

# חקר ביצועי ציפוי רפלקטיבי לביצועי 'בידוד' קירור בקרינה

## מבוא

נבדקו ביצועים של ציפוי רפלקטיבי בשם Surfapaint Thermody של חברת NanoPhos היוונית אשר משווק בארץ ע"י חברת DevTec.

**מטרת הבדיקה:** להעריך את היכולת של החומר:

א. לספק התנגדות תרמית ו-ב. להפחית צריכת אנרגיה במבנים. חקר הביצועים מתייחס והתפקוד של החומר בתנאי האקלים בישראל, והתאמתו לתקינה בארץ בתחום התרמי והאנרגטי.

## תקציר ממצאים

בישראל הגורם העיקרי לצריכת אנרגיה הוא חימום המבנה בקיץ שחלק לא מבוטל ממנו הוא תוצאה של קרינת השמש הישירה והעקיפה במהלך שעות היום.

מענה לדרישות תקן תרמי למבנים בישראל (ת.י. 1045): המוצר משמש כציפוי רפלקטיבי ואינו פועל כמוצר בידוד רגיל וזאת מכיוון אין לו התנגדות תרמית משופרת וערך המוליכות הסגולית שלו (למבדא -  $\lambda$ ) גבוה למדי ביחס לחומרי בידוד תרמי מקובלים. החומר מיושם כשכבה דקה של ציפוי והערך הכולל של ההתנגדות /מוליכות תלוי גם בעובי היישום של החומר ולכן אינו יכול לתת מענה לדרישות תרמיות בישראל נכון להיום. כמו כן בתצורתו זו לא ניתן לבדוק מוצר זה בכלים הניתנים ע"י תקן הישראלי 1045 לבידוד תרמי של בניינים אשר מסתמך על ערכי המוליכות של החומרים ועל תפקוד גשרי קור בתנאי חורף ללא קרינה.

תפקוד כחומר רפלקטיבי: לחומר הנבדק יש רפלקטיביות גבוהה המאפשרת לו להחזיר 86% מקרינת השמש הפוגעת בו. בנוסף, בשל הרכבו הכימי של החומר, יש לו פליטות (אמסיביות) גבוהה בתחום התרמי – המאפשרת לו להתקרר בשעות הלילה. הערכים הרלוונטים לאיכות מוצר זה הם רפלקטיביות ואמסיביות, ולפי הממצאים של בדיקה זו שערכנו עיקר התועלת של המוצר היא חיסכון אנרגטי בקיץ.

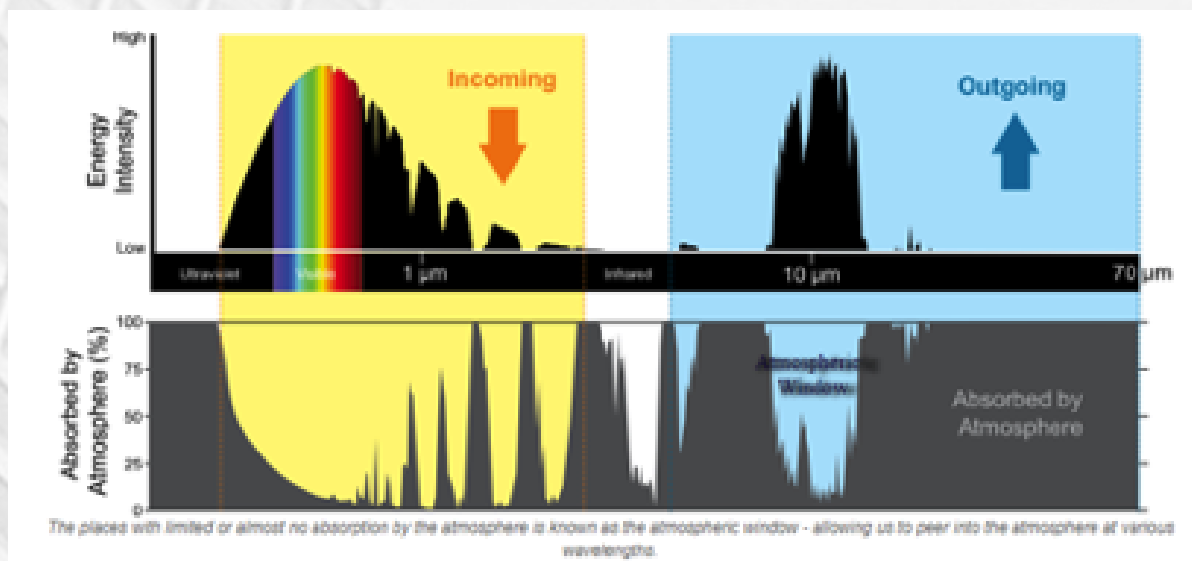
# חקר ביצועי ציפוי רפלקטיבי לביצועי 'בידוד' קירור בקרינה

## רקע מדעי

קרינת השמש מורכבת משלוש צורות אנרגיה: כ-5 אחוזים אולטרה סגול, 45 אחוזים אור נראה ו-50 אחוז אינפרא אדום. כאשר האנרגיה הזו פוגעת במבנה, חלקה מוחזר לאטמוספירה, חלקה נפלט בקרינה אינפרא-אדומה וחלקה נספג במבנה. החלק שנספג מועבר באמצעות הסעה לסביבה או באמצעות הולכה לתוך המבנה.

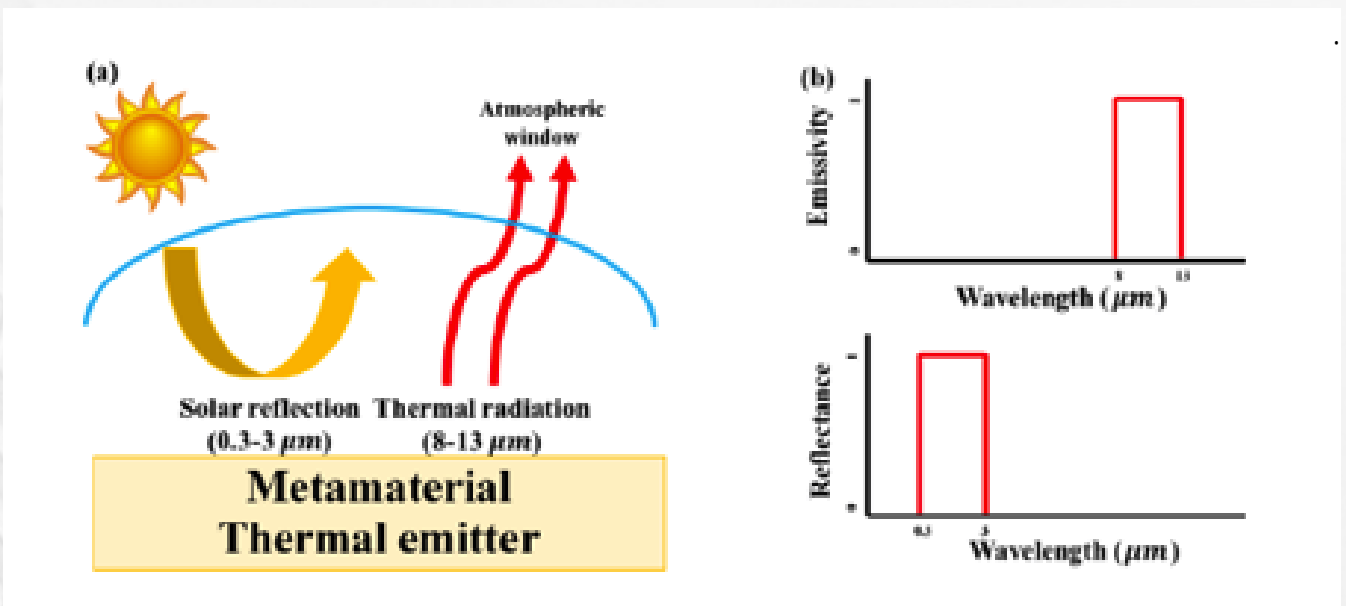
כמות הקרינה האינפרא-אדומה בגלים ארוכים שמשטח כגון חזית בניין יפלוט לסביבתו נקבעת על ידי הפליטות - אמסיביות (emissivity) שלו. על פי חוק קירכהוף, האמסיביות שווה לבליעה (absorption), עבור טמפרטורה ואורך גל ספציפי. עבור אלמנט בניין - בליעה + החזר (reflectivity) = 1. Surfapaint Thermody המתוכנן להשתמש בקירור ע"י קרינה פועל על שני עקרונות:

1. בהתאם לחוקי התרמודינמיקה, חום יזרום באופן ספונטני מגוף חם לגוף קר. לכן, חום מגופים יבשתיים בטמפרטורה גבוהה (~300 K) יזרום לעבר גוף בטמפרטורה נמוכה, בלילה גוף כזה הוא החלל החיצון.
2. באטמוספירה ישנו "חלון" למעבר קרינה באורכי גל של 3-13 מיקרון, בחלון זה כדור הארץ יכול לפלוט חום לחלל החיצון בצורה של קרינת אינפרא אדום. אורכי הגל שנכנסים ויוצאים מכדור הארץ:



ציפוי רפלקטיבי שמטרתו למנוע קרינה ולקרר את הבניין יחזיר את הקרינה המגיעה מהשמש במהלך היום, ובמהלך הלילה יפלוט קרינה לאטמוספירה – או במילים אחרות, יהיה בעל יכולת החזר (reflection) גבוהה עבור אורכי הגל בתחום הסולארי, ובו זמנית להיות בעל אמסיביות גבוהה בחלון האטמוספרי באורכי גל בתחום האינפרא אדום.

בנוסף, חומרים בעלי אמסיביות גבוהה מתקררים בלילה יותר מחומרים רגילים – ובכך תורמים להפחתת תופעת אי החום העירוני. דוגמה עקרונית לתכונות החזר של חומר אידאלי לקירור בקרינה -



מתוך: METAMATERIAL-BASED RADIATIVE COOLING: TOWARDS ENERGY-FREE ALL-DAY COOLING, קו וחבריו, 2018.

## Surfapaint Thermodyry - תכונות החומר

הצבע הוא צבע אקרילי מבוסס מים, אשר מכין בתוכו ננו חלקיקים המיוצרים מתחמוצות טיטניום וסיליקה.

תכונת המוליכות התרמית של החומר היא 0.129 - בערך פי 3 מחומרי בידוד "סטנדרטיים" כגון פוליסטרן או צמ"ס (כלומר שהוא פי שלוש פחות טוב מבחינה בידודית להולכה דרך מוצק)

תכונות בתחום החזר הקרינה: בהתאם למדידות שבוצעו ב: Fraunhofer Institute for Building Physics IBP - Fraunhofer IBP ומוצגות מטה: רפלקטיביות בתחום הסולארי - 0.86 - החומר מחזיר כמעט 86 מקרינת השמש שפוגעת בו.

אמיסיביות - בתחום התרמי - 0.92.

white paint coating "SurfaPaint ThermoDry"	reflectance	percentage of the solar direct energy (acc. to DIN EN 410 Table 2)	reflectance	
			$\rho$	[-]
total solar spectrum (300 nm to 2500 nm)		<b>100 %</b>	$\rho_s =$	<b>0.86</b>
Consisting of:				
UV (300 nm to 380 nm)	7 % of the UV	4 %	$\rho_{UV} =$	0.00
VIS (380 nm to 780 nm)	90 % of the visible	55 %	$\rho_{VIS} =$	0.50
NIR (780 nm to 2500 nm)	89 % of the NIR	41 %	$\rho_{NIR} =$	0.36
visible light (380 nm to 780nm)	according to DIN EN 410 Table 1 (considering the relative spectral distribution of illuminant D65 multiplied by the spectral sensitivity of the human eye)		$\rho_v =$	<b>0.94</b>

	solar direct absorptance $\alpha_s$ [-] (UV/VIS/NIR: 300 nm to 2500 nm)	thermal emissivity $\epsilon$ [-] (MIR: 2.5 $\mu\text{m}$ to 25 $\mu\text{m}$ )
white paint coating "SurfaPaint ThermoDry"	0.14	0.92



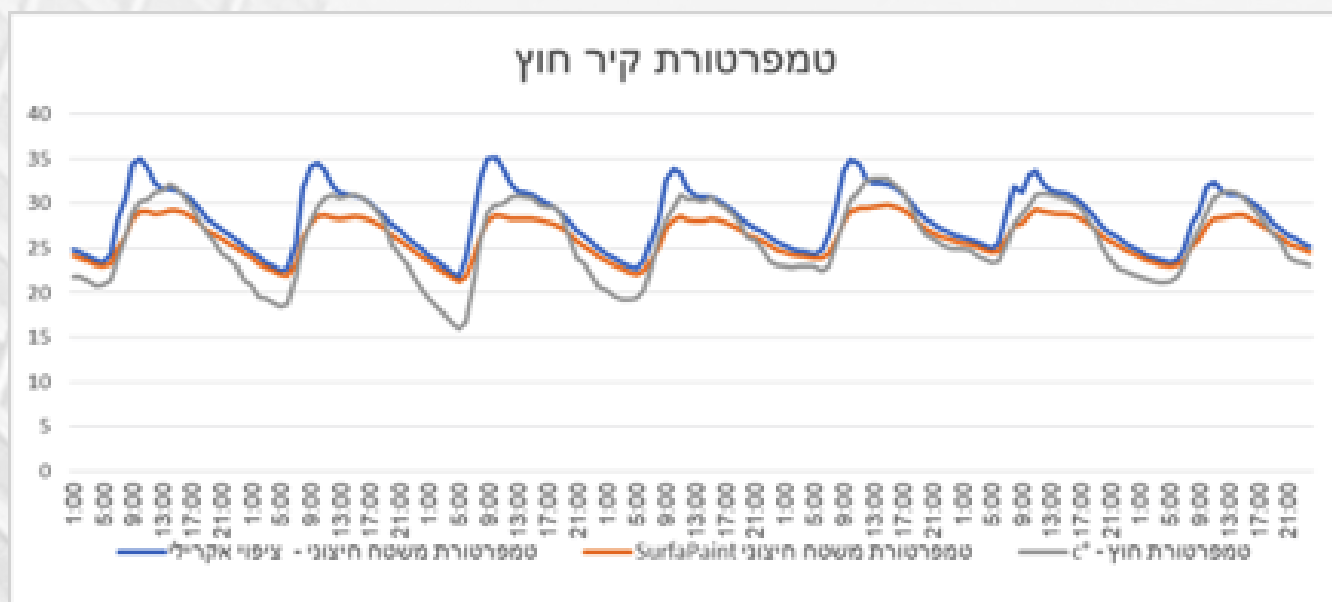
## מודלים ממוחשבים הכוללים ציפוי Surfapaint Thermodry למבנה לדוגמא.

נתונים הבדיקות המופיעים לעיל שימשו למידול בניין מבחן, ובדיקת השפעת הציפוי הרפלקטיבי ביחס למבנה מטוייח עם ציפוי אקרילי רגיל. שיטות הבדיקה.

הסימולציה בוצעה בתוכנת design builder בשימוש במנוע החישוב energyplus המאושר לשימוש בתקינה הישראלית. לצורך הסימולציה נבדקו שני מבנים, המייצגים שני בתים פרטיים. עבור כל אחד מהמבנים נבדק השינוי בצריכת המיזוג עם או בלי שימוש בציפוי רפלקטיבי. נערכה השוואה עבור שני מצבים:

1. שיפוץ מבנה ישן – אשר אינו עומד בתקני הבידוד המינימלים המקובלים כיום.
2. שימוש בחומר בבניה חדשה במבנה שיש לו בידוד תרמי תקני.

### תוצאות מידול אנרגיה

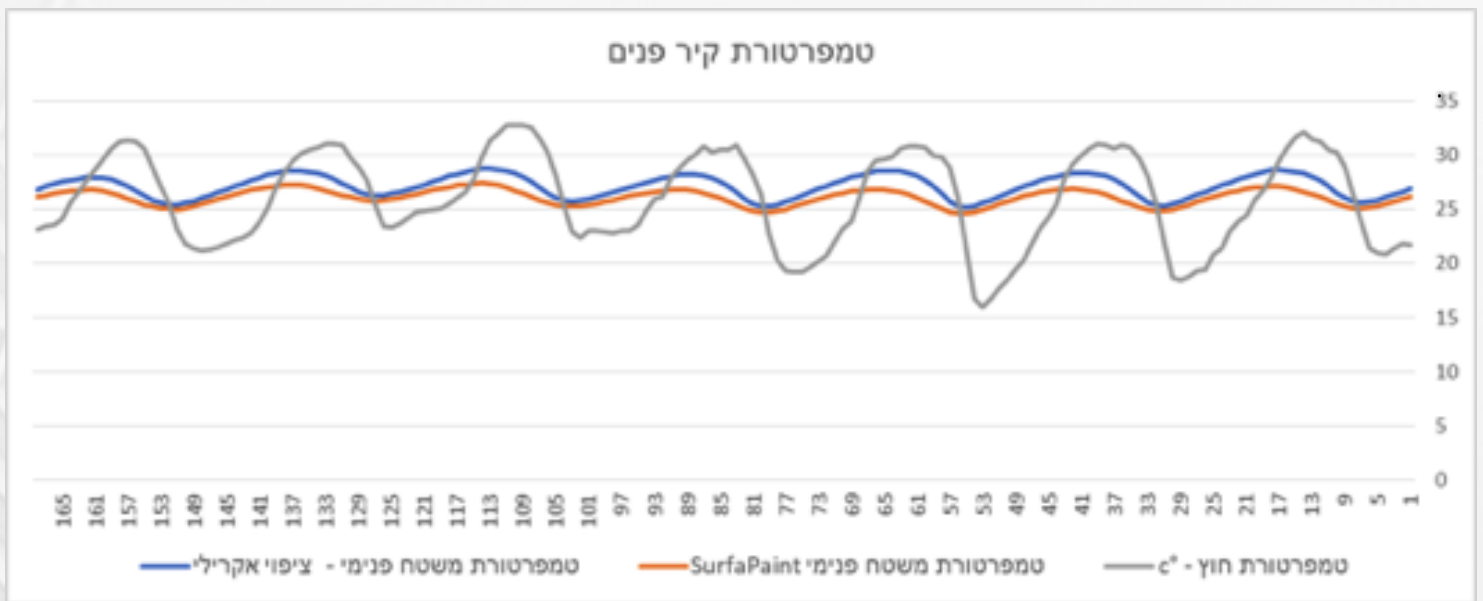


בדיקת טמפרטורות קיר חוץ - פני קיר חיצוניים: במבנה המצופה חומר רפלקטיבי (אפור) טמפרטורת קיר החוץ במהלך היום נמוכות מטמפרטורת הסביבה (כתום), לעומת קיר המקובל בישראל שמתחמם יותר ביחס לסביבה.

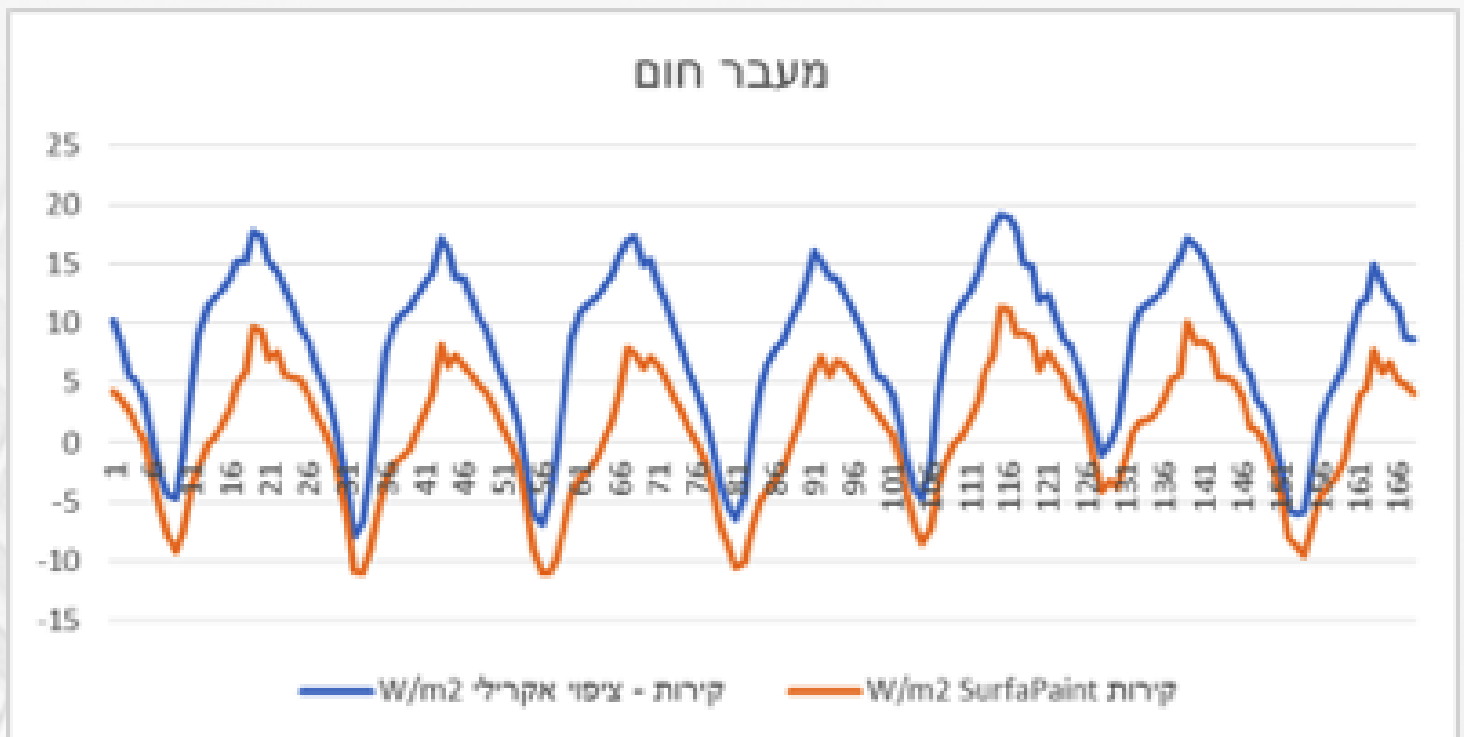
## בדיקת טמפרטורות קיר חוץ - פני קיר פנימיים

בשל העובדה שקיר החוץ מתחמם פחות, גם קיר הפנים, בהתאם שומר על טמפרטורות נמוכות יותר במהלך היום והלילה. כלומר כפי שניתן לראות בגרף הבא הביטוי של זה הוא פחות אנרגיה חום שנכנסת למבנה.

### תוצאות מידול אנרגיה



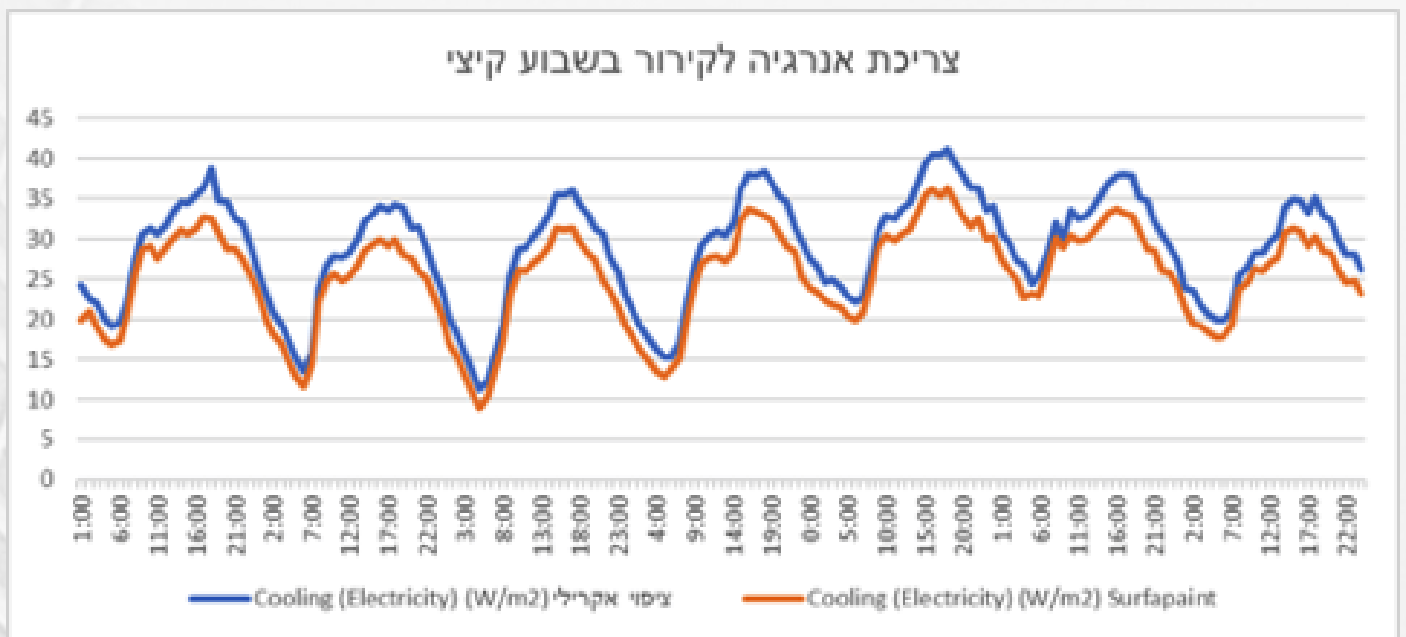
**מעבר האנרגיה מקירות החוץ לתוך המבנה יורד בשעות השיא בכ-10 וואט למ"ר קיר, ובכ-3-5 וואט למ"ר קיר בשעות הלילה.**



## הפחתה בצריכת מיזוג כתוצאה מהממצאים בסימולציה

בוצעה סימולציית אנרגיה של מבני המגורים, ונבדקה ההפחתה בצריכת האנרגיה כתוצאה מציפויי Surfapaint Thermodry. הסימולציה בוצעה בתוכנת designbuilder בשימוש במנוע החישוב energyplus המאושר לשימוש בתקינה הישראלית. החישוב הינו עבור שנה מייצגת מבחינה אקלימית.

**תוצאות המודל:** נמצא שהציפוי מפחית את צריכת האנרגיה של המיזוג, כפי שרואים בגרף הבא. חשוב לציין שלאורך הסימולציה פעל מזגן במבנה הנבדק, אשר מוסת את טמפרטורת הקיר הפנימי.





## מסקנות מעשיות

**תוספת Surfapaint Thermodyr למבנה בשיפוץ** (שאנו מניחים כי סביר שאינו עומד בדרישות תקן 1045) הביאה להפחתה של צריכת החשמל השנתית לקירור ב 16% - כלומר הקטנת חשבון החשמל. בנוסף, צפויה הפחתה של 10% בעומס הקירור המקסימלי הנדרש בשיא החום (ביום החם בשנה) - דבר שיכול לאפשר בחירת מזגן בהספק קירור נמוך יותר (אפשרות להוזלה במחיר הציוד).

**תוספת Surfapaint Thermodyr למבנה חדש** (העומד בתקן 1045 לבידוד) הביאה להפחתה של צריכת החשמל השנתית לקירור ב 6% - כלומר הקטנת חשבון החשמל. בנוסף, צפויה הפחתה של 4% בעומס הקירור המקסימלי הנדרש בשיא החום (ביום החם בשנה) - דבר שיכול לאפשר בחירת מזגן בהספק קירור נמוך יותר (אפשרות להוזלה במחיר הציוד).

**תפקוד מבנה בעונות שנה עם ציפוי חיצוני ב Surfapaint Thermodyr**  
קיי: יישום החומר תורם להפחתת צריכת החשמל ובנוסף, ואולי חשוב מכך, מוריד את טמפרטורת הפנים של הקיר ומעלה את הנוחות התרמית של השהים בתוך המבנה. לכך יש השלכות תפקודיות ובריאותיות עמוקות.  
חורף: מכיוון שלא מדובר בחומר בידוד לא ניתן להוכיח עמידה בדרישות גשרי הקור בחורף (הדרישה היא מניעת התקררות הגשר התרמי מתחת ל18 מעלות צלזיוס) בשל הנחיות התקן הנוכחי.  
צעדים להמשך:  
ניתן להמשיך מחקר בתחום ולבדוק אפשרויות להוכחת עמידה בדרישות בשימוש בכלים אחרים. יתכן גם שניתן לפעול לכך שהתקן ישתנה ו/או יתפתחו או יאומצו תקנים אחרים שיאפשרו למבנים מצופים בציפויים מסוג זה לעמוד בדרישות תרמיות רלוונטיות לאקלים ישראלי.