



הנעה חשמלית בתחבורה הציבורית העירונית בישראל

וועידת האנרגיה והעסקים 2017

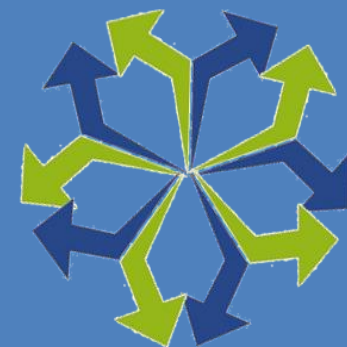
דו"ד סיוון-סרוסי



- ✓ מבוא
- ✓ מוטיבציה ומדיניות
- ✓ למה ואיזה הנעה חשמלית?
- ✓ מי מוביל במרוץ?
- ✓ לחשוב מחוץ לקופסא
- ✓ שאלות פתוחות



מבוא

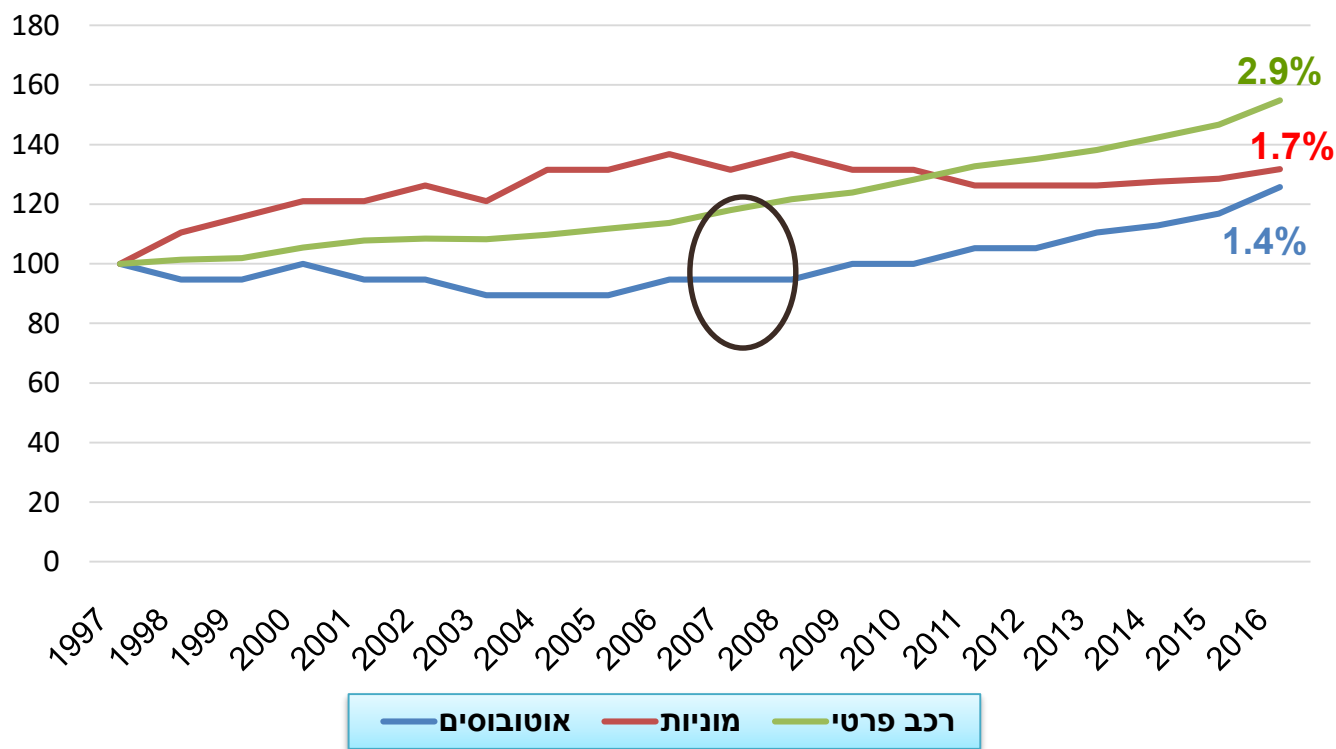




מבוא

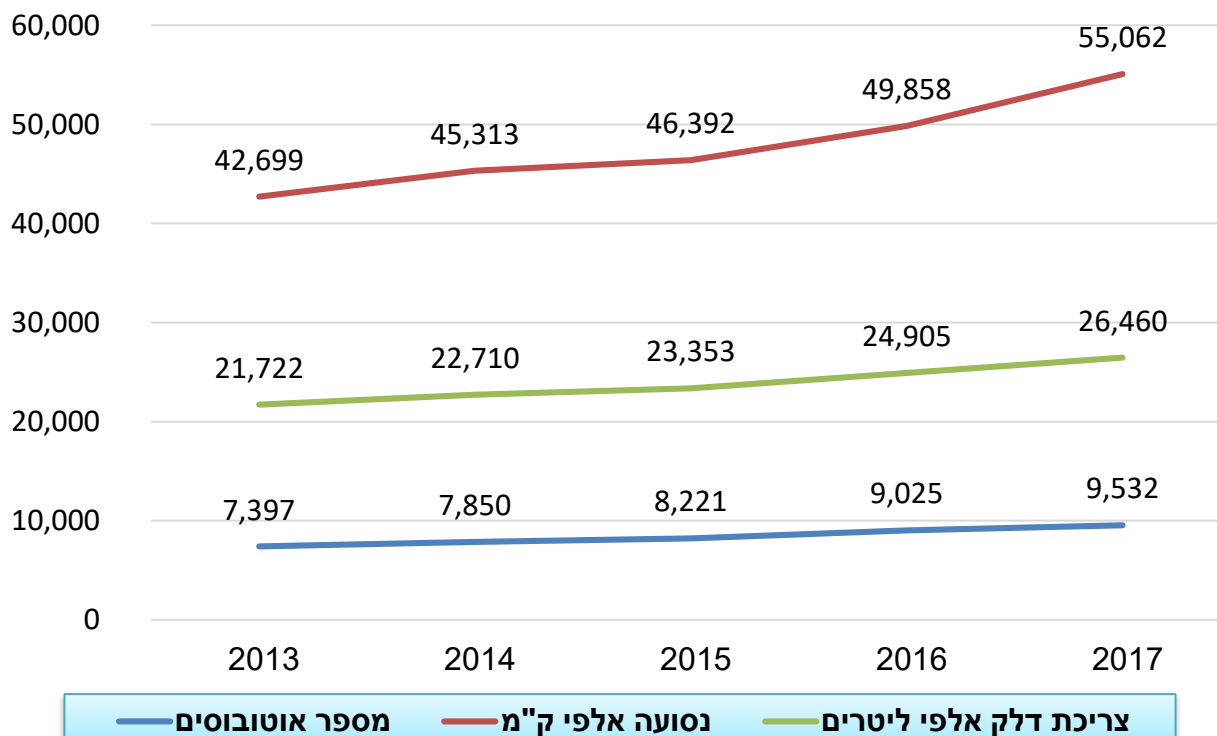


התפתחות רמת המינוע



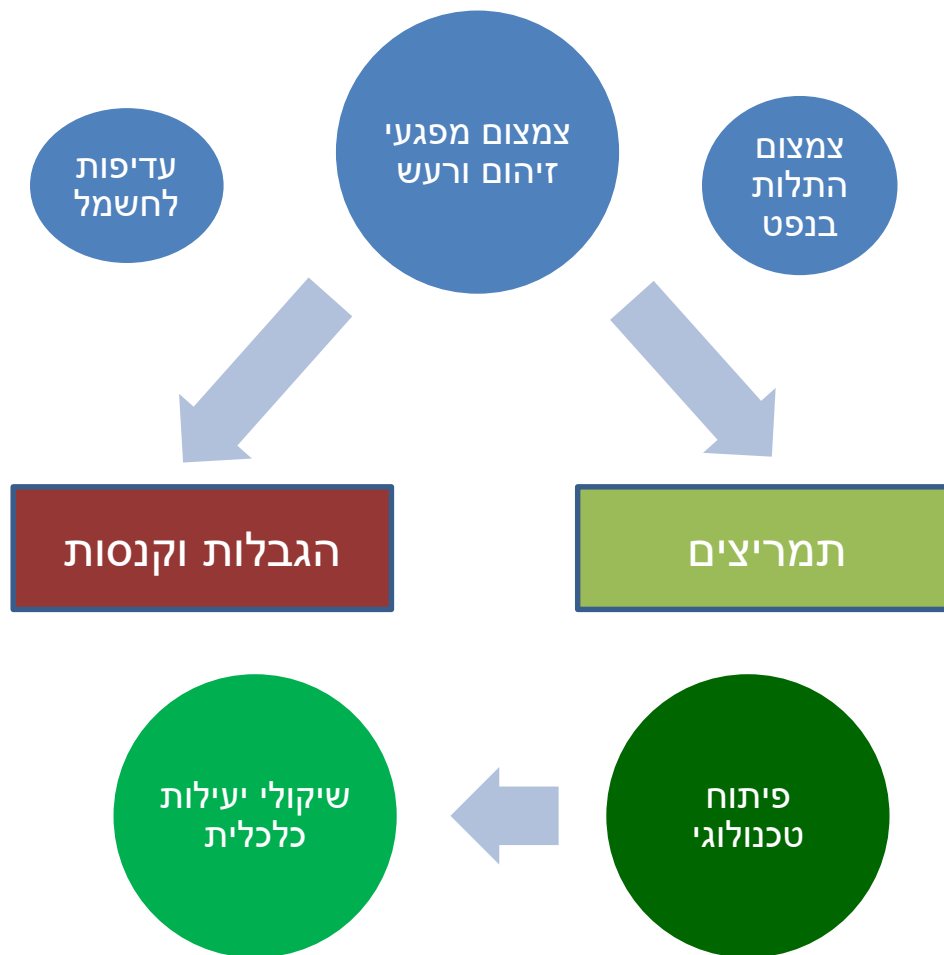


תחבורה ציבורית במספרים





מוטיבציה ומדיניות





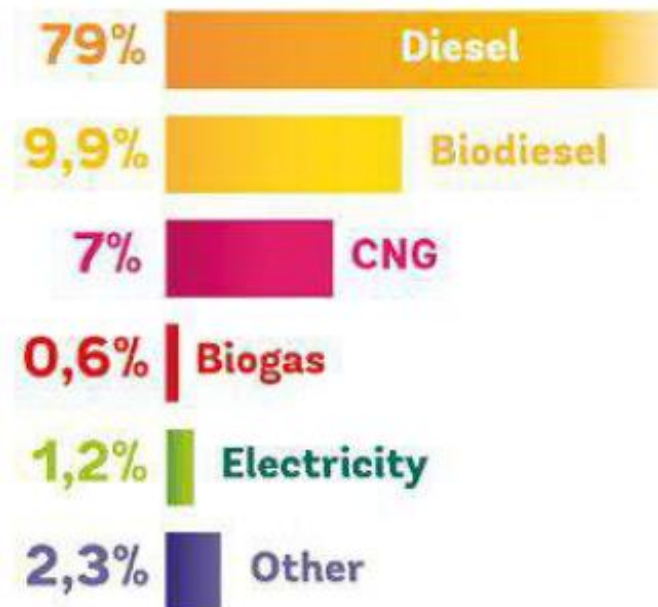
סי

- מובילה את השילוב של הנעה חשמלית באוטובוסים באופן נחוש ותכליתי
- כ- 70% מהאוטובוסים החשמליים בעולם מיוצרים בסין.
- מרבית האוטובוסים החשמליים פועלים בסין – למעלה מ- 170 אלף.
- תחבורה עירונית במספר ערים מבוססת רובה ככולה על אוטובוסים חשמליים
- בעיר שנזן (10 מיליון תושבים) - כל האוטובוסים (16.5 אלף) יהיו חשמליים עד סוף השנה.
- הממשל מסבסד רכישת אוטובוסים חשמליים בשיעור משמעותי (למעלה מ- 80 אלף \$)
- מפעילי התחבורה הציבורית מקבלים הנחה על תעריפי החשמל





אירופה



התפלגות סוגי אוטובוסים באירופה 2013

- הוגדרו יעדים לצמצום פליטות מזהמות
- נקבע מערך תמריצים אגרסיבי לעידוד המעבר לדלק חלופי.
- כמעט לכל יצרן אוטובוסים יש דגם חשמלי או היברידי
- מוגדרים ונאכפים אזורי אויר נקי
- כיום פועלים כ- 1300 אוטובוסים חשמליים.
- 19 רשויות ומפעילי תחבורה ציבורית, של 25 ערים, פרסמו אסטרטגיה להכנסת אוטובוסים חשמליים עד 2020
- היעד ל-2020 6% מהצי - 2500 אוטובוסים; וב-2025 למעלה מ- 6100

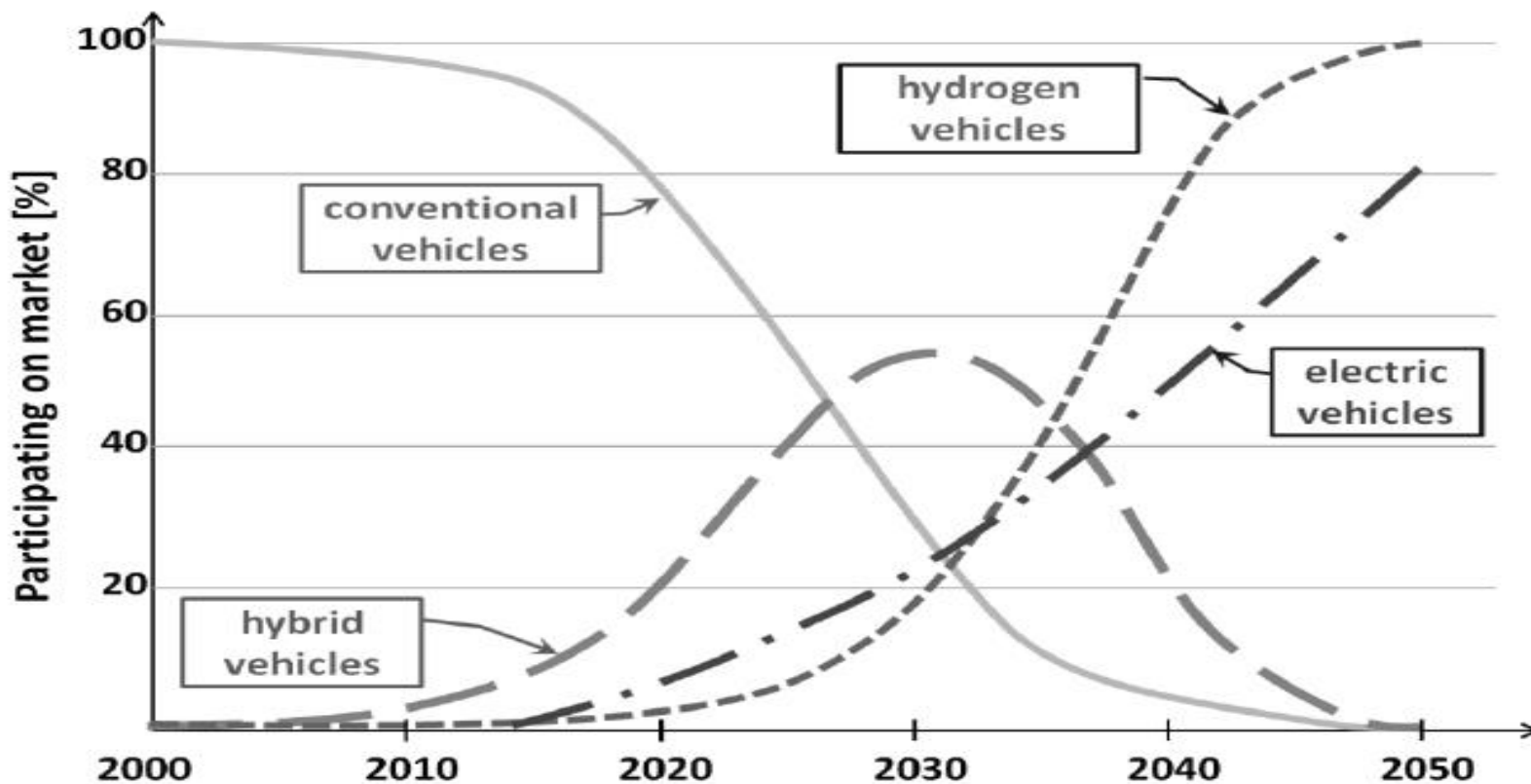


ישראל

- החלטת ממשלה 1354 מ- 7.2010 קבעה יעדים להפחתת התלות בנפט כמקור אנרגיה בתחבורה: 30% בשנת 2020; 60% בשנת 2025
- המדיניות כיוונה להסבה להנעה בגז כיוון שבאותה עת הנעה חשמלית הייתה בחיתוליה
- הוענקו תמריצים לרכישת אוטובוסים ב"הנעה ירוקה"
- ב-2016 הוענק סבסוד ישיר לרכש אוטובוסים חשמליים
- כיום פועלים כ- 67 אוטובוסים חשמליים
- עיריית חיפה החליטה להגדיר אזורי אויר נקי בתחומה. תחבורה ציבורית באוטובוסים הוחרגה.
- לאחרונה (5/17) הממשלה החליטה להגדיר אזורי אויר נקי בירושלים ולסבסד רכישה של 10 אוטובוסים חשמליים



Markusik et al (2015) סוקרים את המגמות הצפויות כתוצאה של המדיניות לצמצם גורמי זיהום:





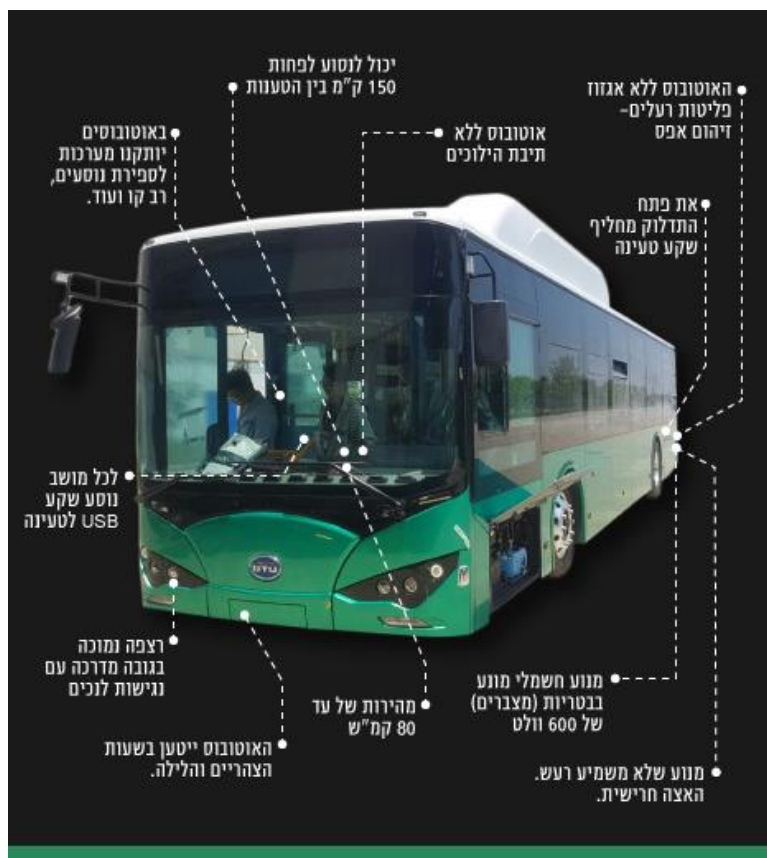
אוטובוס מונע סולר, מצויד במיכל במשקל כ- 400 ק"ג שמאפשר לאוטובוס לגמוא למעלה מ- 500 ק"מ בין תדלוק לתדלוק. התדלוק אורך דקות ספורות ונעשה בחניון תפעולי או ברשת תחנות תדלוק בפריסה גיאוגרפית נגישה.

מול "רף תחרותי" זה, הנעה חשמלית מציבה אתגרים טכנולוגיים ותפעוליים:

- א. קיבולת אנרגיה שמגבילה את טווח הנסיעה היומי
- ב. עלות רכישה גבוהה
- ג. משך טעינה ארוך
- ד. אי וודאות ביחס לטווח הנסיעה (בשל מאפייני מסלול ותנועה)
- ה. אי וודאות ביחס לאורך חיי המצבר
- ו. מורכבות הקמה (נדל"ן, רישוי וכד')
- ז. עלויות תפעול הכרוכות בתשתית הטעינה
- ח. עלויות סביבתיות הקשורות בייצור, מחזור וגריטה של הסוללות.



אוטובוס חשמלי מבוסס סוללה (BE-Bus)



האוטובוס החשמלי כולל מנועים חשמליים בלבד. מקור האנרגיה הוא מארז סוללות שמוותקן באוטובוס.

טכנולוגיית הסוללות מתפתחת באופן מהיר ובכיוונים שונים, שמגדילים את קיבולת האנרגיה, מקצרים את זמן הטעינה ומצמצמים את משקל הסוללה.

אוטובוס חשמלי יקר פי 2 מאוטובוס מונע סולר, טווח הנסיעה שלו עד 250 ק"מ ואורך חיי הסוללה מוגבל (היצרנים מעניקים אחריות של 2-4 שנים)



אוטובוס חשמלי מבוסס קבל על (Ultracap Bus)

האוטובוס החשמלי כולל מנועים חשמליים בלבד. מקור האנרגיה הוא מארז קבלי על שמותקן בגג האוטובוס.

קבלי על מאפשרים אגירה של אנרגיה חשמלית ושימוש בה ע"פ הצורך. בשונה מסוללה בה האגירה נעשית בראקציה כימית, האגירה בקבל היא אלקטרוסטטית ויוצרת שדה חשמלי.

היתרון של קבל על הוא אורך חיים ממושך, טעינה קצרה (כ- 5 דקות) וביצועים טובים בתנאי קיצון (האצה ובלימה). מאידך האנרגיה מוגבלת ומאפשרת נסיעה לאורך מסלול של כ- 20 ק"מ בלבד.

יחידת הטעינה של קבלי העל היא מתקן יקר ומורכב. יש להתקינו בקצה קו השירות. תפעול מבצעי בהיקף רחב מחייב פריסה והיערכות מתאימה.





אוטובוס היברידי (HE-Bus)

האתגר הטכנולוגי להתמודד עם מגבלת טווח הנסיעה, הביא לפיתוח של שיטות הנעה משולבות של מנועי בעירה פנימית עם מנועים חשמליים, כדוגמת הטכנולוגיות הבאות:

- מנוע בעירה פנימית נכנס לפעולה כאשר הסוללה מתרוקנת: מניע את הרכב ובתנאי דרך מסוימים, טוען את הסוללה.
- שילוב של רה-גנרציה – בתהליך הבלימה אוגרים אנרגיה קינטית המבוססת על שילוב מנועי בעירה פנימית קטנים וחסכוניים עם מנועים חשמליים.
- מנוע הבעירה הפנימית משמש להנעה במהירות שיוט ואילו המנועים החשמליים משמשים להאצה.
- המנוע החשמלי מניע את הרכב כשמקור האנרגיה מאפשר זאת ומאידך פועל כגנרטור שטוען את הסוללה בזמן שמנוע הבעירה הפנימית פועל.

אוטובוסים היברידיים יקרים מאלה המונעים בחשמל בלבד וכמובן מזהמים יותר



אוטובוס היברידי Lion's City Hybrid של חברת MAN המשלב מנוע דיזל עם קבלי-על



מקור : MAN (2014)



אוטובוס חשמלי מבוסס הזנה קבועה מהרשת



חיבור קבוע של כלי התחבורה לרשת החשמל היא טכנולוגיה ותיקה בתפעול של אמצעי הסעה המוניים דוגמת Trams וקווי BRT.

חיבור קבוע מחייב פריסה של תשתית רצופה לאורך מסלול הנסיעה.

שיטה זו מייקרת את התשתית הנדרשת ויש אף הטוענים שהיא פוגעת בחזות ובמרקם העירוני



אוטובוס חשמלי מבוסס הזנה קבועה מהרשת

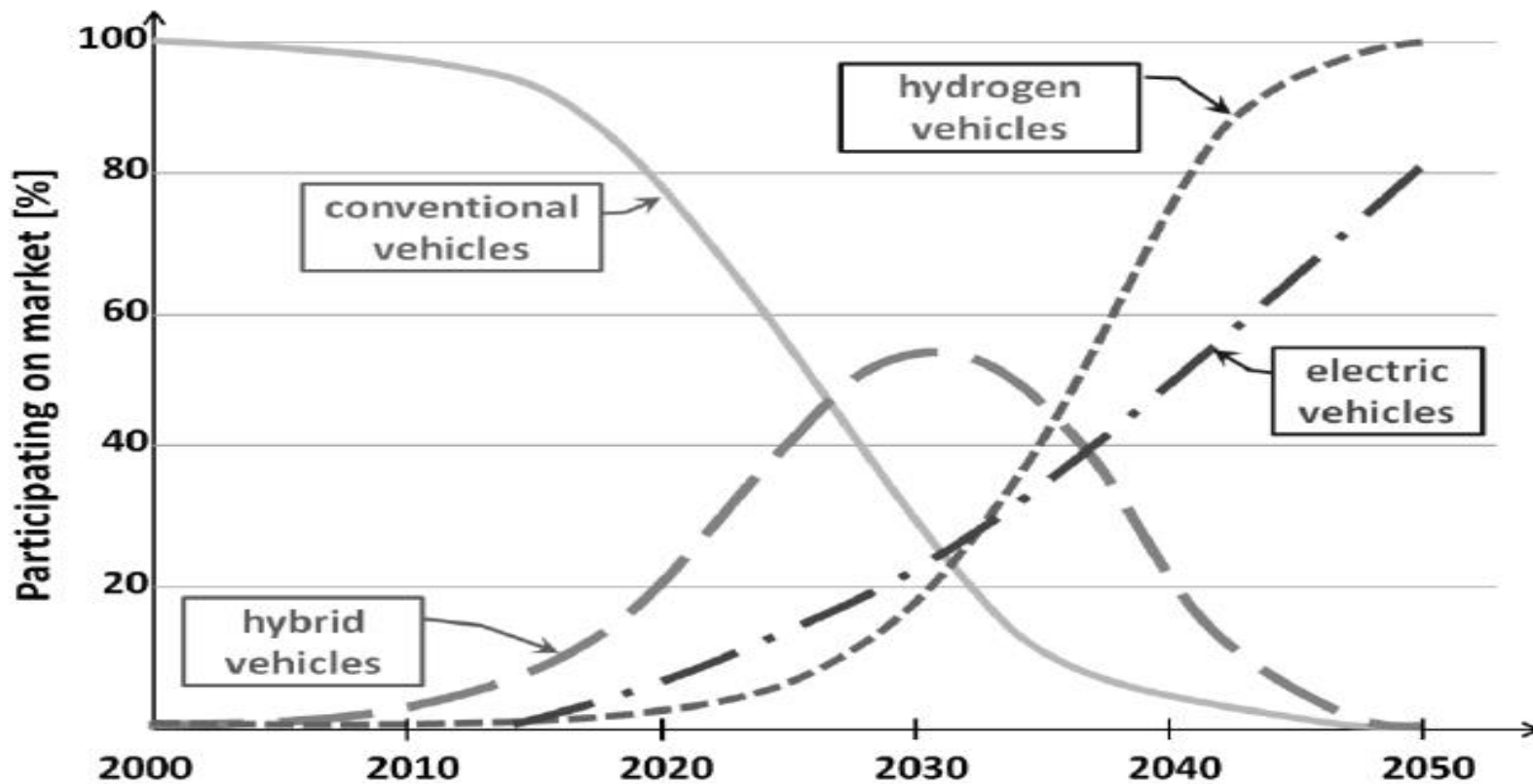
בשנים האחרונות מושקע מאמץ לשכלל את הטכנולוגיה:

- ✓ הגישות המתפתחות משלבות מצברים קטנים יחסית המותקנים בכלי הרכב אותם ניתן לטעון תוך כדי נסיעה. באופן זה ניתן לעשות שימוש בחיבור קבוע או מקוטע.
- ✓ חברת סימנס מתכננת להתקין כביש מהיר מחושמל (eHighway) שישרת רכב כבד (משאיות ואוטובוסים) בעל יכולת הנעה חשמלית והיברידית. הכביש הניסיוני, באורך 10 ק"מ, יוקם על ה- A5 בסביבות פרנקפורט, ויושלם בסוף 2018.
- ✓ בדרום קוריאה מופעלים מספר קטעי כביש שבהם הוטמנו מתחת למיסעה כבלי חשמל אשר מעבירים אנרגיה לרכבים חשמליים באמצעות תהודה מגנטית.

חברה ישראלית ElectRoad מבצעת בחינה של טכנולוגיה ייחודית
בליווי של צוות חוקרים מהטכניון

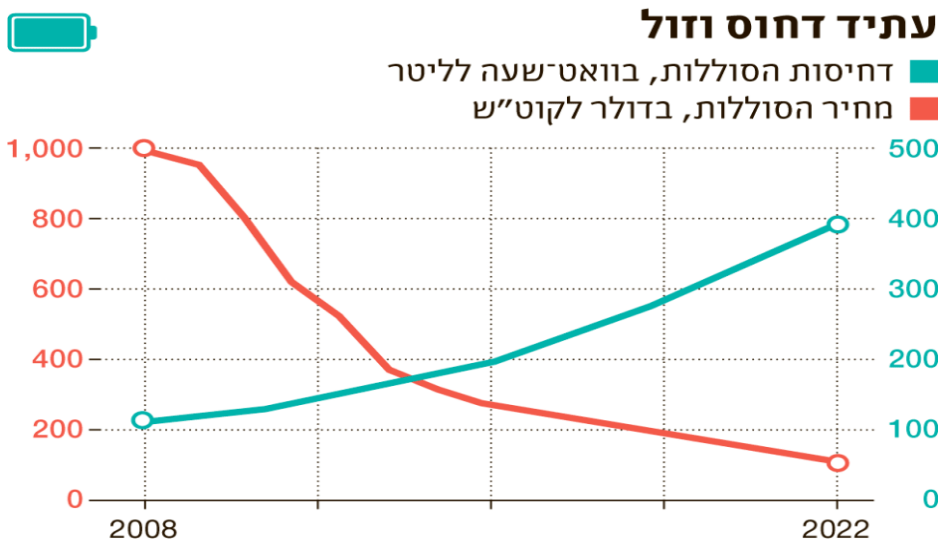


מי מוביל במרוץ?

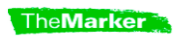




מי מוביל במרוץ?

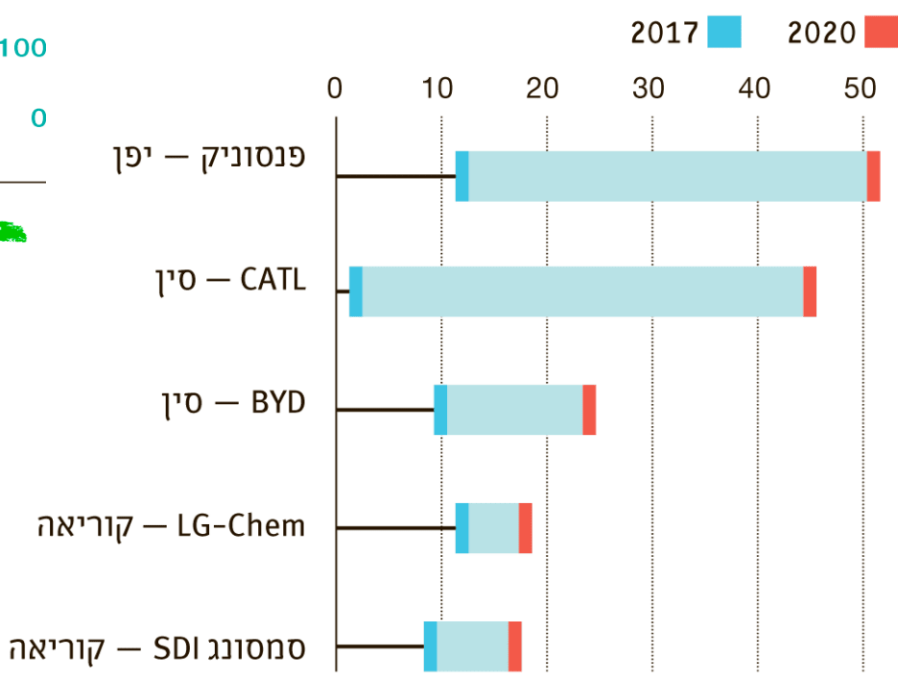


מקור: משרד האנרגיה של ארה"ב



מגמת השיפור בסוללות מקדימה את התחזית

תחזית כושר הייצור לסוללות במגה-ואט-שעה לשנה



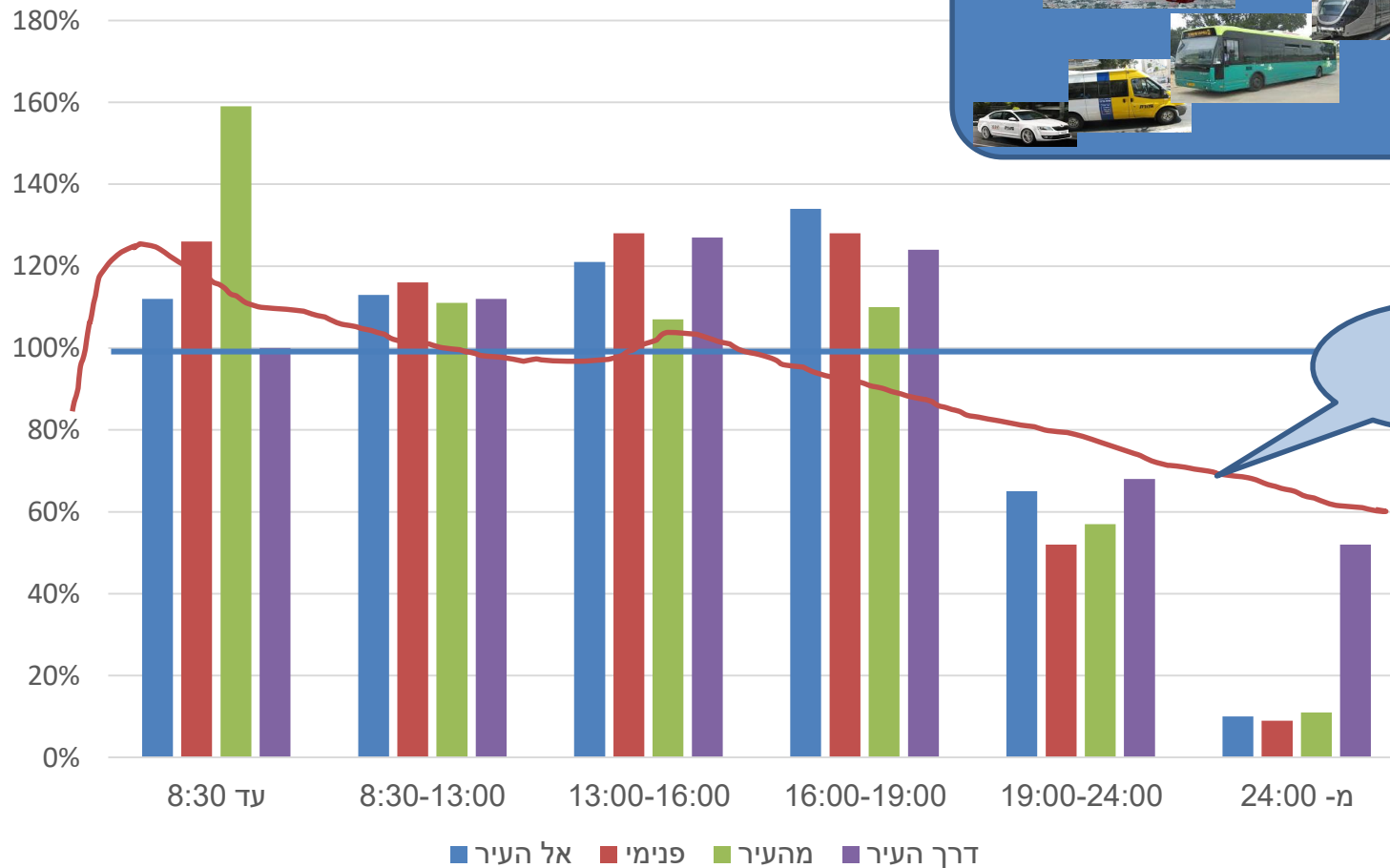
מקור: קיירן ERA





לחשוב מחוץ לקופסא

התפלגות היצע השירות ביחס לממוצע השעתי



רמת המילוי



לחשוב מחוץ לקופסא



צי אוטובוסים חשמליים הוא למעשה מאגר אנרגיה וכך משפר משמעותית את יכולת האגירה של משק החשמל.

מקור למימון חלק מהעלות ←
העודפת של האוטובוס



צי הרכב

- ✓ שיקולים לאומיים בהקצאה ע"פ רמת הזיהום הקיימת
- ✓ איך בוחרים? סוללות? קבלי על? תמהיל?
- ✓ גיוון ותמהיל של גודל הרכב
- ✓ מה יהיה % הרזרבה הטכנית?
- ✓ תקלות ייחודיות ותמיכת היצרן/יבואן
- ✓ האם יש יתרונות לגודל הצי

תשתית הטעינה

- ✓ טופולוגיה של הצבת תשתית הטעינה
- ✓ שילוב עמדות טעינה ניידות
- ✓ שילוב של מערך החלפת סוללות במקום טעינה על האוטובוס
- ✓ שיתוף מפעילים עמיתים בתשתית הטעינה, סטנדרטיזציה
- ✓ האם רשת החשמל תעמוד בעומס?
- ✓ איך מתמודדים עם הפסקות חשמל?
- ✓ האם לשלב מתקני ייצור חשמל ב"מפעל הטעינה"?
- ✓ מיחזור סוללות
- ✓ איך מנהלים את "מפעל הטעינה" בחניות של מאות אוטובוסים?
- ✓ הפרדה בין הטעינה והתפעול?



מפת התנועה

- ✓ האם יהיה צורך לשנות מסלולים בהתאם למיקום עמדות הטעינה
- ✓ האם יידרש קיצור קווים?
- ✓ השפעת שיקולי הטעינה על תכנון לוחות הזמנים

תפעול ושירות

- ✓ האם יידרש לוותר על הצימוד נהג-אוטובוס?
- ✓ ניהול אנרגיה ע"פ מסלול, מזג אוויר, עומס נוסעים, התנהגות נהג...
- ✓ שינוי משימות לצורך הקדמת טעינה



תודה על ההקשבה!

הנדסת תעשייה וניהול, מערכות מידע וניהול פרויקטים

ת"ד 1488 אבן יהודה 4050964 | טלפון: 09-8919657 | פקס: 076-5100133
E-Mail: sivan-d@actcom.co.il | www.ds-nituv.co.il