

**SI 414**

December 2008

**Amendment No. 3**

April 2016

**תקן ישראלי ת"י 414**

טבת התשס"ט - דצמבר 2008

**גיליון תיקון מס' 3**

ניסן התשע"ו - אפריל 2016

## **עומסים אופייניים במבנים: עומס רוח**

Characteristic loads in structures: Wind loads

**מכון התקנים הישראלי**  
**The Standards Institution of Israel**



גיליון תיקון זה הוכן על ידי ועדת המומחים 10413 – עומס רוח, בהרכב זה:  
אדי ליבוביץ (יו"ר), ארקדי ליפשיץ, מוטי לנדמן, חנוך צחר, דורון שלו

גיליון תיקון זה אושר על ידי הוועדה הטכנית 104 – עומסים אופייניים על מבנים, בהרכב זה:

איגוד המהנדסים לבנייה ותשתיות	-	אדי ליבוביץ
הטכניון – הפקולטה להנדסה אזרחית	-	יסכה גולדפלד, עודד רבינוביץ
המכון הגיאולוגי	-	זהר גבירצמן
המכללה האקדמית להנדסה ע"ש		
סמי שמעון – המחלקה להנדסת בניין	-	רמי עיד
התאחדות בוני הארץ	-	נתן חילו
חברת החשמל לישראל	-	ארקדי ליבשיץ
לשכת המהנדסים והאדריכלים	-	ישראל דוד (יו"ר), פאולינה וייץ, שי פורמן
משרד הביטחון	-	קלאודיה ריינהורן
משרד הבינוי והשיכון	-	לזר פלדמן
רשות ההסתדרות לצרכנות	-	רינה פרחאת

נטע צח, רונית קרוש ודניאל קוליש ריכזו את הכנת גיליון התיקון.

---

### הודעה על גיליון תיקון

גיליון תיקון זה מעדכן את  
התקן הישראלי ת"י 414 מדצמבר 2008  
גיליון התיקון מס' 1 מאפריל 2011  
גיליון התיקון מס' 2 מאוגוסט 2013

---

### עדכניות התקן

התקנים הישראליים עומדים לבדיקה מזמן לזמן, ולפחות אחת לחמש שנים, כדי להתאימם להתפתחות המדע והטכנולוגיה. המשתמשים בתקנים יודאו שבידיהם המהדורה המעודכנת של התקן על גיליונות התיקון שלו. מסמך המתפרסם ברשומות כגיליון תיקון, יכול להיות גיליון תיקון נפרד או תיקון המשולב בתקן.

---

### תוקף התקן

תקן ישראלי על עדכניו נכנס לתוקף החל ממועד פרסומו ברשומות. יש לבדוק אם התקן רשמי או אם חלקים ממנו רשמיים. תקן רשמי או גיליון תיקון רשמי (במלואם או בחלקם) נכנסים לתוקף 60 יום מפרסום ההודעה ברשומות, אלא אם בהודעה נקבע מועד מאוחר יותר לכניסה לתוקף.

---

### סימון בתו תקן



כל המייצר מוצר, המתאים לדרישות התקנים הישראליים החלים עליו, רשאי, לפי היתר ממכון התקנים הישראלי, לסמנו בתו תקן:

---

### זכויות יוצרים

© אין לצלם, להעתיק או לפרסם, בכל אמצעי שהוא, תקן זה או קטעים ממנו, ללא רשות מראש ובכתב ממכון התקנים הישראלי.

## תוכן העניינים

לאחר סעיף 10.5 בתוכן העניינים יוסף:  
נספח א (נורמטיבי) – נוהל לשימוש במנהרת רוח  
נספח ב (למידע בלבד) – מקדמי לחץ סביב מבני מתיחה ממברניים  
נספח ג (למידע בלבד) – פתרונות לבעיות הנגרמות מהשלט מערבולות

## הקדמה

לאחר אזכור התקן האירופי "EN 1991-1-4-2005" יוסף:  
רבות AC שלו מינואר 2010 ו-A1 שלו מאפריל 2010.

## פרק א – עניינים כלליים

### 1.1. חלות התקן

- במשפט האחרון בסעיף (לפני ההערה), המתחיל במילים "קביעת עומסי הרוח", לאחר המילים "במנהרות רוח", יוסף:  
[ראו נספח א (נורמטיבי)].
- ההערה בסוף הסעיף תושמט.

### 1.2. אזכורים

לרשימת האזכורים יוסף:  
מסמכים זרים

ASCE/SEI 7-10 - Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures

## פרק ז – מקדמים אווירודינמיים

### 7.1. כללי

7.1.2. - בשורה הראשונה, הספרה "4" תושמט, ובמקומה יכתב:  
5

- בסוף הסעיף יוסף סעיף משנה ה, כמפורט להלן:  
ה. מבני מתיחה ממברניים, כגון: קונוס, מבנה "רכס ועמק" ומבנה אוכף  
[ראו נספח ב (למידע בלבד)].

### 7.7. קירות ניצבים חופשית, מעקים, גדרות ושלטים

כותרת הסעיף תושמט, ובמקומה יכתב:

קירות, מעקים, גדרות ושלטים ניצבים חופשית

#### 7.7.1. קירות ומעקים אטומים ניצבים חופשית

- כותרת הסעיף תושמט, ובמקומה יכתב:

קירות ומעקים ניצבים חופשית

- בסעיף משנה א, המילים "הקיר יחולק" יושמטו, ובמקומן יכתב:  
הקיר והמעקה יחולקו

- בסעיף משנה ב, בשורה הראשונה לאחר המילה "לקירות" יוסף:  
ולמעקים
- הכתוב בסעיף משנה ה יושמט, ובמקומו יכתב:  
גובה הייחוס  $z_e$  יילקח כגובה  $h$  לקירות ניצבים חופשית (ראו ציור 7.26).
- גובה הייחוס  $z_e$  יילקח כ-  $z_e = (h+h_p)$  למעקה על גג עליון (ראו ציור 7.3).
- **ציור 7.26 – קירות גדר חופשיים אטומים**  
כותרת הציור תושמט, ובמקומה יכתב:  
**קירות גדר חופשיים**

## **פרק ט – כללים לחישוב השלת מערבולות והשפעות דינמיות אחרות של הרוח**

### **9.1 כללי**

- לאחר סעיף 9.1.3 יוסף סעיף 9.1.4, כמפורט להלן:  
9.1.4 לפתרונות לבעיות הנגרמות מהשלת מערבולות ראו נספח ג (למידע בלבד).
- לאחר פרק י – מאפיינים דינמיים של מבנים, ולפני מפת מהירות הרוח הבסיסית בישראל, יוספו נספחים א, ב ו-ג, כמפורט להלן:

## נספח א – נוהל לשימוש במנהרת רוח

(נורמטיבי)

### א-1. כללי

- א. נוהל זה מבוסס על פרק 31 שבמסמך של האגודה האמריקנית למהנדסים אזרחיים ASCE/SEI 7-10.
- ב. נוהל זה מפרט את הכללים לעריכת ניסויים במנהרת רוח לצורך קביעת עומסי הרוח והשפעותיהם על מבנים או על חלקי מבנים.
- ג. ניסויים במנהרת רוח חלים על כל הרכיבים וחלקי המבנה המהווים יחד מערכת לנשיאת עומסי רוח וכן על כל הרכיבים וחלקי החיפוי במבנה.

### א-2. דוגמות למקרים שבהם נדרשים ניסויים במנהרת רוח

1. כאשר קיים חשש להגברת פעולת הרוח על ידי שילוב משבים עם תגובת תהודה של מבנים גמישים.
2. כאשר למבנה צורה גאומטרית ייחודית או/וגם אפיון תגובה מכני ייחודי.

### א-3. תנאי ניסוי במנהרת רוח

ניסויים המיועדים להגדיר כוחות ממוצעים, הגברות נקודתיות ופילוגי לחצים של הרוח ייערכו בתנאים שלהלן:

1. יש להגדיר את שכבת הגבול של האטמוספירה התקנית המאפשרת לקבוע את השתנות מהירות הרוח כתלות בגובה;
2. יש להגדיר רכיבי מערבולות אורכיות (מקרו ומיקרו) בהתאם למידות המבנה;
3. כדי לערוך ניסוי במנהרת רוח יש לבנות מודל ממוחשב של המבנה, של המבנים בסביבתו, של המבנים העתידיים, וכן של התנאים הטופוגרפיים על ידי הדמיה של התנאים בפועל;
4. היטל שטח הפנים של מודל המנהרה, הכולל את המבנה עצמו ואת שאר המבנים בסביבתו, לא יהיה גדול מ-8% מסך שטח החתך של מנהרת הרוח, אלא אם ייערך תיקון ייעודי להפרעה זו על ידי הדמיית משטר הזרימה הקיים בפועל;
5. יש להביא בחשבון את שיפוע הלחץ במנהרת הרוח שבה ייערך הניסוי;
6. יש למזער את אפקט מספר ריינולדס (Re) על הלחץ ועל הכוחות;
7. יש להתאים את כיוול המכשור במנהרת הרוח למדידה הנדרשת.

### א-4. תגובה דינמית

ניסויים המיועדים לאפיין תגובה דינמית של סוג מבנה כלשהו יעמדו בכל התנאים המפורטים בסעיף א-3. הן מודל מנהרת הרוח והן האנליזות יביאו בחשבון פילוגי מסות, קשיחות וריסון.

### א-5. תוצאות כוחות הרוח

- א-5.1. תוצאות כוחות הרוח המתקבלות בניסוי עבור תכנון חוזק המבנה, יוגדרו לפי תקופת חזרה (ראו סעיף 3.3) אשר הובאה בחשבון באנליזות עבור שילוב נתוני מנהרת הרוח בניסוי עם נתונים מטאורולוגיים והסתברותיים. עומסי הרוח המתקבלים בניסויים במנהרת רוח הם עומסים אופייניים. יש להביא בחשבון עומסים אלה בתכן, נוסף על העומסים המוגדרים בתקנים הרלוונטיים.

- א-5.2. עבור מבנים הרגישים לשינויים בפרמטרים דינמיים, בודקים את רגישות המבנים ומביאים אותה בחשבון בתכן.
- א-5.3. מגבלות על מהירויות רוח:  
במדינת ישראל הגברה חריגה של עוצמת הרוח (כגון הוריקן) אינה צפויה, ולכן ניתן לערוך ניסוי במנהרת רוח לכל עוצמת רוח בסיסית תקינה.
- א-5.4. מומנט ההיפוך הכולל בבסיס המבנה וכוח הגזירה הכולל בבסיס המבנה בגין כוחות הרוח כפי שיתקבלו במנהרת הרוח לא יהיו קטנים מ-80% מהערכים המחושבים לפי תקן זה (ת"י 414).
- א-5.5. לחצים שהתקבלו בניסוי במנהרת רוח עבור רכיבי מבנה ועבור משטחי חיפוי של המקרים המפורטים להלן, לא יהיו קטנים מ-80% מהערכים המחושבים לפי תקן זה (ת"י 414):
- אזור D בקירות אנכיים של בניין מלבני שגובהו עד 20 מ' המחושב לפי סעיף 7.2.2;
  - אזור H בגגות של מבנים עד גובה 20 מ', המחושבים לפי הסעיפים: 7.2.5 גגות שטוחים, 7.2.6 גגות חד-שיפועיים, 7.2.7 גגות דו-שיפועיים, 7.2.8 גגות ארבע-שיפועיים,
  - 7.2.9 גגות רבי-שיפועיים, 7.2.10 גגות קמרון וכיפה;
  - אזור A בגגות של מבנים ללא קירות.

**נספח ב – מקדמי לחץ סביב מבני מתיחה ממברניים**

(למידע בלבד)

**ב-1. כללי**

בנספח זה מפורטים מקדמי הלחץ החיצוני  $c_{pe}$  על פני משטח עקום של מבני מתיחה ממברניים עבור שלושה סוגי מבנים עיקריים:

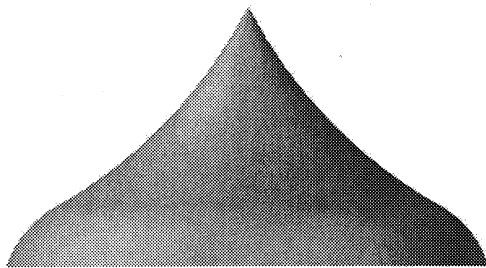
1. מבנה קונוס;
2. מבנה "רכס ועמק";
3. מבנה "אוכף" (פרבולואיד היפרבולי).

יש להביא בחשבון את מקדמי הלחץ הפנימי  $c_{pi}$  (שאינם מפורטים בנספח זה) בהתאם לצורת המבנה.

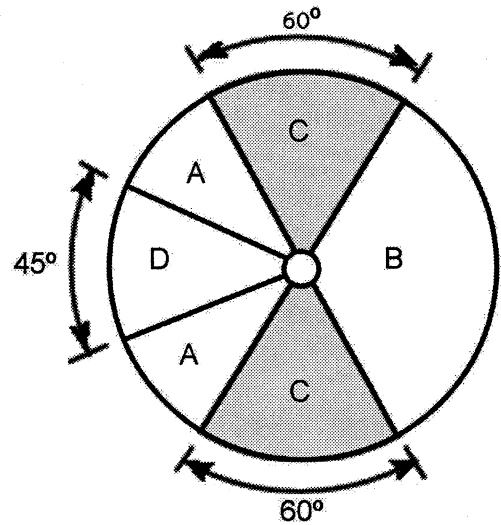
**ב-2. קונוס**

בחישובים עבור מבנה קונוס יש להביא בחשבון פרמטרים אלה:

- זווית שיפוע המשטח הקוני הנמדדת בין תחתית הקונוס לבין הקודקוד (ראו ציורים ב-1 וב-2);
- מקדמי לחץ של מבנה פתוח או מבנה סגור (ראו טבלה ב-1).



כיוון פעולת הרוח



ציור ב-2 – סכמה של מבנה קונוס – מבט מהצד

ציור ב-1 – סכמה של מבנה קונוס לפי חלוקה לאזורים – מבט על



מקדמי הלחץ החיצוני  $c_{pe}$  באזורים השונים של הגג, יהיו כמפורט בטבלה ב-1 שלהלן:

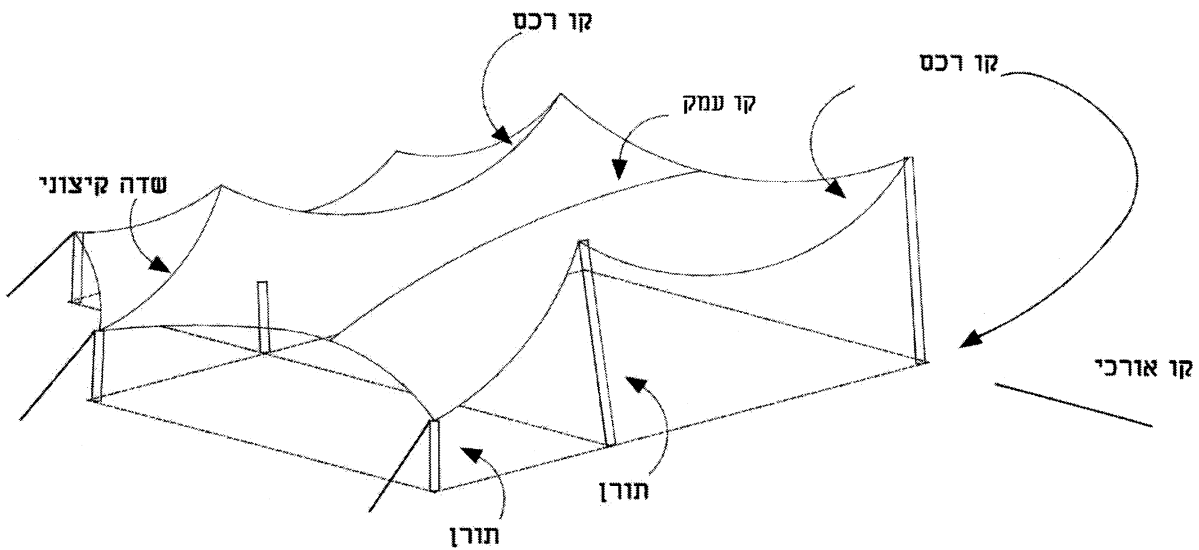
טבלה ב-1 – מקדמי הלחץ החיצוני  $c_{pe}$  לפי חלוקת אזורים בגג

מקדם לחץ חיצוני $c_{pe}$ לפי אזור				זווית שיפוע בין הממברנה למישור אופקי (°) $\alpha$	מבנה הקונוס
D	C	B	A		
+0.4/-0.2	-1.0	-0.6	-0.15	40	פתוח ללא קירות
+0.75/-0.6	-1.0	-0.7	-0.41	40	סגור

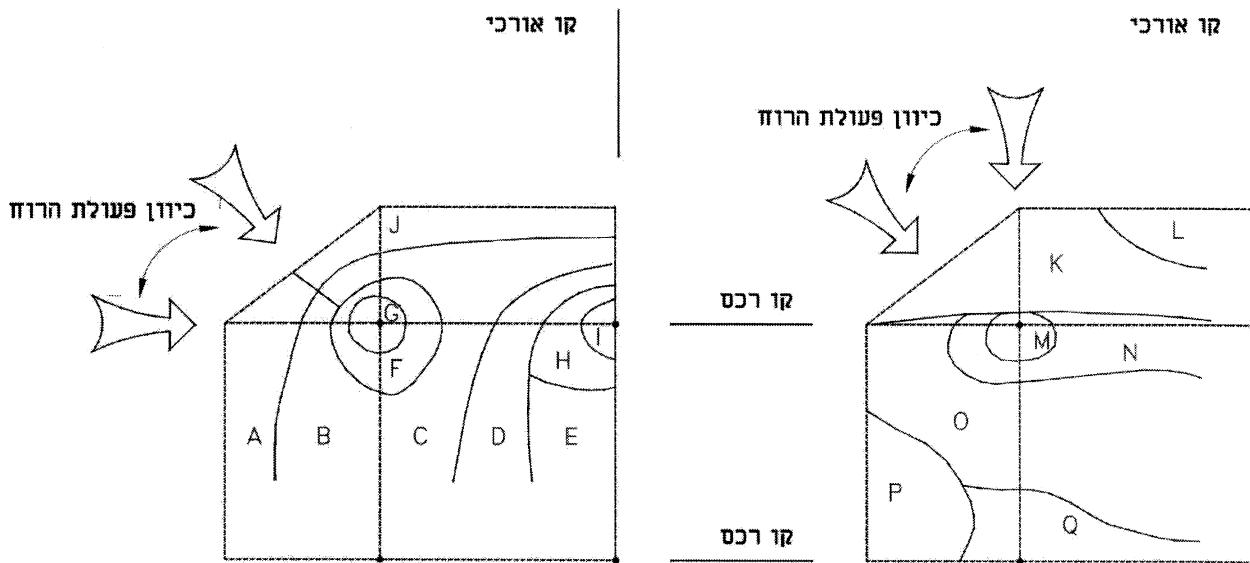
ב-3. מבנה "רכס ועמק" (ראו ציורים ב-3 ו-ב-4)

בחישובים עבור מבנה זה יש להביא בחשבון פרמטרים אלה:

- היחס בין רוחב ה"עמק" לעומקו (ראו טבלות ב-2 ו-ב-3);
- מקדמי לחץ של מבנה פתוח מסביב או סגור מסביב (ראו טבלות ב-2 ו-ב-3).



ציור ב-3 – סכמה של מבנה "רכס ועמק" טיפוסי



ציור ב-4 - סכמות של מבני "רכס ועמק" עם חלוקה לאזורים - מבט על

טבלה ב-2 - מקדמי הלחץ החיצוני  $c_{pe}$  למבנה "רכס ועמק" פתוח מסביב

שבו היחס בין רוחב ה"עמק" לגובהו הוא 2.5 וזווית השיפוע היא  $\alpha=39^\circ$

מקדם לחץ חיצוני $c_{pe}$ לפי אזור								
I	H	G	F	E	D	C	B	A
-0.33	-0.33	-0.38	-0.38	-0.11	-0.2	-0.41	+0.23 -0.33	+0.6 -0.39

מקדם לחץ חיצוני $c_{pe}$ לפי אזור							
Q	P	O	N	M	L	K	J
0.12	0.45	0.38	-0.38	-0.38	0.38	0.58	0.14
-0.27	-0.46	-0.37			-0.42	-0.29	-0.3

טבלה ב-3 – מקדמי הלחץ החיצוני  $c_{pe}$  למבנה "רכס ועמק" סגור מסביב שבו היחס בין רוחב ה"עמק" לגובהו הוא 4 וזווית השיפוע היא  $\alpha=26^\circ$

מקדם לחץ חיצוני $c_{pe}$ לפי אזור								
I	H	G	F	E	D	C	B	A
-0.9	-0.5	-0.8	-0.35	-0.45	-0.3	-0.2	+0.25	+0.3

מקדם לחץ חיצוני $c_{pe}$ לפי אזור							
Q	P	O	N	M	L	K	J
-0.3	-0.2	-0.4	-0.6	-1.2	+0.3	+0.3	+0.35
-0.3	-0.2	-0.4	-0.6	-1.2	-0.2	+0.3	-0.3

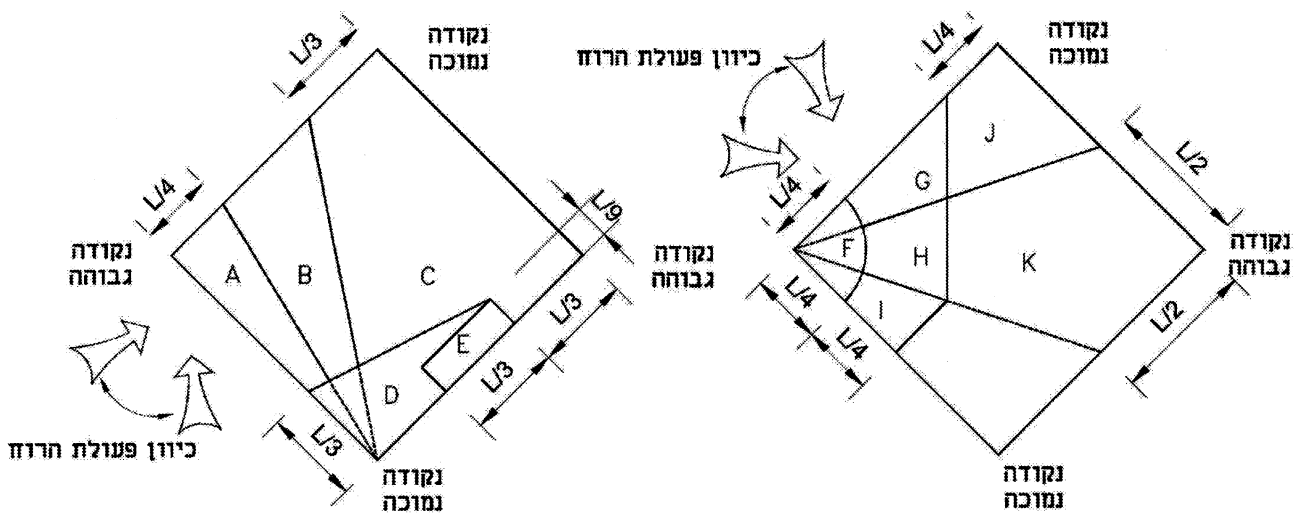
**ב-4. מבנה "אוכף" (פרבולואיד היפרבולי)**

מבנה פרבולואיד היפרבולי (להלן: היפאר) נוצר מ"אוכף" בתוך משטח עקום אשר העקמומיות שלו בחתכים אנכיים יוצרת פרבולות (קשתות לחוצות), ובחתכים אופקיים יוצרת שתי היפרבולות נגדיות (כבלים מתוחים).

מבנה זה יוצר קשתות לחוצות בכיוון אחד ובכיוון הניצב נוצרים כבלים מתוחים. בזווית ראייה של  $45^\circ$  במישור האופקי, ההיפאר נוצר על ידי פילוג של קווים ישרים (ראו ציור ב-5).

בחישובים עבור מבנה זה יש להביא בחשבון פרמטרים אלה:

- היחס בין אורכו של כל קו אלכסוני לבין הפרש הגבהים של שני קצותיו;
- מקדמי לחץ של מבנה סגור בלבד (ראו טבלה ב-4).



ציור ב-5 – סכמות של מבנה "אוכף" עם חלוקה לאזורים – מבט על

טבלה ב-4 – מקדמי הלחץ החיצוני  $c_{pe}$  למבנה "אוכף" סגור

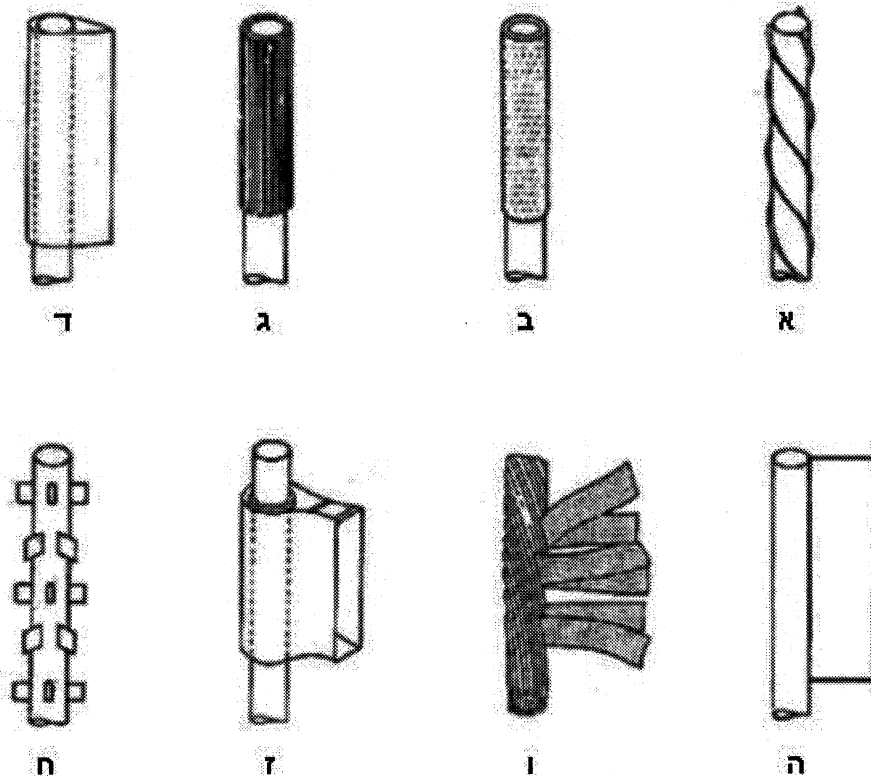
מקדם לחץ חיצוני $c_{pe}$ לפי אזור										
K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
+ 0.2	- 0.65	- 1.2	+ 0.2	- 1.2	- 1.8	+ 0.3	+ 0.3	+ 0.3	- 0.9	- 1.45
- 0.65			- 0.9			- 1.2	- 0.7	- 0.65		

**נספח ג – פתרונות לבעיות הנגרמות מהשלת מערבולות**

(למידע בלבד)

זרימת רוח סביב גליל, כלומר אלמנט בעל חתך עגול, היא בעלת פילוג סימטרי, ומכאן שאינה אמורה לייצר תנועה ניצבת לכיוון הזרימה. מאחר שנוצרת הפרעה בזרימה בעקבות השלת מערבולות (ראו הגדרה 1.3.6) מאחורי החתך כתלות במידות החתך ובמספר ריינולדס ( $Re$ ), נוצרות מערבולות תלויות תנודה הנקראות VIV (Vortex Induced Vibration). בעקבות המערבולות האלה נוצרות הפרעות מבניות שבאות לידי ביטוי בתנודות גדולות שיכולות לגרום להרס.

דוגמות לפתרונות להפחתת תופעות הנגרמות מהשלת מערבולות, מפורטות בצירוף ג-1 שלהלן:



- א. תיל סלילי מלופף סביב הגליל – Helical Strake.
- ב. צינור המקיף את הגליל בעל נקבים בכל היקפו ולכל גובהו – Perforated Shroud.
- ג. צינור המקיף את הגליל בעל חריצים אנכיים – Axial Slats.
- ד. חיפוי אווירודינמי המולבש על הגליל מאחורי כיוון הזרימה באופן חופשי המאפשר תנועה – Streamline Fairing.
- ה. לוח אנכי בצד האחורי לכיוון הזרימה – Splitter.
- ו. סדרת סרטים המחוברים אנכית מאחורי כיוון הזרימה – Ribbon Cable.
- ז. חתך חלול המורכב מאחורי כיוון הזרימה באופן חופשי והמאפשר סיבוב – Pivoted Guiding Vane.
- ח. הצמדת סדרת לוחיות בתצורת צלב סביב חתך הגליל, כאשר כל שורה מורכבת מלוחית בנטייה של  $45^\circ$  יחסית לקודמתה – Spoiler Plates.

**ציור ג-1 – פתרונות לבעיות הנגרמות מהשלת מערבולות**

הפתרונות המופיעים בציור ג-1 גורמים ליישור הזרימה סביב החתך, כלומר מבטלים את המערבולות הנוצרות מאחורי כיוון הזרימה וכך מפחיתים עד כדי ביטול את תופעת ה-VIV.

לבחירת הפתרון המתאים יש לערוך אנליזות הדמיית זרימה (CFD – Computational Fluid Dynamics).