ולפי שיקול דעתו. שגיאות תכנון מובילות לקיצור משך השירות של המבנה.

אפיון סביבת המבנה והתאמת התכנון למשך השירות

תהליך אפיון המבנה בהתאם לסביבתו, ע"פ תקן 1-466 ותקן 118, מתואר להלן, בצירוף שגיאות תכנון נפוצות.

1. אגרסיביות הקרקע

- מתאפיינת לפחות על פי המחמיר מבין 5 פרמטרים, שמאותרים בבדיקה כימית פשוטה. שלוש החמרות מעבר למינימום כתובות הן בחוקת ה בטון (תי" 466 חלק 1) והן בתקן 118:
- א. החמרה בדרגה אחת כאשר יש שני פרמטרים אגרסיביים באותה רמה.
 - ב. החמרה בדרגה אחת כאשר הבניה באזור הנגב, הבקעה והערבה.
 - ג. החמרה בגין תנאי קרקע מיוחדים כגון אזורי תעשייה, קרקע מזוהמת ועוד.

טבלה 1 - סיווג אגרסיביות כימית של סביבה רטובה (לרבות קרקע רטובה)

מספר סידורי	תיאור קריטריון האגרסיביות	רמת האגרסיביות	
		קלה	בינונית
1	ערך pH	6.5 - 5.5	5.5 - 4.5
2	חומצה פחמתית מסיסה CO ₂ (מ"ג לליטר)	40 - 15	100 - 40
3	NH ₄ ⁺ (מ"ג לליטר)	30 - 15	60 - 30
4	Mg ⁺⁺ (מ"ג לליטר)	1000 - 300	3000 - 1000
5	SO ₄ ⁻⁻ (מ"ג לליטר)	600 - 200	3000 - 600

חומציות
קרבוניציה
חנקות
מתכות
סולפטים

דוגמאות:

- קרבוניציה באגרסיביות קלה, סולפטים באגרסיביות בינונית – האתר באגרסיביות בינונית.
קרבוניציה ומתכות באגרסיביות קלה, יש להחמיר בדרגה – האתר באגרסיביות בינונית.

שגיאות תכנון נפוצות:

- קביעת אגרסיביות קרקע מקלה, כלומר, שהקרקע לא אגרסיבית, ללא ביצוע הבדיקה הכימית.
- קביעת אגרסיביות קרקע ללא התייחסות/התעלמות מתוצאות הבדיקה הכימית.
- קביעת אגרסיביות קרקע ללא החמרות הנדרשות בתקן כתוצאה משילוב מספר פרמטרים.
- קביעת אגרסיביות קרקע בנגב, בבקעה ובערבה ללא החמרות הנדרשות בתקן.
- קביעת אגרסיביות קרקע מקלה בתנאים מיוחדים ללא החמרה וההתייעצות עם מומחה הנדרשות בתקן.

2. קביעת דרגות החשיפה:

- התקן דורש מהמתכנן להגדיר 3 דרגות חשיפה שונות לכל מבנה לפי רכיביו:
- רכיבי בטון בקרקע ועד 2 מטר מעל פני הקרקע: דרגות חשיפה 3, או 9, או 10, או 11.
 - רכיבי בטון במעטפת המבנה מ-2 מטר מהקרקע ומעלה: דרגות חשיפה 2, או 4, או 5, או 6, או 8.
 - רכיבי בטון בפנים המבנה: דרגת חשיפה 1.

1 פנים	2,4,5,6,8 חוץ	3,7,9,10,11 קרקע
דרגת חשיפה		
תיאור תנאי הסביבה של המבנה או רכיבי המבנה^(א)		
1	רכיב פנים ב"אווירה רגילה", או רכיב חוץ באזור מדברי, 2 מ' לפחות מעל פני הקרקע	
2	רכיב חוץ כאשר $R > 2$, 2 מ' לפחות מעל לקרקע	
3	פני רכיב (פנים או חוץ) במגע עם מים שאינם אגרסיביים או עם קרקע שאינה אגרסיבית (ועד 2 מ' מעליה)	
4	רכיב חוץ אם $1 < R < 2$, 2 מ' לפחות מעל לקרקע	
5	סביבה ימית (הים התיכון) אם $0.2 < R < 1$, חשוף לרוח מהים או כאשר $R < 0.2$, מעל גובה 30 מ' מעל לקרקע	
6	כאשר $R < 0.2$, עד גובה 30 מ' מעל לקרקע - חשוף לרוח מהים, אך לא להתזה ישירה של מים	
7	בנייה ימית בתוך הים, בעומק גדול מ-2 מ'	
8	(הים התיכון וים סוף) באזור התזת מים, או בתוך הים, בעומק עד 2 מ'	
9	סביבה או אגרסיביות קלה	
10	קרקע אגרסיביות בינונית	
11	אגרסיביות ^(ב) אגרסיביות חמורה (בסביבה כזאת חייב הרכיב בציפוי מגן מפריד)	

קביעת דרגות החשיפה לרכיבי הקרקע היא על פי אגרסיביות הקרקע.
 קרקע לא אגרסיבית: דרגת חשיפה 3
 קרקע באגרסיביות קלה: דרגת חשיפה 9
 קרקע באגרסיביות בינונית: דרגת חשיפה 10
 קרקע באגרסיביות חמורה: דרגת חשיפה 11
 * דרגת חשיפה 7 היא לבניה בעומק הים.

קביעת דרגות החשיפה לרכיבי המעטפת היא לפי המרחק של המבנה מהים.
 המבנה במרחק 2 קילומטר ויותר מהים: דרגת חשיפה 2
 המבנה במרחק שבין 1 קילומטר ל-2 קילומטר מהים: דרגת חשיפה 4
 המבנה במרחק שבין 0.2 קילומטר ל-1 קילומטר מהים: דרגת חשיפה 5
 המבנה במרחק עד 0.2 קילומטר מהים, ללא חשיפה ישירה להתזת מים ים: דרגת חשיפה 6
 המבנה במרחק עד 0.2 קילומטר מהים, בחשיפה ישירה להתזת מים ים: דרגת חשיפה 8

שגיאות תכנון נפוצות:

- קביעת דרגות חשיפה מקלות מהצורך הנדרש בתקן על פי אגרסיביות הקרקע ו/או המרחק מהים.
- קביעת דרגות חשיפה של רכיבי קרקע עבור רכיבי מעטפת ולהפך.

3. הגדרת המענה לדרגות החשיפה:

תקן 118 מאפשר שתי חלופות למענה לדרגות החשיפה, כדי להבטיח את משך השירות של המבנה בסביבה.

5.3 דרישות המתייחסות לתנאי הסביבה**5.3.1 כללי**

הדרישות לעמידות הבטון בהשפעות תנאי הסביבה ניתנות כערכים גבוליים להרכב הבטון ותכונותיו (ראו סעיף 5.3.2), או, לחלופין, כדרישות הנובעות משיטות תכנון תפקודיות ביחס לקיים (ראו סעיף 5.3.3).

חלופת ערכים גבוליים – בטון גבולי:

הגדרת בטון עם עודף צמנט, כדי ליצור בטון צפוף יותר שיקשה על חדירת הסביבה אל ברזל הזיון. בטון גבולי מאריך את תקופת הדגירה בלבד, במקומות בהם הבטון מושלם ומכסה את הברזל בהתאם לתכנון.

חלופת שיטות תכנון תפקודיות – בטון תפקודי:

הגדרת בטון עם מעכב קורוזיה, כדי ליצור בטון עם ברזל זיון בעל עמידות משופרת בתנאים קורוזיביים. בטון תפקודי מאריך הן את תקופת הדגירה והן את תקופת התפתחות הקורוזיה. בטון תפקודי את משך השירות גם במקרים של העדר כיסוי בטון על הברזל ותחילת קורוזיה.

ככל שדרגת החשיפה גבוהה יותר, לבטון התפקודי יתרון מובהק יותר.

בטון גבולי	בטון תפקודי
קשה לעבודה	קל לעבודה
מועד לסדיקה	מפחית סדיקה
לא עובד בשגיאות יישום (סדיקה, כיסוי חסר, סגרגציות)	מגן גם באזורי תורפה וכשלים

שגיאות תכנון נפוצות:

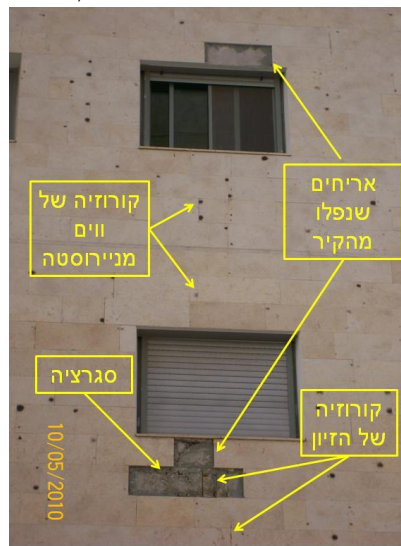
- אי-הגדרה של המענה והותרת ההחלטה בידי הקבלן ו/או ספק הבטון.
- תכנון כמות ברזל לפי בטון תפקודי (בד"כ בטון בחוזק ב-30 או ב-40), ואישור תערובת בטון גבולי (ב-60). פער החוזקים עלול להוביל לחוסר-ברזל שאינו עומד בתקן.

שגיאות תכנון במהלך הבניה:

- אישור מפרטי תיקון ליקויי בניה ללא התייחסות להבטחת משך השירות של המבנה.

סימפטומים של תכנון לקוי במבנים חדשים:

- אריחי חיפויי נופלים / סדוקים
- אריחי חיפוי מוכתמים בכתמי קורוזיה



- רכיבי בטון עם סדיקה קורוזיבית (מופיעה לרוב כ-2+ מהבנייה)



- נזילות מים עם צבע חלודה

