

נוהל בדיקת רוחות בתוכניות בניין עיר מפורטות ובהליכי רישוי בניה

גרסה 2 יולי 2016

א. כללי

תכנון המבנים יתחשב במשטר הרוחות האופייני באתר לצורך הבטחת נוחות ובטיחות הולכי הרגל

ב. מתודולוגיה

בשלב התכנון התב"עי ניתן לבצע בדיקה בשני אופנים: (1) חישוב "ידיני" על-פי השיטה המוסברת ב"קריטריונים להבחנת בעיות רוח בשלבי תכנון מוקדמים"¹. (2) בדיקה במודל ממוחשב CFD בהתאם לנוהל המפורט למטה. יחד עם זאת, במקרים מסוימים, מהנדס העיר רשאי לדרוש בדיקת CFD.

בשלב הרישוי ניתן לבצע בדיקה אך ורק בעזרת מודל CFD בהתאם לנוהל המפורט למטה.

ג. קריטריונים

קריטריון 1: נוחות מכאנית

טבלה 1: אחוז הזמן המותר לעוצמות הרוח השקולה² באזורים עירוניים שונים.

אחוז חריגה מותר ממהירות 9 מ/ש	אחוז חריגה מותר ממהירות 6 מ/ש	אזור
10%	20%	אזורים לשהות קצרה מאוד, חניות
10%	15%	רחובות, אזורי מגורים, אזור עסקים ומסחר, כניסות לבניינים
5%	10%	אזורי שהות בישיבה (מסעדות פתוחות, כיכרות עירוניות, שטחים ציבוריים פתוחים)

¹ במ.פורה, מ. פצ'יוק, 1980, קריטריונים להבחנת בעיות רוח בשלבי תכנון מוקדמים, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, התחנה לחקר הבנייה

² המושג "רוח שקולה" מוגדר במ.פורה, מ. פצ'יוק, 1980, קריטריונים להבחנת בעיות רוח בשלבי תכנון מוקדמים, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, התחנה לחקר הבנייה. ערכי הרוח השקולה דומים לערכי ה Gust Wind המופיעים מקורות אחרים במידה והם מחושבים עם מקדם עוצמת טורבולנטיות³

קריטריון 2 - בטיחות הולכי רגל:

טבלה 2: אחוז הזמן המותר לעוצמות הרוח השקולה בכל האזורים

אחוז חריגה מותר ממהירות 20 מ/ש	אחוז חריגה מותר ממהירות 15 מ/ש	אזור
0.01%	1.5%	כל אזור הבדיקה

נוהל לבדיקת רוחות בעזרת תוכנת CFD

א. הוראות לבניה של מודל ממוחשב CFD

- יש לפרט את שם המודל ועיקרי התכונות החישוביות שלו. תכנות מאושרות לשימוש במתודולוגיה זו יהיו בגרסת אלפא, יערכו הדמית רוח תלת ממדית, ויתחשבו באפקט הגברת הרוח כפונקציה של הגובה (גרדיאנט הרוח). ראה נספח א' תוכנות מוכרות.
- המודל שיבנה יהיה לפחות ברדיוס של 300 מ' מסביב לפרויקט הנבדק.
- גובה "מנהרת הרוח" הוירטואלית צריך להיות לפחות פי 5 מגובה המבנה הגבוה ביותר בפרויקט.

ב. הכנה של נתוני אקלים

- יש להשתמש בנתונים מתחנה אקלימית קרובה ממקור אמין כגון השירות המטאורולוגי. על הנתונים להיות בצפיפות דיגום של שעה לפחות מבוקרים ומאומתים, ולכסות לפחות את חמש השנים האחרונות במלואם.
- יש להחיל חישוב על נתוני התחנה המטאורולוגית אשר יפצה על הבדלי "חספוס" הקרקע בין אזור התחנה המטאורולוגית ובין אזור הבדיקה ובין גובה התחנה.
החישוב יתבסס על הנוסחה הבאה (5.1):

$$U_z^* = \left(\frac{Z_g}{Z} \right)^a * \left(\frac{Z^*}{Z_g^*} \right)^{a^*} * U_{10}^*$$

כאשר:

- U_z^* – מהירות הרוח באזור הנבדק
- Z_g – גובה גרדיאנט הרוח באזור התחנה המטאורולוגית
- Z – גובה המדידה בתחנה המטאורולוגית (בד"כ 10 מ')
- a – מקדם החספוס של התחנה המטאורולוגית (ללא יחידות)
- Z^*g – גובה גרדיאנט הרוח באזור הנבדק
- Z^* – גובה הרוח אותה מקבלים – 1.5 מ'
- a^* – מקדם החספוס של האזור הנבדק (ללא יחידות)
- U_{10} מהירות הרוח כפי שנמדדה בתחנה המטאורולוגית.

את מקדם החספוס וגובה הגרדיאנט ניתן לחלץ מטבלה 3.2

טבלה 3.2 – מקדמי חספוס

סוג השטח	תנאי השטח	מקדם החספוס	גובה גרדיאנט הרוח
שטח פתוח	שטח פתוח חשוף לרוח הנעה בחופשיות	0.15	300
שטח כפרי	שטח פתוח בעל מכשולים מפוזרים שאינם גבוהים מ 10 מ'	0.2	400
שטח בנוי	שטחים עירוניים פרבריים שיש בהם בניינים עד 7 קומות	0.25	400
שטח עירוני אינטנסיבי	מרכזי ערים בהם בניינים מעל 7 קומות	0.33	500

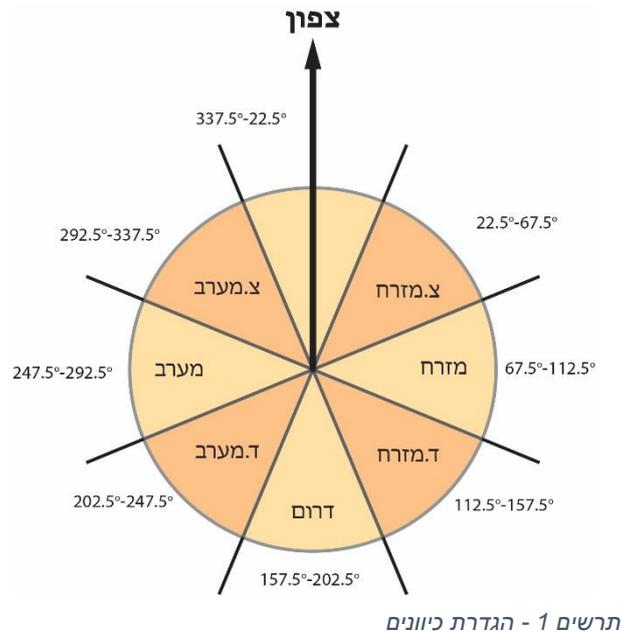
ג. ביצוע של הדמית רוחות

- ההדמיה תהיה תלת ממדית ויוצגו תוצאות לגובה של 1.5 מ' מעל פני הקרקע.
 - יערכו לפחות 8 הדמיות ללפחות 8 כיווני רוח (בסטייה אחידה של 45 מעלות אחד מהשני): צפון, צפון-מזרח, מזרח, דרום-מזרח, דרום, דרום-מערב, מערב, צפון-מערב.
 - יבחרו לפחות 5 נקודות בדיקה בהתאם לאזורים המצוינים בקריטריונים. נקודות אלה יכללו לפחות את כניסות הבניין העיקריות, אזורי שהיה ואזורי מסחר במרחב הציבורי, אזורי חנייה עילית וכן את צידי הבניין. במידה והבניין כולל שטחים ציבוריים מעל מפלס הקרקע ימוקמו נקודות בדיקה גם במפלס זה. מומלץ לתאם עם גורמי התכנון / הרישוי בעיריה את מיקומם של נקודות אלה.
 - במידה ונעשה שימוש במודל ממוחשב המחשב הן את עוצמות הרוח והן את שכיחותן באזור הנבדק בצורה אוטומטית³. יש לוודא כי התוכנה מחשבת את מהירות הרוח השקולה על-ידי שימוש בנוסחה 5.2 או נוסחה דומה אשר מייצרת תוצאות דומות.⁴
- ד. **חישוב מהירות שקולה ושכיחויות** (רלוונטי רק כאשר נעשה שימוש במודל ממוחשב המקבל כקלט נתון רוח יחידי (מהירות וכיוון) ומחשב את מהירות הרוח המתקבלת באזורים השונים במודל במצב זה).
- לכל נקודת בדיקה שנבחרה בסעיף ה3, יש לחשב את מקדם הגברת הרוח בכל כיוון. מקדם ההגברה הוא תוצאה של חלוקת מהירות הרוח המתקבלת בנקודת הבדיקה על-ידי ההדמיה, במהירות הרוח בגובה ההדמיה שחושבה בצורה ידנית. לדוגמה, מהירות הרוח שהוכנסה למודל בגובה 10 מ' היא 5 מ/ש אך היא הוחלשה על-ידי חספוס הקרקע. ובגובה 1.5 היא הגיעה ל 3.1 מ/ש (חישוב על-ידי נוסחה 5.1). הדמית הרוח בנקודת הבדיקה הגיעה ל 4 מ/ש לכן מקדם ההגברה הוא 1.3 (4/3.1).

³ כדוגמאת תוכנת UrbaWind
⁴ ראה הוראות לכך בהערות של נספח א'

כך, אם בוצעו 8 הדמיות ונבחרו 5 נקודות בדיקה, יהיו סך-הכל 40 מקדמי הגברת רוח. יש להציג את מקדמי ההגברה על גבי ההדמיות וגם בטבלה.

ב. את מקדמי ההגברה של כל נקודה ונקודה יש להכפיל במהירויות הרוח שהתקבלו מהתחנה המטאורולוגית. לצורך כך יש לסדר את נתוני התחנה המטאורולוגית (מהירות רוח וכיוון) לפי 8 כיוונים שונים בהתאם לתרשים:



ג. פעולות אלה יש לבצע על כל נקודת בדיקה בנפרד:

1. יש להכפיל את מקדם ההגברה המתקבל בהדמיה בנקודת הבדיקה עם נתוני הרוח המתאימים לו בקובץ האקלימי. למשל, יש להכפיל את נתוני הרוח בגזרה הצפונית של הקובץ האקלימי עם מקדם ההגברה של נקודת הבדיקה שהתקבל בהדמיה בה הרוח הוכנסה למודל מגזרה צפונית. על פעולה זו יש לחזור לכל כיוון וכיוון, כך שבסוף התהליך כל נתוני הרוח השעתיים שבקובץ האקלימי הוכפלו במקדמי הרוח המתאימים להם לפי כיוון הרוח.

2. יש להמיר את מהירויות הרוח בקובץ האקלימי ל"מהירויות שקולות" על-ידי שימוש בנוסחה (5.2):

$$U_{eq} = U(1 + 3I)$$

כאשר:

U_{eq} = מהירות הרוח השקולה

U מהירות הרוח

I עוצמת הטורבולנטיות (אחוזים)

אחוז הטורבולנטיות האופייני לחזיתות הבניין הפונות לרוח יהיה 35%, עבור פינות הבניין והמעברים 20%, וחזיתות הבניין בשובר הרוח: 50%.

טבלה 3.3 מתארת דוגמה לאופן חישוב מהירות הרוח השקולה מהנתונים המתקבלים בנקודה אחת

כיוון הרוח (מעלות)	כיוון הרוח	מהירות בתחנה (מ'/'ש')	מהירות מתוקנת לגובה 1.5 מ' (נוסחה 5.1)	מקדם הגברה (מחושב מההדמיה)	אחוז הטורבולנטיות	חישוב מהירות משוקללת (נוסחה 5.2)
0	צפון	5	3.1	1.5	20	7.44
10	צפון	3	1.9	1.5	20	4.56
	.					
	.					
	.					
40	צפון מזרח	5	3.1	0.9	50	6.9
50	צפון מזרח	10	6.2	0.9	50	13.95
	.					
	.					
	.					

3. יש לבצע חישוב סטטיסטי אשר יפיק את שכיחויות מהירויות הרוח שבקריטריונים. יסכמו כל המהירויות השקולות מכל הכיוונים שגבוהות מהמהירויות המצוינות בקריטריונים. סכום זה יחולק במספר נתוני הרוח הקיימים בקובץ. לדוגמה, נאמר שכל המקרים בהם מהירות הרוח מכל הכיוונים גבוהה מ 6 מ'/'ש' הם 1500 שעות. במקרה זה הם יהוו 17% מכלל מקרי הרוח (במידה ונלקחו נתונים מחמש שנים שהם 43800 שעות). תוצאה זו חורגת מהקריטריונים לאזורי עסקים, מסחר, מגורים, שהות ושיבה וכניסות לבניינים אך אינה חורגת מהקריטריון של רחובות וחניות.

4. יש לבצע את המתואר בסעיף 3 על כל אחד מהקריטריונים: 6 מ'/'ש', 9 מ'/'ש', 15 מ'/'ש' ו 20 מ'/'ש'.

ד. יש לחזור את שלבים 1-4 לכל נקודות הבדיקה שנבחרו ולהציג את התוצאות בטבלה מסכמת

ה. במקרי חריגה יזוהו כיוונים הרוח בהם מקדמי ההגברה הם הגבוהים ביותר ויוצעו אמצעים למיתון רוח מכיוונים אלה. לאחר מכן תבוצע בדיקה חוזרת הכוללת את הטמעת אמצעי מיתון הרוח להוכחת יעילותם

נספח א' תוכנות מוכרות:

Meteodyn Urbawind*

Ansys Fluent**

Autodesk CFD**

Envi-met

ה. לשימוש בתוכנות אחרות יש לקבל אישור אגף ההנדסה בעירייה

הערות:

(*) יש לוודא שינוי ערך אלפה (α) בנוסחה לחישוב Gust Wind ל3.

(**) יש לצרף לדוח את נתוני גרדיאנט הרוח שהוכנסו לתוכנה, ואישור על "התייצבות החישוב" לכל כיוון וכיוון.