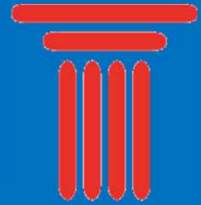




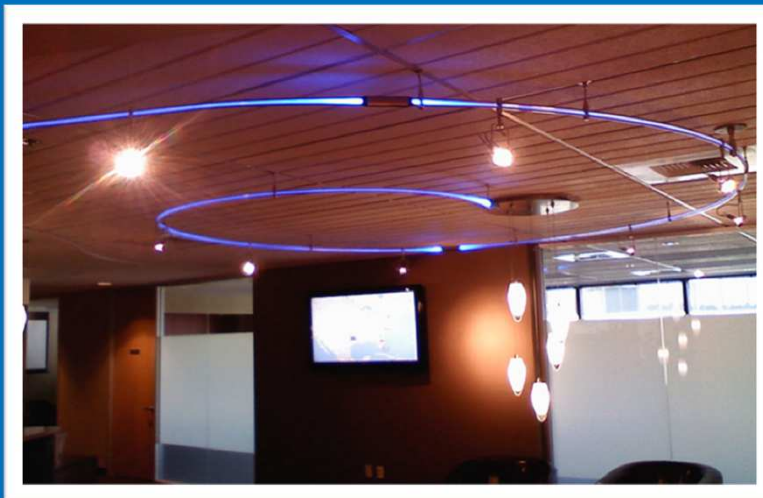
הטכניון
מכון טכנולוגי לישראל



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 19
מוסד שמואל נאמן, הטכניון

חיסכון באנרגיה במערכות תאורה



19

6.12.2010

אודות מוסד שמואל נאמן

מוסד שמואל נאמן שהוקם בטכניון בשנת 1978 ביוזמת מר שמואל (סם) נאמן הוא מכון למחקרי מדיניות לאומית במגוון רחב של נושאים בתחום הפיתוח הכלכלי, חברתי ומדעי-טכנולוגי של מדינת ישראל. פעילות המחקר בתחום המדיניות הלאומית מתרכזת בתשתיות הפיזיות, המדעיות-טכנולוגיות, תעשייתיות ותשתיות ההון האנושי הקובעות את חוסנה הלאומי של מדינת ישראל. במוסד מבוצעים מחקרי מדיניות וסקירות, שמסקנותיהם והמלצותיהם משמשים את מקבלי החלטות במשק על רבדיו השונים. מחקרי המדיניות נעשים בידי צוותים נבחרים מהאקדמיה, מהטכניון ומוסדות אחרים ומהתעשייה. לצוותים נבחרים האנשים המתאימים, בעלי כישורים והישגים מוכרים במקצועם. במקרים רבים העבודה נעשית תוך שיתוף פעולה עם משרדים ממשלתיים ובמקרים אחרים היוזמה באה ממוסד שמואל נאמן וללא שיתוף ישיר של משרד ממשלתי. בנושאי התוויית מדיניות לאומית שעניינה מדע, טכנולוגיה והשכלה גבוהה נחשב מוסד שמואל נאמן כמוסד למחקרי מדיניות המוביל בישראל.

עד כה ביצע מוסד שמואל נאמן מאות מחקרי מדיניות וסקירות המשמשים מקבלי החלטות ואנשי מקצוע במשק ובממשל. סקירת הפרויקטים השונים שבוצעו במוסד מוצגים באתר האינטרנט של המוסד. בנוסף מוסד שמואל נאמן מסייע בפרויקטים לאומיים דוגמת המאגדים של משרד התמי"ס - מגני"ט בתחומים: ננוטכנולוגיות, תקשורת, אופטיקה ותקשורת, כימיה, אנרגיה, איכות סביבה ופרויקטים אחרים בעלי חשיבות חברתית לאומית. מוסד שמואל נאמן מארגן גם ימי עיון מקיפים בתחומי העניין אותם הוא מוביל.

יו"ר מוסד שמואל נאמן הוא פרופ' זאב תדמור וכמנכ"ל מכהן פרופ' משה משה. המוסד פועל במסגרת תקציב של הקרן שהותיר שמואל נאמן להטמעת החזון לקידומה המדעי-טכנולוגי, כלכלי וחברתי של מדינת ישראל.

כתובת המוסד : מוסד שמואל נאמן, קרית הטכניון, חיפה 32000

טלפון : 04-8292329, פקס : 04-8120273

כתובת דוא"ל : info@neaman.org.il

כתובת אתר האינטרנט : www.neaman.org.il

חיסכון באנרגיה במערכות תאורה

סיכום והמלצות דיון
פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן
הטכניון
מיום 6.12.2010

נערך על ידי:

פרופ' גרשון גרוסמן
טל גולדרט
מיכל נחמני

פברואר 2011

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחברים ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן.

רשימת משתתפי הפורום:

מכון התקנים הישראלי	מר	אגוזי צבי
מוסד שמואל נאמן	ד"ר	אילון אופירה
משרד התשתיות הלאומיות - אגף מחקר ופיתוח	ד"ר	ארביב אברהם
המשרד להגנת הסביבה – התייעלות אנרגטית	מר	בורשטיין יוחנן
ג.א. בירנבאום מהנדסים יועצים	גב'	בירנבאום ג'ורג'י
הטכניון - הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית	פרופ'	בקר רחל
מוסד שמואל נאמן	גב'	גולדרט טל
מוסד שמואל נאמן והפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון	פרופ'	גרוסמן גרשון – יו"ר
ניסקו בע"מ	מר	וייץ אבי
מנולינקס בע"מ	מר	וינר יחיאל
מדען ראשי – משרד התשתיות הלאומיות	ד"ר	ולד שלמה
MSI LTD	מר	ורשבסקי גיל
The Levon Group LLC	ד"ר	לב און מרים
The Levon Group LLC	ד"ר	לב און פרי
מנהל השיווק - מטרולייט בע"מ	מר	מרקוביץ חנן
מוסד שמואל נאמן	גב'	נחמני מיכל
יו"ר הוועדה הישראלית להנדסת המאור	ד"ר	ניסנבאום אינה
מנכ"ל - מטרולייט בע"מ	מר	סגל צבי
הטכניון – הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים	ד"ר	קפלוטו גדי
משרד התשתיות הלאומיות – אגף שימור אנרגיה	מר	רודיק דוד
הטכניון – הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים	פרופ'	שביב עדנה
מנכ"ל - סיטילייט הנדסה	מר	תורג'מן דוד

הבעת תודה

המחברים מודים למרצים על המידע שהציגו ולכלל משתתפי הפורום על תרומתם לדיון הפתוח. צילום הכריכה באדיבות קונטרול-טק, www.control-tech.co.il, כל הזכויות שמורות.

עמוד

תוכן העניינים

5	פרק 1 : הקדמה
6	פרק 2 : רקע
7	פרק 3 : מידע בנושא מערכות תאורה יעילות
27	פרק 4 : דיון
37	פרק 5 : סיכום והמלצות

נספחים

39	נספח 1 : תכנית פורום אנרגיה : חיסכון באנרגיה במערכות תאורה 6.12.2010
40	נספח 2 : מושגי יסוד בתאורה
41	נספח 3 : ריכוז מאפיינים של מקורות אור
46	נספח 4 : התייחסות לסוגיות בריאותיות וסביבתיות הנוגעות לנורות יעילות אנרגטית
51	נספח 5 : תקנות מקורות אנרגיה –ה'תשע"א - 2010

פרק 1: הקדמה

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה, במסגרת פעילותו בתחום האנרגיה, מקיים מפגשי "פורום אנרגיה" המוקדשים לדיון בנושאים בעלי חשיבות לאומית בתחום. בפורום האנרגיה מתקיים דיון ממוקד בנושאים מוגדרים, בהשתתפות צוות מומחים המוזמנים לפי הנושא. המטרה היא להתרכז בשאלות רלבנטיות ומוגדרות, לתאם בין הגורמים ולהגיע להמלצות על דרכי פעולה לקידום הנושא, שניתן להציגן בפני מקבלי החלטות.

המפגש הדין בנושא חיסכון באנרגיה במערכות תאורה התקיים ב- 6 בדצמבר 2010 בטכניון, והשתתפו בו מומחים בתחום מהסקטור התעשייתי, היזמי, האקדמיה והממסד הממשלתי והציבורי. המשתתפים בפורום, שנבחרו בקפידה עקב מומחיותם, מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת סטאטוס מקצועי ראשון במעלה בתחום התאורה בכלל, ומערכות חסכוניות באנרגיה בפרט.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מן המשתתפים מצגות בנושא חיסכון באנרגיה במערכות תאורה על היבטיו השונים. מצגות המשתתפים נמצאות באתר מוסד ש. נאמן: <http://www.neaman.org.il/> (אירועים). בחלק השני התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו.

תמצית הדיונים מסוכמת בדו"ח להלן, וכמו בדיונים הקודמים, הוא יוגש למקבלי החלטות במטרה להביא אל סדר היום את המשמעויות וההשלכות של קידום מערכות תאורה חוסכות אנרגיה במדינת ישראל.

פרק 2: רקע

מערכות תאורה מהוות צרכן חשמל משמעותי מאוד במשק האנרגיה בישראל, עבור הצרכן הביתי, המסחרי והציבורי. החשמל לתאורה מהווה 10% מכלל החשמל הנצרך במשק¹, וניתן לחיסכון והתייעלות באמצעים פשוטים ומידיים. עם העלאת המודעות לחיסכון באנרגיה, והצורך להפחית פליטות באופן ישיר ועקיף, מקבל נושא התאורה משמעויות כלכליות וסביבתיות מרחיקות לכת.

ניתוח של ה-IEA משנת 2006 (המספרים מעודכנים ל-2005) מראה כי 17.5% מהאנרגיה בעולם משמשת לתאורה, כאשר מרבית האנרגיה בסקטור זה משמשת למבני מסחר.

במבנה משרדים אופייני בישראל אחראית התאורה החשמלית לכ-20% מכלל צריכת האנרגיה, ובנוסף מייצרת עומס תרמי שיש לפנותו על ידי מיזוג האוויר. בסך הכול השפעת התאורה על צריכת החשמל עשויה להגיע עד כדי 40%.

למרות התקדמות טכנולוגית רבה באמצעי תאורה עדיין רב השימוש באמצעים מסורתיים ולא יעילים כגון נורות ליבון. העדר בקרה פשוטה כגון כיבוי אוטומטי של האור כשאין צורך בו גורם לבזבז רב. יש המעריכים את החיסכון הכספי שניתן להשיג בישראל על ידי מדיניות תאורה נכונה בכ-מיליארד שקלים בעשר השנים הקרובות.

לאמצעי תאורה ניתן דירוג אנרגטי - תווית המאפיינת את היעילות האנרגטית שלהם, בדומה לזו הניתנת למכשירי חשמל ביתיים או לבניינים. האות A מציינת אמצעי חסכוני ביותר ואותיות גבוהות יותר בסולם האלפביתי – חיסכון נחות יותר. דירוג זה המובא לידיעת הצרכן מעודד תכנון יעיל וחוסך אנרגיה. בישראל אין עדיין סימון מחייב מסוג זה, אך קיים בארצות אחרות, ורצוי לאמץ זאת.

בנספח 2 לדו"ח זה מובאת רשימת מושגי יסוד בתאורה הכוללת את הטרמינולוגיה המקובלת בענף.

ב-22 בפברואר 2011 אושרו בוועדת הכלכלה של הכנסת תקנות האוסרת מכירתן של נורות לא יעילות בהספק העולה על 60 וואט, ובראשן נורות ליבון, החל מה-1 בינואר 2012. אישורן של תקנות אלה מהווה צעד ראשון בכיוון הנכון ליעול מערכות תאורה בישראל, ואנו תקווה כי צעדים משלימים יבואו בעקבותיו במהרה.

¹ תכנית לאומית להתייעלות אנרגטית, משרד התשתיות הלאומיות, 2010.
<http://www.mni.gov.il/NR/rdonlyres/BB26786D-F9A3-48D2-9B56-B2C62F023534/0/energy.pdf>

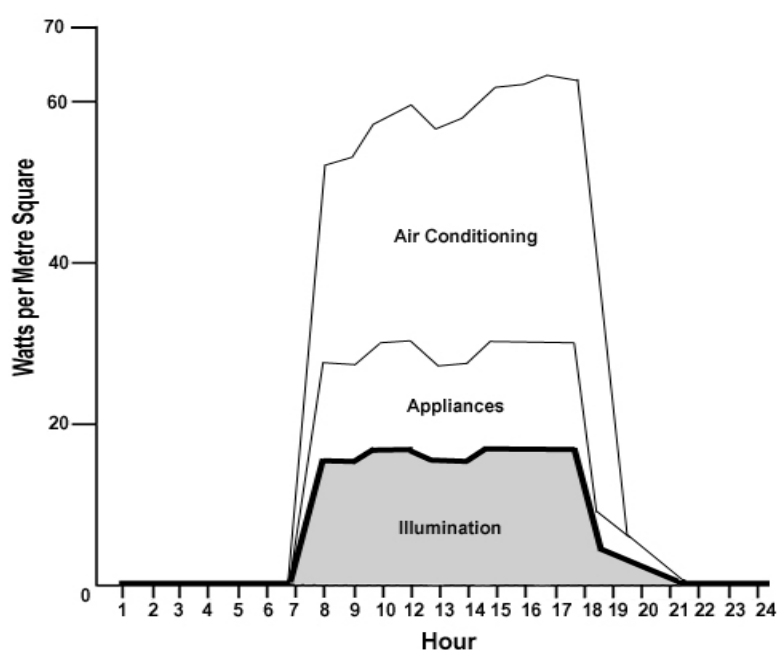
פרק 3: מידע בנושא חיסכון באנרגיה במערכות תאורה

בחלק זה של הדו"ח ניתנת תמצית המידע שהוצג על ידי חלק מן המשתתפים, כל אחד לפי בחירתו ומומחיותו. קבצי המצגות שהוכנו על ידי הדוברים מוצגים, כאמור, באתר של מוסד נאמן (<http://www.neaman.org.il/>). מטבע הדברים, קיימת חפיפה מסוימת בין הדוברים השונים, אולם עורכי הדו"ח החליטו להביאם כאן כפי שהוצגו ובאותו סדר (ראה תכנית הפורום בנספח 1). מידע זה חשוב ומהווה בחלקו בסיס לדיון הפתוח שהתקיים לאחר מכן, כפי שמובא בפרק 4.

ד"ר גדי קפלוטו – הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון
התקינה הבינלאומית בנושא החיסכון באנרגיה בתאורה בהשוואה לזו בישראל - מה ניתן לאמץ ממנה בישראל ?

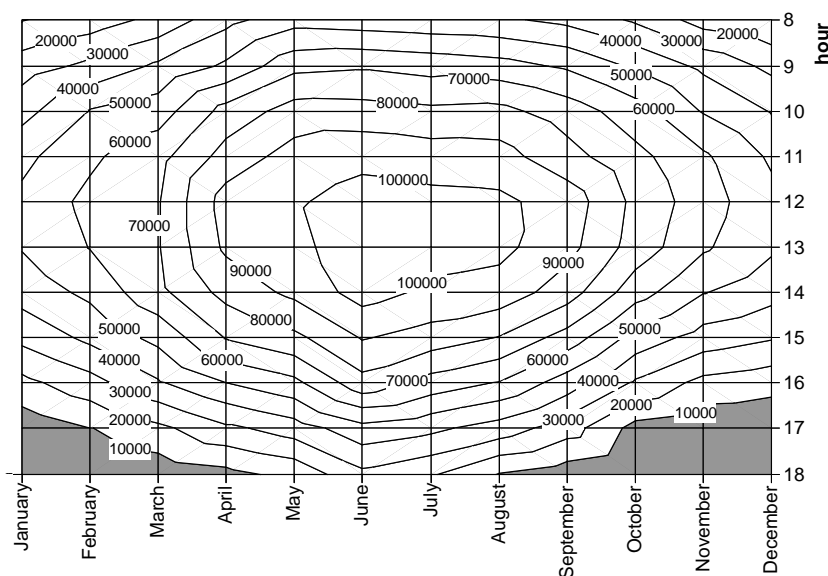
כאשר מתייחסים לכלל צריכת החשמל של מבנה משרדים, מהווה התאורה החשמלית כשליש מכלל הצריכה, ובנוסף מהווה התאורה החשמלית עומס תרמי נוסף כתוצאה מפליטת חום מגופי התאורה, אותו יש לפנות על ידי תוספת אנרגיה למיזוג. כאשר מביאים תוספת זו בחשבון, גדלה השפעת התאורה על צריכת החשמל ומגיעה עד כדי 40%. ציור 1 נראה מיפוי של צריכת החשמל בבניין משרדים לאורך שעות היממה ביום קיץ, על פי השימוש העיקרי – מיזוג אוויר, מכשירי חשמל ותאורה.

ציור 1 - צריכת החשמל בבניין משרדים לאורך שעות היממה ביום קיץ



בציור 2 מתוארת עוצמת ההארה (lux) על פני מישור אופקי לאורך שעות היממה והחודשים בשנה.

ציור 2 - Global horizontal solar illuminance (lux)



כפי שניתן לראות בציור זה, במשך כל שעות העבודה ובמהלך כל חודשי השנה ערכי עוצמת ההארה בחוץ גבוהים מאוד, ועוברים את סף ה-10,000 לוקסים במשך כל התקופה, מלבד בימי החורף בשעות המאוחרות של היום (מצויינים באפור בציור). כלומר, קיים פוטנציאל גדול מאוד לשימוש במשאב זה, ונדרש תכנון אדריכלי נכון כדי לעשות שימוש בו בצורה ראויה. מקובל להניח, כי האור הנדרש לנוחות עבודה במשרד הוא 500 לוקס, ולכן תידרש תאורה מלאכותית רק כאשר רמה זו לא ניתנת להשגה ע"י תאורה טבעית בלבד. כמו כן, יש לקחת בחשבון שהחדרת כמויות גבוהות של אור לתוך הבניין ללא בקרה עלולה להוות בעיה של סינוור וחוסר נוחות ראייתית.

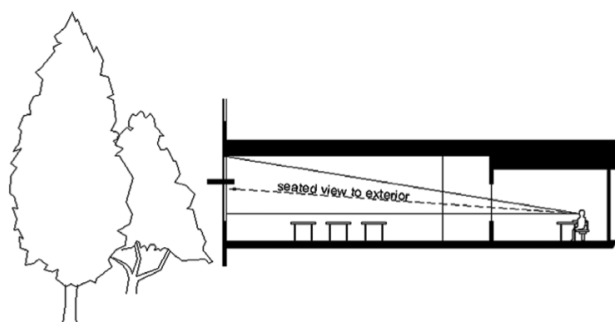
בתקינה בתחום התאורה נהוג לאפיין פרמטרים כמותיים כמו מקדם אור היום (DF (daylight factor), ועוצמת הארה, ולעומתם אין תמיד התייחסות לפרמטרים איכותיים, כגון נוחות ראייתית, צבע אור וכדומה.

כאשר מתכננים מבנה יש להתייחס ולתת פתרון כולל לסינוור וחדירת קרינה דרך החלונות. בשני המקרים יש למעטפת תפקיד מרכזי. נכון הוא שחיסכון אנרגטי מקבל ביטוי כלכלי, כי משתמש הבניין משלם את חשבון החשמל, אולם אנשים גם חיים בתוך החלל וצריכים לתפקד בצורה טובה, כך שהבטחת נוחות תרמית וראייתית הם שיקולים לא פחות חשובים. בתקן הישראלי 5281 כפי שהוא קיים היום, אין התייחסות כלל לסוג החלון או לכיוונו, אלא רק לגודלו. אולם סוג החלון, הפנייתו, מערכת ההצללה והחומרים מהם הוא עשוי משפיעים משמעותית על ביצועיו הן בתחום התאורה והן בתחום האנרגטי.

התייחסויות לנושאי עידוד תכנון אדריכלי נכון ביחס לתאורה בתקנים השונים :

מבטי חוץ - כאשר בוחנים את תקן LEED האמריקאי, בנוסף לפרקים המתייחסים לנושא תאורה כגורם לחיסכון אנרגטי, מוצאים בו גם התייחסות לנושא "מבטי חוץ", אשר משמעותו - לאפשר למי שנמצא בפנים מבט ישיר אל הנוף בחוץ (ציור 3).

ציור 3 - מבט אל החוץ מגובה העין (על פי תקן LEED)



התקן מעניק ניקוד נוסף למי שמאפשר ליצור קשר ויזואלי בין המשתמש לחוץ. הנושא הזה מובא בתקן תחת הפרק של איכות החלל, ולא דווקא בהקשר של צריכה וחיסכון באנרגיה.

בתקן הבריטי BREEAM – תחת הפרק הדין בשיקולי בריאות ואיכות חיים, קיים גם כן נושא של השקפה החוצה, מתוך הבנה כי מבט רחוק אל הנוף בחוץ מאפשר למשתמש במבנה מנוחה לעין והעברת המיקוד למרחק, אף אם באופן זמני.

נושא צורת המבנה – תקנים המתייחסים לנושא זה, מביאים בחשבון את עומק החלל על מנת שיהיה ניתן לנצל את התאורה הטבעית. התקנים האלה מגדירים את המרחק המקסימלי למיקום מקומות הישיבה מחזית המבנה בעלת חלונות. לדוגמה, קיים תקן בגרמניה המגדיר מגבלה של עד 7 מטר מרחק האדם מהחלון הקרוב. כלל זה קובע את עומק החלל שניתן לתכנן, ולמעשה את אפשרות החדירה והשימוש של תאורה טבעית בכל החלל

גם בארץ נערכו מחקרים אשר בדקו מערכות שונות להחדרה ופיזור תאורה, והמסקנה הייתה כי עומק חלל של כ- 7 מטר מהחלון מאפשר חדירה של אור יום וניצול מקסימלי של התאורה הטבעית². המלצות אלו אומצו בתקן 5282 חלק 2 לדירוג אנרגטי של בנייני משרדים.

נושא נוסף בו תקינה עשויה לעודד תכנון נכון הוא מרכיבי **מעטפת הבניין** – טיפול נכון בנושא זה עשוי לתת פתרון לנושא הצללה ומניעת חדירה בלתי רצויה, וכמו כן להפחית את הניגודיות בין אזורים שונים בחלל דבר המשפר את תחושת הנוחות, להביא לפיזור אור טוב יותר, מניעת סינוור ועוד.

לבסוף, אך לא פחות חשוב נושא החייב להיות חלק מתקינה לתאורה יעילה הוא **שילוב תאורה טבעית וחשמלית** – נושא זה מהווה חלק אינטגרלי מהתכנון האדריכלי – ומושפע מהחלטות על פרופורציות הבניין ועומק החלל, טיפול במעטפת הבניין, ושימוש במערכות בקרת תאורה, כגון עמעמים לוויסות עוצמת האור, או חיישני נוכחות לכיבוי התאורה החשמלית, המאפשרות שימוש חסכוני של תאורה חשמלית תוך ניצול מקסימלי של תאורה טבעית.

² Ochoa C.E, and I.G. Capeluto, 2006. "Evaluating Visual Comfort and Performance of Three Natural Lighting Systems for Deep Offices Buildings in Highly Luminous Climates", "Building and Environment", 41/8 pp 1128-1135, Elsevier Science Ltd.

Shaviv E., A. Yezioro, I.G. Capeluto, 2008 "Energy code for office buildings in Israel", "Renewable Energy" journal, Vol. 33/1 pp 99-104, Elsevier Science Ltd., GB. doi:10.1016/j.renene.2007.01.017

לסיכום, כאשר עוסקים בתקינה בנושאי תאורה יעילה, יש להביא בחשבון את הנקודות העיקריות הבאות:

- ✓ עידוד תכנון אדריכלי נכון:
 - ✓ עידוד פתרונות המתייחסים להשפעה הכוללת של מעטפת הבניין על תפקודו התרמי
 - ✓ עידוד פתרונות של שילוב תאורה טבעית וחשמלית
- עידוד פתרונות המתייחסים גם להיבטים איכותיים של תאורה – קשר עם החוץ, מניעת סנוור, צבע אור...

מיכל נחמני, מוסד שמואל נאמן

מדיניות תאורה יעילה – תמונת מצב עולמית (מתוך סקירת ספרות שהוכנה עבור עבודת תזה לתואר שני, בחוג לניהול משאבי טבע וסביבה, התמחות במדיניות אנרגיה, באוניברסיטת חיפה)

בהרצאה זו תוצג תמונת מצב עולמית באשר לתקינה ולאמצעי מדיניות מוטמעים בעולם, אשר כמעט כולם עוסקים בפתרונות הקשורים להוצאת נורות הליבון משימוש באופן כזה או אחר, ולקידום השימוש בנורות מסוג CFL (נורה קומפקטית פלואורנית, Compact Fluorescent Light) כשלב מעבר טכנולוגי, עד להבשלת טכנולוגית ה-LED (דיודה פולטת אור, Light Emitting Diode), שהיא עודה בשלבי פיתוח ונכון לכרגע יקרה מאד.

השאלה המרכזית הנשאלת היא: מדוע התהליך אינו קורה מעצמו? לכאורה, בהיותו יעיל אנרגטית ויעיל כלכלית, היה צפוי שכלל המשק יעבור לתאורה יעילה ללא צורך בהתערבות ממשלתית. בפועל, זה לא קורה, או קורה לאט מדי. תופעה זו מכונה בשם "פער היעילות האנרגטית" – זהו מצב אופייני לתהליכי התייעלות רבים, וניתנת להסבר על ידי שתי קבוצות הסברים:

כשלי שוק – זהו שם כלכלי כולל לאוסף של תופעות אשר מביאות להחלטות צרכניות לא יעילות. בין הסיבות ניתן למנות:

- חוסר מידע זמין – מצב שבו הצרכנים אינם מקבלים מידע מלא אודות העלויות שהם משלמים עבור חשמל לתאורה – חשבונות החשמל אינם מפורטים, ועלול להיווצר הרושם כאילו תאורה היא חלק זניח בחשבון. כך גם מידע אודות העלות המלאה של הנורה (במהלך חייה) לרוב אינו זמין בנקודת המכירה. פעמים רבות, העדר המידע מביא להעדפת טכנולוגיות מוכרות.
- רציונליות מוגבלת – מצב בו הצרכן מקבל החלטה לפי דפוסי חשיבה. המנגנון השולט הוא ההרגל ולא דווקא תהליך רציונלי מלא. קיים קושי בעיבוד המידע לנוכח שיגרה, הרגלים, טעם רע שהותירו הדורות הראשונים של הנורות ואשר סבלו מבעיות ביצועים. בנוסף, ההפרש הגדול במחיר בין הנורות, על אף שמתגמד מול מחיר האנרגיה, יוצר מחסום פסיכולוגי לרכוש את המוצר שהוא לכאורה יקר יותר. בעיית שוכר משכיר – מתקיימת לרוב בבנייני משרדים אבל עלולה להתקיים גם במבני מגורים, כאשר מי שנדרש להשקיע בתשתיות המבנה אינו זה שנהנה מהחיסכון באנרגיה עם הזמן.

- השפעות חיצוניות – נכון להיום במדינת ישראל תהליכי התייעלות נבלמים על ידי מחירי אנרגיה נמוכים מדי – אין הפנמה של עלויות חיצוניות; בארץ יש גם מתח מובנה בסוגיה זו הנובע מהגדרת תפקיד רשות החשמל שאינה חייבת לקחת בחשבון עלויות חיצוניות ושואפת להפחית מחירי אנרגיה.

הסברים אשר אינם כשלי שוק עשויים לכלול:

- טעמים – צרכן עשוי להעדיף נורה אחת על פני אחרת, מכיוון שהוא מעדיף את צורתה, צבע האור שלה וכדומה. יצוין, כי קיים היום מבחר עצום של נורות חסכוניות, מבחינת צורה, גודל, צבע אור והספק.
- מימון (affordability) – כאשר משק בית נדרש לבצע צעדי התייעלות, הוא נדרש להשקעה ראשונית אשר עלולה להכביד עליו. נושא זה רלוונטי מאוד לגבי מקררים, מזגנים וכד', והוא פחות משמעותי בתאורה, אשר מלכתחילה זולה יותר ממכשירים לבנים.

כלי מדיניות אפשריים – על מנת לעודד חדירה לשוק של תאורה יעילה יותר ניתן להיעזר במגוון של כלים. אפשר להמליץ ולהסביר, ולהעלות את המודעות הציבורית ולגשר על פערי הידע, וניתן כמובן לנקוט בפתרונות קשים יותר, כגון קביעת תקן יעילות מינימלי מחייב, ואיסור ייבוא, מכירה או ייצור של נורות שאינן עומדות בתקן, או לחילופין מיסוי – יצירת פער מחירים לטובת הנורות החסכוניות, במטרה להטות את קבלת ההחלטות של הצרכנים ולעודד אותם לבחור בהתאם לכוונת המחוקק.

במרבית מדינות העולם נבחר הפתרון הראשון. **במדינות האיחוד האירופי –**

הוגדרה תכנית Phase Out לנורות לא יעילות מ-2009 עד 2016 – הכוללת איסור ייצור, מכירה וייבוא של נורות שאינן עומדות בתקן. התכנית עוגנה בתקנה, שהיא חקיקה כלל אירופית, המחייבת את כל המדינות החברות באיחוד ללא צורך בהסדרי חקיקה פרטניים במדינות השונות. התכנית המדורגת מתוארת בטבלה הבאה:

תכנית הביטול ההדרגתי של נורות לא יעילות באיחוד האירופאי

נורות שקופות							נורות לא-שקופות					
LED	הלוגן B	הלוגן C	ליבון/הלוגן קונבנציונאלי				דרישה	CFL/L ED	הלוגן	ליבון	דרישה	
			<60W	≥60W	75W ≥	100 ≥W						
							C מעל 100W			A	ספטמבר 2009	
		לפחות E	לפחות E	לפחות E			C מעל 75W			A	ספטמבר 2010	
		לפחות E	לפחות E				C מעל 60W			A	ספטמבר 2011	
		לפחות E					C בכל הספק			A	ספטמבר 2012	
בחינה מחדשת של דרישות ביצוע											ספטמבר 2013	
הערכה											ספטמבר 2014	
							B/C			A	ספטמבר 2016	

(מעובד מתוך אתר האיחוד האירופי www.europa.eu)

- היעדים המוצהרים של התכנית :
 - חסכון בצריכת החשמל - בשיעור של 40 טרה-וואט שעה בשנה
 - חסכון בפליטת פד"ח (פחמן דו חמצני) - כ-15 מיליון טון פד"ח בשנה
 - חסכון בכסף – מוערך ב-10-5 מיליון אירו בשנה (25-50 אירו למשק בית).
- המהלך שנקבע היה מדורג, ואף קבע נוהל מסודר להתמודדות עם מלאי קיים של נורות.
- תופעות של אגירה מוקדמת נרשמו במספר מדינות (בעיקר גרמניה, אוסטריה, שוויצריה).
- בתקנה נקבעו דרישות מגבילות נוספות לנורות – בין היתר אורך חיים מינימלי, דעיכה לאורך זמן, זמן הדלקה וזמן חימום מירביים וערכי קרינת UV מירביים (דרישה זו הוסרה לאחר זמן קצר בגלל העדר תחליף בשוק).
- איסוף פסולת נורות (המכילות כספית ולכן זקוקות לטיפול מיוחד) – מתבצע באיחוד האירופי תחת דירקטיבת RoHS, WEEE.
- לצורך הטיפול בנורות, הוקמו מנגנונים משותפים במימון יצרני הנורות, אשר אוספים את הנורות (הנורות המשומשות מופרדות במקור מזרמי הפסולת האחרים על ידי הצרכן) וממחזרים אותן אגב הפרדת הכספית, או גורסים אותן ומטמינים אותן בעומק רב.

בארצות הברית –

- "חוק עצמאות ובטחון אנרגיה, 2007", הקובע, בין היתר, תכנית שמשמעותה הפרקטית איסור הדרגתית של מכירת נורות ליבון, על ידי קביעת תקן יעילות אורית מינימלי לנורות :
לוח הזמנים וביצועים מחייבים לנורות ליבון בארה"ב

טווח שטף אור (לומן)	הספק מירבי (ואט)	אורך חיים מינימלי (שעות)	כניסה לתוקף
1490-2600	72	1000	1.1.2012
1050-1489	53	1000	1.1.2013
750-1049	43	1000	1.1.2014
310-749	29	1000	1.1.2014

- קליפורניה :
 הצעת "כמה מחוקקים צריך כדי להחליף נורה" ב-2007 ; אושרה לבסוף באוקטובר 2007, ומטרתה להפחית 50% מהאנרגיה לתאורה הנצרכת על ידי משקי בית ו-25% מהאנרגיה לתאורה במגזר המסחרי ולתאורת חוץ.
 עיקרי התכנית הם קביעת תקני יעילות מחייבים ואיסור מכירה הדרגתי של נורות שאינן עומדות בתקן, שייפרס בין 2008 עד 2018. בנוסף, נקבעו חובות סימון ודיווח (ביצועי הנורה ותכולת חומרים מסוכנים).
- מדינות נוספות בארה"ב החילו אף הן תכניות לתאורה יעילה -
 נבאדה – מ-2012, נורות יהיו חייבות לעמוד בתקן של 25 לומן/ואט.

ניו ג'רסי, אילינוי, דרום קרוליינה, הוואי וארקנזס – מעבר לתאורה יעילה במבני ציבור עד 2010.

בנוסף, נערכת בארה"ב תחרות ה- L-Prize. זוהי תחרות של משרד האנרגיה (ה-DOE) המתקיימת במסגרת החקיקה הקיימת, שמטרתה קידום פיתוחים טכנולוגיים של נורות ב-3 קטגוריות

תחליף לנורת ליבון 60 ואט	תחליף לנורת הלוגן PAR-38	"הנורה של המאה ה-21"
יעילות אורית גבוהה מ-90 לומן/ואט	יעילות אורית גבוהה מ-123 לומן/ואט	יעילות אורית גבוהה מ-123 לומן/ואט
הספק נמוך מ-10 ואט	הספק נמוך מ-11 ואט	תפוקת אור של למעלה מ-1200 לומן
תפוקת אור של יותר מ-900 לומן	תפוקת אור של יותר מ-1350 לומן	
אורך חיים של למעלה מ-25,000 שעות	אורך חיים של למעלה מ-25,000 שעות	
CRI גבוה מ-90%	CRI גבוה מ-90%	
CCT בין 2700-3000 K	CCT בין 2700-3000 K	

(<http://www.lightingprize.org/>)

אוסטרליה -

- חקיקה להורדה הדרגתית של נורות לא יעילות מן המדפים התקבלה ב-2007, וצפויה להיות מושלמת עד 2012, למעט עבור נורות בהספק נמוך מ-25 ואט (פתרון לגבי נורות אלה יקבע כתלות בזמינות חלופות)
-
- מ-2009 נורות כפופות לתקן יעילות מחייב, וחל איסור על ייבוא נורות שאינן עומדות בתקן
- בחקיקה קיימת דרישה לגבי אורך חיים ודעיכה, ולא רק לגבי יעילות אנרגטית
- המהלך צפוי לחסוך 30 טרהוואט-שעה לשנה בצריכת החשמל, ו-28 מיליון טון פד"ח בין 2008-2020

המצב בישראל

בישראל, השוק הוא פשוט יחסית. מדובר על 4-5 יבואנים מקומיים, אין ייצור מקומי, ולכן איסור מכירה אינו פוגע ביצרנים ואין לו השלכות תעסוקתיות. עיקרון אחריות היצרן מקודם כבר היום במסגרת חוק הארזיות, ונושא התאורה באופן ספציפי נמצא כרגע בדיונים בוועדת הכלכלה של הכנסת, במסגרת תקנות מקורות אנרגיה (יעילות אנרגטית מזערית לנורה חשמלית לתאורת פנים במבנים) התשע"א – 2010.

נקודות עיקריות בתקנות המוצעות (הצעת התקנות מופיעה בנספח 5) :

לא ייבא אדם, לא ייצר לשימוש בארץ, לא ימכור ולא ישווק נורה חשמלית, אלא אם כן :

- מכון התקנים או מעבדה מאושרת בדקו בהתאם לתקן את היעילות האנרגטית של הנורה החשמלית
- הממונה קבע כי היעילות של הנורה תעמוד בסף אשר נקבע בתקנות
- היצרן או היבואן ימסור לממונה מידע על היעילות האנרגטית של הנורה.

הסוגיות העיקריות לדיון במסגרת קידום תקנות אלו הן :

- יש בעייתיות בהחלת מהלך גורף, לא מדורג, ובעל תוקף כמעט מיידי.
- אין התייחסות בתקנות לנורות "מיוחדות" (הספקים נמוכים/שימושים מיוחדים), כגון נורות למקררים או לרכב או נורות בהן נעשה שימוש בחדרי ניתוח).
- אין הסדרה של מערך הטיפול בפסולת הנורות (סוגיית הכספית).
- אין הסדרה של מערך הסברה צרכני.
- אין הסדרה של סוגיות מסחריות (למשל – מלאי קיים).
- אין דיאלוג עם "מיסוי ירוק 2", הממליץ למסות נורות ליבון.
- אין בארץ מעבדת בדיקה שיכולה לקיים את שלל הבדיקות לתאורה לשם אכיפת התקנות.

סוגיות הנורות החסכוניות נדונה גם במסגרת השלב השני של רפורמת מיסוי ירוק, אשר צפויה להתפרסם בחודשים הקרובים. בטיוטת הדו"ח מוצע להטיל מס על נורות ליבון, כצעד ביניים להשפעה על הביקוש עד לאיסור מוחלט על יבוא נורות ליבון.

פרופ' רחל בקר, הפקולטה להנדסה אזרחית, הטכניון השפעת בקרת תאורה אוטומטית על ביצועים אנרגטיים של מבנים

להלן יוצגו ממצאי מחקר, אשר לא עסק באמצעי תאורה ספציפיים, אלא בחן את החיסכון באנרגיה במבנים. מטרת המחקר היתה למצוא דרך לייעל את התאורה, כחלק מצרכני האנרגיה במבנה, ובמהלך המחקר ניתן טיפול גם לנושא בקרת התאורה כתלות בתאורה הטבעית במבנה. המחקר בחן בתי ספר ובנייני משרדים אשר בהם יש סיכוי ליישם בקרה (מערכות בקרת נוכחות אינן מתאימות במרבית המקרים למבני מגורים, בהם התנועה בין החללים גדולה יחסית). צריכת האנרגיה הטיפוסית למבנים מסוג זה היא 3-8 וואט למ"ר שטח רצפה של משרד. מכיוון שהציוד אשר נמצא בשימוש הולך ונעשה יעיל, ומבוקר על ידי תקן, יצא המחקר מנקודת הנחה שהמבנה הנבדק מאובזר בנורות היעילות ביותר. מידת התאורה שנבחנה היא 500 לוקס על שולחן העבודה. מבחינת עומס החום, מתקבל מצב שבו התאורה גורמת לעומסים פנימיים גדולים יותר מאשר המשתמשים בבניין עצמם. במרבית המבנים האורות דולקים מהבוקר עד הערב, ללא תלות בתאורה בחוץ. ברור כי יש צורך לבקר את התאורה החשמלית. נעבור על שלושה אמצעים –

1. בקרת תאורה חשמלית על ידי חיישני נוכחות. כאשר אין תנועה בחדר האור נכבה. מערכת כזו מורידה את הצריכה בצורה משמעותית. כאשר מישהו נכנס לחדר, האור חוזר. במערכת כזו

החיסכון קיים כשאין שימוש, אבל בזמן השימוש שוב יש בזבוז, ולכן זה אפקטיבי רק באזור שיש בו פרקי זמן ארוכים של שהייה ולא כשיש כניסה ויציאה כל הזמן. בתחום זה חסר ידע מחקרי מסודר ושיטתי בישראל, אולם בקנדה היה מחקר שהראה שבמשרד רגיל ניתן להגיע עד לחיסכון של 30-40% (Galasiu and Newsham 2009).³

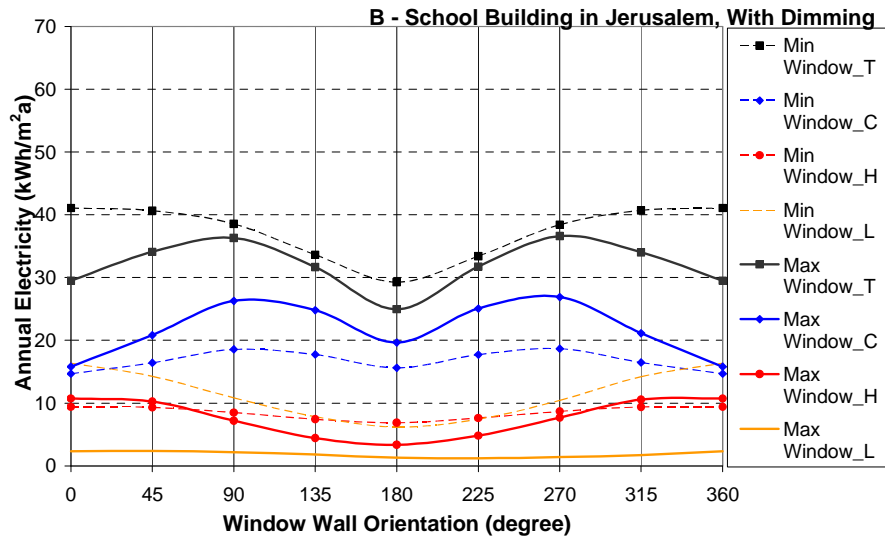
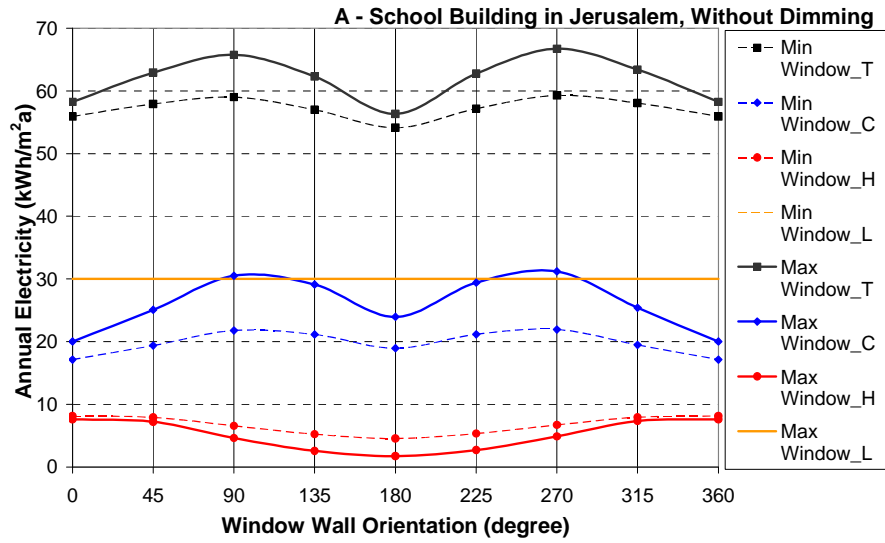
2. תאורה ייעודית ממוקדת לפעילות, הנשלטת על ידי המשתמש. בחלל כזה ניתן לספק תאורת רקע, ולהוסיף 500 לוקס רק באזור השולחן, כאשר הפעלת התאורה הנוספת נקבעת על ידי המשתמש. מערכת כזו לכאורה ישימה למשרדים, ופחות לבתי ספר. גם בתחום זה אין נתונים בישראל אבל מחקר קנדי מראה שהחיסכון הוא אפסי כי אנשים נוטים לכוון את התאורה כך שמגיעים לעודף תאורה. בפועל במערכות מסוג זה עלולים להגיע לתכנון יתר ולא לחיסכון. (Newsham et al 2005)⁴. תאורה חשמלית מבוקרת על ידי תאורה טבעית – ניתן לבחור בין בקרה רציפה או בקרת ON OFF. דובר על מחקר תיאורטי ולא ניסויי בשלב זה, כאשר התוצאות לקחו בחשבון את הכללת התאורה בתחשיב האנרגטי הכולל.⁵ הגרפים מראים את תצורות החשמל עבור חימום וקירור כתוצאה מהתאורה, וניתן לראות השפעה משמעותית של מידת התאורה על צריכת החשמל לחימום או קירור, וירידה משמעותית בצריכה כתוצאה מבקרת התאורה.

³ Galasiu, A.D., Newsham, G.R., "Energy savings due to occupancy sensors and personal controls: a pilot field study", NRC-CNRC, NRCC-51264, 2009

⁴ Newsham, G.R., Arsenault, C., Veitch, J., Tosco, A.M., Duval, C., "Task lighting effect on office worker satisfaction and performance, and energy efficiency", NRC-CNRC, NRCC-48152, 2005

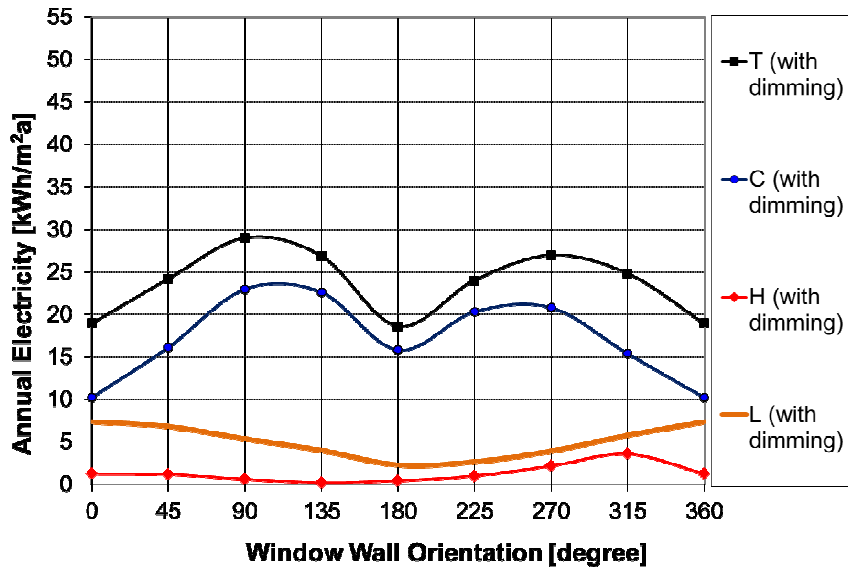
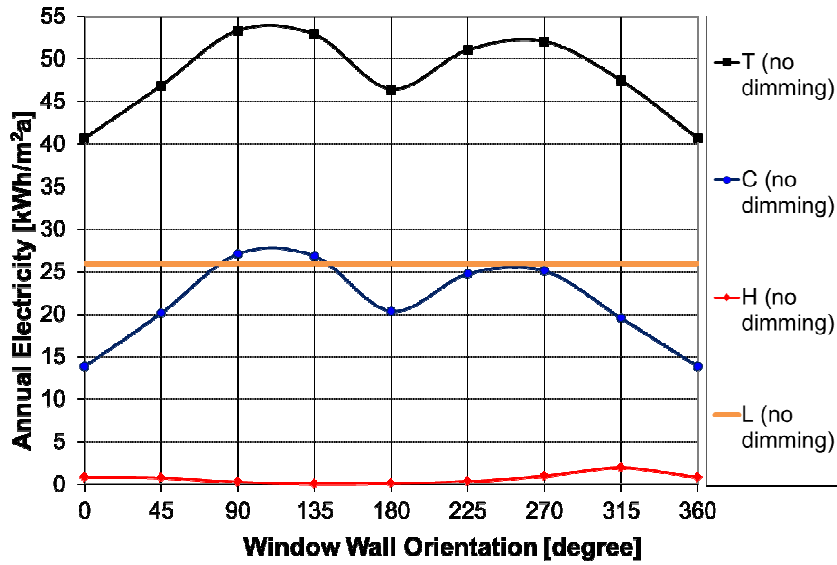
⁵ Results from M.Sc. Thesis of Evgeniy Beagon, Faculty of Civ. & Env. Eng., Technion, Haifa

ציור 4 - השפעת התאורה על צריכת החשמל של המבנה



גורם נוסף בעל השפעה משמעותית הוא מפנה המבנה והחלונות העיקריים שלו. חלונות בעלי שטח מינימלי מביאים לתצרוכת כוללת גבוהה יותר מאשר בניין עם חלונות גדולים המאפשרים תאורה יעילה (תלוי כמובן בכיוון המפנה כי יש שיקול אנרגטי של חדירת חום וקרינה).

ציור 5 - השפעת מפנה החלון על צריכת החשמל של המבנה



כפי שניתן לראות מהתוצאות המשמעותיות, הנושא הוא בעל פוטנציאל גדול מאוד וניתן לשלב עם האמצעים הקודמים, כאשר השילוב ביניהם הוא מעניין במיוחד. כל אחת מהטכנולוגיות יכולה לתת תוצאות בעלות משמעות, אבל לפני שמתכננים מערכות בקרה - יש לתת את הדעת על התכן האדריכלי והשילוב האופטימלי בין גודל חלון, סוג הזיגוג וכו'. רק לאחר תכנון מיטבי של הגורמים הנ"ל יש ליישם פתרונות בקרה.

ישנם מגוון של שיקולים שיש לבחון, כגון השפעה של בקרת התאורה על גרדיאנטים של תאורה בתוך הבניין, השפעה על סינוור, נוחות האדם, הפרשים גדולים בין נקודות שונות בתוך המבנה וכד'. יש לאמת כל אחד מהנושאים באופן ניסויי, ולהתאים שילובים אופטימליים של אמצעי בקרה שונים בבניין שתוכנן כהלכה. אני סבורה כי הידע המחקרי מועט מדי כיום בכדי שניישם תקינה חייבת. ניתן לשלב את המדדים הנ"ל כחלק מציון המדד האנרגטי של המבנה, כעידוד, אולם יש להיזהר בתקינה מחייבת משום שכיום עדיין חסר לנו ידע.

פרופ' עדנה שביב, הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון
מהו תכנון לקוי של בניינים הצורכים אנרגיה מרובה לתאורה ? ומהם הפתרונות האדריכליים
המאפשרים חיסכון באנרגיה ?

ברצוני להביא כדוגמה מבנה אשר נחשב ירוק אולם תכנונו לקוי. מדובר על מבנה משרדים רב קומתי, אשר מאכלס עובדים רבים בעבודה משרדים בשעות היום. המבנה אמנם נחשב "ירוק", לפחות על פי פרסומים וכתבות, אולם כאשר ביקרתי בו נדהמתי לראות כי המבנה מואר במשך כל שעות היממה, ואינו מאפשר שליטה על מערכות התאורה. כאשר נשאלה אחת העובדות מדוע אינה מכבה את התאורה כאשר היא יושבת בסמיכות לחלון, השיבה כי אין אפשרות לכבות את מערכת התאורה רק במשרדה, אלא הבקרה היא על הקומה כולה, והאור נכבה רק בשעה שבה כולם מסיימים את יום העבודה. השגיאות העיקריות שמתכננים עושים בבואם לתכנן בתחום התאורה הן תכנון משרדים עמוקים שאינם מאפשרים חדירה של תאורת יום, וחוסר בקרה נכונה על התאורה החשמלית. חשוב להקפיד על הפרדה בין מעגלי החשמל לתאורה, ואי תלות בין אזורים שונים בקומה (יש לאפשר את כיבוי האור במשרד אחד ללא כיבוי של כל הקומה). כמו כן רצוי שהתאורה תותקן במקביל לחלון ולא בניצב אליו, וכך ניתן להדליק רק את האור הפנימי, המרוחק יותר מהחלון ולהימנע מהדלקה של נורות הקרובות לחלון.

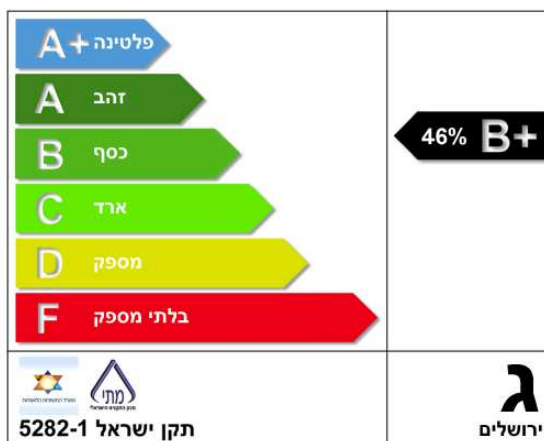
תקן לדירוג אנרגטי של בניינים

לשם השגת התייעלות אנרגטית יש צורך בתקן לדירוג אנרגטי של בניינים, אשר יעודד תכנון מודע לאקלים ולאנרגיה. לשם כך נוסח תקן 5282 העוסק בדירוג אנרגטי של בניינים.

מטרות התקן:

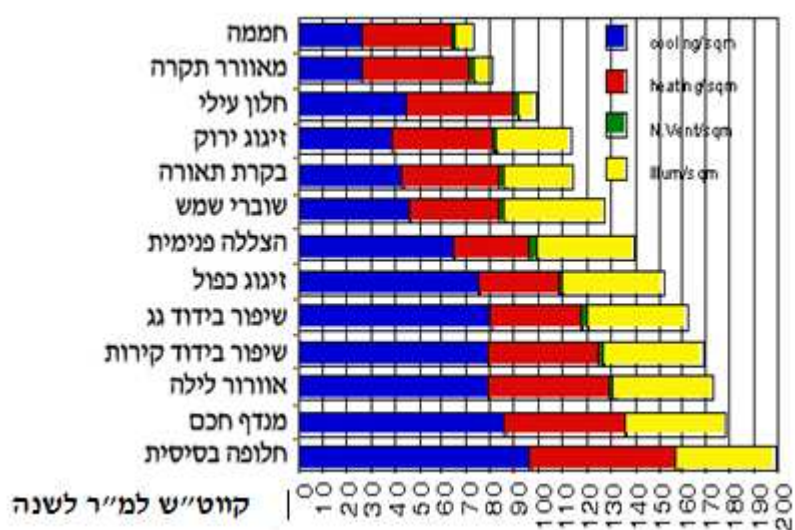
1. מערכת תקינה אנרגטית שיטתית
2. השגת יעדים מוכחים ומבוקרים
3. חיסכון באנרגיה תוך שמירה על כלכליות
4. דירוג אנרגטי = > תוית המציגה את היעילות האנרגטית של הבניינים = < מעודד תכנון יעיל וחוסך אנרגיה

ציור 6 - תוית אנרגיה של מבנים (תקן 5282)



ציור 7 מדגים את השפעת פרמטרי התכנון השונים על צריכת האנרגיה של המבנה (בבניין זוסמן לאנרגיה וסביבה, מכון ויצמן למדע). שילוב כל הפרמטרים הקשורים ישירות לתאורה – חלון עילי, זיגוג ירוק, בקרת תאורה, שוברי שמש והצללה פנימית, או חיצונית הם המשמעותיים ביותר. בנוסף, לפי ציור זה ניתן לראות כי השפעת המשתנים חלון עילי, זיגוג המעביר יותר קרינה בתחום הנראה ובקרת תאורה המשפיעים על הגברת תאורת היום הטבעית מביאים בנוסף לחיסכון גדול בתאורה, גם לחיסכון באנרגיה הנדרשת לקירור הבניין.

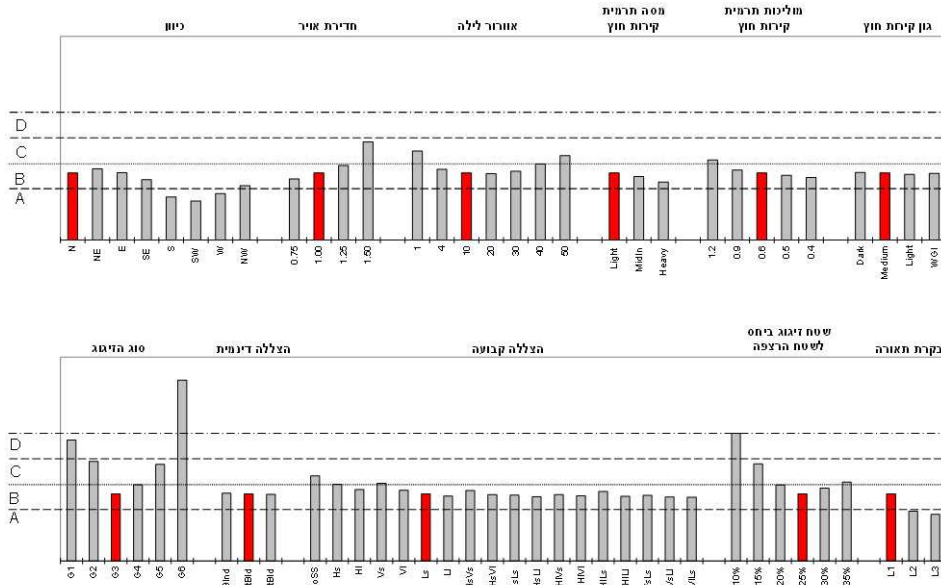
ציור 7 - שיפורים אפשריים לחיסכון באנרגיה



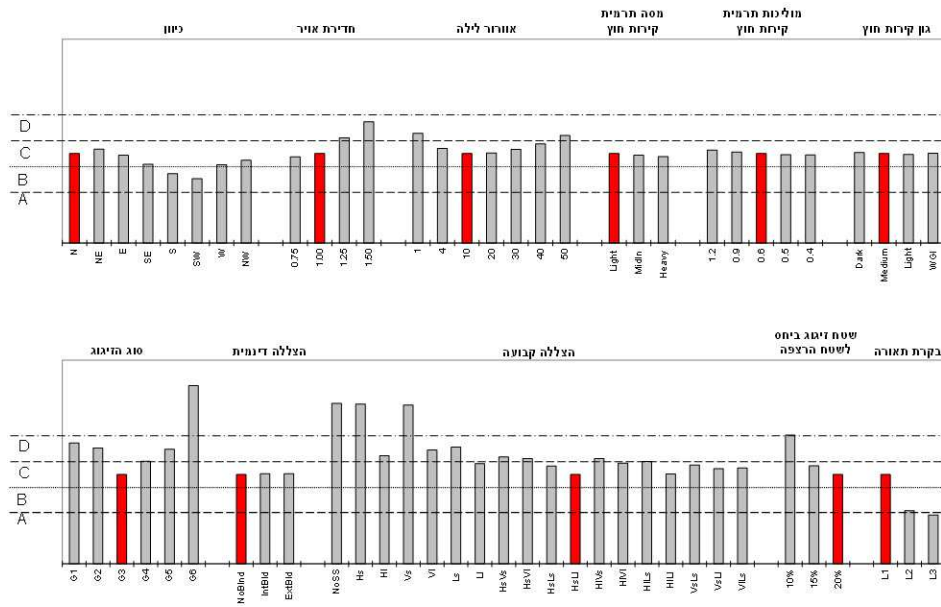
ערך השינוי הכולל של משתני התכנון הקשורים למערכת החלונות ולפרטי הצללתם הוא פי 3 מערך השינוי הכולל שמתקבל מבידוד הקירות, מבידוד הגג ומאוורור הלילה. בעקבות אפיון פרמטר זה, נבדק נושא התאורה במשרדים ביסודיות.

בעבר – שוברי שמש (שיכולים לשמש בנוסף גם כמדפי תאורה) היו חלק מהארכיטקטורה של הבניין – זה היה מקובל מאוד, רק בשנים האחרונות זה יצא מהאופנה, ונמנעים מלהוסיף אותם. כאשר מגדירים תקן, חשוב לוודא כי חופש התכנון נשמר – לכן גם בתקן עצמו אנחנו מציעים, למשל, מספר דרגות של עומק משרד המוגדר לפי המרחק של הקיר הפנימי של המשרד מהחלון. מתוצאות המחקר שביצענו ניתן לראות כי בעומק של 5 מטר יש פתרונות טובים יותר וזולים יותר מאשר במשרדים שעומקם עולה על 5 מ' עומק ומגיע עד 8.20 מ' (ראה ציור 8). מבחן הרגישות מציג מיפוי של השפעת הגורמים השונים על צריכת האנרגיה ועוזר לנו לראות לאילו משתני תכנון השפעה גדולה, ולכן חשוב להקפיד על ההמלצות לערכי משתנים אלו. זאת לעומת משתני תכנון להם השפעה קטנה, שעבורם אין צורך לקבוע ערכים מוכתבים קשיחים, ואפשר להשאירם לשיקולו של המתכנן. התקן, בגישה המרשמית/תיאורית [2,3], מבוסס על פתרונות המוצגים על גבי גרף מבחן הרגישות (ראה ציור 8).

צויר 8 - מבחני רגישות



איזור אקלימי	כיוון	עומק עד
א	צ	5.00
מרשם בסיסי		
L1	בקרת תאורה	
Ls	הצללה קבועה	
	הצללה דינמית	פנימית
G3	סוג הזיגוג	
25%	שטח זיגוג ביחס לשטח הרצפה	
0.6	מוליכות תרמית קירות חוץ	
	גון קירות חוץ	בינוני
	מסה תרמית קירות חוץ	קלה
1.0	חדירת אוויר	
10	אווורור לילה	



איזור אקלימי	כיוון	עומק עד
א	צ	8.20
מרשם בסיסי		
L1	בקרת תאורה	
HsLI	הצללה קבועה	
	הצללה דינמית	בלי
G3	סוג הזיגוג	
20%	שטח זיגוג ביחס לשטח הרצפה	
0.6	מוליכות תרמית קירות חוץ	
	גון קירות חוץ	בינוני
	מסה תרמית קירות חוץ	קלה
1.0	חדירת אוויר	
10	אווורור לילה	

בצויר העליון, השפעת משתני התכנון על צריכת האנרגיה במשרד בתל אביב שחלונותיו פונים לצפון ושעומקו 5.0 מ'. למטה השפעת משתני התכנון על צריכת האנרגיה במשרד דומה שעומקו 8.2 מ'. ניתן לראות שגורם התכנון שמשפיע במיוחד הוא עומק המשרד. עומק של 5.0 מ' מאפשר תאורת יום במרבית שעות היום בכל המשרד ולכן ניתן לקבל פתרונות שצורכים אנרגיה מועטה ע"י פתרונות פשוטים וזולים יותר לעומת משרדים שהם עמוקים.

References

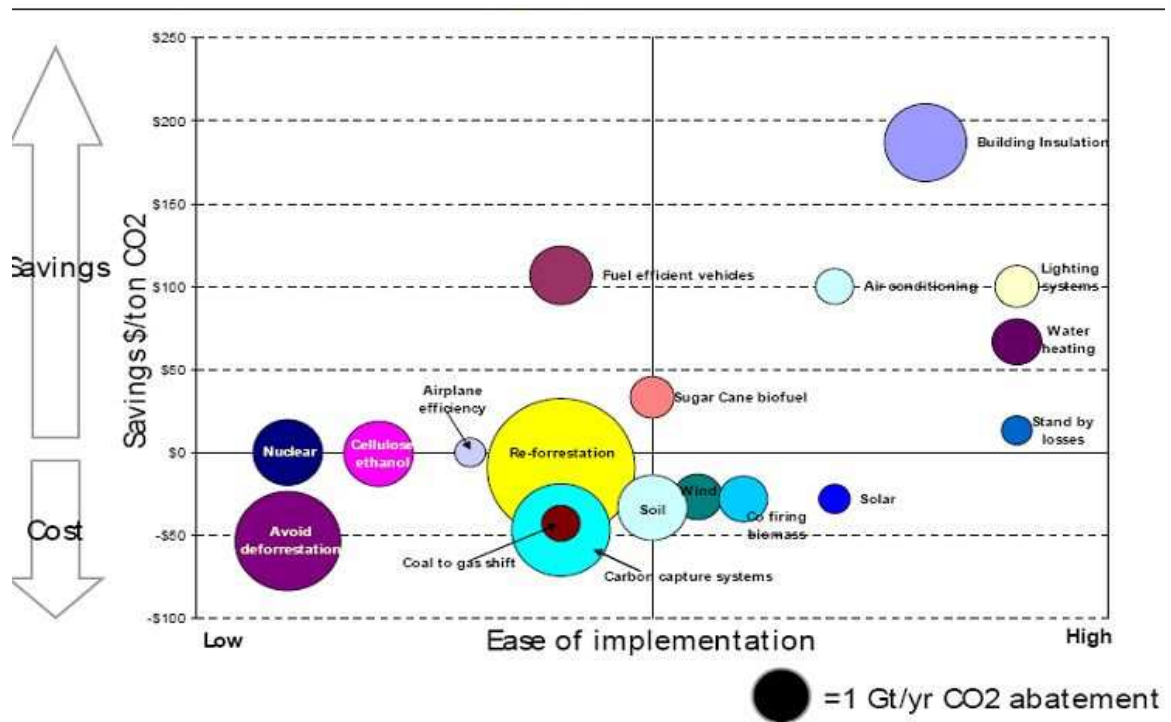
- Shaviv E., 1999. "Integrating Energy Consciousness in the Design Process "Automation in Construction" 8 (pp. 463-472). Elsevier Sc. Ltd.
- Shaviv E., A. Yezioro, I. G. Capeluto, 2008. "Energy Code for Office Buildings in Israel". "Renewable Energy", Vol 33/1 pp. 99-104.
- Shaviv E., Capeluto I.G., Yezioro A., Becker R., A. Warshavsky, 2004, "Thermal Performance of Buildings and the Development of Guidelines for Energy Conscious Design. Part B – Office Buildings". (in Hebrew). Technion Research and Development Foundation Ltd., No. 022-755-2, Sponsored by the Ministry of National Infrastructures.

חסמים ואתגרים בהחדרת פתרונות התייעלות אנרגטית בישראל

בהרצאתי אביא ניסיון של יצרן ויבואן מקומי בתחום. חשוב לציין, כי מתוך כלל ההתקנות שלנו, פחות מ-10% מותקנות בישראל.

ציור 8 מתאר את האמצעים להפחתת פליטות גזי חממה. על הציר האופקי בשקף רמת הקושי בהתקנה; ככל שהסימון נמצא יותר בימין – ההתקנה או היישום קל יותר. בציר האנכי – רמת החיסכון. כל עיגול מתאר טכנולוגיה שונה.

ציור 9 - מיפוי פוטנציאל הפחתת פליטות לפי אמצעי



האמצעי היעיל ביותר הוא בידוד – אבל הוא קשה יחסית להתקנה, והוא גם מותנה בתקינה. כאשר מחליפים נורת ליבון בנורת CFL, מקבלים מיידיית חיסכון של 60-70%. חברת מטרולייט מחליפה משנק מגנטי באלקטרוני, ללא פגיעה בתשתיות או צורך בשינויים מיוחדים, ומתקבל חיסכון משמעותי שיכול לנוע בין 35 ועד 70 אחוז. בתחום מיזוג האוויר – השינוי יותר יקר ויש לבצע שינוי בתשתיות, ומעבר לזה יש יותר קושי ביישום ופחות אפקטיביות בחיסכון.

דוגמא לפרויקט אשר הביא לחיסכון ברשת חנויות אלקטרוניקה (Fry's) בקליפורניה – החזר השקעה תוך 7 חודשים – 70% חיסכון בתאורה – התבצע באמצעות החלפת טכנולוגיה + מערכת בקרה. תוצאות השינוי, מעבר לחסכון הישיר בחשמל לתאורה, היו ירידה של 2 מעלות בטמפרטורה בשטח החנות, אשר הביאה לחיסכון במערכת המיזוג. קצב החלפת הנורות ירד למחצית.

דוגמא מישראל – ברשויות מקומיות אשר להם כ- 10,000 נקודות תאורה ברחובות – סה"כ החיסכון השנתי הממוצע הוא 2.7 מיליון שקל. אחת הרשויות, בכספי החיסכון ממשיכה להתקין בכל שנה עוד משנקים אלקטרוניים נוספים.

אם זה כל כך פשוט – למה זה לא עובד? למרות שקל מאוד להוכיח את היעילות וקל מאוד להתקין, המודל לא מיושם בצורה נרחבת. למה?

1. מודעות. חסר חינוך, ובשטח יש בורות בנושא. מרבית האנשים אינם מכירים את המושגים האלה.
2. שינויים בשטח מתרחשים מתוך חזון או מתוך כאב. הבעיה בתחום זה היא שהכאב אינו מורגש. מחירי החשמל אינם גבוהים מספיק על מנת לעודד חיסכון. אם יוצרים כאב באמצעות חקיקה – למשל אם אסור יהיה לחברת החשמל להגדיל את קצב ייצור החשמל – יעשה מאמץ וימצאו פתרונות. בצרפת, למשל, כל חריגה בייצור החשמל מעל רמה מסויימת הקבועה בחוק גוררת קנס כספי לחברת החשמל. איום כזה גורם לחברת החשמל לעודד את הצרכנים לחסוך.
3. מובילות בכל הרמות – כמו בכל הנושאים הסביבתיים - צריך שתהיה דמות מפתח בארגון, משוגע לדבר אשר יוביל את השינוי.
4. רגולציה – בישראל יש מעט מאוד רגולציה בתחום הזה, אין מקל ואין גזר.
5. בישראל - המדינה היחידה בעולם שבה מחירי החשמל יורדים, אין קנסות על היקפי ייצור גבוהים ואין סיבה לחסוך.
6. צריך לתת תמריצים לחיסכון באנרגיה.
7. עידוד השקעות פרטיות – באנגליה יש יוזמות פרטיות ליישם של התייעלות אנרגטית, ובארץ עדיין לא קיים.

בנוסף קיימת בעיה של ניגודי אינטרסים – מטרתה של חברת החשמל היא רק לעמוד בביקושי השיא ולספק חשמל בצורה איכותית. למעשה לחברת חשמל אין אינטרס לצמצום ביקושים. כמו שהמצב קיים כיום, אין אינטרס לביצוע התייעלות לאף משרד ממשלה. עבור קבלנים משמעותה של התייעלות היא אובדן הכנסות, משום שיש רשויות שמתקצבות לקבלנים עלויות טיפול בנורות. אם הקבלנים יתקינו משהו בעל אמינות גבוהה, לא יידרשו הטיפולים ותיפגע הכנסתם.

שיקולים זרים ומינהל לא תקין – אנו סובלים מהתסמונת הקבועה, לפיה פתרון שטוב לכל העולם לא מתאים למדינת ישראל וקידום או עצירת פתרונות ראויים מונע לעיתים משיקולים זרים ומינהל לא תקין.

מצד שני יש נוחות גדולה בביצוע פרויקטים לאומיים – מתחת לכל משרד ממשלתי יש גוף גדול, שיכול להוביל ולעשות שינוי משמעותי – במשרד הביטחון זהו צה"ל, במשרד הבריאות - בתי חולים, במשרד החינוך – בתי ספר וכן הלאה. אם לא מיישמים דוגמא אישית ומנהיגות בגופים אלו, אין מגמה לאומית לפעול.

לסיכום, אני רוצה דווקא להביע אופטימיות – לאחרונה אני רואה שינוי מגמה בתחום, ויש ידע יותר נרחב בציבור. יש עבודות שיוצאות לאור כדוגמת עבודת משרד התשתיות הלאומיות בנושא ההתייעלות האנרגטית, וועדת המנכ"לים הבינ-משרדית להפחתת פליטות גזי חממה, מינוי נאמני אנרגיה בגופים עסקיים וציבוריים ועוד.

ד"ר פרי לב און, קבוצת לבאון, קליפורניה
זרקור על תאורה יעילה במבנים ומחוץ להם

ניתוח של ה- IEA משנת 2006 (המספרים מעודכנים ל- 2005) מראה כי 17.5% מהאנרגיה בעולם משמשת לתאורה, כאשר מרבית האנרגיה בסקטור זה משמשת למבני מסחר. הדרכים העיקריות היכולות לשמש להפחתת הדרישה – שימוש בנורות CFL, והוצאה מבוקרת ומדורגת של נורות כספית משימוש⁶.

במחקר שנערך על ידי 'ארגון האנרגיה הבינלאומי' עבור קבוצת עבודה של ה- ג' 8 נמצא כי במערכת תאורה טיפוסית, רק 30% מה'לומנס' הנפלטים מהנורה תורמים לתאורה בה חווים המשתמשים. הסיבה ל'מקדם השירות' הנמוך היא שילוב של מספר גורמים, ביניהם אובדן תאורה עקב כליאתה בגוף המנורה, 'בליעת אור' על גבי משטחים בסביבה הקרובה, וכיוון הארה למקומות שם אין בה צורך⁷.

יוזמת 'en.lighten' – זוהי יוזמה של UNEP אשר מטרתה לתאר ולמפות את שוק התאורה העולמי. הרעיון הוא להוציא משימוש טכנולוגיות מיושנות ולעודד טכנולוגיות חדשות על ידי יצירת ארגז כלים המבוסס על דוגמאות ממדינות שונות, ולמידה מהידע העולמי⁸.

הערכת תאורת רחוב⁹ - זהו פרסום חדש אשר פורסם בחודש האחרון בקנקון המכיל מידע מ- 100 מדינות לגבי המשמעות הכלכלית של שינוי תאורת רחובות וכמה ניתן לחסוך על ידי כך. ההנחה היא כי החלפה של טכנולוגית התאורה יכולה להביא לחיסכון של 2% בצריכת החשמל העולמית, ובמונחים של פליטות פחמן דו חמצני, ניתן להשוות זאת לחיסכון בפליטה של 61 מיליון מכוניות. כפי שניתן להבין, מדובר במספרים משמעותיים וגדולים מאוד.

המפה בציר 9 מתארת את שיעור החיסכון הצפוי על פי מדינות. המפה היא שרטוט מספר 3 בעמוד המקור למטה¹⁰ המראה את אחוזי החיסכון בחשמל אותם ניתן להשיג באם מדינות תעבורנה לחלוטין משימוש בנורות ליבון לנורות קומפקט פלואורסצנט. המפה מציינת שעבור מדינות מפותחות אחוז החיסכון באנרגיה עשוי להיות נמוך יותר מאשר במדינות מתפתחות, אולם באשר לכלל החיסכון באנרגיה, הרי המדינות המפותחות תוכלנה לחסוך הרבה יותר עקב בסיס צריכת האנרגיה הגבוה שלהן לתאורה.

⁶ http://www.iea.org/papers/2008/cd_energy_efficiency_policy/4-Lighting/4-light2006.pdf

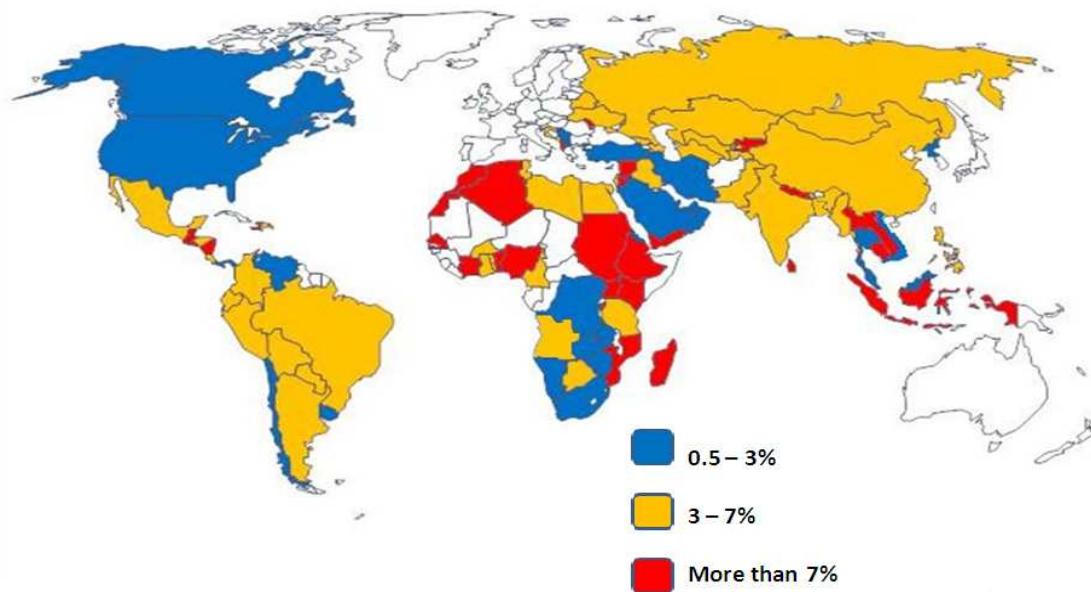
⁷ IEA 2006, "LIGHT'S LABOUR'S LOST: Policies for Energy-Efficient Lighting", http://www.iea.org/papers/2008/cd_energy_efficiency_policy/4-Lighting/4-light2006.pdf

⁸ <http://www.enlighten-initiative.org/AboutUs/TheenlightenPartnership/tabid/4944/Default.aspx>

⁹ <http://www.enlighten-initiative.org/CountryLightingAssessments/tabid/29601/Default.aspx>

¹⁰ UNEP/Phillips/OSRAM, 2010, "Country Lighting Assessments; Energy Savings", <http://www.enlighten-initiative.org/CountryLightingAssessments/EnergySavings/tabid/29613/Default.aspx>

ציור 10 - שיעור החיסכון בחשמל הצפוי במדינות העולם



במדינות המסומנות באדום – ניתן עוד לחסוך למעלה מ 7% - אלו מדינות המתבססות בייצור החשמל שלהן בעיקר על פחם. במדינות שבהן אין שימוש נרחב בפחם החיסכון פחות משמעותי אבל עדיין קיים.

פוטנציאל החיסכון באנרגיה על פי דו"חות ה-DOE¹¹ עשוי להגיע עד שנת 2030 לכ- 190 טרה וואט-שעה בחישוב שנתי, שהוא שווה ערך לחשמל המיוצר על ידי 24 תחנות כוח של 1,000 מגה-וואט כ"א. ניתן להגיע לחיסכון עצום אם משתמשים בטכנולוגיית SSL.

דוגמא מלוס אנג'לס, קליפורניה – עיר גדולה מאוד עם 6500 מייל של רחובות – המוציאה כ- 17 מיליון דולר לשנה על אנרגיה. כאשר החליפו את תאורות הרחוב בעלות כוללת של 57 מיליון דולר – התקבל החזר ההשקעה תוך 7 שנים – כאשר על הנורות ניתנת אחריות ל- 6 שנים ומצפים למינימום 40% חיסכון באנרגיה. נכון למועד העברת נתונים אלו, הוחלפו כבר 20,000 נורות, ונמדד חיסכון ממש. בנוסף, חוות הדעת היא שגם איכות התאורה הרבה יותר טובה. לסיכום, מובאות המלצות ה- IEA לממשלות ולתכניות לאומיות:

- קביעת תקן מינימלי לביצועים אנרגטיים
- תוויות אנרגיה, דירוג ותכניות הסמכה ליצרנים ולמוצרים
- תקני בניה
- ביצועים אנרגטיים של מבנים – הגדרות ומיתוג
- תמריצים כלכליים לעידוד המשק
- תכניות רכש ותחרויות ארציות
- הפצת מידע והעלאת מודעות
- תכניות להסבת השוק ושינוי המגוון הקיים

¹¹ www.ssl.energy.gov/tech_reports.html

- תכניות וולונטריות והסכמים לטווח ארוך
- תכניות מחויבות לחברת ייצור החשמל
- מימון לחברות ESCO וצד שלישי לעידוד פרויקטים ויוזמות

ד"ר אינג' אינה ניסנבאום, מתכנתת תאורה, יו"ר הועדה הישראלית להנדסת המאור של התאגדות מהנדסי חשמל ואלקטרוניקה בישראל 2002 (ע"ר) התייעלות לעומת בריאות

ברצוני להביא נתונים ומספרים ממדינת ישראל. חייבים לזכור כי השוק שלנו שונה לחלוטין מהנתונים שאנו מקבלים ממדינות אחרות, ובפרט מארה"ב. חדשות לבקרים אנו שומעים בעיתונים ובתקשורת מומחים שמצהירים כי הנורות היעילות אינן בריאות, מזיקות, מקרינות קרינת UV, מסרטנות וכד'. יש חשיבות גדולה לעשות סדר בנתונים ובפרסומים.

בשנת 2008 פרסם ה- HPA (ארגון הבריאות הבריטי) מחקר¹² אשר מסקנותיו העיקריות היו:

- ❖ בתנאים מאוד מסוימים המשתמש עלול להיחשף למינון גבוה מהמותר של קרינת UV
- ❖ עלולה להיווצר החמרה של מחלת הזאבת (LUPUS) ושל מחלות אור אחרות מהן סבל המשתמש בטרם חשיפתו.
- ❖ הסיכון ללקות בגידולי עור ממאירים כתוצאה מחשיפה לאור עדיין קטן לאין ערוך מסיכון עקב החשיפה לקרני השמש.

לפני כשנתיים עיתונאי מצא את המחקר הנ"ל, פרסם אותו בתקשורת והנושא התפתח לכדי היסטריה תקשורתית.

מעבר לכל מה שנאמר כאן לפני, חשוב לשים את הדברים בהקשר הנכון: בארץ, נפוצות נורות הליבון וההלוגן בשימוש בתאורה בסקטור הביתי בעיקר. מתוך סך כל צריכת החשמל הביתית – מהווה התאורה 25% בסך הכל. בנתונים אלו, ברור כי גם אם נחסוך 10%, נקבל חיסכון שנתי של 250 מגה וואט בלבד. מחשבון פשוט זה ברור כי אין טעם להיתלות רק בחיסכון זה לצמצום צריכת החשמל אלא כדאי לבדוק את יתר המוצרים צורכי החשמל בבית. החיסכון הנובע מתאורה הוא חשוב, אבל משני בלבד.

פילוג צריכת החשמל לתאורה בין המגזרים השונים הוא 15% במגזר הביתי, 18% בתעשייה, ובמגזר המסחרי והציבורי - 40%.

חשוב לזכור כי נורות ליבון מותקנות לרוב בבית מגורים, ובמיוחד במשפחות הנמצאות במצב סוציאקונומי בינוני ונמוך.

¹² Health Protection Agency (2008). "Precautionary Advice: Energy Saving Compact Fluorescent Lights" http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1223445517429 (Accessed on December 7th 2010)

כמה חשמל תחסוך החלפת נורת ליבון בבית לנורה חסכונית? ניתן לחשב זאת: עבור נורה הדולקת 5 שעות ביממה, יתקבל חיסכון של 6 שקלים בחודש, וזאת על ידי החלפה בנורה חסכונית, שעולה 40 שקל. עבור בתי אב במצב כלכלי בינוני ונמוך, החלפה כזו היא קשה.

חשוב לזכור גם את הבעיה העיקרית של נורות ה- CFL – הקרינה הכחולה היא המזיקה. באירופה הנושא מדובר ונמצא על סדר היום, משום שהקרינה הכחולה היא חלק ממנגנון התאורה של הנורה, ולא ניתנת לנטרול. מחקרים הראו כי חשיפה ארוכה לקרינה משבשת מנגנוני שינה, פוגעת בייצור המלטונין וביכולת התגוננות של הגוף, גורמת לבעיות במערכת הראיה וכו'.

לנורות PL יעילות מוכחת של פי 5 מנורות הליבון. אורך החיים שלהן גם הוא משמעותית רב יותר – 15,000 שעות.

מדוע אם כך לא להחליף החלפה גורפת? יש מספר סיבות:

- מאפיינים מכאניים וחשמליים
- מקדם ההספק ברוב נורות ה- CFL נמוך
- איכות האור
- אורך חיי נורות ה- CFL
- כספית ומתיל כספית
- מערכת אלקטרונית
- מחיר
- בעיית מיחזור

איפה אם כן ניתן לחסוך בכל זאת? חשוב מאוד להקפיד על תקינה דווקא בתחומים הבאים:

- נורות (שימוש בנורות איכותיות העונות ברמת הקרינה ותכולת חומרים מסוכנים על תקנים מחמירים)
- משנקים וכל ציוד הפעלה אחר.
- עוצמות ההארה ואיכות התאורה
- תנאי עבודה הפעילות נאותים
- מיחזור

פרק 4: דיון

בחלק השני של הפרק התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. על מנת למקד את הדיון, הוצגו מראש מספר שאלות כדלקמן:

מדיניות

מה יכולה וצריכה לעשות ממשלת ישראל כדי לעודד חיסכון באנרגיה לתאורה?
מה חלקה של אנרגיה לתאורה בסל האנרגיה הלאומי וכמה מזה ניתן לחסוך?
מה צריכים המשרדים הממשלתיים לעשות על מנת להוות דוגמה לציבור בהתייעלות אנרגטית?

תכנון

מהו תכנון לקוי של בניינים הצורכים אנרגיה מרובה לתאורה ומהם הפתרונות האדריכליים שמאפשרים חיסכון באנרגיה לתאורה?
איך ניתן לנצל את התאורה הטבעית הרבה הקיימת בישראל לחיסכון באנרגיה לתאורה תוך שמירה על נוחות המשתמשים?
איך ניתן לשפר את החיסכון באנרגיה לתאורה על ידי שימוש במערכות תאורה חשמלית יעילות?

תקינה

האם התקינה בישראל לחיסכון באנרגיה בתאורה מספקת וכיצד ניתן לשפרה?
התקינה הבינלאומית בנושא החיסכון באנרגיה בתאורה בהשוואה לזו בישראל - מה ניתן לאמץ ממנה בישראל?

דברי המשתתפים מובאים כאן בסדר בו נשמעו וללא עריכה. בפרק הבא ניתן סיכום ומוצגות מסקנות מדברים אלה.

דוד רודיק: במהלך 20 השנים האחרונות אנו מחזקים תקנים לתאורה יעילה. למשל, תקן 8995 שאומץ ועבר רוויזיה נותן מידע לגבי תאורה נכונה במקומות עבודה ובנוסף המלצות לחיסכון באנרגיה וכיצד צריכה להיראות מערכת יעילה בתוך מבנה. תקן 13201 לתאורת דרכים – זהו תקן שאומץ כלשונו מאירופה. וועדת הכלכלה של הכנסת דנה בימים אלו בנושא תקינה לגבי יעילות אנרגטית מזערית של נורת פנים למבנים מתוך תקן אירופאי – כאשר קיימות נוסחאות המגדירות דירוג A עבור כל סוגי הנורות. אין אנו מעוניינים לשלול טכנולוגיה מסויימת אלא להגדיר חישוב של היעילות עבור כל סוג של נורה. עבור נורות פלורסנט המחליפות את נורות הליבון נדרשה יעילות אנרגטית מקסימלית; כך אנו מקווים להביא לכך שכמות הכספית תהיה מזערית. אני בטוח שהמשרד להגנת הסביבה, האמון על נושא המיחזור, ימצא דרך לטפל גם בחומרים אלו כפי שהוא עושה בתחומים רבים אחרים. מבחינה טכנולוגית, אין פה משהו חדש ומסוכן. ברגע שנורות ה-LED יגיעו לבשלות טכנולוגית ועמה לעלות כלכלית סבירה, נחפש דרכים להמליץ על נורות אלו כתחליף, כמובן לאחר בדיקת ושלילת השפעות בריאותיות. אנו נשקול לעודד כניסה שלהן לשוק אם נגלה שהן נותנות מענה טוב יותר. נכון לעכשיו הוועדה טרם התכנסה, ואני מקווה שהתקנות יאושרו עד סוף השנה.

ד"ר שלמה ולד: כשמדברים על התפלגות הקרינה בתחום הכחול – משווים את ההתפלגות הספקטרלית להתפלגות האופיינית לנורה סטנדרטית מתחת ל 60 W, אבל יש לזכור כי בנורת ליבון הספקטרום של

גוף שחור עולה ככל שעולים בהספק, ולכן סה"כ הקרינה הכחולה גבוהה הרבה יותר מאשר השיאים (Peaks) הבודדים המתקבלים מנורת FL. בנורת פלורסנט השיאים נקבעים על ידי החומר שבנורה. הפילוג של הספקטרום תלוי באנרגיה שפולטים האלקטרונים, ויש אופיין שונה לכל חומר. אנרגיה זו היא פחות או יותר קבועה ואינה תלויה בהספק. לעומת זאת, בנורות ליבון יש שינוי כפונקציה של ההספק. בהתייחס לשינויים ברמות המלטונין כתוצאה מחשיפה ממושכת לאור לא טבעי אשר הוזכרו כאן קודם, אני מעריך כי תופעה זו אינה עומדת במבחן הכמות. לאחר שפורסם המאמר של ד"ר אלי שטרן¹³, חזרתי לקרוא שוב את ההמלצות באנגליה¹⁴, וניתן לראות כי לא כצעקתה. אני חושב שיש בפרסום מידע נגד השימוש בנורות החסכוניות יותר מדי בעלי עניין וחייבים לברור את העובדות ולומר את האמת המדעית. החיסכון באנרגיה ומניעת החימום הסביבתי, הם יתרונות ברורים וכאשר מדברים על חיסכון משאבים והורדת עצימות האנרגיה, חייבים לעשות סדרי עדיפויות.

מיכל נחמני: בשנת 2008 פרסמה המועצה האירופאית לסיכונים בריאותיים דו"ח המראה כי לא נמצא קשר בין שימוש בנורות מסוג CFL להחמרת המחלות שהוזכרו. האימוץ הגורף של המלצות הדו"ח הזה ושל טכנולוגית התאורה המדוברת במדינות נאורות רבות מעיד על כך.¹⁵

פרופ' עדנה שביב: חייבים להיות תמריצים אשר יקדמו את כניסת הנורות לשוק בצורה משמעותית בכל מיני צורות. מניסיוני בברקלי, קליפורניה למשך שנה וחצי, ראיתי מה נעשה שם. במקרים רבים יש חלוקת נורות חסכוניות חנם לאזרחים על ידי חברות החשמל. חלק מחשבון החשמל מיועד באופן רשמי לחינוך וחברות החשמל מזמינות את הצרכנים לקורסים מקצועיים וימי מידע על התייעלות אנרגטית ללא תשלום – והכול ביוזמת חברות החשמל. בתור צרכן אתה זכאי לקבל נורות חסכוניות חנם, אם תתחייב להחלפה. אין לי ספק כי החדירה של תאורה חסכונית לשוק תלויה במודעות, חינוך של הציבור ושל אנשי המקצוע, וכמובן תמריצים.

ד"ר פרי לבאון: בואו נניח לרגע שיבצעו מהלך כזה בישראל, ויתווסף סכום קטן לחשבון – אני חושש שיהיה מי שיבוא ויצעק שאינו מוכן לשלם – בקליפורניה התשלום הזה מקובל. השאלה היא אם אפשר לעשות את זה בישראל?

פרופ' רחל בקר: משמעותו של חיוב: איסור על שימוש בנורות ליבון ושימוש בנורות חסכוניות. משמעותו של תימרוץ: כיום אנו משלמים תעריף חשמל קבוע ללא תלות בצריכה – ניתן, למשל, להגדיר תעריף חשמל פרוגרסיבי. ברגע שהצרכן מגיע לצריכה גבוהה מעל ערך ממוצע מסוים – הוא ישלם יותר. יש צורך לקבוע את החשבון הממוצע על פי מצב בו התאורה חסכונית ברמה המחייבת, מיזוג האוויר יעיל ברמה התקנית וכו' – וזה יהווה את התעריף הבסיסי. אם הצרכן צריך מעבר לממוצע – ישלם מחיר גבוה יותר, בתעריף חדש. אנו רואים כבר היום יישום של מערכת התחשבות כזו בתחום המים. בנוסף, יש לחייב התקנה של מערכות בקרת נוכחות בבנייני משרדים. קשה לי לומר אם מערכת כזו ניתנת להתקנה באופן גורף בכל משרד, אבל יש למצוא את הדרך למפות את סוגי הבניינים לחיוב. קוד הבניה נכתב

¹³ http://www.gertnerinst.org.il/health_policy/risks/risk_prof/520.htm

¹⁴ http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1223445517429

¹⁵ Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) "Light Sensitivity", September 2008. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_019.pdf.

בימים אלו ואנו מתלבטים מהם הנושאים אשר ניתן לחייב ומה לא. ניתן לחייב רמה מסוימת – ברור כי לא ניתן להיכנס לכל משרד של בית או כל בית חולים, אבל בבניין משרדים גדול אין שום ספק שניתן לחייב. כמו כן, במסגרת התקינה של ציון אנרגטי ובנייה ירוקה – יש לכלול את כל סוגי הבקרה, ובתמורה להעניק ניקוד גבוה למי שמתקין אותן. קבלת תו יהלום או פלטינום חייב להיות מוגבל רק למי שמתקין את המערכות הנ"ל בצורה נכונה וטובה – תפקוד תקין ומניעת בעיות יכול להקנות בונוס גבוה. אולי כפי שהדברים היום זה לא כלכלי מספיק, אבל לשם כך יש מנגנון של מיסוי ירוק. זהו אחד המקרים הקלאסיים הדורשים הפעלה של מיסוי ירוק כי היתרון הנובע מהם הוא ברור מאוד. החיסכון הוא כמית וניתן להגדרה מדויקת, ולהגדרה מפורשת של ההנחות או הבונוס שניתן להעניק. לסיום – חשוב מאוד לתת דוגמה אישית. משרדי ממשלה חייבים ליישם את מערכות הבקרה בבניינים שלהם ולפרסם ולהראות לציבור – שיראה את השימויות של האמצעים הללו, וילמד.

ד"ר גדי קפלוטו : הייתי רוצה רק להאיר את הנקודה הבאה: כאשר אומרים נורות פלואורוניות באופן גורף – למעשה לא אמרנו כלום. אין שתי נורות שהן זהות. בהרצאות ששמענו הוזכרו נתונים כמותיים וחשוב לי להדגיש שלא ניתן להסיק מנתון אחד מסקנה גורפת לגבי כל משפחת הנורות. הוזכרו מעט נושאים איכותיים – וחשוב להבין שכפי שיש תקינה המחייבת מינימום אור לכל יחידת אנרגיה מושקעת, צריכה להיות תקינה גם על איכות צבע האור. אני בטוח שתקינה בתחום זה תשפר משמעותית את הפופולריות של הנורות.

ד"ר אינה ניסנבאום: בתחום התאורה הבעיה היא לא שאין תקנים – אלא שאין אכיפה! בשטח לא אוכפים אפילו תקן בטיחות וודאי שלא תקן וולונטרי.

ד"ר גדי קפלוטו: אני חוזר לנושא החינוך – צריך להתחיל כבר בשלב תכנון הבניין ולהתייחס לתאורה. בנושא הזה יש לנו בעיה של חוסר ידע אצל אנשי המקצוע, ונדרשת הדרכה. בתחום הזה הממשלה יכולה לעזור ולעודד, כדי שאנשי המקצוע ילמדו לתכנן יותר טוב. חשוב גם לתת כמה שיותר אינפורמציה לציבור – חשבון חשמל צריך לכלול בתוכו השוואה, למשל עם השכנים. זה עוזר מאוד לצרכן להבין איפה הוא עומד ואם והיכן הוא יכול עוד לחסוך.

דוד תורג'מן: אני רוצה לדבר על נושא תאורת החוץ. בתאורת החוץ משתמשים היום בעיקר בנורות נל"ג (נתרן לחץ גבוה); נורות אלה הינן בעלות יעילות גבוהה (120-150 Lumens/watt). שימוש במקורות אור כגון נורות מטל הלייד או נורות LED משפר באופן משמעותי את ה-CRI אך אינו משפר את הנצילות האורית; למרות זאת השיפור ב-CRI יכול לשמש גורם מדרבן להורדת עוצמות ההארה (כושר ההבחנה בצבעים הינו טוב יותר בנורות מטל הלייד ובנורות LED לעומת נורות נל"ג).

עד היום היה תקף תקן 1862, ובשנים האחרונות יצא לאור ת"י 13201 - בעל רזולוציה גבוהה בהגדרות התכנון – אשר באירופה עברו אליו זה מכבר. התקן אמנם אושר אבל יישומו עדיין בעייתי מאוד. נכון להיום משרד התחבורה לא אימץ אותו, והוא מהווה תקן ממליץ ולא מחייב. אני חושב שיש לפנות למשרד התחבורה – ולדרוש להורות למתכננים לעבוד על פי התקן החדש, ולא לפי התקן הישן. ההבדלים בין התקנים משמעותיים מאוד. ראשית יש בתקן החדש הנחיה לירידה בעוצמת ההארה. בשטח המתכנן אומר שאם הוא יבצע תכנון גבולי או מתחת לנדרש - יהיו כלפיו טענות, ואילו בתכנון

יתר (over design) שום גורם לא יבוא בטענות; לכן לרוב מתכננים תאורת יתר, לפעמים פי 4 או 5 מהנדרש. השאלה היא איך אנו יכולים לגרום לרשויות המקומיות לשנות את מנהגן בו דורשים מהמתכננים לתכנן לרמות תאורה גבוהות מהנדרש בתקן? מהניסיון שלי, ברשויות לפעמים בוחרים להאיר רחובות ראשיים בתאורת יתר מתוך רצון לתת תחושה של יוקרה.

בנושא תאורת חוץ יש אמצעים לחיסכון אך אין מודעות. למשל בתאורת רחוב - ברגע שיורדת החשיכה התאורה נדלקת ונכבית בבוקר. שימוש בשעונים אסטרונומיים השולטים על הדלקה וכיבוי בדיוק רב יכולים לחסוך כ- 5% מהצריכה השנתית. משנקים אלקטרוניים מאפשרים גם הם חיסכון לא קטן. ניתן להתקין מערכות בקרה בטכנולוגיות Telemangement Systems המאפשרים שליטה על כל גוף תאורה בשטח. כמו כן חשוב לבדוק נקודתית - האם ניתן להוריד את רמת האור אחרי 12 בלילה?

השימוש בתאורת LED אמנם קיבל תדמית של ירוק, אולם הנצילות האורית שלו מגיעה רק לכדי 80-90 Lumens/watt, כלומר נמוכה יותר מנורות הנ"ל בהן משתמשים כיום בתאורת הרחובות. גוף תאורה עם נורות נ"ל כולל גם רפלקטור העשוי בד"כ מאלומיניום מלוטש. הנצילות הכוללת של גוף התאורה הינה כ- 60%-70% (משמעות נצילות זו הינה התפוקה הכללית שגוף התאורה מספק בהתייחס לפחת הנובע מהבליעה של הרפלקטור, ומהירידה כתוצאה מלכלוך מצטבר בתוך חלל הרפלקטור). כלומר, גם אם משתמשים בנורות נ"ל בעלות יעילות של 130 Lumens/watt הרי שהנצילות של גוף התאורה הינה בפועל $130 \times 70\% = 91$ Lumens/watt. בנוסף יש לקחת בחשבון את גורם ה-CRI הנמוך בנורות נ"ל, כ- 25. נורות LED כיום נותנות יעילות של 80-90 Lumens/watt. נצילות של גוף תאורה כזה שאינו כולל רפלקטור הבולע חלק מהאור היא כמעט 100%. כלומר, אנו מגיעים לנצילות גוף התאורה כמו של הנ"ל. כל זאת - כי מדובר במקור אור LED המאיר באופן ישיר כמעט ללא איבודים. בנוסף יש לקחת בחשבון שגורם ה-CRI הינו גבוה יותר: בנורות LED עם אור לבן מגיעים ל-CRI של כ-70%. וכאן נשאלת השאלה החשובה: האם ניתן יהיה להוריד את רמת ההארה בכבישים כאשר משתמשים במקור אור שמאפשר אבחנה טובה יותר (CRI גבוה יותר)? כי אם אין אפשרות לרדת ברמת ההארה הרי שלא נוכל לחסוך בצריכת החשמל ע"י המעבר מנורות נ"ל לנורות LED.

כמובן שבמקומות שבהם יש שימוש בנורות מטל הלייד או בנורות כספית השימוש בנורות LED יאפשר חיסכון באנרגיה גם אם נשאר באותן רמות הארה.

ד"ר מרים לבאון: ברצוני לדבר על חברות החשמל המספקות חשמל וההיטלים עליהן. במוסד נאמן התקיים פורום אנרגיה בנושא ניהול ביקושים ופורום נוסף בנושא התייעלות אנרגטית ברשויות המקומיות. אנו רואים בקליפורניה כי נושא ההפרדה בין רווחי חברת החשמל לכמות החשמל שהיא מספקת הוא המפתח לקידום הנושאים הנ"ל. אם חברת החשמל מרוויחה על פי כמות הקוויט"שים שהיא מספקת, היא לא יכולה בכנות לקדם נושאי התייעלות. אם תתוגמל חברת החשמל לפי מספר הלקוחות ולא לפי הקוויט"ש, ניתן יהיה לקדם התייעלות אנרגטית. זה מה שקורה בקליפורניה, וחברות החשמל מגישות כל הזמן תכניות חינוך, הסטת ביקושים, הפצה של נורות ללא תשלום למעוטי יכולת, סקרי אנרגיה ע"ח החברה וכו'. מדרגות בתשלום החשמל זה מהלך שנעשה כבר ב-2002-2003 – ולא דווקא באמצעות "ענישה" על עליה בצריכה אלא להיפך. אם צרכת החודש פחות מאשר בחודש המקביל אשתקד, והפחתת את צריכת האנרגיה שלך ב-10% - תקבל החזר. ככל שהפחתת יותר – ההחזר יהיה גדול יותר. הניסיון הראה כי כאשר התכנית הופסקה הצריכה חזרה ועלתה.

ד"ר אינה ניסנבאום: התאגדות מהנדסי המאור פנתה למנכ"ל משרד התשתיות והתריעה על עצמת התאורה המוגזמת ברחובות. אני חושבת שניתן למצוא ברחבי הארץ פרויקטי פיילוט המוכיחים חיסכון. ערכנו מחקר לפני 3 שנים – הראינו כי בכיתות לימוד ניתן לחסוך משמעותית, ולהגיע להחזר השקעה של שנה וחצי. לצערי למרות ההוכחות והכדאיות עדיין לא הצלחנו לקבל תקציב והרשויות לא היו מוכנות להשקיע.

צבי אגוזי: בעולם מדברים כבר למעלה משנה על רשת חשמל חכמה. אחת הנקודות הראשונות והחשובות ברשת כזו היא מונה חכם. מונה כזה מאפשר לתגמל מי שחוסך בתאורה. הזמן הנכון לביצוע ויישום הוא עכשיו כי עד שהדברים יוזזו המונים כבר יהיו מותקנים. בנושא אכיפה – יש לדבר בשני מישורים:

1. בתחום היבוא קיימת אפשרות אכיפה פשוטה יחסית. ניתן לבדוק ולהכניס לארץ רק מה שמתאים לתקן הרשמי שיוכנס לתוך צו יבוא חפשי וכל מה שאינו עומד בתקן ניתן לעצור בקלות לפני הכנסה ארצה. אחרי שניתנו האישורים להכניס את המוצרים ארצה – קשה לוודא שההתקנה של המוצרים בפועל היא אכן על פי ההוראות והתקן וללא שונו הרכיבים בתוך המוצרים על מנת לחסוך בעלותם.

2. בתחום הייצור בארץ המצב בעייתי יותר. נניח שמכון התקנים בדק ואישר את המוצר, אך עד שהוא מגיע להתקנה ייתכן שהוחלפו בו רכיבים - אולי החליפו משנק לדגם משנק שעולה דולר פחות. בשטח אין מי שיבדוק – כאשר התקינו את הגופים מה בדיוק התקינו. הבדיקה בשטח אפשרית בד"כ בשיתוף עם גופים גדולים. התחלנו תהליך עם מע"צ: הם קוראים לנו "לאישור זהות מנות" כשמקבלים מנה גדולה של ציוד ואנו בודקים אם בפועל יש התאמה למוצר שנבדק בבדיקת הדגם ואושר. זו בדיקה קלה ופשוטה יחסית וטמון בה רווח גדול.

מה למעשה בודק מכון התקנים? זהו מוסד שעיסוקו בדיקות והגנה על בטיחות ובריאות הציבור. מכון התקנים יהיה מוכן לבצע כל בדיקה שיש מאחוריה גם עבודה אחר כך. כיום אנו עוסקים בבדיקת הנורות בפן הבטיחותי, ולא הביצועי. מבחינת המחוקק במדינת ישראל, פחות מעניינים הביצועים של הנורה ובעיקר בטיחותה החשמלית והמכנית, ויכולת העמידות שלה נגד שריפה. חשוב להבין גם את הקושי - בנורות אשר להן אורך חיים המוגדר כ- 20,000 שעות, אנו יכולים להתחיל היום את הבדיקה, ולסיימה רק בעוד שנה או שנה וחצי. ברור שזה לא מעשי. מכון התקנים חייב למצוא דרך בדיקה יותר חכמה, וגם להעריך את ירידת עצמת האור לאורך הזמן. למכון יש מעבדה לתאורה, וברור כי היכן שיש צורך ויש כדאיות כלכלית לבדיקות, המכון ישמח לקחת חלק ולבצע את הבדיקות. במקרים שאין כדאיות כלכלית יידרש מימון חיצוני.

ד"ר פרי לב און: שוב ושוב אני מעלה את נושא החינוך. זהו נדבך עיקרי בכל התחומים של התייעלות, כולל בחיסכון בתאורה. כפי שאמר גדי קפלוטו – לא מדובר רק בתכנון המבנים. אני חושב כי יש להעלות בגדר המלצה שילוב של חינוך לחיסכון והתייעלות אנרגטית במערכת החינוך החל מהגיל הרך. זה פשוט מאוד ליישום וזה נעשה בעבר ובהווה בשטחים אחרים: כמו שעושים עם מיחזור, החל מגיל הגן, הרי ניתן לחנך גם לחיסכון באנרגיה. אין דבר יותר יעיל מאשר ילדים שגדלים לתוך התובנה. זו יכולה להיות

המלצה פשוטה ליישום – צריך רק רצון במשרד החינוך. זה יעיל מאוד ויראה תוצאות יחסית מהר משום שבשטח הילדים מחנכים את ההורים.

ג'ורג'י בירנבאום: כבר לפני 15 שנה נאבקתי קשות להחליף טכנולוגיות ישנות לחדשות, ובפרט התקנת נורות מסוג LED ברמזורים בכבישים. אינני רוצה להאשים איש, למרות שבפועל הייתה עצירה של הנושא במשרד התחבורה. המצב כיום הוא שבמשרד התחבורה מאושרים רק שלושה יצרנים. אינני מבינה מדוע. ברור שהנורות הללו טובות ויעילות, הלא אם בלונדון הוחלפו כבר 90% מהרמזורים לנורות מסוג LED, וגם במדינות אחרות בעולם, ברור שהוכחה יעילותן. למה בארץ לא? החלפת צומת מרומזר אחד יכול לחסוך 7,000 שקל בשנה. אבל – בארץ המחיר בעייתי והחלפת צומת יכולה לעלות 50,000 עד 100,000 ש"ח. זאת כי אין תחרות גדולה – כאמור יש רק שלוש חברות שהן ספקיות מאושרות על ידי משרד התחבורה. זמן החזר ההשקעה מוערך ב-7 שנים. בנוסף, לכל עירייה יש התקשרות עם החברה שזכתה במכרז בפעם שעברה. משרד התחבורה מונע מיצרנים חדשים את האפשרות להיכנס ולהרחיב את התחרות. יש בארץ עיריות שמתארגנות בימים אלו עם פרויקטי חיסכון ויישום של תהליכי עירייה ירוקה אשר נכנסות לנושא הזה, אבל כשפונים לקבלת תמריצים - נתקלים בסירוב. בכל דבר צריכה להיות יד מכוונת בצורה חד משמעית, וכאשר זה לא קיים, זה מגיע מבורות ואי הבנה של הפוטנציאל והיכולות הטכנולוגיות.

ד"ר אופירה אילון: הנושא של זמן החזר השקעה הוא בעייתי. במרבית המקרים, ראש מועצה דורש לקבל פתרונות מאנשי מקצוע, אשר לא יעלו לו שקל. בעיקר המדובר ברשויות לא גדולות, אשר אין להן יתרות תקציביות, ולכן לא יעשו שום השקעות מקופת המועצה. יכול להיות שבמסגרת תכנית ההפחתה של פליטות גזי החממה (תוכנית שהוכנה בראשות מנכ"ל האוצר מר חיים שני וקיבלה תוקף של החלטת ממשלה), יוכלו הרשויות להשיג תקציב לנושא. ברור מראש, כי אם הדרך להשיג את הכסף תהיה בירוקרטית וקשה – שום דבר לא יתקדם, כי הרשויות המקומיות לא יוכלו לעמוד במילוי הטפסים על מנת לקבל 50,000 ש"ח תמיכה.

נושא אחר - ההתייחסות לנושא הבריאותי היא אטרקטיבית ומושכת תקשורת ומודעות, לא משנה אם מוצדק או לא מוצדק. בכל מקרה, כשיש רעש ציבורי אנשים נתפסים לפחד ולפופולזים. בעיני, אחת המשימות החשובות של הדו"ח הזה היא מיפוי של החשדות וההיסטריות, נכונות או לא. אם ניתן להפחית את עוצמות התאורה וכתוצאה מכך להפחית את הסיכון הבריאותי זו יכולה להיות המלצה חשובה. ניתן לצמצם אורות לא הכרחיים אפילו בהיבט של זהירות מונעת, וכמובן, לחסוך בכך חשמל, כסף וזיהום.

בהתייחס לנושא תכנית החינוך – נושא זה תוקצב במסגרת וועדת המנכ"לים להפחתת פליטות גזי החממה, ואני מקווה שבקרוב נוכל כבר לראות את התכניות החינוכיות יוצאות לדרך.

יוחנן בורשטיין: חוק מקורות אנרגיה עובר תיקון בימים אלו בכנסת ובו קיימת התייחסות לנושא של מוסדות המתקצבים על ידי המדינה, והפחתת צריכת האנרגיה שלהם. החוק מציע כי הכסף שיחסך כתוצאה מההתייעלות יישאר ברשות המוסד החוסך. המשמעות היא כי אם מוסד מקבל מיליון שקל סבסוד, והצליח להגיע להתייעלות והפחתת הוצאות של 20,000 שקל – סכום זה עדיין יישאר חלק מהתקצוב של המוסד. החוק עבר בינתיים בקריאה ראשונה, בתמיכת האוצר.

אבי וייץ: עיריית ניו יורק ערכה פיילוט בנושא רמזורים, הגיעה לתוצאות של החזר תוך מעט יותר משנתיים, והחליטה על סמך זה להחליף את כל רמזורי העיר לנורות LED. לגבי נורות CFL, מקובל בארץ לבדוק רק היבטים של בטיחות. סימון CE על גבי הנורה אמור להוות תו איכות שלה, אך חשוב להדגיש כי הוא מבוסס על הצהרה עצמית של היצרן. לגבי חינוך – חשוב לזכור כאשר רוצים להטיל את האחריות על החינוך על היצרן הקטן, כי חברת חשמל היא הצרכן הגדול ביותר של נורות לא חסכוניות (T12 - פלואורסנט ארוך). אם רוצים להתחיל בחינוך, כדאי מאוד להתחיל לחנך אותם קודם כל. נראה לי כי התקנות לגבי תאורה חסכונית שנמצאות כרגע בתהליכי קבלה - לא נבחנו לעומק. אני באופן אישי העברתי אותן לחוות דעת של שלושה נציגי הדירקטיבה האירופאית, ובתגובה, נשאלתי בחצי חיוך אם יש לנו מספיק נרות בארץ (כי נדקק להם...). חייבים לזכור כי שוק התאורה אינו מורכב בצורה לינארית ולא ניתן להטיל את אותו החיוב על כל סוגי הנורות. באירופה מבצעים כל הזמן תיקונים בתקנות ומבצעים התאמות מחדש על פי מצב השוק. התקנות המוצעות למדינת ישראל כיום מורכבות משלוש נוסחאות בלבד, וזה לא מתאים לכל סוגי הנורות. כך גם לגבי משנקים. הדרך רצופה כוונות טובות, אבל בפועל הביצוע לוקה בחסר.

צבי סגל: מדינה אינה יכולה להתערב בכל תהליך ותהליך. אני מאמין בקביעת תהליכים מחייבים, אשר מביאים בסופו של דבר לייצור עצמאי של פתרונות. המדינה לא צריכה לספק את הפתרונות אבל כן לספק בסיס של רגולציה. יש כמה כלים שמשרד האוצר יכול להפעיל באמצעות תקציב – אם יקצו את תקציב האנרגיה למשרדים, לא תישאר בידיהם ברירה אלא לחסוך. יש תקדימים בעולם למצבים שבהם הציבור מימן את השיפור. באנגליה חילקו את המדינה למספר אזורים – וחברות פרטיות טיפלו בתאורת הרחוב ושיפורה. כל זה קרה אחרי אסון נפילה של עמוד חשמל, ותובנה שאין מנוס אלא לשדרג את המערכות. אחד התחומים שנמנעים מלטפל בו זה קנס על חברת חשמל. במדינה מבודדת כמו שלנו – חייבים לבנות תשתית מספקת ולהימנע מהקריסה. חייבים לספק אנרגיה גם בשעות השיא אבל ניתן לקנוס את חברת החשמל על ייצור מעל הממוצע. זה יעודד את החברה לבנות תכנית התייעלות בדיוק כמו בקליפורניה. המודל העסקי כבר קיים – ESCO – יש גופים פרטיים שישמחו לעשות את העבודה בשוק הפרטי.

פרופ' גרשון גרוסמן: האם ניתן לתקצב למשרד מסויים תקציב ייעודי לאנרגיה?

תשובת יוחנן בורשטיין ושלמה ולד: התקציב מועבר למשרדים בצורה מפורטת, ולא ניתן להעביר תקציבים מסעיף לסעיף.

מיכל נחמני: לנושא פסולת הנורות – הבעייתיות בתחום זה אינה נובעת מהחומר הנמצא בשימוש, אלא מאופן פיזורו. אם מרוויים את הארץ בנורות CFL, מה שמתקבל הוא פיזור של הרבה מוקדי כספית קטנים. סך הכספית שנפלט מייצור חשמל מפחם, למשל, גבוה הרבה יותר, אבל הוא מתפזר אחרת. כאשר אנו משליכים נורות לאשפה, הכספית אינה נפלטת במקום אחד. הנורות מוצאות את דרכן למטמנות, למי התהום ולקרקע.

אנו נמצאים בנקודת פריצה מבחינת ההתייחסות לסוגיה לנוכח חוק האריזות שמטופל עכשיו. העיקרון המנחה את החוק הוא אחריות יצרן, כלומר מי שמכניס את המזהם למערכת הוא זה שמחויב לקחת עליו אחריות. המנגנון המיושם בפועל אינו משנה - על ידי תשלום לגוף שלישי או טיפול ישירות בפסולת. ניתן למנף את הרעיון וגם את התכנית להפרדת זרמי הפסולת הצפויה בעקבות יישום החוק, ולהשתמש במומנטום הקיים להסדרת נושא הפסולת האלקטרונית והנורות. כדאי לנצל את החוק ואת הקריאות הבאות שלו. דוגמאות ליישום הנושא בחו"ל הן חובה שיש על מוכר נורות לקבל חזרה נורה בסוף ימיה ולהעבירה לטיפול מסודר.

דוד תורג'מן: זיהום אור – זהו נושא שמתחילים רק עכשיו להבין אותו. תמונות לוויין של אירופה כפי שנראתה לפני 10 שנים לעומת צילומים עדכניים היום מדהימות. יש היום נטייה להאיר בניינים מבחוץ. זה מושך תיירים ולקוחות אבל חייבים להפעיל תקנות וחוקים מסוימים גם במקרים אלו על מנת לאפשר חיסכון באנרגיה ולהגביל את זיהום האור.

מיכל נחמני: המחקר בתחום זה הוא רק בתחילתו. לא נעשו עדיין הבחנות בין סוגי מקורות האור, וברור כי נדרש עוד המשך מחקר ואין בשלות לתקינה והנחיות. לגבי השפעות זיהום אור – כבר הוכח קשר בין עוצמת התאורה (אם כי לא לגבי מקור האור) לבין תחלואה בסרטן השד וסרטן הערמונית. יש מחקרים המוכיחים את זה אבל גם נושא זה עדיין בחיתולים.

ד"ר אינה ניסנבאום: הנושא של זיהום אור לרוב מתקבל בזלזול, וכדאי אולי לצרף לצוות מישהו שזה תחום ההתמחות שלו, וייתן חוות דעת מקצועית. אני ניסיתי להראות את הצד הבעייתי, ולהבין מה מבוסס ומה לא.

פרופ' גרשון גרוסמן: גם בפורום על רכבים חשמליים והיברידיים דיברנו על צמצום זיהום, שאינו נובע באופן ישיר מהנושא, אבל חשוב כשלעצמו. בדיון אז עלה נושא השדה האלקטרומגנטי, שעלול גם הוא להזיק לבריאות.

ד"ר אופירה אילון: נושא התחלואה מבוסס כבר היום בעבודות, ומוכח מדעית¹⁶.

מיכל נחמני: כאשר מאירים בתאורה פלואורנית – המחיר זול יותר, ולכן קיימת תופעה של הארת יתר בתאורה כזו.

ד"ר גדי קפלוטו: זיהום אור הוא נושא חשוב בפני עצמו, מעבר להשלכות הבריאותיות. תכנון יתר של הארה לשמים זו תאורה מבוזבזת. כאשר מתכננים תאורת חוץ חייבים לדעת לתכנן, כך שלא תתבזבז אנרגיה על הארת השמים. באותו אופן, יש גם תכנון תאורה נכון למנוע חשיפת יתר של אנשים.

¹⁶ Itai Kloog, Boris A. Portnov, Hedy S. Rennert and Abraham Haim: Does the Modern Urbanized Sleeping Habitat Pose a Breast Cancer Risk? Chronobiology International, 28(1): 76–80, (2011)

צבי סגל: אני מחוייב להסביר איך ייתכן שאנו מספקים יותר אור בפחות אנרגיה. במנורות פריקה – יש ירידה של רמת האור עם הזמן. כאשר מתקינים משנק אלקטרוני במקום משנק מגנטי מקבלים שיפור מידי בנצילות והקטנת הספק המנורה. סה"כ מזה ניתן להגיע ל- 30-45% חיסכון מצטבר. חיסכון של 70% מושג על ידי נושא מהותי שלא הזכרתי קודם – שליטה בכל נקודת תאורה בנפרד על ידי מערכת בקרה. יש להפעיל אלגוריתם לשליטה בעוצמת התאורה. דוגמאות לכך אנו מכירים למשל מחנויות לממכר מוצרים אלקטרוניים. במקומות שבהם מוכרים צגים שטוחים מורידים את עוצמת האור וכך רואים יותר טוב בצגים השטוחים וזה מעודד מכירות. במשך השבוע, כשאין תנועת קונים ערה, יש תאורה מסויימת, נמוכה יחסית ורק בסופי שבוע משנים את עוצמת האור לקבלת תאורה מחוזקת. כאשר מנקים את החנות לאחר שעות הפתיחה מורידים את העוצמה שוב. זו תאורה אדפטיבית.

דוד תורג'מן: אני חושב שחסרות הנחיות ברורות לגבי עוצמת אור נדרשת, למשל בגנים ציבוריים ומגרשי משחקים. יש צורך להקים ועדה של משרד השיכון אשר תוציא הנחיות ברורות וחד משמעיות. בהתאגדות מהנדסי המאור יכולים לתת קווים מנחים לתאורה נדרשת לשימושים מסויימים. לאחר שיקבעו כללי האצבע, יש להפיץ אותם למתכננים.

מיכל נחמני: השאלה הנשאלת היא, כאשר מחייבים התקנת בקר – כיצד מוודאים שאחר כך הוא ימשיך לעבוד?

דוד תורג'מן: בנושא התחזוקה לא דובר כלל עד כה – תחזוקה נכונה יכולה להביא לחיסכון משמעותי. למשל, עמדת עבודה שבה רמת התאורה הנדרשת הוגדרה כ- 700 לוקס, ובמידה ואין תאורה מספקת נפגע תהליך הבקרה המתבצע בעמדה, לאורך זמן רמת התאורה יכולה לרדת ל- 300 לוקס, משום שלא הייתה תחזוקה מספקת ורמת האור לא נבדקה באופן שוטף (זה קורה בעיקר בנורות מטל הלייד שבהם הירידה של עוצמת ההארה גדולה כתלות בזמן). בפועל, זה יכול להביא להוצאה של מוצרים לקויים מקו הייצור. יש לנהל תחזוקה שוטפת כדי לקבל את התפוקה המתאימה לתכנון. ברוב המקומות זה לא מתקיים. במקומות בהם יש שימוש למשל בנורות פלואורסנט המשתמש אינו מרגיש בדעיכה האיטית של הנורות, מאחר שהיא אינה מתרחשת בבת אחת. לאחר מספר שנים הדעיכה הינה משמעותית והמשתמש אינו מודע לירידה הזו. כלומר יש פה עניין של מודעות - אם ידעו שתחזוקה נכונה חוסכת אנרגיה אז גם יבצעו אותה. אנו יודעים שהחזרים מהקירות, למשל, הם גורם משמעותי משום שאם הקירות מתלכלכים, תחושת העין היא שרמת התאורה נמוכה. מה שקורה בשטח מתוך חוסר המודעות הוא שמוסיפים גופי תאורה במקום לנקות את הקירות. זה עניין של חינוך, וזה משהו שעשוי להיות חלק מתחזוקה שוטפת. בנושא של תאורת חירום זה קיים, משום שנדרש לבדוק אותה במסגרת אישור תקינות של המבנה.

ד"ר פרי לבאון: בבתים או משרדים פרטיים אי אפשר לאלץ בקרה מבחוץ.

אבי וייץ: לנושא התחזוקה השוטפת, אפשר להביא כדוגמה פרויקט פיילוט בבית ספר באשדוד, אשר בו התקינו חיישנים אשר עבדו היטב במשך כל שנת הלימודים, וכאשר יצאו לחופש הגדול משהו נגע או טיפל בחיישנים ומאז המערכת אינה מבוקרת. עכשיו עוסקים כבר שלושה חודשים בתיקון של המערכת.

בתעשייה האווירית פרויקט של חיישנים בחדרים נפל בגלל התעקשות של מספר אנשים בודדים שלא הסכימו שבהעדרם מהחדר יכבו המיזוג.

יוחנן בורשטיין: אני חושב שניתן לקבוע את צריכת האנרגיה הממוצעת בשנה האחרונה עפ"י אמות מידה או סקר שוק, וכך לקבוע את המקסימום המותר לצרכן. אם הוא צורך מעל המקסימום - ייקנס. הצרכן יכול לקבל הנחיות לחיסכון על ידי שיפור תאורה או נקודות מיתוג. זה בוודאי לא פשוט, וגם לא טריוויאלי לקבוע את הצריכה הממוצעת, אבל אם כמדינה ניקח 1,000-2,000 ארגונים גדולים, אשר צורכים 80-90% מכלל האנרגיה נוכל יחסית מהר למצוא את הייחוס. מדובר כמובן על טווחים, לא מספר חד משמעי. ארגון יכול לקבל תימרוץ לביצוע הנחיות שניתנו על ידי אנשי מקצוע.

דוד רוזיק (הערות שנמסרו לאחר המפגש):

שחזרתי לעצמי על מה דיברתי בדיון ונראה ששכחתי לציין שמשרד התשתיות הלאומיות בפעילותו לקניית משאב יזם מבצעי מענקים לפרויקטים חוסכי חשמל. במסגרת המבצעים האלה זכו לתמריצים מספר לא קטן של פרויקטים להתייעלות במערכות התאורה. הטכנולוגיות שזכו בתמריץ ממשרד התשתיות היו: החלפת נורות ליעילות יותר, בקרי מתח, עמעמים לניצול אור יום, משנקים אלקטרוניים ועוד. נושאים אלו מתוכננים לעידוד גם בשנת התקציב הבאה אם וכאשר יאושר הנושא והתקציב בהתאם על ידי הנהלת המשרד.

פרק 5: סיכום והמלצות

מערכות תאורה מהוות צרכן חשמל משמעותי ביותר במשק האנרגיה בישראל, וצורכות כ- 10% מכלל החשמל במשק. לגבי צרכנים מסוימים, כגון בנייני משרדים, השפעת התאורה על צריכת החשמל עשויה להגיע עד כדי 40% אם נתחשב גם בהשפעתה על הגדלת עומס מיזוג אוויר.

משתתפי הפורום תמימי דעים כי יש מקום רב לחיסכון והתייעלות בתחום התאורה, וקיימים לשם כך אמצעים פשוטים הניתנים ליישום מיד. העדר בקרה פשוטה כגון כיבוי אוטומטי של האור כשאין צורך בו גורם לבזבז רב. למרות התקדמות טכנולוגית רבה באמצעי תאורה עדיין רב השימוש באמצעים מסורתיים ולא יעילים כגון נורות ליבון ומשנקים מגנטיים לנורות פלואורניות. יש המעריכים את החיסכון הכספי שניתן להשיג בישראל על ידי מדיניות תאורה נכונה בכ-מיליארד שקלים בעשר השנים הקרובות.

המלצות:

מידע: יש להעלות את המודעות הציבורית ולגשר על חוסר במידע זמין בכל הנוגע לתאורה – למשל חשבונות חשמל שאינם מפורטים יוצרים רושם כאילו תאורה היא חלק זניח בחשבון. כך גם מידע אודות העלות המלאה של הנורה (במהלך חייה) לרוב אינו זמין בנקודת המכירה. קביעת חובת סימון אנרגטי על נורות, בצורה בהירה וניתנת להשוואה, תהווה צעד חשוב בכיוון.

חינוך: מומלץ ללמוד מן הנעשה במדינות אחרות, בהן חלק מחשבון החשמל מיועד באופן רשמי לחינוך וחברות החשמל מזמינות את הצרכנים לקורסים מקצועיים וימי מידע על התייעלות אנרגטית ללא תשלום. למדנו כי כחלק מפעילות חינוכית זו הצרכן זכאי לקבל נורות חסכוניות חינם, אם יתחייב להחלפה. יש לשלב חינוך לחיסכון והתייעלות אנרגטית במערכת החינוך החל מהגיל הרך, כפי שנעשה בעבר ובהווה בשטחים אחרים כגון מיחזור. זה יעיל מאוד ויראה תוצאות יחסית מהר משום שבשטח הילדים מחנכים את ההורים.

תקינה: יש לקבוע תקינה מחייבת שתכלול איסור ייבוא, מכירה או ייצור של נורות שאינן חסכוניות, בדומה למנגנונים הקיימים במדינות האיחוד האירופי וארה"ב שתוארו לעיל, או לחילופין מיסוי – יצירת פער מחירים לטובת הנורות החסכוניות. במקביל, יש מקום לקבוע בתקנות דרישות מגבילות נוספות לנורות – בין היתר אורך חיים מינימלי, סטנדרטים לגבי דעיכה לאורך זמן, תכולת כספית מירבית וכדומה.

החדרת טכנולוגיות מתקדמות: מומלץ לעודד החלפת מערכות תאורה הנשענות על טכנולוגיות ישנות בחדשות ומתקדמות (וכמובן חסכוניות) יותר, כגון משנקים אלקטרוניים, נורות ואמצעי בקרה. אחד הכלים לכך הוא מימון לחברות ESCO וצד שלישי לעידוד פרויקטים ויוזמות.

עידוד תכנון נכון: יש לעודד, באמצעות חינוך, תמריצים ופרסים, תכנון אדריכלי נכון הכולל פתרונות המתייחסים להשפעה הכוללת של מעטפת הבניין על תפקודו התרמי, שילוב תאורה טבעית וחשמלית, ופתרונות המתייחסים גם להיבטים איכותיים של תאורה – קשר עם החוץ, מניעת סנוור, צבע אור וכדומה.

עידוד אמצעי חיסכון: ניתן לעודד באמצעות תמריצים ובונוסים בקרת תאורה חשמלית על ידי חיישני נוכחות, תאורה ייעודית ממוקדת לפעילות הנשלטת על ידי המשתמש, הגברת השימוש בתאורה טבעית במקום מלאכותית.

תחזוקה: למדנו כי תחזוקה נכונה יכולה להביא לחיסכון משמעותי, למשל במניעת הדעיכה של רמת התאורה הנדרשת. יש לנהל תחזוקה שוטפת כדי לקבל את התפוקה הראשונית שתוכננה. בנושא של תאורת חירום זה קיים, משום שנדרש לבדוק אותה במסגרת אישור תקינות של המבנה.

מיחזור: השימוש בנורות חסכוניות (ביניהן פלואורניות) מעלה צורך ביצירת מערך מיחזור מסודר, בגלל תכולת הכספית שבנורות החסכוניות. יש לוודא דיאלוג בין המשרדים הרלוונטיים (תשתיות והגנת הסביבה) על מנת לוודא שלא נוצרת בעיה שאינה מטופלת. חוק האריזות שעבר לאחרונה פועל בהתאם לעקרון אחריות היצרן - מי שמכניס את המזהם למערכת הוא זה שמחויב לטפל בו. דוגמא ליישום הנושא באירופה הוא הטלת חובה על מוכר נורות לקבל חזרה נורה בסוף ימיה ולהעבירה לטיפול מסודר, הממומן על ידי יצרני הנורות.

נספח 1 – תכנית פורום אנרגיה: חיסכון באנרגיה במערכות תאורה

	פתיחה	: 13:10-13:00
		: 13:20-13:10
	ד"ר גדי קפלוטו, הטכניון, הפקולטה לארכיטקטורה	
	התקינה הבינלאומית בנושא החיסכון באנרגיה בתאורה בהשוואה לזו בישראל - מה ניתן לאמץ ממנה בישראל	
	גב' מיכל נחמני, מוסד שמואל נאמן	: 13:30-13:20
	מדיניות תאורה יעילה בעולם, ומצב התקינה העדכני בישראל	
	פרופ' רחל בקר, הטכניון, הפקולטה להנדסה אזרחית	: 13:40-13:30
	חיסכון באנרגיה על ידי בקרת תאורה חשמלית תלוית תאורה טבעית	
	מר יפתח הררי, הררי יפתח ארכיטקטים	: 13:50-13:40
	הטמעת התאורה הטבעית בתקינה	
	פרופ' עדנה שביב, הטכניון, הפקולטה לארכיטקטורה	: 14:00-13:50
	מהו תכנון לקוי של בניינים הצורכים אנרגיה מרובה לתאורה ומהם הפתרונות האדריכליים המאפשרים חיסכון באנרגיה	
	מר צבי סגל, Metrolight Ltd	: 14:10-14:00
	חסמים ואתגרים ביישום מערכות התייעלות אנרגטית בתאורה בישראל	
	Drs. Miriam and Perry Levon, the Levon Group LLC	: 14:20-14:10
	Spotlight on Energy Efficient Lighting for Buildings and General Illumination Applications in the EU and the US	
	ד"ר אינג' אינה ניסנבאום, מתכנתת תאורה, יו"ר הועדה הישראלית להנדסת המאור של התאגדות מהנדסי חשמל ואלקטרוניקה בישראל 2002 (ע"ר)	14:20-14:30
	התייעלות לעומת בריאות	
	הפסקה	: 14:50-14:20
	דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות הבאות:	: 17:00-14:50
	מדיניות	
	מה יכולה וצריכה לעשות ממשלת ישראל כדי לעודד חיסכון באנרגיה לתאורה? מה חלקה של אנרגיה לתאורה בסל האנרגיה הלאומי וכמה מזה ניתן לחסוך? מה צריכים המשרדים הממשלתיים לעשות על מנת להוות דוגמה לציבור בהתייעלות אנרגטית?	
	תכנון	
	מהו תכנון לקוי של בניינים הצורכים אנרגיה מרובה לתאורה ומהם הפתרונות האדריכליים שמאפשרים חיסכון באנרגיה לתאורה? איך ניתן לנצל את התאורה הטבעית הרבה הקיימת בישראל לחיסכון באנרגיה לתאורה תוך שמירה על נוחות המשתמשים? איך ניתן לשפר את החיסכון באנרגיה לתאורה על ידי שימוש במערכות תאורה חשמלית יעילות?	
	תקינה	
	האם התקינה בישראל לחיסכון באנרגיה בתאורה מספקת וכיצד ניתן לשפרה? התקינה הבינלאומית בנושא החיסכון באנרגיה בתאורה בהשוואה לזו בישראל - מה ניתן לאמץ ממנה בישראל?	
	סיום	: 17:00

נורה (lamp) - מקור האור. הנורה מוברגת/מוכנסת לתוך המנורה.

מנורה (Luminaire) - גוף תאורה, התקן שלתוכו מוכנס מקור אור.

נטל/משנק (ballast) – רכיב אלקטרוני או אלקטרומגנטי במעגלים חשמליים המשמשים בעיקר לתפעול נורות חשמליות מקבוצת נורות הפריקה. המשנק משמש כרכיב המייצב במעגל החשמלי בהפעלת נורת פריקה על ידי ויסות והגבלת הזרם במעגל הנורה. בנוסף לתפקידו העיקרי, משמש המשנק לעתים קרובות גם כעוזר הצתה יחד עם המצת.

שטף אור (luminous flux) - כמות האור הנפלטת ממקור אור נתון במשך שנייה אחת. היחידה המשמשת למדידת שטף האור היא לומן (lm – lumen). שטף אור ליחידת שטח מבוטא ביחידות של לוקס ($lux=lumen/m^2$).

יעילות אורית (efficacy/luminous efficacy of a light source) - יעילות אורית היא יחס שטף-אור, הנמדד בלומן, להספק, הנמדד בואט. כך למשל, יעילות של 20 לומן/ואט פירושה שטף אור של 1200 לומן ל-60 ואט. לדוגמא, יעילותה האורית של נורת ליבון הוא כ-13.5 לומן/ואט, בעוד שיעילותה האורית של נורת CFL הינה כ-60 לומן/ואט.

מקדם מסירת צבע (CRI – Color Rendering Index) – מדד לשינוי הצבע של אובייקט המואר על ידי מקור האור הנבדק, ביחס לצבע האובייקט כשהוא מואר על ידי אור שמש, הכולל את מלוא הספקטרום.

טמפרטורת צבע יחסית (CCT - Correlated Color Temperature) – מדד לאומדן איכות מקור אור, באמצעות השוואתו לקרינה הנפלטת מגוף שחור. הטמפרטורה נמדדת במעלות קלוין (K). טמפרטורת צבע גבוהה (מעל 4000K) נראית בגוון "קר" לבן/כחלחל. טמפרטורת צבע נמוכה (מתחת 3000K) מייצרת אור "חם", בדומה לנורות ליבון המפיקות אור ב"טמפרטורה" 2800K.

¹⁷ מקור למושגים:

International Energy Agency, (2006). "Light's Labours Lost – Policies for Energy Efficient Lighting". Available online at <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/light2006.pdf>

תרגום והתאמה – מיכל נחמני.

נספח 3 - ריכוז מאפיינים של מקורות אור^{19,18}

סוג הנורה	הספק (ואט)	שטף אור (לומן)	יעילות אורית (לומן/ואט)	מקדם מסירת צבע CRI	טמפרטורת צבע (מעלות קלוין)	משך חיים (שעות)	יישומים עיקריים
ליבון	15-200	90-3100	6-15	95-100	2800	1000	ביתי
הלוגן	5-2000	60-48400	10-24	95-100	3000-3500	4000	ביתי ומסחרי
פלוואורנית T12	20-140	1000-8350	60-79	50-70	2900-6200	1400	תעשייתי ומסחרי (נורות מהדור הישן)
פלוואורנית T8	18-70	1100-6200	57-90	75-90	2700-6500	16000	פנים-תעשייתי, מסחרי, סטנדרטי במשרדים
פלוואורנית T5	14-80	1200-7000	75-104	85-90	2700-6500	20000	פנים תעשייתי ומסחרי
CFL עם נטל אינטגרלי	3-42	100-2800	34-68	75-90	2700-6500	12000	ביתי, תחליף יעיל לנורות ליבון
CFL עם נטל חיצוני	5-57	250-4800	50-87	80-85	2700-4000	12000	מסחרי
כספית	50-1000	1800-58500	31-61	15-60	3200-6300	12000	תאורת רחובות (דור ישן)
נתרן לחץ נמוך	18-180	1800-32000	100-180	-	-	18000	תאורת רחובות (בעיקר בבריטניה ובבלגיה)
נתרן לחץ גבוה	50-1000	2300-130000	100-150	25-83	2000-2700	22000	תאורת רחובות
כספית הלידית-קוורץ	70-6000	5700-600000	72-110	65-90	3000-7500	18000	תעשייתי ומסחרי, הצפה, הדגשה
כספית הלידית-קרמי	35-250	3300-2700	83-110	76-96	2800-4200	12000	מסחרי, רחובות, הצפה, הדגשה
LED לבן	0.1-4.5	2-140	50-120	-	3200-7000	50000	תעשייתי ומסחרי, תאורת בטחון
OLED לבן	1-80	2-1200	2-15	-	3200-7000	3000	תצוגה, תאורה דקורטיבית

¹⁸ הנספח באדיבות מיכל נחמני

¹⁹ מקור: חח"י, 2009, בתוספת נתונים על ידי אינג' יוחנן דיסני.

נורות ליבון

נורות הליבון הסטנדרטיות (General lighting service – GLS) מלוות את האנושות מן המאה ה-19, ולא עברו שיפורים טכנולוגיים מהותיים מאז אמצע המאה הקודמת (IEA, 2006a). הן מורכבות מגוף זכוכית מלא בגז ארגון בלחץ נמוך, ובהן סליל להט עשוי טונגסטן הפולט אור כשהוא מתחמם. יעילותן האורית של נורות הליבון נמוכה מאד (12-14 לומן/ואט), כיוון שהנורות מנצלות למאור כחמישה אחוזים בלבד מן האנרגיה המושקעת בהפעלתן, בעוד שכ-95% מן האנרגיה אובדת בצורת חום. ה-CRI של נורות ליבון הוא קרוב ל-100%, וה-CCT שלהן נע בין 2700-3000K^e – כלומר, ספקטרום האור שהן מפיצות הוא מלא וחם. (IEA 2006; חח"י 2009). אורך החיים הממוצע של נורת ליבון הוא כ-1000 שעות, ללא תלות במספר הפעמים בהם היא מודלקת או כבה. נורות ליבון הן הנורות הנמכרות ביותר בעולם, בין היתר עקב מחירן הנמוך, צבען החמים והעובדה כי הן כה מופרות, ועל אף יעילותן הנמוכה ועלות השירות המצטברת הגבוהה שהן יוצרות (IEA 2006). בשנת 2003 נמכרו בעולם כ-13.2 מיליארד נורות ליבון. ארצות הברית וסין הן השווקים הגדולים ביותר לנורות ליבון בעולם, ובכל אחת הן נמכרו למעלה מ-2.5 מיליארד נורות ליבון בשנת 2003. ברוסיה ובחבר העמים נמכרו 3.2 מיליארד נורות, ובאירופה נמכרו 1.8 מיליארד (Lefevre et al., 2006).



נורות הלוגן

נורות הלוגן נכנסו לשימוש מסחרי בשנות השישים של המאה העשרים; עיקר החידוש שהן נשאו עמן היה החלפת גז הארגון שבנורת הליבון הסטנדרטית בגז הלוגן דחוס, אשר אפשר עליית הטמפרטורה של הסליל והביא ליעילות גבוהה יותר ולאור לבן יותר (IEA 2006). משך החיים הממוצע של נורות הלוגן הוא בין 2000-4000 שעות, ויעילותן האורית נעה בין 18-33 לומן/ואט, פי 1.5-2.5 מנורות ליבון. כמו כן, הן ניתנות לעמעום, אף שיעילותן צונחת ככל שהן מעומעמות יותר (IEA 2006). חלק מנורות ההלוגן הן כיווניות ("ספוטים"), המפיצות אור באלומה ממוקדת. אפקט זה מושג על ידי משטח מחזיר אור בחלקה האחורי של הנורה.



נורות פריקה בגז בלחץ נמוך

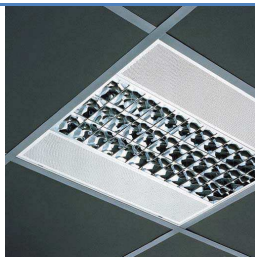
נורות אלה ידועות גם כנורות פלואורניות, והן מורכבות משפופרת זכוכית מוארכת עם אלקטרודות בקצוותיה, המלאה באדי כספית בלחץ נמוך ומצופה מבפנים בזרחן. האור מופק באמצעות העברה של קשת חשמלית בין האלקטרודות. הקשת מעוררת את אדי הכספית שבנורה ויוצרת קרינה אולטרה סגולה. הקרינה פוגעת בציפוי הזרחני של השפופרת ויוצרת אור נראה לעין. נורות פלואורניות זקוקות לנטל/משנק (ballast) על מנת לווסת את הזרם והמתח דרכן (חח"י 2009). דוגמא בולטת לנורות כאלה

היא נורה פלוארוסצנטית לינארית (LFL). קיימות מספר טכנולוגיות לנורות LFL – נורות T12 (בקוטר 38 מ"מ, מן הדור הישן), נורות T8, בקוטר של כ-26 מ"מ, ונורות T5, בקוטר של כ-16 מ"מ, העושות שימוש בנטל אלקטרוני בלבד, דבר המשפר משמעותית את יעילותן האנרגטית. בנוסף, לנורות מסוג T5 אורך חיים ארוך משמעותית מלנורות T8 והן שומרות על שטף אור אחיד לאורך זמן רב יותר, ותכולת הכספית שלהן נמוכה פי 5 בערך מנורות T8 (3 מ"ג בנורת T5 לעומת 8-15 מ"ג בנורת T8, ו-11-30 מ"ג בנורת T12) (חח"י 2009). אורך החיים הממוצע של נורות LFL הוא 7,500-30,000 שעות, ויעילותן האורית מגעת עד 60-104 לומן/ואט.



בטבלה מספר 3 להלן מוצגת השוואה בין מאפייני נורות LFL מסוג T5 לבין נורות מסוג T8.

טבלה 3: השוואת מאפיינים של התקני LFL מסוג T8 ו-T5



התקן מקובל T5 – 2X24W (2 נורות)	התקן מקובל T8 – 4X18W (4 נורות)
תפוקת אור של גוף התאורה: 3200 לומן	תפוקת אור של גוף התאורה: 3200 לומן
הספק מבוא: 52 וואט	הספק מבוא: 92 וואט
הפסדי נטלים: 4 וואט	הפסדי נטלים: 20 וואט
תפוקת אור של 4 נורות: 4000 לומן	תפוקת אור של 4 נורות: 5400 לומן
נצילות גוף התאורה: 80%	נצילות גוף התאורה: 60%
יעילות אורית כוללת: $3200/52=62$ לומן/ואט	יעילות אורית כוללת: $3200/92=35$ לומן/ואט

(מקור: חח"י, 2009)

נורות CFL הן הגרסה הקומפקטית של הנורות הלינאריות. הן מגיעות עם נטל אינטגרלי, ומופיעות במגוון גדלים, צורות וצבעים, ולפיכך מתאימות, במרבית המקרים, לשימוש ביתי כתחליף לנורת הליבון (חח"י 2008). יעילותן האורית של נורות ה-CFL גבוהה בממוצע פי 4-5 משל נורות ליבון (Waide, 2007). נוסף, כי מעבר להתייעלות הישירה הנגזרת מהמעבר לנורות יעילות יותר, קיימת גם השפעה על צריכת החשמל הכוללת כתוצאה מהסרת אלמנט החום הנפלט מנורות ליבון, ועקב כך התייעלות אמצעי המיזוג

הנדרשים לחללים, בעיקר במגזר המסחרי, ואפקט הפוך, אם כי ככל הנראה מצומצם יותר, במדינה כמו בישראל, בחימום החלל בחורף (IEA, 2006a).

על אף שנורות CFL מיוצרות במגוון גדלים וצורות, עדיין אינן מתאימות לחלק מן המנורות, בעיקר למנורות דקורטיביות או קטנות במיוחד.

בנוסף, מרבית נורות ה-CFL המיוצרות אינן מתאימות להפעלה במנורה עליה מותקן עמעם ("דימֶר"), והדבר עלול להביא לקיצור חיי הנורה באופן משמעותי, עד כדי שריפתה. בשוק כבר ישנן נורות CFL (מתוצרת GE, למשל) המותאמות להפעלה עם עמעם – האור אמנם אינו מתעמעם, אך הנורה אינה נשרפת. במחקר שנערך בשנת 2007 בקליפורניה, מצא כי יותר מ-90% מהמנורות בהן מותקנות נורות ליבון בבתים, הן בעלות עמעם (California Lighting Technology Center, 2007), ולכן סוגיה זו עשויה להיות מהותית.

מקדם מסירת הצבע (CRI) של נורות פלואורניות רבות (בעיקר מאיכות ירודה או מן הדור הישן) נמוכה יחסית, והאור הנפלט מהן אינו חם ונעים, בניגוד לאור הנפלט מנורות ליבון. טווח ה-CRI עבור נורות CFL איכותיות עם נטל אינטגרלי מגיע עד 90 (Eurelectric, 2006). ישנן נורות באיכות ירודה, בעלות CRI נמוך כ-50, אך אור איכותי יהיה בעל CRI של 80 לפחות (IEA, 2006a).



נורות פריקה בלחץ גבוה (HID)

עיקרון הפעולה של נורות אלה דומה לשל נורות הפריקה בלחץ נמוך, אלא ששילוב תכונות הנורה גורם לאור הנפלט להיות בתחום הנראה לעין ללא צורך בשימוש בחומר זרחני כלשהוא: המרחק בין האקלטרודות קצר (סנטימטרים ספורים) והגזים דחוסים בלחץ גבוה. דוגמאות לנורות אלה הן נורות כספית בלחץ גבוה, נורות כספית הלידית ונורות נתרן בלחץ גבוה (חח"י 2009). נורות מתכת הלידית מפיצות אור לבן בוהק, ונורות נתרן בלחץ גבוה מפיצות אור וורוד (2400 K, ביעילות אורית של כ-100-150 לומן/ואט. לרוב, נעשה בהן שימוש לתאורת חוץ בעוצמה גבוהה, כגון תאורת רחובות, איצטדיונים וחללים מסחריים ותעשייתיים גדולים. גם נורות אלה עושות שימוש במשנק. שני סוגי המשנקים הזמינים בשוק הם משנק אלקטרומגנטי ומשנק אלקטרוני. משנקים אלקטרוניים מאריכים את חיי הנורה וכן מייעלים את ביצועיה בשיעור הנע בין 30%-50%, בעיקר הודות לצריכה עצמית נמוכה בהרבה.



נורת נתרן לחץ גבוה



נורת מתכת הלידית

נורות LED

נורת LED היא דיודה הפולטת אור כשחשמל זורם דרכה, והמבוססת על טכנולוגיה של מוליכים למחצה. היעילות האורית של נורות ה-LED נמצאת במגמת שיפור מתמדת, ומיעילות של כ- 70 לומן/ואט כיום, ותפוקת אור של כ-200 לומן בלבד, ישנן תחזיות פיתוח לפיהן היעילות תגיע עד 180 לומן/ואט עד שנת 2025. נורות LED אינן מתחממות בעת הפעלתן, תחום הצבעים שלהן רחב במיוחד, ואורך חייהן ארוך משמעותית מכל טכנולוגיה חלופית, הואיל ואין בהן חוט להט או כל חלקים מכניים נעים. הנורות ניתנות לעמעום מלא על ידי שליטה בזרם העובר דרכן (חח"י 2009). עם זאת, מחירן גבוה מאד וההשקעה הראשונית הנדרשת בהן עדיין מהווה חסם בפני פריצתן (חח"י 2009). בעבודה זו, אחת מהנחות המחקר (ר' בהמשך) היא שהעשור הקרוב יאפשר את הבשלתה של הטכנולוגיה ואת הצניחה במחירה, אך שבינתיים, אין נורות ה-LED מהוות חלופה ממשית לנורות הליבון (ניסנבוים, Gregor, 2010).



נספח 4: התייחסות לסוגיות בריאותיות וסביבתיות הנוגעות לנוורות יעילות אנרגטית

מתוך הצעת מחקר מורחבת ומאושרת לעבודת גמר מחקרית לתואר שני (תזה), בנושא:

”בחינה כלכלית-משפטית של חלופות ליישום אמצעי רגולציה

בתחום היעילות האנרגטית של תאורה בישראל”

מאת מיכל נחמני

המחקר מבוצע בהנחיית ד”ר דפנה דיסני ועו”ד צבי לוינסון

התייעלות בתחום התאורה, שמשמעותה, בין היתר, היא העלאת השימוש בנוורות פלואורוניות קומפקטיות (להלן: נורות CFL), דורשת התמודדות מקיפה ועניינית עם מספר סוגיות בריאותיות וסביבתיות אשר יש לשקול בכובד ראש – קרינה, תכולת כספית וזיהום אור. להלן מובאת סקירה קצרה של סוגיות אלה.

קרינה

במחקר שנערך על ידי הסוכנות הבריטית לבריאות הציבור (HPA) נמצא, כי ישנה קרינה אולטרה סגולה מנורות CFL פתוחות (שאינן מכוסות בגוף זכוכית), אשר משפיעה למרחק קצר (Khazova and O'Hagan, 2008). המלצות הסוכנות היו התקנת הנורות במרחק של לפחות 30 סנטימטר מן הגוף, ושימוש בציפוי זכוכית כפול המונע קרינה. יצוין, כי הסוכנות מזהירה (בין היתר, בפרסום לעיתונות – HPA, 2008), כי על אנשים הסובלים מרגישות לאור, כגון חולי זאבת, להקפיד מאד על חשיפה מצומצמת לאור שמש, ובהתאם, גם לאור של נורות CFL. מחקר שנערך בקרב חולים בעלי רגישות לאור (לרבות חולי זאבת וסרטן העור), אשר בחן קרינה מ-19 דגמים של נורות CFL, נמצאו רמות קרינה משתנות, אם כי נמוכות יחסית, בין הנורות. לאור זמן החשיפה הפוטנציאלי הארוך, המליץ המחקר לבעלי רגישות לאור להשתמש, מטעמי זהירות, בנוורות בעלות הקרינה הנמוכה ביותר האפשרית (Klein et al. 2009).

המועצה האירופאית לסיכונים בריאותיים חדשים פרסמה דו”ח הקובע, כי הנתונים שנאספו אינם מלמדים על סיכון בריאותי משמעותי למרבית הציבור בשימוש בנוורות CFL, ולא נמצא קשר בינם לבין החרפת מצבים כגון אפילפסיה, לופוס (זאבת), מיגרנות, אוטיזם ועוד. עוד מוסיפה המועצה, כי חשיפה ממושכת לקרינה במרחקים קטנים מעשרים סנטימטר עלולה לגרום לנזק, אולם שימוש בנוורות בעלות ציפוי כפול יכולה לפתור סוגיה זו (SCENIHR, 2008).

בנובמבר 2009 פירסם משרד הבריאות הישראלי את עמדתו בנוגע לסיכונים הבריאותיים כתוצאה מחשיפה לנוורות CFL. המלצת המשרד, בין היתר לאור עיקרון הזהירות המונעת, ולאור קלות היישום של המלצות הסוכנות הבריטיות (ר' להלן), הנה “לשקול בחיוב אימוץ זהיר (ואולי אף מדורג) של ההמלצות הבריטיות בישראל”. להלן עיקרי ההמלצות הבריטיות, המפורטות, בין היתר, בניר העמדה של משרד הבריאות:

"לאור הממצאים הנ"ל ולאחר שהנושא הופנה לתשומת לב הרשויות בבריטניה ובייחוד האירופי, החליט HPA להגביל – כצעד אותו הוא מגדיר כצעד ביניים של זהירות מונעת (interim precautionary measure) – את החשיפה לנורות CFL באופן שכאשר משך החשיפה צפוי לעלות על שעה אחת ביממה, יש להרחיק את הנורה מן הנחשף כדי 30 ס"מ לפחות. הגבלה זו פורסמה כ– precautionary advice באוקטובר 2008.

בנוסף, קובע ה – HPA, שאנשים החולים בלופוס (זאבת), הידועים כבעלי רגישות מיוחדת לחשיפה לקרני השמש, מוזהרים במקביל מפני שימוש בנורות מן הסוג הנדון. HPA אינו מצרף הגדרות כמותיות לאזהרה מיוחדת זו.

יחד עם זאת, מודגש בהנחיות ה – HPA שההגבלות הנ"ל אינן חלות על נורות "אטומות" (encapsulated) – נורות המוגנות על ידי כיסוי זכוכית נוסף. מתברר, שכיסויים אלו בולעים את מרבית הקרינה האלקטרומגנטית בתדרי ה-UV ובכך, מפחיתים במידה משמעותית ביותר את עצמות החשיפות ל-UV באור הבוקע מהן. אגב, "בהזדמנות זו" מוצא HPA לנכון להסב את תשומת הלב לכך, שמרבית נורות הפלורסצנט הקומפקטיות מהבהבות בתדירויות של 100Hz, עובדה העלולה לגרום לרגישויות יתר, בעיקר בחלקים הצדדיים של שדות הראיה, אצל חלק קטן מהאנשים המביטים בכיוון הנורה".

גם ה-FDA האמריקאי נתן את דעתו על הקרינה הנפלטת מן הנורות, תוך איזכור המחקר הבריטי, והמליץ "כאמצעי זהירות, לא לשהות במרחק קטן מ-30 סנטימטר מן הנורה למשך יותר משעה ביום" (FDA, 2009).

עמדת המשרד להגנת הסביבה בישראל אודות קרינה בלתי מייננת מבוססת על עיקרון הזהירות המונעת, במטרה למזער, ככל האפשר בטכנולוגיות הקיימות ובעלות סבירה את חשיפת הציבור לקרינה. בחוק הקרינה הבלתי מייננת, התשס"ו-2006 נקבעה חובת קבלת היתר להקמת ולהפעלת מקור קרינה, אך עבור נורות קבוע בחוק פטור מקבלת ההיתר.

לדברי ראש אגף רעש וקרינה במשרד להגנת הסביבה, ד"ר סטיליאן גלברג, "האגף המליץ וממליץ על שימוש במנורות LED שהן חסכוניות הרבה יותר (מאשר נורות CFL – מ.ג.), מחזיקות הרבה יותר זמן, ניתנות לשליטה על ידי חיישני תנועה, אור, קול וכו', כך שמאפשרות תאורה יעילה ללא חשיפה לקרינה אולטרה סגולה ולקרינה בתדרי רדיו ובתדרי רשת החשמל".

תכולת כספית

נורות פלואורוניות מכילות כספית, דבר המחייב תשתית איסוף ומיחזור לטיפול בהן בסוף חייהן (US EPA Mercury Website). בניתוח מחזור חיים כולל של נורות ליבון מול נורות CFL נמצא, כי השימוש בנורות CFL מקטין נטו את זיהום הכספית הנגרם מנורות ליבון, שכן על אף תכולת הכספית בנורות ה-CFL, השימוש בהן מקטין את כמות הכספית הנוצרת בתהליכי יצור האנרגיה (Gydesen and Maimann, 1991). קביעה זו נכונה בעיקר לתהליכי ייצור חשמל מפחם, ורלוונטית גם בישראל, לאורך תמהיל הדלקים לייצור חשמל.

חלק מן הכספית נמצא בנורות פלואורוניות עצמן (להבדיל מן הכספית הנפלטת מתחנות כח בעת ייצור חשמל). בנורות ה-CFL האיכותיות יש 1-4 מ"ג כספית, בעוד שנורות מאיכות ירודה עלולות להכיל עד 8 מ"ג כספית. הדבר דורש התייחסות בכמה מישורים:

1. תקינה ובקרת איכות על הנורות, להגבלת כמות של כספית בנורה (Gregor, 2010)
2. טיפול בנורה שבורה – זהירות מונעת ובטיחות בעת אירוע (US EPA Mercury Website)
3. איסוף וטיפול בנורות בסוף ימיהן – על מערך טיפול בנורות CFL בסוף ימיהן לכלול את הרכיבים הבאים: מנגנון אצירה איסוף, מתקן קצה למיחזור הנורות, מנגנון מנהלי לניהול התהליך, ולפחות בשלב ראשון, תכנית חינוך והסברה לצרכנים (Marquardt, 2002).
4. הסברה – דרושה העלאת מודעות ציבורית, הן להבנת סוגיית כמות הכספית הכוללת (הקטנה יותר ב-CFL, לעומת נורות ליבון, כאמור) והן להעברת הנחיות קונקרטיות למקרים של נורה שבורה וטיפול בסוף חיי הנורה.

זיהום אור

במחקרים שבוצעו באוניברסיטת חיפה נמצא קשר בין עוצמת תאורה בלילה לבין סרטן השד אצל נשים בישראל (Kloog et al., 2008) וסרטן הערמונית אצל גברים (Kloog et al., 2009). קשר זה עשוי להיות מוסבר באופן הבא: הפרשת הורמון המלטונין, המופרש תחת השפעת השעון הביולוגי בלילה, עשויה להיות מדוכאת על ידי אור. מלטונין הוא "צייד" של רדיקלים חמצניים, אשר עלולים לפגוע ב-DNA ולגרום לסרטן. לפיכך, ישנה תזה, שחשיפה לתאורה מלאכותית בלילה (Light at Night – LAN), בעיקר בקרב עובדי משמרות, גורמת לעלייה בשיעור הסרטן. תרחיש זה משפיע, בין היתר, על שוק התאורה, אך הוא מבוסס בעיקר על תצפיות שנערכו בקרב עובדי משמרות, ובחלקו נעדר בסיס אמפירי המוכיח את הקשר בין תאורה בלילה לבין סרטן (Kantermann and Roenneberg, 2009).

המחקר אודות השפעת זיהום אור על בני אדם עודו מצוי בשלבים מוקדמים, וטרם בוצעה הערכה כלכלית של העלויות החיצוניות הנגרמות מזיהום האור. הערכה כזו חורגת מתחום המחקר המוצע, אך מוצע לבחון אותה בהקדם, על מנת לאפשר קבלת החלטות מושכלת יותר בנוגע למדיניות בתחום

התאורה, על בסיס נתונים רבים ככל האפשר. בנוסף, לתאורה מלאכותית בלילה יש השפעות מרחיקות לכת על מערכות אקולוגיות – צמחים ובעלי חיים²⁰ (Longcore and Rich, 2004), ויש לבחון השלכות של מדיניות בתחום תאורה גם לאור סוגיה זו.

מראיון שנערך עם פרופ' אברהם חיים, מומחה לכרונוביולוגיה מן החוג לאקולוגיה באוניברסיטת חיפה, עולה, כי זיהום אור אינו נגרם אך ורק מנורות פלואורניות, אולם מאפייני האור הנפלט מנורות פלואורניות הופך אותו מועד יותר להעצים את זיהום האור, משתי סיבות – ראשית, יעילותן היחסית של הנורות והמחיר הזול יחסית בו ניתן להפיק אור זה, גורמים לכך שבשימוש בנורות פלואורניות משתמשים בעוצמות הארה גבוהות יותר (לדוגמא, בשלטי חוצות מוארים). שנית, גוון האור הכחול המאפיין את הנורות הפלואורניות, ובעיקר את הנורות מן הדורות המוקדמים, הנפוצות יותר בשוק, הוא המסוכן יותר לבריאות.

מקורות לנספח:

1. Kantermann, T. and Roenneberg, T. (2009). "Is Light-at-Night a Health Risk Factor or a Health Risk Predictor?" **Chronobiology International**, Vol. 26(6), pp. 1069-1074.
2. Khazova, M., and O'Hagan, J.B., (2008). "Optical Radiation Emissions from Compact Fluorescent Lamps". **Radiation Protection Dosimetry** 131(4), pp. 521-525.
3. Klein, R.S., Werth, V.P, Dowdy, J.C. and Sayre, R.M. (2009). "Analysis of Compact Fluorescent Lights for Use by Patients with Photosensitive Conditions". **Photochemistry and Photobiology** 85(4), pp. 1004-1010.
4. Kloog, I., Haim, A., Stevens, R.G., Barchana, M., Portnov, B.A., (2008). "Light at Night Co-distributes with Incident Breast but not Lung Cancer in the Female Population of Israel". **Chronobiology International** 25(1), pp. 65-81
5. Kloog, I., Haim, A., Stevens, R.G., Portnov, B.A. (2009). "Global Co-Distribution of Light at Night (LAN) and Cancers of Prostate, Colon, and Lung in Men". **Chronobiology International** 26(1), pp. 108-125.
6. Longcore, T. and Rich, C. (2004). "Ecological Light Pollution". **Frontiers in Ecology and the Environment** 2(4), pp. 191-198.

מקורות אינטרנט:

7. FDA – US Food and Drug Administration, "Compact Fluorescent Lamps (CFLs) – Fact Sheet/FAQ", updated June 2009, <http://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/RadiationEmittingProductsandProcedures/HomeBusinessandEntertainment/ucm116400.htm> (Accessed on April 4th 2010).
8. Gydesen, A., and Maimann, D. (1991). "Life cycle analysis of Integral Compact Fluorescent lamps versus incandescent lamps". **Proceedings of "Right Light" conference**. Available online at <http://iaeel.org/IAEEL/Archive/Right Light Proceedings/Proceedings Body/BOK1/200/1411.PDF> (Accessed on April 4th 2010)

²⁰ לדוגמא, צבי הים החוזרים להטיל את ביציהם על החוף בו נולדו, מנווטים אל החוף בלילה לפי החזר האור מן המים. תאורה מלאכותית משבשת מנגנון זה, וצבים רבים מתבלבלים מתאורת רחוב ומאבדים את דרכם, נדרסים בכבישים או מתים מתשישות

9. Health Protection Agency (2008). "Precautionary Advice: Energy Saving Compact Fluorescent Lights" http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1223445517429 (Accessed on December 7th 2010).
10. Marquardt, R., Compact Fluorescent Lamp Recycling Project Phase I- Draft Report- Background Research and Program Options, September 2002: http://www.zerowaste.org/cfl/IMAGES_A/phase_I_rpt.pdf (Accessed on April 4th 2010)
11. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) "Light Sensitivity", September 2008. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/docs/scenihhr_o_019.pdf. (Accessed on April 4th 2010).
12. US Environmental Protection Agency (EPA)(a): Mercury Containing Light bulb (lamp) Recycling, <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/wastetypes/universal/lamps/index.htm> (Accessed on April 4th 2010).
13. US Environmental Protection Agency (EPA)(b): Frequently asked questions – Information on Compact Fluorescent Light Bulbs (CFLs) and Mercury, July 2008. http://www.energystar.gov/ia/partners/promotions/change_light/downloads/Fact_Sheet_Mercury.pdf (Accessed on April 4th 2010).

14. חוק הקרינה הבלתי מייננת, התשס"ו-2006, ס"ח 2046, התשס"ו, עמ' 158, (תאריך גישה אחרון - 4 באפריל 2010) http://www.sviva.gov.il/Environment/Static/Binaries/law/krina02_1.pdf

15. משרד הבריאות, הודעה לעיתונות "המלצות בדבר חשיפה לנורות פלורסצנטיות קומפקטיות (CFLs)" מיום 24.11.2009. ניתן להורדה כאן: <http://www.health.gov.il/download/spoke/29668409.doc> (תאריך גישה אחרון - 4 באפריל 2010)

ראיונות:

16. גלברג, ס. ראש אגף רעש קרינה במשרד להגנת הסביבה - תכתובת בחודש אפריל 2010.
17. חיים, פרופ' אברהם, אוניברסיטת חיפה, הראיון נערך במרץ 2010.
18. Gregor, W., סמנכ"ל קשרי לקוחות וקיימות, חברת OSRAM, וסמנכ"ל ההתאחדות האירופאית של יצרני נורות. הראיון נערך ב-1.2.2010.



**תקנות מקורות אנרגיה (יעילות אנרגטית מזערית לנורה חשמלית לתאורת פנים במבנים),
התשע"א – 2010**

בתוקף סמכותי לפי סעיף 3 לחוק מקורות אנרגיה, התש"ץ - 1989¹ (להלן – החוק) ובאישור ועדת הכלכלה של הכנסת, אני מתקין תקנות אלה:
1. בתקנות אלה –

הגדרות

- "מכון התקנים"**
"מעבדה מאושרת"
"נורה חשמלית" –
- מכון כמשמעותו בסעיף 2 לחוק התקנים, התש"ג-1953² (להלן – חוק התקנים);
כמשמעותה בסעיף 12 לחוק התקנים;
נורה שהיא אחת מאלה, כמשמעותן בתקן:
(1) נורת להט מטונגסטן;
(2) נורת הלוגן מטונגסטן;
(3) שפורפרת פלואורסצנטיות;
(4) שפורפרת פלואורנית בעלת כיפה אחת;
(5) שפורפרת פלואורנית בעלות כיפה אחת עם נטל עצמי;

אחד מאלה לפי העניין וכתוקפו מוזמן לזמן לפי לחוק התקנים, שעותק שלו מופקד לעיון הציבור במשרדי מכון התקנים הישראלי, והפניה אליו מצויה באתר האינטרנט של משרד התשתיות הלאומיות שכתובתו www.mni.gov.il; בהעדר הפניה כאמור, לא יהיה תוקף לתקן לעניין תקנות אלה –

"תקן" –

- (1) נורת להט – תקן ישראלי ת"י 60432 חלק 1 "נורות להט - דרישות בטיחות: נורות להט טונגסטן למטרות תאורה כלליות - לשימוש ביתי ולשימוש דומה"³;
(2) נורת הלוגן – תקן ישראלי ת"י 60432 חלק 2 "נורות להט- דרישות בטיחות: נורות הלוגן טונגסטן למטרות תאורה כלליות - לשימוש ביתי ולשימוש דומה"⁴;
(3) שפורפרת פלואורסצנטיות – תקן ישראלי ת"י 520 "שפורפרות פלורוצנטיות לשימוש כללי"⁵;
(4) שפורפרת פלואורסצנטיות בעלות כיפה אחת

¹ ס"ח התש"ץ, עמ' 28.
² ס"ח התש"ג, עמ' 30, התשל"ט, עמ' 34.
³ י"פ התשס"ג, עמ' 2261.
⁴ י"פ התשס"ג, עמ' 2261.
⁵ י"פ התשכ"ו, עמ' 720.
⁶ י"פ התשנ"ב, עמ' 2618.
⁷ ק"ת התשס"ז, עמ' 600.

– תקן ישראלי ת"י 520 חלק 2 "נורות פלואורניות בעלות כיפה אחת: דרישות בטיחות ודרישות פעולה"⁶;

(5) שפורפרת פלואורניות בעלות כיפה אחת עם נטל עצמי – תקן ישראלי ת"י 60968 "נורות בעלות נטל עצמי לשימושי תאורה כלליים- דרישות בטיחות"⁷.

2. לא ייבא אדם, לא ייצר לשימוש בארץ, לא ימכור, ולא ישוק נורה חשמלית אלא אם כן –

חובה לעמוד
ביעילות
אנרגטית

(1) מכון התקנים או מעבדה מאושרת בדקו בהתאם לתקן את היעילות האנרגטית של הנורה החשמלית;

(2) הממונה קבע בהתאם לבדיקה לפי פסקה (1) כי היעילות האנרגטית של הנורה החשמלית היא כמפורט בתוספת לפחות.

3. היצרן או היבואן ימסור לממונה מידע על היעילות האנרגטית של נורה חשמלית שייבא או ייצר לפי דרישת הממונה.

העברת מידע
לממונה

4. תחילתן של תקנות אלה ארבעה חודשים מיום פרסומן.

תחילה

תוספת

(תקנה 2)

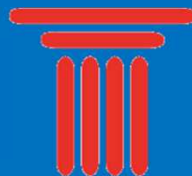
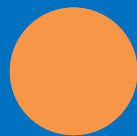
דרישות ליעילות אנרגטית של נורה

קריטריון ליעילות אנרגטית	סוג נורה
$[W/((0.88*\sqrt{f})+0.049*f)]<0.8$	נורת ליבון ונורת הלוגן בהספק העולה על W60
$W\leq(0.15*\sqrt{f})+0.0097*f$	נורה פלואורנית קוויות או קומפקטיות ללא נטל עצמי – כל הספקים
$W\leq(0.24*\sqrt{f})+0.0103*f$	נורה פלואורנית קומפקטיות עם נטל עצמי – כל ההספקים

הערה: בטבלה לעיל f – שטף אור של הנורה (לומן)
 W = הספק המבוא של הנורה (וט)

עוזי לנדאו
שר התשתיות הלאומיות

11/004



מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
טל. 04-8292329, פקס 04-8231889
קרית הטכניון, חיפה 32000
www.neaman.org.il