מערכת GreenVibe - מפרט טכני ותפעולי
לניטור בטון בזמן אמת

01 כללי

01.01 מסמך זה מגדיר דרישות תכנון, אספקה, התקנה, הפעלה ודיווח למערכת GreenVibe לניטור התנהגות הבטון בזמן אמת.

01.02 הבהרה: המערכת מהווה כלי בקרה הנדסי תומך לקבלת החלטות במהלך שלבי היציקה, האשפרה והביצוע, ואינה מחליפה בדיקות מעבדה תקניות אלא משלימה אותן.

01.03 נספח ההתקנה המפורט מיועד לביצוע על ישי הקבלן והמפקח, ובהכוונה וליווי של נציג GreenVibe בהתאם.

02 תחולה ושילוב במסמכי הפרויקט

02.01 הסעיף ישולב במפרט שלד/בטון של הפרויקט, ויחול על כלל האלמנטים שיסומנו לניטור בתכניות הקונסטרוקציה.

02.02 אלמנטים מנוטרים יסומנו בתכניות הקונסטרוקציה בהערה ייעודית ו/או בטבלת ניטור (ראה סעיף 4).

03 מסמכים נלווים ומידע נדרש מהקבלן

03.01 תכנית ניטור/פריסת חיישנים לאישור המתכנן (כולל פירוט אלמנטים, מספר חיישנים, מיקום כללי והערות).

03.02 תיעוד התקנה באתר (תמונות לפני/במהלך/לאחר יציקה לכל נקודת חיישן).

03.03 רישום פרטי היציקה: תאריך ושעה, אלמנט, נפח, תערובת/ספק, טמפ' סביבה, אופן אשפרה, וכל מידע מהותי.

04 תיאור המערכת ורכיביה

04.01 מערכת GreenVibe כוללת: חיישן בטון חד-פעמי המוטמע בבטון (Sensor), יחידת שידור רב-פעמית (Device), רכזת תקשורת אתרית (Hub), ואפליקציה - פלטפורמה דיגיטלית לניטור, בקרה והפקת דוחות.

SENSOR חיישן בטון חד־פעמי המוטמע בבטון	DEVICE יחידת שידור רב־פעמית	HUB רכזת תקשורת אתרית	אפליקציית GREENVIBE
			
מותקן ע״י צוות הביצוע באתר	מותקן ע״י צוות הביצוע באתר	מותקן ע״י צוות GREENVIBE בתחילת הפרויקט באתר	מותקנת על מכשירי הנייד של צוות האתר / פיקוח / מתכנן

05 עקרון מדידה כללי

05.01 הניטור מבוסס על מדידה רציפה ולא הרסנית של התנהגות הבטון עצמו בזמן אמת, באמצעות חיישנים מוטמעים בתוך האלמנט המבצעים מדידות אולטרה־סאונד של התפשטות גלים אלסטיים בבטון, בשילוב מדידות פיזיקליות נוספות של החומר. הנתונים הנמדדים מעובדים ומנותחים באמצעות אלגוריתמים חישוביים מתקדמים ולמידת מכונה, לצורך חישוב, ניתוח והסקת מידע הנדסי בדבר התפתחות התכונות המכניות של הבטון לאורך שלבי היציקה, ההתקשות והביצוע.

05.02 בסיס פיזיקלי – אולטרה־סאונד

הניטור מבוצע בין היתר באמצעות טכנולוגיות מדידה לא הרסניות (NDT) ובפרט מדידות אולטרה־סאונד (Ultrasonic Pulse Velocity – UPV), המבוססות על אופן מעבר הגל האולטרה סוני בשילוב עם מוליכות וטמפרטורה הנמדדת בבטון.

05.03 התאמה לתקנים ופרקטיקות מקובלות

עקרונות הניטור תואמים גישות מקובלות בתקנים ישראליים ובינלאומיים, לרבות תקני ACI ו-Eurocode ומהווים כלי בקרה משלים שאינו מחליף בדיקות מעבדה תקניות.

05.04 שימוש תכנוני במידע

המידע המתקבל מהמערכת משמש לתומך לקבלת החלטות הנדסיות ,לרבות שחרור טפסות ,המשך ביצוע עבודות שלד והפעלת עומסים, בהתאם לשיקול הדעת של המהנדסים והמתכננים של הפרויקט.

06 אחריות ובעלי תפקידים

06.01 עקרון יסוד: המערכת הינה כלי עזר לבקרה. קבלת החלטות הנדסיות (שחרור טפסות, דריכה, העמסה, איכות הבטון והמשך ביצוע) תתבצע אך ורק באחריות ובאישור הגורמים המוסמכים בפרויקט (מתכנן השלד/מתכנן הדריכה/מהנדס ביצוע/מפקח), ובהתאם למסמכי התכנון והתקנים הרלוונטיים.

06.02 אחריות הקבלן המבצע

06.02.01 אספקה והתקנה של חיישנים ו-Device בהתאם להנחיות המפרט ולנספח ההתקנה.

06.02.02 הגנה על החיישנים/כבלים/Device מפגיעה במהלך הטפסנות, היציקה והעבודות העוקבות.

06.02.03 תיעוד התקנה מלא והעברת מידע נדרש למפקח ולמתכנן.

06.03 אחריות GreenVibe

06.03.01 התקנת Hub והגדרות מערכת בתחילת הפרויקט (ככל שנדרש בהתקשרות).

06.03.02 הדרכה ותמיכה טכנית להפעלה שוטפת של המערכת ולשימוש בדוחות.

06.03.03 אספקת דוחות מערכתיים/ייצוא נתונים לפי פורמט מוסכם.

06.04 אחריות הפיקוח/מהנדס ביצוע

06.04.01 בקרה על התקנה בפועל לפני יציקה (מיקום, עיגון, הגנה, יציאת Device מחוץ לטפסה).

06.04.02 אישור מיקום סופי של החיישנים באתר בהתאם לתנאי ההתקנה ותכנית הניטור.

07 **<u>דרישות תכנון - פריסת חיישנים וסימון בתכניו</u>**

07.01 החיישן מודד באזור בו הוא מותקן את פרמטרי הבטון השונים ועל כן מדובר במדידה סטטיסטית רציפה של האלמנט. כמות החיישנים הנדרשת באלמנט נובעת מגודל היציקה ודרישות הנדסיות מיוחדות עבור אלמנטים שונים, ונקודות בקרה ייחודיות על פי המתכנן.

07.02 <u>בחירת אלמנטים לניטור</u>

המערכת תיושם באלמנטים מבניים בהתאם להנחיות מתכן השלד.

07.03 <u>סימון בתכנית</u>

בכל תכנית קונסטרוקציה רלוונטית תופיע הערה ייעודית ו/או טבלה הכוללת: אלמנט, מספר חיישנים, אזור התקנה כללי, והערות מיוחדות.

07.04 <u>מספר חיישנים מינימלי לפי נפח יציקה</u>

כמות החיישנים תיקבע ע"י המתכנן, ובכל מקרה לא תפחת מההמלצה הבאה:

עבור 50 מ"ק ראשונים של יציקה: 3 חיישנים

עבור כל 50 מ"ק נוספים או חלק מהם: חיישן נוסף אחד.

נפח יציקה בקו"ב	מס חיישנים ביציקה	נפח יציקה בקו"ב	מס חיישנים ביציקה	נפח יציקה בקו"ב	מס חיישנים ביציקה
50	3	250	7	500	12
100	4	300	8	600	14
150	5	350	9	700	16
200	6	400	10	1000	22

07.05 <u>מיקום התקנת חיישנים – עקרונות:</u>

07.05.01 החיישנים יותקנו על גבי ברזל הזיון, פנימה מעובי הכיסוי (לא בעובי הכיסוי), ובהימנעות מהצמדה לטפסות/קצוות אלמנט.

07.05.02 יש לבחור מיקום מייצג של האלמנט (לא בקצה, לא ליד פתח גדול), ולהימנע מאזורי צפיפות העלולים ליצור הפרעה בין כוסיות החיישן.

07.05.03 יש למקם כך שניתן יהיה להוציא את הכבל ולהשאיר את ה-Device מחוץ ליציקה/לטפסה.

07.05.04 המיקום הסופי יאושר באתר ע"י מהנדס הביצוע/המפקח בהתאם לתנאי ההתקנה ולנספח הביצוע.

07.05.05 <u>כללים בסיסיים:</u>

החיישן ימוקם כך שייתן מדגם מייצג של הבטון באלמנט, בלי "הטיות":

- החיישן יותקן כשגבו למוט הזיון ע"י חוט שזירה - ראה תמונה.
- יש לוודא בהתקנה כי אין אלמט ברזל או אחר בין כוסיות החיישן.
- החיישן לא יותקן על פני השטח / לא בעובי כיסוי
- לא בצמוד לטפסות
- יש להקפיד שכוסיות החיישן נקיות מחומרים שמניים כגון גריז, ושמניים הידרואלים.
- מומלץ למקם את החיישנים במקומות צדדים כך שלא יפריעו להמשך העבודות באתר.

07.05.06 מיקום טיפוסי לפי סוג אלמנט - רצפה / תקרה / קורה רחבה

- באזור "מייצג" של האלמנט (לא בקצה, לא ליד פתח גדול)
- לא באזור הצטלבות צפופה שעלולה להכניס ברזל בין הכוסיות
- עומק: בתוך עובי האלמנט, אך לא בעובי כיסוי (כלומר פנימה מהכיסוי)
- יש למקם את הסנסור כך שה-Device יהיה תלוי מחוץ ליציקה.

ניתן לתלות את ה-Device על "הקוצים" או בכל דרך אחרת בהתאם לאורך הכבל ומוגנות ה-Device.

07.05.07 עמוד / קיר

- יש למקם את החיישן בתוך החתך, אך עם אפשרות להוצאת הכבל והדיוויס מחוץ לטפסה.
- מומלץ להשתמש לכל הפחות בשני חיישנים ולשים חיישן אחד באזור "הליבה" החתך ועוד אחד באזור מייצג נוסף (לפי נפח/חשיבות/סיכון תרמי) ע"מ לצמצם את הסיכון של פגיעת התבנית בכבל.
- יש להקפיד להגן על הכבל מפגיעת התבנית ע"י הנחת ברזלי זיון בקוטר מינמום 8 מ"מ באזור הכבל כך שהתבנית תשב על ברזלי הזיון ולא ישירות על הכבל

07.05.08 סימון וציון על גבי תוכניות:

- מומלץ להוסיף לתכנית טבלה הכוללת:
- אלמנט
- מספר חיישנים
- אזור התקנה (כללי)
- הערות מיוחדות

07.06 דרישות ביצוע והתקנה באתר

07.06.01 הכנות לפני יציקה

- התקנה תבוצע לאחר סיום קשירת הזיון וטרם סגירת טפסות, ובתיאום עם המפקח/מהנדס ביצוע.
- הקבלן יוודא זמינות תקשורת/חשמל לצורך הפעלת Hub (ככל שנדרש), וכן הרשאות משתמשים באפליקציה לצוות האתר/פיקוח/מתכנן.

07.06.02 אופן התקנה – חיישן

- החיישן ייקשר למוט הזיון באמצעות חוט שזירה/קשירה כך שגבו למוט.
- יש לוודא שאין אלמנט ברזל/זר בין כוסיות החיישן.
- כוסיות החיישן יהיו נקיות מחומרים שמניים (גריז/שמנים הידראוליים).
- החיישן לא יותקן על פני השטח/בעובי כיסוי ולא בצמוד לטפסות.

07.06.03 הגנת כבל ו-Device

- ה-Device ייתלה מחוץ ליציקה, אין לכלוא את ה-Device בתוך הבטון.
- במקומות בהם הכבל חולף מתחת לטפסה יש להגן עליו מפגיעת התבנית, למשל ע"י הנחת מוטות זיון בקוטר מינימלי 8 מ"מ באזור הכבל כך שהתבנית תשב על הזיון ולא על הכבל.
- יש למקם את החיישנים במיקום שאינו מפריע לעבודות המשך (לפי שיקול צוות האתר והמפקח).

08 **<u>הפעלה ,בקרה ודיווח</u>**

08.01 הפעלה ראשונית ובדיקת תקינות

08.01.01 לפני יציקה: אימות זיהוי חיישנים, חיבור Device, קליטת נתונים ותקינות שידור למערכת.

08.01.02 לאחר יציקה: בדיקת רציפות שידור ותחילת מגמת מדידה, ווידוא שיוך החיישן לאלמנט/יציקה במערכת.

08.02 <u>דוחות ושמירת מידע</u>

08.02.01 המערכת תאפשר הצגת נתונים בזמן אמת והפקת דוחות PDF לפי תבנית מוסכמת.

08.02.02 הקבלן/GreenVibe יעבירו למפקח ולמתכנן דוח מסכם לכל יציקה מנוטרת הכולל: פרטי היציקה, מיקום חיישנים, גרפים/נתונים מרכזיים, והערות אירועים חריגים.

09 **<u>אימות נתונים מול בדיקות תקניות</u>**

09.01 במהלך תחילת הפרויקט ומדי תקופה לפי דרישת המתכנן, יש לבצע אימות/קורלציה בין נתוני המערכת לבין בדיקות מעבדה תקניות (קוביות/גלילים) עבור תערובות ואלמנטים מייצגים, לצורך הבנת סטיות אופייניות.

חשוב: הבדיקות התקניות ימשיכו להתבצע בהתאם למסמכי הפרויקט והתקנים, ללא קשר לשימוש במערכת.

10 **<u>שירות, הדרכה ואחריות</u>**

10.01 GreenVibe תספק הדרכה ראשונית לצוות האתר להפעלה נכונה ולקריאת נתונים ודוחות (בהתאם להסכם).

10.02 הקבלן ישמור על שלמות רכיבי המערכת באתר ויוודא שימוש לפי הוראות יצרן.

10.03 תקופת אחריות, זמני תגובה ותכולת שירות/תמיכה - יוגדרו בהסכם המסחרי ובנספח שירות.

April 23, 2026

GreenVibe
concrete data

נספח א – תכנון פריסת החיישנים

1. **כללי:**

1.1. מטרת נספח זה להוות כלי עזר תכנוני לצורך הערכה ראשונית של כמות החיישנים, חלוקתם ומיקומם העקרוני באלמנטים קונסטרוקטיביים שונים, בהתאם לסוג האלמנט, נפח היציקה ומאפייניה.

1.2. ההנחיות המפורטות בנספח זה מהוות בסיס ראשוני לתכנון מערך הניטור בלבד, ואינן באות לגרוע משיקול דעתו ההנדסי של מתכנן השלד ו/או מדרישות פרטניות של הפרויקט.

1.3. מספר החיישנים, מיקומם וחלוקתם הסופית בכל אלמנט, יציקה, מקטע או קומה, ייקבעו ויאושרו סופית על-ידי מתכנן השלד, בהתאם למורכבות האלמנט, שיטת הביצוע, שלבי היציקה, נקודות תורפה אפשריות וצרכי הניטור בפועל.

1.4. ככל שקיימת סתירה בין ההנחיות הכלליות שבנספח זה לבין הנחיה פרטנית של מתכנן השלד, יגברו הנחיות מתכנן השלד.

2. **ניטור בטון בעמודים**

2.1. כמות החיישנים בעמוד:

2.1.1. בעמודים מבטון שחוזקו המתוכנן עד וכולל ב-60, יותקן לכל הפחות חיישן אחד בלפחות שני שלישים ממספר העמודים בכל קומה.

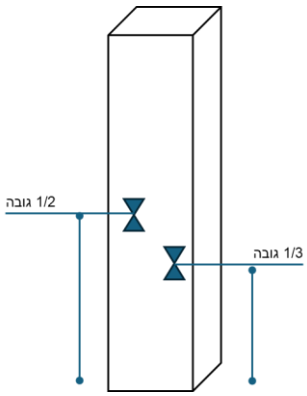
2.1.2. בעמודים מבטון שחוזקו המתוכנן גבוה מב-60, יותקן לכל הפחות חיישן אחד בכל עמוד בכל הקומות.

2.2. מיקום החיישנים בעמוד (איור 1):

2.2.1. החיישנים יותקנו בשליש העליון של גובה היציקה, ובכל מקרה לא במרחק הקטן מ-30 ס״מ מראש היציקה.

2.2.2. בעמודים הנוצקים במספר שלבים, יש להתייחס לכל שלב יציקה כיציקה נפרדת לצורך קביעת מספר החיישנים ומיקומם.

2.2.3. החלוקה הסופית של מיקום החיישנים תיקבע בהתאם לגובה העמוד, שלבי היציקה, אופן היציקה ודרישת מתכנן השלד.



3. **<u>ניטור בטון בתקרות דרוכות</u>**

בתקרות דרוכות יידרש ניטור לצורך מעקב אחר התפתחות חוזק הבטון, בין היתר לצורכי קיצור זמני ביצוע וקבלת החלטות הנוגעות לדריכה מוקדמת, פירוק תבניות או כל שלב ביצועי אחר, בהתאם להנחיות מתכנן השלד.

3.1. <u>כמות החיישנים תיקבע לפי נפח היציקה, כדלקמן:</u>

3.1.1. עבור 50 מ״ק הראשונים – יותקנו 3 חיישנים.

3.1.2. עבור כל 50 מ״ק נוספים, או חלק מהם – יותקן חיישן נוסף אחד.

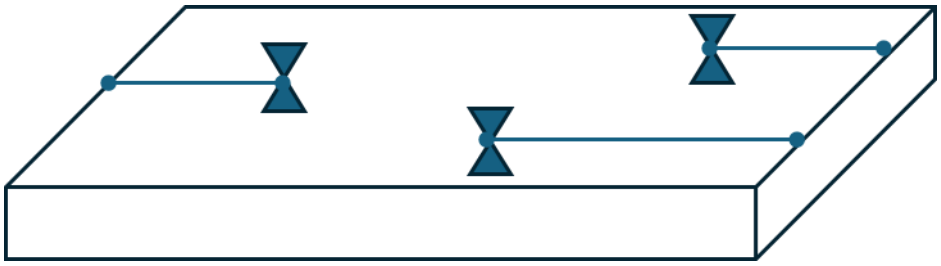
לדוגמה, ביציקה בנפח של 250 מ״ק יותקנו 3 חיישנים עבור 50 המ״ק הראשונים, ובנוסף 4 חיישנים עבור יתרת הנפח, ובסך הכול 7 חיישנים.

3.2. <u>מיקום החיישנים בתקרה הדרוכה:</u>

3.2.1. החיישנים יותקנו, ככל הניתן, באזורים המייצגים את התנאים הקריטיים להתפתחות החוזק באלמנט, ובפרט באזורי עיגון, קצות דריכה, אזורים בעלי צפיפות זיון גבוהה, או מוקדים אחרים אשר הוגדרו על-ידי מתכנן השלד.

3.2.2. נוסף על האמור לעיל, יש לפזר את החיישנים באופן יחסי בכלל שטח התקרה, כך שיתקבל מיפוי מייצג של התפתחות חוזק הבטון בכל שטח היציקה, ולא רק במוקד נקודתי.

3.2.3. מיקום החיישנים הסופי ייקבע בהתאם לגיאומטריית התקרה, שיטת הדריכה, שלבי הביצוע והנחיות מתכנן השלד.



4. **<u>ניטור בטון בקורות דרוכות</u>**

4.1. <u>כמות החיישנים בקורה דרוכה:</u>

4.1.1. בכל קורה דרוכה יותקנו לכל הפחות 2 חיישנים.

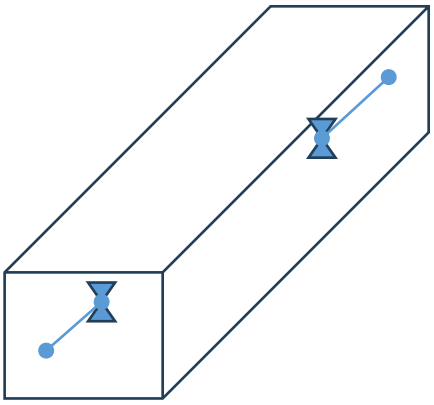
4.1.2. בקורות דרוכות שנפח הבטון בהן עולה על 30 מ״ק, יותקנו לכל הפחות 3 חיישנים.

4.1.3. במקרים מיוחדים, לרבות קורות בעלות גיאומטריה חריגה, עומסים חריגים, מספר שלבי יציקה, או אזורי עיגון מורכבים, ייקבע מספר החיישנים הסופי על-ידי מתכנן השלד.

4.2. <u>מיקום החיישנים בקורה דרוכה:</u>

4.2.1. החיישנים יותקנו, ככל הניתן, בסמוך לאזורי הדריכה והעיגון, או באזורים אחרים אשר הוגדרו על-ידי מתכנן השלד כאזורים מייצגים או קריטיים לבחינת התפתחות חוזק הבטון.

4.2.2. לשאוף לפיזור החיישנים לאורך הקורה באופן שיאפשר קבלת תמונה מייצגת של התפתחות החוזק באלמנט.



5. **<u>ניטור בטון בקירות בטון</u>**

5.1. <u>כמות חיישנים בקיר:</u>

5.1.1. בכל קיר יותקנו לכל הפחות 2 חיישנים.

5.1.2. בקירות שנפח הבטון בהם נע בין 30 מ״ק ל-50 מ״ק, יותקנו לכל הפחות 3 חיישנים.

5.1.3. בקירות שנפח הבטון בהם עולה על 50 מ״ק, יותקן חיישן נוסף אחד לכל 50 מ״ק נוספים, או חלק מהם.

5.2. <u>מיקום החיישנים בקיר:</u>

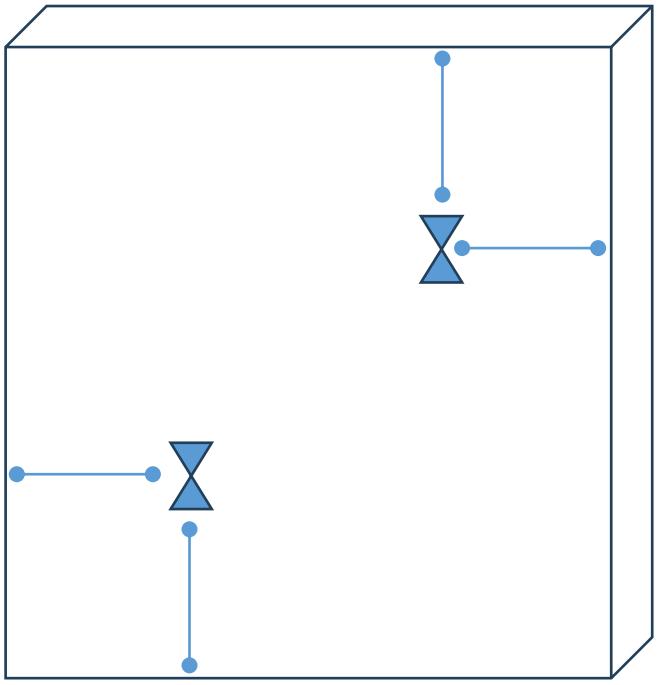
5.2.1. החיישנים יותקנו בפינות הקיר או באזורים היקפיים מייצגים, במרחק של כ-1 מטר מהקצוות, בהתאם לגיאומטריית האלמנט, פרטי הזיון, אופן היציקה והנחיות מתכנן השלד.

5.2.2. ככלל, בשלב הבסיסי של הפריסה יותקנו שני החיישנים בשתי פינות מנוגדות של הקיר, באופן שיאפשר קבלת תמונה מייצגת של התפתחות חוזק הבטון בכלל האלמנט.

5.2.3. במידה ונפח היציקה בין 30 ל-50 קוב יש להתקין חיישן נוסף בפינת התחתונה שאינה מנוטרת. כלומר שלושה חיישנים, יותקן החיישן הנוסף בפינה או באזור נוסף אשר ישלים פריסה מייצגת של היציקה, בהתאם להנחיות מתכנן השלד.

5.2.4. במידה ונפח היציקה עולה על 50 קוב יש להתקין חיישן בכל פינות הקיר. כלומר ארבעה חיישנים או יותר, תתבצע פריסה היקפית רחבה ככל הניתן, כך שיכוסו מוקדים מייצגים לאורך הקיר ובגובהו.

5.2.5. מיקום החיישנים הסופי ייקבע בהתאם למידות הקיר, עוביו, גובהו, סדר היציקה, אזורי עומס, מוקדי עניין ביצועיים ודרישת מתכנן השלד.



6. **<u>עגורנים מטפסים במעטפת</u>**

6.1. <u>כמות חיישנים:</u>

6.1.1. לצורך ניטור התפתחות חוזק הבטון באלמנטים המיועדים לקליטת חיבורי עגורן מטפס במעטפת, תיקבע כמות החיישנים לפי נפח היציקה, בדומה לעקרונות המפורטים עבור תקרות דרוכות.

6.1.2. עבור 50 מ״ק הראשונים יותקנו 3 חיישנים, ובנוסף יותקן חיישן נוסף אחד לכל 50 מ״ק נוספים, או חלק מהם.

6.2. <u>מיקום החיישנים:</u>

6.2.1. החיישנים יותקנו באזורי החיבור המתוכננים בין מערכת העגורן לבין האלמנט הנושא, ובפרט במוקדים בהם נדרש חוזק בטון לצורך העברת כוחות העיגון והעומסים הזמניים.

6.2.2. ככל שקיימים מספר מוקדי חיבור, יפוזרו החיישנים בין מוקדים אלו, באופן שיאפשר קבלת תמונה מייצגת של התפתחות חוזק הבטון באזורים הרלוונטיים.

6.2.3. מיקום החיישנים הסופי ייקבע בהתאם לפרטי החיבור, נפח האלמנט, רצף היציקה והנחיות מתכנן השלד.

7. **עגורנים מטפסים גרעין**

7.1. <u>כמות חיישנים:</u>

7.1.1. לצורך ניטור התפתחות חוזק הבטון באלמנטים המיועדים לקליטת חיבורי עגורן מטפס בגרעין, תיקבע כמות החיישנים לפי העקרונות המפורטים עבור קירות בטון.

7.1.2. בקירות או במקטעי גרעין בנפח של עד 30 מ״ק יותקנו לכל הפחות 2 חיישנים.

7.1.3. בקירות או במקטעי גרעין בנפח שבין 30 מ״ק ל-50 מ״ק יותקנו לכל הפחות 3 חיישנים.

7.1.4. מעבר לנפח של 50 מ״ק, יותקן חיישן נוסף אחד לכל 50 מ״ק נוספים, או חלק מהם.

7.2. <u>מיקום החיישנים״</u>

7.2.1. החיישנים יותקנו באזורי החיבור בין מערכת העגורן לבין קירות הגרעין, או באזורים אחרים אשר הוגדרו על-ידי מתכנן השלד כאזורים קריטיים לצורך קבלת החלטות ביצועיות.

7.2.2. כל שקיימים מספר מוקדי חיבור, יש לפזר את החיישנים בין המוקדים השונים, תוך שאיפה לקבל תמונה מייצגת של התפתחות חוזק הבטון באזורי החיבור ובאלמנט כולו.

7.2.3. מיקום החיישנים הסופי ייקבע בהתאם לגיאומטריית הגרעין, שלבי היציקה, פרטי החיבור והנחיות מתכנן השלד.