

ספר הגות

המדריך לתכנון והתקנת גגות

אינה' אילן רביב

ספר ייחודי זה מכיל יותר משלושים שנות ניסיון של המחבר בתכנון והקמה של גגות עץ ופלדה בצורות וגדלים שונים. הספר מיועד למהנדסים, אדריכלים, גגנים וסטודנטים להנדסה ואדריכלות. הוא מהווה מקור מידע מקיף לתחום הגגות, תחום שלא נלמד בהיקף מספק כמוסדות להשכלה גבוהה מפאת קוצר הזמן.

הספר כתוב בצורה פשוטה עם דוגמאות רבות להמחשה. כמו כן, יש בו התייחסות לדרישות התקנים הרלוונטיים השונים, ובמיוחד ת"י 1556 (גגות קלים) שבכתיבתו השתתף המחבר כחבר ועדת התקינה וועדת המומחים.

ספר זה הוא היחידי מסוגו בישראל. הוא מקיף בצורה ממצה ובהירה את שלושת השלבים בהתקנת הגג – תכנון אדריכלי, תכנון הנדסי והרכבה – ויהווה ללא ספק כלי עזר חשוב לכל העוסקים בתחום.

תוכן עניינים

3	מבוא	פרק א
4	מונחים	פרק ב
4	מונחים באגד	1.
4	מונחים בגג	2.
5	תכנון גגות רעפים – עצות לאדריכל	פרק ג
5	סוגי גגות וארגזי רוח	1.
5	גג אגדים	א.1.
6	גג ע"ג תקרה יצוקה	ב.1.
7	ארגז רוח	ג.1.
9	צורות של גגות	2.
10	סוגי אגדים	3.
10	אגדים רגילים, חד ודו שיפועיים	א.3.
11	אגד Attic	ב.3.
11	אגד מקבילית ומספריים	ג.3.
17	דרישת התקן וחוק התכנון והבניה	4.
17	תהליך בניית הגג	5.
17	תכנון הגג	א.5.
17	ייצור הגג	ב.5.
18	הרכבת הגג	ג.5.
19	פתרונות למיקום האגדים	6.
19	קוקיות	7.
21	קונסטרוקציית הגג – הוראות למתכנן	פרק ד
21	אחריות המתכנן	1.
21	תקנים	2.
21	סוגי פרופילים	3.
21	פרופילי עץ	א.3.
24	פרופילים מפלדה דקת דופן	ב.3.
25	דוגמא לתכנון קורת עץ בכפיפה	4.
25	חישוב הקורה בכפיפה	א.4.
26	חישוב השקיעה	ב.4.
26	פרטי חיבור	5.
26	פרטי חיבור בעץ	א.5.
26	חיבור בחפיה + מסמור	1.א.5.
27	המחבר הממוסמר	2.א.5.
29	חיבור בהדבקה	3.א.5.
29	פרטי חיבור באגדי פלדה	ב.5.
30	כללי תכנון בסיסיים	6.
32	דוגמאות לחישוב כוחות ציריים ומומנטים באגד	7.

תוכן עניינים המשך...

36	עקרונות התכנון	8.
36	ייצור שילוש באגדים	.א.8
36	ריאקציות אופקיות	.ב.8
37	אגדים עם ובלי קורת רכס	.9
38	שקיעה	.10
38	הקשחות	.11
38	הקשחת הגג במישור העליון	.א.11
39	הקשחת האלכסונים	.ב.11
40	הקשחת הקורה התחתונה	.ג.11
40	עומסים	.12
41	סוגי אגדים	.13
42	סוגי גגות – יתרונות וחסרונות	.14
43	פרטי חיבור באגדים	.15
44	פרטי חיבור בעץ	.א.15
48	פרטי חיבור בגגות פלדה	.ב.15
48	חיבור בין אגדים	1.ב.15
49	חיבור למבנה	2.ב.15
54	פרק ה. הרכבת גגות – עצות לגגן	
54	שינויים באתר	.1
55	מיקום מיכל מים בגג	.2
55	אגד קומותיים	.3
56	מפרטי גגות שונים - הצעות	.4
58	הקשחות	.5
58	תמיכות	.6
58	בידוד	.7
58	בידוד רפלקטיבי	.א.7
58	בידוד נפחי	.ב.7
58	איטום	.8
59	רעפים	.9
59	קשירת רעפים	.א.9
60	פרט קצה קרניז בטון	.ב.9
60	חישוב שטח הגג	.ג.9
60	אווור	.10
60	שלבים בהרכבת הגג	.11
64	פילוס האגדים	.12
64	מישוריות הגג	.13
65	פרק ו. בדיקת גגות	
65	בדיקה באתר	.1
65	בדיקת מכון התקנים	.2
66	רשימת תיוג - Check List	.3
67	פרק ז. גלריית תמונות	

א. מבוא

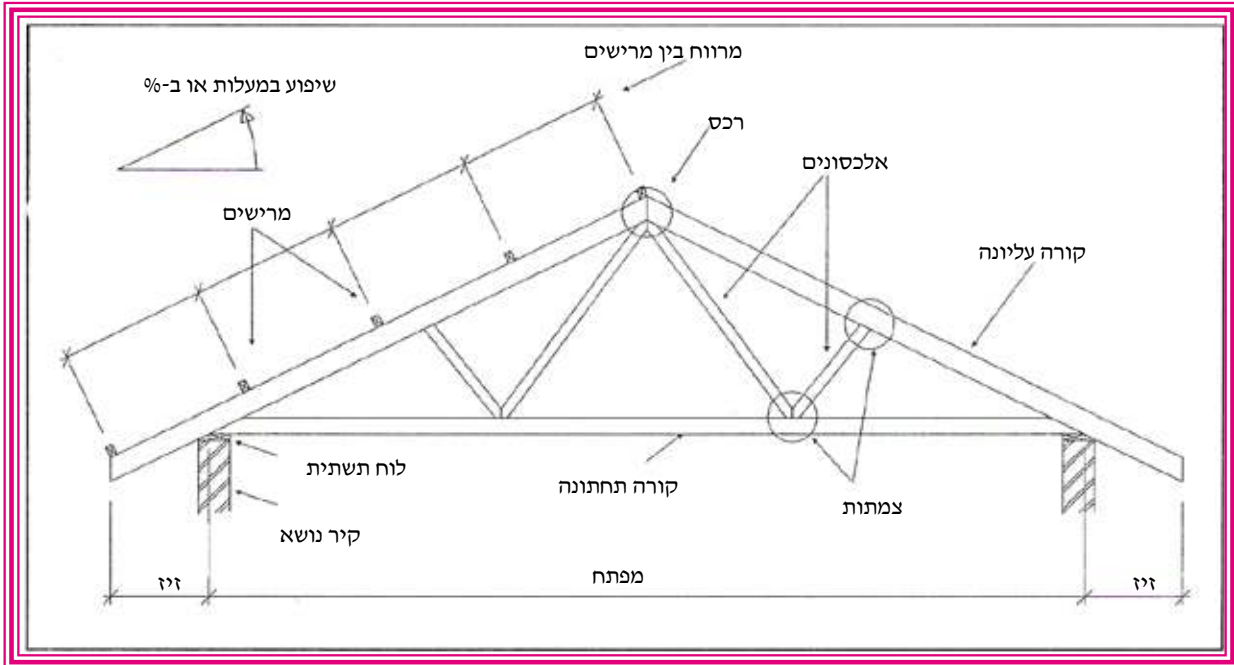
לאחר למעלה מ-30 שנים של תכנון וייצור גגות, החלטתי להעניק מניסיוני למהנדסים, אדריכלים ואלפי סטודנטים המסיימים את לימודי ההשכלה הגבוהה, ויוצאים לשוק העבודה בלא ידע בתכנון גגות.

ספר זה נועד להקנות ידע בסיסי ותמציתי. יש התייחסות לגגות עץ וגגות מפלדה דקת דופן. בנוסף ניתנים גם כללי אצבע של Good Practice.

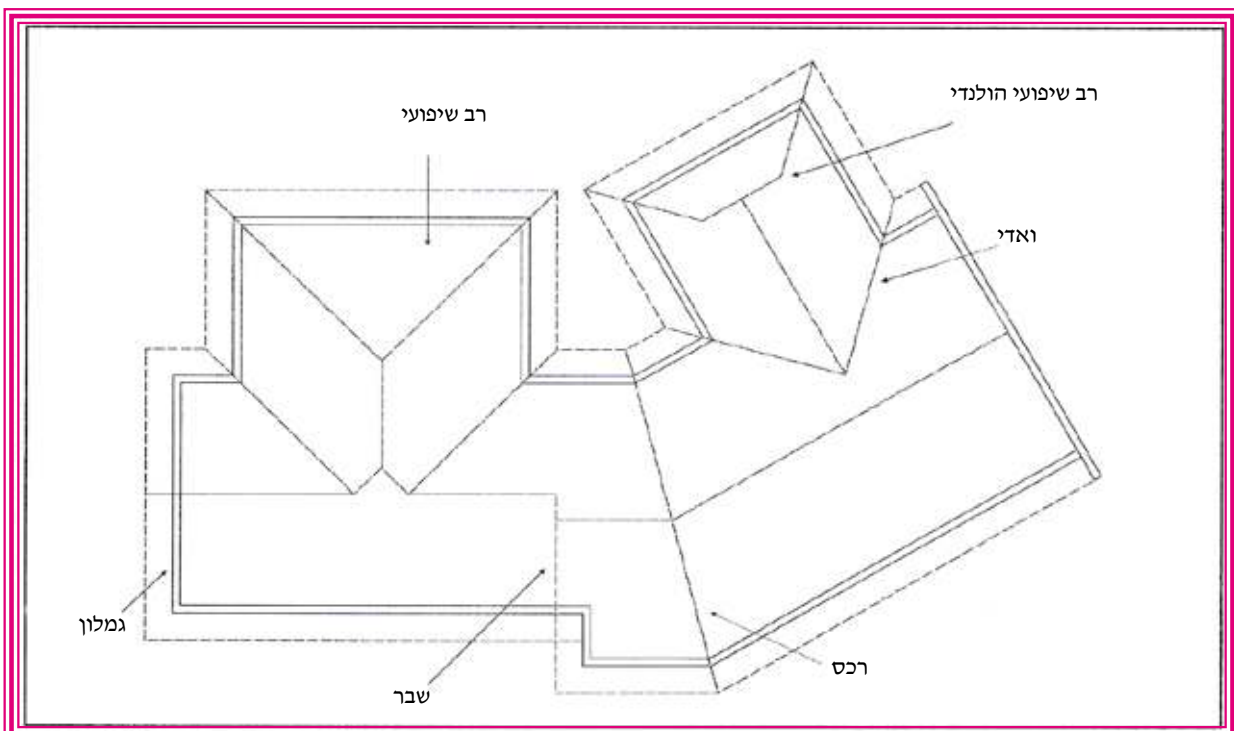
תקוותי היא כי ספר זה יהפוך ברבות הימים למורה הדרך של מתכנני הגגות בישראל.

ב. מונחים

1. מונחים באגד



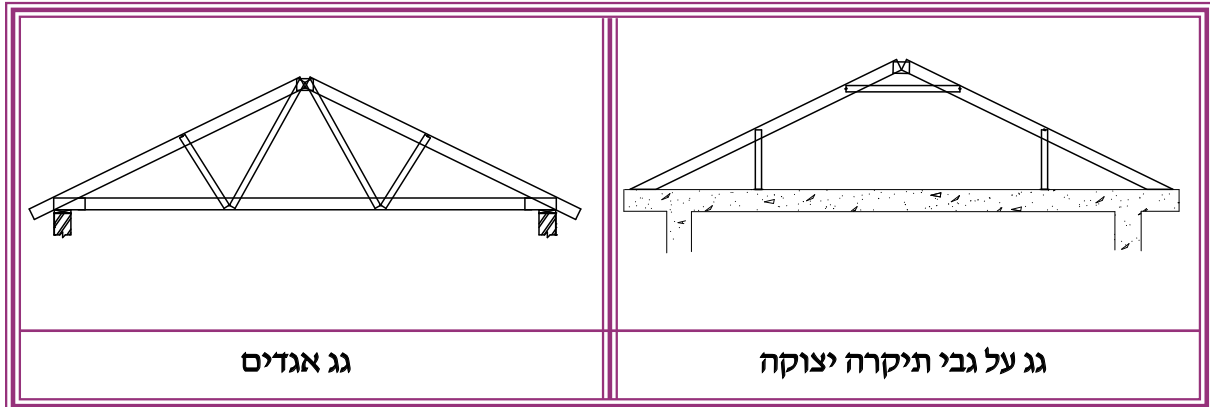
2. מונחים בגג



ג. תכנון גגות רעפים- עצות לאדריכל

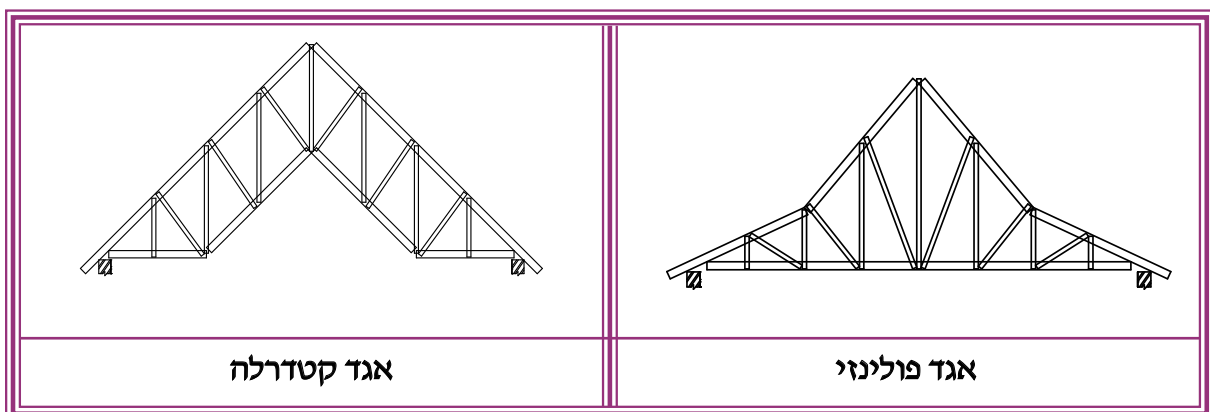
1. סוגי גגות וארגזי רוח

הגגות מתחלקים לשני סוגים: גגות על גבי תקרה יצוקה וגגות אגדים.



א. גג אגדים

ניתן לייצר אגדים לגגות במפתחים עד 20 מטר. גג אגדים חוסך את הצורך ביציקת תקרת בטון ולמעשה מונע התקנת גג כפול. בגגות אלו התקרה מחוברת לקורה התחתונה של האגדים. ניתן לייצר אגדים בצורות שונות. להלן שתי דוגמאות:





גג אגדים

ב. גג על גבי תיקרה יצוקה

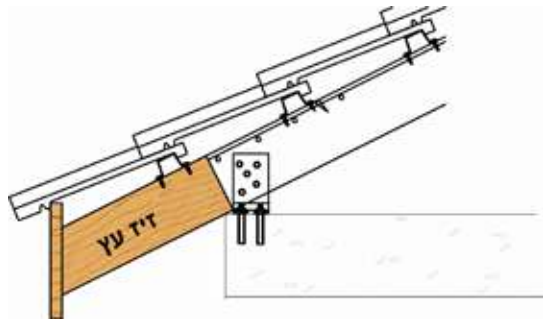
האגדים בגגות על גבי תיקרה יצוקה בנויים מקורות בשיפוע עם רגליים וקושרות. בגגות אלו הדרישה ברוב המקרים היא לניצול מקסימאלי של חלל הגג.



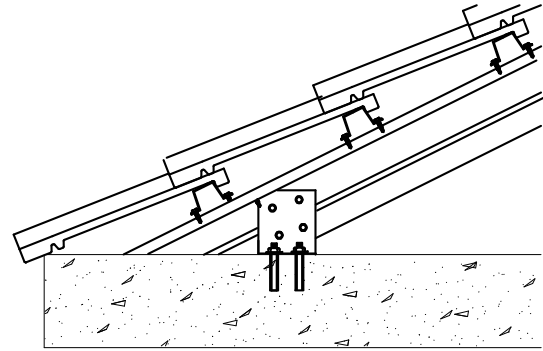
גג על גבי תיקרה יצוקה

ג. ארגז רוח

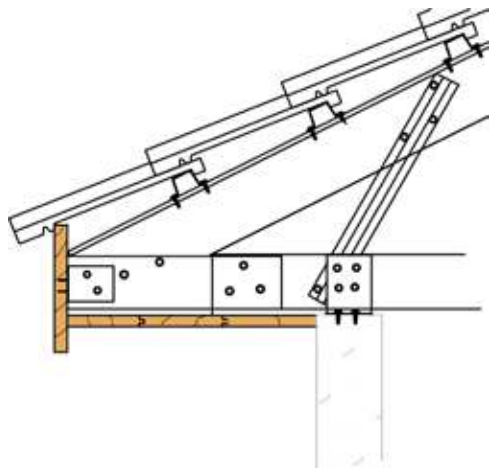
להלן מספר אופציות של ארגזי רוח בגגות:



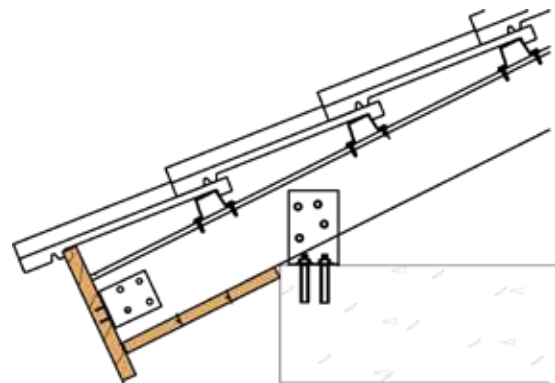
ארגז רוח כפרי - תותב מעץ גושני עם
ציפוי שמונח עליו



קרניז בטון - הרעף הראשון נשען
על קצה יציקת הבטון



ארגז רוח תחתון - אופקי



ארגז רוח תחתון - משופע



ארגז רוח כפרי מעץ - "ראש סוס"



ארגז רוח כפרי מעץ בחיקוף הגג



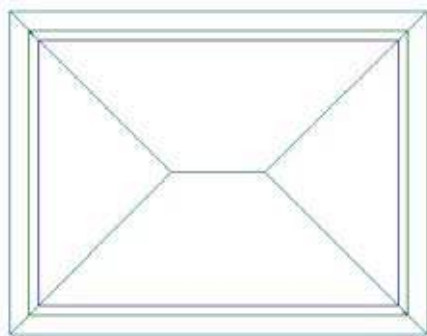
הכנה לארגז רוח תחתון

2. צורות של גגות

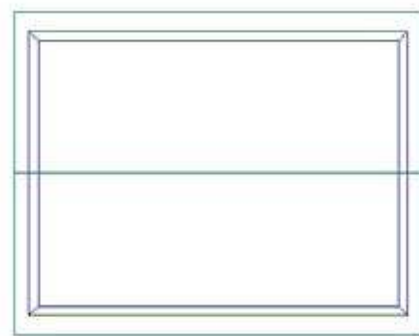
ככלל הגגות מתחלקים לשני סוגים :

א. גגות דו - שיפועיים

ב. גגות רב - שיפועיים

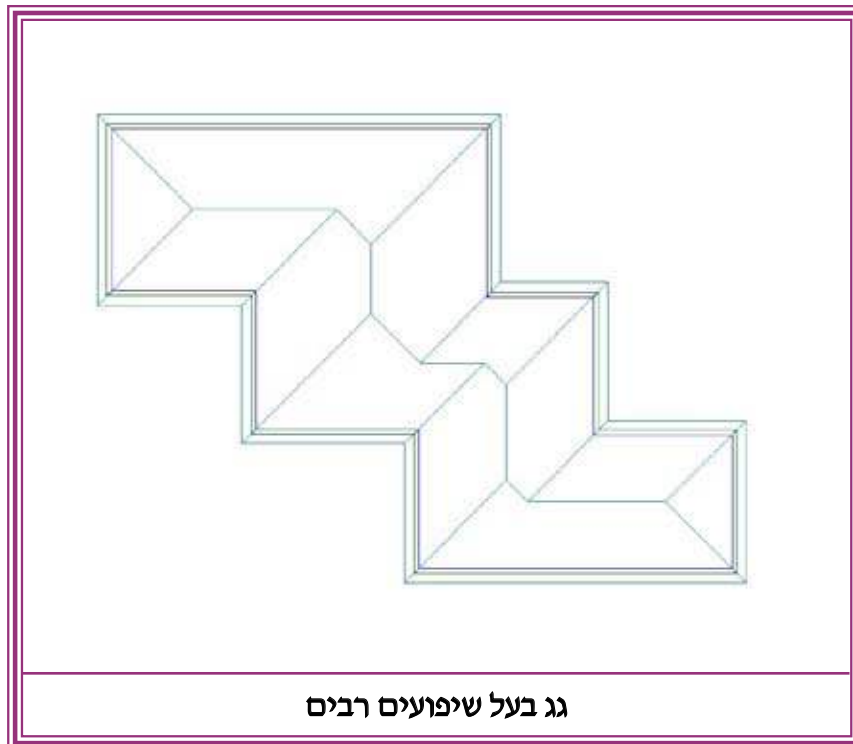


גג רב-שיפועי - מבט על



גג דו-שיפועי - מבט על

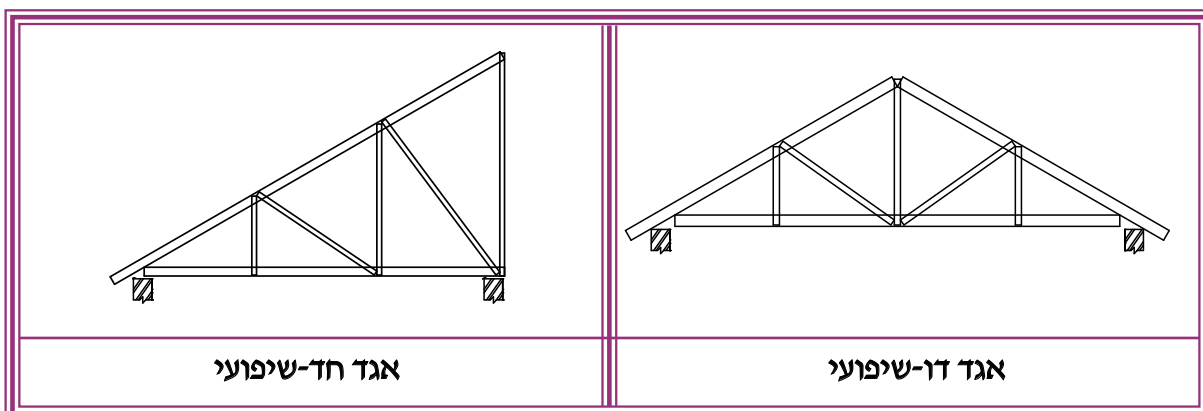
מובן שגגות אלה מופיעים בוריאציות שונות. במיוחד הגגות הרב-שיפועיים, שאפשר שיתוכננו כגגות שרשרת בעלי שיפועים רבים.



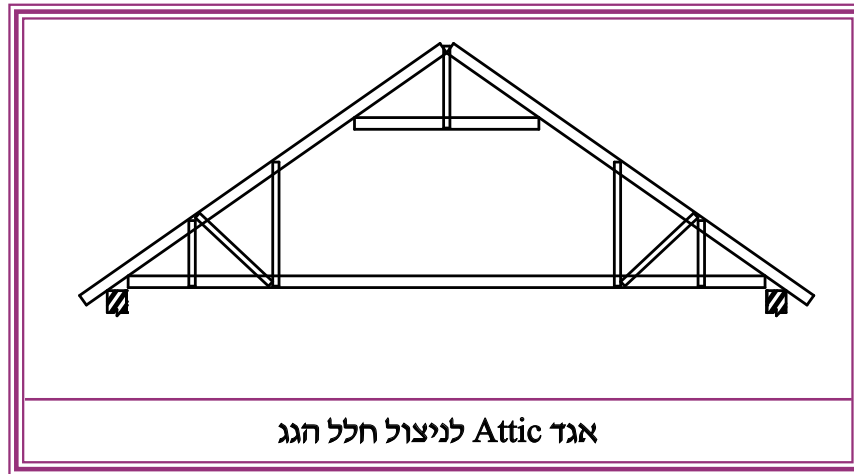
3. סוגי אגדים

תפקידם של האגדים הוא לשאת את עומסי הגג, כגון רעפים, תקרה, קולטי שמש ושלג ולהעבירם אל שלד המבנה. אגדי הגגות הנם משני סוגים, לפי הפונקציונאליות שלהם: אגדים רגילים ואגדים המאפשרים ניצול חלל הגג (Attic).

א. אגדים רגילים, חד ודו שיפועיים

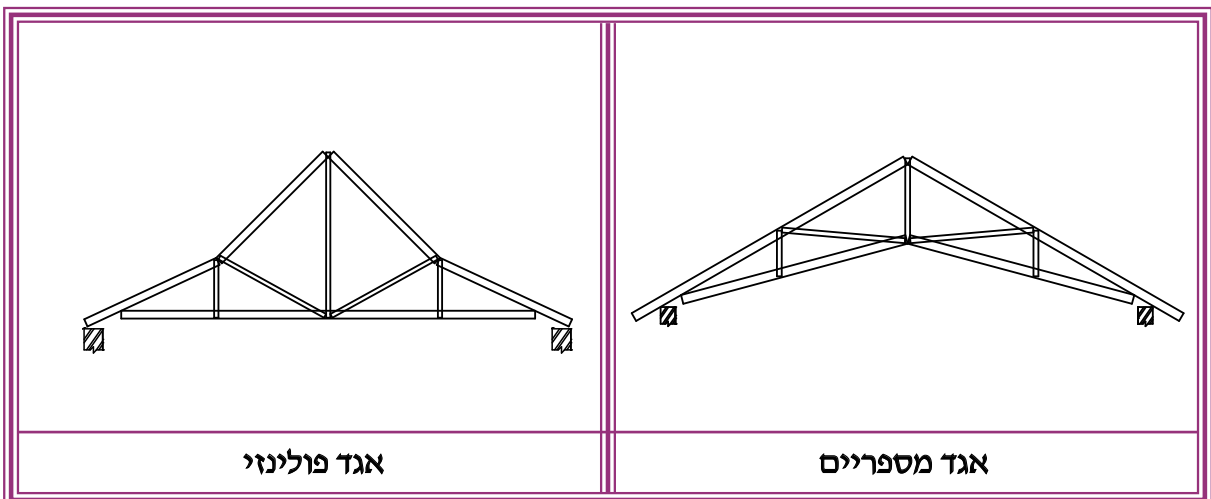
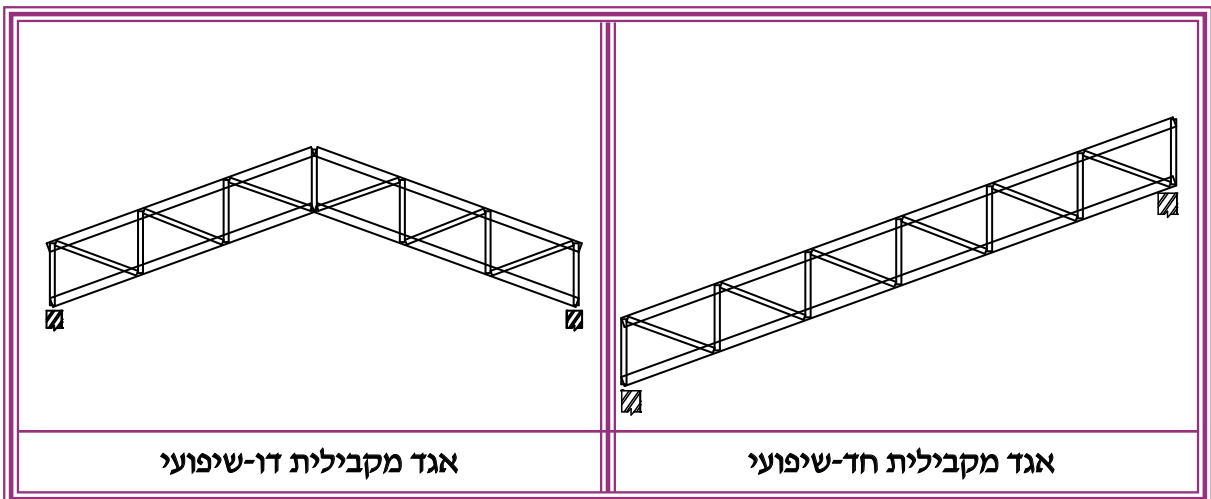


ב. אגד Attic המאפשר את ניצולו של חלל הגג למחייה או לאחסנה



ג. אגד מקבילית ומספריים

צורת האגד קובעת למעשה את מראה הגג, הן מבחוץ והן מבפנים.
להלן מספר צורות פופולאריות בנוסף לאגדים הדו-שיפועיים והחד-שיפועיים:





גג רעפים עם תיקרה משופעת



גג כיפתי בשילוב אגדים חד-שיפועיים



גג אגדים דו-שיפועי עם תיקרה קמורה



גג דו-שיפועי עם תיקרה אלכסונית ואופקית



גג Attic לניצול חלל הגג



גג על גבי תיקרה יצוקה עם ניצול חלל הגג



גג דו-שיפועי מאגדי עץ מתועשים



אגדי "בוידם" - אזור אחסון בגג



אגד Attic לניצול חלל חגג



גג Attic לניצול חלל חגג

4. דרישת התקן וחוק התכנון והבניה

ת"י 1556 "גגות קלים" משנת 2005 הוא תקן מחייב. חוק התכנון והבניה מציין במפורש שיש לתכנן גגות בישראל על פי תקן זה. התקן מציין את שיש לפרט בתכנית הגג. אין די בשרטוט סכמתי של הגג המציין לכל היותר את חתך קורות הגג.

תכנית הגג אמורה על פי התקן להכיל פרטים אלו:

1. מיקום האגדים, קורות, עמודים ופרופילי הקשחה.
2. חתכי הפרופילים של מרכיבי הגג, סוג ומידות.
3. פרטי חיבור בין האגדים לשלד המבנה.
4. מפרט מערכת הסיכוך: רעפים, איטום, בידוד, פחחות וכו'...

תהליך בניית הגג מתחלק ל-3 שלבים - **תכנון, ייצור והרכבה** - ומתחיל לאחר שהאדריכל סיים את השרטוט הצורני של המבנה.

5. תהליך בניית הגג:

א. **תכנון הגג** - על מנת שהמהנדס יוכל לתכנן את קונסטרוקציית הגג, הוא חייב את הנתונים הבאים:

1. שרטוט אדריכלי של הגג שכולל מבט על, חזיתות וחתכים.
 2. עומסים: עומס עליון - רעפים, שלג, רוח ושונות (מיכלי מים וכו'); עומס תחתון - תקרה, עומסים מיוחדים (מנורות, מיכלי מים, תעלות מיזוג וכו').
 3. שיפועי הגג.
 4. סוג ארגז הרוח.
 5. סוג הבידוד.
 6. חומר: האם הקונסטרוקציה היא מעץ או פלדה.
- עם נתונים אלו המתכנן מתחיל את תהליך התכנון שבסיומו תשורטט תכנית גג שתכיל את הפרטים שפורטו למעלה.

שיפועי גג מינימאליים:

- רעפי חרס 40%
- רעפי בטון 35%
- רעפי פלדה 15%
- רעפים+לבידה ואיטום 20%

ב. **ייצור הגג** - במידה והגג מורכב על גבי תקרה יצוקה, יש לספק לגגן קורות באורכים משתנים על מנת להקל עליו את הרכבת הגג. כמו כן יש לספק לו את כל מרכיבי הגג כגון מחברים, ברגים, מסמרים וכל הנדרש, ולהמנע מהאפשרות של חיבור חלקי הגג השונים באמצעות אביזרים מאולתרים.

אם הגג הוא גג אגדים, מומלץ לספק לגגן אגדים מורכבים או תכניות ייצור מפורטות, עבור כל אגד בנפרד. בתכניות אלו יפורטו מספר הברגים הדרושים בכל חיבור בגגות פלדה, או מספר המסמרים הדרושים באגדי העץ.



חיבור באגד עץ עם מחבר מדגם " CAM " של מייטק



חיבור אופייני באגד מעץ. האלקסונים עשויים מלוחות



חיבור אופייני בגג מפרופילי פלדה "אולטראספן" של מייטק.

להלן רשימת הפריטים הנדרשים לגגן לצורך ביצוע הרכבה נכונה של הגג :

1. תכנית גג מפורטת.
2. חומר גלם : אגדים מתועשים או קורות החתוכות למידה.
3. מרישים.
4. בידוד.
5. פרטי חיבור רלוונטיים, זוויתנים, ברגים וכו'.

את הרעפים יזמין הגגן בעצמו. הנתונים להלן, שיימסרו לגגן על ידי המתכנן יסייעו לו רבות בביצוע הרכבת הגג :

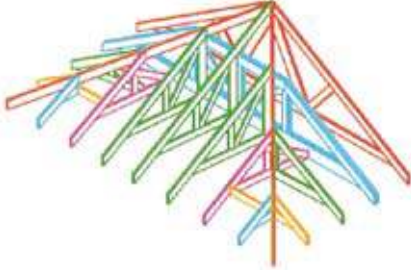
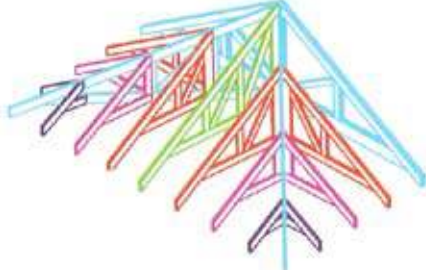
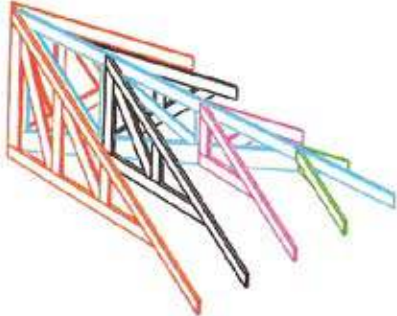
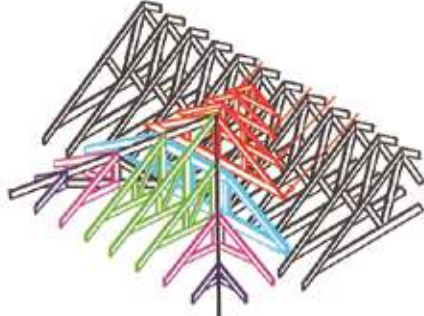
6. מידות שטח הגג.
7. אורך הרכסים (חיוני להזמנת רוכבים).
8. כמות רעפים סופיים.
9. כמות רעפי אוורור.
10. כמות רעפי צד.

ג. **הרכבת הגג** - תהליך הרכבת הגג הנו עבודה המבוצעת בתנאי מזג אויר משתנים. הגגן, העוסק במלאכת התקנת הגג, חשוף בחודשי הקיץ לקרינת השמש ולפגעי גשם וטמפרטורות נמוכות בחודשי החורף. חובת המתכנן לתכנן את הגג כך שתאפשר את ביצוע הרכבתו באתר על-ידי הגגן בזמן הקצר ביותר.

לפני תחילת העבודה חובת הגגן לוודא את הדברים הבאים :


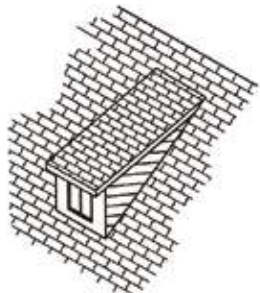


1. שתכניות הגג ברורות לו. מומלץ למסור לגגן את תכניות הגג זמן מה לפני מועד ביצוע הרכבת הגג.
 2. השוואה ובדיקת תאימות בין מידות המבנה בתכנית למידות המבנה בשטח.
 3. ביצוע בדיקה יסודית של כל חומרי הגלם והאביזרים אשר נתקבלו, על פי המפורט בתעודת המשלוח. כמו כן חובה על הגגן לוודא כי הנו מכיר ומבין את כל חומרי הגלם והאביזרים שנתקבלו ואת תפקודם ויעודם בהרכבת הגג.
- רק בשלב זה יכול הגגן לגשת להרכבת הגג. ראה שלבי הרכבת הגג בהמשך בפרק ה'.

6. פתרונות למיקום האגדים

	
<p>פינה שלשה שיפועים - אגד נושא קטום</p>	<p>פינה שלשה שיפועים אגד נושא במפגש הרכסים</p>
	
<p>פינה בגג</p>	<p>חיבור בין גגות בניצב "T"</p>

7. קוקיות

להלן ארבעת סוגי הקוקיות:

	
<p>חד שיפועי-דפנות משופעות</p>	<p>חד שיפועי-דפנות ניצבות</p>
	
<p>דו שיפועי</p>	<p>שלשה שיפועים</p>



בית עם 3 קוקיות



קוקייה דו שיפועית

ד. קונסטרוקציית הגג - הוראות למתכנן

1. אחריות המתכנן

חוק התכנון והבניה מגדיר את הגג כשלב הבניין ומפרט את אחריות המתכנן. האחראי לתכנון הגג הוא המהנדס/הנדסאי.
תכנון מפורט של הגג המלווה בחישובים סטטיים צריך להיות מצורף לתיק ההגשה הנמסר לוועדה המחוזית בעת הכנת הבקשה להיתר בנייה. באם המתכנן מאפשר לגגן "לתכנן" את הגג באמצעות אלתורים ופתרונות "מצוצים מהאצבע", הוא למעשה מועל בתפקידו וחשוף לתביעה משפטית. במעשיו (או בחוסר מעשיו) הוא מסכן את חיי הדיירים, היות וקיימת סכנה ממשית כי בהעדר תכנון נאות ואחראי יקרוס הגג, ודוגמאות לכך יש למכביר.

2. תקנים

ת"י 1556 "גגות קלים" מתייחס הן לגגות העשויים משלד עץ והן לגגות העשויים מפלדה דקת דופן.
מכיוון שאין עדיין תקן ישראלי ייחודי לפלדה דקת דופן, מפנה ת"י 1556 את המתכנן לתקנים בינלאומיים, ובמיוחד לתקן האמריקאי AISI.
להלן התקנים הרלוונטיים בתכנון גגות:

- ת"י 1556 - גגות קלים
- ת"י 412 - עומסים במבנים, עומסים אופייניים.
- ת"י 414 - עומסי רוח.
- ת"י 4030 - ארגזי רוח ופרטי גמר.

3. סוגי פרופילים

כל פרופיל המוצא את עצמו כחלק מקונסטרוקציית הגג מאופיין ע"י שני קריטריונים, צורה וסוג חומר.
א. **פרופילי עץ** - שני גורמים משפיעים על חוזק העץ, צפיפות ועיניים.

עצים הצומחים באזורים חמים המשופעים בגשם, גדלים מהר ועל כן צפיפותם קטנה, וגם חוזקם. העיניים הקיימות בגוף העץ מחלישות אף הן את הקורות. שיקול זה נלקח בחשבון בעת מיון וסיווג הקורות ונעשה בדרך כלל במנסרה.

למן הרגע בו מוטבע סוג העץ על קצה הקורה, יודע המהנדס בוודאות את חוזקה, ויכול להשתמש בו לתיכנון האגד הרצוי. אין זה מתפקידו של המתכנן למיין את קורות העץ באתר, אלא במקרים שבהם מתעורר החשש כי אין תאימות בין הקורות אשר סופקו ובין ההטבעה עליהן. **אין בשום אופן לייחס את חוזקה של הקורה למדינת המוצא.** בעבר הייתה התייחסות בתקן הגגות הישן לעץ על פי מדינת המוצא, אבל גישה זו מוטעת.

בת"י 1556 בטבלה א'1- מסווג העץ לפי קטגוריות המקובלות בעולם ובמיוחד באירופה, שממנה מיובא רוב העץ לישראל. היות ובעבר הורגלנו למיין עץ על פי מדינת המוצא, והעץ הפופולארי לקונסטרוקציה היה פיני (5), אני מציע למתכנן להשתמש בהמרה זו:

פיני (5) = C30

פיני (6) = C24

סוג העץ	* חוזק בכפיפה	* חוזק במתיחה במקביל לסיבים	* חוזק בלחיצה במקביל לסיבים	מודול אלסטיסיות	משקל סגולי
C24	24 מגפ"ס	14 מגפ"ס	21 מגפ"ס	11,000 מגפ"ס	420 ק"ג למ"ק
C30	30 מגפ"ס	18 מגפ"ס	23 מגפ"ס	12,000 מגפ"ס	460 ק"ג למ"ק

***הערה:** הטבלה לעיל הנה עבור ערכים אופייניים. לקבלת חוזקי תכן יש להתאים ערכים אלו על ידי הכפלה במקדמי התיקון המופיעים בתקני התכן.

כלל אצבע: המאמץ המותר בתכנון הוא כחצי מהניתן בטבלה לעיל.
 בחישוב המאמצים בקורות יש להכפיל את העומסים במקדמים 1.4 ו- 1.6 כמפורט בת"י 412.

עץ גושני - החתכים הנפוצים בארץ לקורות עבור גגות הם:

חתך נומינאלי	מידה לפני הקצעה (מ"מ)	מידה לאחר הקצעה (מ"מ)
אורך 5x10	50x100	45x95
אורך 5x15	50x150	45x145
אורך 5x20	50x200	45x195
לבן 5x10	44x100	לא מקציעים
לבן 5x15	44x150	לא מקציעים
לבן 5x20	44x200	לא מקציעים

הערה: לבן = אשוח.

מידות נומינאלית נפוצות של עצים גושניים			
	7x20	7x15	7x10
		10x20	10x15
15x30	15x25	15x20	15x15
	20x30	20x25	20x20
			25x25
			30x30

ניתן למצוא עץ גושני גם במידות אחרות. עץ גושני זה מסופק בדרך כלל על פי דרישת הלקוח.

עץ רב שכבתי - במקרים שבהם יש דרישה תכנונית או ויזואלית לקורת עץ בחתך גדול ישנה אפשרות להגיע לחתכים כאלה באמצעות הדבקה של פרוסות עץ האחת לשנייה, ולהגיע לכל מידת חתך רצויה. במקרים של שימוש בעץ רב-שכבתי יש לשים לב לשני דברים:

1. כי העץ מיוצר על ידי יצרן בעל רישיון ויידע בייצור קורות מסוג זה. עץ רב-שכבתי שהפרוסות המרכיבות אותו אינן מודבקות כראוי עלול לגרום לקריסת הקונסטרוקציה כתוצאה מהיפרדות פרוסות העץ.
2. כי ניתן לקבל מהיצרן נתונים מדוייקים לגבי חוזק הקורה. טעות נפוצה היא להניח כי קורות המיוצרות מעץ רב שכבתי הן בעלות חוזק גדול יותר מקורות המיוצרות מעץ גושני. יצרני קורות רב-שכבתיות עושים שימוש, בצדק, בסוגי עצים שונים בייצור קורות אלו, כשפרוסות העץ בשכבות החיצוניות הן מאיכות גבוהה, ואילו שכבות העץ במרכז הקורה הן בצפיפות נמוכה. היצרן חייב לציין על גבי הקורה את סוג העץ. למאמצים מותרים בקורות רב שכבתיות, ראה ת"י 1556 טבלה א'-2.



ייצור קורות בחתך גדול תוך שימוש במחבר הממוסמר

ב. **פרופילים מפלדה דקת דופן** - בתכנון עם פלדה דקת דופן, יש לקחת בחשבון שני דברים :
 א. נתוני הפרופיל, ב. עובי הגליון.

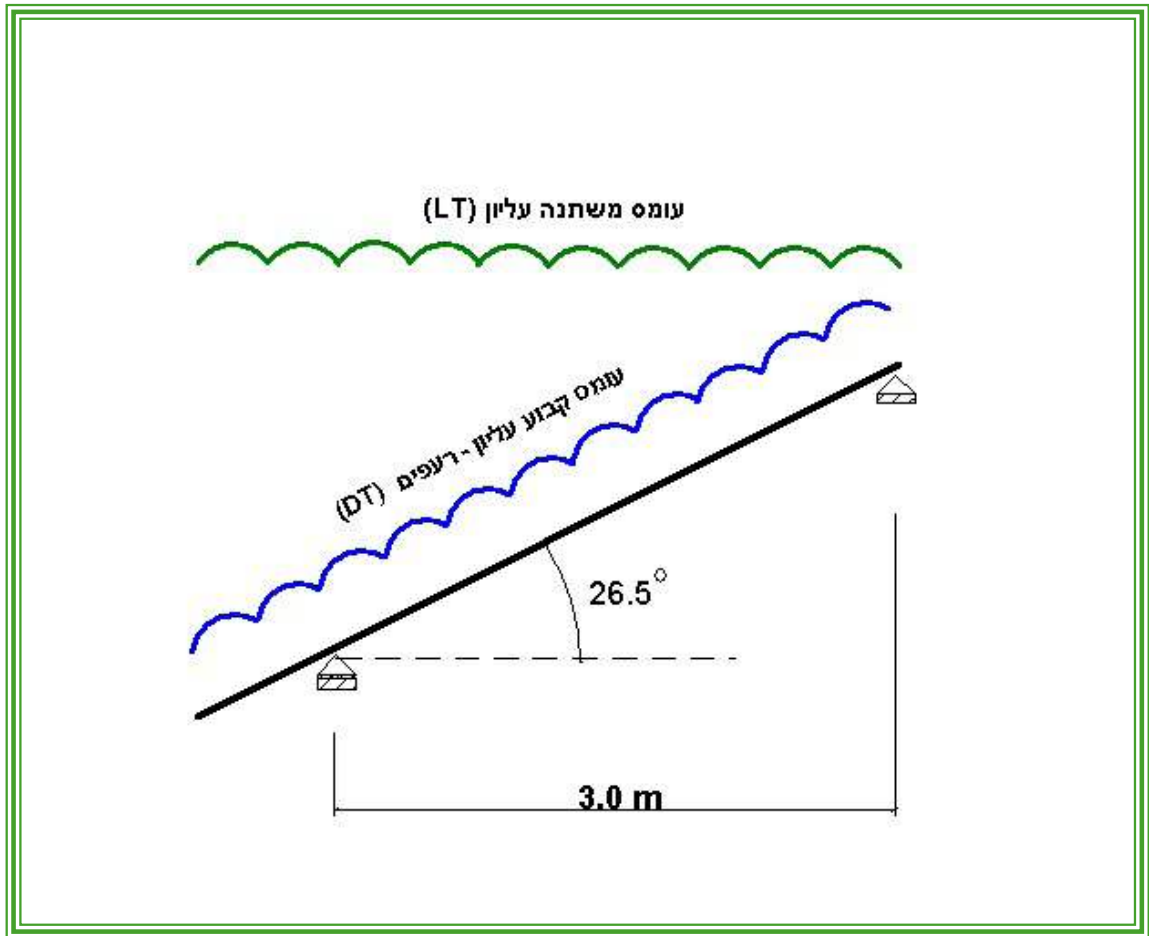
1. היות ותכנון קונסטרוקציה בפלדה דקת דופן מסובך הרבה יותר מתכנון בעץ, עושים יצרני הפרופילים לגגות שימוש בתכנת מחשב ייעודית, בתכנון הגגות. ככלל, זמינה תוכנת מחשב זו לכל מתכנן בלא כל עלות כספית בהתניה כי בפלט יצויין מקור התוכנה וייעשה שימוש בפרופילי הספק. השימוש במפרט של יצרן אחד וייצור בפרופילים של יצרן אחר מסוכנת. למשל, חברת מייטק עושה שימוש ב פרופילים המיוצרים על ידה, בפלדות מיוחדות בעלות מאמץ כניעה של $YP=300\text{mpa}$ ו- $YP=400\text{mpa}$ (מאמץ כניעה). הפלדה הנפוצה בישראל היא בעלת מאמץ כניעה של $YP=220\text{mpa}$. ברור לכל בר דעת כי השימוש בפרופיל בעל מאמץ כניעה של $YP=220\text{mpa}$ בהרכבת גג שתוכנן עם פלדה במאמץ כניעה של $YP=300\text{mpa}$ עלול לגרום לקריסת הגג.

2. גליון הפלדה מקנה לה עמידות ארוכת שנים. דרישות התקן הישראלי הוא לגליון של 275 גרי למ"ר (20 מיקרון). משקל הגיליון מתייחס לסך כל האבץ המכסה את הפלדה משני צידיה.

דוגמה לפרופילים דקי דופן של חבי מייטק :

מק"ט	חוזק	מידה	פרופיל
USC140x1.0A	$YP=300\text{mpa}$	140x44x1.0mm	 <p>קורה</p>
USC140x1.2A	$YP=300\text{mpa}$	140x44x1.2mm	
USC140x1.5A	$YP=300\text{mpa}$	140x44x1.5mm	
USW76x1.2A	$YP=300\text{mpa}$	76x22x1.2mm	 <p>אלכסון</p>

4. דוגמא לתכנון קורת עץ בכפיפה.



בתכנון קורה יש לחשב לשני קריטריונים (א) למאמץ בכפיפה (ב) לשקיעה.

א. חישוב הקורה בכפיפה

DT : עומס קבוע עליון = 70 ק"ג/מ"ר

LT : עומס משתנה עליון = 50 ק"ג/מ"ר

מרווח בין קורות = 75 ס"מ

חישוב המומנט :

$$M = W \times L^2 / 8$$

לקבלת עומס תכן יש להכפיל את העומסים במקדמים 1.4 ו-1.6 המפורטים בת"י 412.

$$W = (70 / \cos(26.5) \text{ kg/m}^2 \times 1.4 + 50 \text{ kg/m}^2 \times 1.6) \times 0.75 \text{ m} = 142 \text{ kg/m}$$

$$L = 3.0 \text{ m}$$

$$M = 142 \times 3^2 / 8 = 160 \text{ kg} \cdot \text{m} = 1.6 \text{ kn} \cdot \text{m}$$

נניח שימוש בקורה 5x15 אורך פיני (5).

$$\sigma = M / Z$$

$$Z = B \times H^2 / 6 = 45 \times 145^2 / 6 = 157687 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = 1,600,000 \text{ n} \times \text{mm} / 157,687 \text{ mm}^3 = 10.14 \text{ n/mm}^2 \text{ (mpa)}$$

כעת יש לבדוק שהמאמץ בקורה קטן מהמאמץ המותר.
מאמץ מותר (ערכים אופייניים) מהטבלה = 30 mpa
יש לכפול ערך זה במקדמי התיקון:

מקדם לזמן העמסה גדול מעשר שנים : $K1 = 0.8$

מקדם לגודל החתך : $K2 = 1.0$

מקדם זחילה : $K3 = 1.5$

$$\sigma (\text{allowed}) = 30 \text{ mpa} \times k1 / k3 = 30 \times 0.8 / 1.5 = 16 \text{ mpa}$$

היות והמאמץ המותר $10.14 \text{ mpa} < 16 \text{ mpa}$ שהוא המאמץ המחושב, הקורה מאושרת.

ב. חישוב השקיעה:

בחישוב השקיעה רק העומס הקבוע נילקח בחשבון. העומס שנילקח בחשבון איננו מוכפל במקדמים וגם מודול האלסטיות נילקח בערכו שבטבלה.
בתכנון השקיעה בקורת עץ יש להכפיל את השקיעה המחושבת במקדמי זמן העמסה 0.8 וזחילה 1.5.

$$f = \frac{5 \times Q \times L^3}{384 \times E \times I}$$

$$Q = 70 / \cos(26.5) \times 3 \times 0.75 = 176.1 \text{ kg} = 1761 \text{ n}$$

$$L = 3000 \text{ mm}$$

$$E = 12,000 \text{ n/mm}^2 (\text{mpa})$$

$$I = B \times H^3 / 12 = 45 \times 145^3 / 12 = 11,423,343 \text{ mm}^4$$

$$f = \frac{5 \times 1761 \times 3000^3}{384 \times 12,000 \times 11,432,343} = 4.5 \text{ mm}$$

$$f (\text{שקיעה ארוכת טווח}) = 4.5 \times (1.5/0.8) = 8.4 \text{ mm}$$

$$f (\text{allowed}) = 3000/300 = 10 \text{ mm} \quad \text{השקיעה המותרת:}$$

היות ו $10 > 8.4$ הקורה מאושרת.

סיכום: קורה 5x15 מעץ פיני (5) מאושרת מבחינת חוזק ושקיעה.

5. פרטי חיבור

פרטי החבור בין הקורות באגדים הם בחשיבות עליונה. חוזק האגד הוא פונקציה של פרטי החיבור שבו.

א. פרטי חיבור בעץ:

1. חיבור בחפיה + מסמור: חיבור זה הוא בדרך כלל חיבור שנעשה על ידי

חביקה של שני לוחות, בדרך כלל בעובי 22 מ"מ, את הקורה הראשית שעובייה בדרך כלל 44 מ"מ. אלכסוני האגד מחושבים לשאת כוחות ציריים בלבד. יש לחשב את כמות המסמרים הדרושים על פי המפורט בת"י 1556 טבלה ב-1 \ ב'-2, ערכי חוזק אופייניים במסמור, ולמקמם באזור החפיפה במרווחים כמפורט בת"י 1556 טבלה ג'-1.

ערכי חוזק למסמרים

(סוג עץ c24)

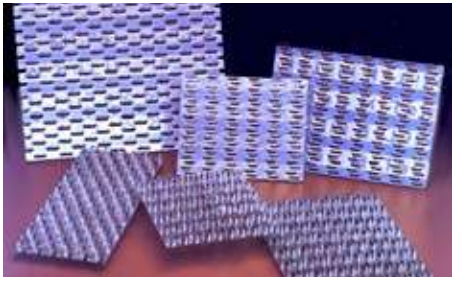
מסמר (ס"מ)	קוטר המסמר	גזירה
4	1.9 מ"מ	20 ק"ג
5	2.4 מ"מ	25 ק"ג
6	2.8 מ"מ	30 ק"ג
7	3.1 מ"מ	35 ק"ג
8	3.4 מ"מ	40 ק"ג
10	4.2 מ"מ	55 ק"ג



חיבור אופייני בגג אגדים מעץ - האלכסונים עשויים משני לוחות חובקים.

בחיבור חובק יש להקפיד על המרווחים בין המסמרים. הכנסת מסמרים רבים מדי בציפות גדולה, תוך אי-הקפדה על המרווחים ביניהם תגרום לסדקים בעץ.

2. **המחבר הממוסמר (Nail Plate)** : מחבר זה הומצא בשנות ה-50 של המאה הקודמת בארה"ב וכבש, בצדק, את מקומו הנכבד בפסגת תעשיית האגדים המתועשים בעולם. מחבר זה בנוי משתי פלטות פלדה מגולוונת בעובי של 1-1.5 מ"מ, שממנה נלחצו החוצה בליטות מסמור. המחברים הממוסמרים מסופקים במידות שונות. כל מסמר הנו בעל כושר לשאת עומס - כפונקציה של הזווית בין המחבר לסיבי העץ. למרות שניתן לחשב באמצעים פשוטים יחסית את גודל המחבר בכל צומת באגד, יצרני המחברים מספקים, ללא כל תמורה, תוכנת מחשב לתכנון אגדים באמצעות מחברים אלו. ניתן לתכנן אגדים עד למפתח של 15 מ' ללא כל צורך בתמיכה אמצעית.



המחבר הממוסמר



**ייצור אגדים מתועשים
תוך שימוש במחבר הממוסמר**



**המחשת החדרת המחבר
הממוסמר לתוך העץ**

אגדים מתועשים (Nail Plated Trusses) : אגדים המיוצרים באמצעות המחבר הממוסמר נקראים **אגדים מתועשים** והם ניתנים לייצור אך ורק במפעל המייצר אגדים. את המחבר הממוסמר יש להחדיר לתוך העץ על ידי לחיצה במכבש. אין כל אפשרות להחדיר את המחבר אל תוך העץ באמצעות פטיש. הקורות והאלכסונים באגדים משיקים ויוצרים אגדים במישור אחיד. תוכנת התכנון מבצעת לרוב חישוב אופטימיזציה ומאפשרת תכנון אגדים תוך ניצול אופטימאלי של העץ. יתרון נוסף באגדים מסוג זה הוא ההיתר שיש בתקן המאפשר לייצר אגדים מתועשים בעץ בעובי 38 מ"מ לעומת אגדים "קונבנציונאליים" בהם ייצור האגדים מבוצע בעץ בעובי 44 מ"מ. יתרון המאפשר חיסכון בעץ וכן חיסכון בעלויות חומרי הגלם.



אגדי עץ מתועשים - חיבור עם המחבר הממוסמר

3. **חיבור בהדבקה:** מתוך שלושת החיבורים, החיבור בהדבקה אינו נפוץ ולכן לא ארחיב לגביו. ציינתי אותו רק מכיוון שהוא קיים והיה נפוץ בעבר.

ב. פרטי חיבור באגדי פלדה.

פרטי החיבור בפלדה מבוססים על חיבור באמצעות ברגים קודחים שתפקידם הוא העברת הכוחות בגזירה. מאמץ הגזירה הוא פונקציה של קוטר הבורג ועובי הפלדה אשר ממנה מיוצרים האגדים. להלן מאמצים מותרים לברגים קודחים נפוצים:



קוטר הבורג	עובי הפלדה	מאמץ גזירה מותר	מאמץ שליפה מותר
5.5 מ"מ	1.0 מ"מ	1.24 ק"י	0.43 ק"י
5.5 מ"מ	1.2 מ"מ	1.90 ק"י	0.74 ק"י
5.5 מ"מ	1.5 מ"מ	2.10 ק"י	0.90 ק"י

(* נתונים אלו מבוססים על המלצת "ITW BUILDEX" (ארה"ב))

		
חיבור פינה	חיבור אמצע	חיבור ברכס
פרטי חיבור אופייניים באגדי פלדה דקת דופן		

ברוב המקרים בתכנון גגות יש לחשב את חיבור האגד לשלד הבטון של המבנה. להלן נתונים שימושיים של יכולת הנשיאה של בורגי ג'מבו וחץ בחיבור לבטון:

סוג הבורג	עומק קדיחה מינימאלי	כוח גזירה ממוצע (*)	כוח שליפה ממוצע (*)
ג'מבו 5/16"	32 מ"מ	790 ק"י	1,200 ק"י
עוגן "חץ" 10 מ"מ	42 מ"מ	2,000 ק"י	2,300 ק"י
עוגן "חץ" 12 מ"מ	55 מ"מ	3,000 ק"י	2,900 ק"י

(* לחישוב המאמץ המותר יש לקחת 25% מנתוני שליפה וגזירה אלו.)

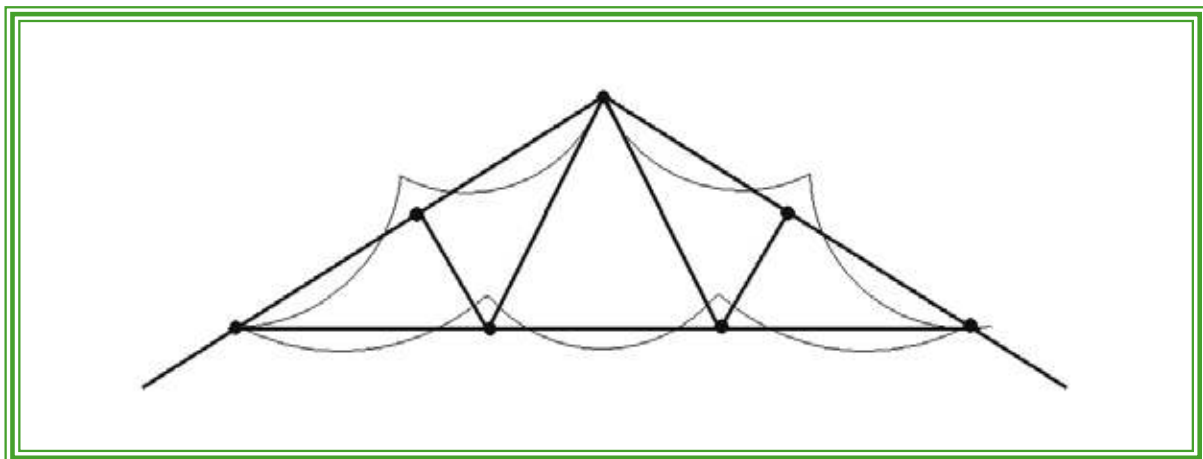
6. כללי תכנון בסיסיים

כל הגגות הנם מבנים מרחביים אשר אינם מוגדרים סטטית, ולכן הפתרון האידיאלי הוא שימוש בתוכנות ייעודיות לתכנון גגות. פתרון זה מחייב בעלות על תוכנת מחשב לתכנון גגות והתמחות בהפעלתה. במקרים רבים נכפית על המתכנן מציאות של תכנון באמצעות כלים פשוטים יותר. לכלים פשוטים אלה מוקדש סעיף זה. האגדים הנם מקבץ של משולשים. אילו היינו מניחים שכל החיבורים באגד הנם חיבורי פיין-פיין, ניתן היה לתכנן את הכוחות הפועלים על הקורות והאלכסונים תוך דקות מספר אך לא כן הוא.

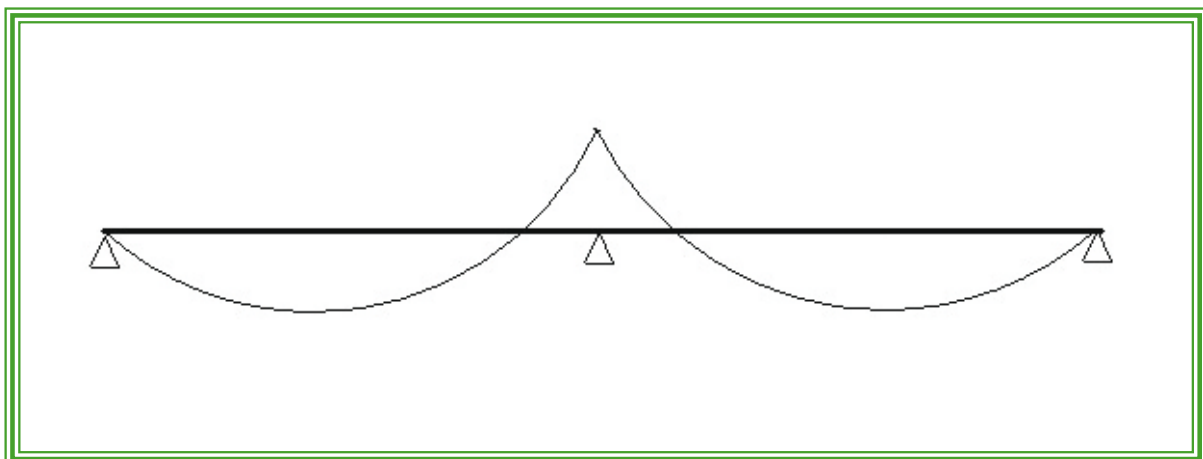
הצמתים הם מסוג קשיח חלקית (Semi Rigid). בכדי לאפשר בכל אופן תכנון קל של אגדים פרסמה האגודה האמריקאית לבניית אגדים מתועשים במסמך מטעמה (TPI74) כללי אצבע לחישוב אגדים.

להלן תמצית ההנחיות:

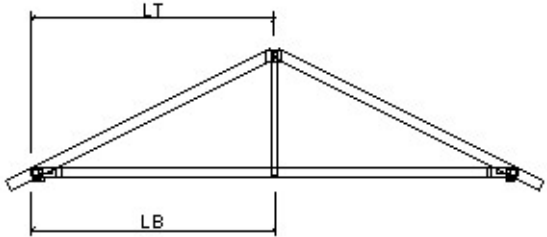
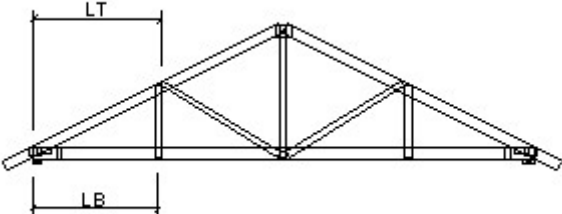
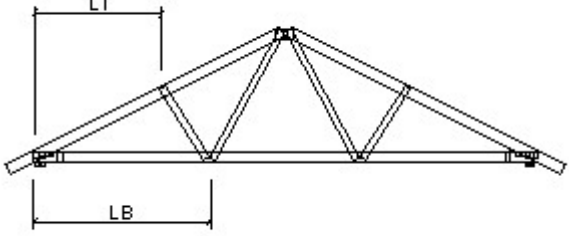
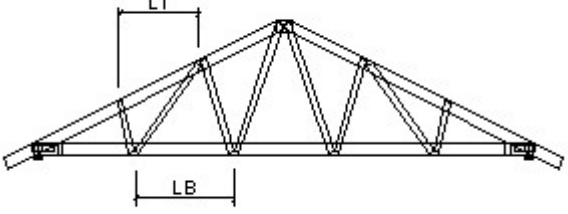
כל קומפוננט באגד נמצא בלחיצה או במתיחה. בקורה העליונה והתחתונה יש בנוסף מומנט כפיפה. באלכסונים יש רק כוחות ציריים. את הכוחות הציריים באגד נחשב כאילו כל החיבורים באגד הם חיבורי פיין.



לחישוב המומנטים בקורה העליונה ובקורה התחתונה, מניחים שהקורות רציפות על גבי סמכים שהם למעשה הצמתים. למשל, באגד שלעיל מהלך המומנטים של הקורה העליונה הוא כדלקמן:

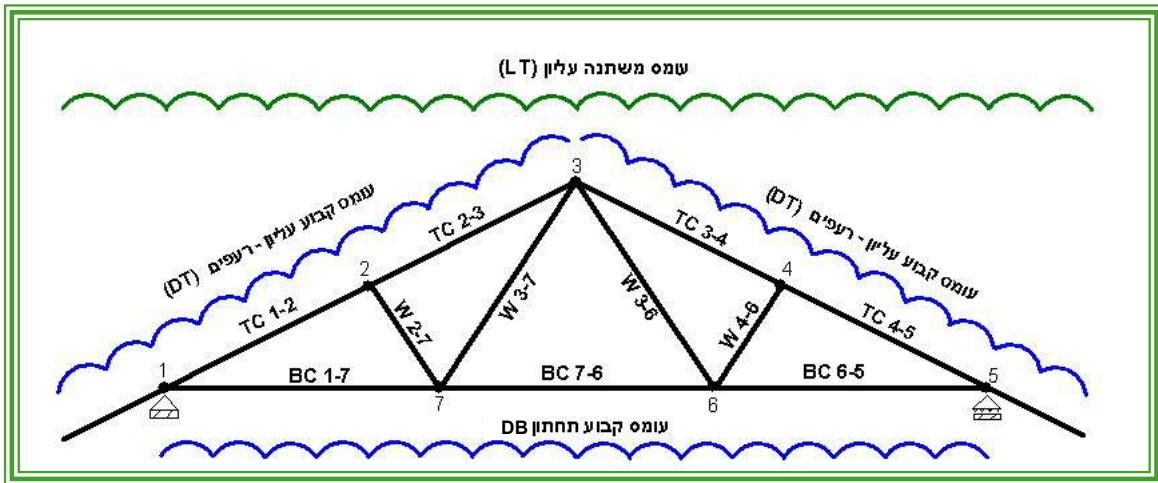


להלן המלצת TPI74 לחישוב המומנט המקסימאלי באגדים:

<p>חישוב מומנט בקורה העליונה MT ובקורה התחתונה MB</p>	<p>אגד אופייני</p>
$MT = \frac{WT \cdot LT^2}{9}$	
$MB = \frac{WB \cdot LB^2}{8}$	
$MT = \frac{WT \cdot LT^2}{10}$	
$MB = \frac{WB \cdot LB^2}{8}$	
$MT = \frac{WT \cdot LT^2}{10}$	
$MB = \frac{WB \cdot LB^2}{8}$	
$MT = \frac{WT \cdot LT^2}{11}$	
$MB = \frac{WB \cdot LB^2}{8}$	

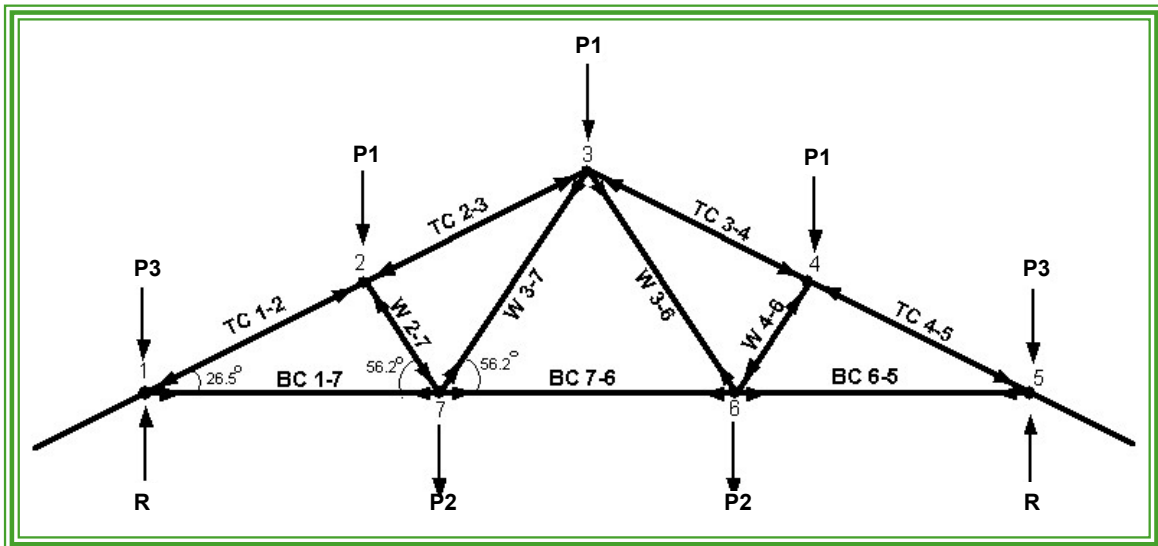
עומס רציף עליון = WT
עומס רציף תחתון = WB

7. דוגמא לחישוב כוחות צירים ומומנטים באגד



DT : עומס קבוע עליון = 50 ק"ג/מ"א
 LT : עומס משתנה עליון = 40 ק"ג/מ"א
 DB : עומס קבוע תחתון = 20 ק"ג/מ"א
 מפתח = 10 מ'
 שיפוע = 50%

חישוב הכוחות הציריים והמומנטים נעשה בשלושה שלבים :
 שלב א' : המרת עומס רציף לעומס נקודתי בצמתים לצורך חישוב הכוחות הציריים באגד.
 שלב ב' : חישוב הכוחות הציריים.
 שלב ג' : חישוב המומנט.
 הערה : מומנטים אלו לא הוכפלו במקדמים ולכן אינם עומסי תכן. זוהי דוגמא חישובית בלבד.



שלב א' : המרת עומס רציף לעומס נקודתי בצמתים לצורך חישוב הכוחות הציריים באגד.

$$P1 = LT \times 10/4 + [DT/\cos(26.5)] \times 10/4 = 40 \times 10/4 + (50/0.9) \times 10/4 = 239 \text{ kg}$$

$$P2 = DB \times 10/3 = 20 \times 10/3 = 67 \text{ kg}$$

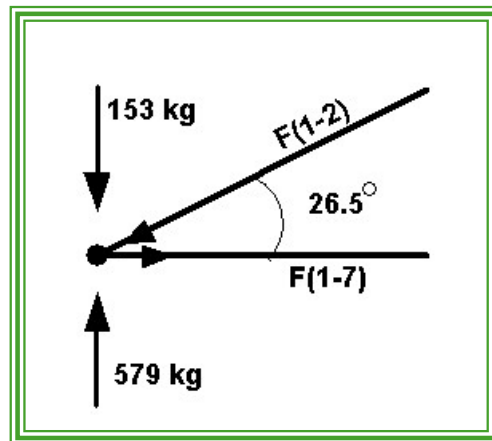
$$P3 = p1/2 + P2/2 = 153 \text{ kg}$$

$$R = P1 \times 1.5 + P3 + P2 = 239 \times 1.5 + 67 + 153 = 579 \text{ kg}$$

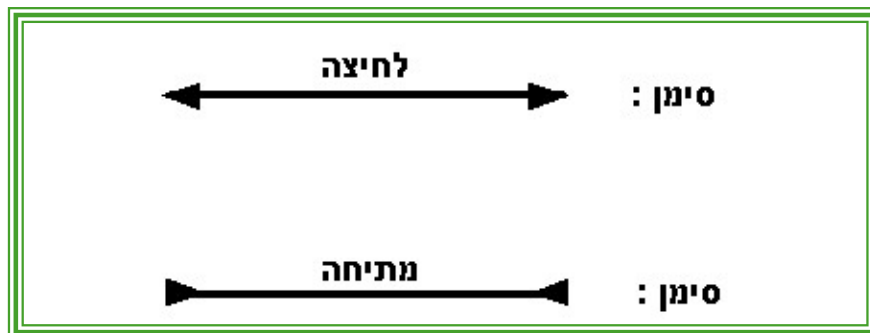
שלב ב' : חישוב כוחות ציריים

נחשב לפי ההנחיות שניתנו בתחילת פרק זה.

צומת 1 :



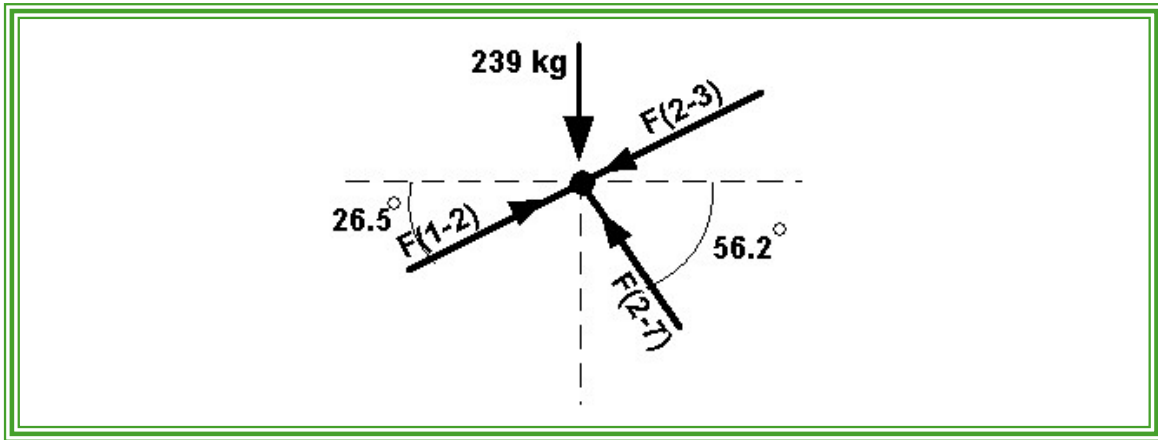
$$\begin{cases} \Sigma F_x = 0 & \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma F_x: & F(1-7) = F(1-2) \times \cos(26.5) \\ \Sigma F_y: & 579 = 153 + F(1-2) \times \sin(26.5) \end{cases}$$



לאחר פתרון המשוואות נקבל :

$$\begin{aligned} F(1-2) &= 955 \text{ kg (לחיצה)} \\ F(1-7) &= 854 \text{ kg (מתיחה)} \end{aligned}$$

צומת 2 :



$$\begin{cases} \Sigma F_x = 0 & \& \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma F_x: & F(1-2) \times \cos(26.5) = F(2-3) \times \cos(26.5) + F(2-7) \times \cos(56.2) \\ \Sigma F_y: & F(1-2) \times \sin(26.5) + F(2-7) \times \sin(56.2) = 239 + F(2-3) \times \sin(26.5) \end{cases}$$

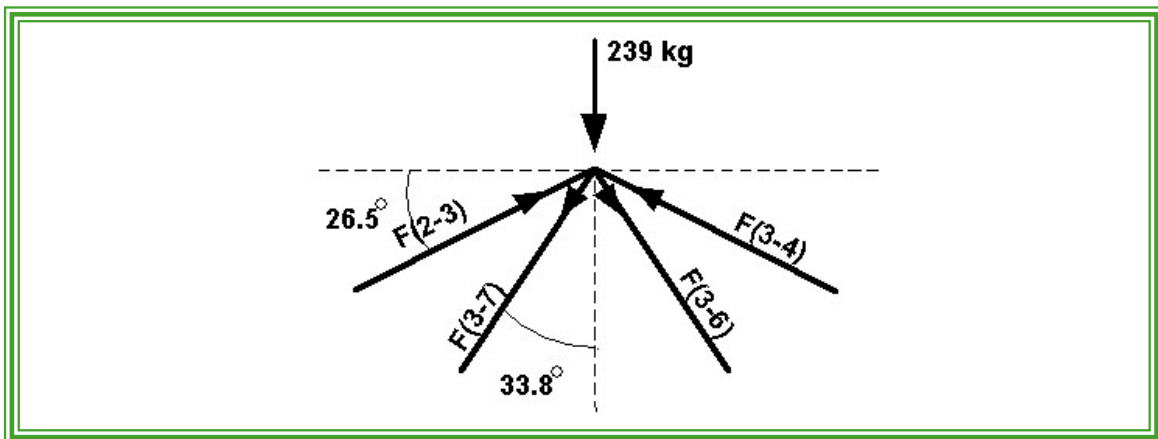
$F(1-2) = 955 \text{ kg}$ נציב

לאחר פתרון המשוואות נקבל :

$F(2-3) = 822 \text{ kg}$ (לחיצה)

$F(2-7) = 215 \text{ kg}$ (לחיצה)

צומת 3 :



$\Sigma F_x = 0$

כאן מספיק משוואה אחת :

$\Sigma F_x: F(2-3) \times \cos(26.5) = F(3-7) \times \cos(56.2)$

$F(2-3) = 822 \text{ kg}$ נציב :

לאחר פתרון המשוואות נקבל :

$F(3-7) = 1323 \text{ kg}$ (מתיחה)

שלב ג': חישוב המומנטים

נחשב את המומנט המקסימאלי בקורה העליונה והתחתונה. באלכסונים אין מומנטים. את המקדמים לנוסחאות ניקח מהטבלה שבעמוד 31.

$$MT = WT \times LT^2 / 10 \quad \text{מומנט מקסימאלי בקורה העליונה :}$$

$$WT = (50 / \cos(26.5) \text{ kg/m}^2 + 40 \text{ kg/m}^2) \times 0.75\text{m} = 72 \text{ kg/m}$$

$$LT = 2.5\text{m}$$

$$MT = 72 \times 2.5^2 / 10 = 45 \text{ kg} \cdot \text{m} = 0.45 \text{ kn} \cdot \text{m}$$

$$MB = WB \times LB^2 / 8 \quad \text{מומנט מקסימאלי בקורה התחתונה :}$$

$$WB = (20 \text{ kg/m}^2) \times 0.75\text{m} = 15 \text{ kg/m}$$

$$LT = 3.33\text{m}$$

$$MB = 15 \times 3.33^2 / 8 = 20.8 \text{ kg} \cdot \text{m} = 0.208 \text{ kn} \cdot \text{m}$$

סיכום:

1. הכוח המקסימאלי בקורה העליונה קיים ב 1-2 וגודלו : (לחיצה) 955kg
2. המומנט המקסימאלי בקורה העליונה הוא : 45kgxm
3. הכוח הצירי המקסימאלי בקורה התחתונה 1-7 הוא : 854kg (מתיחה).
4. המומנט המקסימאלי בקורה התחתונה הוא : 20.8kgxm
5. באלכסונים יש כוחות ציריים בלבד. הכוח באלכסון 2-7 הוא 215kg (לחיצה) ובאלכסון 3-7 1323kg (מתיחה).

הערה: במידה ומשתמשים בשיטת החישוב שבדוגמה זו לתכנון אגד יש להכפיל העומסים במקדמים 1.4 ו- 1.6 שבתקן על מנת לקבל עומסי תכן.

8. עקרונות התכנון

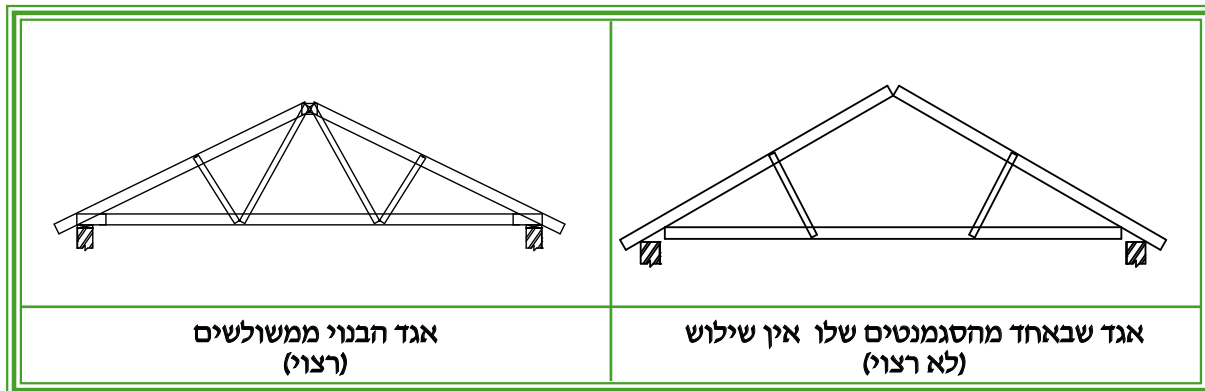
באלכסוני האגד (Webs) יש רק כוחות לחיצה או מתיחה. בקורה העליונה יש כוחות לחיצה וכפיפה ובקורה התחתונה מתיחה וכפיפה. עתה יש לוודא שכל קורה ואלכסון עומדים בדרישה זו:

$$1.0 > \frac{\text{כוח צירי מחושב}}{\text{כוח צירי מותר}} + \frac{\text{מומנט מחושב}}{\text{מומנט מותר}}$$

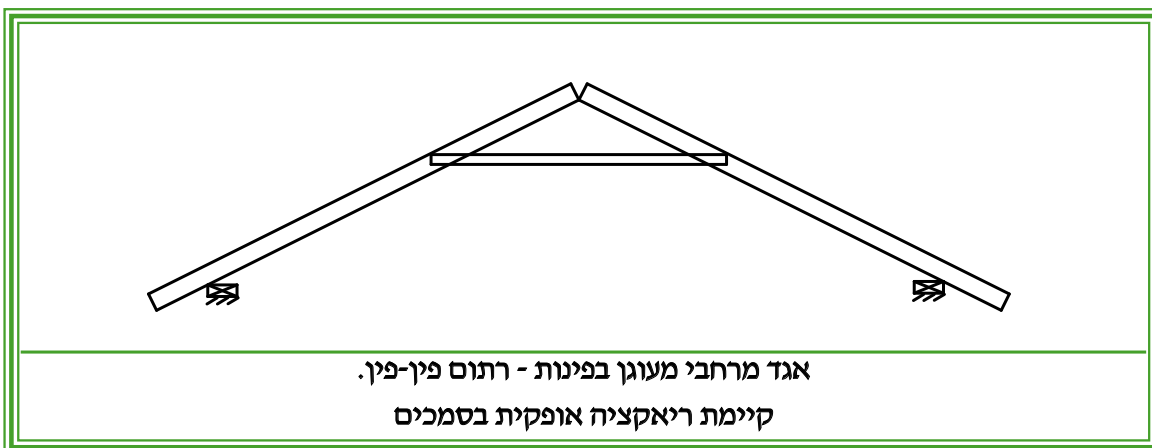
בגגות שבהם האגדים מיוצרים מפרופילי פלדה דקת דופן, חישוב המאמץ הצירי המותר והמומנט המותר כרוך בחישובים רבים, ומשום כך תכנון פשטני של אגדים כפי שמוצע כאן אינו ישים במקרים אלה.

הקפדה על העקרונות להלן תמנע בעיות בקונסטרוקציית הגג:

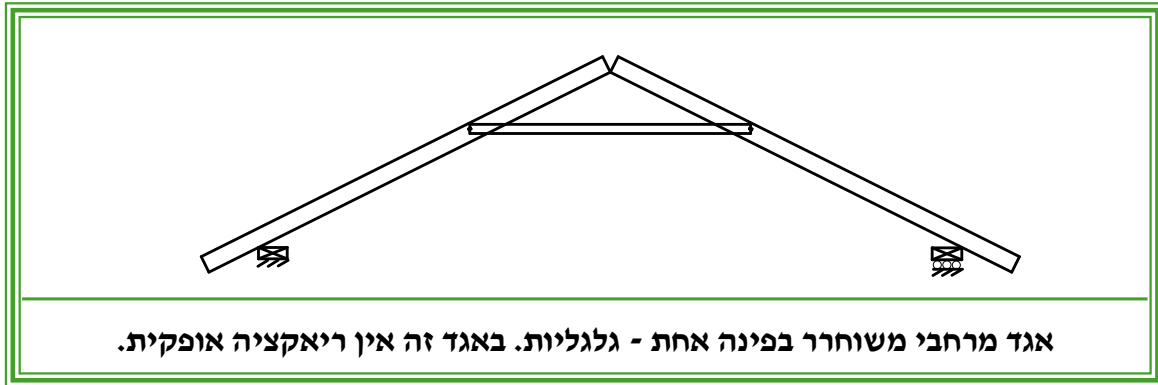
א. **ייצור שילוש באגדים** - יש לשאוף לייצר אגדים שהם מקבץ של משולשים. דרישה זו יוצרת מומנטים מינימאליים בתוך האגד.



ב. **ריאקציות אופקיות** - יש לוודא באופן יסודי כי במידה ותוכנן אגד שהוא רתום לקיר היקפי עם אפשרות להעביר ריאקציה אופקית למבנה, שאמנם הקיר ההיקפי הינו בעל סיבולת ברמה המספקת לספוג ריאקציה זו.



במידה ומסתבר כי הקיר הנושא איננו בעל סיבולת ברמה מספקת בכדי לספוג ריאקציה אופקית, יש לתכנן את האגד כך שלא תהיה לו ריאקציה אופקית. זאת משיגים על ידי שחרור הרתום. שחרור הרתום בקצה האגד ישפיע על התיכנון כך שיחוייב ייצור אגדים עם קורות במידה גדולה באופן ניכר מאשר באגדים רתומים. מבנים שאין ביכולתם לספוג ריאקציה אופקית הנם מבנים מתועשים למיניהם כגון צימרים, קראווילות וכו'...



9. אגדים עם ובלי קורת רכס

בלא יוצא מן הכלל בכל הגגות הדו שיפועיים נשאלת השאלה האם יש צורך לתכנן את הגג עם או בלי קורת רכס. אתיחס למשמעות קורת הרכס בגג, יתרונות וחסרונות.

גג דו שיפועי ללא קורת רכס	גג דו שיפועי עם קורת רכס
יתרונות	
1. חיסכון בחומרי גלם. גג בעלות נמוכה יותר.	1. קורת הרכס מונעת ריאקציה אופקית. 2. קורת הרכס מסייעת בהרכבת הגג. 3. גגנים מעדיפים גגות עם קורת רכס.
חסרונות	
1. הריאקציה האופקית של האגדים משמעותית. פתרון זה מתאים אך ורק למצבים שבהם ניתן להעביר ריאקציה אופקית לקירות התמך. 2. לא מתאים לבתים עם שלד עץ או פלדה.	1. יש לתכנן את קורת הרכס כך שתישא כ- 50% ממשקלו של הגג. 2. גודלה של קורת הרכס עלול לפגוע במראה הגג. 3. יש לוודא חיבור יציב ואיתן של קורת הרכס אל הגמלונים.

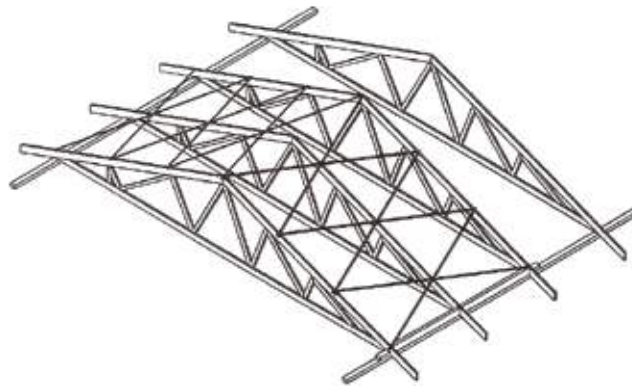
הערה: הוספת קושרת לאגד מקטינה את שקיעתו של האגד ואת מומנט הכפיפה, אך לא מקטינה את הריאקציות.

10. שקיעה

בתיכנון הגג יש לחשב שקיעה מקסימאלית של L/200-L/300, על פי שיקולו המקצועי של המתכנן. המלצתנו היא לשקיעה של L/300. לא ניתן לתכנן את השקיעה המדויקת באגד בלא שימוש בתכנת מחשב ייעודית. ישנם מצבים בהם קריטריון התכנון הדומיננטי הוא השקיעה ולא החוזק. בחישוב שקיעת האגד/קורה, יש להתחשב רק בעומס קבוע, אך אין לשכוח כי בתכנון בעץ יש להכפיל את השקיעה המחושבת בפקטור הזחילה. השקיעה ארוכת הטווח בעץ היא כפולה מהשקיעה המיידית. גורם המסביר מדוע ניתן לראות גגות רבים במצב שקיעה מספר שנים לאחר גמר הרכבתם.

11. הקשחות

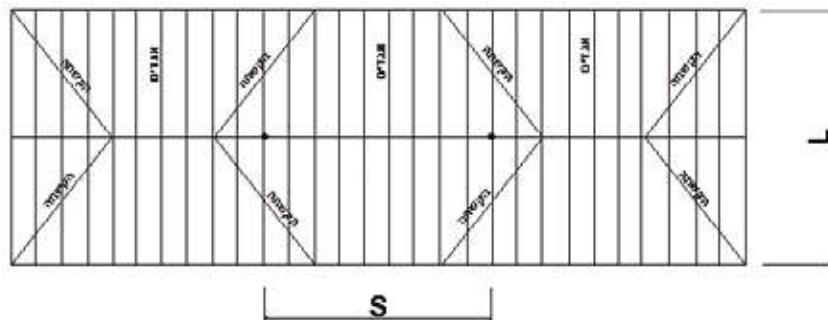
יש לדאוג להקשחת קונסטרוקציית הגג בשני מישורים. הקשחה במישור העליון והתחתון והקשחת האלכסונים.
א. **הקשחת הגג במישור העליון** - יש להקשיח את הגג בכללותו, לשם מניעת אפקט דומינו שהוא למעשה קריסת כל האגדים.



דוגמה להקשחת הגג במישור העליון - פרט "זיג-זג"

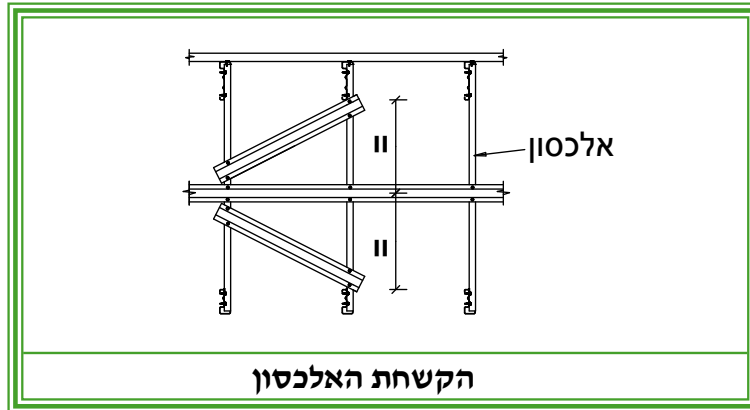
הקשחת הגג מתבצעת בדרך כלל באמצעות התקנת קורות במישור הקורה העליונה. המרווח בין ההקשחות מחושב על פי הנוסחה הבאה:

$$S = 16.5 - 0.3 \cdot L$$

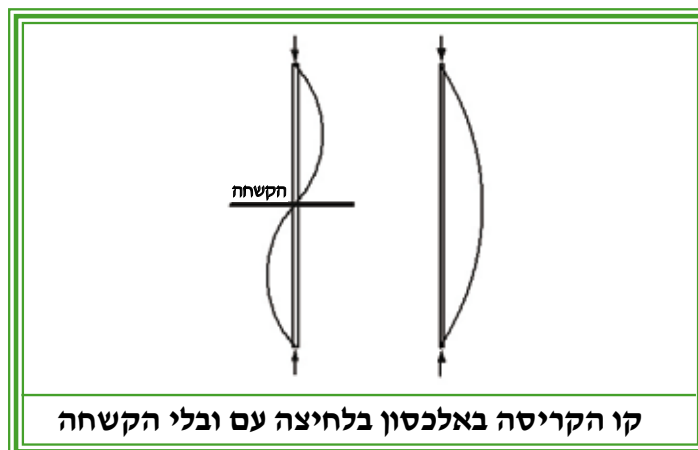


תכנון גג עם 4 הקשחות. "S" = המרווח בין ההקשחות

ב. **הקשחת האלכסונים** - במקרים רבים דרישת המתכנן היא הקשחת האלכסונים כנגד קריסה צידית. ככלל יש להקשיח אלכסונים ארוכים הנמצאים בלחיצה, אך ישנם מקרים בהם גם אלכסון הנמצא במתיחה דורש הקשחה.



חשוב: חוזקו של אלכסון הכולל הקשחה גדול פי ארבעה מאלכסון בלא הקשחה. על המתכנן והגנן להיות מודעים לנתון זה, הניתן גם להגדרה כך: **אלכסון בלא הקשחה ביכולתו לשאת 25% מעומס התכן.**



יש להקפיד על התקנת הקשחות באלכסונים על פי דרישת המתכנן. הקשחת אלכסון לאורכו בלא ההקשחות בהצלבה אינה אפקטיבית. את הצלבות יש למקם במרווחים S על פי הנוסחה שלעיל.

<p>הקשחת אלכסונים בלא הצלבות. לא אפקטיבי. ההקשחה לא מונעת קריסה צידית.</p>	<p>הקשחת אלכסונים עם הצלבות. אפקטיבי. הצלבות אינן מאפשרות קריסה צידית.</p>

ג. **הקשחת הקורה התחתונה** - בגג שבו התקרה מחוברת באופן ישיר אל הקורה התחתונה, כמו בתקרת גבס, אין כל צורך בתוספת של הקשחה של הקורות התחתונות. בגגות בהם אין תקרה, או בגגות בהם התקרה תלויה (כמו תקרה אקוסטית, למשל), יש לקבע את הקורה התחתונה באמצעות הרצת קורות הקשחה לאורך המבנה, עם קיבוע זיג-זג לסירוגין. המרווח בין ההקשחות הוא S כפי המפורט בנוסחה לעיל (עמ' 38).


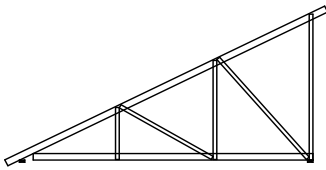
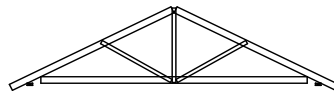
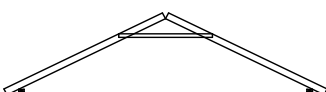
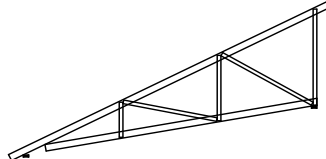
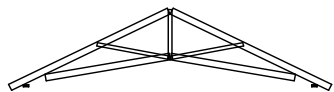
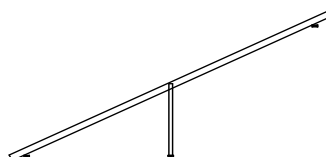
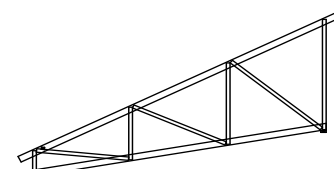
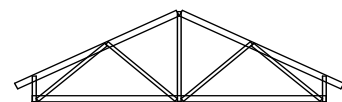
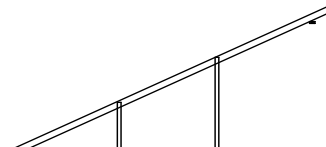
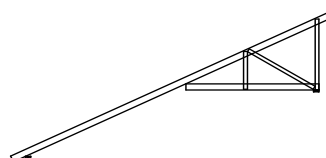



12. עומסים

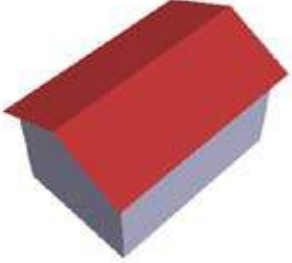

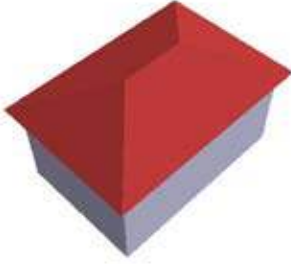
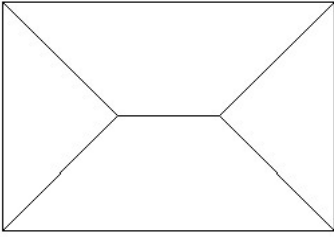
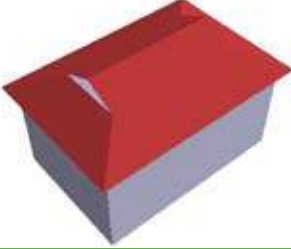
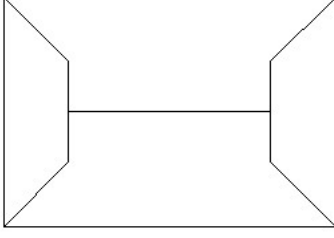

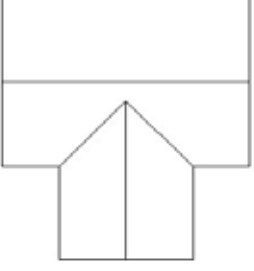
בתכנון אגדים, חובה להתחשב בכל העומסים הפועלים על האגד :

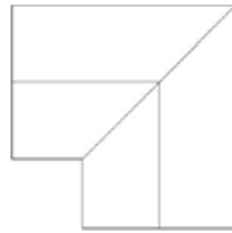
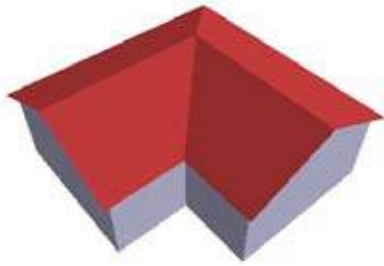
- א. עומס קבוע - רעפים, תקרה.
- ב. עומס משתנה - כנדרש בת"י 412, ועומס נקודתי של אדם במשקל 90 ק"ג הצועד על גבי הגג ובתוך הגג.
- ג. עומס שלג.
- ד. עומס רוח - כמפורט בת"י 414, ככלל יש לרתום את הגגות למבנה, אבל בגגות בעלי שיפועים קטנים עם כיסוי קל, כדוגמת איסכורית, חובה לבצע קשירה של הגג למבנה, בכדי למנוע מכוחות היניקה לתלוש את הגג.
- ה. מיכלי מים וקולטים.
- ו. אביזרי תליה שונים - מתקני תאורה וכו'.
- ז. מערכות מיזוג אויר ותעלות מיזוג אויר.

יש לתכנן את העומסים על פי שילוב העומסים המפורטים בתקן. גם כאן תוכנות המחשב הייעודיות עושות את חישוב שילובי העומסים עבורנו.

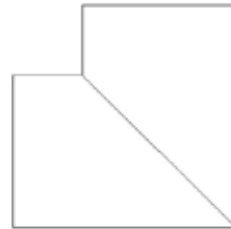
אגדים ע"ג תקרה יצוקה	אגדים מרחביים (התיקרה מחוברת לתחתית האגד)	
		
אגד דו-שיפועי + רגליים וקושרת	אגד חד-שיפועי	אגד דו-שיפועי
		
אגד דו-שיפועי + קושרת. מאפשר ניצול מקסימאלי של חלל הגג	אגד חד-שיפועי - מספריים	אגד דו-שיפועי - מספריים. יש להחליט בשלב התכנון אם אגד זה יכול להעביר ריאקציה אופקית למבנה
		
אגד חד-שיפועי + רגל	אגד חד-שיפועי - מספריים קטום	אגד דו-שיפועי קטום
		
אגד חד-שיפועי + 2 רגליים	אגד חד-שיפועי - תיקרה מוגבהת	אגד מקבילית

14. סוגי גגות - יתרונות וחסרונות

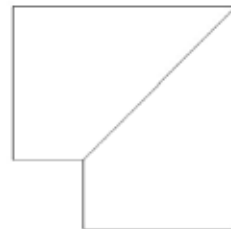
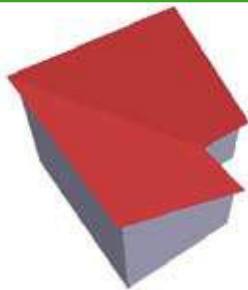
	
<p>גג דו-שיפועי קל להשמה מאפשר ניצול מקסימאלי של חלל הגג. מאפשר התקנת חלונות לאוורור הגג בגמלוניס.</p>	
	
<p>גג רב-שיפועי - מאוד נפוץ מבטל את הצורך בבניית גמלוניס. מאפשר ניצול חלקי של חלל הגג.</p>	
	
<p>גג רב-שיפועי הולנדי מאפשר ניצול מרבי של חלל הגג ומאפשר אוורור אפקטיבי של חלל הגג באמצעות התקנת רפרפה בגמלוניס הקטנים.</p>	
	
<p>גג "T"</p>	



גג דו-שיפועי - חיבור "ר"



גג חד-שיפועי - חיבור "ר" בשיפוע חיצוני



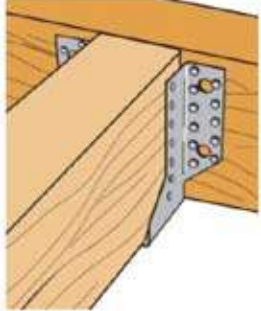

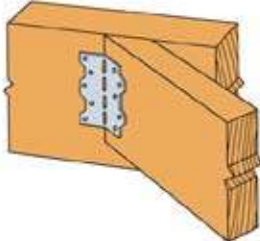
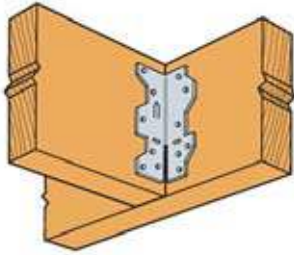
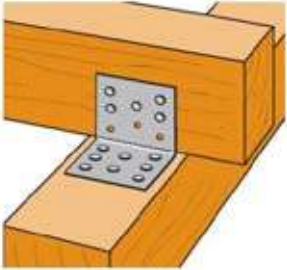
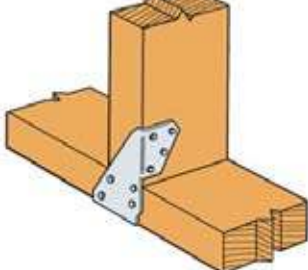
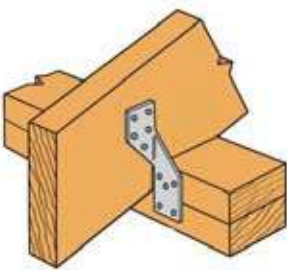


גג חד-שיפועי - חיבור "ר" בשיפוע פנימי

15. פרטי חיבור באגדים

יש להבדיל בין שני סוגים של פרטי החיבור : פרטי חיבור בין האגדים לבין עצמם ופרטי חיבור בין האגדים והמבנה. ספקיות הטכנולוגיות לייצור אגדים מתועשים מציעות עשרות חיבורים ייעודיים עבור מטרות אלה.

א. **פרטי חיבור בעץ** - יצרני אביזרי החיבור מספקים נתונים טכניים הכוללים את העומס המותר לכל תושבת ולכל מחבר. חובה על המתכנן לוודא כי הוא מציין בתכנית הגג את סוג המחבר המתאים. להלן מספר פרטי חיבור אופייניים:

		
חיבור בין אגדים עם תושבת 45 מעלות	חיבור בין אגדים בניצב עם מתלה בעל אוזניים פנימיות	חיבור בין אגדים בניצב עם מתלה ניצב
		
מחבר "חרב" לחיבור ניסתר	חיבור קורות בזווית. מחבר מתכוונן	חיבור קורות בניצב
		
חיבור בהצלבה עם זוויתן	חיבור "T"	חיבור בהצלבה עם מחבר מפותל

חשוב:

בחיבורים בעץ, יש לבצע את המסמור בניצב לסיבים בלבד. מחברים של מייטק-סימפסון מבטיחים חיבור בניצב לסיבים ומרחק תקני בין המסמרים.



חיבור בין קורות בניצב ברכס



חיבור בין קורות בניצב ובזוית



גג מרחבי חיבורים בזוית ובניצב



חיבור בזוית



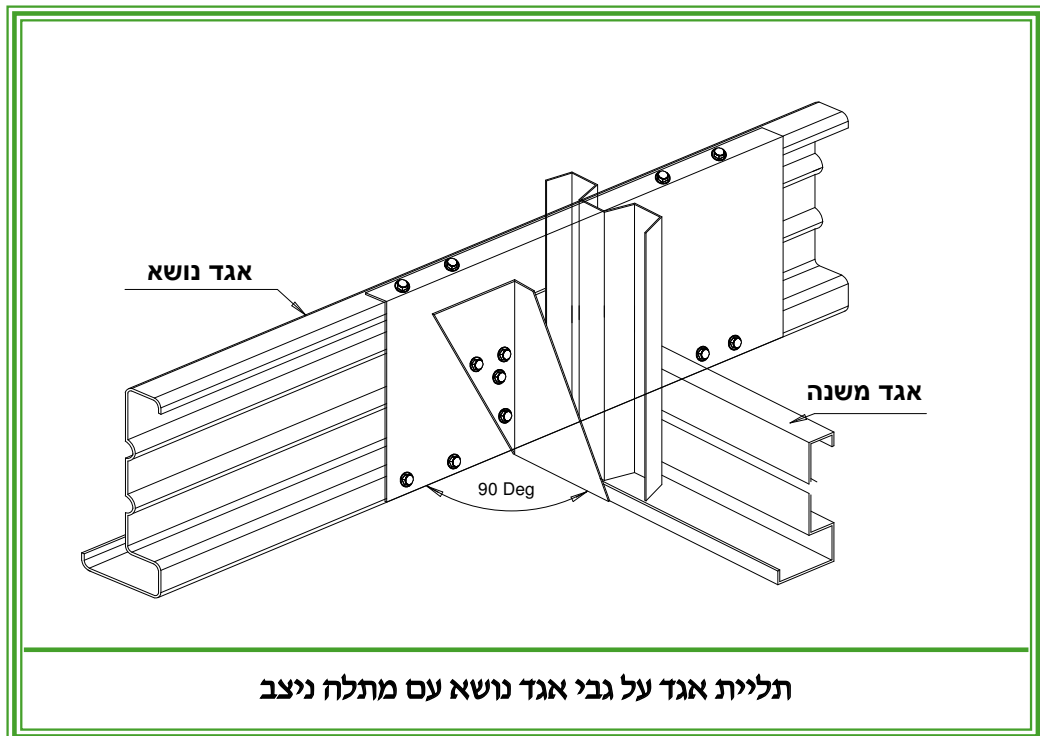
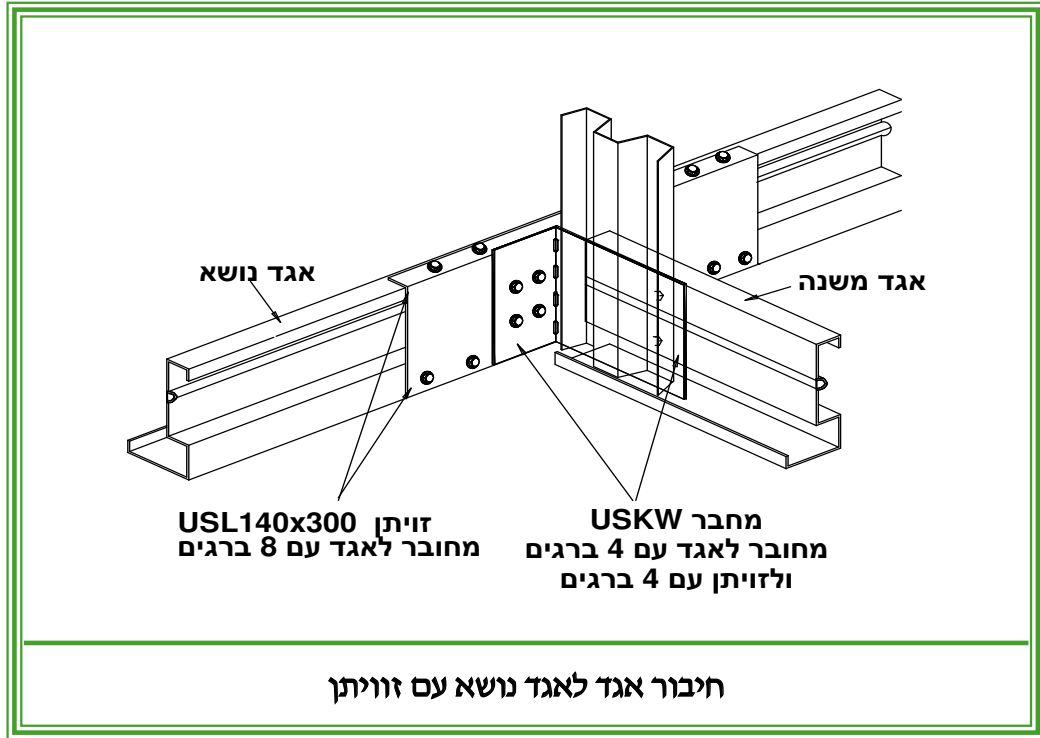
חיבור קורה ללוח תשתית

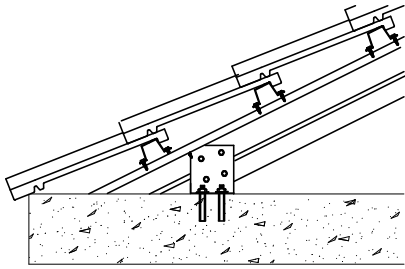


חיבור בין קורות בניצב

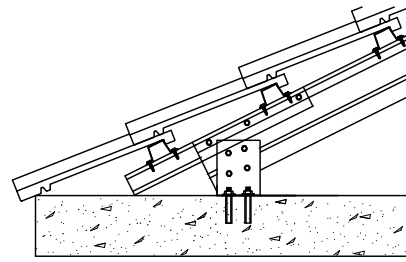
ב. פרטי חיבור בגגות פלדה

1. חיבור בין אגדים.

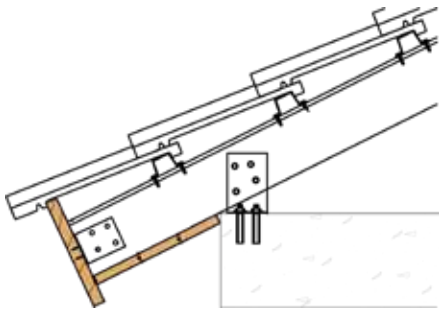




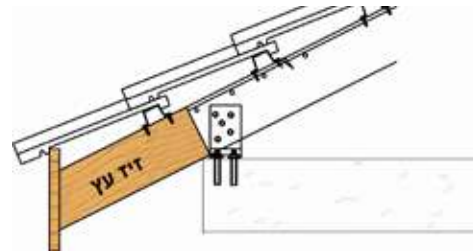
קצה גג - קרניז בטון (פרט ב')



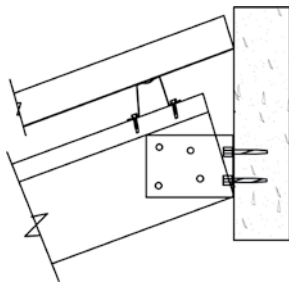
קצה גג - קרניז בטון (פרט א')



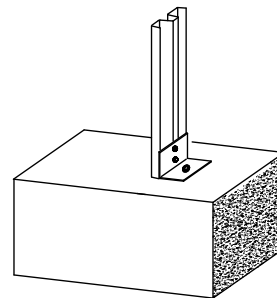
ארגז רוח תחתון משופע



ארגז רוח כפרי - זיז עץ



פרט חיבור קורה לקיר אחורי



פרט חיבור רגל לרצפה



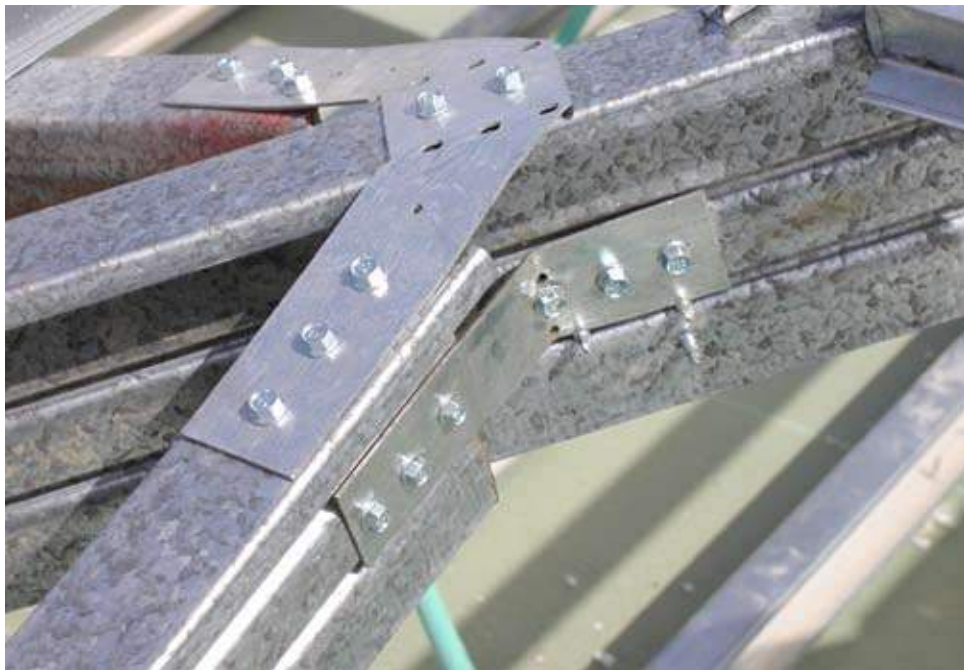
חיבור אגדים בניצב עם תושבת



חיבור אגדים בזווית עם תושבת 45°



חיבור אגדים בניצב עם זוויתן



חיבור קורות בזווית עם מחבר בומרנג + הקשחה



תליית אגד על קיר בטון



חיבור קורה לקיר בטון



פרט קצה - קרניז בטון

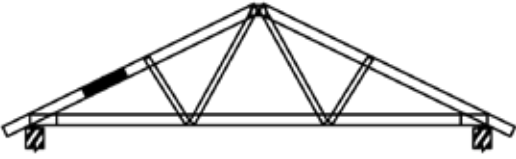
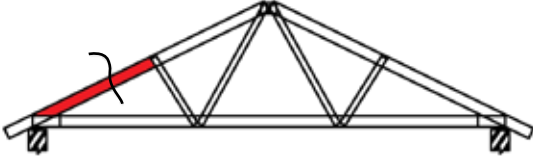
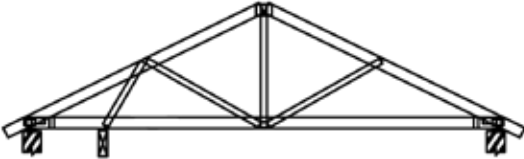
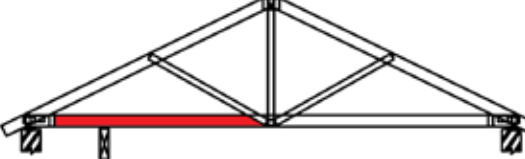
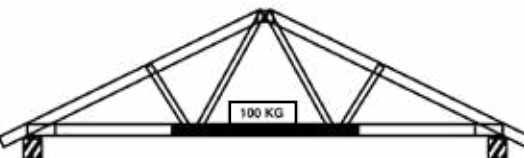
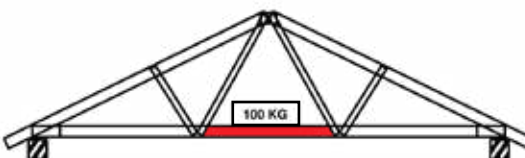
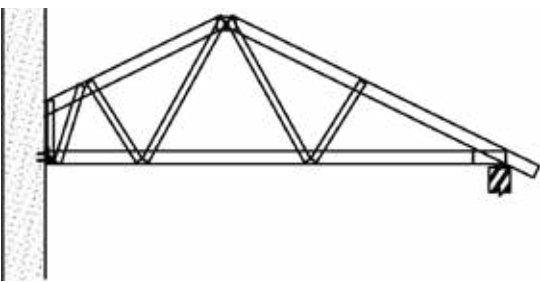
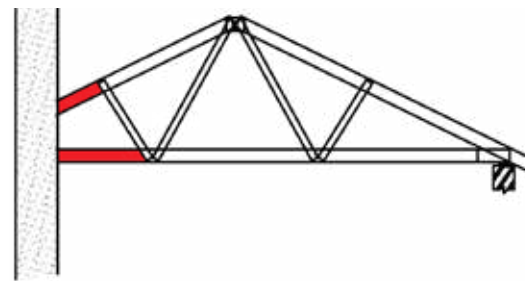


ארגז רוח תחתון מעץ

ה. הרכבת גגות - עצות לגגן

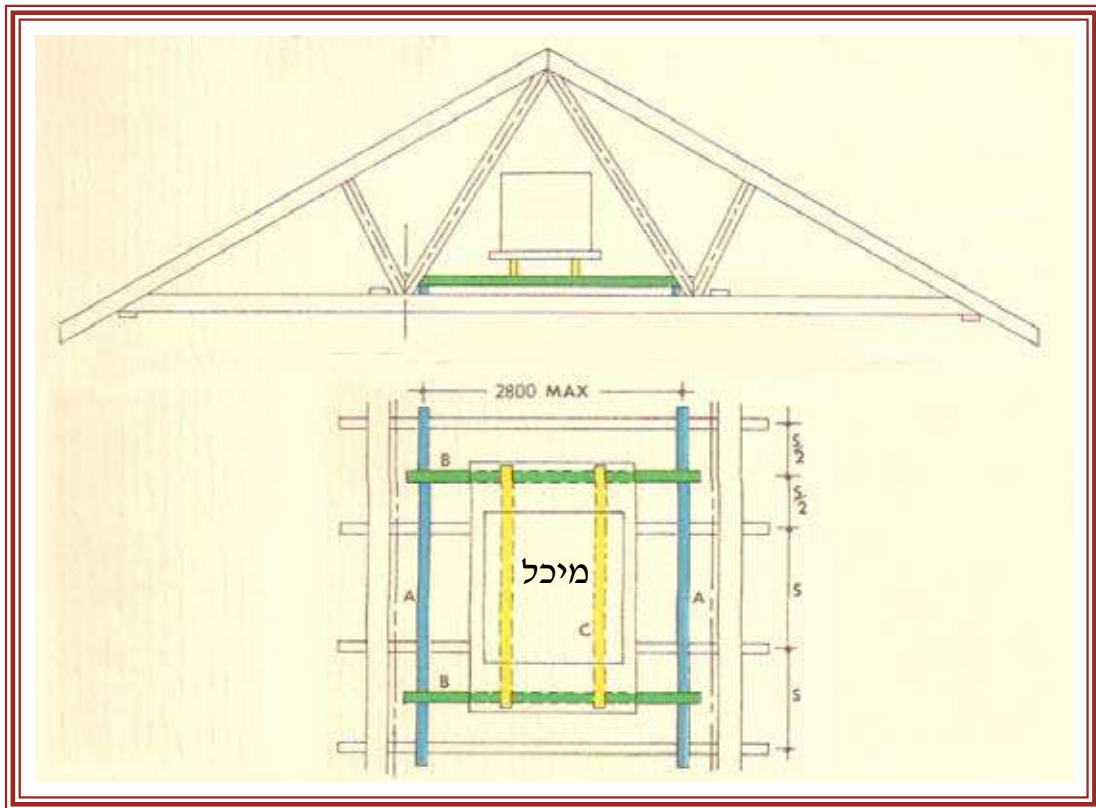
1. שינויים באתר

עובדות החיים הן כי לעיתים נדרש הגגן בביצוע שינויים באגדים באתר. באם מתבצעים שינויים כאלה, חובה ליידע את המתכנן ולקבל את אישורו לשינוי. אף כי השינוי המבוצע נראה שולי ופשוט, הוא עלול להשפיע באופן משמעותי על חוסנה של הקונסטרוקציה. להלן מספר דוגמאות לתיקונים נפוצים:

פיתרון	בעיה
	
פרט הארכת קורה + תכנון האגד מחדש	שבר בקורה העליונה
	
חוספת אלכסון + תכנון האגד מחדש	תוספת תמיכה
	
הכפלת הקורה + תכנון האגד מחדש	חוספת משקל לאגד
	
חוספת אלכסונים ליצירת שילוש + תכנון האגד מחדש	חיתוך אגד כנגד קיר

2. מיקום מיכל מים בגג

יש לחלק את העומס של מיכל המים על מספר אגדים מקסימאלי. העמסה על גבי שני אגדים בלבד, אף אם על פי החישוב יש ביכולתם לשאת את משקלו של המיכל, תיצור שקיעה נקודתית בגג, שתיראה מבחוץ. רצוי ומומלץ לבנות מתקן השענה למיכל המים אשר יגרום לו להישען על ארבעה אגדים.



3. אגד קומתיים

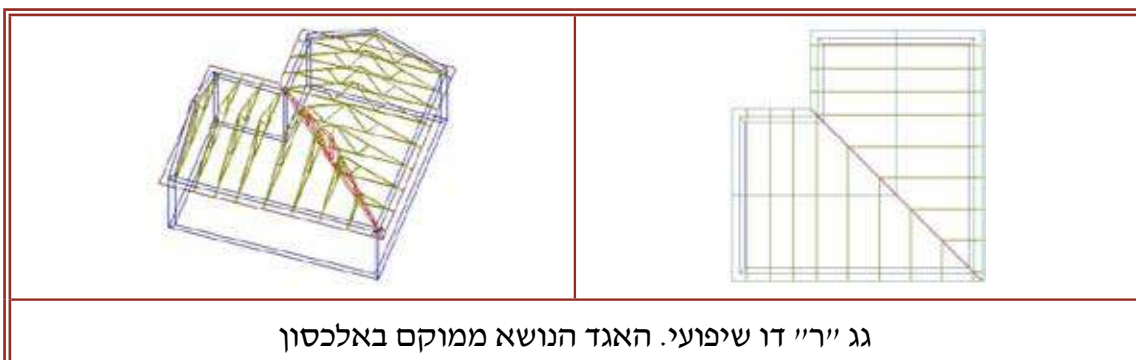
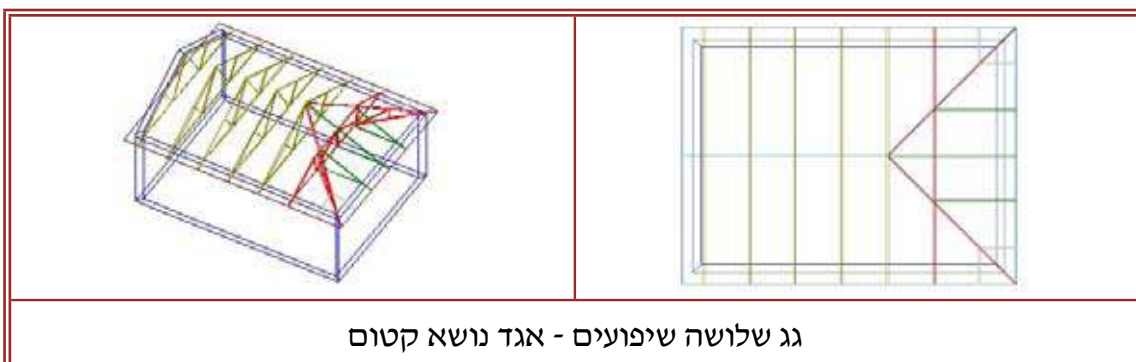
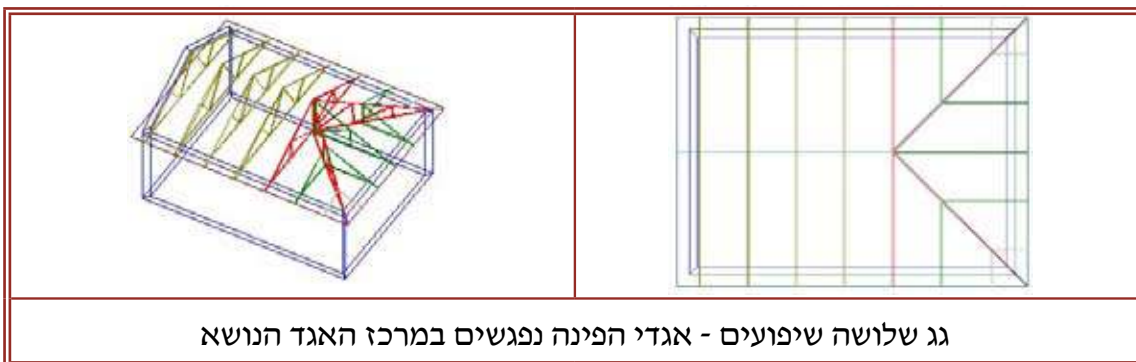
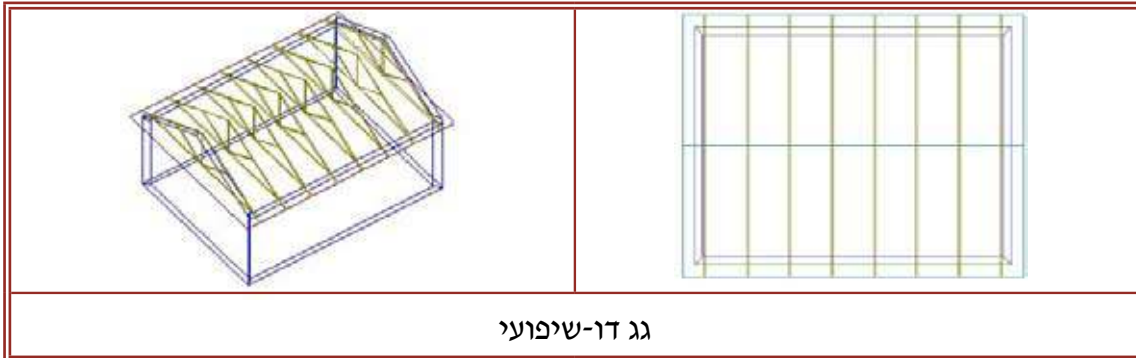
כשמייצרים אגדים מתועשים במפעל והאגד גבוה במיוחד, אשר מונע כל אפשרות של הובלת האגד במשאית, יש לפצל אותו ולייצרו בשני חלקים באופן הבא:

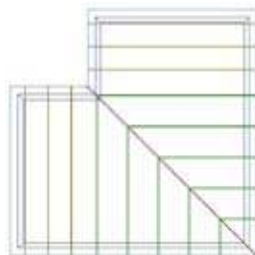
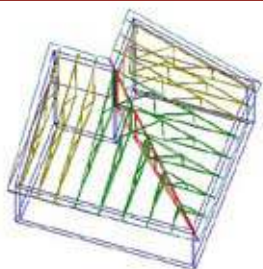
פיתרון	בעיה
פיצול לאגד נושא תחתון ותוספת עליונה.	אגד דו שיפועי גבוה. קיימת בעיה בהובלה.

בתכנון אגד כזה, יש לדאוג להקשחה צידית של הקורה האופקית העליונה באגד "B". זאת משום שהקורה הזו נמצאת בלחיצה ובלא הקשחה היא עלולה לקרוס צידית.

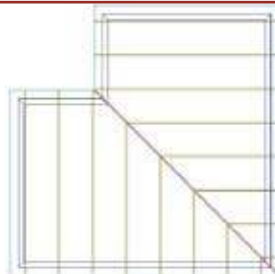
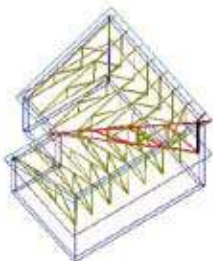
4. מפרטי גגות שונים - הצעות

להלן מספר הצעות למפרטי גגות:

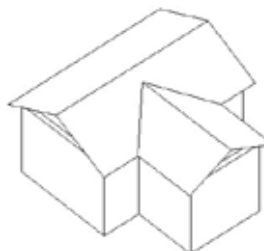




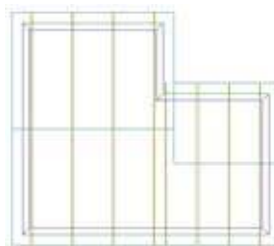
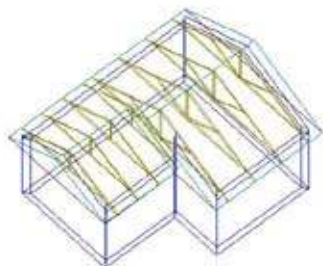
גג "ר" חד-שיפועי חיצוני. האגד הנושא ממוקם באלכסון



גג "ר" חד-שיפועי פנימי. האגד הנושא ממוקם באלכסון



חיבור גגות בניצב - פרט ואדי



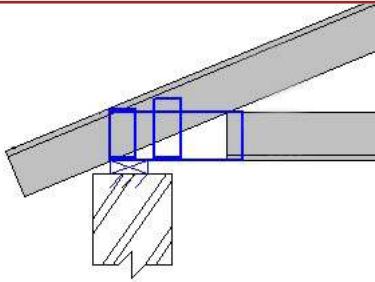
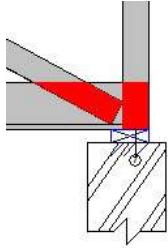
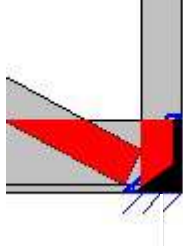
גג דו-שיפועי עם שבר

5. הקשחות

יש לבצע את ההקשחות של האגדים במישור העליון, במישור התחתון ובאלכסונים כמפורט בפרק ד' סעיף 11.

6. תמיכות

תמיכת קצה האגדים על גבי קיר המבנה תהיה בקצה האגד באזור המצוין. להלן מספר אופציות:

		
השענת קצה האגד על גבי קיר נושא	השענת אגד על קיר נושא	מתלה 90 מעלות

7. בידוד

בישראל, הטמפרטורה בקיץ בגגות בלתי מבודדים ובלתי מאווררים עלולה להגיע ל- 80°C . העלות הכספית של ביצוע בידוד בגג ביחס לעלותו הכספית של הגג עצמו הנה נמוכה. מומלץ לבצע בידוד של הגג. סוגי הבידוד המוצעים הנם משתי קטגוריות:

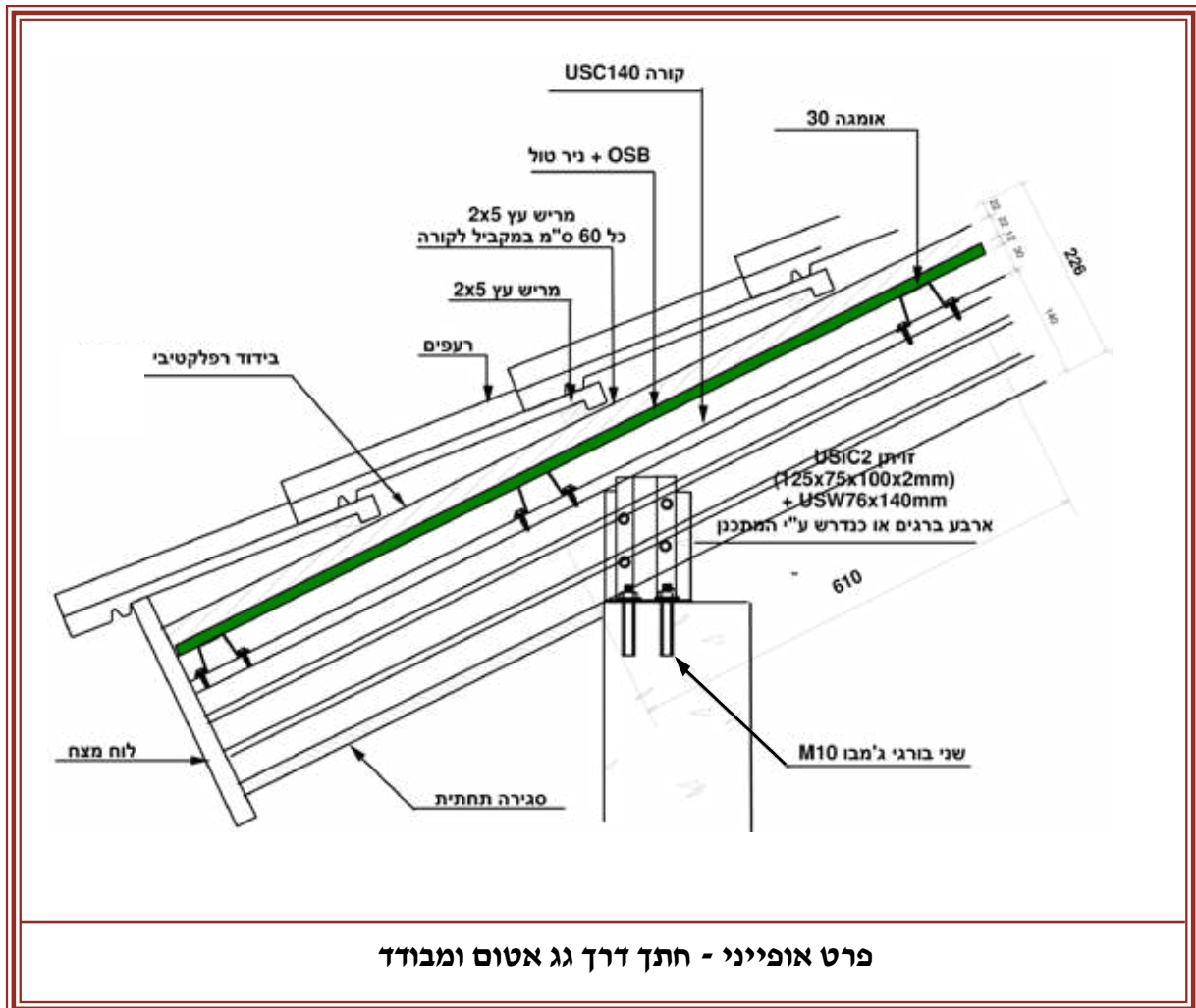
- א. **בידוד רפלקטיבי** - המבוסס על יריעת אלומיניום המשמשת רפלקטור המחזיר את קרינת החום הניפלט מהרעפים לתוך חלל הגג. יש למקם יריעות אלה כ-5 ס"מ מתחת למקור החום - הרעפים. אין לאפשר מגע של יריעות האלומיניום עם הרעפים או השכבה שמתחת לבידוד.
- ב. **בידוד נפחי** - כדוגמת צמר זכוכית או צמר סלעים. בידוד מסוג זה יעיל כשהיריעות מונחות כשהן במגע ישיר עם מקור החום או החלל שאותו רוצים לבודד. מומלץ להתקין בידוד זה על גבי התקרה.

8. איטום

ת"י 1556 (גגות קלים) מניח שרעפי הגג לסוגיהם השונים אינם מספקים הגנה מפני חדירת מים לגג ולכן התקן דורש איטום גגות בשני מצבים אלו:

- א. גג על גבי תיקרה יצוקה שבו חלל הגג מנוצל למחיה.
- ב. גג אגדים.

שיטת האיטום הנפוצה ביותר היא מיקום לוח OSB, שעל גביו מונח נייר ביטומני, מעל קונסטרוקציית הגג. ראה חתך אופייני בעמוד 59.



פרט אופייני - חתך דרך גג אטום ומבודד

9. רעפים

בישראל נמכרים רעפים משלושה סוגים שונים: רעפי חרס, רעפי בטון ורעפי פח מצופים. חשוב לוודא כי נעשה שימוש ברעפים הנושאים תו תקן ישראלי או מאושרים ע"י מכון התקנים וכי התקנת הרעפים על גבי המבנה מתבצעת בדיוק על פי הוראות היצרן ובשיפוע המומלץ.

א. קשירת רעפים

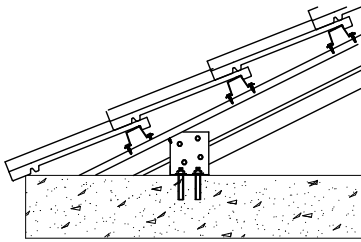
במבנים פתוחים ללא שני קירות לפחות - 100%

אזור רוח מואצת - 50%

אזורים מוגנים - 10%

כל מקום אחר - 25%

בהיקף הגג - 100%



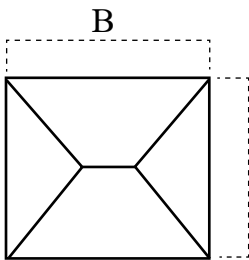
Z

ב. פרט קצה קרניז בטון

Z	מעלות	שיפוע
150 מ"מ	21.8°	40%
126 מ"מ	26.5°	50%
110 מ"מ	31°	60%

ג. חישוב שטח הגג

בכדי להזמין את כמות הרעפים הנדרשת יש לדעת מהו שטח הגג. להלן טבלת המרה של שטח הגג בהיטל אופקי לשטח גג משופע, כפונקציה של שיפוע הגג.



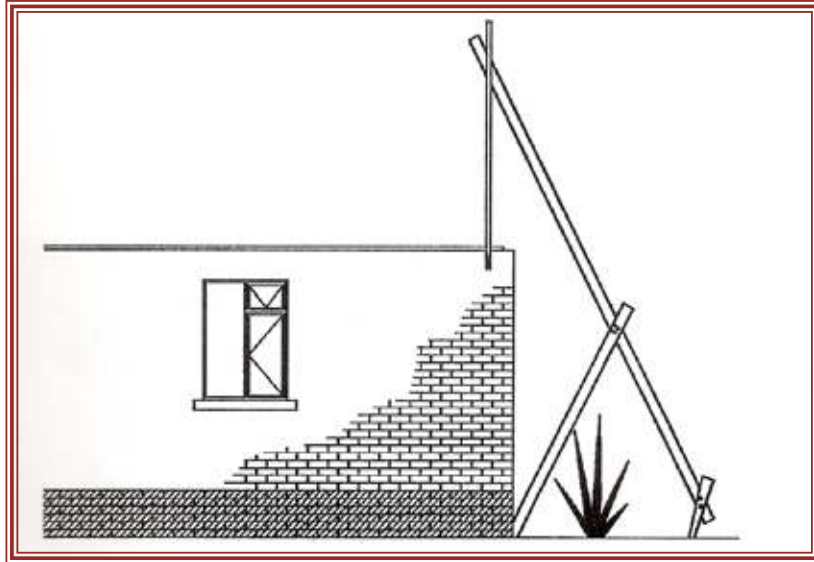
A שטח הגג = A*B*X

X מכפיל	מעלות	שיפוע
1.08	21.8°	40%
1.12	26.5°	50%
1.17	31°	60%

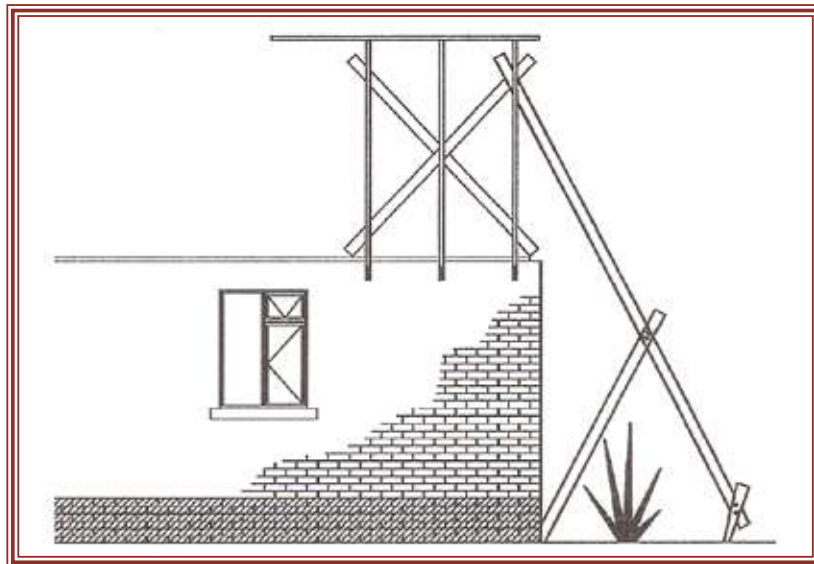
10. אורור

התקן מחייב את אורורו של חלל הגג באמצעות רעפי אורור או באמצעות חלונות נגדיים בגמלונים, וכן מפוחי יניקה המהווים תחליף לרעפי האורור. להלן אפשרויות האורור הקיימות:

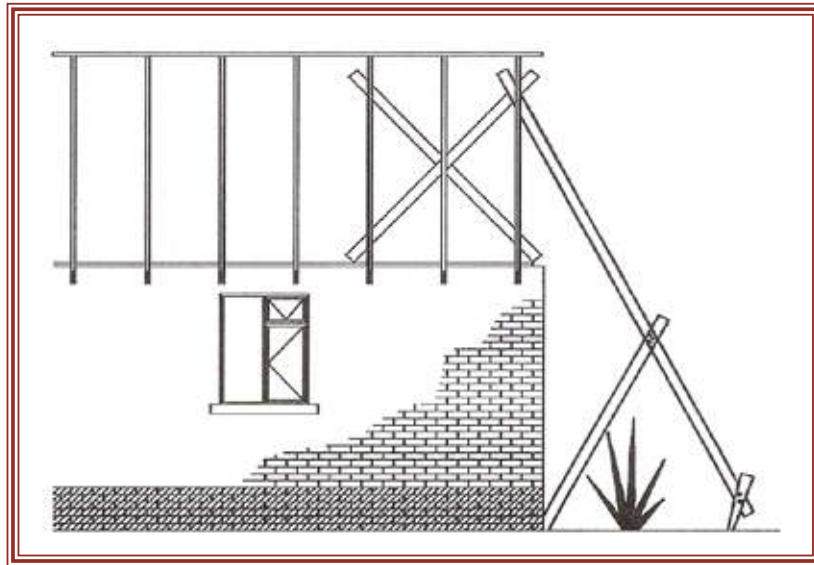
- א. רעפי אורור - מאפשרים החלפת האוויר הכלוא בין הרעפים והבידוד.
- ב. חלונות בגמלונים - מאפשרים החלפה וזרימה של אוויר בחלל הגג הפנימי.
- ג. מפוחים - מאפשרים החלפה וזרימה של אוויר בחלל הגג הפנימי.



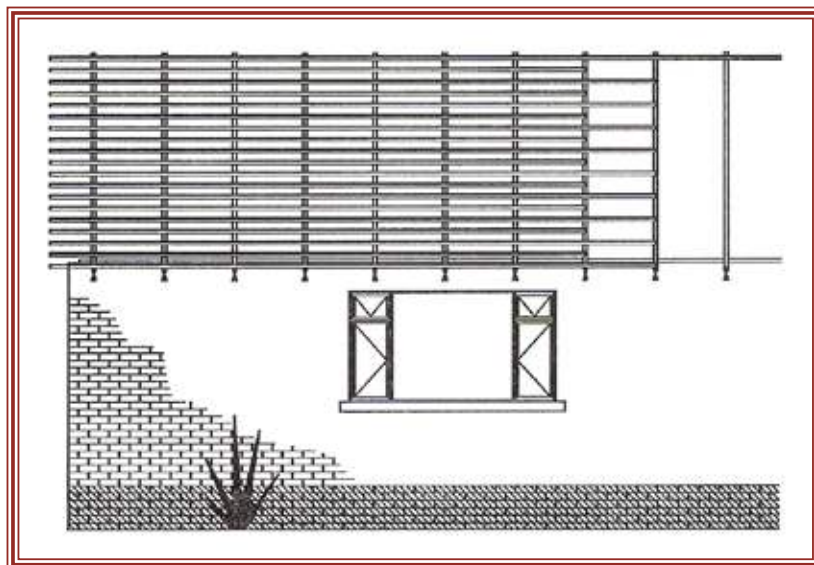
מיקום האגד הראשון



התקנת שלושה אגדים + הקשחה זמנית



הוספת אגדים וחיבור לשלושת האגדים הראשונים
+ הוספת הקשחות הדרושות



התקנת המרישים

להלן הסדר הכרונולוגי בהרכבת הגג:

- א. מיקום לוח התשתית ופילוסו.
- ב. סימון מיקומם של האגדים על גבי לוח התשתית.
- ג. מיקום האגד הראשון וקיבועו למקומו באמצעות קורות עזר.
- ד. מיקום האגד השני וקשירתו אל האגד הראשון באמצעות מרישים.
- ה. לאחר התקנת 4 אגדים, יש להתקין הקשחות זמניות בהצלבה למניעת אפקט הדומינו.
- ו. מיקום יתרת האגדים והתקנת הקשחות זמניות במרווחים של כ-10 מטר.
- ז. בדיקת פילוס לאגדים והתקנת הקשחות קבועות. אפשר להותיר את הקשחות הזמניות כקבועות.
- ח. התקנת הקשחות לקורה התחתונה ולאלכסונים - במידת הצורך.
- ט. השלמת התקנת המרישים.
- י. התקנת ארגז רוח.

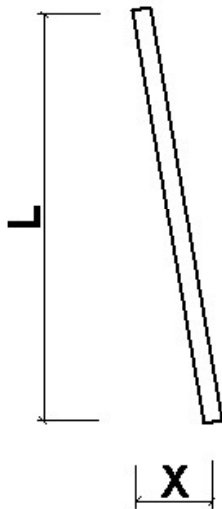


הרכבת גג על גבי הקרקע והנפתו כיחידה אחת



הנפת גג בגודל 625 מ"ר מעל מבנה מסחרי

12. פילוס האגדים



על פי התקן, גג בלתי מפולס ייחשב גג שבו האגדים סוטים מהישר.

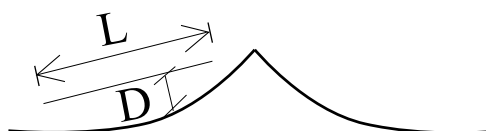
$$X < \frac{L}{200}$$

$$L = \text{גובה האגד}$$

$$X = \text{הסטיה מהניצב}$$

13. מישוריות הגג

מישוריות הגג תיבדק חזותית. במקרה של ספק תימדד המישוריות באמצעות סרגל באורך 3 מ' לפחות שיונח על גבי הגג. הסטייה מקו הישר "D" לא תהיה גדולה מ L/200 בכל כיוון. "L" הוא אורך המפתח שלגביו נמדדת השקיעה.



ו. בדיקת גגות

1. באתר

בסיום הרכבת הגג יבצע הגגן בדיקה עצמאית של הגג ויבדוק את הדברים הבאים :

- א. פילוס האגדים.
- ב. מיקום ההקשחות.
- ג. החיבורים בין האגדים.
- ד. חיבור האגדים אל המבנה.
- ה. ביצוע האיטום והתקנת הבידוד.
- ו. התקנת הפחחות.
- ז. הרכבת ארגז הרוח.
- ח. הנחת הרעפים ורעפי האוורור.

2. בדיקת מכון התקנים

ת"י 1556 מאפשר הזמנה של בדיקת הגג על ידי מכון התקנים או מעבדה המוסמכת לכך (שהוסמכה על ידי מכון התקנים הישראלי). בבדיקה נבחנים הגגות על פי רשימת תיוג (CHECK LIST) המובאת להלן.

חשוב לציין כי הבדיקה איננה בודקת את נכונות תכנון הגג. בבדיקה נבחנת איכות הרכבת הגג, בכפוף לתוכניות המהנדס. טרם ביצוע הבדיקה חובה להעביר למכון התקנים או אל המעבדה המוסמכת העתק מתכניות הביצוע של הגג בצירוף הבקשה לבדיקת הגג. בשלב זה ישנן מספר מועצות ורשויות מקומיות הבודקות את האפשרות לדרוש בדיקה של כל הגגות בתחומן כתנאי לקבלת היתר איכלוס (טופס 4).

3. רשימת התייג (ת"י 1556) CHECK LIST

סעיף	פרוט הבדיקה	כן	לא
1	תכנית גג		
1.1	האם קיימות תכנית גג ערוכה וחתומה בידי המתכנן?		
1.2	האם מבנה הגג זהה לתכנית הגג?		
2	חומרים		
2.1	האם העץ או הפלדה שסופקו לייצור שלד הגג מתאימים לדרישת המתכנן?		
2.3	האם סוג הבידוד והתקנתו נעשה על פי דרישות המתכנן?		
3	יציבות המבנה.		
3.1	האם חתכי הקורות והמרווחים ביניהן הם כנדרש על ידי המתכנן?		
3.2	האם החיבורים בגג (ברגים, מסמרים ואבזרי חיבור) בוצעו כמפורט בתכנית?		
3.3	האם החיזוקים והאלכסונים בוצעו כנדרש בתכנית?		
3.4	האם קיבוע שלד הגג למבנה נעשה כנדרש בתכנית?		
3.5	האם קיבוע הרעפים נעשה על פי התקן?		
4	לבידה ויריעת איטום (בגג שהתקן מחייב או כשמופיע בתכנית).		
4.1	האם הנחת הלבידה והאיטום נעשו כמפורט בתכנית?		
5	אוורור חלל הגג.		
5.1	האם אוורור חלל הגג נעשה כמפורט בתכנית?		
6	פתח כניסה ומדרג בחלל הגג.		
6.1	האם קיים פתח כניסה ומדרג על פי התכנית.		
7	פחחות.		
7.1	האם התקנת הפחחות נעשתה עפ"י התכנית?		
8	אטימות הגג - בדיקת התזה (אם נדרש).		
8.1	האם הייתה בבדיקה חדירת מים לחלל הגג?		
9	ארגז הרוח.		
9.1	האם הותקן ארגז רוח כמפורט בתכנית?		
9.2	האם החומר ממנו עשוי ארגז הרוח מתאים לנדרש בתכנית?		
10	ריעוף.		
10.1	האם עבודת כיסוי הגג (רעפים וכד') נעשתה על פי המלצות היצרן ותקן זה?		
11	אסתטיקה - מראה כללי		
11.1	בדיקה חזותית, האם משטחי הגג והרכסים ישרים?		
12	מערכת סולארית		
12.1	האם המערכות הסולאריות (דוד השמש והקולטים) הותקנו כנדרש?		

ז. גלריית תמונות



גג מרחבי



גג מרחבי



גג קשתי



גג טרפזי – אולם ספורט



גג כיפה – ביכנ"ס



גג כיפה – ביכנ"ס



גג רב שיפועי



גג רב שיפועי



הנפת גג - בי"ס



הנפת גג – מבנה מסחרי



ניצול חלל הגג



גג סולארי



הנפת גג אגדים



הנפת גג אגדים



הנפת גג אגדים



גג אגדים



ניצול חלל הגג



גג אגדים



גג מרחבי



גג מרחבי