

הנחיות לקביעת גובה ארובה

א. רקע כללי

הנחיות אלו מבוססות על ההנחיות לשחרור גזי הפליטה דרך ארובות המפורטות בסעיף 5.5 ב- TA Luft 2002 ובתקנות הגרמניות (VDI 3781 ו- VDI 2280).

בכל מקרה, ניתן לחשב את גובה הארובה ע"י בחינת ההשפעה הסביבתית של מקור הפליטה ע"פ דרישת רכוז איכות אוויר או ממונה התרי פליטה.

ב. קביעת גובה הארובה לפי מאפייני מקורות הפליטה

גובה הארובה תלוי במספר פרמטרים: קצב פליטת המזהם, סוג המזהם, גובה המבנה עליו ממוקמת הארובה, שיפוע הגג של המבנה עליו נמצאת הארובה וגובה המבנים בסמוך לארובה. הפרמטר המרכזי בקביעת גובה הארובה הוא גודלו של היחס Q/S, כאשר:

Q (ק"ג/שעה) – קצב הפליטה של המזהם מהארובה;

S – מקדם קביעת גובה ארובה לפי סוג המזהם. מקדם זה מובא בנספח א';

במידה ונפלטים מספר מזהמים יילקח הערך המרבי של היחס Q/S.

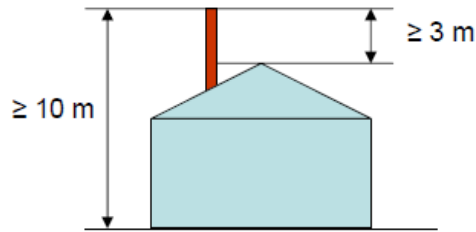
קביעת גובה ארובה לפי היחס Q/S:

1. **גובה הארובה כאשר היחס $Q/S \geq 10$:**
 - יהיה לפחות 10 מטרים מעל פני הקרקע;
 - בכל מקרה, יש לחשבו על פי סעיף 5.5.3 ב- TA Luft 2002 בהתאם לאופן השימוש בנומוגרמה בסעיף ג' להלן;
 - יש לחשב את תוספת הגובה בהתחשב בשיפוע הגג על פי סעיף 5.5.2 ב- TA Luft 2002, הבהרה לצורת החישוב נמצאת בסעיף ד' להלן;
 - במקרה וקיימות שתי ארובות הפולטות מזהמים מתהליכים דומים אשר המרחק ביניהן קטן מפי 1.4 מגובה הארובה הגבוהה, יש לבחון את האפשרות להתייחס אליהן כארובה אחת מאוחדת וזאת ע"פ אישור מראש ובכתב מרכז איכות אוויר במחוז או ממונה התרי פליטה;
 - בסעיף 5.5.4 ב- TA Luft 2002 (נספח ב') קיימות הנחיות נוספות להגבהה בהתייחס לתכסית באזור הארובה, השימוש בהנחיות אלו יעשה ע"פ דרישת רכוז איכות אוויר במחוז או ממונה התרי פליטה;
2. **גובה הארובה כאשר היחס $1 < Q/S < 10$:**
 - יהיה לפחות 10 מטרים מעל פני הקרקע;
 - כאשר שיפוע הגג קטן מ-20°, לרבות גג שטוח, לפחות 5 מטרים מעל הגג;
 - כאשר שיפוע הגג שווה או גדול מ-20°, לפחות 3 מטרים על מעל רכס גמלון (הנקודה הגבוהה בגג);
 - לפחות 5 מטרים מעל גובה גגות של בתי מגורים במרחק של עד 50 מטר מהארובה;
3. **גובה הארובות כאשר היחס $Q/S < 1$:**
 - כאשר שיפוע הגג קטן מ-20°, לרבות גג שטוח:
 - לפחות מטר מעל רכס גמלון (הנקודה הגבוהה בגג);
 - לפחות 1.5 מטרים מעל גובה רכס הגג במידה ומדובר במתקן שריפה עם הספק נומינלי גדול מ-0.3 מגה וואט תרמי;
 - כאשר שיפוע הגג הוא שווה או גדול מ-20°:
 - לפחות 0.4 מטר מעל גובה רכס גמלון (הנקודה הגבוהה בגג);
 - לפחות מטר אחד מעל גובה רכס הגג במידה ומדובר במתקן שריפה עם הספק נומינלי גדול מ-0.3 מגה וואט תרמי;

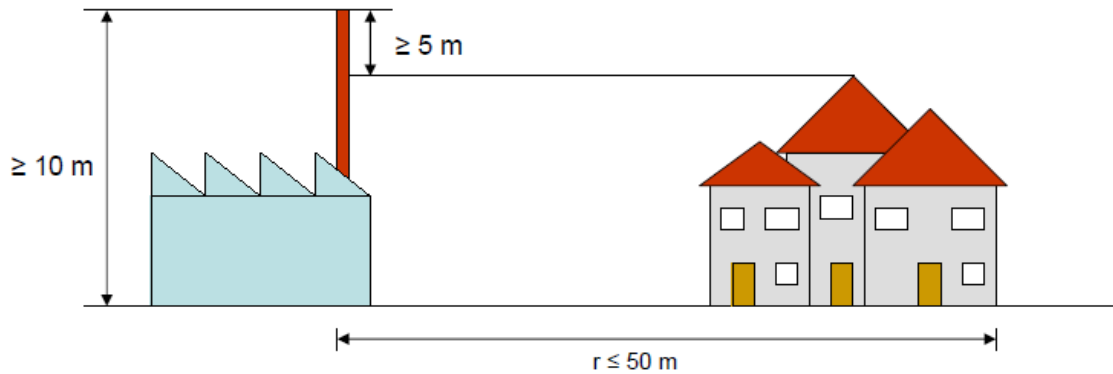
איורים הממחישים את סעיפים 2.ב.1 ו-3.ב.1.

סעיף 2.ב.1 – כאשר מתקיים $10 > Q/S = 1$

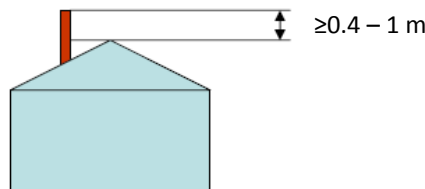
כאשר שיפוע הגג שווה או גדול מ-20°:



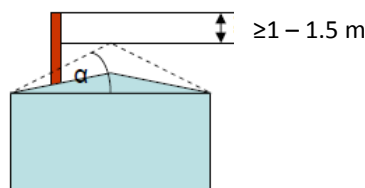
במרחק הקטן מ-50 מטר נמצאים בתי מגורים:



סעיף 3 - כאשר מתקיים $Q/S < 1$:
כאשר שיפוע הגג שווה או גדול מ-20°:



כאשר שיפוע הגג קטן מ-20°, לרבות גג שטוח:



ג. אופן השימוש בנומוגרמה לקביעת גובה הארובה

לצורך החישוב נדרשים נתוני דיגום או לחילופין נתונים מחושבים של זרם הגז בכניסה לארובה. יש לציין כי קיימות תוכנות להורדה חופשית המבצעות את החישוב בצורה אוטומטית לאחר הזנת הנתונים, המתבססות על סעיף 5.5 ב- TA-Luft 2002 ועל ההנחיות מהקו המנחה מס. 3781 של אגודת המהנדסים הגרמניים.

ניתן להשיג בגרסאות אנגלית וגרמנית בקישור הבא:

<http://www.petersen-kade.com/pk/sho51/us/index.html>

הנתונים הנדרשים לצורך חישוב גובה הארובה הם:

- d (מטרים)** – הקוטר הפנימי של הארובה או הקוטר הפנימי האקוויולנטי;
- t (°C)** – טמפרטורת הגז **בכניסה** לארובה;
- R (מק"טשעה)** – הספיקה הנפחית של האוויר בכניסה לארובה בתנאים תקינים: גז יבש; טמפרטורה 273.15K; לחץ 101.3KPa;
- Q (ק"גשעה)** – קצב הפליטה של המזהם מהארובה;
- S** – מקדם קביעת גובה ארובה. ככלל S מוגדר ע"פ הערכים בטבלה בנספח א';
- H' (מטרים)** – גובה הארובה ע"פ הנומוגרמה;

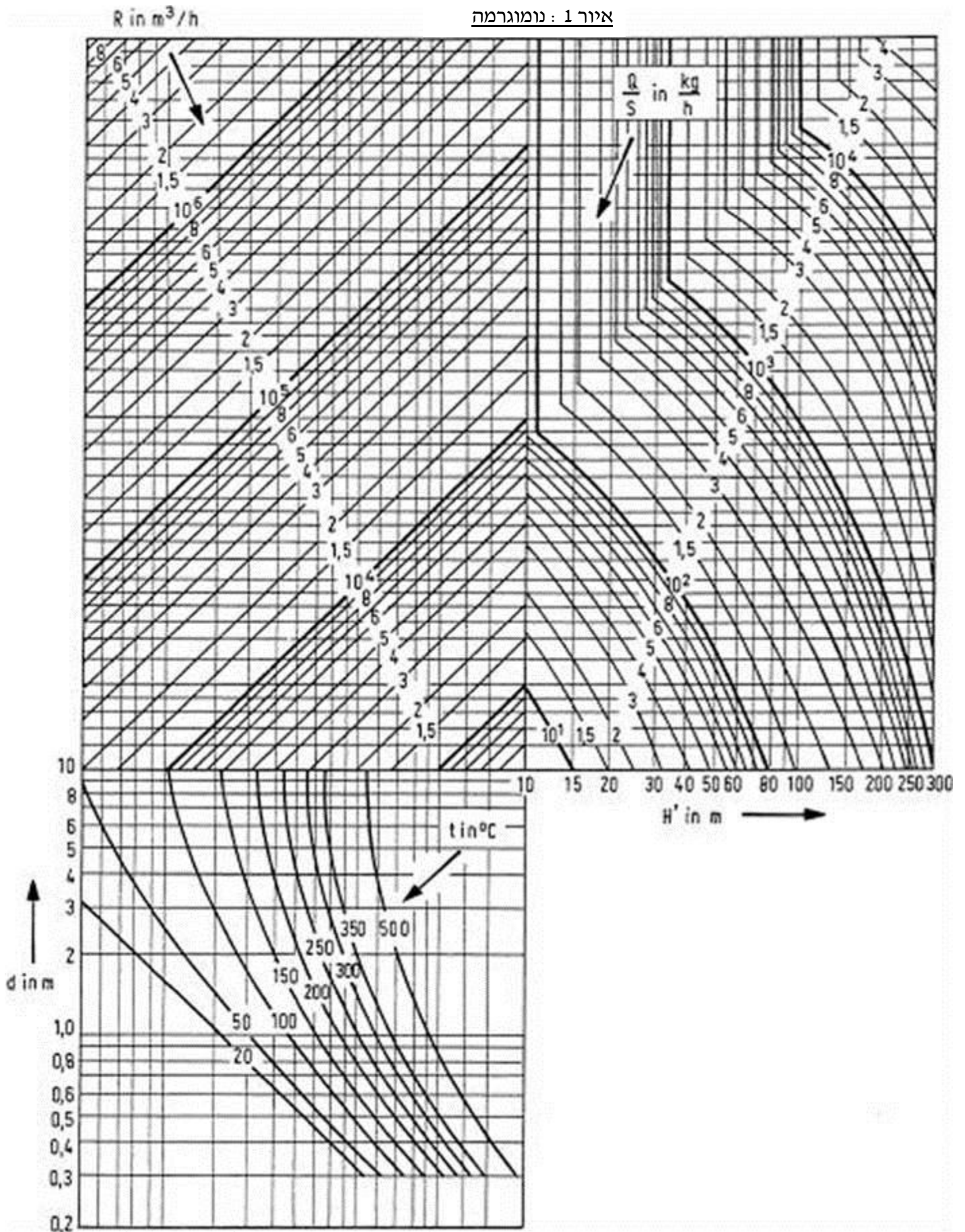
הנומוגרמה מורכבת משלושה תרשימים מחוברים ומובאת באיור 1. התרשים הראשון הוא של עקומות טמפרטורה שונות כאשר הציר האנכי הוא של הקוטר הפנימי של הארובה (התרשים השמאלי התחתון), התרשים השני הוא של עקומות ספיקה נפחית בתנאים תקינים (התרשים השמאלי העליון) והתרשים השלישי הוא של יחסי Q/S שונים כאשר הציר האופקי הוא של גובה הארובה (התרשים הימני העליון). הגובה המתאים לשילוב הנתונים נבחר ע"י איתור נקודות חיתוך מתאימות בכל אחד מהתרשימים עם הצירים המתאימים עד חיתוך מעקומת Q/S מתאימה לציר הגובה.

שלבי השימוש בנומוגרמה

1. יש למתוח קו אופקי מנקודת הקוטר המתאימה מציר הקוטר (d) לעקומת הטמפרטורה (t) המתאימה בתרשים הראשון, עד להגעה לנקודת חיתוך של הקו האופקי עם עקומת הטמפרטורה (נקודה a).
2. מנקודה a יש למתוח קו אנכי לתרשים השני לעקומת הספיקה הנפחית (R) המתאימה עד להגעה לנקודת החיתוך (נקודה b).
3. מנקודה b יש למתוח קו אופקי לתרשים השלישי, לעקומת יחס Q/S המתאימה עד להגעה לנקודת החיתוך (נקודה c).
4. מנקודה c יש למתוח קו אנכי לציר גובה הארובה (H') מחיתוך הקו וציר גובה הארובה מתקבל גובה הארובה – H'.

בארובות מתוכננות, יתכנו מספר צירופים של קוטר וגובה שיהוו פתרון לחישוב.

איור 1 : נומוגרמה



ד. חישוב תוספת הגובה

1. ע"פ TA-Luft 2002 סעיף 5.5.2, פסקה 1- "...כאשר שיפוע הגג עומד על פחות מ-20°, יחושב גובה רכס הגג על בסיס שיפוע של 20°; עם זאת לא יעלה גובה הארובה מעל לפי שניים מגובה הבניין."

סעיף זה בא בנוסף לחישוב ע"י הנומוגרמה והוא קובע את תוספת הגובה הנדרשת בהתחשב בתנאי המבנה עליו הארובה מותקנת או המבנה הסמוך אליה. בסעיף זה קיימים שני תנאים לגובה הארובה:

- א) כאשר שיפוע הגג הוא 20° או יותר הארובה תבלוט 3 מטרים מעל לגובה שיא הגג.
- ב) כאשר שיפוע הגג הוא פחות מ-20° יחושב שיא הגג כאילו קיים שיפוע של 20° והארובה תבלוט 3 מטרים מעל לשיא הגג המחושב;
- ג) תוספת הגובה המחושבת ע"פ סעיף קטן א לעיל לא תעלה על פי שניים מגובה הבניין;

2. **חישוב גובה שיא הגג במקרה ושיפוע הגג הוא פחות מ-20°**
יש להשתמש בנוסחה הבאה לחישוב הגובה בתוספת הנדרשת לגגות בעלי שיפוע קטן מ-20°:

$$H = H_T + \frac{b_s * \tan(20^\circ)}{2}$$

- H – שיא הגובה המחושב לגגות בעלי שיפוע קטן מ-20° (במטרים);
- H_T – גובה הבניין (במטרים);
- b_s – רוחב הבניין בכיוון הפונה לרוח השולטת (במטרים);

נספח א' – טבלת מקדמי S

Substance	S-Value
Suspended particulate matter	0.08
Lead and its inorganic compounds, indicated as Pb	0.0025
Cadmium and its inorganic compounds, indicated as Cd	0.00013
Mercury and its inorganic compounds, indicated as Hg	0.00013
Chlorine	0.09
Inorganic gaseous chlorine compounds, indicated as hydrogen chlorine	0.1
Fluoride and its inorganic gaseous compounds, indicated as hydrogen fluoride	0.0018
Carbon monoxide	7.5
Sulphur oxides (sulphur dioxide and sulphur trioxide), indicated as sulphur dioxide	0.14
Hydrogen sulphide	0.003
Nitrogen oxides, indicated as nitrogen dioxides	0.1
For substances pursuant to 5.2.2	
• Class I	0.005
• Class II	0.05
• Class III	0.1
For substances pursuant to 5.2.5	
• Total Carbon	0.1
• Class I	0.05
• Class II	0.1
For substances pursuant to 5.2.7	
• 5.2.7.1.1 Class I	0.00005
• 5.2.7.1.1 Class II	0.0005
• 5.2.7.1.1 Class III	0.005

במקדם S עבור חנקן חד- חמצני יש להשתמש באחוז המרה של 60% לחנקן דו-חמצני. בהתאם לכך יש להכפיל את קצב הפליטה של חנקן חד-חמצני בפקטור של 0.92 ולהשתמש בו כ-Q לטובת החישוב. יתכנו ערכי S נמוכים יותר בהתאם להגדרת האזור ומידת הזיהום המותרת בו.

נספח ב' – חישוב תוספת הגובה ע"פ סעיף 5.5.4 ב- TA-Luft 2002

סעיף 5.5.4 מנחה כיצד לקבוע את גובה הארובה תוך התחשבות במבנים, בצמחייה ובשטחים שאינם מישוריים. הסעיף קובע שיש להתחשב בגורמים לעיל רק ב"אזור הנתון להערכה". אזור זה מוגדר בסעיף 4.6.2.5 כאזור התחום ברדיוס של 50 אורכי הארובה המחושבים ע"פ סעיפים קודמים (דהיינו סעיפים 5.5.2 ו- 5.5.3) ובו מקור הפליטה גורם לריכוז סביבתי מעל ל-3% מהתקן שנקבע לאותו מזהם. עבור מקורות פליטה שגובהם מתחת ל-20 מטרים הרדיוס יהיה גדול או שווה לקילומטר בכל מקרה.

בהנחיות הנמצאות בגרסה הקודמת של ה-TA LUFT (TA LUFT 86) שטח זה מוגדר כאזור התחום ברדיוס של 30 אורכי ארובה מחושבת כאשר מתווספים אזורים התחומים ברדיוס של 50 אורכי ארובה שבהם תתכן תוספת משמעותית לריכוז הרקע (מוגדרת כתוספת של כ-1% מהתקן שנקבע לאותו מזהם).

גובה הארובה החדש (H) מחושב ע"י חישוב תוספת הגובה (J) וחיבורה לגובה המחושב ע"פ סעיפים 5.5.2 ו-5.5.2 (H').

תוספת הגובה – בכדי לקבוע את J יש תחילה לקבוע את J' כפי שיובא בהמשך. לאחר קביעת J' ו-H' משתמשים בציוור 3 בסעיף 5.5.4 כדי למצוא את J.

חישוב הגובה הממוצע J'

- יש לזהות אזורים ייחודיים (אזורים שבהם צמחיה, אזורים עם בניה קיימת, אזורים שעבורם קיימים אישורי בניה) שממלאים יותר מ-5% מהאזור הנתון להערכה.
- לכל אזור ייחודי יש לחשב גובה אופייני (גובה מקסימלי ע"פ הנמצא בשטח או ע"פ תכנית בנייה עתידית).
- יש לחשב ממוצע משוקלל של הגבהים ע"פ האחוז שכל אזור תופס מכלל שטח ההערכה, ערך ממוצע זה הוא J'.

חישוב תוספת הגובה J

- כאשר היחס בין הגובה הממוצע (J') לגובה הארובה המחושב (H') שווה או גדול מ-0.3 תוספת הגובה שווה לגובה הממוצע המחושב (J=J').
- כאשר היחס בין הגובה הממוצע (J') לגובה הארובה המחושב (H') נמוך מ-0.3 תוספת הגובה מחושבת ע"פ הנוסחה הבאה :

$$J = \frac{10}{3} * \frac{J'^2}{H'}$$

לדוגמא, אם נדרש לחשב תוספת גובה לארובה בסביבה אורבנית שגובהה שחושב בסעיפים הקודמים) הוא בין 10 ל-20 מטרים יש לבחון שטח שחסום ברדיוס של קילומטר מסביב לארובה (בשטח של כ- 3.14 קמ"ר) ולזהות את סוגי האזורים בשטח זה, אם קיים בניין משרדים גבוה שלא אופייני לאזור שלא תופס יותר מ-5% מכלל השטח (כלומר שהשטח שהוא מאכלס קטן מ-0.157 קמ"ר או 157,000 מ"ר) אזי אין צורך להתחשב בו בחישוב, לעומת זאת אם קיימים מספר בנייני משרדים כך שהשטח הכולל שהם תופסים הוא גדול מ-5% אזי יש לחשב את גובה המרבי ולחשב גובה ממוצע J' בהתחשב באחוז השטח אותו הם תופסים באזור ההערכה.