

עבודה מסכמת

תכנון מעטפות בניין בהנדסה הפוכה | 02060939

חורף תשפ"ה

מגישות: עדן ממן ויובל מיכאלוביץ

מנחה: ד"ר יונתן נתניאן

בית מגדלור



חזית מזרחית

בית מגדלור, הממוקם בלב תל אביב, פינת בן יהודה-אלנבי, משמש ברובו כבית מלון ומשרדים בעיקר בקומות המסד.

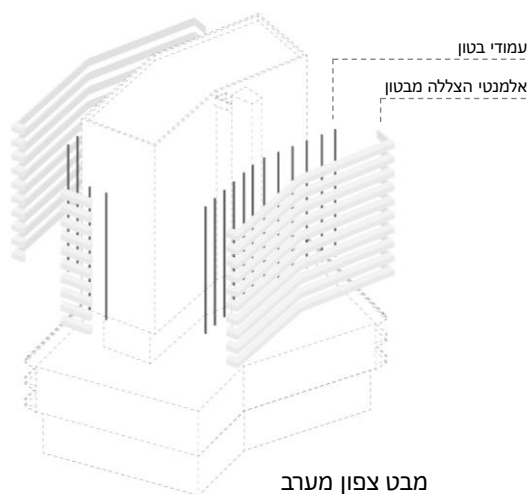
המבנה תוכנן על ידי האדריכלים אריה אלחנני וניסן כנען, במסגרת פרויקט לשיקום וחידוש מבנים בעיר. גובהו 76 מטרים והוא כולל 17 קומות מעל הקרקע וקומת מרתף.

תהליך הבנייה החל בשנת 1972, כאשר הוקמה רק קומת המסד, ומגדל המשרדים הושלם בשנת 1985. לאחר שנים של הזנחה ונזקים, עבר המבנה שיקום בין השנים 2016–2018. מעטפת המבנה אינה השתנתה אלא רק עברה פירוק ויישום מחדש של שכבות טיח וציפוי הגנה לסביבה ימית.

מעטפת המבנה

המבנה בנוי מבטון, כאשר קומת המסד מחופה באבן. בחלקו של המגדל ניתן להבחין בהצללה אחידה בכל החזיתות של עמודי בטון ואלמנט הצללה היקפי.

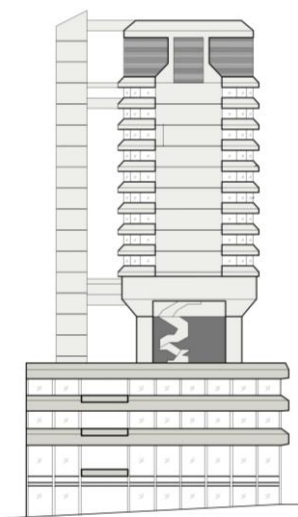
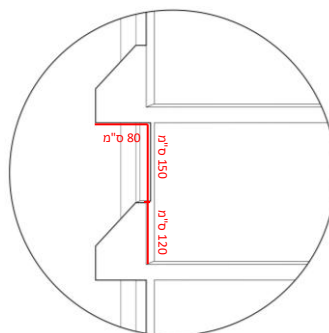
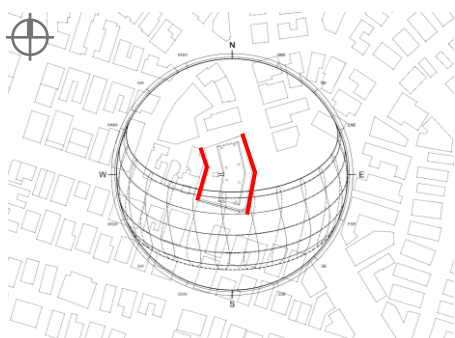
אלמנט ההצללה ממוקם מעל חלונות סרט אופקיים המאופיינים לסגנון הברוטליסטי. החלון מתחיל בגובה 120 ס"מ מהרצפה וגובהו הכולל 150 ס"מ. עומקו של אלמנט ההצללה הוא 80 ס"מ, דבר המאפשר חסימת קרני השמש בקיץ, תוך כדי חדירת אור טבעי במהלך החורף.



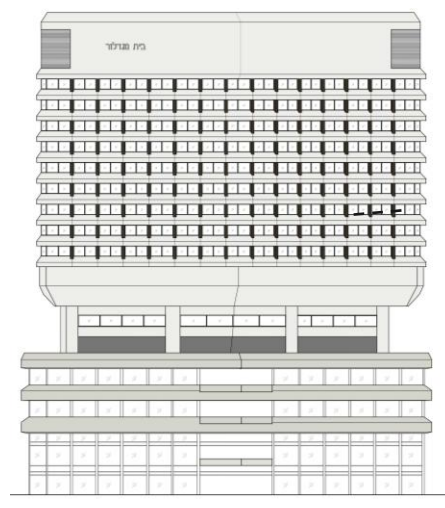
מבט צפון מערב

מיקום המבנה

המבנה ממוקם בסביבת בניינים בגובה בינוני עד שש קומות. מצדו המזרחי קיים שטח פתוח המשמש כיום כחניה, דבר שעשוי לגרום להתחממות משמעותית בחזית המזרחית של המבנה במיוחד בשעות הבוקר עד הצהריים. החזיתות הדומיננטיות של בית מגדלור הן המזרחית והמערבית בשל רוחבן המשמעותי ביחס לחזית הצפונית והדרומית.



חזית דרומית



חזית מזרחית

ניתוח אקלים בתל אביב

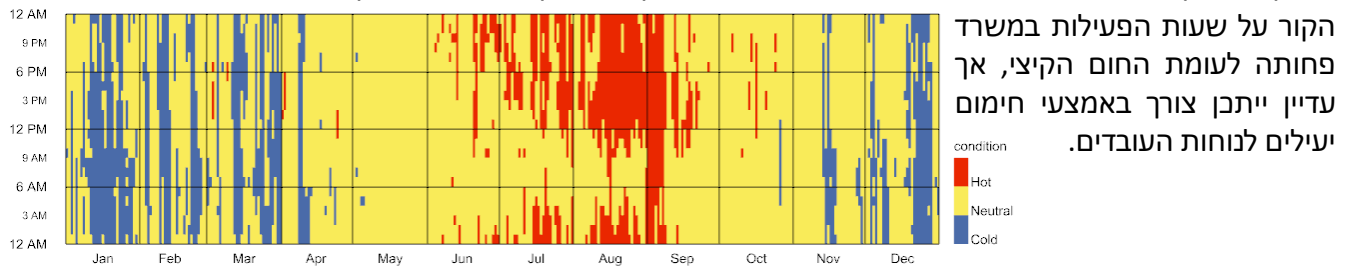
ניתוח טמפרטורה שנתי

תקופת החורף מדצמבר-פברואר מתונה, עם טמפרטורות נמוכות בעיקר בלילה, ואילו הקיץ מיוני - אוקטובר חם וארוך, עם שיאי חום בצהריים. בשעות אלו העבודה בבניין משרדים יהיו קשות ויהיה בלתי אפשרי לשבת בקרבת החלון עקב חום רב וסינוור (בעיקר בחזית הדרומית), הסיטואציה תהיה דומה בחזית המזרחית בשעות הבוקר ובמערבית בשעות אחר הצהריים. הדבר המדגיש את הצורך בהצללה ואוורור טבעי בשעות החמות. בעונות המעבר, ניכרת התחממות באביב והתקררות בסתיו.



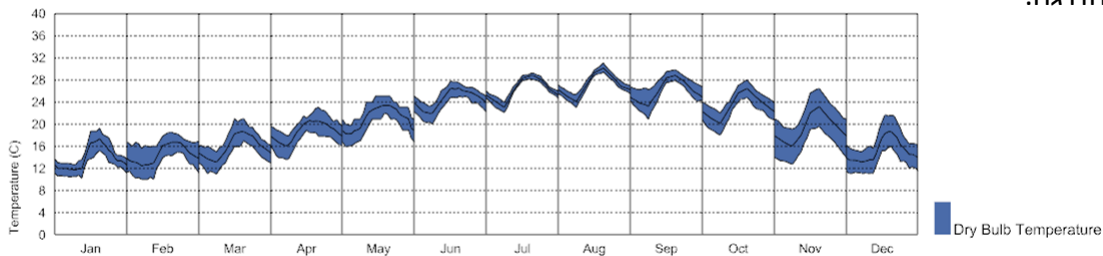
נוחות תרמית שנתי

מרבית ימות השנה נמצאים בטווח הנוחות התרמית, אך קיימות תקופות חמות מאוד במהלך הקיץ, שיא בחודש אוגוסט, שבו כמעט כל שעות היממה אינן נוחות מבחינה תרמית. בתקופה זו, שעות העבודה במבנה משרדים יושפעו במיוחד מהחום, דבר שידרוש פתרונות אקלימיים מתאימים כמו הצללה ואוורור יעיל. לעומת זאת, בחודשי החורף - בעיקר דצמבר עד פברואר, חוסר הנוחות נובע בגלל קור, בעיקר בשעות הבוקר והלילה. אמנם השפעת



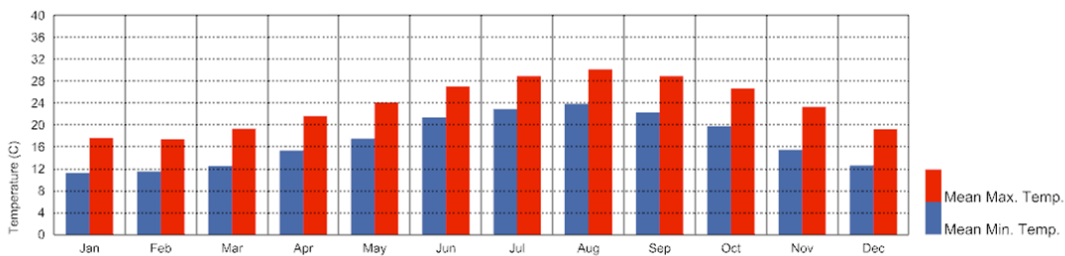
טמפרטורה ממוצעת חודשית

הטמפרטורה הממוצעת בתל אביב נעה סביב 10-15 בחורף, 15°-25° באביב, ומגיעה ל-28° בקיץ. בסתיו הטמפר' הממוצעת יורדת בהדרגה.



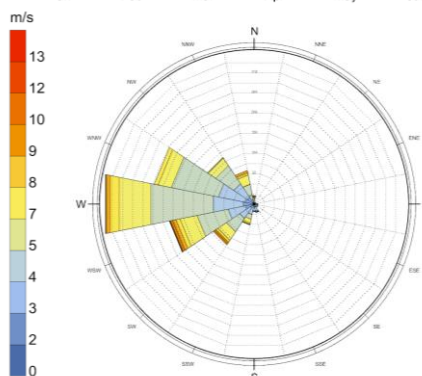
ממוצע טמפרטורה מקסימלי ומינימלי חודשי

החורף מתון בתל אביב, עם טמפר' בלילה של כ-10 ימים נוחים בטווח של 17°-19°. ואילו הקיץ קיצוני וחם. הטמפר' עולה משמעותית ומגיעה ל-32° ביום ו-24° בלילה.



ניתוח רוחות

הרוח הראשית מגיעה מכיוון מערב והרוח המשנית מגיעה מכיוון צפון-מערב. הרוחות החזקות ביותר מגיעות למהירויות של מעל 10 מטרים לשנייה, בעיקר בשל השפעת הבריזה הימית. נתון זה משמעותי במיוחד במקרה של בית מגדלור, הממוקם כ-300 מטרים מהים, שכן אוורור מפולש מהווה תפקיד מרכזי בתכנון.





ניתוח קרינה על השטחים הפתוחים בסביבת המבנה

השטח ממזרח למבנה חשוף לקרינה גבוהה במיוחד, מאחר ומדובר באזור פתוח ללא הצללה משמעותית. לעומת זאת, השטחים הצמודים למבנים בצפון ובמערב נהנים מקרינה נמוכה יותר בשל הצללה עצמית של המבנים. רחוב אלנבי הממוקם מדרום לבית מגדלור, מקבל כמות משמעותית של קרינה ישירה, בשל מחסור בהצללה טבעית, כמו עצים או מבנים גבוהים מצדו הדרומי.

ביצוע אנליזות על המבנה הקיים | חזיתות המבנה

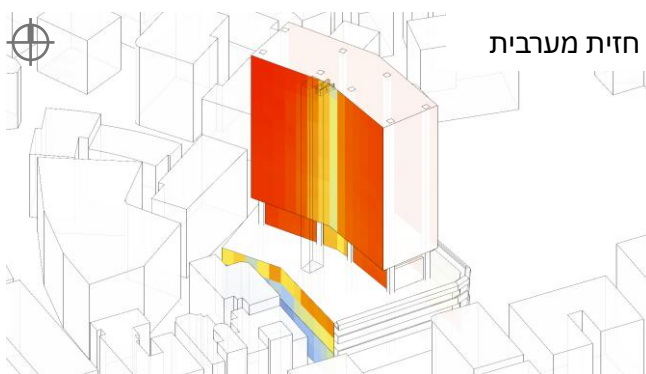
בחרנו לבצע ניתוחי קרינה על חזיתות המבנה בתקופות ושעות שונות ביום, תוך התמקדות בחזית הרלוונטית לכל תקופה. במטרה להעריך את איכות ההצללה הקיימת, טווח שעות הבדיקה הוגדר בין 8:00 ל-18:00, בהתאמה לשעות הפעילות האופייניות של המשרדים במבנה. הניתוחים בוצעו בשני תרחישים: עם הצללה ובלעדיה. מטרת הניתוחים הנה להעריך את תרומת ההצללה האופקית להפחתת קרינת השמש והשפעתה על תנאי הפנים, לצד זיהוי אזורים הדורשים תוספת הצללה או התאמת פתרונות הצללה מסוגים אחרים.

1. ניתוח קרינה בחזית המזרחית והמערבית

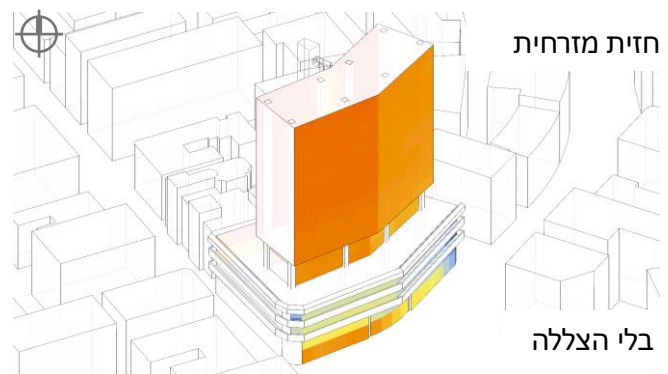
בהתבסס על ניתוחי האקלים בתל אביב, התמקדנו בחודשים יוני עד אוקטובר, המאופיינים בטמפרטורות גבוהות וברמות קרינת שמש אינטנסיביות. בתקופה זו, חווית השהייה במבנה עלולה להיפגע בשל עומסי חום וירידה בנוחות התרמית. חזיתות אלו חשופות לקרינה ישירה במהלך שעות העבודה בקיץ, כאשר החזית המזרחית מקבלת קרינה בשעות הבוקר והחזית המערבית בשעות אחר הצהריים.

ממצאים עיקריים:

- בחזית המזרחית והמערבית, ההצללה מתפקדת ביעילות רבה יותר בחלקים הגבוהים של המבנה, עקב זווית השמש הנמוכה. כמו כן, בקומות הנמוכות יותר ההצללה הקיימת מצמצמת חלק מהחשיפה, איך אינה מספקת מענה מלא.
- בחזית המזרחית בקומת הקרקע, שגובהה 4.7 מטרים, ההצללה אינה מכסה את כל הגובה, ולכן השפעתה מוגבלת, והקרינה הפוגעת במעטפת גבוהה יותר.
- בחזית המערבית, ייתכן שבאזורים בהם המעלית החיצונית מצלילה על הבניין, אין צורך בהוספת אמצעי הצללה נוספים.

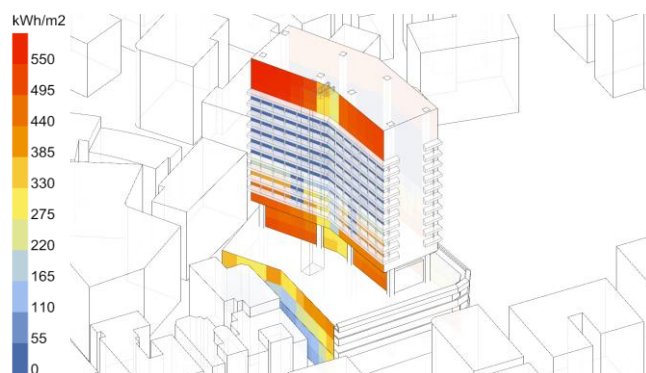


חזית מערבית



חזית מזרחית

בלי הצללה



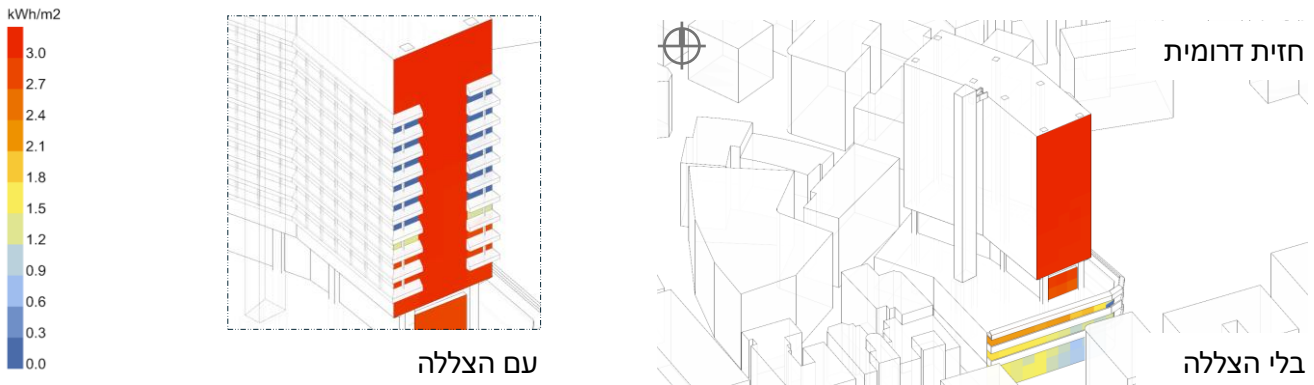
עם הצללה

2. ניתוח קרינה בחזית הדרומית

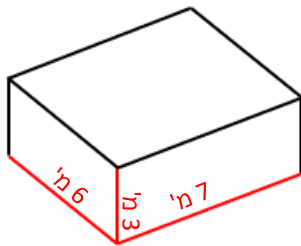
ביצענו ניתוח קרינה ביום השיא בחורף - 21 בדצמבר, היום הקצר ביותר בשנה, שבו השמש נמצאת בזווית הנמוכה ביותר, בעונה זו נרצה קרינה ישירה אשר תתרום לחימום פסיבי של המבנה.

ממצאים עיקריים:

- ניתן לראות כי מתקבלת קרינה חזקה בחורף וכי ההצללה הקיימת מסייעת בהפחתת הקרינה, אך השפעתה מוגבלת, שכן היא מכסה רק חלק קטן משטח החזית ומשאירה אזורים נרחבים חשופים לקרינה ישירה - דבר התורם לניצול קרינת השמש לחימום פסיבי בעונת החורף.
- במידה ונרצה לייצר פתחים נוספים בחזית זו, נצטרך למצוא פתרון הצללה לחודשי הקיץ ולהגיע לאיזון המיטבי בין הפחתה של קרינה בקיץ אל מול שמירה על קרינה חזקה בחורף.



ביצוע אנליזות על המבנה הקיים | חללי פנים



לצורך ניתוח השפעת המעטפת על חללי הפנים, נבחר מודול של חלל אופייני בעומק 7 מטרים מהחזית, אשר מוקם בשישה מוקדים שונים במבנה. הבחירה במוקדים אלו התבססה על מספר קריטריונים: הפניית החלל בהתאם לחזית, טיפול הצללה שונה והשפעת הצללה עצמית - הן מצד המבנה עצמו והן מצד המבנים הסובבים.

הניתוחים בוצעו בהתאם לשעות הפעילות האופייניות של המבנה בשעות 8:00-18:00 לאורך כל השנה. בנוסף, על מנת להתאים את הבדיקה לשימוש בפועל בחלל, הניתוחים בוצעו בגובה 80 ס"מ מהרצפה - גובה ממוצע של שולחן עבודה במשרדים.

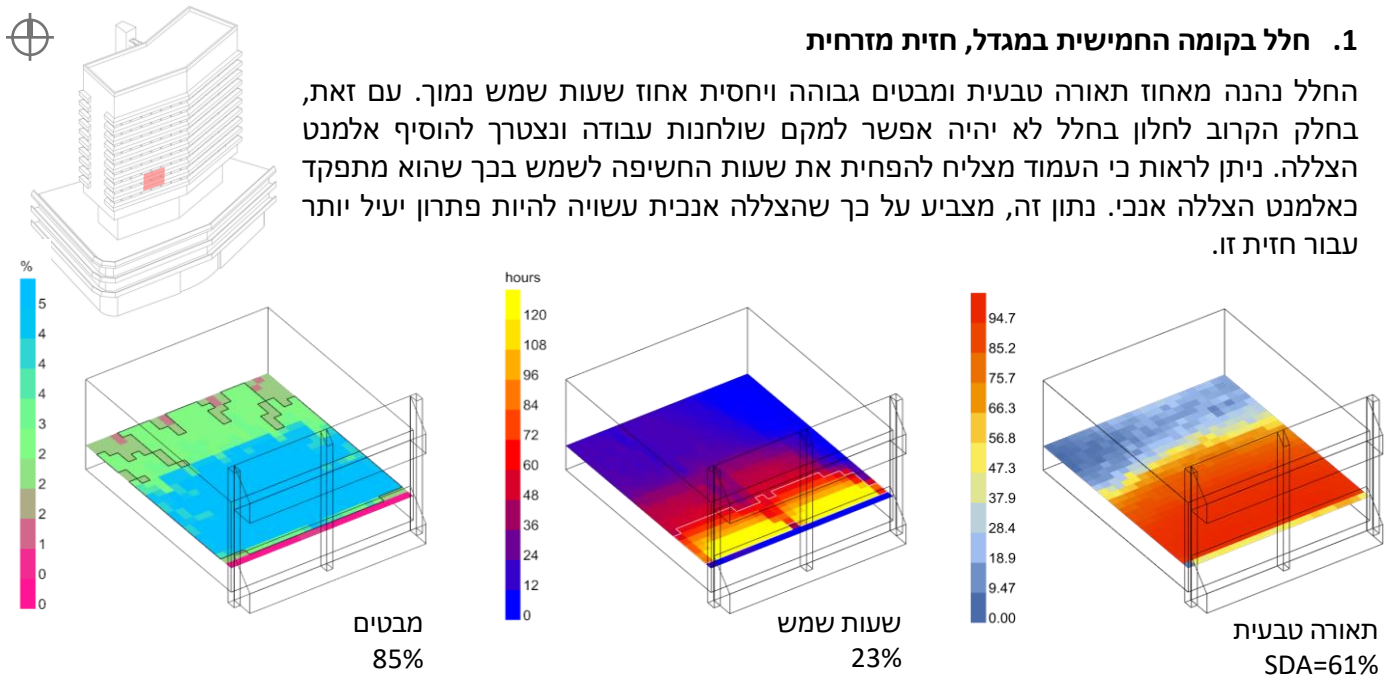
את הניתוחים ביצענו בשלושה היבטים:

- ניתוח שעות השמש נרצה כמה שפחות שעות שמש ישירה בשעות העבודה במשרד.
- ניתוח מבטים נרצה כמה שיותר אחוזי מבט החוצה בתוך החלל. עבדנו עם מדד של horizontal 30 degrees offset המדמה את התפסיה החזותית של אדם.
- ניתוח תאורה טבעית נרצה למקסם את כניסת האור הטבעי. מדד (Spatial Daylight Autonomy) SDA משמש להערכת מידת ההסתמכות על תאורה טבעית בחלל, והוא מחושב כאחוז מהשטח הכולל של החדר שבו רמת התאורה הטבעית עולה על 300 לוקס לפחות 50% משעות הפעילות שנבחרו לבדיקה. נשאף למקסם את כמות האור הטבעי והמבטים החוצה תוך צמצום חשיפה ישירה לשמש כדי להפחית סנור והתחממות יתר.

את הניתוחים נציג באופן ויזואלי על המשטח בחלל ובנוסף, לכל ניתוח נוסף נתון מספרי אשר יתן לנו הבנה רחבה יותר על התנאים בחלל. בתאורה הטבעית נציג את אחוז השטח מהחלל שמקבל מעל 50% תאורה טבעית, בשעות שמש את אחוז השטח שמקבל מעל 50 שעות ובמבטים את אחוז השטח בו רואים מעל 2% נראות שמיים.

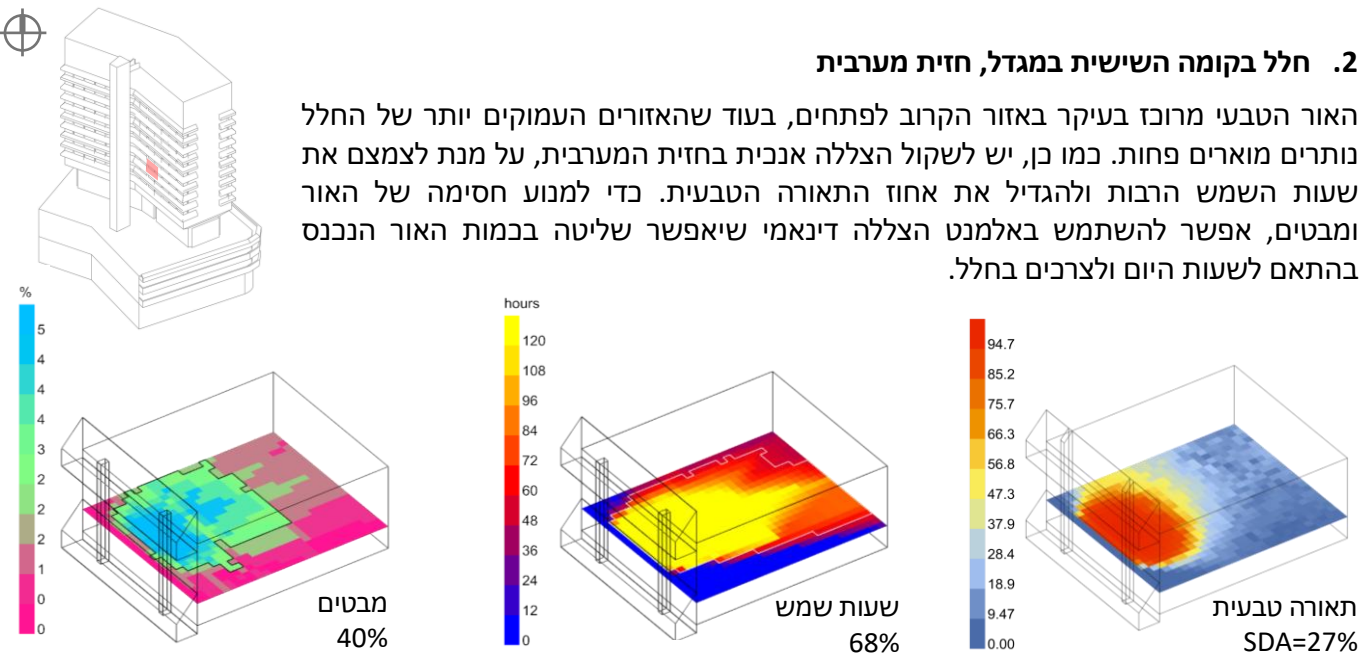
1. חלל בקומה החמישית במגדל, חזית מזרחית

החלל נהנה מאחוז תאורה טבעית ומבטים גבוהה ויחסית אחוז שעות שמש נמוך. עם זאת, בחלק הקרוב לחלון בחלל לא יהיה אפשר למקם שולחנות עבודה ונצטרך להוסיף אלמנט הצללה. ניתן לראות כי העמוד מצליח להפחית את שעות החשיפה לשמש בכך שהוא מתפקד כאלמנט הצללה אנכי. נתון זה, מצביע על כך שהצללה אנכית עשויה להיות פתרון יעיל יותר עבור חזית זו.



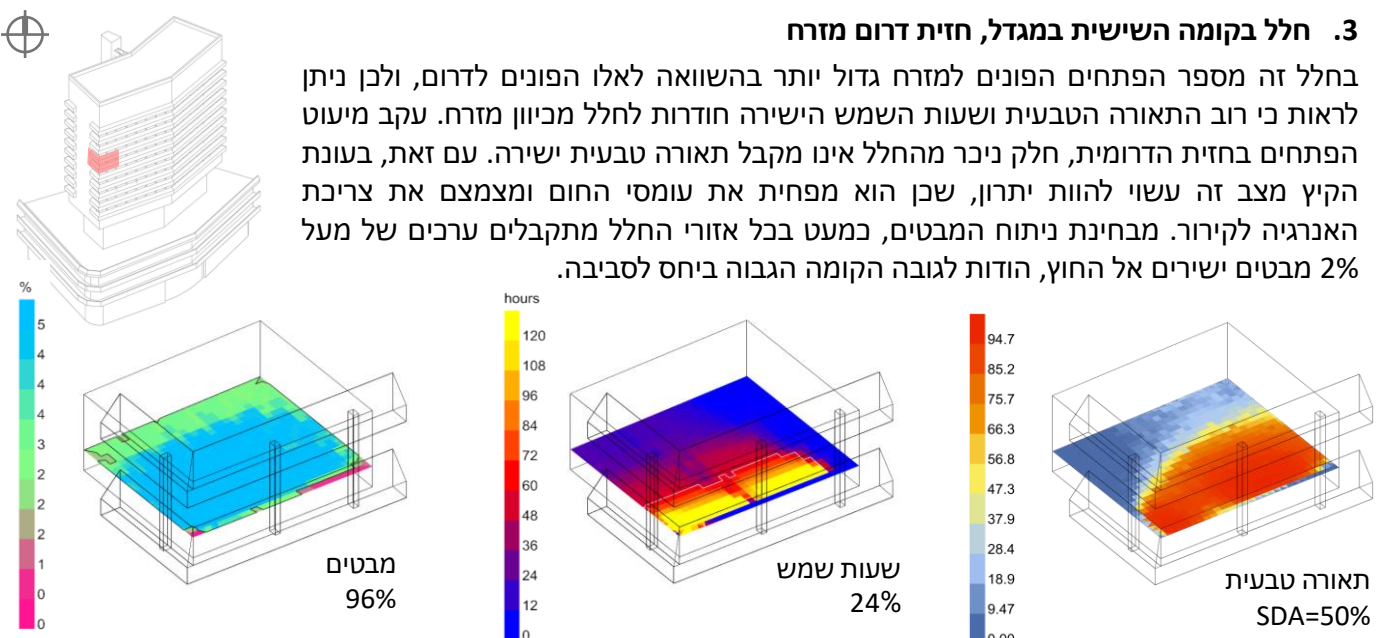
2. חלל בקומה השישית במגדל, חזית מערבית

האור הטבעי מרוכז בעיקר באזור הקרוב לפתחים, בעוד שהאזורים העמוקים יותר של החלל נותרים מוארים פחות. כמו כן, יש לשקול הצללה אנכית בחזית המערבית, על מנת לצמצם את שעות השמש הרבות ולהגדיל את אחוז התאורה הטבעית. כדי למנוע חסימה של האור ומבטים, אפשר להשתמש באלמנט הצללה דינאמי שיאפשר שליטה בכמות האור הנכנס בהתאם לשעות היום ולצרכים בחלל.



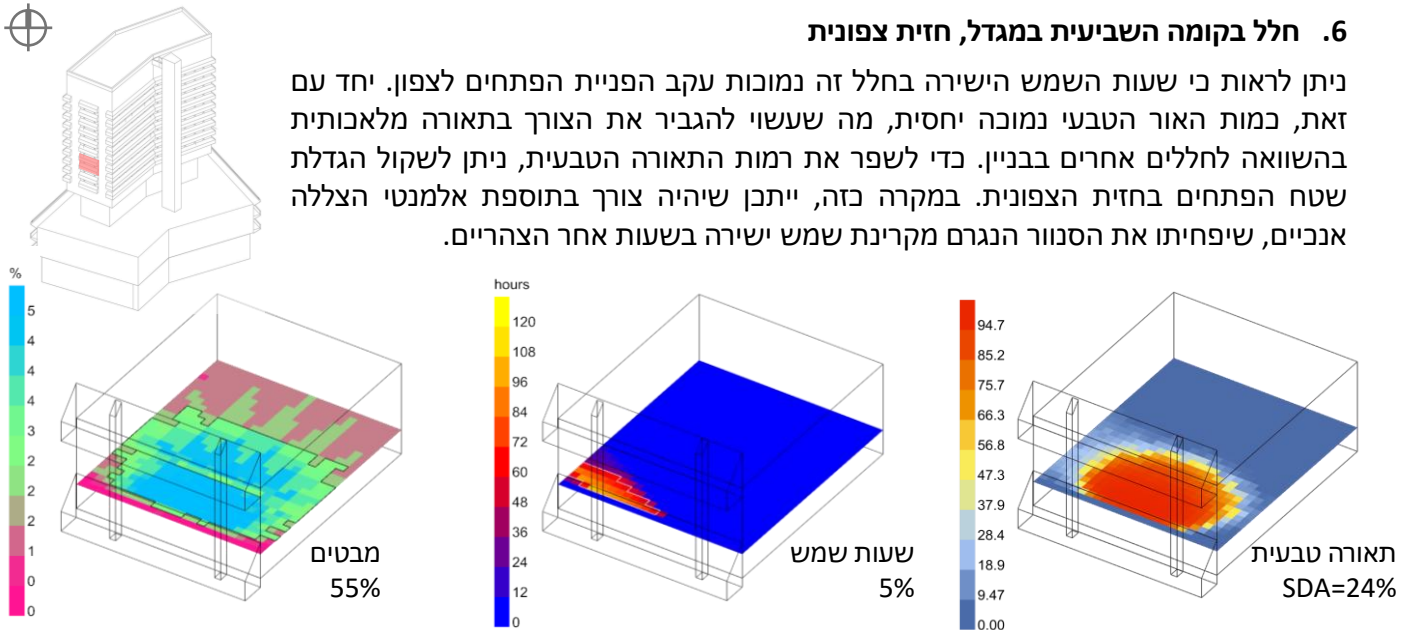
3. חלל בקומה השישית במגדל, חזית דרום מזרח

בחלל זה מספר הפתחים הפונים למזרח גדול יותר בהשוואה לאלו הפונים לדרום, ולכן ניתן לראות כי רוב התאורה הטבעית ושעות השמש הישירה חודרות לחלל מכיוון מזרח. עקב מיעוט הפתחים בחזית הדרומית, חלק ניכר מהחלל אינו מקבל תאורה טבעית ישירה. עם זאת, בעונת הקיץ מצב זה עשוי להוות יתרון, שכן הוא מפחית את עומסי החום ומצמצם את צריכת האנרגיה לקירור. מבחינת ניתוח המבטים, כמעט בכל אזורי החלל מתקבלים ערכים של מעל 2% מבטים ישירים אל החוץ, הודות לגובה הקומה הגבוה ביחס לסביבה.



6. חלל בקומה השביעית במגדל, חזית צפונית

ניתן לראות כי שעות השמש הישירה בחלל זה נמוכות עקב הפניית הפתחים לצפון. יחד עם זאת, כמות האור הטבעי נמוכה יחסית, מה שעשוי להגביר את הצורך בתאורה מלאכותית בהשוואה לחללים אחרים בבניין. כדי לשפר את רמות התאורה הטבעית, ניתן לשקול הגדלת שטח הפתחים בחזית הצפונית. במקרה כזה, ייתכן שיהיה צורך בתוספת אלמנטי הצללה אנכיים, שיפחיתו את הסנוור הנגרם מקרינת שמש ישירה בשעות אחר הצהריים.

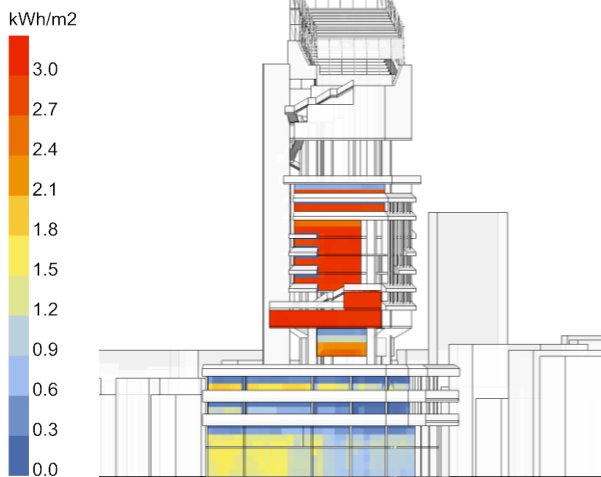


תכנון והתאמת המבנה

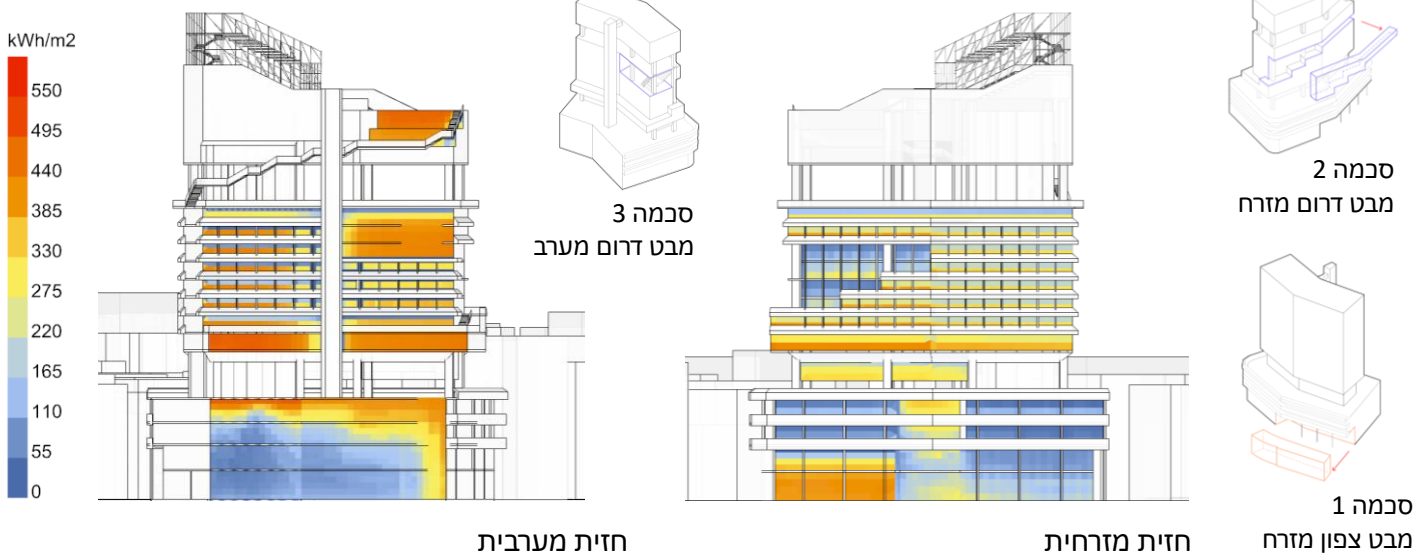
במסגרת התכנון בסטודיו, ביצענו שינויים והתאמות לבית המגדלור, תוך התחשבות במרחב העירוני הסובב אותו, בעדכון הפרוגרמה ובתוספת של מנעד חללי חוץ-פנים. לאחר מספר ניסיונות צורניים, זהו התכנון הסופי.

ביצענו שוב ניתוחי קרינה על החזיתות כדי לבחון את השפעת השינויים על התוצאות. בחזית הדרומית, ניתן לראות שב-21 בדצמבר, שיא החורף, בין השעות 08:00-18:00, מקומות התורפה שיש לטפל בהם נותרו בעיקר בקומות המגדל. בחזיתות המערבית והמזרחית, שנבדקו בתקופת הקיץ בין יוני לאוקטובר, בשעות 08:00-18:00, ביצענו שינויים שהובילו להצללה עצמית של המבנה ולשיפור משמעותי של תוצאות הקרינה כמו באזור המסד ובאזור של המרפסות בחזית המזרחית (סכמה 1,2). גם בחלק המערבי של קומת המסד ישנה הצללה עצמית של המבנים הסמוכים לבית מגדלור. עם זאת, בחלקים מסוימים חלה הרעה בתוצאות הקרינה בעקבות פתיחת פתחים והסרת הצללה קיימת, שנועדה לאפשר מבטים פתוחים לכיוון הים (סכמה 3).

כמו כן, נותרו אזורים רבים במבנה שיש להוסיף בהם אלמנט הצללה מתאים בנוסף לאלמנט ההצללה האופקי של המבנה.



חזית דרומית

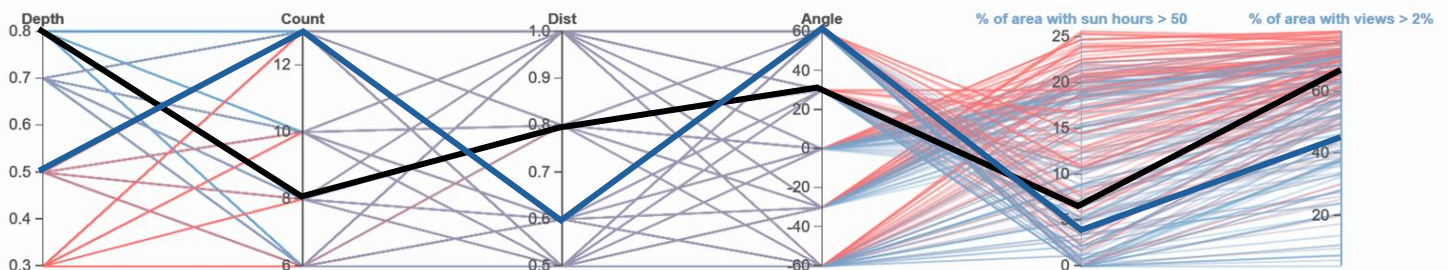
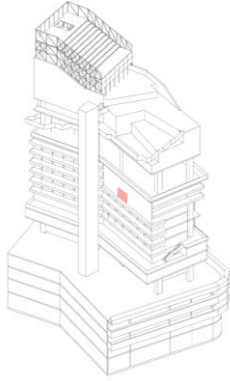


גיבוש חלופות תכנון ואנליזה השוואתית

במטרה להגיע לפתרון הצללה המיטבי לכל חזית נעזרנו בתוסף honeyBee לצורך יצירת מעטפת פרמטרית, לאחר מכן ביצעו אוטומציה ב-collibri ובאנליזות לצורך קביעת אלמנט ההצללה המתאים ביותר לכל חזית, בהתאם לאנליזות (שעות שמש, מבטים ותאורה טבעית). את הבדיקות ביצענו על חלל אופייני לכל חזית והשלכנו את התוצאה הנבחרת על כל החזית במקומות הנדרשים.

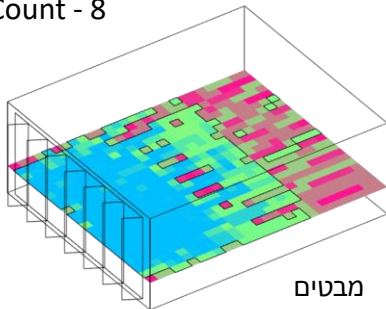
חזית מערבית

החדר שבחנו בחזית המערבית נבחר מתוך אזור שאינו כולל את ההצללה המקורית של המבנה, והוא מיועד לשמש כקיר מסך הפונה אל החוץ. קבענו את גודל החלון כך שיישאר קבוע מהרצפה ועד התקרה. החלטנו כי אלמנט ההצללה יהיה אנכי ללא אפשרות לשינוי, מתוך התאמה מיטבית לחזית המערבית. במהלך הבחינה התחשבנו במגוון פרמטרים המשפיעים על חדירת הקרינה והאור הטבעי, בהם עומק האלמנט ההצללה, זוויתו, המרווחים שבין האלמנטים, וכן כמותם הכוללת. את כל אלה הכנסנו לביצוע אוטומציה ב-Colibri. בסך הכול נבחנו 320 חלופות שונות, שמתוכן צמצמנו את האפשרויות והתמקדנו בשתי חלופות עיקריות. אמנם חלופה ב' מציגה נתונים טובים יותר באחוז שעות השמש (4%), אך הדבר בא על חשבון ירידה באיכות המבטים (43%) ובהפחתה משמעותית בתאורה הטבעית (SDA=28%). לכן חלופה א' נבחרה כאפשרות הטובה ביותר, המשלבת בצורה מיטבית תאורה טבעית איכותית (SDA=45%), אחוז מבטים גבוה (64%) והצללה אופטימלית (6.8%) ביחס לחלל שבו יש קיר מסך.

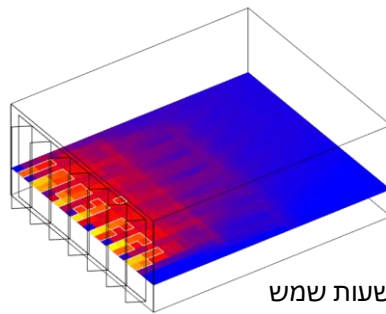


Depth - 50 cm
Distance - 80 cm
Angle - 30°
Count - 8

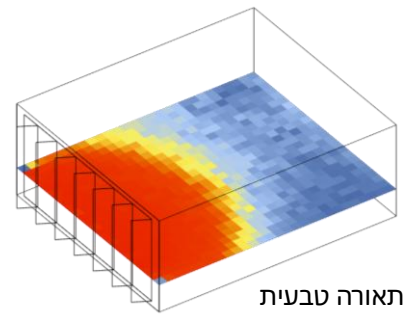
חלופה א'



מבטים
64%



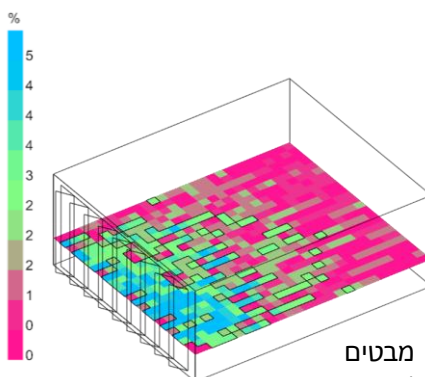
שעות שמש
6.8%



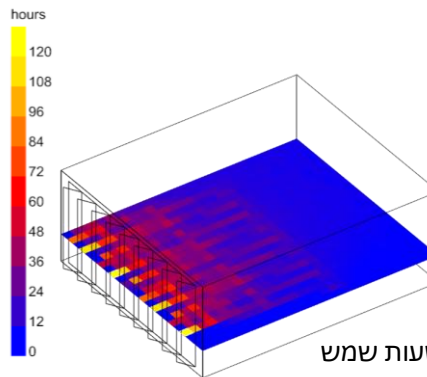
תאורה טבעית
SDA=45%

Depth - 50 cm
Distance - 60 cm
Angle - 60°
Count - 13

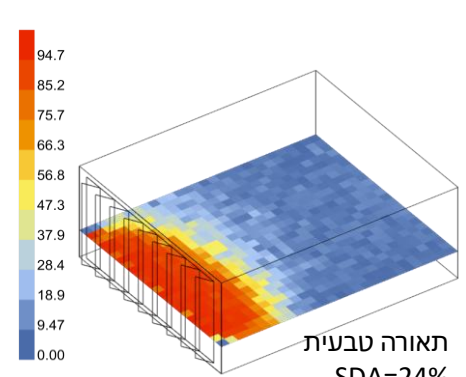
חלופה ב'



מבטים
30%



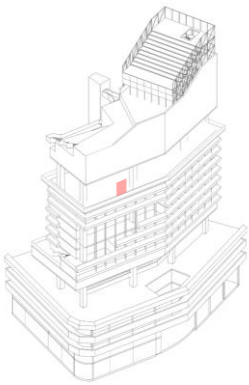
שעות שמש
0.3%



תאורה טבעית
SDA=24%

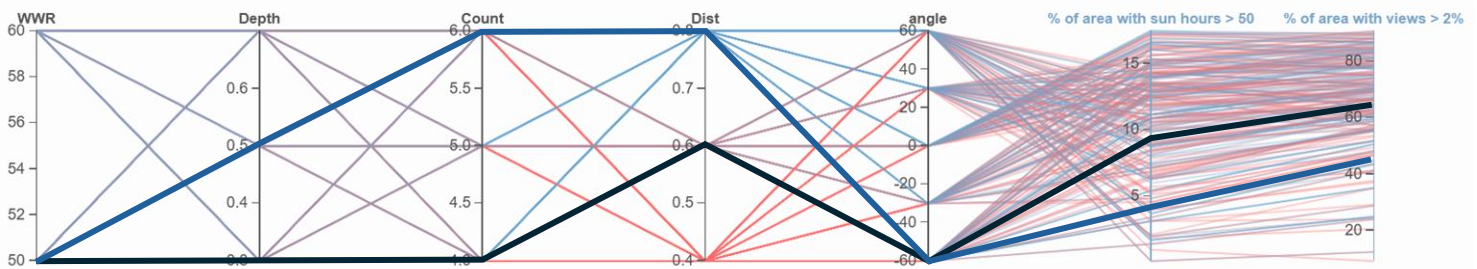


חזית מזרחית



גם כאן התמקדנו באותם פרמטרים לקביעת גודל החלון וצורת אלמנט ההצללה האנכי, אך בשונה מקיר המסך שבחזית המערבית, הכנסנו ל- Colibri גם את הפרמטר של אחוז החלון מהקיר. כתוצאה מכך, נבחנו חלופות שונות, בהן חלון אורכי אחד לעומת שני חלונות נפרדים (סך הכל נבחנו 270 חלופות).

בהשוואה למצב ההתחלתי, שבו כ-23% משטח החלל קיבל מעל 50 שעות שמש ישירות, ניתן לראות כי שתי החלופות מציגות שיפור משמעותי בהפחתת שעות השמש בחלל. בהתבסס על תוצאות הניתוח, חלופה א' נבחרה כפתרון האופטימלי, שכן היא מציעה איזון מיטבי בין הפחתת עומס החום לבין שמירה על מבטים פתוחים ותאורה טבעית ברמה גבוהה. בחלופה זו, אחוז המבטים מהחלל החוצה נותר גבוה יותר, ועומד על 63.5% לעומת 43% בחלופה ב', מה שתורם לתחושת מרחב פתוח ולסביבת עבודה נעימה יותר עבור המשתמשים. בנוסף, חלופה א' מאפשרת שמירה על רמות תאורה טבעית מספקות, עם SDA של 42% בהשוואה ל-28% בלבד בחלופה ב', דבר המצמצם את הצורך בתאורה מלאכותית, משפר את יעילות האנרגיה ומייעל את נוחות העבודה לאורך שעות היום. בכך, חלופה זו מספקת את האיזון האופטימלי בין הצללה אפקטיבית לבין יצירת סביבת עבודה איכותית ונוחה, ולכן היא החלופה שבחרנו לפרויקט.



Wall window ratio - 50%

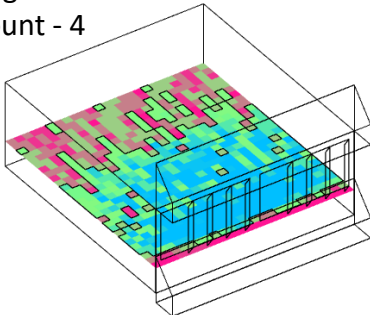
Depth - 30 cm

Distance - 60 cm

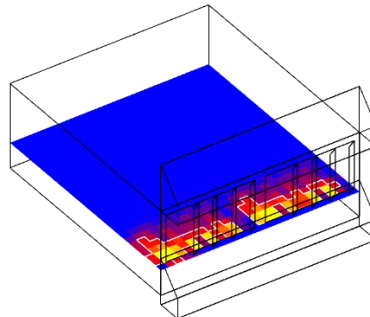
Angle - 60°

Count - 4

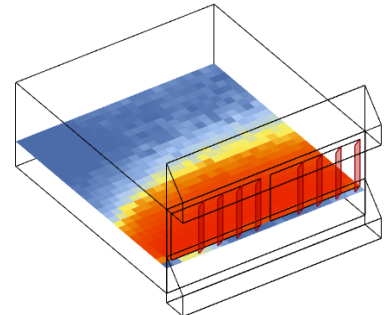
חלופה א' ■



מבטים
63.5%



שעות שמש
8.3%



תאורה טבעית
SDA=42%

Wall window ratio - 50%

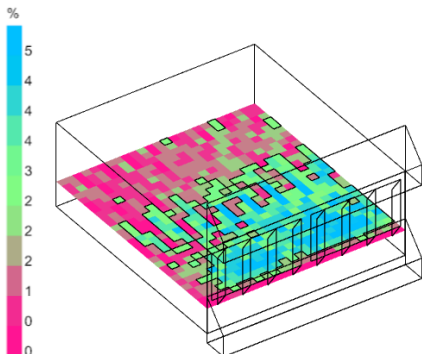
Depth - 50 cm

Distance - 80 cm

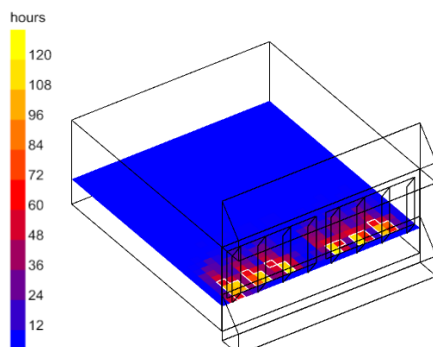
Angle - 60°

Count - 6

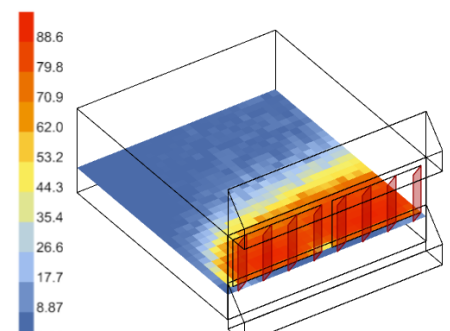
חלופה ב' ■



מבטים
43%



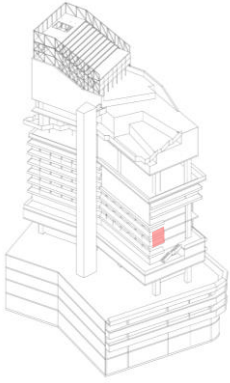
שעות שמש
4%



תאורה טבעית
SDA=28%

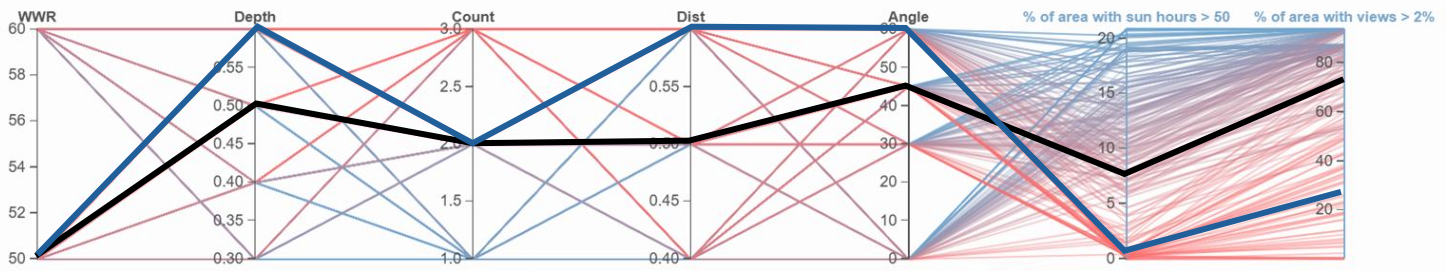


חזית דרומית



גם כאן התמקדנו באותם פרמטרים לבדיקה מלבד כיוון אלמנט ההצללה. בשונה מהחזית המזרחית והמערבית שם נדרש אלמנט הצללה אנכי, בחזית הדרומית אלמנט הצללה אופקי יתאים יותר עקב זווית השמש הגבוהה יותר. סך הכל נבחנו 290 חלופות ב-collibri.

בהתבסס על תוצאות הניתוח, חלופה א' נבחרה כפתרון האופטימלי. חלופה א' מאפשרת אחוז גבוה יותר של מבטים מהחלל החוצה (70% לעומת 25% בחלופה ב'), מה שמשפר את חוויית השהייה במבנה ומאפשר תחושת פתיחות טובה יותר. בנוסף, חלופה זו מספקת תאורה טבעית בשיעור של 65%, בעוד שבחלופה ב' רמת ה-SDA יורדת ל-23%, מה שעלול להוביל לתלות משמעותית בתאורה מלאכותית ולעלייה בצריכת האנרגיה. למרות שחלופה ב' מצליחה להפחית את שעות השמש הישירות לרמה נמוכה יותר (1.1% לעומת 7.7% בחלופה א'), ההשפעה השלילית שלה על התאורה הטבעית והמבט החוצה הופכת אותה לפחות מתאימה לפרויקט ובכך חלופה א' מספקת את האיזון האופטימלי בין הצללה אפקטיבית, כניסת אור טבעי וקשר אל החוץ.



Wall window ratio - 50%

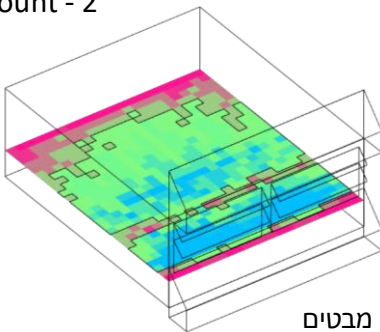
Depth - 50 cm

Distance - 50 cm

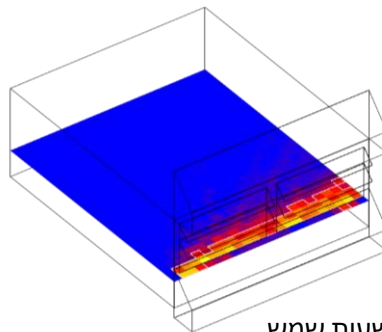
Angle - 45°

Count - 2

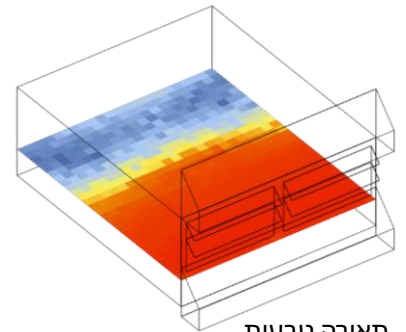
חלופה א' ■



מבטים
70%



שעות שמש
7.7%



תאורה טבעית
SDA=65%

Wall window ratio - 50%

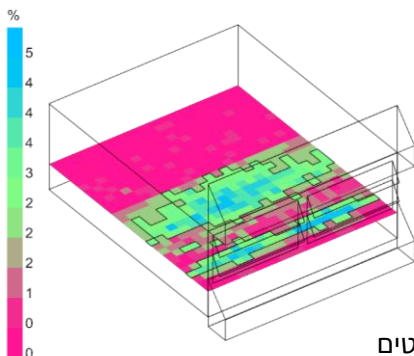
Depth - 60 cm

Distance - 60 cm

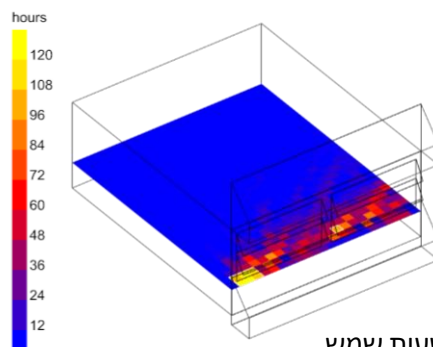
Angle - 60°

Count - 2

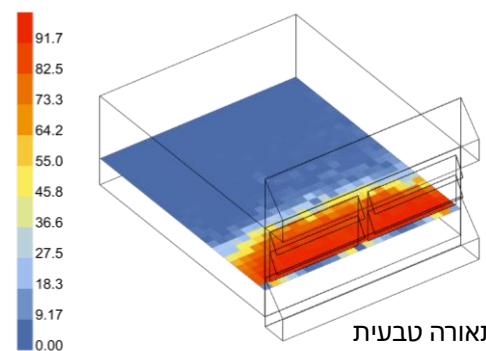
חלופה ב' ■



מבטים
25%



שעות שמש
1.1%



תאורה טבעית
SDA=23%

סיכום ומסקנות

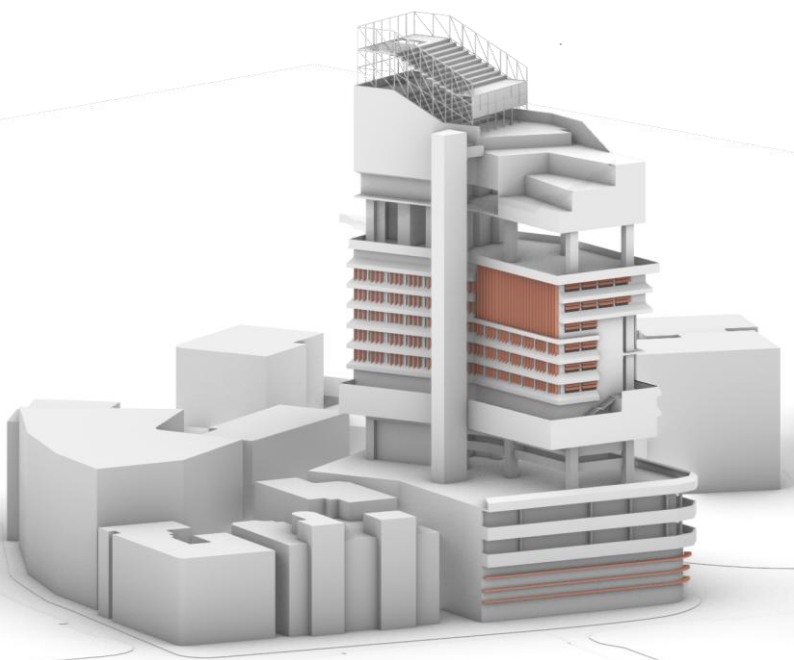
במהלך העבודה ביצענו ניתוח מעמיק של מעטפת בית מגדלור, תוך שימוש ב-Colibri, Ladybug, Honeybee לצורך ביצוע אנליזות אקלימיות, השוואת חלופות והצעת פתרונות הצללה מותאמים. מעטפת המבנה הקיים כוללת הצללות אופקיות מבטון שחזרו על עצמן באופן אחיד בכל החזיתות, ללא התייחסות לכיווני השמש המאפיינים כל חזית. חזרתיות זו יצרה מצב שבו לא היה הבדל בסוג ובמינון אלמנטי ההצללה בין החזיתות, ומטרת עבודה זו הייתה לבחון את יעילות ההצללה הקיימת.

הניתוחים שביצענו הדגימו את השפעת קרינת השמש לאורך השנה, והדגישו את הצורך בפתרונות הצללה שמגיבים בצורה חכמה יותר להפניית החזית ולתקופות הרלוונטיות בשנה, ולשעות הרלוונטיות במהלך היום. לדוגמה, בחזית המזרחית מקבלת קרינה ישירה בעיקר בשעות הבוקר עד הצהריים. הניתוח הראשוני הראה ששיעור השטח החשוף לקרינה ישירה היה גבוה, בעיקר בחזיתות המערבית והדרומית, מה שעלול היה להוביל לאי נוחות תרמית במהלך רוב שעות העבודה בחללי המשרדים. בהתאם לכך, בחנו מספר חלופות הצללה שהתבססו על עומק האלמנטים, המרווח ביניהם, זוויתם וגודל הפתחים. בהתאם לזווית השמש בחרנו להתאים לחזיתות המזרחית, המערבית והצפונית אלמנט הצללה אנכי ולחזית הדרומית אלמנט הצללה אופקי. כמו כן, לכל חלופה ביצענו ניתוחי שעות שמש, מבטים מהחלל החוצה ותאורה הטבעית.

בהשוואת החלופות מצאנו כי חלופה א' הייתה העדיפה בכל אחת מהחזיתות שבחנו. חלופה זו הציגה איזון מיטבי בין צמצום קרינה ישירה לבין שמירה על תנאי תאורה טבעית ומבטים פתוחים, דבר שהופך אותה לפתרון האופטימלי עבור סביבת עבודה משרדית.

לדוגמה, בחזית הדרומית מצאנו כי חלופה א' סיפקה SDA של 65% ואחוז מבטים גבוה (70%), תוך צמצום שעות השמש הישירות בצורה משמעותית ביחס למצב ההתחלתי. לעומת זאת, חלופה ב', על אף שהפחיתה כמעט לחלוטין את הקרינה הישירה, הורידה משמעותית את כמות האור הטבעי ואת כמות המבטים, מה שהוביל לתלות גבוהה יותר בתאורה מלאכותית.

לסיכום, פתרונות ההצללה הנבחרים מאפשרים סביבת עבודה נוחה מבחינה תרמית בשילוב שיקולים עיצוביים. מסקנות אלו מדגישות את החשיבות של התאמת פתרונות הצללה ייעודיים לכל חזית בנפרד, במקום שימוש בפתרון אחיד לכל המבנה.



מבט דרום-מערב



מבט צפון-מזרח