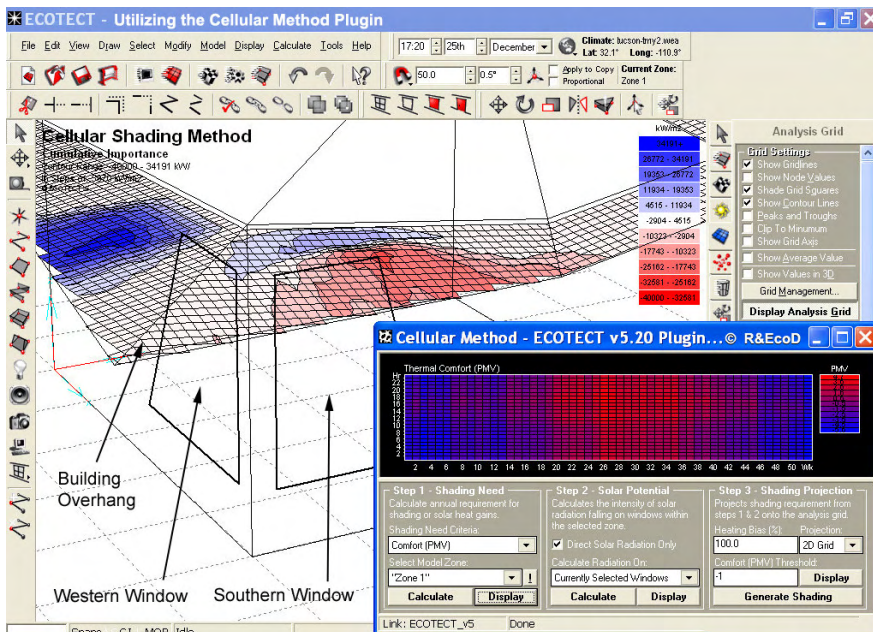


תכנון הצללה אופטימאלית / מרצה אדר' ערן קפטן

בהרצאה יוצגו שיטות לתכנון אמצעי הצללה, ביניהם המודל הנקודתי להצללה אופטימאלית בפירוט.

< גישה חדשנית לתכנון הצללה > המודל הנקודתי להצללה אופטימאלית

תקציר < למרות העידן הממוחשב, עדיין מקובל בארץ ובעולם לתכנן אמצעי הצללה בעזרת הנחיות כלליות או חישובים פשוטים. אולם, כלים אלו אינם מספקים מענה מדויק לפתרון דילמת ההצללה האופטימאלית -- מחד גיסא מניעת כניסת קרינת השמש לחלל המבנה בעונה החמה, ומאידך גיסא, הכנסת קרינת השמש בעונה הקרה. מודל החישוב הנקודתי להצללה, מהווה גישה חדשנית לתכנון אמצעי הצללה אופטימאליים. המודל מאפשר מיפוי החלל החיצוני בסמוך לפתחי הבניין (או מיפוי תכנון ראשוני של אמצעי הצללה) בהתאם למדד החשיבות, לספק צל, או לחילופין, מעבר קרינת שמש, בתקופה מסוימת. המיפוי מספק למתכנן את המידע החיוני לקביעת צורת ההצללה האופטימאלית, מבטל את הצורך בתהליך חזרתי של ניחוש - ובדיקה, ומאפשר שימור אנרגיה מקסימאלי מבלי לפגוע בחופש העיצוב. התהליך הממוחשב כולל חלוקת החלל החיצוני (או ההצעה לאמצעי הצללה) ליחידות בדיקה קטנות על ידי רשת מרחבית תלת-ממדית תיאורטית. בכל יחידות הבדיקה נבדקת רמת החשיבות הרגעית לספק צל או לחילופין לאפשר מעבר קרינת שמש, בכל שעה משעות התקופה הנבדקת. לבסוף, התוצאות מהבדיקות בשעות השונות משוקללות בכל יחידות הבדיקה לערכים המייצגים את תקופת הבדיקה. לאחרונה, המודל הנקודתי להצללה שולב בתוכנת הדמיה אקלימית Ecotect, כמודל חיצוני (Plug-In). יישום זה מאפשר שימוש בנתונים אקלימיים, סולריים, ותרמיים ישירות מתוכנת Ecotect, תכנון ובדיקות גיאומטריות מורכבות, והצגה בסביבת עבודה אדריכלית תלת ממדית (CAD). המודל הנקודתי להצללה ויישום בתוכנות מחשב, מאפשר דיוק חסר תקדים בהתאמה אופטימאלית של צורת אמצעי הצללה (או שקיפותם) לאקלים המקומי, לנתוני פתחי הבניין, ולנוחות האקלימית בחללי הבניין. רמת דיוק גבוהה זו נחוצה לאור הצורך הגלובלי הגובר בשימור אנרגיה וקיימות.



בדיקת הצללה אופטימאלית לכרכוב מעל חלון דרומי ומערבי

המודל הנקודתי להצללה אופטימאלית -- (Cellular Shading Method) פותח על ידי אדר' ערן קפטן במסגרת לימודי תואר שני באוניברסיטת אריזונה. המודל הוצג בכנסים בינלאומיים, נרשם ובהמתנה לפטנט אמריקאי, ולאחרונה הוצג בכתב העת אדריכלות ישראלית, גיליון מס' 62, עמודים 51-55.

אדר' ערן קפטן

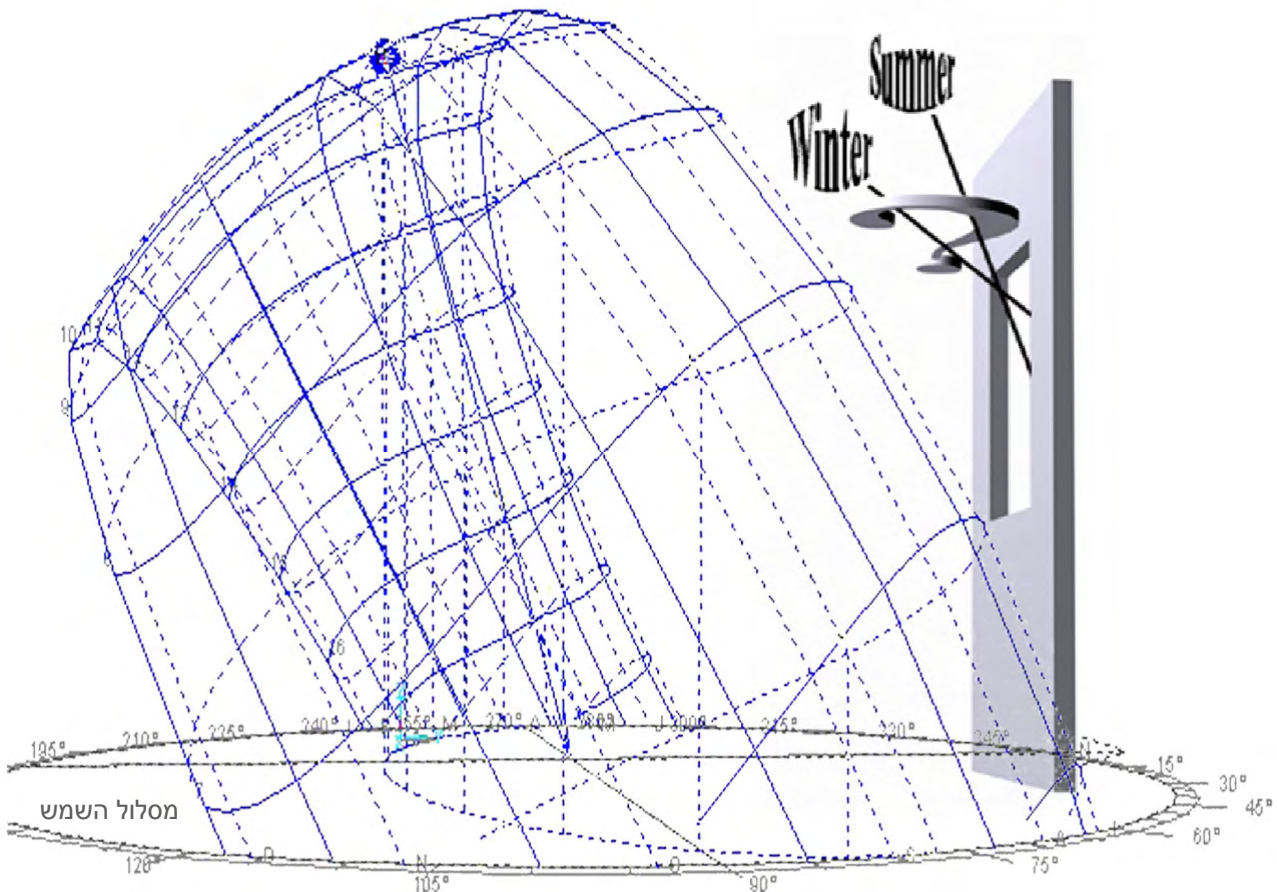
תואר שני באדריכלות, אוניברסיטת אריזונה, מגמת תכנון אדריכלי לשימור אנרגיה וקיימות, 2001. מרצה ללימודי תכנון אקלימי במחלקה לעיצוב פנים מבנה וסביבה, מכללת שנקר להנדסה ועיצוב. מנהל את "מחקר ותכנון אדריכלי לשימור אנרגיה וקיימות" (Research & EcoDesign), משרד המתמחה בתכנון ויעוץ לשימור אנרגיה וקיימות במבנים, השגת נוחות אקלימית, ויישום דמיות אקלימיות ממוחשבות.

המודל הנקודתי להצללה אופטימאלית -- Cellular Shading Method

סגנון ההיטק העכשווי מעודד שקיפות חלקים נרחבים במעטפת הבניין ושילובן של אמצעי הצללה מרהיבים. לשילוב זה, פוטנציאל לתרום לשיפור הנוחות האקלימית ולהקטנת צריכת האנרגיה של הבניינים. אולם, למרות שכיום מוסכם ששימור אנרגיה חייב להיות בראש סדר העדיפויות, עדיין מתכננים מרבית אמצעי הצללה בארץ ובעולם ללא חישובים נאותים או מטעמים אסטטיים בלבד.

מבין הסיבות לכך, העובדה, שתכנון הצללה נכונה אינו פשוט כלל. מצד אחד, אנו מעוניינים לחסום את קרינת השמש הישירה בעונה החמה, אך מצד שני, לאפשר את כניסתה בעונה הקרה. סביר להניח שפיתוחים טכנולוגיים עתידיים בתחום אמצעי הצללה דינאמיים יאפשרו מענה אידיאלי. בשלב זה, ניתן להשיג מענה אופטימאלי בעזרת אמצעי הצללה קבועים, בעלי צורה ייחודית אשר מתחשבת במערכות דינאמיות כגון: מסלול השמש, האקלים, ייעוד השימוש בחללים, ועוד..

מודל חדשני, המבוסס על חישוב נקודתי, מאפשר כיום את מציאת הצורה הייחודית אשר תספק הצללה אופטימאלית. זאת על ידי מיפוי המרחב החיצוני לאזורים על פי רמת חשיבותן לספק הצללה או לחילופין מעבר קרינת שמש. המודל מהווה פריצת דרך בכך, שבניגוד לשיטות חישוב אחרות, מתחשב במספר רב מאד של פרמטרים, בנוסף, מספק את המידע החיוני לתכנון הצללה אופטימאלית באופן מיידי. לפיכך, מודל זה מבטל את הצורך בתהליך התכנון החזרתי המקובל של תכנון אינטואיטיבי ובדיקת יעילותו.



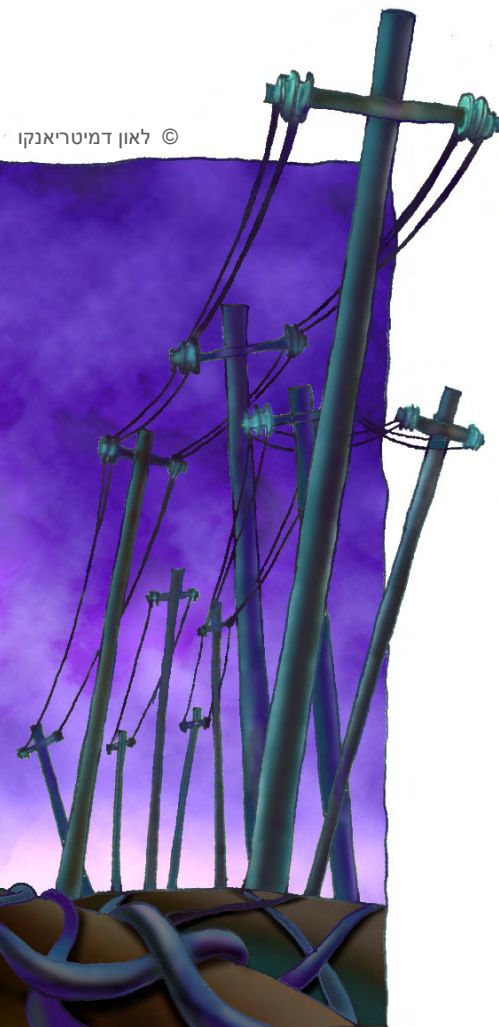
לאור העלייה הדרסטית בצריכת האנרגיה הגלובלית והתוצאות הנלוות של התחממות וזיהום כדור הארץ, מסתמנת מגמה עולמית לצמצום צריכת האנרגיה. כיום, בעוד מעט מדינות "מתקדמות" אחראיות למירב צריכת האנרגיה העולמית, מדינות "מתפתחות" רבות, עם אוכלוסיה הולכת וגדלה, מעוניינות להשיג רמת מחייה דומה. לפיכך, כיום מוסכם באופן אוניברסאלי שלא ניתן עוד להמשיך בהרגלי צריכת האנרגיה הנוכחים. פיתרון חלקי לבעיית צריכת האנרגיה, הינו שימוש נכון במקורות אנרגיה שאינם מתכלים. בתחום הבניה, שאחראית לכחמישים אחוזים מצריכת האנרגיה העולמית, מומלץ להשתמש בטכנולוגיות אשר "עובדות" עם הסביבה, מאשר בטכנולוגיות בזבזניות ל-"שליטה" בסביבה.

חשיבות הצללת חלונות לנוחות האקלימית בחלל המבנה והחיסכון הנלווה בצריכת האנרגיה לקירור ידועה זה מכבר. הצללה חיצונית יכולה לעצור את קרינת שמש הישירה בתקופה החמה מלהגיע לחלונות. כתוצאה, תמנע התחממות נוספת של חלל המבנה, ובכך תיחסך צריכת אנרגיה נוספת להסרת עודפי חום אלו.

כיום, חלונות גדולים וקירות מסך הם אלמנטים אדריכליים נפוצים, ולרוב בעיתיים בשל השפעתם השלילית על הנוחות האקלימית וצריכת האנרגיה של המבנים. פתרונות רבים הוצעו בתחום הזיגוג. אולם סוגי זכוכית בעלי מקדמי הצללה גבוהים לרוב גם מפחיתים את שקיפות הזכוכית, מתחממים או לחילופין מסנוורים. ובהתאם מקטינים את רמת התאורה הטבעית ואת האפשרות לחימום פסיבי. פתרונות אחרים הכוללים זיגוג חכם (סלקטיבי, משתנה) לרוב יקרים ביותר. לשילוב של אמצעי הצללה אופטימאליים עם זכוכית שקופה ומבודדת, פוטנציאל רב. שילוב זה מאפשר קשר ויזואלי טוב עם הסביבה החיצונית, הצללה בתקופה החמה, חימום פסיבי בתקופה הקרה, רמת תאורה טבעית גבוהה, ופוטנציאל לעלות נמוכה.

כבר כיום, השימוש באמצעי הצללה נרחב, אולם לרוב, הבחירה אסטטית גרידא, ולעיתים תכופות לחיזוק החזות התעשייתית של המבנה. למרות ההשקעה הכלכלית והעיצובית באמצעי הצללה, מעטים המתקנים המתוכננים להצללה נכונה. תופעה זאת מצערת מכיוון שבאמצעות תכנון נכון ניתן להשיג גם שימור אנרגיה ובכך לתרום לקיימות.

אמצעי הצללה כוללים שני סוגים עיקריים, אלמנטים דינאמיים (מתריסים פשוטים ועד מדפים ממונעים), ואלמנטים קבועים (שצורתם האופטימאלית לוקחת בחשבון את מסלול השמש הדינאמי). בעוד שלא אלמנטים דינאמיים עם הפעלה נכונה הפוטנציאל להצללה מלאה בקיץ וחשיפה מלאה בחורף, לאלמנטים אופטימאליים קבועים הפוטנציאל לספק הצללה בעלת הפשרה הטובה ביותר בין הצורך בהצללה קיצית וחשיפה חורפית. לאלמנטים דינאמיים פוטנציאל רב, וסביר להניח שפיתוחים טכנולוגיים עתידיים ישפרו בעיות כגון תחזוקה, הפעלה נכונה, חזות אסטטית, ועלות יצור והרכבה. בשלב זה, אמצעי הצללה קבועים יכולים לתת מענה אדריכלי-אקלימי מידי, טוב ואסטטי. לאלמנטים דינאמיים ולאלמנטים קבועים תרומה שונה לחזות התלת מימדית של המבנה. לשילוב מעניין ונכון של שני סוגי הצללה במבנה אחד הפוטנציאל ליצירת סגנון אדריכלי-אקולוגי חדש.



© לאון דמיטריאנקו

< הצללה אופטימאלית

מטרת ההצללה האופטימאלית לאפשר נוחות אקלימית, וויזואלית, וחיסכון בצריכת האנרגיה לקירור, לחימום ולתאורה. אמצעי הצללה קבועים, מצד אחד עוצרים שמש קיצית, ובכך מקטנים את עומס החום וצריכת האנרגיה לקירור בקיץ. אך מצד שני, גם יוצרים אפקט שלילי של מניעת כניסת קרינת השמש החורפית לחלל המבנה, ובכך מגדילים את צריכת האנרגיה לחימום ותאורה בחורף. למרבה המזל, שינויים עונתיים ושעתיים במיקום השמש בשמיים מאפשרים תכנון אמצעי הצללה קבועים ואופטימאליים המאפשרים מניעת כניסת מרבית קרינת השמש הקיצית הישירה, ובה בעת, מאפשרים חדירת מרבית קרינת השמש החורפית.

קביעת צורת אמצעי צללה אופטימאליים בהיבט אדריכלי-אקלימי, דורשת התחשבות בפרמטרים רבים, כגון:

< תכונות הפתח המיועד להצללה, (כגון צורה, כיוון, זווית נטייה, וסוג זיגוג)

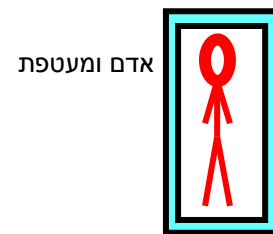
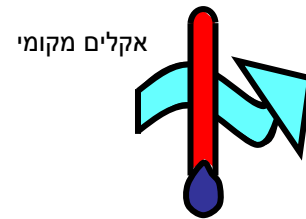
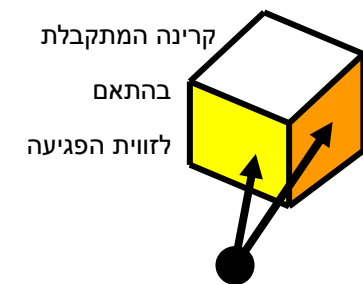
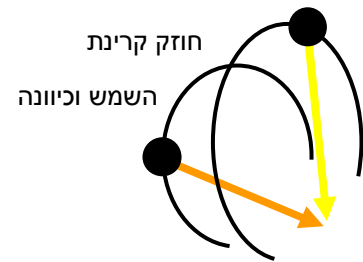
< מיקום אמצעי הצללה (ביחס למסלול קרני השמש לעבר הפתח המיועד להצללה)

< שינויים אזוריים, עונתיים, ויומיים (בשעות היום השונות) בכיוון השמש ביחס לחלון, עוצמת הקרינה והספקטרום

< הצללה סביבתית (מטופוגרפיה, ומבניינים ועצים שכנים)

< שינויים אזוריים, עונתיים, ויומיים (בשעות היום השונות) באקלים המקומי, ובהתאם שינויים יומיים ברמת הנוחות האקלימית בחלל המבנה (המושפעים גם על ידי מכלול מרכיבי המבנה והפעלתו, וכן על ידי רמת הלבוש ואופי פעילות תושביו)

< יעדים תרמיים וויזואליים בהתאם לייעוד השימוש בחלל המבנה וזמני השימוש (תוך כדי תשומת לב גם ליעדים משניים כגון מניעת קרינה ישירה על אנשים וריהוט, בוהק, והשגת אחידות או גיוון הארה, אינדקס



פרמטרים עיקריים לחישוב אמצעי הצללה

למרות העידן הטכנולוגי הממוחשב, עדיין מקובל בארץ ובעולם לתכנן אמצעי הצללה בעזרת הנחיות כלליות או חישובים פשוטים. אולם, כלים אלו בעייתיים. זאת מכיוון (שכמו בכל בעיה אקלימית) פיתרון לצורת הצללה אופטימאלית כולל התחשבות בגורמים רבים. גורמים אלו לעיתים אף מחלישים אחד את השני, ולעיתים אחרות השפעתם גדלה בתהליך הסינרגיה.

לדוגמא, קרינת שמש קיצית בצהרי היום חזקה במיוחד בגלל המרחק המינימאלי שהיא עוברת באטמוספירה. עם זאת, זווית פגיעתה החדה בחלון דרומי מאפשרת חדירה מופחתת לחלל המבנה, ובה בעת, בעונה זאת שורר בדרך כלל עודף חום בחלל המבנה, ותוספת הקרינה משמעותית. דוגמא נוספת, קרינת שמש אביבית בצהרי היום הינה בינונית בגלל המרחק שהיא עוברת באטמוספירה. אולם, זווית פגיעתה הפחות חדה בחלון דרומי מאפשרת חדירה מוגברת לחלל המבנה (יחסית לצהרי הקיץ). במקביל, בעת זאת לעיתים לא שורר עודף חום בחלל המבנה, ויתכן ותוספת הקרינה לא תהייה משמעותית.

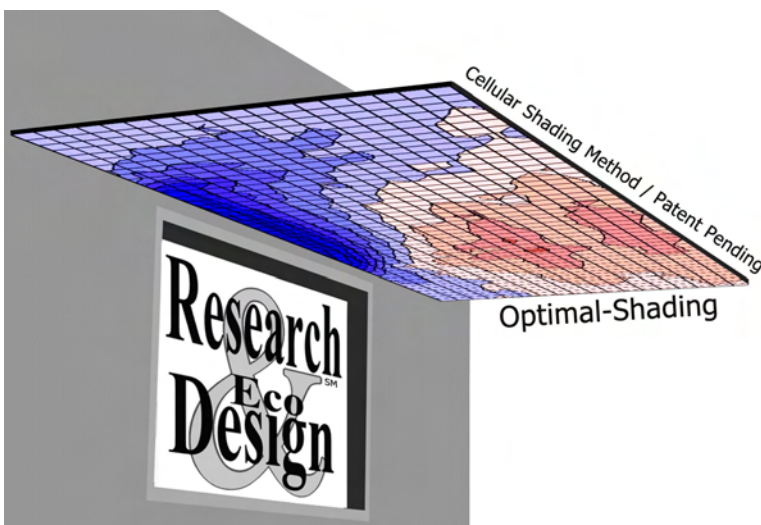
כיום, בזכות יכולות המחשב, ניתן לפתור את דילמת ההצללה בצורה מדויקת ואין עוד הצדקה לתכנון שגוי (או לא מדויק). בעידן זה ניתן וחובה לרתום את יכולות המחשב להשגת קיימות ביתנו - כדור הארץ.

למרות שהלכה למעשה אמצעי הצללה בישראל לרוב לא מחושבים, ישראל יכולה להיות גאה בתרומה משמעותית לפיתוח שיטות החישוב. מבין מספר מועט של חוקרים ברחבי העולם אשר פיתחו שיטות לחישוב צורת הצללה אופטימאלית מצויים לפחות שלושה חוקרים ישראלים: פרופ' עדנה שביב (1974), פרופ' יאיר עציון (1985), ואדר' ערן קפטן (2001).

< גישה חדשה בחישובי הצללה אופטימאלית - Cellular Shading Method

בעבר פותחו מספר שיטות חישוב מורכבות המאפשרות הערכת יעילות תכנון אמצעי הצללה, כגון, (McCluney, 1990; Grau and Johnsen, 1995). אולם, לצורך תכנון אמצעי הצללה אופטימאליים בעזרת שיטות אלו, המתכנן נדרש להציב (על ידי ניחוש) אין ספור צורות שונות לבדיקה השוואתית של יעילותן.

שיטת חישוב חדשנית, החישוב הנקודתי להצללה, מהווה גישה חדשה לתכנון אמצעי הצללה אופטימאליים (וכיום, הינה השיטה המתקדמת בעולם בתחומה). השיטה מאפשרת מיפוי החלל החיצוני הסמוך לחלונות (או אמצעי הצללה מוצעים) בחשיבות הכוללת, לתקופה מסוימת לספק צל, או לחילופין, מעבר קרינת שמש. המיפוי מספק למתכנן מידע חיוני לקביעת צורת ההצללה האופטימאלית, מבטל את הצורך בתהליך חזרתי של ניחוש-ובדיקה, ומאפשר חופש עיצובי נרחב.



מיפוי הצללה אופטימאלית



מתקן הצללה אופטימאלית בהתאם

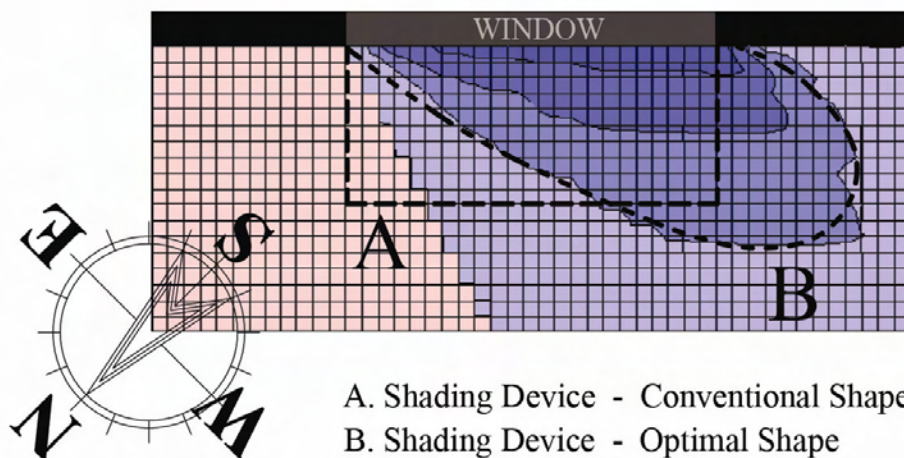
הרעיון העיקרי בבסיס שיטה זו הינו תהליך ייחודי של דיגום ממוחשב, צבירה, שקלול ושיוך מידע רלוונטי רב למיקומים מרחבים שונים בחלל החיצוני הסמוך לפתח המבנה. התהליך הממוחשב כולל חלוקת החלל החיצוני, או אמצעי הצללה מוצעים, על ידי רשת מרחבית תיאורטית ליחידות בדיקה קטנות. לכל יחידה מרחבית נבדקת רמת החשיבות הרגעית לספק צל, או לחילופין, מעבר קרינת שמש בכל שעה משעות התקופה הנבדקת. לבסוף, בכל יחידת בדיקה, התוצאות מהבדיקות בשעות השונות משוקללות לערך המיצג את התקופה כולה.

למרות שהחישוב הבסיסי דומה לכל היחידות, בכל יחידה ויחידה יתקבלו תוצאות שונות. זאת בעיקר, מכיוון שהמיקום המרחבי הנבדק ביחס למסלול קרני השמש לעבר הפתח שונה בכל יחידות הבדיקה השונות. כיוון שחלונות מגוונים בצורתם, בכיוונם ביחס לשמש, ובמיקומם הגיאוגרפי, באופן טבעי, חלונות שונים דורשים אמצעי הצללה אופטימאליים בעלי צורה ייחודית.

מיפוי הצורך בהצללה לחלון צפון-מערבי בטוסון אריזונה (למטה) הינו דוגמא מוחשית לכך שגגון מלבני אינו מספק הצללה נכונה (אפילו אם החלון עצמו מלבני).

המיפוי מצביע על צורך מובהק בגגון בעל צורה אי סימטרית. בעזרת המיפוי ניתן ללמוד שבמידה והיה מיושם גגון מלבני פשוט, מצד אחד, אזורים חשובים לספק הצללה יהיו חשופים, ומצד שני, ייווצר בזבז בחומר לכיסוי אזורים לא חשובים לספק הצללה.

הצללה אופטימאלית בחלון צפון-מערבי



רמת החשיבות הרגעית בכל יחידה מרחבית, לספק צל או לחילופין מעבר קרינת שמש בכל שעה משעות התקופה הנבדקת, מחושבת על ידי מציאת מידת הרלוונטיות הרגעית להצללה, הפוטנציאל הסולרי, ומידת הצורך בקרינת שמש. וניסוח פשוט יותר, במידה והיחידה המרחבית נמצאת במסלול קרני השמש לעבר פתח הבניין בשעה הנבדקת, ומסלול זה לא נחסם על ידי בנינים שכנים, יחידה זו תאסוף ערך המהווה מדד להשפעה היחסית של הצללה בשעה זאת ואת מידת הצורך בה.

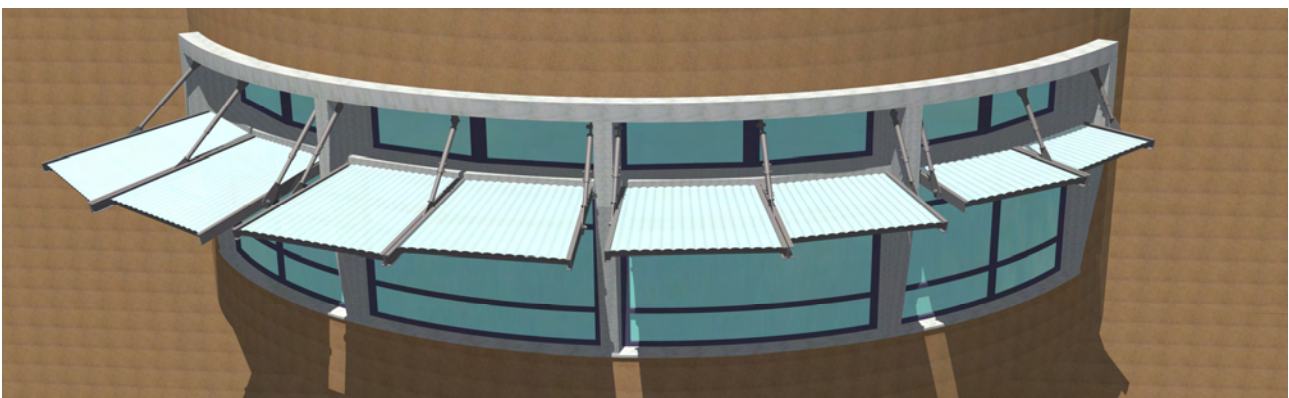
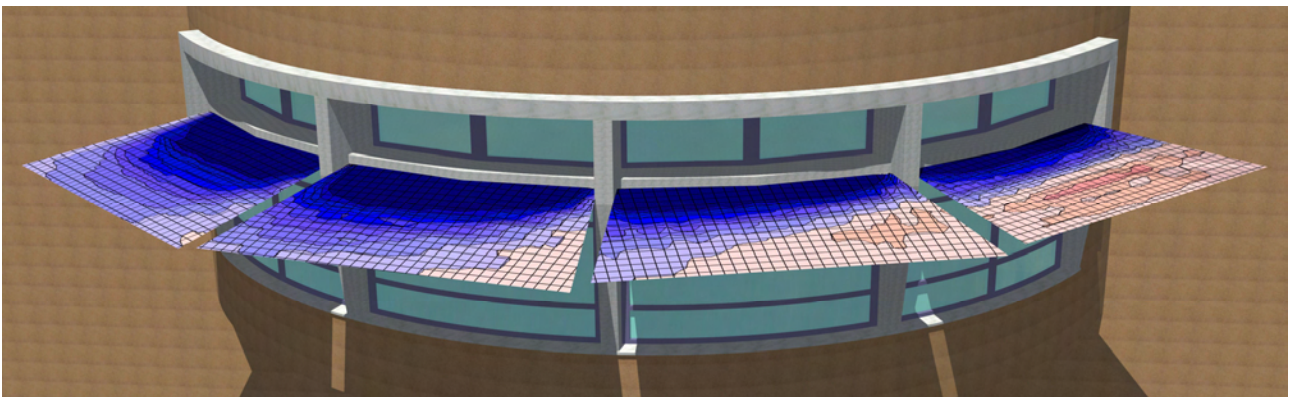
תהליך השקלול הייחודי מאפשר התייחסות לא רק לחשיבות של הצללה בתקופה החמה אלה באותה מידה גם לחשיבות של מעבר קרינת שמש בתקופה הקרה למטרת חימום פסיבי. זהו יתרון מובהק על שיטות חישוב אחרות המנסות להשיג הצללה מלאה בקיץ תוך התפשרות על קליטת קרינת שמש חורפית. ובכך, מתעלמות מן העובדה שבהרבה מדינות ואזורים (תלוי גם בסוג המבנה ואכלוסו) החשיבות בחימום פסיבי אף עולה על הצורך היחסי בהצללה מלאה.

המיפוי מבחין בין אזורים בעלי חשיבות לספק הצללה (גוון כחול), ואזורים בעלי חשיבות לספק מעבר קרינת שמש (גוון אדום). המיפוי גם כולל תת חלוקה על פי רמת החשיבות של האזורים השונים לספק הצללה או לחילופין מעבר קרינת שמש, ובכך, מאפשר למתכנן מרחב עיצובי להתחשבות גם בגורמים אדריכליים חשובים אחרים (כגון, טכנולוגיה, אסטטיקה, עלות, וכד').

חשוב להדגיש, שמכיוון שהמיפוי מחושב להצללה אופטימאלית, הוא יאפשר מחד גיסא, שימור אנרגיה מירבי בצריכת האנרגיה הכוללת לקירור וחימום בתקופה הנבדקת. מאידך גיסא, לא יספק הצללה מלאה בעונה החמה או לחילופין חשיפה מלאה בעונה הקרה. על ידי בחירת עונה אחת לבדיקה (החמה או הקרה) ניתן ללמוד לגבי הצללה או חשיפה מלאה. הבדיקות היומיות (מידי שעה, או יחידות זמן קטנה יותר) מאפשרות גם תכנון אמצעי הצללה דינאמיים.

שיטת החישוב הנקודתי להצללה (Cellular Shading Method) פותחה על ידי אדר' ערן קפטן במסגרת לימודיו לתואר שני באוניברסיטת אריזונה, במסלול לשימור אנרגיה וקיימות. והוצגה לראשונה בכנס הבינלאומי בנושא אדריכלות פסיבית ומשמרת אנרגיה אשר נערך בברזיל (2001)¹. כיום השיטה רשומה ובהמתנה לפטנט אמריקאי.

שיתוף פעולה בין מחקר ותכנון אדריכלי, אדריכל הפרויקט אבינעם לוין, והמזמין שראה חשיבות עליונה בחינוך הדור הצעיר לקיימות, הניב תכנון מערכת הצללה ייחודית, על פי המודל הנקודתי להצללה אופטימאלית, בפרויקט מרכז קק"ל בניצנה (כיום המבנה בתהליך בניה). מערכת הצללה קבועה תוכננה על פי בדיקות ממוחשבות לחלון פנוראמי הפונה לכיוונים מדרום ועד למערב. הבדיקות הצביעו על מערכת הצללה בעלת מדפי הצללה אשר אורכם גדל וזווית הטייתן מונמכת ככול שפונים כלפי מערב.



תכנון הצללה אופטימאלית במרכז קק"ל בניצנה

אדריכל: אבינעם לוין אדריכל ובונה ערים • ייעוץ הצללות: ערן קפטן, מחקר ותכנון אדריכלי לשימור אנרגיה וקיימות

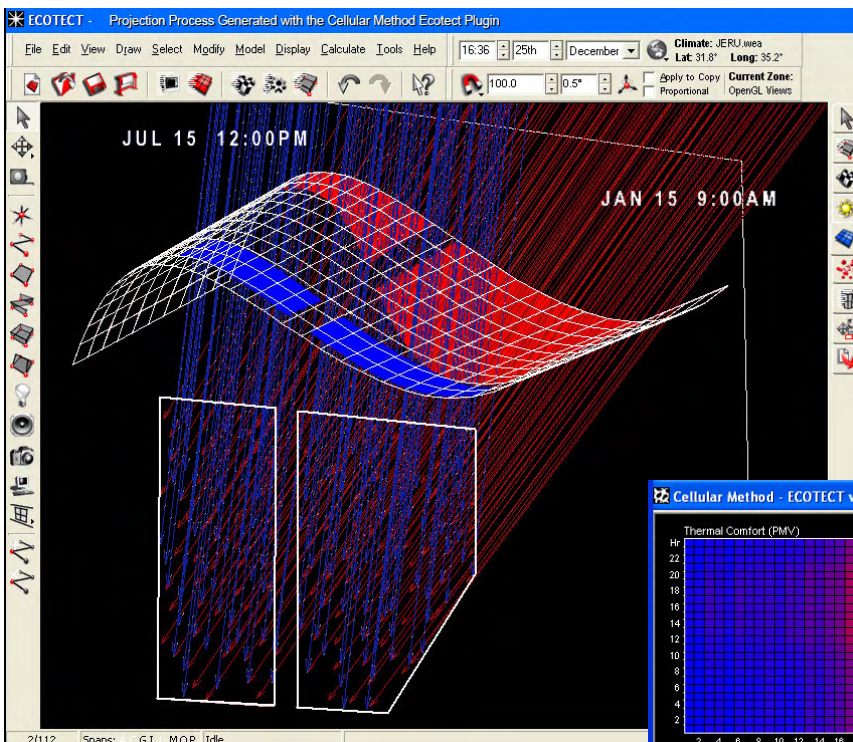
< כלים מתקדמים לתכנון הצללה אופטימאלית

מחשבון המבוסס על שיטת החישוב הנקודתי להצללה, יושם לראשונה בתוכנת Excel. בדיקה בסיסית בעזרת מחשבון זה כוללת קרוב למיליון חישובים ועורכת מספר דקות בלבד. ניתן למצוא דוגמאות למפות שונות באתר www.researchanddesign.net.

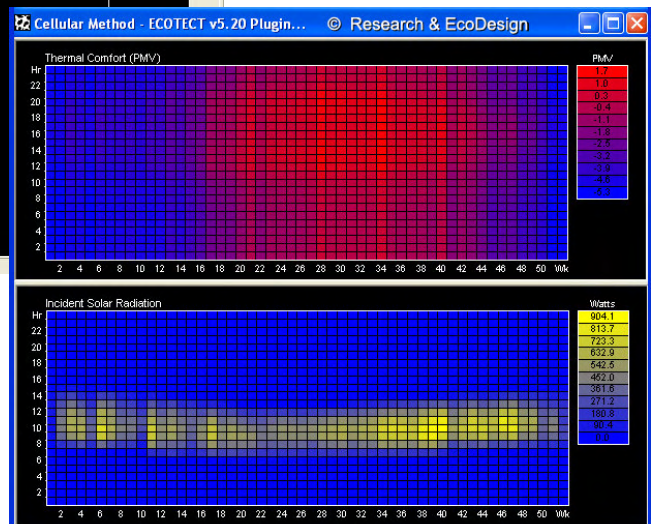
לאחרונה שיטת החישוב הנקודתי להצללה יושמה גם בתוכנת ההדמיה האקלימית "אקוטקט" (Ecotect), חלקה באופן אינטגרלי וחלקה כפלאג-אין (מודל חיצוני). יישום זה נעשה על ידי שיתוף פעולה בין "מחקר ותכנון אדריכלי לשימור אנרגיה וקיימות" ומפתח תוכנת "אקוטקט", ד"ר אנדראו מארש. היישום הוצג לאחרונה בכנס בינלאומי הראשון בנושא קירור פסיבי בסביבה הבנויה, אשר נערך במאי 2005 בסנטוריוני, יוון². יישום שיטת החישוב הנקודתי להצללה בתוכנת ההדמיה האקלימית "אקוטקט" מאפשרת בדיקות, תכנון, והצגה בסביבת עבודה אדריכלית תלת ממדית (CAD), בדיקה ותכנון גיאומטריות מורכבות (פתחים, אמצעי הצללה, ובנינים שכנים), ושימוש בנתוני אקלימיים, סולריים, ותרמיים, ישירות מתוכנת "אקוטקט".

ניתן ללמוד מהדוגמא התיאורטית הבאה על תהליך השימוש בחישוב הנקודתי להצללה, להתאמת אמצעי הצללה אופטימאלי לצמד חלונות הפונים לכיוון דרום-מזרח:

- < שלב א' האדריכל קובע צורה כללית הרצויה לאמצעי ההצללה [או קובע חלל חיצוני אחר לבדיקה]
- < שלב ב' הפוטנציאל הסולרי מחושב [על פי השוני ברמת קרינת השמש אשר תכנס לחלל המבנה (או תמנע מימנו) בהתאם להימצאות הצללה]

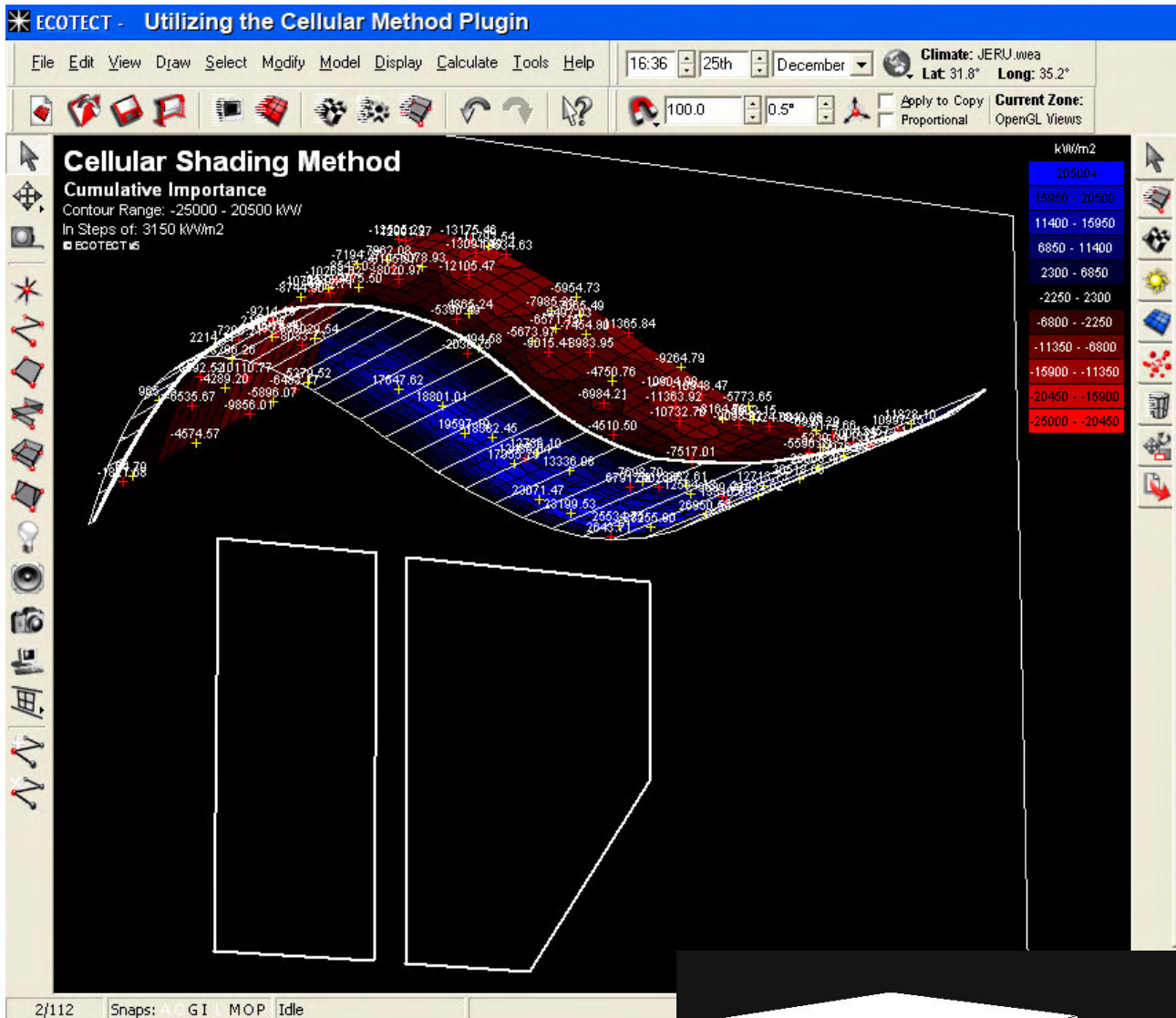


- < שלב ג' הצורך להצללה או לחילופין חימום פסיבי מחושב בכל שעה [על ידי הדמיה אקלימית שנתית של טמפרטורות פנים משוערות, רמת נוחות אקלימית, או צריכת החשמל המשוערת לחימום וקירור]



< שלב ד' מידת הרלוונטיות הרגעית להצללה נקבעת [בעזרת בדיקה גיאומטרית הבודקת האם היחידה המרחבית נמצאת במסלול שמש-פתח בשעה זאת. במידה וכן, היחידה המרחבית תאסוף ערך המורכב מהפוטנציאל הסולרי ומידת הצורך בקרינה זאת. (הצגה סמלית לשתי שעות בלבד)]

< שלב ה' מפת החשיבות להצללה או מעבר קרינת שמש מחושבת, על ידי שקלול, בכל יחידה ויחידה, של מכלול הערכים מהשעות השונות.

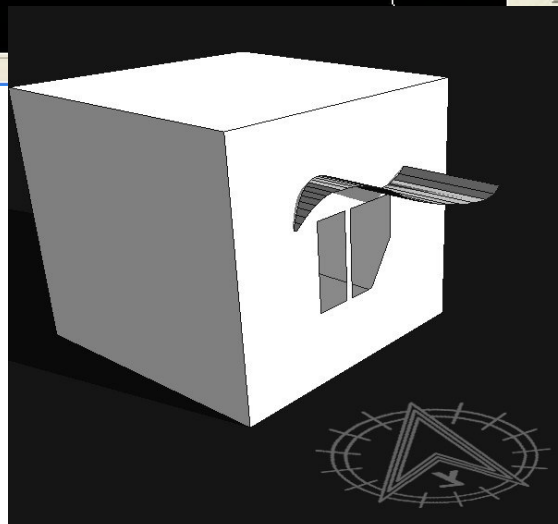


האדריכל משכלל את צורת אמצעי ההצללה לשימור אנרגיה מקסימאלי בהתאם למיפוי.

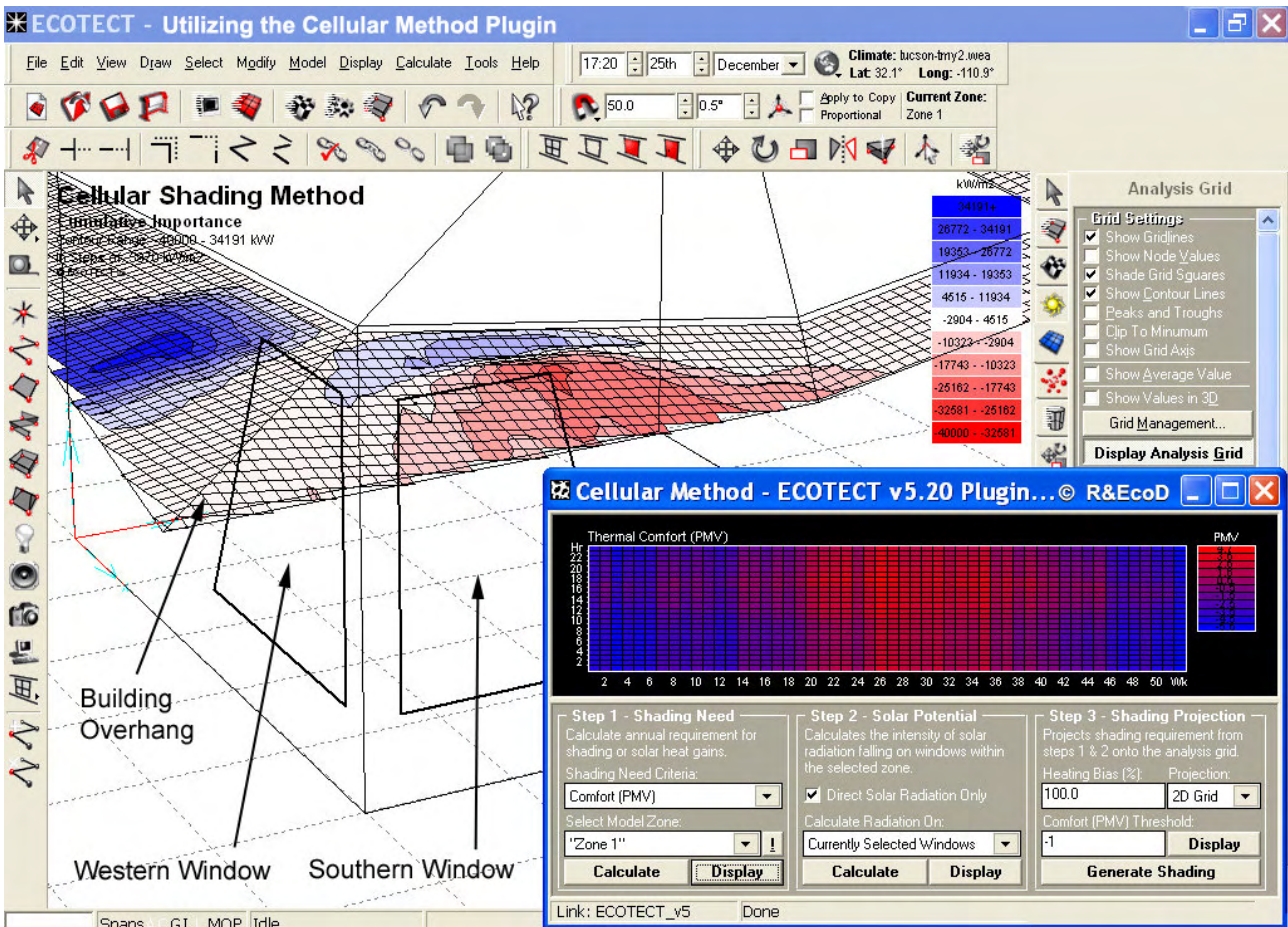
< שלב ו'

[על ידי, תכנון אמצעי הצללה אשר, מצד אחד, כולל כמה שיותר אזורים בעלי חשיבות גבוהה להצל, ומצד שני, לא כולל כמה שיותר אזורים בעלי חשיבות גבוהה לאפשר מעבר קרינת שמש].

< ניתן לחזור על התהליך כולו להשגת דיוק מרבי.



החישוב הנקודתי להצללה ויישומה בתוכנות מחשב (כגון ECOTECT) מאפשר דיוק חסר תקדים בהתאמה אופטימלית של צורת אמצעי הצללה (או שקיפותם) לאקלים המקומי, לנתוני החלון הספציפי, לנוחות האקלימית בחלל הפנימי הצמוד, וליעוד החלל. רמת דיוק גבוהה זו נחוצה לאור הצורך הגלובלי הגובר בשימור אנרגיה וקיימות. מעבר ליתרונות הברורים בחישובי ההצללה, שיטה זאת משמשת דוגמה לשילוב עקרונות אדריכליים מכוונים, עם התאמה מקומית של מעטפת הבניין בהתאם לתנאים החיצוניים, לדרישות החללים הפנימיים, ולצורך בשימור האנרגיה. ובכך, מהווה מנוף לפיתוח כלי תכנון מתקדמים נוספים.



בדיקת כרכוב מעל חלון דרומי ומערבי להצללה אופטימלית בעזרת Cellular Method Ecotect Plugin –

¹ Kaftan, Eran (2001). The Cellular Method to Design Energy Efficient Shading Form to Accommodate the Dynamic Characteristics of Climate, Proceedings, PLEA 2001 - The 18th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Florianopolis, Brazil, November 7-9, V2, pp. 829-833.

² Kaftan, E. and A. Marsh. Integrating the Cellular Method for Shading Design with a Thermal Simulation. Proceedings, International Conference "Passive and Low Energy Cooling 1 for the Built Environment", Santorini, Greece, May 2005, V2, pp 965-970.