



הטכניון

מכון טכנולוגי לישראל



מוסד שמואל נאמן

למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה

סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 14
מוסד שמואל נאמן, הטכניון

רכב חשמלי והיברידי



14

1.6.2009

רכב חשמלי והיברידי

**סיכום והמלצות דיון
פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן**

הטכניון

מיום 1.6.2009

נערך ע"י:

פרופ' גרשון גרוסמן

טל גולדרט

ד"ר אופירה אילון

נובמבר 2009

רשימת משתתפי הפורום:

מוסד שמואל נאמן	ד"ר אילון אופירה
אגף מחקר ופיתוח, משרד התשתיות הלאומיות	ד"ר ארביב אברהם
אגף שימור אנרגיה, משרד התשתיות הלאומיות	בית הזבדי אדי
אסיף אסטרטגיות בע"מ	בן דב עופר
מוסד שמואל נאמן	גולדרט טל
מוסד שמואל נאמן והפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון	פרופ' גרוסמן גרשון – יו"ר
Better Place LTD	ד"ר וינשטוק דן
מדען ראשי, משרד התשתיות הלאומיות	ד"ר ולד שלמה
משרד הפנים	טלר אילנה
קבוצת לבאון, ארה"ב	ד"ר לב און מרים
קבוצת לבאון, ארה"ב	ד"ר לב און פרי
משרד התחבורה	עמרי סעד
אוניברסיטת תל אביב	פרופ' פלד עמנואל
יועצת סביבתית	ד"ר פליקשטיין ברננדה
מדען ראשי, משרד התחבורה	פרופ' פרשקר יוסף
חברת החשמל לישראל	ד"ר קוטיק דן
יועץ אנרגיה	ד"ר רוזנמן צבי
משרד התחבורה	שדמי זאב
אוניברסיטת תל אביב	שוסטרמן סיגל

הבעת תודה

המחברים מודים למרצים על המידע שהציגו ולכלל משתתפי הפורום על תרומתם לדיון הפתוח. תודות לכל המשתתפים אשר העבירו חומר רקע לקראת הדיון. צילומי השער באדיבות אלון בוכניק ושרון גולדרט.

תוכן העניינים

עמוד

5	פרק 1 : הקדמה
6	פרק 2 : רקע
8	פרק 3 : מידע בנושא רכב חשמלי והיברידי
21	פרק 4 : דיון
30	פרק 5 : סיכום והמלצות

נספחים

32	תוכנית פורום אנרגיה : רכב חשמלי והיברידי – 1.6.2009	: 1 נספח
33	החלטת ממשלה מספר 2580 בדבר עידוד תחבורה ללא דלק	: 2 נספח
35	עיקרי רפורמת המיסוי הירוק בנושא רכבים חשמליים	: 3 נספח
36	קרינה אלקטרומגנטית ברכבים חשמליים והיברידיים	: 4 נספח

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 להציג בפני מקבלי החלטות.

המפגש הדין בנושא רכב חשמלי והיברידי התקיים ב-1 ביוני 2009 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 בתחומי התחבורה והחשמל באופן כללי, ובנושאי רכב חשמלי והיברידי בפרט.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מן המשתתפים מצגות בנושא רכב חשמלי והיברידי 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 ההחלטות במטרה להביא אל סדר היום את נושא כניסת הרכב החשמלי וההיברידי על סוגיו השונים לשימוש בעל השפעה משמעותית על משק הרכב הישראלי, וכן על ההיבטים שיש לשינוי זה על משק החשמל, איכות הסביבה ועוד.

פרק 2: רקע

פיתוח אמצעי תחבורה אשר אינם מבוססים על דלק מחצבי (פוסילי) הוא נושא הנמצא בקדמת סדר היום הציבורי במדינות רבות ברחבי העולם. זהו אמצעי יעיל ומתבקש למניעת זיהום אוויר, צמצום המזהמים והפחתה בפליטות גזי חממה.

המונח "רכב חשמלי" מתייחס לארבע שיטות הנעה עיקריות:

- רכב היברידי (HEV) – הנראה כבר היום על הכבישים בישראל. הרכב מצויד בסוללה חשמלית, במנוע שריפה פנימית ולצידו מנוע חשמלי, היכול להפוך ולפעול כגנרטור. הנעת הרכב הינה ע"י המנוע החשמלי כשהוא נעזר, במידת הצורך, במנוע הבנזין, והסוללה נטענת על ידי המנוע החשמלי בפעולתו כגנרטור כאשר הוא מונע ע"י מנוע הבנזין. מערכת ממוחשבת שולטת על ביצועי הרכב ומביאה את השימוש בשני המנועים למצב מיטבי.
 - רכב Plug-In היברידי (PHEV) – רכב בעל שתי שיטות הנעה כמו HEV, אולם מאפשר טעינה של הסוללה החשמלית גם ישירות מרשת החשמל.
 - רכב חשמלי מלא (EV) – בעל מנוע חשמלי בלבד.
 - רכב חשמלי המייצר לעצמו את החשמל הדרוש להנעתו, תוך כדי שימוש בתאי-דלק.
- ברכבים ההיברידיים מנוע הבנזין קטן יותר מאשר ברכב קונבנציונאלי ופועל בתנאים קרובים לאופטימאליים, וכתוצאה מכך הוא חסכוני יותר ומזהם פחות. כנגד זה, הספקו נמוך יחסית ואין לו יכולת תאוצה גבוהה. כאשר יש צורך בתאוצה או לצורך טיפוס בעליה מופעל במקביל המנוע החשמלי ושניהם יחד מספקים את ההספק הדרוש. תכונה משותפת לכל ארבעת סוגי הרכבים היא יכולת עצירה רגנרטיבית, כלומר- ניצול אנרגיית הבלימה לטעינת המצבר ע"י הפיכת המנוע החשמלי לגנרטור. עקב כך נחסכת אנרגיה רבה – למעשה רוב האנרגיה הנשחקת בבלמים של רכב קונבנציונאלי.
- ההערכה היא כי סדר כניסתם של הרכבים הללו לשוק יוכתב על ידי הבשלות הטכנולוגית, על פי הסדר הבא: המכוניות ההיברידיות כבר מצויות בארץ, הדור הבא יהיה רכבי ה-Plug In, אחר-כך נראה את הרכב החשמלי המלא ולבסוף את הרכב שגם מייצר את החשמל לעצמו.
- בנוסף ליתרונות הברורים של כניסת הרכב החשמלי לשוק, יש לזכור גם את הערך המוסף שבהפחתת התלות בנפט מסיבות כלכליות ואסטרטגיות-פוליטיות.
- החסרונות ברכבים החשמליים, בהווה, הם בעיקר בתחומי כושר אגירת החשמל בסוללה, המתבטא בטווח נסיעה מוגבל, וכמובן – במחיר, שבעיקרו מורכב ממחיר הסוללה.

בנובמבר 2007 קיבלה ממשלת ישראל החלטה בדבר עידוד תחבורה ללא דלק. ההחלטה מצוטטת בנספח מספר 2, ונקבעו בה מספר יעדים מרכזיים. על החלטה זו נשמעו ביקורות לא מעטות¹, אשר עיקרן העובדה שהחלטת הממשלה לא גובתה בתקציב מתאים, לא התייחסה לכוחה של הממשלה כקניין דומיננטי במשק וכן התבססה על נתונים שנויים במחלוקת כגון טווח הנסיעה של המכוניות העתידיות, חלקן היחסי בצי התחבורה בישראל וקיומם של כלי רכב עם מקור ייצור חשמל עצמאי. תכנית המיסוי

¹ מעקב אחר יישום החלטה 2580 של הממשלה בדבר עידוד תחבורה ללא דלק, מרכז המחקר והמידע של הכנסת, מרץ, 2009, <http://www.knesset.gov.il/mmm/data/docs/m02235.doc>

הירוק של רשות המיסים, אשר הוצגה לאחרונה באופן פורמאלי², תזכה את כלי הרכב החשמליים בהטבות מס, כך שעלותם לצרכן תהיה דומה לעלות רכב מקביל, סטנדרטי. העדפה מתקנת זו תביא למעשה לעידוד כניסת הרכבים לשוק, כפי שנעשה כבר היום ברכבים היברידיים. עיקרי רפורמת המיסוי הירוק בנושא רכבים חשמליים מובאים בנספח מספר 3.

² [רפורמת המיסוי הירוק תצא לדרך ב 1 באוגוסט. YNET רכב, 8.6.2009](#)

פרק 3: מידע בנושא רכב חשמלי והיברידי

בחלק זה של הדו"ח ניתנת תמצית המידע שהוצג ע"י חלק מן המשתתפים, כל אחד לפי בחירתו ומומחיותו. המצגות שהוכנו ע"י הדוברים מוצגות, 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 דן וינשטוק, חברת Better Place בע"מ: פרויקט הרכב החשמלי – סקירה כללית

סקר עולמי מקיף אשר נערך לא מכבר, מלמד כי כ-70% מאוכלוסיית העולם סבורה שהממשלה במדינה בה הם חיים צריכה להחליף את הנפט כמקור אנרגיה עיקרי. הנפט, המהווה גורם מרכזי במשק האנרגיה העולמי בכלל ובמשק התחבורה בפרט, נמצא היום בשיא השימוש ועל פי כל התחזיות, מעבר לנקודת הרוויה צפויה להגיע האטה וירידה בשימוש העולמי בו. הנקודה הנכונה לשינוי מהותי באופי השוק היא רגע לפני הנפילה.

הרכב החשמלי אינו רעיון חדש או מהפכני. כבר לפני שנים רבות, בראשית ימי הרכבים הממונעים היו ניסיונות קודמים לפתח ולהשיק בצורה מסיבית רכבים חשמליים, אולם התנאים אז לא היו מתאימים והטכנולוגיה לא מפותחת מספיק. עתה אנו סבורים כי התנאים מתאימים יותר. בכל רחבי העולם קיים לחץ של צרכנים לתחבורה אלטרנטיבית, המלווה בסיבות כלכליות, פוליטיות, וכמובן ההתמודדות הגלובלית עם תהליכי שינוי האקלים.

חברת Better Place הוקמה בשנת 2007, בהשקעה ראשונית של כ-200 מיליון דולר, ומעסיקה כיום כ-150 עובדים ברחבי העולם. Better Place אינה יצרנית של חשמל, ואף לא יצרנית של כלי רכב. החברה מהווה למעשה פן ביניים בין שני גורמים אלו – היא מיישמת תשתיות להעברת החשמל מחברת החשמל (או כל יצרן חשמל אחר, לצורך העניין) אל המכוניות עצמן, ומקווה להרחיב את השוק ולהיכנס בעתיד לנישות נוספות בשוק זה.

הנחת היסוד היא כי 90% מהאנשים הנוהגים ברכב חשמלי יוכלו לטעון את מכוניותיהם באמצעות תשתיות פשוטות במשך 90% מהזמן (כגון טעינת לילה בחניית הבית, טעינה במגרשי חניה ציבוריים וכד'). למרות זאת, במקרה של נסיעה ארוכת טווח אשר בה אין אפשרות לעצירה לטעינה של כשלוש שעות, תידרש תחנת החלפת מצברים.

שוק הרכבים החשמליים העולמי, אשר בעבר היה נישא זעירה, תופס היום תאוצה, וכמעט לכל חברת מכוניות גדולה בעולם יש היום דגם אחד או יותר של רכבים חשמליים או היברידיים.

בישראל הותקנו עד היום 400 עמדות טעינה (או 800 נקודות טעינה) במגרשי חניה ציבוריים, וישנו אב טיפוס של תחנת החלפת סוללות. ברור כי לפרויקט כזה עשויות להיות השלכות נרחבות על רשת החשמל במדינה, ועל כך נדון בהרחבה בהמשך.

עיקר הבעיות הנלוות לכניסת רכבים חשמליים :

- טווח סוללה אינו גדול מספיק לאוכלוסיות מסוימות – מהווה בעיה לנהגי מוניות, למשל. מן הראוי לציין שקיימים פתרונות להארכת הטווח, למשל, תחנת החלפת סוללות.
- סוללה יקרה – מייקרת את מחיר הרכב עצמו.
- פסולת הסוללות דורשת טיפול.

ד"ר דן קוטיק, חברת החשמל לישראל: פעילות חח"י בתחום רכב חשמלי

אסקור בקצרה את פעילות חברת החשמל בנושא מכונית חשמלית לאורך השנים. כאמור, היו מספר ניסיונות קודמים של טיפול בנושא זה. כבר בשנות השמונים הפעילה חברת החשמל רכב חשמלי טהור, עם מצברי עופרת, שנסע כ-100 ק"מ בין טעינות. לאחר מכן, במהלך שנות התשעים, היה גל פעילות נוסף, ואילו עתה חוזרת הפעילות בכל רחבי העולם, בין השאר עם Better Place. תרונותיו של הרכב החשמלי :

- הפחתה בזיהום האוויר והרעש במרכזי הערים
 - גיוון מקורות האנרגיה
 - עלויות הפעלה נמוכות באופן יחסי
 - עלות אחזקה נמוכה באופן יחסי
 - שימוש יעיל יותר במערכות ייצור חשמל, ובפרט עידוד צריכה לילית.
- חסרונות עיקריים :

- עלות רכישה ראשונית גבוהה
- טווח נסיעה קצר ובעייתי
- נדרשת השקעה גדולה בהקמת תשתית טעינה

בשנות התשעים פעלה בישראל חברת "דלק חשמלי" שפיתחה מצברי אבץ/אוויר. מצברים אלו היו בעלי תכונות טובות, אבל סבלו מבעיות של תשתית טעינה מסובכת אף יותר מזו המדוברת כיום. המצברים לא נטענו ישירות מרשת החשמל אלא בתהליך של אלקטרוליזה. התהליך מורכב, והקמת תשתית לתמיכה בתהליך זה מחייבת השקעות עתק. בזמנו, רכשה חברת חשמל את הזיכיון לטכנולוגיה זו במדינת ישראל ובכל המזרח התיכון. המיקוד היה על כלי רכב שנוסעים מרחקים ארוכים, ולא דווקא נסיעות קצרות.

מבחינת זיהום אויר, יש הבדל משמעותי בין רכב בעל מנוע שריפה פנימית לרכב חשמלי. ההשוואה המוצגת בטבלה מס' 1 (ביחידות של גרם לקילומטר) מבוססת על ייצור חשמל לטעינת הסוללות בתחנת מחז"מ (מחזור משולב) המונעת בגז טבעי.

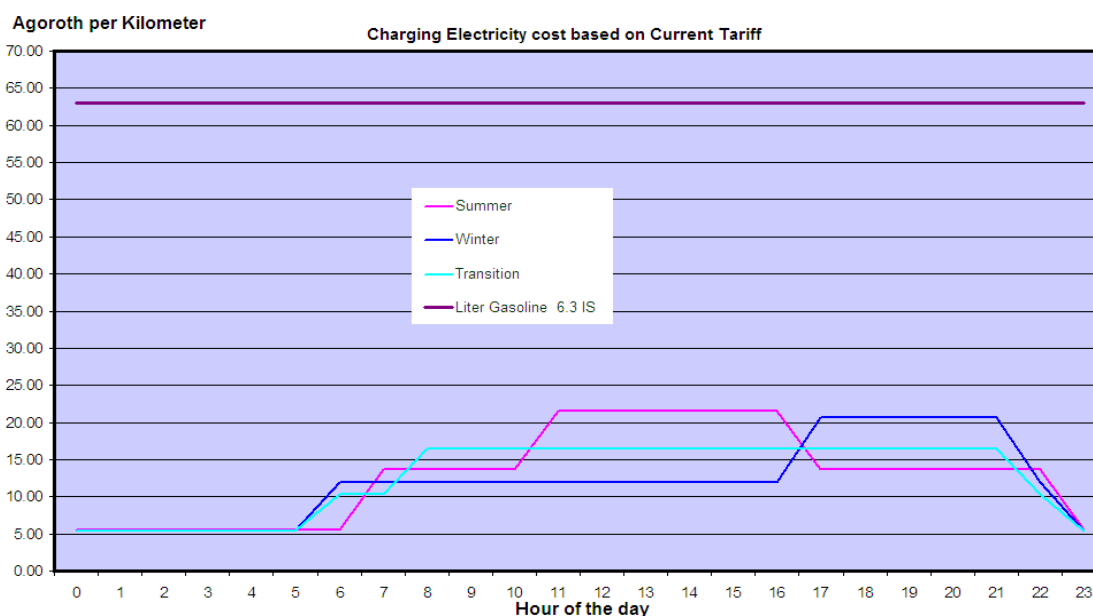
טבלה מס' 1 : רמות הזיהום הנפלטות מרכבים שונים

המזהם	רכב עם מנוע שריפה פנימית gr/km	רכב חשמלי (חשמל ממחז"מ) gr/km
SO ₂	1.65	0.03
NO _x	0.54	0.51
CO	14.3	0.16
CO ₂	285	173
HC	0.65	0.017
חלקיקים	0.10	0.007

חברת החשמל עוסקת בנושא ממספר סיבות. אין להתעלם בראש ובראשונה מהיות הנושא פופולארי ומסייע ביחסי ציבור. כמו כן, חברת החשמל רואה ברכב החשמלי צרכן טוב, משום שניתן באמצעותו "ליישר" את עקומת הביקוש ולכוון יותר שעות צריכה לשעות הלילה. הטיה כזו של צריכת החשמל מהווה יתרון מבחינת המשק הלאומי – ומאפשרת למתן את הפרשי הצריכה הגדולים המתקיימים כיום בין שעות השיא במהלך היום לבין שעות השפל, בלילה.

ד"ר צבי רוזנמן, יועץ אנרגיה: זמינות ומחיר חשמל לרכב חשמלי בישראל

הדובר בוחן את צריכת האנרגיה להנעה במכונית חשמלית בהשוואה למכונית בנזין. צריכת האנרגיה של מכונית בהנעת חשמל הנה 0.25 קוויט"ש לק"מ. ערך זה מגלם בתוכו את צריכת החשמל בהנעה בשעת הנהיגה יחד עם הפסדי חשמל בטעינת הסוללה. הנתונים הינם עבור רכב סטנדרטי, בעל נפח מנוע של 1.8 ליטר הצורך ליטר אחד של בנזין על כל 10 ק"מ. ההשוואה נעשית בהתאם למחירים הנוכחיים במשק האנרגיה בישראל. מחירי החשמל בישראל משתנים בהתאם לעונות השנה ושעות היממה.



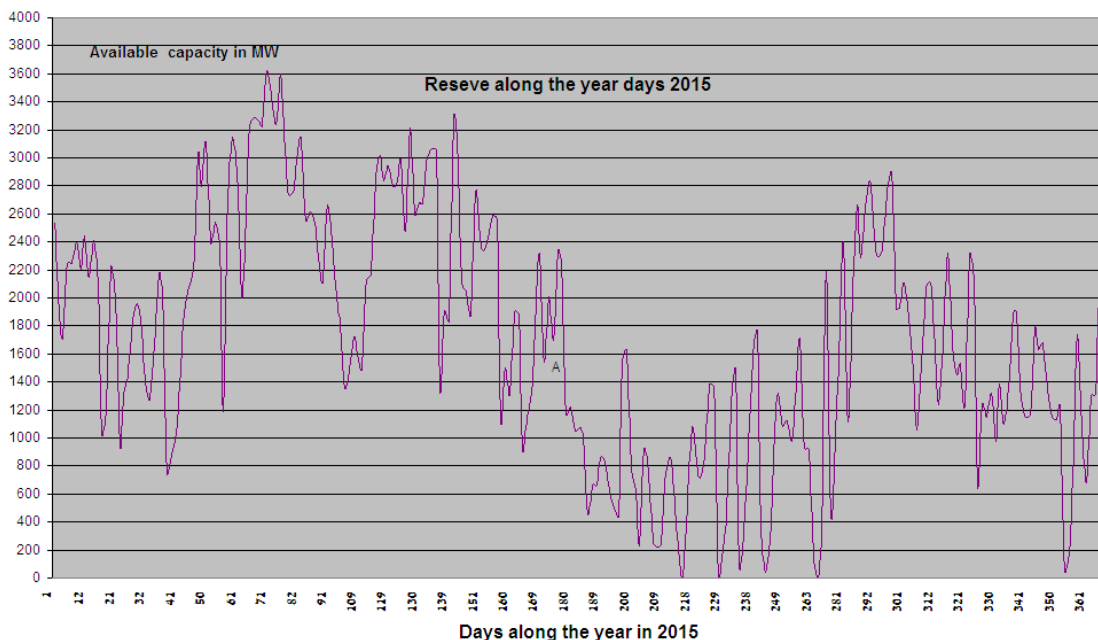
גרף מס' 1: עלויות הפעלת כלי רכב בדלק ובחשמל (אגורות לק"מ)

גרף מס' 1 מציג את עלות האנרגיה של רכב בהנעת חשמל בלעדית בהתאם לשעות טעינת הסוללה. אם הסוללה נטענת בשעות הלילה, עלות ה"דלק" החשמלי הינו 5 אגורות לק"מ וזאת בהשוואה ל- 63 אגורות לק"מ עלות בנזין. אם הרכב החשמל נטען בקיץ בשעות היום, עלות ה"דלק" החשמלי עולה ל- 22 אגורות לק"מ. אכן, עלות זו של רכב הבנזין כוללת בתוכה שיעור מס גבוה על הדלק. אם נשתמש בעלות דלק הנהוגה בארה"ב של 2 דולר לגלון שהינו בערך 2 שקל לליטר הרי עלות הדלק לק"מ במכונית בנזין הנה קרובה מאד לעלות "דלק" החשמל בשעות היום בקיץ (ההנחה היא שעלות החשמל בשיא קיץ בארה"ב כמעט שווה לעלות החשמל בישראל).

בשעות היום בחודשי הקיץ קיים שיא בצריכת החשמל בישראל. בשעות אלו תעריף החשמל גבוה באופן משמעותי ממחירו בשעות אחרות. היות וקיים הבדל משמעותי במחירים בין שעות הצריכה השונות, שעת הטעינה היא נתון קריטי לקיום יתרונות מחיר ה"דלק" ברכב החשמלי, וזאת עוד בטרם נבדקה זמינות החשמל בשעות העומס. אם תתאפשר

טעינה בשעות הלילה, נקבל יתרון משמעותי, אבל כל טעינה בשעות העומס, וחיבור הרכב למטען בעבודה או בקניון, עלול להביא למצב שבו בשעות רבות מחיר החשמל כה גבוה עד שיתרונות השימוש בו הולכים ופוחתים (מבחינת המחיר בלבד).

גרף מס' 2 מציג את הרזרבה שתתקיים במשק החשמל בישראל לשנת 2015, (על פי תכנית פיתוח של משרד התשתיות בלי הקמת תחנות כוח המיועדות לספק חשמל לרכב חשמלי). מתוך הגרף מתברר שבתקופת הקיץ, ימים 180-280 (יום 1 הינו בראשון לינואר 2015) רזרבת החשמל הנה פחותה מ- 1000 מגהוואט ויש ימים בהם הרזרבה קטנה עד ל 200 מגהוואט. בנייתו לגבי צפי העומס על רשת החשמל בשנת 2015, ניתן לראות שעבור ההספק המותקן במדינה, בשעות היום בקיץ פשוט לא יהיה חשמל זמין לטעינת מכוניות.



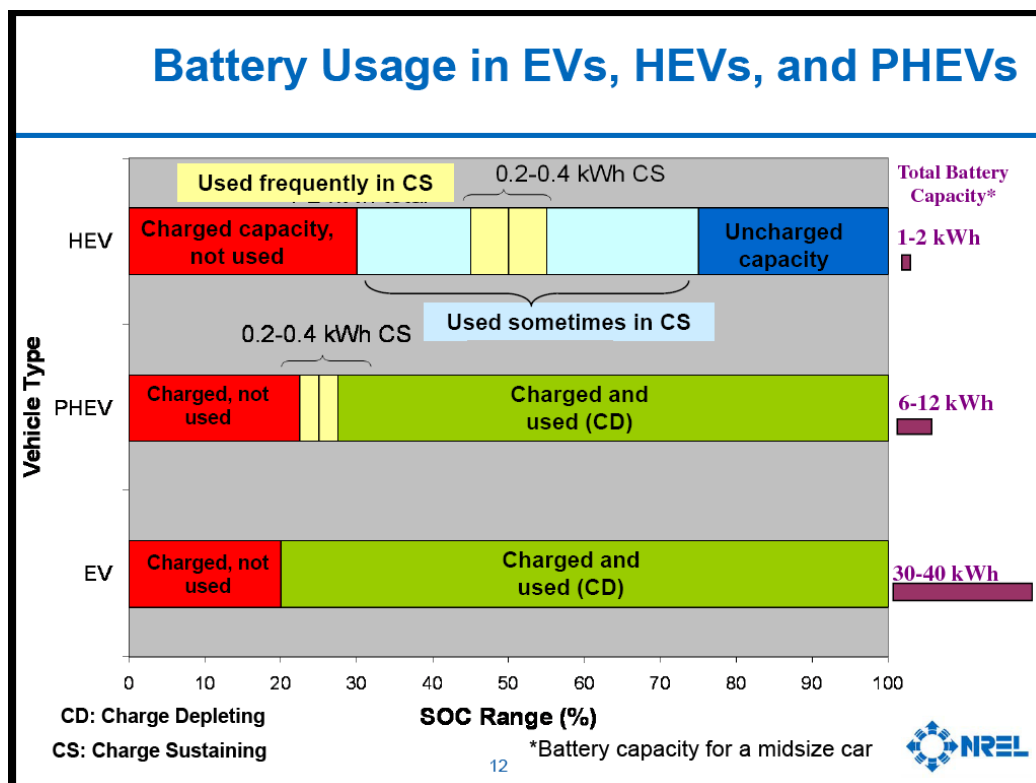
גרף מס' 2: זמינות הרזרבה במשק החשמל בישראל בשנת 2015

פרופ' עמנואל פלד, אוניברסיטת תל אביב: עלות ותכונות של סוללות לרכב חשמלי והיברידי

נדון במאפיינים מרכזיים של רכב היברידי (HEV), היברידי עם אפשרות טעינה מן הרשת (PHEV) וחשמלי טהור (EV). גודלו של המצבר קובע את טווח הנסיעה האפשרי ללא שימוש במנוע שריפה פנימית.

בגרף מספר 3 מתואר השימוש במטען האגור במצבר (SOC=State of Charge). סה"כ תכולת האנרגיה במצבר מסומן מצד ימין. בכל אחד מהמצברים קיים נפח טעינה אשר אינו מגיע לשימוש ישיר של המנוע (מסומן משמאל, באדום). ברכב מסוג PHEV או מעוניינים לנצל את האפשרות לטעינה מן הרשת על מנת לשפר את טווח הנסיעה. במצב כזה או מנצלים את רוב האנרגיה של המצבר, ומותירים מעט בלבד לטעינה ופריקה (צהוב בהיר). כאשר הרכב הוא חשמלי לחלוטין כל יום פורקים וטוענים למעלה מ-80% ממטען המצבר (השורה התחתונה).

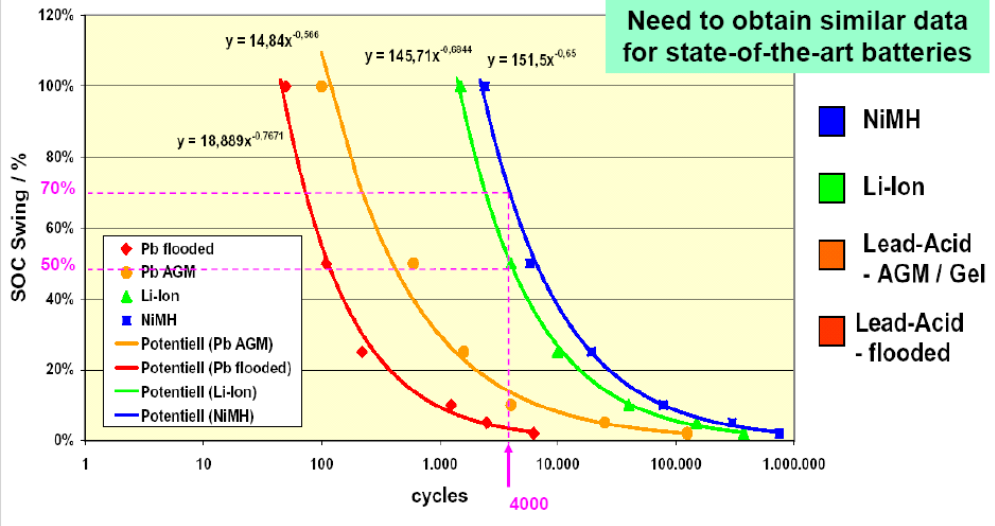
כאשר בוחנים מחזורי טעינה ופריקה של מצברים – ניתן לראות הבדל משמעותי בין סוגי המצברים השונים (גרף 4). ברור כי מחזורי הטעינה מגבילים את אורך חיי המצבר, וניתן לראות כי מבחינה זו, היעיל ביותר (בשנת 2003) הוא מצבר NiMH. בהנחה שמצבר מתרוקן ונוקק לטעינה בתדירות יומית, אורך החיים המסומן של 4000 טעינות הוא שווה ערך לכ-15 שנים. כיום מספר מצברי יון ליתיום נותנים מספר רב יותר של מחזורים מזה של מצבר NiMH.



גרף מס' 3: חלוקת המטען במצבר לפי סוגי מצברים

Battery Cycle Life Depends on State of Charge Swing

- PHEV battery likely to deep-cycle each day driven: 15 yrs equates to 4000-5000 deep cycles
- Also need to consider combination of high and low frequency cycling

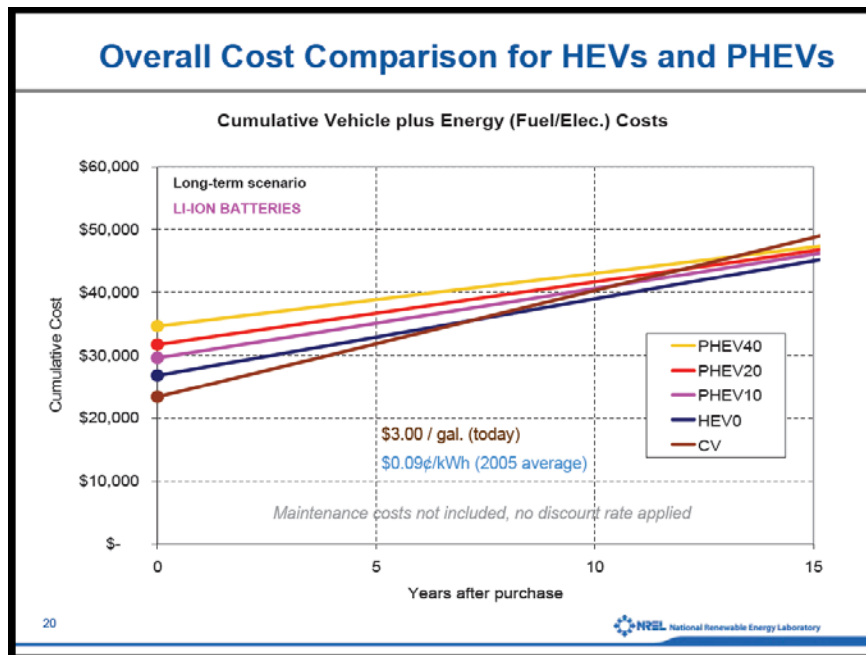


גרף מס' 4 – מחזורי טעינה ופריקה של מצברים מסוגים שונים (נכון ל-2003)

טבלה מס' 2: יתרונות וחסרונות של מצברים מסוגים שונים:

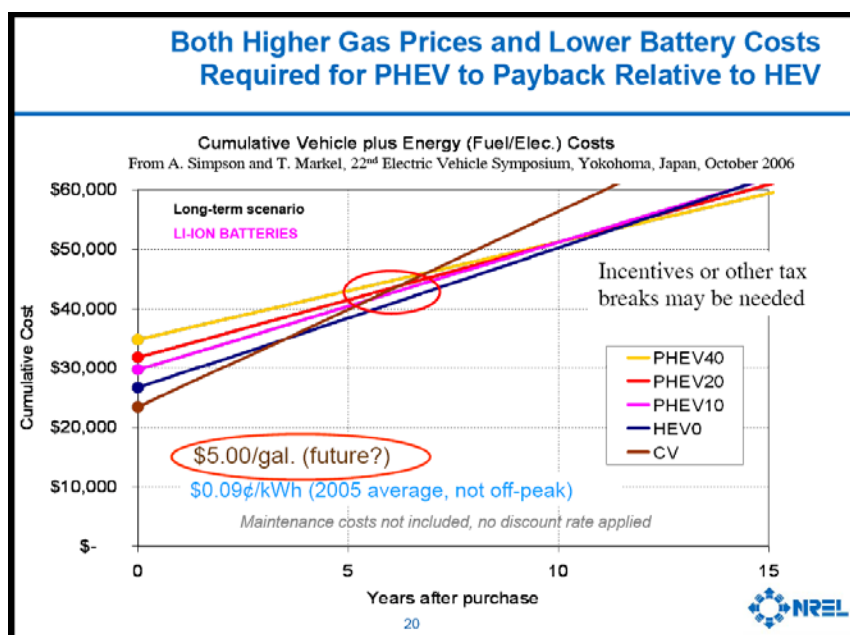
חסרונות	יתרונות	המצבר
בטיחות נמוכה, מחיר גבוה	Energy density	LiNiCoO₂/Graphite
HT longevity	מחיר סביר, בטיחות גבוהה, power density	LiMn₂O₄/Graphite
Low energy density (about 60% of LNCO)	מחזורי חיים, כוח, בטיחות גבוהה	LiFePO₄/Graphite
Lowest energy density (about 40% of LNCO)	מחזורי חיים, כוח, בטיחות	LiMn₂O₄/Li₄Ti₅O₁₂

טבלה מס' 2 מתארת יתרונות וחסרונות של מצברי ליתיום מסוגים שונים. מאפיינים המסומנים בירוק ובקו תחתי הם בטוחים יותר, כאשר מצבר מסוג **LiMn₂O₄/Li₄Ti₅O₁₂** הוא הבטוח ביותר. בטכנולוגיה הקיימת כיום – הרחבת טווח הנסיעה של מכונית PHEV מ-10 מייל (PHEV10) ל-40 מייל (PHEV40) עשוי להכפיל את מחיר המכונית. ניתן לצפות שעם שיפור הטכנולוגיה נראה ירידה במחירים.



גרף מס' 5 – השוואת עלויות כוללות בין רכב קונבנציונאלי, HEV, PHEV

גרף מס' 5 משווה את העלות הכוללת לצרכן של המכוניות, לאורך השנים. ניתן לראות כי משך השימוש שבו משתלם כלכלית לקנות רכב חשמלי מסוג כלשהו לעומת קונבנציונאלי (CV) הוא בין 7 ל 12 שנים. מתוך גרף מס' 5 אנו למדים כי עבור מחירי הקניה הידועים כיום בארה"ב, הנעים בין \$22,000 לבין \$35,000 לרכב CV או PHEV40 בהתאמה, בהינתן עלות גלון של דלק של כ- \$3 ניתן לראות כי מכונית חשמלית נטענת תהיה משתלמת יותר לאחר כ- 10 שנים. לעומת זאת, אם מניחים עליה במחיר הבנזין עד לרמה של \$5 לגלון, נקבל חיתוך של מחיר משתלם לאחר כ-4-7 שנים, תלוי בדגם (גרף מספר 6).



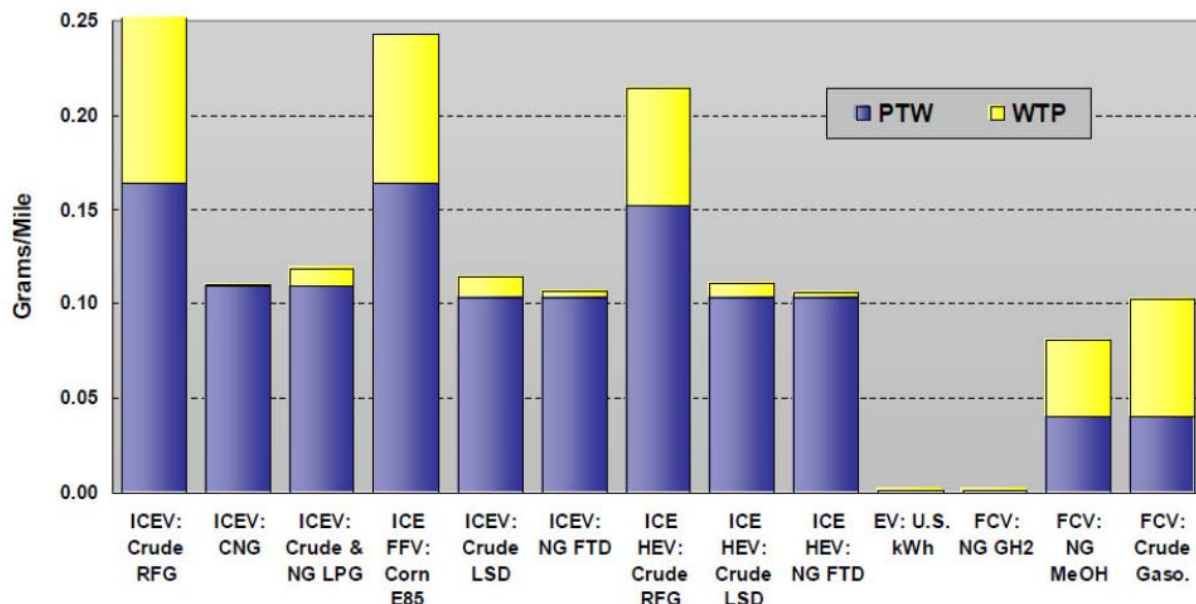
גרף מס' 6 - השוואת עלויות כוללות בעלות של \$5 לגלון דלק

שאלת השאלות היא מה יהיה בעתיד? בסוף הפיתוח הטכנולוגי, כמה אחוזים מכלי הרכב יהיו מכל דגם? זה כמובן יהיה תלוי במחיר, אשר קובע את שיעור החדירה לשוק. לדוגמא צפוי עבור PHV60 שתוספת מחיר של 70%-ו-30% (מעבר למכונית רגילה) תביא לחדירה לשוק בשיעור של 10%-ו-50% בהתאמה. ברור כי סובסידיה מכוונת ורגולציה יקדמו מאוד את תהליך החדירה לשוק, וכן קידום נושא של השכרת רכבים קטנים בתוך הערים.

עופר בן דב, אסיף אסטרטגיות: פוטנציאל שיפור איכות האוויר בסביבה העירונית

באזור גוש דן קיימת בעיה של תחמוצות חנקן, שמקורן קשור ישירות לזיהום תחבורתי. אנו רוצים להפחית את השלכות הרכב על איכות האוויר בעיר. קיים פוטנציאל רב לשיפור איכות האוויר בתוך העיר וזאת ניתן לראות כאשר מודדים את רמת הזיהום במהלך יום כיפור, למשל, כאשר נפח התחבורה יורד באופן גורף.

נתונים דומים התקבלו בעבודת המחקר של יובל ושותפיו, המנתחת את הנתונים שהתקבלו מתחנות הניטור באזור חיפה במהלך מלחמת לבנון השנייה³. בעבודה זו ניתן לראות כי הירידה בשיעור הזיהום הנמדד היא גבוהה יותר מהחלק היחסי שמשויך לסקטור התחבורה, וסביר שדבר זה נובע מהקרבה של תחנות המדידה, וכמובן הציבור, למקור פליטה זה. ניתן על-כן להסיק שהשיפור באיכות האוויר בסביבה העירונית כתוצאה משימוש רחב היקף ברכבים חשמליים יהיה משמעותי. הגרף הבא מציג טכנולוגיות רכב שונות ואת רמות הפליטה למייל נסיעה, כאשר את הרכבים החשמליים בקושי רואים בגרף; כלומר, כניסה של רכב חשמלי בצורה מאסיבית תאפשר להוריד כמעט ב-100% פליטות של מזהמים קלאסיים מתחבורה בתוך הערים.



גרף מס' 7 – רמות הפליטה של VOCs בטכנולוגיות רכב שונות

³ Yuval, Flicstein B., Broday D.M. (2008), **The impact of a forced reduction in traffic volumes on urban air pollution**, *Atmospheric Environment* 42 (3), pp. 428-440, 2008

Source: Well-to-Wheels Energy and Emission Impacts of Vehicle/Fuel Systems, Center for Transportation Research Argonne National Laboratory, presentation at the California Air Resources Board Sacramento, CA, April 14, 2003. <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/273.pdf>

רשימת ראשי התיבות המופיעים בגרף :

PTW – Pump to Wheels

WTP – Well to Pump

ICEV Crude RFG - Internal Combustion Engine Vehicle, using reformulated gasoline

ICEV CNG - Internal Combustion Engine Vehicle, using compressed natural gas

ICEV Crude & NG LPG - Internal Combustion Engine Vehicle, using natural gas based liquefied petroleum gas

ICE FFV Corn E85 - Internal Combustion Engine flexible-fueled vehicle, using ethanol (E85) blend

ICEV Crude LSD - Internal Combustion Engine Vehicle, using low-sulfur diesel

ICEV NG FTD - Internal Combustion Engine Vehicle, using natural gas based Fischer-Tropsch diesel

ICE HEV Crude RFG - internal combustion engine with hybrid electric technology, using reformulated gasoline

ICE HEV Crude LSD - internal combustion engine with hybrid electric technology, using low-sulfur diesel

ICE HEV NG FTD - internal combustion engine with hybrid electric technology, using natural gas based Fischer-Tropsch diesel

EV US kWh – Electric vehicle based on US electric grid mix

FCV NG GH2 - fuel cell vehicle, using natural gas based gaseous hydrogen

FCV NG MeOH - fuel cell vehicle, using natural gas based methanol

FCV Crude Gaso - fuel cell vehicle, using crude gasoline

על מנת לבחון מקרה של טיפול גורף בצי גדול, למשל צי המוניות הקטנות – רכבי דיזל שנוסעים קילומטרים רבים ורובם בתוך העיר, נעשה שימוש בנתוני הלמ"ס לצורך חישוב כמות הפליטות אשר ניתן להפחית בין השנים 2015 ל- 2020. תוצאות התרחיש הראו שניתן בדרך זו להביא להפחתה משמעותית בפליטות מזהמים בסביבה העירונית. חייבים לזכור שקיים כאן מרכיב של הסטת מזהמים. אנחנו לא נפטרים מהזיהום אלא מסיטים אותו אל מחוץ לעיר, במקום שנמצאת תחנת הכוח. טבלה מס' 3 מתארת נתוני פליטה מרכב קונבנציונאלי לעומת חשמלי, לפי נתונים מארה"ב. רשת החשמל בארה"ב אינה שונה משמעותית מהרשת בישראל מבחינת מקורות הייצור. אמנם קיים שם ייצור של חשמל ממקורות הידרו וגרעין, אבל היחס בין הייצור מפחם ומגז דומה לישראל.

טבלה מס' 3 – פליטות מזהמים ברכבים שונים

Lifecycle Emissions* and Fuel Use per Mile for Gasoline and EV Passenger Cars

	Conventional Car on RFG	Electric Car	Percent Reduction (increase)
	<i>Grams/Mile</i>	<i>Grams/Mile</i>	
Carbon Monoxide (CO) Total	2.906	0.113	96%
CO: Urban	2.767	0.005	100%
Volatile Organic Compounds (VOC) Total	0.209	0.036	83%
VOC: Urban	0.148	0	100%
Oxides of Nitrogen (NO _x) Total	0.212	0.778	-267%
NO _x : Urban	0.048	0.015	69%
Particulate Matter 10 (PM10) Total	0.047	0.077	-64%
PM10: Urban	0.032	0.022	31%
Sulfur Oxides (SO _x) Total	0.085	0.925	-988%
SO _x : Urban	0.008	0.002	75%
Carbon Dioxide	449	371	17%
Greenhouse Gases (GHG)	473	384	19%
	<i>BTU/Mile</i>	<i>BTU/Mile</i>	
Fossil Fuels	5827	4201	28%
Petroleum	4573	89	98%

Source: GREET 1.5 Transportation Fuel-Cycle Model, Argonne National Laboratory, Transportation Technology R&D Center, website

* Lifecycle emissions account for primary fuel recovery, preparation, delivery, and use by the vehicle. They do not account for energy used to produce the vehicle.

בטבלה ניתן לראות בעמודה הימנית – מספרים חיוביים מייצגים הפחתה בשיעור המזהמים, ואילו השלילים מייצגים עליה.

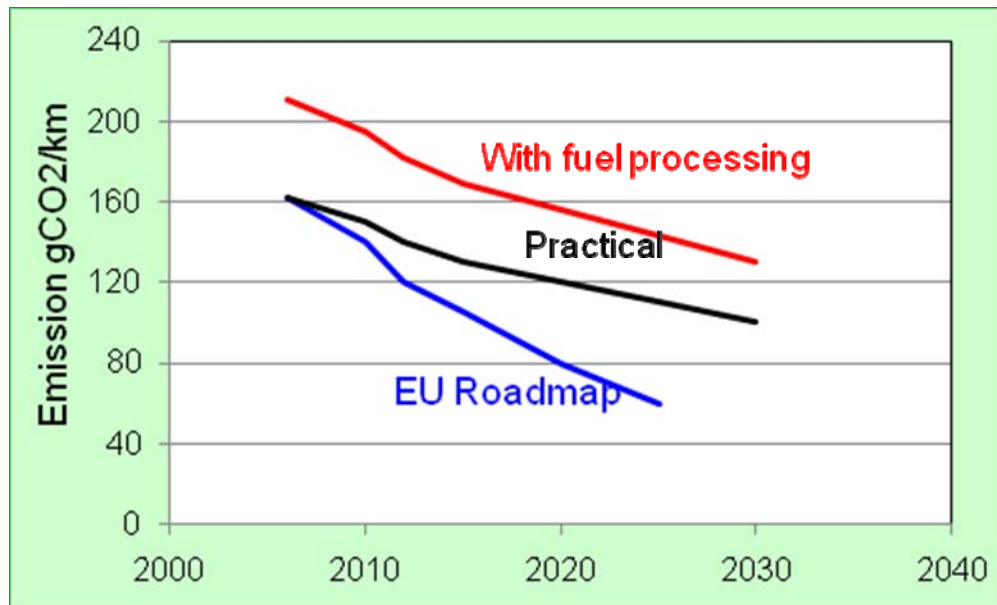
במדודות של מזהמים מסוג NO_x ו SO_x התקבלה עליה אבסולוטית בפליטות, שרובה באזורי ייצור החשמל ולא במרכזי אוכלוסיה. נתון זה חייב להיבחן אל מול השאלה מהם תקני הפליטה מתחנות הכוח, מהם אמצעי הניטור והבקרה המורכבים עליהן ומהי רמת השליטה בזיהום הנפלט. יש לזכור כי הפליטה מתרחשת בגובה רב, ומחוץ לעיר, בניגוד לפליטה מרכבים בסמוך לקרקע בתוך הערים.

סיגל שוסטרמן, אוניברסיטת תל אביב : מכוניות חשמליות : ברכה או בעיה לסביבה?

עבודת המחקר שלנו עסקה בהשוואה בין פליטת פחמן דו חמצני ממכוניות קונבנציונאליות על סוגיהן השונים, לעומת פליטת מזהמים ממוקד ייצור החשמל עבור מכוניות חשמליות Plug-in (לא היברידיות).

מכונת ממוצעת כיום פולטת 162 גרם CO₂ לק"מ נסיעה, כאשר ההערכה על היקף הפליטה העתידי המשוער נעשתה עבור השנים הקרובות (ראה גרף מס' 8).

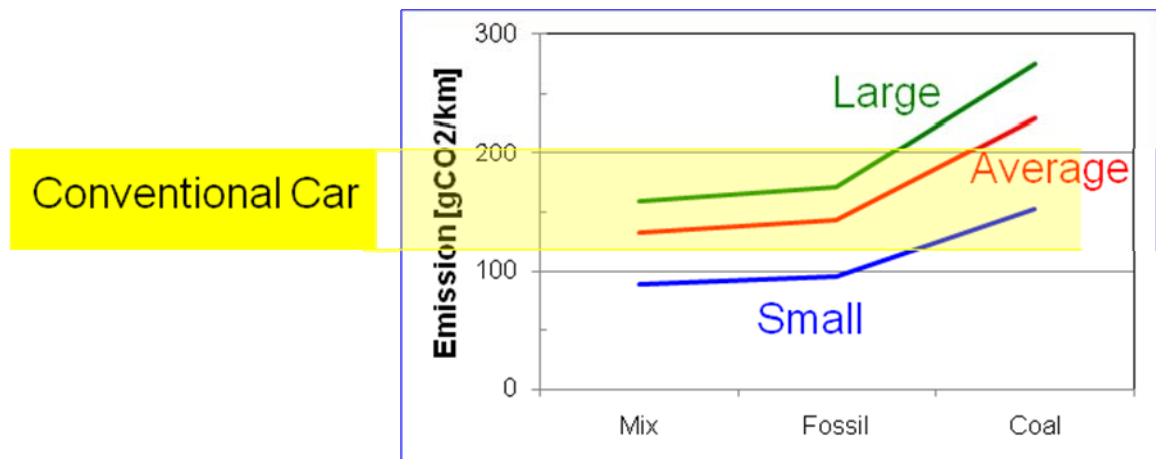
בגרף מס' 8 הקו הכחול מתאר את יעדי האיחוד האירופי המוצהרים להפחתה של 20-30% בפליטות. עד כה היו דחיות רבות בלוח הזמנים שנקבע ליעדים אלו, ולפיכך עודכן התרחיש לצפי מציאותי יותר, המתואר בקו השחור. הקו האדום מייצג את רמות פליטת המזהמים הכוללת, ובה פליטת המזהמים כתוצאה מעיבוד הדלק ועד לפליטה הנובעת מנסיעה במכונת. לשם ביצוע ההשוואה נדרשת פליטת מזהמים כתוצאה מייצור חשמל. תרחיש עולמי של ארגון IEA בחן את צריכת החשמל העולמית, בהנחה שלא יהיו שינויי מדיניות; על פי תרחיש זה רוב ייצור החשמל עד 2030 יגיע ממקורות מתכלים. תרחיש אלטרנטיבי של אותו ארגון בוחן מדיניות סביבתית אשר תתרום לפיתוח של אנרגיות מתחדשות. בתרחיש זה יש קצת ירידה בצריכת החשמל, אך לפיו עדיין רוב משק החשמל העולמי יהיה מבוסס על אנרגיות מתכלות - 78%.



גרף מס' 8: יעדי הפחתת פליטות פד"ח ל-20 השנים הבאות

לצורך הניתוח יש לציין מהיכן יגיע החשמל הנוסף הנדרש עבור מכוניות חשמליות: בתרחיש הבסיסי (Mix) - תמהיל מקורות האנרגיה לייצור חשמל לפי הניתוח של IEA עם תרומה קטנה של מקורות מתחדשים בתרחיש הביניים (Fossil) - תמהיל מקורות האנרגיה לייצור חשמל יהיה ממקורות מתכלים בלבד, מכיוון שקצב הגידול במקורות המתחדשים אינו מספיק כדי לתרום לתוספת עבור מכוניות

בתרחיש המחמיר (Coal) – כל החשמל הנוסף למכוניות חשמליות מקורו בפחם מכיוון שזהו המקור הזמין והזול ביותר.



גרף מס' 9: רמת הפליטות בתרחישי יצור חשמל שונים

בגרף מספר 9 מתוארות רמות הפליטה של פד"ח ממכוניות שונות (קטנה, בינונית וגדולה) בשלושת תרחישי ייצור החשמל השונים. במרבית המקרים (למעט מכונית קטנה בתמהיל אנרגיה משולב) נקבל פליטות הדומות במהותן או גבוהות יותר יחסית לטווח הפליטות של מכונית קונבנציונלית (המסומן בצהוב).

לסיכום – קיימת אפשרות להפחתת פליטות גזי חממה כתוצאה מכניסת רכבים חשמליים למשק התחבורה, אולם פוטנציאל ההפחתה מוגבל ותלוי בשיפורי הרכב, וכן בשיעור המקורות המתחדשים אשר ישמשו לייצור החשמל הנוסף. אנו טוענים שיש להשהות כניסה מסיבית של מכוניות חשמליות לשוק עד לאחר שיהיו מקורות אנרגיה מתחדשים בשיעור משמעותי במשק החשמל, אחרת עלול להיגרם נזק סביבתי מבחינת ייצור גזי חממה.

ד"ר זן וינשטוק, חברת Better Place בע"מ: השלכות הרכב החשמלי על מקטעי מערכת החשמל: ייצור, הולכה וחלוקה, וצריכת החשמל של רכב חשמלי

השפעת הרכב החשמלי על משק החשמל נבחנה בעבודה שביצע משרד התשתיות הלאומיות. מסקנתה העיקרית של העבודה הייתה שטעינת כל הרכבים הפרטים במדינת ישראל (במידה והללו יהיו רכבים חשמליים) תחייב הגדלת מערכת ייצור החשמל בשיעור של 14%. בעבודה זו, לא נבדקה ההשפעה הצפויה על מערכות ההולכה והחלוקה וכמו כן לא נלקח בחשבון קיומה של חברה כגון Better Place המנהלת את מערכת הטעינה.

בראיה שלנו קיימות שלוש אפשרויות טעינה:

- טעינה אקראית
- טעינה מכוונת שעה, המונעת ממחיר מדורג
- טעינה מנוהלת על ידי ניהול מרכז בקרה (כגון זה של Better Place)

צפי ייצור החשמל לשנת 2020 מוכתב על ידי התרחיש הנבחר. הערכות החברה מראות כי עבור:

- תרחיש 1 – נדרשת תוספת של 2345 MW

- תרחיש 2 – נדרשת תוספת של 1770 MW

- תרחיש 3 – אין צורך להוסיף למערכת הייצור.

גם במערכת ההולכה יידרשו שינויים. בתרחישים 1 ו-2 יידרשו השקעות בעלויות גבוהות, ואילו במקרה של תרחיש 3 אין צורך להוסיף דבר.

שדרוג מערכת החלוקה של החשמל ידרוש הוצאות בכל שלושת התרחישים, אך ההוצאות בתרחיש 3 הן מזעריות יחסית לשני התרחישים האחרים.

מתוך כל הנתונים ניתן להסיק כי טעינה מנוהלת אינה דורשת עלויות משמעותיות בשדרוג מערכת החשמל, להבדיל משני התרחישים האחרים.

ד"ר פרי לב און, קבוצת לב-און:

Overview of U.S. Federal Vehicle R&D: PHEV, EV and Charging Infrastructure

נסקור מעט את ההיסטוריה של ההתרחשויות בארה"ב בתחום הזה. בשל דאגות בנושא שינויי אקלים וזיהום אוויר מחפשים כל הזמן שיטות להפחתת צריכת הדלק, למרות שלאורך שנים רבות לא היה שינוי מהותי בעילות המכוניות מיום המצאתן. דגם המכונית החשמלית EV1 הוצג לראשונה בשנת 1990, כאשר היו אז שלושה דגמים של הרכב, ובסה"כ יוצרו 1117 מכוניות. התכנית הופסקה ב-2003, מסיבות שאינן ברורות ומלוות עד היום בתיאוריות קונספירציה רבות. המכוניות נמחצו, פיזית, ועד היום לא ברור למה.

במכוניות היברידיות (HEV) – כדוגמת הטויוטה Prius נקבעו מלכתחילה סטנדרטים לצריכת דלק שלא התאימו למציאות. חישוב העלות הכלכלית של מכונית כזו הוא בעייתי, משום שהוא תלוי במידה רבה באופי הנהיגה, סוג הטעינה, השפעות מזג אוויר ועוד משתנים רבים שאינם בשליטה. הדור הבא מסוג PHEV פותח אפשרויות חדשות. אין ספק שעם הזמן נראה החלפה של השימוש בדלק, ושימוש בטעינה מרשת החשמל בשעות שאינן שעות שיא. כבר היום יש שימוש נרחב לסוללות בטווח של 40 מייל. זהו טווח נסיעה אשר מספק את מרבית האנשים. הסוללות הן המרכיב המרכזי ברכב, וקיימים דורות חדשים של סוללות, המהוות את בסיס הפיתוח של המכוניות החשמליות. נכון לעכשיו המחיר עדיין יקר, ויש צורך בשינויים נוספים ובשיפורים טכנולוגיים.

ההערכה היא כי השינוי המהותי יגיע כעת, בעקבות המדיניות החדשה של הנשיא אובאמה. הערכות הן כי כסף רב יופנה לקידום הרכבים הנייל ורכיבי הסוללה המתקדמים.

בנושא הפחתת העומס וניהול העומס על מערכת החשמל – יש פתרונות היום – כגון מכשירים המנהלים את צריכת החשמל לפי העומס והעלות השעתית. קיים גם shock absorber, שמטרתו למנוע הטעינה של כל הלקוחות בבת אחת והעמסה פתאומית על המערכת.

פרק 4: דיון

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

- מהי העלות הצפויה של מכונית חשמלית לצרכן פרטי?
- מה תהיה עלות הנסיעה לק"מ, בהתחשב בעלויות החשמל, האחזקה והפחת?
- מהו טווח הנסיעה של רכב חשמלי בין טעינות/החלפות של הסוללות?
- כיצד להתמודד עם הגידול העצום בכושר ייצור החשמל שיידרש לתשתית הרכב החשמלי?
- כיצד להתמודד עם בעיות בטיחות הצפויות בזמן החלפת סוללות (ראה ביקורת של חברת Mercedes)
- מהו מחזור החיים של הסוללות (לרכב חשמלי ולרכב היברידי)?
- מהי התועלת הצפויה בשיפור איכות האוויר בעיר כתוצאה משימוש ברכב חשמלי?

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

אדי בית הזבדי: בהמשך לדברים שנאמרו עד כה, אני ממליץ לבצע בדיקה כלכלית גם לגבי רכבים היברידיים הקיימים כבר היום. אלו כלי רכב שנמצאים כבר היום על הכביש, ומניסיונו, הם בעלי יעילות טובה מאוד.

במכוניות הקיימות כבר היום, ניתן להגיע לנסיעה של 18-20 ק"מ עבור כל ליטר דלק. לא נדרשת להפעלתן השוטפת שום תשתית ושום שינוי טכנולוגי, ואחוז ניכר מצריכת הדלק הלאומית נחסך. בשל מיסוי מועדף, אין הפרש מחיר משמעותי בין רכב היברידי לבין רכב מקביל רגיל.

ד"ר שלמה ולד: ראשית יש לדבר על התפיסה הכוללת של מערכת התחבורה העתידית. יש צורך להקדיש מחשבה אמיתית ונכונה לגבי הנהגת מערכת תחבורה ציבורית "נקייה" חינם בתוך העיר, אשר נותנת אפשרות זולה ונוחה להגיע ממקום למקום. בתפיסה זו, הרכב הפרטי נשאר מחוץ לעיר. בתסריט הזה, אין טעם לקדם כלל פרויקטים של רכב חשמלי, משום שרכב חשמלי מחוץ לעיר הוא פתרון חלקי בלבד, ובמרבית המקרים אינו נוח. כאשר נוסעים מחוץ לעיר עלולים המצברים להגיע למצב של פריקה מלאה, מה שמקצר מאוד את אורך החיים שלהם. אם פתרון התחבורה הכולל מנטרל את הרכב הפרטי

בנסיעה בתוך העיר, משתנה התפיסה כולה, ואין צורך כלל לקדם רכבים מסוג Plug In. באופן כללי, מכונית נקייה בהגדרתה יכולה להיות נטענת או בעלת מנגנון עצמי לייצור חשמל. בסך הכול, בראיה כוללת אין הבדל משמעותי בהשוואה בין רכב חשמלי למינהו לבין רכב רגיל מהיבטים של רמות הזיהום או מבחינה כלכלית; נותר רק היתרון של עצמאות אנרגטית והפחתת התלות בנפט. בשל הקושי של רכבים מסוג Plug In לספק פתרון יעיל לנסיעה בין-עירונית, אני נוטה לחשוב כי זה לא הפתרון הרצוי.

פרופ' יוסף פרשקר: באופן כללי, תחבורה עירונית ומערכות תחבורה עירוניות הן בעיה מסובכת מאוד. מחקרים מראים כי הפחתה במחיר הנסיעה בתחבורה הציבורית, ואפילו אם הנסיעה תהיה חינם, לא תשנה בהרבה את כמות הנסיעות בתחבורה ציבורית. איכות השירות, לעומת זאת, כן מעודדת נסיעה בתחבורה ציבורית. באופן כללי, שאלות מערכות תחבורה ציבוריות הן שאלות נפרדות וסבוכות, ואינן מענייניו של דיון זה.

בנושא הרכב החשמלי אשר מונע בהנעה מכאנית - נתקלתי בספרות בטכנולוגיה שלא הוזכרה כאן: מנוע של בעירה פנימית המנותק ממערכת תמסורת ומניע גנרטור, עובד בנקודת אופטימום ומייצר חשמל. החשמל הוא זה אשר מניע את המכונת - לרוב בהנעה ישירה על הגלגלים. הטענה היא שמערכת מסוג זה חוסכת אנרגיה פוסילית, עד כדי כך שהרכב צורך 35% בלבד מצריכת דלק פוסילי של רכב קונבנציונאלי. במערכת כזו אין אבדנים כתוצאה מחלוקה, אין הגבלת טווח, ואין סיבוכיות מכאנית.

אדי בית הזבדי: לעניין ההשקעה בתשתיות - ברור כי במקרים של רכב היברידי או רכב שמייצר את האנרגיה לעצמו אין צורך בתשתית נוספת כלל. עבור מקרה של רכב חשמלי דרושה השקעה עצומה, בהיקף של מיליארדים, בתשתית. כמו כן אני רוצה לשוב ולחדד את נושא מערכת החשמל של מדינת ישראל. למערכת כיום יש, ועוד צפויים להתווסף, הרבה לקוחות וצרכנים - ביניהם חישוב רכבת ישראל, רכבות פרבריות ועוד, בנוסף למכונות חשמליות. צריך לוודא שהמערכת מסוגלת לספק את החשמל הנדרש.

אילנה טלר: עמדות טעינה כפי שתוארו בדיון הרקע, נותנות מענה ל- 90% מצרכי הטעינה. ברצוני לשאול בנוגע לתחנות להחלפת מצברים. האם יש להן השלכות סביבתיות? היכן הן מיועדות לקום? על איזה שטח קרקע מדובר?

ד"ר דן וינשטוק: המיקום הטבעי לתחנות החלפת מצברים הוא כמובן בתחנות הדלק הקיימות. מבחינת שטח - הדבר אפשרי, יהיה צריך לפנות מקום קטן בתוך שטח תחנת הדלק. אפשרויות נוספות למיקום תחנות החלפה הן חניונים של מתחמי קניות, תחנות רענון לאורך כבישים וכיוצ"ב. באזור פתוח נוכל להרשות לעצמנו התפרסות על פני שטח נרחב יותר. ברור כי אנו מעדיפים שימוש בתשתיות קיימות. לנושא ההשפעה על הסביבה, תקנים וכדומה - מכיוון שהנושא הוא חדש מבחינה טכנולוגית, אין עדיין ידע בתחום ואין ניסיון. אנו במרוץ נגד הזמן להגדרת הצרכים, הרגולציה הנדרשת והתקנים המתאימים.

ד"ר מרים לב און: אבקש לדון בשני נושאים עיקריים -

תאי דלק - נושא ה-Freedom Car בארה"ב התחיל מתאי דלק. נכון להיום, רוב מאמצי המחקר בארה"ב מופנים לפיתוח תאי דלק, וכספים רבים מוזרמים לקידום הנושא. זה המנגנון שמאפשר פליטות נמוכות ביותר, למרות שתאי הדלק עצמם מונעים בדלק דיזל (הידוע בישראל בשם סולר). מן הסולר מייצרים מימן, והוא זה שמפעיל את תא הדלק.

זיהום אוויר בתוך ערים - אם ייכנסו רכבים חשמליים לשימוש נרחב - יפחת אולי הזיהום אבל לא יפחת העומס - עדיין יהיו פקקי תנועה. חשוב לזכור כי עיקר הזיהום הנובע מחמרים אורגניים נדיפים (VOC=Volatile Organic Compounds) מגיע מאידוי של דלק, וממש לא מפליטות הבעירה. ברור

שכאשר אין דלק, נצפה לראות ירידה ב-VOC, אולם גם כשאין מנוע בעירה פנימית, עדיין ישאר נידוף של VOC, ולא נצליח להפחית אותו לחלוטין.

פרופ' עמנואל פלד: בחזית הפיתוח ביפן כיום נמצא רכב מסוג PHEV לטווח קצר מ-40 מייל. באמצעות רכב כזה, מי שנוסע פחות מ-40 מייל לא יצטרך למלא דלק כלל. הבעיה המרכזית היא המחיר, ולמרות המיסוי המועדף, עדיין ישאר הפרש משמעותי במחירים בין רכב רגיל לבין רכב מסוג PHEV. זה יהיה למעשה בשלב ראשון רכב לעשירים בלבד. לאנשים בשכבת האוכלוסייה הזו יש במרבית המקרים בתים עם חניה בצמוד לבית, ובטעינת לילה בקצב איטי אפשר פשוט לחבר את הרכב לשקע החשמל. עד שנגיע לשלב החדירה לשוק שבו נקבל עומס מוגבר על הרשת, יהיו כבר פלאגים חכמים שינהלו את הצריכה מהרשת.

נושא נוסף שיש לתת עליו את הדעת הוא החלפת סוללות וביטוחות של כל המערכת. כיום סוללות מסוג ליתיום יון שולטות בשוק, בהיקף של 6 מיליארד דולר בשנה. על פי הסטטיסטיקה, הסיכויים לשרפה או להתפוצצות של סוללה כזו תוך כדי עבודה נעים בין 1 ל-10 לכל מיליון תאים בשנה. בסוללה המכילה 5000 תאים – אי אפשר להתעלם מהסיכון, אשר יכול להגיע עד כדי 1:200 עד 1:2000. שריפה או פיצוץ של סוללה מסוג זה במחשב נייד או מכשיר טלפון סלולארי אינה נעימה, אבל לא מסכנת חיים. ברכב הנמצא בנסיעה זו בעיה בטיחותית משמעותית. טכנולוגיה של מצבר בטוח יותר (למשל $\text{LiMn}_2\text{O}_4/\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ או $\text{LiFePO}_4/\text{Graphite}$) קיימת כיום עם 40% עד 60% מטווח הנסיעה של מצבר ליתיום יון רגיל. הטכנולוגיה, כאמור, עדיין לא הוכיחה את עצמה, אבל אין ספק כי מבחינה בטיחותית יהיה לה יתרון. כל מהלך של פירוק והרכבה של מצבר ברכב הוא פוטנציאל לבעיה בטיחותית, כי אם בטעות נגרם קצר, הטמפרטורות עולות מהר מאוד, ועלול להיגרם פיצוץ מייד. בעוד שסוללה של מחשב נייד עלולה לתת ניצוץ של 50A, ניצוץ של סוללת רכב חשמלי מתבטא במאות עד אלפי אמפרים ומסוכן מאד.

רכבים המונעים באמצעות תאי דלק עולים היום פי 2 או 3 מרכב רגיל. יש לצפות להוזלה ניכרת כדי וכאשר אנשים יתחילו לרכוש ולהשתמש ברכבים אלו. ניתן להשתמש בדלק קונבנציונאלי כמקור למימן עבור תא הדלק באמצעות reformer. צופים שניצולת של רכב מונע בתא דלק תהיה כפולה מזו של רכב המונע במנוע בעירה פנימית. עובדה זו תפצה במלואה על העלות הגבוהה של המימן יחסית לדלק פוסילי. כיום רוב יצרני הרכב בעולם מפתחים רכבים מונעים בתאי דלק עם טווח נסיעה מעל 400 ק"מ בין מילוי למילוי (וצפויים להגיע ל 600 ק"מ). מחקרים אירופאים מראים שאם לוקחים בחשבון את כל האספקטים השונים (כולל סביבתיים) עלות השימוש בתאי דלק מוזני מימן לתחבורה תהיה דומה לעלות השימוש בדלק פוסילי.

ד"ר שלמה ולד: מנוע תא דלק עם מימן הוא גדול וכבד, ולכן אינו ישים לרכבים פרטיים. לעומת זאת, ניתן להשתמש בו להנעה של אוטובוסים כאשר על גג האוטובוס ניתן למקם מיכלי מימן גדולים אשר יספקו הנעה למסלול נסיעה של יום שלם. מבחינה בטיחותית – אם משווים בעירה של בלוני מימן כאלו לבעירה של כמות שווה של גז או דלק – למרות המיתוס – דווקא המימן יבער בצורה פחות מסוכנת.

ד"ר פרי לב און: ברצוני להביא ציטוט של מומחי מרצדס (Thomas Weber) מתוך העיתון "דה מרקר" – הטוען שההחלפה של מצברים של Better Place מסוכנת ולא ניתנת לביצוע⁴. על פי מה שאומרים היום בארה"ב – הגידול בצריכת החשמל במשק עקב הכנסה לשימוש של רכבים חשמליים היא מיתוס. לא צופים שתהיה שום בעיה לרשת החשמל לעמוד בעומסי הטעינה העודפת. זוהי בעיה של ניהול ביקושים.

ד"ר שלמה ולד: במקרה של רכב חשמלי לחלוטין, כמו במודל המוצע על ידי Better Place, אני מעריך כי הנהג הממוצע לא יהיה מוכן לקבל מצב בו הוא חיבר את המכונית לטעינה והמכונית לא נטענה, עקב שיקולי הסטת עומס.

ד"ר דן וינשטוק: בהתייחס לדאגה לגבי העמסת יתר של רשת החשמל, יש לזכור כי רכבת קלה אינה מהווה הספק משמעותי (כ- 500 קילו-וואט לכל קרון) וכנ"ל רכבת חשמלית (הקטר צורך 5 מגוואט בלבד).

בהקשר לדרישה לטעינה מיידיית - אין משמעות ליציאה מהירה תוך שעה אחת ולטעינה דחופה. מבחינה סטטיסטית מרבית האנשים אינם יוצאים באופן ספונטני מהבית. במידה ונוצר צורך לטעינה דחופה, ניתן להשתמש במנגנון שיהיה קיים של "טען אותי עכשיו", המאפשר טעינה מיידיית, ללא תלות בעומס על רשת החשמל.

טווחי הנסיעה של המכונית אמנם מוגבלים, ולצורך זה יוקמו 120 תחנות החלפת מצברים, אשר יענו בדיוק על הצורך הזה ויאפשרו החלפת מצבר מהירה.

במודל העסקי של Better Place מתבצעת מכירת הרכבים גם מול קציני רכב של ציי רכב גדולים. אין לנו מגע רק עם הצרכן הסופי. מדובר על החלפה מאסיבית של מספר רב מאוד של רכבים, דרך מקומות העבודה, כלומר תהיה כניסה משמעותית לשוק בתוך זמן קצר מאוד.

סעד עמרי: מדינת ישראל מתאפיינת ברמת מינוע ונסועה שנתית נמוכים יחסית לנצפה במדינות המפותחות. יחד עם זאת אנו עדים לעומסי תנועה כבדים באזור גוש דן שילכו ויגברו ללא פתרון אמיתי לנושא של התחבורה.

אחד הפתרונות שמשדר התחבורה מקדם הינו שימוש בתחבורה הציבורית במקום הרכב הפרטי. אנו מקדמים בברכה את הפיתוח של רכב חשמלי הלא מזהם כפתרון משלים לשימוש המסיבי בתחבורה הציבורית לנסיעות יום יומיות.

⁴ http://www.themarker.com/tmc/article.jhtml?log=tag&ElementId=skira20090310_1069865

ד"ר דן וינשטוק: חברת Better Place מעוניינת להצליח מבחינה מסחרית בישראל, אבל זה לא המוקד היחיד שלנו.

לגבי רכבים גדולים אנו כחברה קיבלנו החלטה לא להיכנס לפלח השוק הזה אבל יש להבין כי השוק קיים, וכנראה אף מתפתח. באולימפיאדה בבייג'ין בקיץ 2008 הייתה כל התחבורה מהכפר האולימפי ואליו מבוססת על אוטובוסים חשמליים, ובעזרת רובוט החליפו סוללות תוך 7-8 דקות, בעוד שלתדלק אוטובוס בסולר לוקח 12 דקות. זהו פרויקט קל יחסית ליישום, וכמוהו לגבי כל רכב אשר נוסע במסלול סגור. במצב כזה ניתן להשאיר את הרכב בעמדת טעינה, ולמעשה לעלות ולהמשיך לנהוג על רכב אחר. לעניין החלפת הרכבים - יש אנשים רבים אשר נוהגים להחליף את רכבם ממילא אחת לשלוש או ארבע שנים. המטרה שלנו היא לשכנע אותם לבחור את הרכב הבא שלהם כך שיהיה חשמלי.

פרופ' גרשון גרוסמן: בנוגע לאבולוציה של כלי הרכב, אפשר לתת דוגמא מעולם המקררים: במקררים הישנים נהוג היה להשתמש במערכות הקירור בגז פריאון מטיפוס CFC. כאשר הוצא גז ה-CFC משימוש בשל השלכותיו על הסביבה ועל הפגיעה בשכבת האוזון, עברו לשימוש בגז קירור חליפי במקררים החדשים. ברור כי אף אחד לא זורק את המקרר הישן שלו בו ברגע, אבל בבוא היום כאשר מתעורר צורך להחלפת המקרר - הצרכן יכול להחליט מה יותר זול ומה יותר טוב, בפרט אם דאגו על ידי תקינה להוציא את המקררים הנחותים מהשוק לחלוטין.

ד"ר ברנדה פליקשטיין: אנו בעיצומה של עבודת מחקר בנוגע להשפעות הוצאת הזיהום מתוך העיר אל מחוץ לעיר, והעברתו למעשה לתחנות ייצור החשמל. מתוצאות המחקר הראשוניות ניתן לראות כי במרבית המזהמים נצפית ירידה בריכוזים, אולם בחלקם יש דווקא עליה. בנוסף, יש בעיה של כימות ומתן משקל כלכלי לכל טון מזהם. אנו מתבססים על הערכות של השוק המשותף, אשר מאפשרות לתת מחיר לכל מזהם. כך אנו מנסים לבצע הערכה כוללת לשינוי הסביבתי הכולל העשוי להיגרם כתוצאה מהכניסה של הרכב החשמלי. מחקר כזה יוביל אותנו בסופו של דבר לידע יותר טוב מזה שיש לנו כיום. בפליטה של מזהמים מתחנת כוח המצוידת בארובה גבוהה יש פזור ודילול ויש לקחת זאת בחשבון כאשר מוציאים את הזיהום מהעיר.

בנוסף, חשוב לזכור כי הפחתה של צריכת הדלק גם מקטינה את הפעילות בתחנות הדלק, המהוות גורם מזהם בפני עצמן. נוכל לצפות לראות שיפור בזיהום שנובע מהתחנה עצמה, מההובלה של הדלק אל התחנה וכמובן גם מפעילותם של בתי הזיקוק.

זאב שדמי: למיסוי יש שתי מטרות מרכזיות - יצירת מקורות הכנסה למדינה אך גם ניהול ביקושים וניהול עומס. מס על הדלק משפיע ישירות על העלות השולית של הנסיעה, ויש בכוחו לעודד אנשים לנסוע פחות, או לבחור באלטרנטיבות אחרות כגון תחבורה ציבורית. רכב חשמלי שאין עליו מיסוי או שהמיסוי מוקטן מעודד אנשים לנסוע יותר ברכב ולייצר גודש, ושוב אנו חוזרים לבעיה של עומס הכבישים. חייבים לגרום לאנשים לחשוב היטב על השימוש, ולשלם את עלויות הנסיעה במלואן, כולל העלויות החיצוניות. לא מעשי שיהיו שני תעריפי חשמל - אחד לטעינה ואחד לשימוש ביתי. אפשר להפעיל מיסוי ישיר על נסועה כגון כביש אגרה או אגרות גודש. יש מדינות שבהן יש תהליכי הכנה מתקדמים של מיסוי כללי על נסועה בתעריפים שונים, שעות שונות וכו' כך שהמשתמש נושא בעלויות הנסיעה החיצוניות.

בעניין החלטות לעידוד וקידום רכב חשמלי, המדינה יכולה לתת הפחתת מס משמעותית כאשר יש מעט רכבים כאלה. כאשר נראה חדירה לשוק במספרים גדולים תצטרך להתקבל החלטה לשינוי מבנה המס או ביטול ההנחה.

ד"ר צבי רוזנמן: בנוגע לתאי דלק – הייתי מעורב במחקר שבו השוו יעילות אנרגטית וזיהומים הנפלטים מתאי דלק או מרכב חשמלי – עבור כל סוגי הפליטות ובכל נושא היעילות האנרגטית לגבי מקורות הדלק ועד לשימוש בנהיגה עצמה. בכל המקרים שנבחנו, היה הרכב החשמלי יעיל יותר וגורם לפחות פליטות מאשר רכב המונע בתאי דלק. זו המסקנה שלנו. לגבי האינטראקציה בין רכב חשמלי ותשתית החשמל במדינה – לקראת שנת 2015 נערכת חח"י לביקוש הצפוי, ונכון לעכשיו בתחזיות לא נלקחה בחשבון המכונית החשמלית. אנחנו רוצים לראות אם צפויה השפעה בהיקף גדול של המכונית החשמלית על המערכת, וברור כי בקיץ יש בעיה ואין מנוס מהפעלה של מערכת בקרה כלשהיא. יש יתרון עצום בכניסת המכוניות החשמליות כלקוח לשוק החשמל, שכן דבר זה יגרור אחריו ירידה במחיר החשמל הממוצע עבור כל צרכני משק החשמל. המחיר הממוצע ירד כי תעריף החשמל כולל בתוכו את כל תחנות הכוח, שבחלקן הגדול אינן עובדות בשעות שבהן אין עומס. במידה ונוכל לנהל את השימוש כך שהתחנות יעבדו יותר שעות עבור הרכבים הנ"ל ובעיקר בשעות השפל, נוכל להביא למעשה להוזלה במחיר החשמל למשק. התעריף הממוצע ירד מכיוון שהתחנות הקיימות יפיקו חשמל בצורה טובה יותר, ויהיו להן הכנסות נוספות. כל זה תקף רק במצב שבו יתאפשר ניהול של הביקוש ולא ייווצר מצב של ביקוש עודף בשעות העומס, כלומר לא יהיה צורך לעבות את מערך ייצור והולכת החשמל במיוחד בגלל המכוניות, והן יוטענו באמצעות המערך שכבר הוקם.

פרופ' עמנואל פלד: אני חולק עליך משום שתא דלק הוא בעל זיהום אפס. לכן הוא עדיף.

פרופ' גרשון גרוסמן: אם חברת חשמל יודעת שיש לה צרכן גדול לשעות הלילה היא תוכל להפעיל תחנה מסוג של עומס בסיס, שהיא יותר יעילה ופחות מזהמת. זה יתרון גדול.

ד"ר דן וינשטוק: יש פה יתרון נוסף השמור ללקוח בעל גמישות מירבית - בעת נפילה לא מתוכננת של תחנת משנה יש אפשרות להפעלת תוכנית של השלת תדרים. מנגנון כזה מתאים בהחלט ל-Better Place, משום שאנו יכולים לשלוט על עומס הטעינה בצורה מיידית ופשוטה. בחישוב פשוט ניתן לראות כי עבור 100,000 מכוניות הממתינות לטעינה, כאשר הטעינה מתבצעת ב-6 קילוואט עבור כל מכונית, מדובר על עומס כולל של 600 מגהואט סה"כ. זהו בעצם עומס של תחנת כוח, שהחברה יכולה לתמרן על פי נוחות הייצור והעומס של חברת החשמל.

אפשרות נוספת שאפשר להביא בחשבון היא האפשרות ההפוכה של מסירת חשמל למערכת, ע"י פריקה של הסוללות, כאשר יש תקלה או בעיה יזומה של חח"י. יש לזכור כי רכב חשמלי נוסע כ-1.5 שעות ביממה ועומד 22.5 שעות. זה אפשרי בתיאום מראש של חח"י מול Better Place.

זאב שדמי (הערות שנמסרו לאחר המפגש):

1. לדעתי, אסור לקבוע שקיים יתרון לרכב חשמלי ללא התניות וסייגים: בודאי שאין יתרון כלכלי, שכן ביחסי המחירים הקיימים היום, עלות נסיעה ברכב חשמלי, המהוות גם את עלות הרכישה של הרכב, יקרה ברוב התרחישים. התרחיש של נסועה גבוהה עדין לא נבחן בפועל! אני מטיל ספק בכך שרכב חשמלי יצליח לבצע קילומטרז' גבוה ללא דגרדציה של הסוללות, ולכן החישוב שנעשה הוא תיאורטי ומחייב צבירת ניסיון והוכחה. בנוסף, החישובים הכלכליים נעשו על בסיס מחירי בנזין הכוללים כמעט 100% מס, לעומת מחירי חשמל שאינם מחירי שעות שיא, בתוספת מע"מ בלבד.
 2. מנגנון החלפת הסוללות הוא להערכתי בלתי ישים, שצפוי שיכשל. יצרני הרכב לא יהיו מוכנים להשקיע בפיתוח רכב המיועד לכך, בגלל ביקושים לא ודאיים, ולכן לא יהיו בשוק כלי רכב בעלי סוללות נשלפות. אני גם משער שקוני ומשתמשי הרכב החשמלי יהיו כאלו שהצרכים שלהם אינם דורשים נסועה רבה, ויחד עם זאת יש להם אפשרויות טעינה נוחות (לדוגמה, ציי רכב של ספקי שרות, חברות היי-טק שמספקות חניה לעובדים, פרטים שיש להם חניה מסודרת מתחת לבית).
 3. למרות שניתן לקבוע תקנים ותקנות שיחייבו טעינת חשמל רק מהתקנים מסוימים ובשעות מסוימות ובדרך זאת גם לגבות מחיר ייחודי לחשמל לרכב השונה ממחיר החשמל לצריכה תעשייתית וביתית, להערכתי לא יהיה ניתן לכפות או לאכוף אותם (לכל "מחיקון" ימצאו "אנטי-מחיקון"). רבים יעשו את מה שיצרני הרכב החשמלי מציינים (בצדק!) כאחד היתרונות הבולטים שלו - טעינה מכל שקע ביתי.
 4. מגבלת כושר ייצור החשמל בישראל היא בעיה אמיתית: חייב להימצא פתרון להגדלת הרזרווה שבין כושר הייצור והביקוש, ע"י (1) הגדלת כושר ייצור (2) התייעלות אנרגטית ו-(3) שימוש מתרחב והולך במנגנון תעו"ז על מנת להעביר שימושים משעות שיא לשעות שפל.
 5. עשוי להתפתח סוג אחר של רכב חשמלי, הנושא בתא המנוע שלו את הגנרטור (בנזין או סולר) המייצר את החשמל לטעינת הסוללה. לרכב כזה יש יתרונות רבים, ויש הטוענים שהוא יכול לספק נסועה הדומה לרכב בנזין שכיח ב-20% מצריכת הדלק.
- לסיכום: אני הייתי מנסה לסכם את המסמך באמירה **שיש לתת סיכוי לרכב חשמלי**, אך בו בזמן לצפות להתפתחויות נוספות, הן בתחום ההנעה הקונבנציונלית שטרם אמרה את המילה האחרונה (טוענים שיש פוטנציאל להשיג שיפור של עד 50% בצריכת דלק לקילומטר במנוע בנזין!), בקומבינציות שונות ובשיטות שונות של הנעה חשמלית עם מנוע שריפה פנימית וכלה בכלי רכב חשמליים טהורים.

טל גולדרט וד"ר אופירה אילון (נתונים שעובדו ונמסרו לאחר המפגש):

אין ספק כי כל נושא הדיון, בין אם מדובר במכונית היברידי או חשמלית, אינו נוגע בבעיה המרכזית של ריבוי השימוש ברכב פרטי לעומת השימוש במערכות תחבורה ציבורית. זהו נושא נפרד שיש לדון בו. נושא הגודש והעומס בכבישים נידון במסמך סדרי עדיפות לאומית בנושאי איכות הסביבה של מוסד שמואל נאמן⁵.

מנגנון הליסינג והרכב הצמוד כחלק מהטבות השכר הנפוץ כיום במדינת ישראל, מעמיס למעשה את עלויות הטעינה על המעביד. במקרה כזה, בדומה למקרה שבו אין הנוהג ברכב נושא בעלויות הדלק, אדיש המשתמש ברכב למחיר, ולפיכך גם לשעת הטעינה ולתעריף.

על מנת לחשב עלויות היצונית של השימוש ברכב מסוג זה או אחר, השתמשנו בנתונים אשר הוצגו במהלך הדיון, וכן במקדמי העלויות אשר משמשים את רשות המיסים להערכת עלויות היצונית של מזהמים שונים הנפלטים מכלי רכב.

בטבלה הבאה מתוארות העלויות אשר התקבלו:

טבלה מס' 4 – השוואה בין פליטות מזהמים ברכבים שונים

ריכוז המזהם (גרם לק"מ נסועה)					מקדם עלות ⁶ (יורו לטון)	המזהם
זיהום האוויר העירוני (נתוני ארה"ב)	מזהמים הנפלטים מרכב חשמלי		מזהמים הנפלטים מרכב מנוע שריפה פנימית			
	נתוני ארה"ב	ע"פ חח"י (תחנת מחז"מ)	נתוני ארה"ב ⁸	ע"פ חח"י ⁷		
0.001	0.58	0.03	0.053	1.65	2304	SO ₂
0.009	0.48	0.51	0.132	0.54	10000	NO _x
0.003	0.07	0.16	1.806	1.43	500	CO
	231	173	279	285	30	CO ₂
	0.02	0.017	0.13	0.65	900	HC
0.014	0.05	0.007	0.029	0.1	20000	PM
0.37	14.09	11.41	10.59	21.05		סה"כ עלות (יורו ל 1000 ק"מ נסועה)

ניתן לראות כי העלות היצונית לפי חישובי חח"י מצביעה על פער של כמעט פי שניים לטובת הרכב החשמלי (21 לעומת 11.41 יורו ל 1000 ק"מ נסועה). לעומת זאת, בחישובים שהציג מר בן דב, ההבדלים מצביעים על כך כי בחלק מהמזהמים יש עליה בפליטות הרכב החשמלי ולכן מחיר העלויות היצונית דומה, עם פער קטן דווקא לטובת המכונית הקונבנציונאלית.

ד"ר פרי לב און (הערות שנמסרו לאחר המפגש):

אין להתעלם מבעיית הקרינה האלקטרומגנטית הקיימת ברכבים חשמליים והיברידיים כאחד. ראה סקירה בנספח 4.

⁵ [סדרי עדיפות לאומית בנושאי איכות הסביבה – מסמך עמדה 6 - כרך ג- תחבורה וסביבה בישראל 2008- דו"ח מעקב](#)

⁶ על פי הודעה לעיתונות מטעם רשות המיסים

<http://www.mof.gov.il/TaxesPage/Lists/List2/Attachments/1/2009-701.doc>

⁷ הנתונים מתוך הרצאתו של ד"ר קוטיק

⁸ הנתונים מעובדים מתוך הרצאתו של מר עופר בן דב, טבלה מספר 3 לעיל

ד"ר דן וינשטוק (הערות שנמסרו בתגובה לדברי המשתתפים לאחר קריאת טיוטת הדו"ח):

בניגוד למחשב נייד, פירוק והרכבה של מצבר אינם נעשים ע"י משתמש הקצה אלא ע"י רובוט בסביבה לא מאוישת. החלפת המצברים בהחלט ניתנת לביצוע. מתקן הדגמה של Better Place ביוקוהמה הדגים לאלפי מהנדסים יפאניים (שמבינים דבר או שניים ברובוטיקה) את היתכנות ההחלפה.

בתגובה להערה כי הנהג הממוצע לא יהיה מוכן להמתין לטעינה בשעות של עומס נמוך: הנהג הסביר לא מתעקש שכמות האנרגיה במצבר תגדל בכל פעם שהוא שב למכונית, כשם שאיננו מתדלק רכב בנזין כל יום. מה שחשוב לנהג הוא שיגיע בבטחה ליעדו הבא..

נאמר כי עלות נסיעה ברכב חשמלי, המהוות גם את עלות הרכישה של הרכב, יקרה ברוב התרחישים. אם מתחשבים בהבדלי מיסוי ובמודל בו המצבר אינו נרכש ע"י בעל הרכב, עלות נסיעה ברכב חשמלי זולה משמעותית מזו של רכב בנזין.

לגבי הקרינה האלקטרומגנטית: חברת Better Place ביצעה עבודה יסודית עם היועץ המוביל בישראל בענייני קרינה אלקטרומגנטית, אורן הרטל – לשעבר המדען הראשי ברפא"ל. מעבודה זו עולה שאין שום דמיון בין רמת הקרינה האלקטרומגנטית של רכב היברידי וחשמלי בשל הבדלים דרמטיים במיקום הרכיבים החשמליים השונים בשני הרכבים. רמת הקרינה האלקטרומגנטית מרכב חשמלי שווה לזו הנפלטת מרכב בנזין רגיל (מקורה בסיבי הפלדה הנמצאים בגלגלים) בעוד שרמת הקרינה מרכב היברידי גבוהה יותר.

לגבי פליטת דו-תחמוצת הפחמן: היתרון של הרכב החשמלי על פני רכב קונבנציונאלי תלוי בתמהיל הדלקים המשמשים לייצור חשמל. אין שום ספק שכל העולם, לרבות ישראל, הולך לכיוון של הגדלת ייצור החשמל ממקורות אנרגיה מתחדשת ולכן גם מקור האנרגיה להנעת רכבים חשמליים יהיה כרוך פחות ופחות בפליטת דו-תחמוצת הפחמן.

פרק 5: סיכום והמלצות

בטרם נסכם את הדיון שנערך בנושא רכבים חשמליים והיברידיים, עלינו לזכור כי עצם השימוש ברכב פרטי, בין אם בעל מנוע שריפה פנימית, בין אם היברידי ובין אם חשמלי, אינו תואם את עקרונות הפיתוח בר הקיימא, בגלל הצורך בכבישים, תשתיות, העומס שנגרם על ידי הרכבים במרכזי הערים ועוד. הדיון שנערך במסגרת פורום זה אינו עוסק בנושאים אלו אלא מטפל בחלופות השונות לרכב פרטי בלבד.

רכב חשמלי מכל ארבעת הסוגים שהוזכרו (EV, PHEV, HEV, EV-FC) מספר יתרונות בולטים למדינה ולחברה, המצדיקים עידוד ותמיכה מצד הממשלה. יתרונות אלה כוללים הפחתת זיהום אוויר בערים (אך לא בהכרח הפחתת זיהום אוויר כוללת), אפשרויות שימוש במגוון מקורות אנרגיה – ביניהם אנרגיות מתחדשות – והקטנת התלות בנפט מיובא, ועלויות אחזקה נמוכות. כל ארבעת סוגי הרכב החשמלי מצטיינים ביכולת עצירה רגנרטיבית, כלומר- ניצול אנרגיית הבלימה לטעינת המצבר. עקב כך נחסכת אנרגיה רבה – למעשה רוב האנרגיה הנשחקת בבלמים של רכב קונבנציונאלי.

הרכב ההיברידי (HEV), הקיים כבר כיום בשוק, אינו דורש תשתית מיוחדת, שעלותה רבה, וחוסך דלק באופן משמעותי לעומת רכב קונבנציונאלי. רכב היברידי עשוי לחסוך עד 40% בתנאים שבהם באים לידי ביטוי מלוא יתרונותיו. בחלק ניכר מהזמן הנסיעה אינה נעשית בתנאים אלו, אך ניתן להעריך בגישה שמרנית כי שיעורי החיסכון המושגים בפועל קרובים ל-20%. אילו הוחלף כל הרכב הקונבנציונאלי ברכב היברידי, דבר שאינו דורש כל היערכות מיוחדת, היו נחסכים כ-20% מן הבנזין והסולר לרכב נוסעים במדינה! לפי נתוני הלמ"ס, דלקים לתחבורה מהווים 45% מן השימוש הסופי באנרגיה בישראל, כ-13.5 מיליון שעט"ן בשנה. מספר זה כולל גם אניות, מטוסים, רכבות ומשאיות, אך גם אם נניח כי רק חצי מן הכמות הנ"ל מיועדת לרכב נוסעים – החיסכון הינו משמעותי ביותר.

לגבי PHEV ו-EV קיים יתרון נוסף של אפשרות שימוש יעיל בתשתית ייצור החשמל עקב ניצול המערכת בשעות הלילה – חשוב במיוחד למדינת ישראל המהווה "אי" של חשמל. לצד היתרונות יש להזכיר מספר חסרונות, שעיקרם המחיר הגבוה הנובע בעיקר מעלות הסוללות. לגבי רכב חשמלי טהור (EV) יש לציין את טווח הנסיעה המוגבל.

הרכבים מסוג PHEV ו-EV אינם דורשים הקמת תשתית טעינה מסיבית (פרט לשיפורים נקודתיים בתשתית קיימת). תשתית החלפת מצברים הינה יקרה מאד ועלותה מסתכמת במיליארדים. בעלות תשתית הטעינה נושא הסקטור הפרטי. מה שרלבנטי זה החלק הנדרש לשדרוג מערכת החשמל הנוכחית בה נושא בסופו של דבר הציבור הרחב. הדבר ניתן לביצוע באופן הדרגתי. טעינת המכוניות חייבת להתבצע בשעות השפל על מנת להימנע מהעמסה יתרה של מערכת ייצור החשמל, ולכן מנגנון בקרה ופיקוח, ואף ניהול טעינה "חכם" הוא הכרחי. המעבר לרכבים מסוגים אלה יביא בעקבותיו יתרונות רבים, כמצוין לעיל.

רכב החשמלי אין כיום יתרון כלכלי, שכן ביחסי המחירים הקיימים היום, עלות נסיעה ברכב חשמלי, המהוונת גם את עלות הרכישה של הרכב, יקרה ברוב התרחישים. מנגנון החלפת הסוללות הוא בעייתי, ויש אומרים שצפוי להיכשל. למרות שניתן לקבוע תקנים ותקנות שיחייבו טעינת חשמל רק מהתקנים מסוימים ובשעות מסוימות, יהיה קשה לכפות או לאכוף אותם.

מדענים שוקדים על פיתוח סוג אחר של רכב חשמלי, הנושא בתא המנוע שלו את הגנרטור (בנזין או סולר) המייצר את החשמל לטעינת הסוללה. לרכב כזה יש יתרונות רבים, ויש הטוענים שהוא יכול לספק נסועה הדומה לרכב בנזין שכיח ב-20% מצריכת הדלק. בעולם כיום מושקעים מאמצי מחקר רבים הן בפיתוח מנועים יעילים יותר, בפיתוח תאי דלק ועוד. ברור כי טרם נאמרה המילה האחרונה בתחום ומאמצי ההתייעלות בשיאם.

יש לתת סיכוי לרכב חשמלי, אך בו בזמן לצפות להתפתחויות נוספות, הן בתחום ההנעה הקונבנציונלית שטרם אמרה את המילה האחרונה בקומבינציות שונות ובשיטות שונות של הנעה חשמלית עם מנוע שריפה פנימית והן בכלי רכב חשמליים טהורים.

רכבים ההיברידיים נכנסים כבר היום לשימוש בכבישי ארצנו, ותודות לרפורמת המיסוי הירוק הוסרו חלק מהחסמים הכלכליים ליבוא מכוניות אלו ארצה.

המלצות:

1. בעת השימוש במכונית חשמלית ולאור רזרבות ייצור החשמל הקטנות של ישראל, יש להבטיח כי הטענת רכבים אלה לא תיעשה בשעות השיא (באמצעות מחיר גבוה, למשל).
2. יש לבחון את התועלות הנלוות בשימוש במכוניות חשמליות מבחינת הפחתת הצורך בתחנות דלק והפחתת הרעש (בעיקר בערים). מאידך, יש לוודא כי אם תוקם מערכת החלפה של סוללות- היא תוקם תוך שמירה קפדנית על הסביבה.
3. אחד הפרמטרים החשובים בייצור החשמל להטענת מכונית חשמלית הוא חומר הדלק ממנו מיוצר החשמל. חישובי חח"י לעיל התבססו על השוואה למחז"מ הפועל על גז. סביר להניח כי אילו ההשוואה הייתה לתחנת כח פחמית, היו התוצאות המתקבלות שונות. לכן יש להשלים את ההשוואה המלאה, הכוללת הפנמה של עלויות חיצוניות, בין השימוש במכונית קונבנציונאלית, למכונית ההיברידית ולמכונית החשמלית. החישוב שהובא בעבודה זו הוא ראשוני בלבד.

נספח 1 – תכנית פורום אנרגיה: רכב חשמלי והיברידי

	פתיחה	13:10-13:00
	ד"ר דן וינשטוק, Better Place Ltd:	13:20-13:10
	פרויקט הרכב החשמלי – סקירה כללית	
	ד"ר דניאל קוטיק, חברת החשמל לישראל:	13:30-13:20
	פעילות חח"י בתחום רכב חשמלי	
	ד"ר צבי רוזנמן, מרכז אוניברסיטאי אריאל:	13:40-13:30
	זמינות ומחיר חשמל לרכב חשמלי בישראל	
	פרופ' עמנואל פלד, אוניברסיטת ת"א:	13:50-13:40
Cost and properties of batteries for EVs and hybrid EVs.		
	מר עופר בן-דב, אסיף אסטרטגיות בע"מ:	14:00-13:50
	פוטנציאל שיפור איכות האוויר בסביבה העירונית	
	גב' סיגל שוסטרמן ופרופ' אבי קריבוס, אוניברסיטת ת"א:	14:10-14:00
	מכונות חשמליות: ברכה או בעיה לסביבה?	
	ד"ר דן וינשטוק, Better Place Ltd:	14:20-14:10
	השלכות הרכב החשמלי על מקטעי מערכת החשמל: ייצור, הולכה וחלוקה, וצריכת החשמל של רכב חשמלי	
	ד"ר פרי לבאון, The Levon Group LLC:	14:30-14:20
Overview of U.S. Federal Vehicle R&D: PHEV, EV and Charging Infrastructure		
	הפסקה	15:00-14:30
	דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות הבאות:	17:00-15:00
	<ul style="list-style-type: none"> • מהי העלות הצפויה של מכונת חשמלית לצרכן פרטי? • מה תהיה עלות הנסיעה לק"מ, בהתחשב בעלויות החשמל, האחזקה והפחת? • מהו טווח הנסיעה של רכב חשמלי בין טעינות/החלפות של הסוללות? • כיצד להתמודד עם הגידול העצום בכושר ייצור החשמל שיידרש לתשתית הרכב החשמלי? • כיצד להתמודד עם בעיות בטיחות הצפויות בזמן החלפת סוללות (ראה ביקורת של חברת Mercedes) • מהו מחזור החיים של הסוללות (לרכב חשמלי ולרכב היברידי)? • מהי התועלת הצפויה בשיפור איכות האוויר בעיר כתוצאה משימוש ברכב חשמלי? 	
	סיום	17:00

נספח 2 - החלטת ממשלה מס' 2580 בדבר עידוד תחבורה ללא דלק מתאריך 11/11/2007

בהמשך להחלטת ראש הממשלה ושר האוצר, לבחון בחיוב שילוב טכנולוגיות חלופיות, שאינן מזהמות, לדלקים לתחבורה, על מנת להקטין את התלות של מדינת ישראל בדלק והשתלבותה במגמה הכלל-עולמית שבבסיסה הפחתת הנזק הסביבתי בכלל, וזה הנובע משימוש בדלק לרכב פרטי בפרט, לבחון, בלוח זמנים קצר, את האפשרות ליישום ראשוני של טכנולוגיות אלו בישראל, ולצורך זה למנות ועדת היגוי בין-משרדית, בראשות הממונה על התקציבים במשרד האוצר ובהשתתפות נציגי משרד ראש הממשלה, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, משרד התשתיות הלאומיות, משרד התעשייה, המסחר והתעסוקה, המשרד להגנת הסביבה, משרד המשפטים, רשות המסים, רשות ההגבלים העסקיים ומינהל התכנון במשרד הפנים, לבחינת הצעות לעידוד השימוש בתחבורה נקייה ונטולת דלקים (להלן - ועדת ההיגוי).

בנוסף, יוקמו צוותי משנה לעניין הסוגיות המפורטות להלן, שיגישו את מסקנותיהם והמלצותיהם לוועדת ההיגוי כלהלן:

1. תמריצי מיסוי: צוות בראשות סמנכ"ל כלכלה ברשות המסים, ובהשתתפות נציגי אגף התקציבים במשרד האוצר, המשרד להגנת הסביבה, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים ומשרד התשתיות הלאומיות, יגבש את הדרכים לעידוד טכנולוגיות חלופיות, שאינן מזהמות, לדלקים לתחבורה ולהפחתת הגודש בכבישים. הצוות יגיש את מסקנותיו והמלצותיו עד ה-1 בדצמבר 2007.
2. עידוד מחקר ופיתוח עם תעשיית רכב בינ"ל: המדען הראשי במשרד התעשייה המסחר והתעסוקה ימליץ, במסגרת המסלולים הקיימים בתחום המדען הראשי, על המדיניות הממשלתית הנכונה לעידוד מחקר ופיתוח בטכנולוגיות חלופיות, שאינן מזהמות, לדלקים לתחבורה. הצוות יגיש את מסקנותיו והמלצותיו עד ה-15 בפברואר 2008.
3. תכנון ורישוי לעניין הקמה והפעלה של רשת טעינה בפריסה ארצית: צוות בראשות ראש מינהל התכנון במשרד הפנים ובהשתתפות נציגי הממונה על התקציבים במשרד האוצר, נציג משרד התשתיות הלאומיות ונציג משרד המשפטים, יגבש דרך פעולה בתחום הרישוי ו/או התכנון, ככל שאלה נדרשים, לצורך הקמה והפעלה של רשת טעינה בפריסה ארצית שתשמש לטעינה למכוניות חשמליות (להלן-הרשת הארצית), וזאת באופן שיחולו כללים אחידים, עד כמה שניתן, בכל הארץ. הצוות יגיש את מסקנותיו והמלצותיו עד ה-15 בפברואר 2008.
4. השפעה על משק החשמל: צוות בראשות מנכ"ל משרד התשתיות הלאומיות ובהשתתפות הממונה על התקציבים ומנכ"ל חברת החשמל, יבחן את המשמעויות של הקמת הרשת הארצית והפעלתה על משק החשמל. הצוות יגיש את מסקנותיו והמלצותיו עד ה-15 בפברואר 2008.
5. מערכת רבת מפעילים: צוות בראשות היועצת המשפטית של משרד האוצר ובהשתתפות נציגי משרד המשפטים, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, משרד התשתיות הלאומיות הממונה על ההגבלים העסקיים והממונה על התקציבים, יגבש את כללי הרגולציה הנדרשים להפעלת הרשת הארצית ולהבטחת הנגישות לרשת למפעילים נוספים, ככל שיהיו, לרבות לעניין התשלום בגין השימוש ברשת, למשתמשים ולמפעילים האחרים, הבעלות ברשת והזכויות בה בתום תקופת

ההתקשרות או הרישיון, וכן את הצורך בחקיקה ספציפית להסדרת הנושא. הצוות יגיש את מסקנותיו והמלצותיו עד ה-15 בפברואר 2008.

6. היבטים סביבתיים: צוות בראשות המשנה למנכ"ל המשרד להגנת הסביבה ובהשתתפות נציגי משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, משרד התשתיות הלאומיות, משרד הפנים ונציג הממונה על התקציבים יבחן את ההיבטים הסביבתיים הקיימים להקמה ולהפעלה של רשת ארצית לטעינת מכוניות חשמליות.

7. היבטים תחבורתיים: צוות בראשות מנכ"ל משרד התחבורה והבטיחות בדרכים ובהשתתפות נציגי משרד הפנים, המשרד להגנת הסביבה ונציג הממונה על התקציבים במשרד האוצר יבחן את ההיבטים התחבורתיים להכנסת רכב המונע באמצעות טכנולוגיות חלופיות לדלקים שאינן מזהמות למדינת ישראל.

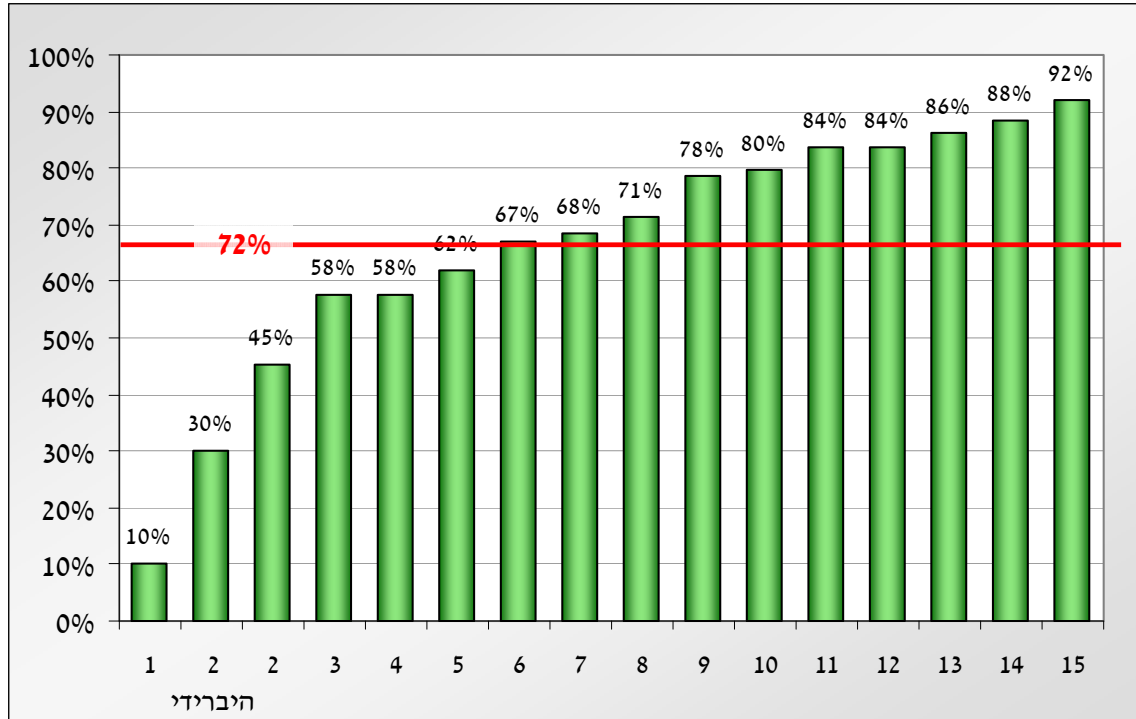
לאחר דיון במסקנות ובהמלצות הצוותים השונים, תגיש ועדת ההיגוי לאישור הממשלה את המלצותיה לגבי דרך הפעולה הראויה בכל אחת מהסוגיות הנ"ל ובכל עניין נוסף שתמצא לנכון, וזאת לא יאוחר מיום 15 במרס 2008. סוגיית המיסוי תובא לאישור הממשלה לא יאוחר מה-15 בדצמבר 2007.

לוח זמנים לביצוע ההחלטה: כמפורט בהחלטה.

נספח 3 – עיקרי רפורמת המיסוי הירוק בנושא רכבים חשמליים, יוני 2009⁹

- קביעת תמריצי מס לרכב פחות מזהם
- רכב נטול פליטות / היברידי

מס הקניה על רכב פרטי ומסחרי העומד כיום על 75%, ומינואר 2010 על 72%, יוסב למס קניה בשיעור של 92% פחות "פרס" לפי ציון ירוק. המדד הירוק, אשר מטרתו ליישם את מנגנון "המזהם משלם" קובע את שיעור המס המיועד לכל כלי רכב, על פי דרגת הזיהום שהוא פולט לסביבה. שיעורי מס הקניה מוצגים בגרף הבא:



עבור רכב נטול פליטות או היברידי, הוגדרה תכנית לשנים 2009-2020, כאשר שיעורי המס המופעלים על רכבים אלו נעים בין 10% לרכב נטול פליטות עד שנת 2014, ועבור רכבים היברידיים נקבעו מדרגות המס הבאות:

כיום – 30%

2009-2012 – 30% (לרכב שנפחו נמוך מ-3000 סמ"ק ונמצא בקבוצת זיהום 2 לכל היותר).

2013 – 45%

2014 – 60%

2015 ואילך – 92% מס, בניכוי פרס על פי המדד הירוק.

מדרגות מס אלו נקבעו בהתאם להנחות של חדירת רכבים אלו לשוק, ושכיחותם העולה עם הזמן.

⁹ על פי מצגת "שינויים מבניים במערכת המס "מיסוי ירוק" מסקנות והמלצות יוני 2009, אשר הועברה על ידי מר ערן יעקב, רשות המיסים.

Electromagnetic Radiation in Cars

Dr. Perry Levon, the Levon Group LLC, 16 August 2009

Background

Electrical currents create magnetic fields, and there are lots of electrical currents in any car, not just hybrids. It is not surprising that measurements of magnetic fields inside or near a car would give positive results and also highly variable results from location to location depending on proximity to electrical wiring associated with the different electric circuits in the body vehicles such as: inside and outside lighting, radio/CD player, turn signals, blower fans for A/C and heaters. Each of the circuits in a vehicle carries several amperes of electrical current and so it creates magnetic fields.

The results of magnetic field measurements inside cars are somewhat tricky to interpret since meters are most likely calibrated to read accurately for magnetic fields created by the alternating current in household wiring (at 50 or 60Hz, as applicable). In a car the electrical currents are primarily direct current, not alternating current, in most applications, and are not expected to be at the grid frequency for which the meters are calibrated. So it is not surprising that a magnetic field meter would read positive measurements inside a car, but those reading have to be interpreted with caution.

For reference it is important to note that the earth's static magnetic field has strength of about 0.5 gauss (or 500 milligauss) more or less, and varies with location on the planet. For comparison, the European public exposure standard is about 100 μ T (1 gauss), the average measurements in apartments in Sweden have resulted in values 0.1 μ T (1 milligauss). The field under a high-voltage power line ranges from 3-10 μ T (30 to 100 milligauss).

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

The ICNIRP published comprehensive guidelines both for occupational and public exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)¹⁰.

Previous Measurements

Some limited test results for magnetic fields in some popular cars were taken in Sweden from 2002 and are presented in Table 1 below¹¹. The cars include a mix of conventional gasoline cars and hybrids. (Note: we are providing this for reference but were not able to independently verify the data for a authoritative source).

The data are presented in units of micro-Tesla (1 micro-Tesla = 10 milligauss), which are common units for measuring magnetic fields. In Table 1 below the two entries provided for each column represent measurements when the car is standing still with engine idling, on the left hand side, with measurements when riding in 90 km/h on the right.

¹⁰ <http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>

¹¹ <http://www.greenhybrid.com/discuss/f13/emf-hybrids-546/>

Table 1: Measurements of Magnetic Fields in Various Cars in Sweden (2002)

	BMW 5-serie*	Ford Focus	Mercedes E-Klass	Saab g-3	Saab g-5	Toyota Prius	Volvo S40	Volvo S60	Volvo V70	Volvo S80 original	Volvo S80 ombyggd	VW Golf
Front Seat												
Left foot	12/4	0.2/0.6	2/1.3	0.7/1.4	0.3/2	0.2/1.3	0.3/1.3	15/14	18/7	12/12	2/1.9	0.3/3
Right foot	4/5.5	0.2/0.9	3.5/2.3	0.6/0.9	0.4/1.5	0.2/0.5	0.9/1.3	2.5/2	3/1	2/2	0.5/0.5	0.2/0.8
Floor	6/2	0.1/0.3	2.9/2.1	0.3/0.5	0.3/1.5	0.3/0.7	0.4/0.7	5/3.5	5.5/1.9	4.5/4	0.4/0.5	0.09/0.8
Threshold	5/3	0.07/0.3	0.9/0.5	0.7/0.8	0.3/1.4	0.2/1.5	0.2/0.7	14/10	11/5.5	8/10	1.7/1.2	0.08/1.1
Seat	1.3/0.7	0.03/0.2	0.6/0.3	0.2/0.4	0.05/0.9	0.05/0.7	0.1/0.2	2/2	3/0.8	2/1.8	0.1/0.2	0.04/0.3
Chest height	0.7/0.3	0.02/0.1	0.2/0.2	0.1/0.3	0.05/0.6	0.03/0.5	0.05/0.2	1/0.8	1.2/0.4	0.9/0.7	0.1/0.2	0.03/0.3
Head height	0.6/0.4	0.03/0.1	0.15/0.1	0.1/0.2	0.02/0.4	0.03/0.5	0.05/0.1	0.8/0.6	0.8/0.3	0.6/0.5	0.1/0.2	0.02/0.2
Back Seat, left												
Left foot	3/1.2	0.03/0.3	2.4/0.8	0.2/0.3	0.05/0.3	0.2/0.3	0.04/0.6	7/5	10/3.3	5.9/4.5	0.3/0.3	0.02/0.6
Right foot	10/4	0.02/0.2	3/1.5	0.1/0.2	0.05/0.2	0.2/0.4	0.04/0.35	6/4.5	8/1.7	8/3.5	0.4/0.3	0.02/0.4
Floor	4/3.5	0.03/0.2	1.7/2	0.1/0.3	0.03/0.3	0.2/0.5	0.035/0.6	8/8	9/4.5	9/6.5	2.1/2	0.02/0.6
Threshold	15/6.5	0.05/0.4	0.8/0.5	0.6/0.7	0.1/1	0.15/0.4	0.04/1	3.5/2	3.9/1.5	2.9/2.5	0.1/0.6	0.04/0.9
Seat	2.5/1	0.02/1	0.2/0.2	0.09/0.4	0.01/0.8	0.1/0.6	0.02/1	3/2	6.6/2.3	3.5/3	0.3/0.6	0.02/1.7
Chest height	1/0.5	0.05/0.3	0.1/0.1	0.05/0.2	0.01/0.5	0.07/0.3	0.02/0.6	1/0.7	1.3/0.6	0.9/0.8	0.08/0.3	0.02/0.7
Head height	0.5/0.4	0.05/0.3	0.1/0.1	0.05/0.2	0.06/0.4	0.07/0.3	0.03/0.4	0.9/0.7	1/0.5	0.7/0.7	0.1/0.3	0.02/0.6



מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע ומכנולוגיה
הטכניון – מכון מכנולוגי לישראל
מל. 04-8292329, פקס 04-8231889
קרית הטכניון, חיפה 32000
www.neaman.org.il