



הנעה חלופית לצי הרכב הכבד

בחינת ישימות וכדאיות כלכלית

אגף כלכלה, משרד האנרגיה

ספטמבר, 2020

תוכן עניינים

3	תקציר מנהלים
11	מבוא
13	חלופות טכנולוגיות אפשריות
13	הנעה באמצעות גז טבעי (גט"ד וגט"ן)
14	בשלות טכנולוגית – גט"ד וגט"ן
15	תשתית נדרשת לתדלוק – גט"ד
16	תשתית נדרשת לתדלוק – גט"ן
17	רכב חשמלי מונע מצבר (BEV)
17	תשתית נדרשת לטעינת רכבים חשמליים
18	הנעה באמצעות תאי דלק מבוססי מימן (FCEV)
18	תשתית נדרשת לרכבי מימן
19	בשלות טכנולוגית של רכבים מאופסי פליטה – חשמל ומימן
20	המצב בישראל וסוגיות בבחירת הטכנולוגיה המתאימה
20	משאיות כבדות בישראל
25	השפעת מדיניות ממשלתית נוספת
26	היוועצות עם בעלי עניין וגורמים בענף הרכב
26	מסקנות ביניים – טרם הניתוח הכלכלי
27	בחינה כלכלית של החלופות
27	ממצאי מחקרים שסייעו בכתיבת הפרק הכלכלי
27	ICCT - (The International Council on Clean Transportation)
30	IEA - (International Energy Agency)
30	Fueling the Future of Mobility - Deloitte
32	California Energy Commission
32	סיכום
34	שיטת החישוב ונתונים
34	עלויות הון
35	עלויות תפעול ותחזוקה
35	עלויות אנרגיה
37	עלויות תשתית
39	עלויות חיצוניות- זיהום אויר וגז"ח
40	תוצאות
40	השוואת החלופות מנקודת מבט משקית
46	השוואת החלופות מנקודת המבט של הצרכן
48	מסקנות והמלצות
49	נספחים
56	מחקרים נוספים בעניין פליטות מזהמי אויר וגזי חממה- גט"ן מול סולר

תקציר מנהלים

בשנים האחרונות קיימת מגמה עולמית המתמקדת במציאת חלופות הנעה לכלי רכב כבדים קונבנציונליים, המונעים בסולר. המשמעות היא הסביבתיות והבריאותיות הנלוות לשריפת דלקים מאובנים בתחבורה ובראשם סולר, קל וחומר בריכוזי אוכלוסייה, גדולות ביותר. מגמה זו עומדת בקנה אחד עם יעדים אסטרטגיים שנקבעו במדינת ישראל כבר לפני עשור, להפחתת השימוש בנפט כמקור האנרגיה העיקרי לתחבורה, וזאת לאור החשיבות בהקטנת התלות בייבוא דלקים והתרומה הנובעת מכך לביטחון האנרגטי של ישראל ולשיפור איכות הסביבה.

מתוך סך צריכת האנרגיה לתחבורה נתח לא מבוטל משמש להנעת כלי רכב כבדים, מפני שהיקפי הנסועה השנתיים של רכבים כבדים גבוהים משל רכבים קלים וצריכת הדלק שלהם גבוהה יותר. על בסיס מחשבון המשקלל מקדמי פליטה וצריכת דלק של המשרד להגנת הסביבה¹ לשנת 2017, צריכת האנרגיה השנתית של רכבים כבדים מוערכת בכ-25% מסך צריכת האנרגיה השנתית של כלי הרכב הכבישיים (מתוכם 17% משויך למשאיות והיתר לאוטובוסים)². בדומה, פליטת גז"ח של רכבים כבדים מוערכת בכ-26% מסך פליטת גז"ח של כלי הרכב הכבישיים (מתוכם 18% משויך למשאיות והיתר לאוטובוסים).

עבודה זו, נעשתה בשיתוף חברת אקוטריידרס בע"מ, ומתמקדת בבחינת החלופות האפשריות לכלי רכב כבדים הפועלים על מנועי בעירה פנימית מבוססי סולר. הניתוח מתמקד בארבע חלופות:

- **הנעה באמצעות גז טבעי דחוס (גט"ד או CNG - Compressed Natural Gas)**
גט"ד הינו גז טבעי הנדחס בלחץ של 200-250 bar לכדי פחות מ-1% מנפחו בלחץ אטמוספרי. באופן זה ניתן לאחסן כמות גדולה יותר של אנרגיה על גבי הרכב.
- **הנעה באמצעות גז טבעי נוזלי (גט"ן או LNG - Liquefied Natural Gas)**
גט"ן הינו גז טבעי המקורר אל מתחת לנקודת רתיחתו ובאופן זה הופך לנוזל. צפיפות הנוזל הגבוהה פי 600 מצפיפות הגז מאפשרת אחסון גדול יותר של אנרגיה על גבי הרכב.
- **רכב חשמלי מונע מצבר (BEV - Battery Electric Vehicle)**
ברכב חשמלי מונע מצבר, כלל האנרגיה להנעת הרכב מסופקת באמצעות סוללות נטענות. באופן זה לא נדרש מקור דלקי או מקור אנרגיה אחר על גבי הרכב.
- **הנעה באמצעות תאי דלק מבוססי מימן (FCEV - Fuel Cell Electric Vehicle)**
מימן משמש כדלק חלופי אותו ניתן להפיק במספר תהליכים ייעודיים, לרבות באמצעות גז טבעי. תא דלק הינו התקן בו משתמשים במימן או בדלק מימני ובחמצן על מנת לייצר חשמל באמצעות תהליך אלקטרו-כימי. הנעת הרכב לאחר תהליך זה דומה לרכב חשמלי.

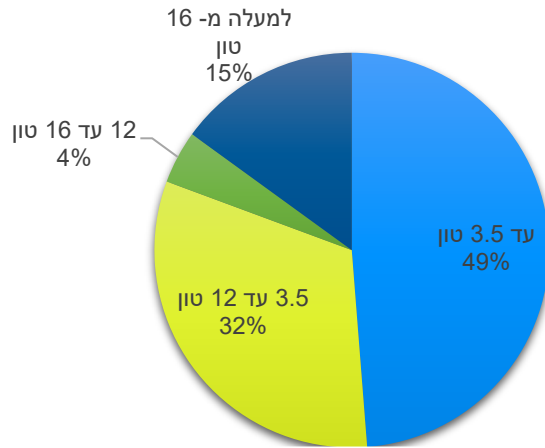
העבודה מסתכלת על המשמעותיות וההשלכות בבחירת כל טכנולוגיה בראייה ארוכת טווח ומנקודת המבט של הרגולטור. בחינת המשמעותיות בבחירת כל חלופה בטווח הארוך (על פני העשור הקרוב ואף יותר), כרוכה במידה לא מבוטלת של אי וודאות: הן בנוגע לפיתוח הטכנולוגי, הן בנוגע שינויי מחירים והן בנוגע להתנהגות השוק והצרכנים. עבודה זו אינה מבקשת להמליץ לבעל צי רכב זה או אחר באופן פרטני על החלופה המתאימה ביותר עבורו. אלא, בהינתן המאפיינים המקומיים, לצד מגמות ושינויים בשוק העולמי, לסייע לרגולטור להחליט בדבר החלופה המתאימה ביותר לישראל. בפרט, מטרת עבודה זו היא לשמש ככלי תומך החלטה בדבר השקעות לאומיות והקמת תשתיות. לא מן הנמנע, ואף צפוי, כי יהיו מקרים פרטיים להם חלופה אחרת נכונה יותר.

לפי נתוני הלמ"ס שיעור המשאיות במשק לפי קטגוריות משקלן הינו כדלהלן:

¹ https://www.gov.il/he/departments/general/emission_factors_from_vehicles

² תוך הנחה שאוטובוסים ומשאיות צורכים סולר ויתר כלי הרכב בניזין וכי תכולת האנרגיה של בניזין הינה 1.0650 TOE/t ותכולת האנרגיה של סולר הינה 1.0344 TOE/t

³ קיימות טכנולוגיות חשמליות נוספות המבוססות על טעינת רכבים לאורך דרך הנסיעה. סוג טעינה זה דורש פריסה של תשתית לאורך הדרך, התאמה של כלי הרכב לטעינה מסוג זה (לרוב באמצעות כבל חשמלי) והקצאה של מסלולים ייעודיים לכלי הרכב. ניתוח זה לא התמקד בטכנולוגיה זו.



ניתן לראות שכ- 50% מהמשאיות בישראל הינן משאיות במשקל של עד 3.5 טון (הפילוח נעשה בהתאמה לנתוני הלמ"ס, שכוללת בקטגוריה זו גם כלי רכב מסחריים). במסגרת יעדי משק האנרגיה, קבע משרד האנרגיה יעדים לחשמול של כלי הרכב הפרטיים וקטגוריות ספציפיות בקרב הרכבים הכבדים (לדוגמא אוטובוסים עירוניים). עוד מעריך המשרד כי מרבית המשאיות הקלות יוחלפו במשאיות חשמליות, גם ללא רגולציה מחייבת. מסיבה זו הניתוח מתמקד בשתי קטגוריות משקל: רכבים במשקל כבד (למעלה מ- 16 טון) ורכבים במשקל בינוני (3.5-16 טון).

היקף הנסועה לכל קטגוריית משקל מבוסס על פרסומי הלמ"ס. באופן כללי ניתן לקבוע כי היקף הנסועה השנתי הממוצע גדל ברכבים כבדים. לטווחי הנסועה השנתיים ומרחקי הנסיעה בכל מקטע נסיעה משמעות גדולה בבחירת הטכנולוגיה המתאימה לישראל. כפי שניתן לראות בהשוואה הטכנולוגית מטה, נכון להיום טווח הנסיעה של כל החלופות ללא עצירת ביניים לתדלוק/ טעינה, נמוך ביחס לטווח הנסיעה של רכב המונע בסולר (בהקשר זה יש לציין כי כבר היום מצהירות יצרניות רכב על פיתוח דגמים בעלי טווח נסיעה מוגדל).

עם זאת, שטחה הקטן של מדינת ישראל מגביל את הצורך במרחקי נסיעה ארוכים מאוד, בשונה ממדינות גדולות באירופה ומארה"ב. לנתון זה משמעות גדולה, שכן עבור מרחקי נסיעה קצרים יותר, גם לטכנולוגיות בעלות טווחי נסיעה קצרים יותר (לרבות גט"ד וחשמל), יכולת לספק מענה אנרגטי ללא עצירת ביניים. בהתאם לנתוני הנסועה השנתית הממוצעת בישראל ובהנחה שמשאיות נוסעות במשך 150-250 ימים בשנה, עולה כי היקף הנסועה היומי אינו עולה על 400 ק"מ. עבור מקטע באורך זה, כלל החלופות יוכלו בעתיד הנראה לעין לספק מענה אנרגטי מתאים ללא עצירת לתדלוק או טעינה.

להלן השוואת הטכנולוגיות בהתאם לפרמטרים המסייעים בבחינת מידת התאמתן לישראל. הנתונים מתייחסים לתרחיש החדירה המורכב יותר, עבור משאיות כבדות, שכן טווחי הנסועה ובשלות הטכנולוגיות החליפיות של אלה נמוכים יותר.

רכב מבוסס תא דלק מימני	רכב חשמלי מונע מצבר	רכב מונע גט"ן	רכב מונע גט"ד	תרחיש הייחוס - דיזל	טכנולוגיה
מוערך כי דגמים עתידיים יהיו בעלי טווחי נסיעה של 1500 ק"מ	ישנם דגמים הנמצאים בשלבי ייצור ופיתוח של משאיות כבדות בעלי טווחי נסיעה המוערכים בכ- 500-900 ק"מ.	נמוך עד פי 2 מסולר ⁷ 500-1000 ק"מ	נמוך עד פי 6 מסולר ⁵ 150-500 ק"מ ⁶	1000-2000 ק"מ ⁴	טווח נסיעה [ק"מ]
דומה לזה של סולר	<ul style="list-style-type: none"> טעינה איטית לאורך הלילה הטכנולוגיה לטעינה מהירה של רכבים כבדים (סוללות בהספק גבוה) נמצאת בשלבי פיתוח. 	<ul style="list-style-type: none"> היות והגז במצב נוזלי, דומה לזה של סולר⁹ גט"ן לא ניתן לאחסון ברכב לזמן ממושך. לכן מתאים לרכבים הנוסעים באופן תדיר בלבד 	<ul style="list-style-type: none"> טעינה איטית לאורך הלילה זמן תדלוק בתחנת תדלוק מהירה דומה לסולר⁸ 	מספר דקות	זמני תדלוק/ טעינה
נמצא בשלבי פיתוח מוקדמים ביחס ליתר סוגי ההנעה, יצרנים הצהירו על מספר דגמים מצומצם יחסית	זמינות ראשונית, אפשרות מוגבלת להזמנת משאית כבדה וממספר יצרנים מצומצם. עם זאת, נמצא בשלבי ייצור ופיתוח. כבר היום יצרנים הכריזו על פיתוח דגמים בעלי טווחי נסיעה של עד 900 ק"מ	זמין מסחרית לכלי רכב במשקלים כבדים הנמצאים בשימוש תדיר בלבד. אינו זמין מסחרית לרכבים קלים ובינוניים	זמין מסחרית	זמין מסחרית	זמינות מסחרית
קיים חוסר ודאות בכל הנוגע לייצור והפקת מימן לרבות עלויות נלוות גבוהות	<ul style="list-style-type: none"> פיתוח רשת החשמל, הולכה וחלוקה של חשמל לעמדות הטעינה הקמה של עמדות טעינה, איטיות ומהירות בנקודות אסטרטגיות. בהקשר זה חשוב לציין כי מתכנן הרגולטור להקים תשתית לטעינת רכבים חשמליים קלים (ואוטובוסים עירוניים) 	<ul style="list-style-type: none"> הקמה של מתקן הנזלה בעלות גבוהה הקמה של תשתית לחלוקת והפצה של גט"ן והקמה של תחנות תדלוק 	<ul style="list-style-type: none"> הרחבת מערכת הולכה וחלוקה של גז טבעי לתחנות התדלוק באמצעות צנרת גז ודחיסה בתחנות התדלוק או באמצעות שינוע של גז דחוס הקמה של תחנות תדלוק איטיות ומהירות בנקודות אסטרטגיות 	תשתית קיימת	תשתית נדרשת

⁴ Forecast of Medium- and Heavy-Duty Vehicle Attributes to 2030, California Energy Commission, 2018, לפי יעילות של 7.1 מייל לגלון דיזל (3.2 ק"מ לליטר) במשאית דיזל בקטגורית משקל (Class)

⁷ ונפח מיכלי דלק של כ-300 עד 550 ליטר

⁵ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

⁶ בהנחה של צפיפות אנרגיה נמוכה פי 4-6

⁷ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

⁸ https://afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_cng_stations.html#timefill

⁹ https://afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_infrastructure.html

השפעה סביבתית	השפעות סביבתיות נרחבות של זיהום אוויר ופליטת גזי חממה	שריפת גז טבעי כרוכה בפליטת מזהמי אוויר וגזי חממה במוקד השריפה	<ul style="list-style-type: none"> • אפס פליטות מזהמי אוויר במוקד הצריכה. • פוטנציאל להפחתת פליטות מזהמי אוויר וגזי חממה. ככל שגדל ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות כך קטנות גם הפליטות במוקד. עם זאת, הסוללות עשויות מחומרים מזהמים 	<ul style="list-style-type: none"> • אפס פליטות מזהמי אוויר במוקד הצריכה. • מעט פליטות במקור (פליטות מייצור מימן בלבד) כתלות באופן ייצור המימן
סוגיות בטיחות	<ul style="list-style-type: none"> • רמת דליקות 4 (מתוך 4)¹¹ • סכנה במקרה של דליפה במקומות סגורים 	<ul style="list-style-type: none"> • רמת דליקות 4 (מתוך 4)¹² • בשל הצורך באחזקתו בטמפי נמוכה מאוד, קיימות סכנות בטיחותיות במהלך התדלוק ולכן נדרשת הכשרה של כוח אדם תהליך הרתיחה (Boil-off) • במיכלי הגז (הן ברכבים והן בתהליך השינוע) עלול לגרום לעלייה בלחץ המיכל ולהוות סיכון. 	<ul style="list-style-type: none"> • רמת דליקות 4 (מתוך 4)¹³ • סכנות הנובעות מנפיצות הגז¹⁴ • סכנות בטיחותיות לרוב נמוכות ביחס לחלופות. עם זאת, קיימות סכנות משויכות בעיקר להתלקחות הסוללה. 	<ul style="list-style-type: none"> • רמת דליקות 4 (מתוך 4)¹³ • סכנות הנובעות מנפיצות הגז¹⁴

¹⁰ <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/11452>

¹¹ <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/8823>

¹² <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/8823>

¹³ <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/8729>

¹⁴ The international consortium for safety health & the environment, Safety issues regarding fuel cell vehicles and hydrogen fueled vehicles

מלבד המאפיינים הטכנולוגיים, הזמינות המסחרית והמשמעויות התשתיות, עבודה זו מבקשת לבחון את הכדאיות הכלכלית של החלופות. הניתוח בוחן ארבעה מרכיבים עיקריים: עלות הון (מחיר הרכישה של הרכב), עלות צריכת אנרגיה, עלויות תפעול ותחזוקה והשקעה נדרשת בתשתית.

במטרה לזהות מגמות בשוק הרכב העולמי ולגבש את בסיס הנתונים והתחזיות לניתוח הכלכלי, נסקרו מחקרים שבוצעו ע"י גופים וארגונים בעולם בדבר הנעה חלופית לכלי רכב כבדים. במחקרים אלה נבחנו המשמעויות הכלכליות של החלופות האפשרויות ובחלקם אף גובשו תחזיות למחירים ולשיפורים הטכנולוגיים בעשור הקרוב.

המחקרים שנבחנו מצביעים כי בעולם המעבר לרכבים מאופסי פליטה, לרבות רכבי מימן ורכבים חשמליים, צפוי כבר לקראת תום העשור הנוכחי (להרחבה ראה 'ממצאי מחקרים שסייעו בכתיבת הפרק הכלכלי'). אנו רואים כי שווקים מרכזיים בעולם (ארה"ב, אירופה, סין) מקדמים טכנולוגיות הנעה חלופיות לכלי רכב, כמו גם פיילוטס אזוריים לחדירת רכבים בטכנולוגיות הנעה אלטרנטיביות ותקצוב צעדים מדיניים בנושא אנרגיה חלופית לסקטור התחבורה. חלק עיקרי במגמה זו נובע מרגולציה סביבתית והסכמים בין לאומיים שמטרתם להפחית שימוש בדלקים (לרבות דלקים דלי זיהום) ואף קובעות יעדים לאיפוס פליטות גזי חממה (כולל פליטות בסקטור התחבורה).

עם זאת, קיימת שונות בין המחקרים הנ"ל בנוגע לתחזיות החדירה והתפתחות המחירים של הטכנולוגיות השונות. שונות זו משקפת את המורכבות ורמת אי הוודאות בכל הנוגע לחדירה של טכנולוגיות חליפיות ובפרט לרכבים כבדים.

בסיס הנתונים, ההנחות והתחזיות ששימשו לניתוח הכלכלי בעבודה זו נאספו מהמחקרים לעיל, בתוספת נתונים והנחות פרטניים למשק הישראלי. כלל הנחות הניתוח, הנתונים ושיטת החישוב מפורטת תחת "שיטת החישוב ונתונים". הניתוח מבוצע עבור שני תרחישים:

- א. תרחיש הלוקח בחשבון תחזית לשינוי במחירי ההון, מחירי האנרגיה ושיפורים טכנולוגיים **בטווח הקצר-בינוני** - סביבת מחירים התואמת את תחזיות המחקרים לסביבות שנת 2025.
- ב. תרחיש הלוקח בחשבון תחזית לשינוי במחירי ההון, מחירי האנרגיה ושיפורים טכנולוגיים **בטווח הבינוני-ארוך** - סביבת מחירים התואמת את תחזיות המחקרים לסביבות שנת 2030 ואף מאוחר יותר.

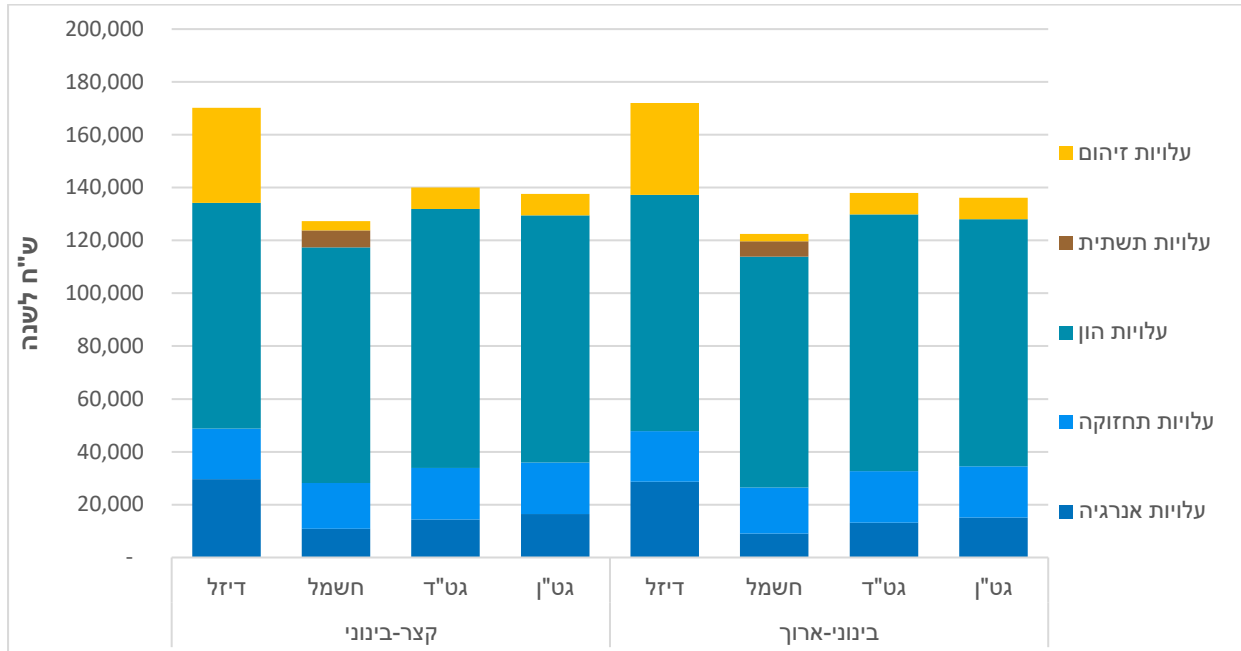
במסגרת עבודות המחקר שעמדו בבסיס ניתוח זה גובשו תחזיות לשנים ספציפיות ובפרט לשנים 2025 ו-2030. בשל רמת אי הוודאות בכל הנוגע למימוש תחזיות אלה במועד צפוי, בעבודה זו לא התייחסנו לשנות התחזית הספציפיות באופן מחייב, אלא באמצעות שני תרחישים, כמתואר לעיל. עוד יצוין כי שני התרחישים מבוססים על ההנחה ששוק הרכב העולמי ינוע בכיוון טכנולוגיות מאופסות פליטה ומכאן שעם הביקוש, מחירי חלופות אלה ירדו ויעילות עבודתן תעלה.

הניתוח מתמקד בשני סוגי משאיות: **משאיות במשקל בינוני** - משאית בקטגורית משקל (class) 4/5/6 לפי קטגוריות המשקל האמריקאית ו**משאיות במשקל כבד** - קטגורית משקל (class) 7/8 לפי קטגוריות המשקל האמריקאית. בשל המגבלות הטכנולוגיות למשאיות מונעות גט"ן במשקל נמוך עד בינוני, עבור טכנולוגיה זו ייבחנו המשמעויות הכלכליות של משאיות כבדות בלבד. מעבר לכך, בשל רמת אי הוודאות הגבוהה בכל הנוגע לאופן ועלויות הנלוות לייצור, אחסון ושינוע מימן, כמו העבודה שזמינותו המסחרית עודנה נמוכה ביחס לחלופות האחרות, הוחלט לא לכלול חלופה זו בבחינה הכלכלית.

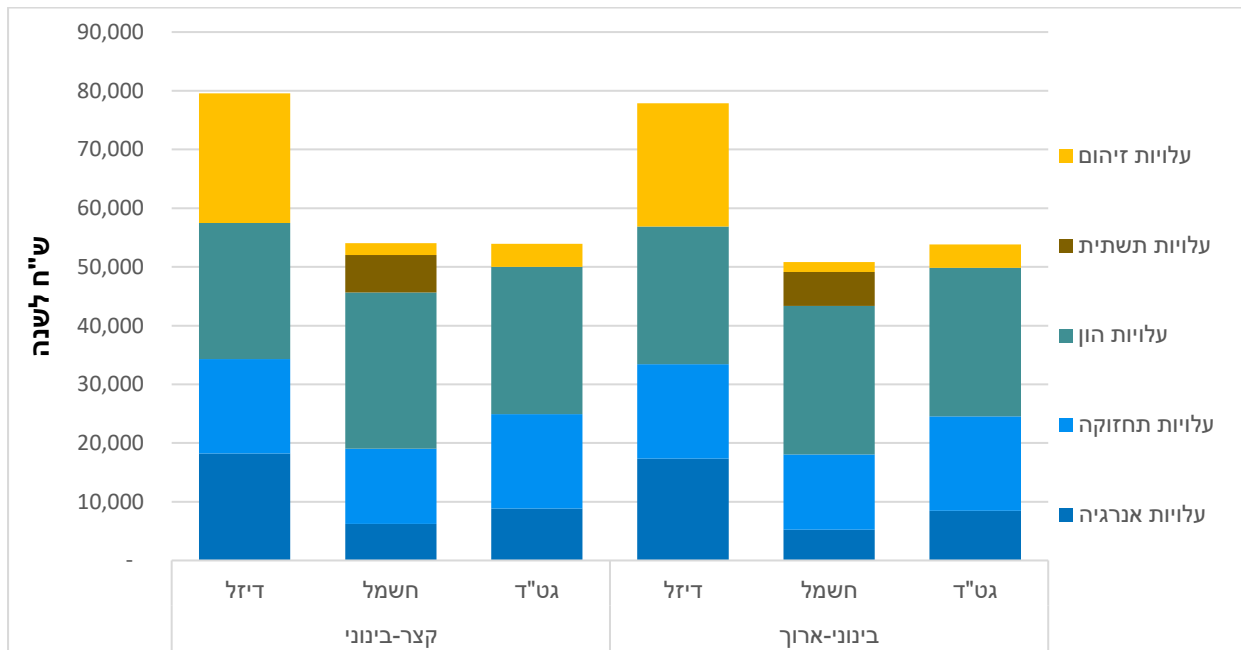
הכדאיות הכלכלית של כל אחת מהטכנולוגיות נבחנה משתי נקודות מבט, הראשונה מנקודת מבטו של הצרכן (בעל המשאית) והשנייה מנקודת המבט של המשק. עיקר ההבדל בין הניתוחים הינו בכך שבמסגרת הניתוח המשקי לא נכללים רכיבי מיסוי, תמלוגים והעברות פנימיות בתוך המשק (לרבות רכיבי המיסוי והתמלוגים במחירי הדלק והחשמל), אך כן נאמדת העלות החיצונית הנגרמת מפליטות גזי חממה ומזהמי אויר.

בגרפים מטה מוצגות התחזיות לעלויות השנתיות של כלל החלופות על פני העשור הקרוב, ראשית עבור משאית כבדה ולאחר מכן עבור משאית במשקל בינוני. העלויות של כל חלופה נורמלו למשאית בודדת ומוצגות כעלות שנתית. רכיבי ההון והתשתית נפרסו בהתאם להנחות בדבר אורך חיי כל רכיב. עוד הונח במסגרת הניתוח כי עלות הפריסה וההקמה לתדלוק רכבים בגז כלולה במחיר הגז שנלקח לניתוח. מכאן, שעלות התשתית למשאיות גז טבעי לא חושבה כרכיב נפרד.

גרף 9- תחזית עלויות משקיות של משאית כבדה (ש"ח לשנה)



גרף 10- תחזית עלויות משקיות של משאית במשקל בינוני (ש"ח לשנה)



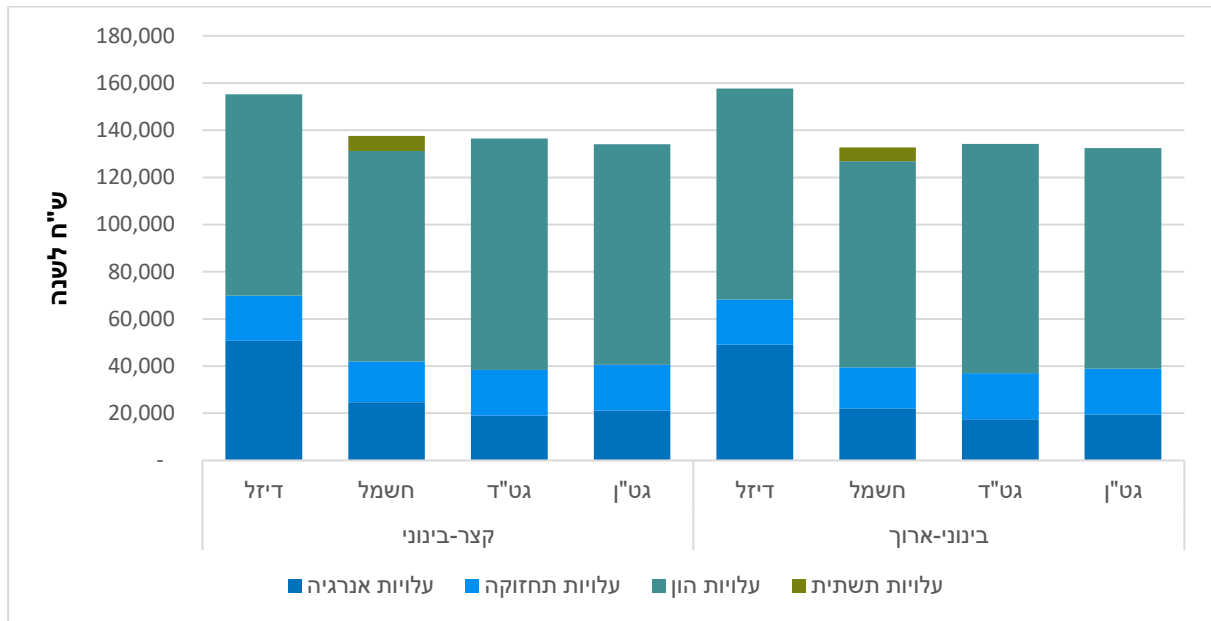
ראשית, ניתן לראות כי עבור כלל קטגוריות הרכבים, תחזית העלות השנתית למשק של משאיות מבוססות דיזל הינה הגבוהה ביותר. זאת על אף שהונח באופן שמרני כי לא נדרשת השקעה נוספת בתשתית תדלוק סולר, מעבר לזו הקיימת היום. **נתון זה מחזק את הצורך בהעברת כלי הרכב לטכנולוגיית הנעה חלופית.**

שנית, על פי התחזיות נראה כי החלופה החשמלית תהיה הכדאית ביותר עבור כל קטגוריות המשקל הן בטווח הקצר-בינוני והן בטווח הארוך, אולם בפער קטן מהחלופות המבוססות על גז טבעי. תוצאה זו נזקפת בעיקר לזכות הוצאה פחותה על אנרגיה, הנובעת מייעילות הרכב החשמלי וכי עלות החשמל נמוכה ביחס לחלופות. עוד עולה מתוצאות הניתוח כי סך העלות השנתית של משאיות כבדות מבוססות גז טבעי דומה עבור גט"ד וגט"ן.

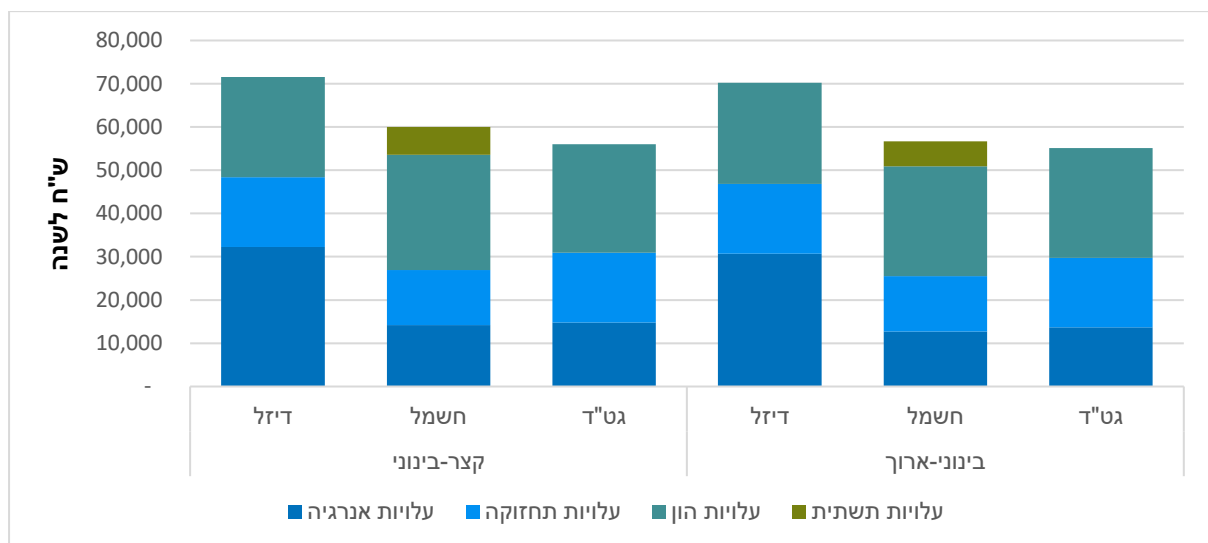
במטרה להעריך את התועלת הכוללת למשק, נבחנו המשמעויות מהחלפת כלל המשאיות הכבדות והבינונית במשק (מספר המשאיות מבוסס על פרסומי הלמ"ס) מסולר לחשמל בשנות התחזית. באופן שמרני הונח כי לא חל גידול במצבת כלי הרכב הכבד בישראל בתקופת התחזית. בהינתן התחזית לטווח הקצר בינוני, החלפת כלל מצבת המשאיות הכבדות והבינוניות במשק למשאיות חשמליות צפויה להניב תועלת משקית של כ- 19 מיליארד ש"ח במונחי ענ"נ לשנת 2020. בהינתן התחזית לטווח הבינוני-ארוך, תועלת זו צפויה לעמוד על כ- 21 מיליארד ש"ח. לעומת זאת, החלפת כלל המשאיות במשק למשאיות גט"ד (המספרים דומים גם עבור שילוב בין גט"ן במשאיות כבדות וגט"ד במשאיות בינוניות) הוא כ- 17 מיליארד ₪.

הגרפים מטה מציגים את תוצאות הניתוח מנקודת המבט של הצרכן:

גרף 16 - תחזית עלויות לצרכן - משאית כבדה (ש"ח לשנה)



גרף 17 - תחזית עלויות לצרכן - משאית בינונית (ש"ח לשנה)



בבחינת ההשוואה הטכנולוגית ברמת הצרכן, ניתן לראות כי כבר בטווח הבינוני-קצר, העלות השנתית של רכבי דיזל הינה הגבוהה ביותר ביחס לחלופות. עוד ניתן לראות כי העלות הכוללת בשני המשקלים של משאיות חשמליות ושל משאיות הפועלות על בסיס גז טבעי נמוכות משמעותית ודומות אחת לשנייה. היות ומחירי האנרגיה לצרכן גבוהים יותר מעלויות האנרגיה המשקיות ניתן לראות כי חלקה היחסי של ההוצאה על אנרגיה מסך העלויות גדול יותר בהשוואה לניתוח המשקי.

להלן מסקנות והמלצות עיקריות הנגזרות מניתוח זה :

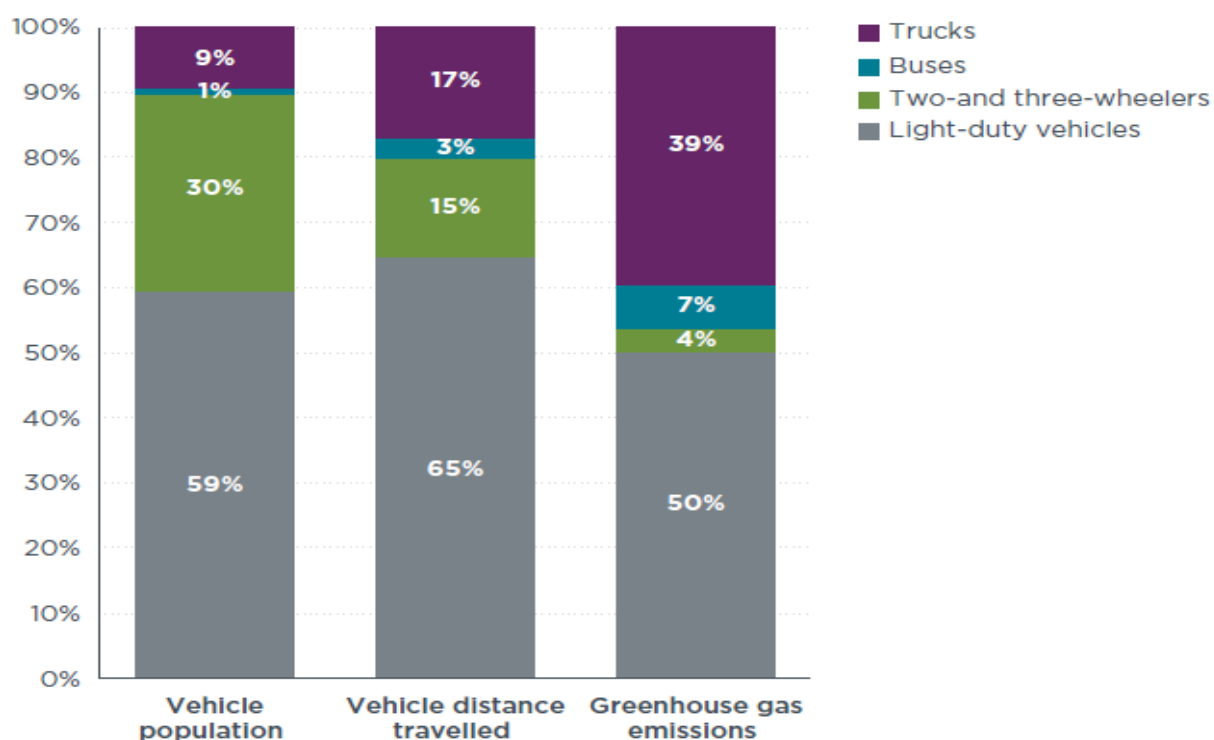
- העלות השנתית הכוללת של משאיות כבדות ומשאיות במשקל בינוני מבוססות דיזל הינה הגבוהה ביותר ביחס לכלל החלופות שנבחנו. מכאן, **שקיים צורך ממשי במציאת חלופה למצב הקיים.**
- בבחינת החלופות למשאיות כבדות קונבנציונליות, **כיום משאיות גט"ד וגט"ן זמינות מסחרית.** בכל הנוגע לחלופות מאופסות פליטה (מאגוז הרכב), משאיות חשמליות מונעות מצבר נמצאות בשלבי פיתוח וזמינות מסחרית לקטגוריות המשקל הנמוכות יותר. משאיות מבוססות מימן נמצאות בשלבי פיתוח ראשוניים, אך זמינותן המסחרית נמוכה וקיימת אי וודאות רבה בנוגע לעלויות הנלוות לייצור, אחסון ושינוע מימן.
- שווקים מרכזיים בעולם פועלים לקידום ופיתוח טכנולוגיות מאופסות פליטה, בין היתר כדי לעמוד בהסכמים סביבתיים בינ"ל ולהביא להפחתה ואף איפוס פליטות גז"ח. מגמה זו צפויה להשפיע על התחבורה העולמית ועל ענף ייצור הרכב. כמשק קטן, ענף התחבורה בישראל צפוי להיות מושפע ממגמות אלה.
- בטווח התחזית, **העלות הכוללת של רכבים חשמליים צפויה להיות הנמוכה ביותר הן למשק והן לצרכן**, ברוב תנאי משקל המשאיות והטווח שנבחנו. עם זאת, **הפער בין מחיר הרכבים החשמליים והרכבים מונעי הגז הטבעי היה קטן יחסית.**
- לשם המחשה, התועלת המשקית הצפויה מהחלפה של כלל רכבי הדיזל הקיימים ברכבים חשמליים, מוערכת בכ-20 מיליארד שקלים במונחי עני"ל לשנת 2020. לעומת זאת, התועלת המשקית הצפויה מהחלפת הרכבים מדיזל לרכבים מונעי גז טבעי, מוערכת בכ-17 מיליארד שקלים.
- ישנה אי-ודאות בנוגע למחיר העתידי של הרכבים החשמליים. **בהינתן מחירי רכבים חשמליים גבוהים יותר, חלופות הגט"ן והגט"ד זולות במעט מהחלופה החשמלית**, לשתי קטגוריות המשקל שנבחנו.
- לא נמצא הבדל מובהק בין העלויות השנתיות של החלופות מבוססות גז טבעי - גט"ד וגט"ן. עם זאת, לגט"ן חסרונות בהשוואה לגט"ד : זמינותו המסחרית של גט"ן מוגבלת לרכבים כבדים הנוסעים באופן תדיר בלבד, כתוצאה מתהליך רתיחת הגז המתרחש תוך מספר ימים לאחר מילוי המיכל. לעובדה זו שיקול בבחינת ההחלטה על השקעה תשתית נרחבת ברכבים אלה. שנית, הנזלת הגז כרוכה בעלויות גבוהות. להשקעה תשתית רחבה הנדרשת לביצוע בטווח הקצר משמעות כלכלית בהשוואה להשקעה תשתית הנפרסת באופן הדרגתי עם חדירת הטכנולוגיה (בדומה לחשמל וגט"ד).
- משרד האנרגיה קבע יעדים להחלפה מאסיבית של כלי הרכב הקלים בישראל ומספר קטגוריות רכבים כבדים (כמו אוטובוסים עירוניים) בכלי רכב חשמליים במהלך העשור הקרוב. המהלך דורש תכנון והשקעה נרחבת בתשתית טעינה חשמלית ובעלויות גבוהות. **נכון יהיה להשקיע בהרחבת התשתית המתוכננת באופן שיתאים גם לרכבים כבדים ולהימנע מהשקעה בתשתית נוספת נפרדת.** פרט לעלויות הישירות, לרכבים חשמליים מספר יתרונות בולטים נוספים : לרכב החשמלי אין פליטות מזהמי אויר בקצה הצינור, מכאן עלויות סביבתיות ובריאותיות מופחתות ; לרכב החשמלי מספר יתרונות בכל הנוגע לבטיחות הרכב ותחנת הטעינה ביחס לרכב מבוסס דלק ותחנת תדלוק ; בשל היותו טכנולוגיה חדשה יחסית, כמו גם ההשקעה העולמית במחקר ופיתוח, לרכב החשמלי פוטנציאל שיפור טכנולוגי גבוה ביחס לחלופות.
- תחת הנחות הבסיס, **חלופת משאיות חשמליים הינה העדיפה ביותר מבחינת העלויות למשק.** אולם, שינוי בהנחות הבסיס לגבי מחיר הרכבים החשמליים, פרמטר סביבו ישנה אי-ודאות גבוהה בהשוואה לחלופת הרכבים מונעי הגז הטבעי שקיימים שנים רבות בשוק, **מביא לכך כי חלופת המשאיות המונעות בגז טבעי עדיפה.**

מבוא

סקטור התחבורה אחראי ליותר מ- 40% מצריכת האנרגיה הסופית במשק¹⁵, כאשר מרבית צריכה זו מסופקת משריפת דלקים מאובנים, בראשם סולר ובנזין. לגזי החממה ומזהמי האוויר הנפלטים משריפת דלקים מאובנים, השפעות סביבתיות ובריאותיות משמעותיות. מסיבה זו פועלות מדינות מפותחות בעולם על פיתוח וקידום טכנולוגיות מבוססות מקורות אנרגיה חליפיים, באופן שיאפשר כבר בעתיד הלא רחוק, החלפה של מנועי הבעירה המסורתיים, מבוססי הסולר והבנזין, בטכנולוגיות הנעה יעילות וידידותיות יותר לסביבה. מגמה זו עומדת בקנה אחד עם יעדים אסטרטגיים שנקבעו במדינת ישראל כבר לפני עשור, להפחתת משקל הנפט כמקור אנרגיה לתחבורה בישראל, וזאת לאור החשיבות בהקטנת התלות בייבוא דלקים והתרומה הנובעת מכך לביטחון האנרגטי של ישראל.

לפי דוח של המועצה הבינלאומית לתחבורה נקייה, חלק לא מבוטל מצריכת הדלקים ופליטת גזי החממה לתחבורה נגרמת מהנעה של ציי רכב כבדים, לרבות משאיות כבדות ואוטובוסים. גרף 1 מציג את פילוח מלאי הרכבים בעולם, היקף הנסועה ופליטות גזי החממה לכל סוגי הרכבים.

גרף 1- פילוח מצבת כלי הרכב הכבישיים בעולם, מרחק נסועה ופליטות גזי חממה לאורך חיי סוגי כלי הרכב השונים¹⁶



ניתן לראות כי בעוד שהחלק היחסי של משאיות ואוטובוסים מהווה כ- 10% ממצבת כלי הרכב העולמית וכ- 20% מהיקף הנסועה בעולם, פליטות גזי החממה המיוחסות לשתי קטגוריות אלה, מוערכות ביותר מ- 45% מסך פליטות כלי הרכב הכבישיים. נתון זה מדגיש את הצורך במענה הולם למקור פליטה זה, על ידי קידום אלטרנטיבות דלות פליטה.

בעוד שהאלטרנטיבה המובילה אותה מקדמת מדינת ישראל עבור כלי רכב קלים (כדוגמת רכבים פרטיים, מוניות) ואוטובוסים עירוניים הינה טכנולוגית רכב חשמלי מונע מצבר (BEV- Battery Electric Vehicle), עבור הצי הכבד (קרי, משאיות ואוטובוסים בין-עירוניים) טכנולוגיה זו בשלה פחות וזאת לאור מגבלות המצבר אל מול הצורך בהסעת משקלים כבדים למרחק רב בין טעינות.

בכדי להניע את השוק לעבר רכבים כבדים דלי פליטה, נדרש תכנון ארוך טווח והשקעה תשתיתית בהיקף רחב. היקף ההשקעה ואופן יישומה צפוי להשתנות בין טכנולוגיה אחת למשנייה. מסיבה זו, קיימת חשיבות לעידוד וקידום החלופה

¹⁵ ע"ב מאזן האנרגיה של הלמ"ס, 2017

¹⁶ <https://theicct.org/publications/transitioning-zero-emission-heavy-duty-freight-vehicles>

המתאימה ביותר, תוך בחינה של המשמעויות: הטכנולוגיות, הכלכליות והסביבתיות העומדות בבסיס כל אחת מהחלופות.

עבודה זו תתמקד בבחינה של ארבע טכנולוגיות נפוצות אפשריות להחלפה של הצי הכבד:

- הנעה באמצעות גז טבעי דחוס (גט"ד או CNG- Compressed Natural Gas)
- הנעה באמצעות גז טבעי נוזלי (גטי"ן או LNG- Liquefied Natural Gas)
- רכב חשמלי מונע מצבר (BEV- Battery Electric Vehicle)
- הנעה באמצעות תאי דלק מבוססי מימן (FCEV- Fuel Cell Electric Vehicle)

חשוב לציין כי עבודה זו מסתכלת על המשמעויות וההשלכות בבחירת כל טכנולוגיה בראייה ארוכת טווח ומנקודת המבט של הרגולטור. בחינת המשמעויות בבחירת כל חלופה בטווח הארוך (על פני העשור הקרוב ואף יותר), כרוכה במידה לא מבוטלת של אי וודאות: הן בנוגע לפיתוח הטכנולוגי, הן בנוגע להשתנות מחירים והן בנוגע להתנהגות השוק והצרכנים. עבודה זו אינה מבקשת להמליץ לבעל צי רכב באופן פרטני בדבר החלופה המתאימה ביותר עבורו. אלא, בהינתן המאפיינים המקומיים, לצד מגמות ושינויים בשוק העולמי, לסייע לרגולטור להחליט בדבר החלופה המתאימה ביותר לישראל.

ראשית העבודה תציג סקירה של ארבע הטכנולוגיות, תוך דגש על הבשלות הטכנולוגית של כל טכנולוגיה, ישימות, יתרונות וחסרונות של כל חלופה ומשמעויות בפריסת התשתית. בשלב השני יבוצע ניתוח טכנו- כלכלי במטרה לבחון את הכדאיות של כל אחת מן החלופות אחת ביחס לשנייה וביחס לחלופה הרווחת כיום – מנוע בעירה פנימית מבוסס דיזל.

חלופות טכנולוגיות אפשריות

הנעה באמצעות גז טבעי (גט"ד וגט"ן)

כתוצאה מצפיפות הגז ביחס לדלקים מאובנים נוזליים (כדוגמת סולר, בנזין), שימוש בגז טבעי (ג"ט) ליישומי תחבורה דורש את דחיסתו או הנזלתו. זאת על מנת לצמצם את נפחו ולאפשר אחסון על גבי כלי רכב. שתי החלופות הקיימות להנעת רכבים באמצעות גז טבעי הן גט"ן וגט"ד.

גט"ד הינה טכנולוגיה הקיימת מזה מספר עשורים וזו הנפוצה ביותר כיום לאחסון גז טבעי בכלי רכב. ייצור גט"ד מבוצע ע"י דחיסת גז טבעי לכדי פחות מ- 1% מנפחו בלחץ אטמוספרי ובתנאים סטנדרטיים. כדי לספק טווח נסיעה משמעותי, הגז נדחס בלחץ של כ- 200-250 bar ונשמר במערכות ייעודיות בתחנות התדלוק השומרות על הלחץ. מילוי גט"ד בכלי רכב מצריכה מכלים השומרים את הגז בלחץ גבוה.

צפיפות האנרגיה של גט"ד משתנה בהתאם ללחץ בו מוחזק הגז. לפי מחקרים, צפיפותו נמוכה עד פי 6¹⁷ מזו של סולר. כלומר, כמות האנרגיה האגורה בסולר גבוהה מגט"ד עד פי 6 לאותו נפח מיכל. לשם המחשה, מיכל גז בנפח 100 ליטר הנשמר בלחץ של 200 bar, מכיל כ- 16 ק"ג גט"ד. האנרגיה שבמיכל בנפח זה שקולה לאנרגיה שב- 22-23 ליטר סולר.¹⁸ טווח הנסועה של משאית סולר יכול להגיע ל- 1000-1800 ק"מ ללא עצירה לתדלוק.¹⁹ בהשוואה, טווח הנסיעה של גט"ד ללא עצירת תדלוק הינו 150-500 ק"מ.²⁰ מסיבה זו, לרוב גט"ד נפוץ יותר בכלי רכב במשקל נמוך ובינוני הנדרשים למרחקי נסיעה קצרים באופן יחסי.

הנזלת גז טבעי ליצירת גט"ן מבוצעת ע"י טיהור במתקן ייעודי וקירורו אל מתחת לנקודת רתיחתו (מינוס 160 מעלות צלסיוס לערך). לאחר תהליך זה נותר בעיקר מתאן במצב נוזלי. תהליך זה מאפשר הובלה יעילה של הגז מאחר ובפאזה הנוזלית הנפח של הגז קטן משמעותית (עד פי 600). בכדי לשמור על מצבו הנוזלי, נדרש להחזיק גט"ן במכלים ייעודיים השומרים על הגז בטמפר' נמוכה ומונעים את רתיחתו. עם זאת מיכלי האגירה אינם מבודדים באופן מוחלט ועל כן, לאחר פרק זמן קצר יחסית (כ- 5 ימים ללא אוורור המיכל²¹), מתחיל תהליך רתיחה (Boil-off), בו עולה הלחץ בתוך המיכל בשל התפשטות הגז. עובדה זו מגבילה את יכולת אחסון גט"ן לתקופה קצרה ולכלי רכב הנמצאים בשימוש באופן תדיר.²² בתהליך הנעת הרכב מתחמם הגז הנוזלי והופך להיות חזרה במצב גזי. מהנקודה הזאת, תהליך אספקת הגז דומה לתהליך של מערכות הנעת רכבים בגז טבעי דחוס.²³

בשל היותו במצב נוזלי, צפיפות האנרגיה של גט"ן גבוהה מזו של גט"ד פי 2-3. אספקת אנרגיה זהה לזו של סולר מצריכה אגירה בנפח של עד פי 2 מזה של סולר בלבד.²⁴ בהשוואה לסולר מדובר בטווח נסיעה של 500-900 ק"מ לערך.

שימוש בגז טבעי כמקור דלק בתחבורה טומן בחובו גם סכנות בטיחותיות הדורשות תכנון, תחזוקה ותפעול מתאים. התאחדות הלאומית למניעת שריפות (NFPA- National Fire Protection Association) מסווגים מתאן ברמת דליקות²⁵ 4, הדרגה הגבוהה ביותר מתוך 4 דרגות חומרה. לשם השוואה סולר מדורג בדרגה 2 בלבד.²⁶

בכל הנוגע לגט"ד, הגז הטבעי חסר ריח ולכן כאמצעי בטיחות לרוב נהוג להחדיר אליו ריח באמצעים כימיים ובאופן מלאכותי (בדומה לגז ביטול). גז טבעי במצבו הטבעי קל יותר מאוויר ולכן פליטה בהיקף קטן לרוב תעלה ותתפור באוויר. עם זאת, גט"ד אינו חף מסכנות היות ולדליפת גז במקומות סגורים, כגון חניות מקורות, מוסכים וכיו, בהם הגז לא

¹⁷ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

¹⁸ <https://www.ngva.eu/gas-as-vehicle-fuel/>

¹⁹ Forecast of Medium- and Heavy-Duty Vehicle Attributes to 2030, California Energy Commission, 2018

של 7.1 מייל לגלון דיזל (3.2 ק"מ לליטר) במשאית דיזל בקטגורית משקל (Class) 7 ונפח מיכלי דלק של כ-300 עד 550 ליטר

²⁰ בהנחה של צפיפות אנרגיה נמוכה פי 4-6

²¹ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

²² https://afdc.energy.gov/vehicles/natural_gas_safety.html

²³ <http://www.sviva.gov.il/infoservices/reservoirinfo/doclib4/r0401-r0500/r0418.pdf>

²⁴ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

²⁵ <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/8823>

²⁶ <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/11452>

מתפזר באוויר באופן חופשי, פוטנציאל התלקחות משמעותי. בנוסף, היות וגט"ד נשמר בלחץ גבוה, גם לאחסון הגז (לדוגמה בתחנות המילוי) השפעות בטיחותיות הדורשות תחזוקה נכונה ובקרה למניעת דליפות.²⁷

בשונה מגט"ד, בשל הטמפי' הנמוכה של גט"ן, במקרה של דליפה הגז הנפלט כבד מהאוויר ולכן נוטה להישאר בקרבת הקרקע ברגעים הראשונים. נתון זה מהווה סכנה בטיחותית רבה יותר. לכן נדרשת התקנה של חיישנים לגילוי הגז במקומות בו מאוכסן.²⁸

בשלות טכנולוגית – גט"ד וגט"ן

שימוש בגז טבעי דחוס או מונזל להנעת כלי רכב נמצא בשימוש לא מבוטל ברחבי העולם. נכון ליולי 2019, קיימים בעולם כ-28 מיליון כלי רכב מונעי גז טבעי (NGVs- Natural Gas Vehicles) ולמעלה מ-30 אלף תחנות תדלוק (ראה טבלה 1).²⁹

טבלה 1 - מספר כלי רכב ותחנות תדלוק בגז טבעי

אזור	תחנות תדלוק בגז טבעי	כלי רכב מבוטסי ג"ט (NGVs)
אסיה פסיפיק	19,606	19,841,688
אירופה	5,116	2,013,693
צפון אמריקה	1,856	224,500
אמריקה הלטינית	5,789	5,417,146
אפריקה	210	268,349
סה"כ	32,577	27,765,376

אולם, בעוד שגט"ד נמצא בשימוש ברחבי העולם מזה מספר עשורים, השימוש בגט"ן הופך נפוץ יותר רק בשנים האחרונות. לכן, מספר תחנות תדלוק גט"ן נפוצות משמעותית יותר מתחנות תדלוק גט"ן. לשם המחשה, נכון לאפריל 2020 קיימות כ-3,785 תחנות גט"ד וכ-270 תחנות גט"ן בלבד ברחבי אירופה.³⁰ טבלה 2 מציגה את מספר תחנות תדלוק גז טבעי ברחבי אירופה, עבור מדינות בהן למעלה מ-100 תחנות תדלוק גט"ד ו/או למעלה מ-10 תחנות תדלוק גט"ן.

טבלה 2- תחנות תדלוק גט"ד וגט"ן באירופה, מדינות בהן למעלה מ-100 תחנות גט"ד ו/או למעלה מ-10 תחנות גט"ן

מדינה	גט"ד	גט"ן
איטליה	1,327	64
גרמניה	837	17
צ'כיה	210	1
שבדיה	193	18
הולנד	179	24
אוסטריה	152	2
שוויץ	150	2
בלגיה	137	13
בולגריה	113	0
צרפת	100	37
בריטניה	6	13
ספרד	81	51

²⁷ https://afdc.energy.gov/vehicles/natural_gas_safety.html

²⁸ https://afdc.energy.gov/vehicles/natural_gas_safety.html

²⁹ <http://www.iangv.org/current-ngv-stats/>, נדלה ביום 13.04.20

³⁰ <https://www.ngva.eu/stations-map/>

ניתן לראות כי איטליה וגרמניה מובילות במספר תחנות תדלוק ג'ט באירופה בפרט ניכר. עוד ניתן לראות כי קיימות מדינות המתמקדות, לפחות בשלב זה, בתשתית גט'ד בלבד, כדוגמת צ'כיה, אוסטרליה, שוויץ ובולגריה. מנגד, מדינות כמו ספרד, צרפת והולנד מפתחות תשתית גט'ין בהיקפים לא מבוטלים.

עם זאת, גט'ין נפוץ בהרבה לכלי רכב כבדים הנוסעים באופן תדיר. בשל מגבלות אחסון הגז והסכנות בתהליך הרתיחה, הזמינות המסחרית של משאיות במשקל קל ובינוני נמוכה מאוד. לכן, קיים קושי להתבסס על גט'ין כמקור דלק עיקרי לציי רכב כבדים ונדרש לשלב עם טכנולוגיות אחרות המספקות מענה לרכבים במשקל בינוני וקל.

הדירקטיבה לתשתיות דלקים חלופיים (AIFD - The Alternative Fuels Infrastructure Directive)³¹ קובעת כי על מדינות האיחוד האירופי להקים תחנות תדלוק נגישות לציבור ובצירים אסטרטגיים ברחבי היבשת. הדירקטיבה ממליצה על יחס של עמדת טעינת גט'ד לכל 150 ק"מ ועמדת טעינת גט'ין לכל 400 ק"מ (כתוצאה מההבדל בצפיפות האנרגיה של גט'ד וגט'ין). מספר תחנות התדלוק הנדרשות להקמה תלוי בשטח המדינה, שכן ככל שמרחקי הנסיעה ארוכים יותר, נדרשות יותר תחנות מילוי. עבור מדינות ששטחן קטן ומרחקי הנסיעה בהן קצרים יחסית, לגט'ד היכולת לספק מענה אנרגטי מתאים באמצעות קיבולת הגז האגורה ברכב וללא צורך בתדלוק במהלך הדרך. נתון זה בעל משמעות בבחירת הטכנולוגיה המתאימה לישראל ונכון גם כאשר מדובר על תשתית תומכת לכלי רכב חשמליים, כפי שיוצג בהמשך.

תשתית נדרשת לתדלוק – גט'ד

פריסה של עמדות מילוי גט'ד לכלי רכב בהיקף משמעותי דורשת הרחבה של רשת הולכת וחלוקת הגז. מערכת ההולכה במדינת ישראל כוללת כיום ארבעה מקטעים עיקריים: מקטע ימי, מקטע מרכזי, מקטע דרומי ומקטע צפוני. מתקני המערכת מורכבים מתחנות קבלה, צנרת להולכת גז טבעי, תחנות הגפה הממוקמות לאורכה של המערכת ותחנות PRMS (Pressure Reduction and Metering System), להפחתת לחץ הזרימה בנקודות המסירה.³² רשת החלוקה לצרכני הקצה מוזנת על ידי מערכת ההולכה, ומספקת גז טבעי בלחץ נמוך (עד 16 בר).³³

בשונה מתחנות לתדלוק סולר (או גט'ין) תחנות לתדלוק גט'ד משתנות בהתאם לצרכי צי הרכב. הקמת תחנת גט'ד לציי רכבים דורשת שילוב נכון של לחץ וכמות גז מאוחסנת וזאת בהתאם לסוגי הרכבים המתודלקים. בחירת גודל המדחס וכמות אגירת הגז בתחנה, ישפיע על עלות הדלק וטווחי נסיעת הרכבים.

באופן כללי, ישנם שני סוגי תחנות לתדלוק רכבים בגט'ד: מילוי לאורך זמן (Time Fill) ומילוי מהיר (Fast Fill). ההבדל העיקרי במבנה התחנות הוא כמות קיבולת מאוכסנת זמינה, וגודל המדחס. מאפיינים אילו קובעים את כמות הגט'ד המוזרם ומשך הזמן הנדרש לתדלוק הרכב.

תחנות 'מילוי מהיר' (Fast-Fill)³⁴ - תחנות מילוי מהיר מתאימות יותר למקרים בהם רכבים מגיעים באופן אקראי לתחנה ונדרשים לתדלק במהירות (בדומה לתחנות דלק קונבנציונליות למילוי סולר ובנוזין). לכל תחנות הגט'ד הציבוריות יש אפשרות למילוי מהיר. בארה"ב, למשל, תחנות לתדלוק מהיר מוזנות מקו שירות מקומי בלחץ גז נמוך, מדחס בתחנת התדלוק דוחס את הגז ללחץ גבוה. לאחר מכן, הגט'ד מאוחסן במכלים בלחץ גבוה (PSI 4,300), כך שהמתקן יוכל לתדלק את הרכבים במהירות. קצב התדלוק בתחנות 'מילוי-מהיר' דומה לקצב תדלוק של רכבים קונבנציונליים. לרכב פרטי יידרשו כ- 5 דקות למיכל שווה ערך ל- 20 גלון בנוזין (כ- 75 ליטר). קצב תדלוק גט'ד לרכבים כבדים הינו כפול מכך. ניתן לראות תרשים לדוגמה של תחנת תדלוק גט'ד מהירה בתרשים 4.

תחנות מילוי 'לאורך-זמן' (Time-Fill)³⁵ - תחנות אילו משמשות בעיקר ציי רכב, ומתאימות למילוי רכבים עם מכלים גדולים, המתודלקים במיקום מרכזי כל לילה. בתחנת מילוי 'לאורך-זמן' קו דלק המספק גט'ד בלחץ נמוך למדחס שבתחנת התדלוק. שלא כמו בתחנות מילוי מהיר, רכבים המתודלקים בתחנות למילוי לאורך זמן מתודלקים ישירות מהמדחס (ולא מגט'ד המאוכסן בלחץ גבוה כמו בתחנות 'מילוי-מהיר'). הזמן שלוקח לתדלוק רכבים תלוי במספר הרכבים, גודל המדחס, ומשתנים נוספים. משך התדלוק נע בין מספר דקות לשעות ארוכות. היתרון במילוי 'לאורך-זמן'

³¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0094>

³² [נתיבי הגז הטבעי לישראל](#)

³³ https://www.gov.il/he/departments/guides/distribution_area?chapterIndex=2

³⁴ https://afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_cng_stations.html#timefill

³⁵ https://afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_cng_stations.html#timefill

הוא שטמפ' הדחיסה נמוכה יותר, ולכן ניתן למלא יותר גט"ד במיכל מאשר בתחנות מילוי מהיר. יתרון נוסף בתחנות מילוי לאורך זמן הוא שניתן לשלוט בזמן תדלוק הרכב - למשל, תדלוק בשעות בהן הביקוש לחשמל ומחירי החשמל (לשימוש המדחס) נמוכים יותר.

תחנות מילוי לאורך-זמן בנויות בהתאמה ליישום מסוים. לדוגמה, חברת אוטובוסים תזדקק למדחס חזק המסוגל לקצב תדלוק של כ- 30 ליטר לדקה. בעוד שצי משאיות יכול להסתפק במילוי משאיות בקצב של כ-11 ליטר לדקה, ובהתאם ישתמש במדחס קטן יותר. להבדלים עשויה להיות השפעה על עלויות ההקמה של תחנות גט"ד מול גט"ן. ניתן לראות תרשים לדוגמא של תחנת תדלוק גט"ד איטית בתרשים 5 בפרק הנספחים.

תשתית נדרשת לתדלוק – גט"ן

בכדי לספק גז טבעי מונזל נדרשת הקמה של מתקן הנזלה מקומי או ייבוא גז מונזל במכליות ייעודיות. עלות ההקמה של מתקן מסוג זה גבוהה ביותר ומוערכת במספר מיליארדי שקלים.

תחנות לתדלוק בגט"ן דומות במבנה באופן כללי לתחנות תדלוק בסולר היות והדלק המסופק הינו נוזלי. עם זאת, כיוון שגט"ן מאוחסן ומנופק כגז נוזלי בטמפ' נמוכה מאוד, מגע עם הגז המקורר עלול לגרום לכוויות קור חמורות. יתרה מכך, אפילו מגע עם פני השטח של המכלים או צנרת המזרימה גט"ן עשויה להוות סכנה בטיחותית. מסיבה זו יש צורך באמצעי בטיחות ומיגון, כמו גם הכשרת כוח אדם לתהליך התדלוק.³⁶

ישנן שלוש תצורות לתחנות תדלוק בגט"ן: ניידת, מכולה וקבועה (גדולה). בתחנות ניידות, גט"ן מועבר ע"י משאית מכלית בעלת ציוד מדידה וציוד חלוקה על המשאית עצמה, כך גם בתחנת מכולה. לתחנת קבע, יכולת קיבולת ואחסון גדולים יותר ולכן לרוב מתאימה לצרכי ציי רכבים כבדים. ניתן לראות תרשים לדוגמא של תחנת תדלוק גט"ן בתרשים 6 בפרק הנספחים.

³⁶ https://afdc.energy.gov/vehicles/natural_gas_safety.html

רכב חשמלי מונע מצבר (BEV)

ברכב חשמלי מונע מצבר מארז סוללות האגורות את האנרגיה החשמלית ומספקות אותו להנעת הרכב בעת הצורך. סוללות הרכב נטענות ע"י חיבור הרכב למקור חשמל ובאופן זה אין כל צורך במנוע בעירה פנימית ובמכל לאחסון דלק. נכון להיום, המצבר הנפוץ ביותר לשימוש זה מבוסס על סוללת ליתיום- יון.

על אף שהעקרונות הבסיסיים לחשמול רכבים כבדים דומים לאלה של רכבים פרטיים, ככל שגדל משקל הרכב ומרחק הנסיעה, כך גדלים גם החסמים לסוללות המספקות חלופה מתאימה לסולר. מסיבה זו, תכנון תשתית חשמלית שתספק את האנרגיה הנדרשת להנעה של כלי הרכב הכבדים בישראל דורש בחינה קפדנית.

אף על פי כן, לפי מחקר שביצע הפאנל הבינלאומי לתחבורה נקייה (International council on clean transportation - ICCT), טכנולוגיות חשמליות לצי הרכב מתפתחות באופן דומה לשוק הרכב הפרטי, אם כי בעיכוב של 6 עד 8 שנים. כבר היום מספר חברות מובילות מפתחות כלי רכב חשמליים המסוגלים לתת מענה לטווח הולך וגדל של סוגי רכבים, צרכים וביצועים נדרשים (בשלוח הטכנולוגיה החשמלית לרכבים כבדים תוצג בהמשך יחד עם טכנולוגית מימן).

ליכות הטכנולוגיה החשמלית עומד יתרון בדמות יעילות האנרגיה בהשוואה למנוע בעירה פנימית. לפי סוכנות האנרגיה העולמית (IEA – International Energy Agency) משאית מודרנית מסוגלת לפעול ביעילות אנרגיה (מהמנוע לגלגל) של לא יותר מ- 30%. מנגד, רכב חשמלי מסוגל לפעול ביעילות העשויה להגיע לכדי 85%³⁷. לנתון זה, תוך הסתכלות ארוכת טווח על שיפורים טכנולוגיים נוספים אפשריים לרכבים חשמליים, משמעות גדולה מאוד בהיבטי התייעלות באנרגיה.

נקודה נוספת אותה חשוב לציין בהקשר זה, כפי שהוצג לעיל, מדינות ששטחן אינו גדול נטו לפרוס יותר תחנות תדלוק גט"ד לקמ"ר של שטח בהשוואה למדינות גדולות. לגט"ד ולטכנולוגיות חשמליות, נכון להיום, חסמים דומים בהיבט יכולת אספקת האנרגיה הנדרשת לביצועי כלי רכב כבדים. על כן סוגיה זו בעלת משמעות דומה מאוד גם לשיקולי פריסת תשתית טעינת כלי רכב חשמליים. יתרה מכך, בניגוד לטכנולוגיות גט"ד הנמצאות בשימוש מזה הרבה שנים, להנעה החשמלית פוטנציאל שיפור טכנולוגי גדול בהרבה. כבר היום הצהירו יצרנים על פיתוח טכנולוגיות חשמליות המסוגלות להגיע לטווחי נסיעה עד לכדי 900 ק"מ (כפי שיוצג בהרחבה בהמשך, תרשים 1).

תשתית נדרשת לטעינת רכבים חשמליים

הטכנולוגיה הנדרשת, כמו גם העלויות הנלוות להקמת תשתית לטעינת כלי רכב חשמליים נמצאת במחקר ופיתוח. נכון להיום, עמדות טעינה לכלי רכב קלים תומכות בטעינה של עד 350 KW, אך בפועל יש מספר תחנות מצומצם של תחנות פועלות המסוגלות להגיע ליותר מ- 140 KW.³⁸ באופן כללי עמדות טעינה לכלי רכב חשמליים נחלקות למספר סוגים:

- עמדות טעינה רגילה ("טעינה איטית") - עמדות אלה צפויות לקום באזורים ציבוריים ולאפשר טעינה איטית של מצברי הרכבים במשך הזמן בו הרכבים אינם בפעילות, למשל במהלך הלילה בו ציי הרכב חונים.
- עמדות טעינה מהירה - עמדות טעינה מהירה נדרשות למלא את מצברי הרכב בפרק זמן קצר. עמדות אלה ימוקמו לרוב באזור הציבורי, במקומות אסטרטגיים ולאורך דרכים בינעירוניות מרכזיות. כבר היום קיימות עמדות טעינה המסוגלות לתת מענה לרכבים קלים באופן די דומה לתדלוק רכב קונבנציונלי. שיפורים טכנולוגיים צפויים לשפר את יכולת הטעינה בעתיד באופן משמעותי.

מלבד טעינת רכבים באמצעות עמדות לטעינת המצבר, קיימת האפשרות להחלפה של סוללת הרכב בסוללה מלאה, כשזו מתרוקנת, בנקודות החלפה ייעודיות. שיטה זו הייתה נפוצה במודל בו פעלה חברת Better-place. עם נפילת החברה ובעיקר בשל הבדלים בין מצברים המיוצרים על ידי יצרנים שונים, מודל זה הפך פחות נפוץ.

בנוסף, קיימות טכנולוגיות חשמליות נוספות המבוססות על טעינת רכבים לאורך דרך הנסיעה. סוג טעינה זה דורש פריסה של תשתית לאורך הדרך, התאמה של כלי הרכב לטעינה מסוג זה (לרוב באמצעות כבל חשמלי) והקצאה של מסלולים ייעודיים לכלי הרכב. פריסת תשתית זו למרחקים ארוכים כרוכה בעלויות הקמה גבוהות.

³⁷ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

³⁸ <https://theicct.org/publications/zero-emission-truck-infrastructure>

הנעה באמצעות תאי דלק מבוססי מימן (FCEV)

מימן משמש כדלק חלופי אותו ניתן להפיק במספר תהליכים ייעודיים, ביניהם באמצעות סינתזה כימית של גז טבעי או דלקים מאובנים אחרים (כדוגמת פחם), אלקטרוליזה של מים בהם מופרד מימן ממולקולות מים וטכנולוגיות נוספות. מרבית הטכנולוגיות ליצירת מימן נמצאות בשלבי יישום ראשוניים ומכאן בשלב זה כרוכות בעלויות גבוהות מאוד. למרות שמימן נמצא בראשית דרכו כמקור דלק ועלות ייצורו גבוהה, הן ממשלות והן המגזר הפרטי פועלים למחקר, פיתוח, ייצור והפצה של מימן למגוון רחב של שימושים, לרבות למגזר התחבורה באמצעות תאי דלק.³⁹

תא דלק הוא התקן בו משתמשים במימן או בדלק מימני ובחמצן על מנת לייצר חשמל באמצעות תהליך אלקטרו-כימי.⁴⁰ היתרונות הבולטים של רכבים מונעי תאי דלק טמון בכך שהם יעילים יותר מרכבי מנוע בעירה פנימית קונבנציונליים ואינם פולטים מזהמים מהאגוז, אלא פולטים אדי מים ואוויר חם בלבד.

רכבים המונעים ע"י תאי דלק משתמשים במערכת הנעה דומה לזו של כלי רכב חשמליים, פרט לכך שמקור האנרגיה ברכבים אלה הינו חשמל המיוצר באמצעות מימן ולא נדרשות סוללות לאגירת חשמל. רכבים מונעי תאי דלק מתודלקים עם מימן טהור המאוכסן במיכל הנמצא ברכב. בדומה לרכבים קונבנציונליים בבעירה פנימית, הם מתודלקים בדקות ספורות ובעלי טווחי נסיעה של 300 מייל ומעלה.⁴¹

בכל הנוגע לסוגיות בטיחות, ההתאחדות הלאומית למניעת שריפות (NFPA) מסווגת מימן ברמת דליקות זהה לזו של גז טבעי (4), גם במצבו הטבעי⁴² וגם במצב מקורר⁴³. עם זאת, בשל היותו היסוד הקל בטבע, מימן יעלה ויתפזר באטמוספירה במהירות. נוסף על כך, למימן מרכיב מסכן נוסף הנובע מנפיצותו.⁴⁴

תשתית נדרשת לרכבי מימן

זמינות התחנות המסוגלות לספק מימן במחיר סביר הינו האתגר העיקרי לאימוץ הטכנולוגיה. בעולם, נכון לסוף שנת 2018 קיימות רק 381 תחנות לתדלוק מימן פרטיות וציבוריות לכלל כלי הרכב (על אף כי מרבית כלי הרכב המונעים במימן כיום הינם רכבים פרטיים), כאשר מרביתן ביפן, גרמניה וארה"ב. לשם השוואה, קיימות בעולם כ-144 אלף עמדות טעינה מהירות, 395 אלף עמדות טעינה רגילות וכ-4.7 מיליון עמדות טעינה פרטיות לכלי רכב חשמליים⁴⁵. מדובר בנתון המצביע על 10 רכבים חשמליים לעמדת טעינה ציבורית וכלי רכב חשמלי על כל עמדה פרטית. היות ורכבי מימן מצריכים פחות תשתית טעינה מהחלופה החשמלית, מספר רכבי המימן לכל עמדת תדלוק מימן במקומות בהם הטכנולוגיה קיימת גבוהה בהרבה. תשתית תדלוק מפותחת תידרש לכ-2500-3500 רכבים לתחנת תדלוק⁴⁶.

כיום אספקת המימן מנקודות הייצור לתחנות התדלוק מבוצעת בעיקר באמצעות הובלתו במכלים במצב נוזלי או דחוס, או במקרים בהם נקודת הייצור קרובה, ע"י הזרמתו בצנרת במצב דחוס. לחלופין קיימות מספר תחנות תדלוק המייצרות את המימן בעצמן במסגרת התחנה.⁴⁷ משך הזמן לתדלוק מימן דומה לזה של דלקים נוזליים אחרים. במקרה של רכב פרטי מדובר על 3-5 דק' לתדלוק.⁴⁸

ללא תשתית רחבה של תחנות תדלוק מימן, הטכנולוגיה מתאימה יותר לציי רכבים שפעילותם אינה מצריכה פריסה גיאוגרפית רחבה של תחנות, אלא כאלה המבצעים תדלוק במיקום מרכזי אחד בלבד.⁴⁹

³⁹ https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_basics.html

⁴⁰ תאי דלק כמקור אנרגיה מתחדשת- סופו של עידן הפחמן? חברת החשמל

⁴¹ https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_infrastructure.html

⁴² <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/8729>

⁴³ <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/3606>

⁴⁴ The international consortium for safety health & the environment, Safety issues regarding fuel cell vehicles and hydrogen fueled vehicles

⁴⁵ The Future of Hydrogen, Seizing today's opportunities, IEA 2019

⁴⁶ Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles, 2018

⁴⁷ Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles, 2018

⁴⁸ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

⁴⁹ https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_stations.html

בשלות טכנולוגית של רכבים מאופסי פליטה – חשמל ומימן

תרשים 1 מציג רכבי משא מאופסי פליטה (רכבים חשמליים ורכבים מבוססי תא דלק מימני) אשר הוכרזו על ייצורם או שנמצאים בתהליך ייצור, נכון לשנת 2019.⁵⁰ על הציר האנכי ניתן לראות את קטגוריית המשקל של הרכב (בהתאם לקטגוריות המשקל האמריקאיות). על הציר האופקי ניתן לראות את מרחק הנסיעה של המצבר/ מיכל המימן, כפי שהכריז היצרן במיילים (מייל שווה כ- 1.6 ק"מ). בנוסף, סימון כחול מייצג כלי רכב חשמלי, בעוד שסימון ירוק מייצג כלי רכב מימני.

תרשים 1- ייצור או הכרזה על ייצור של רכבים כבדים מאופסי פליטה (חשמלי ומימן), לפי קטגוריית משקל

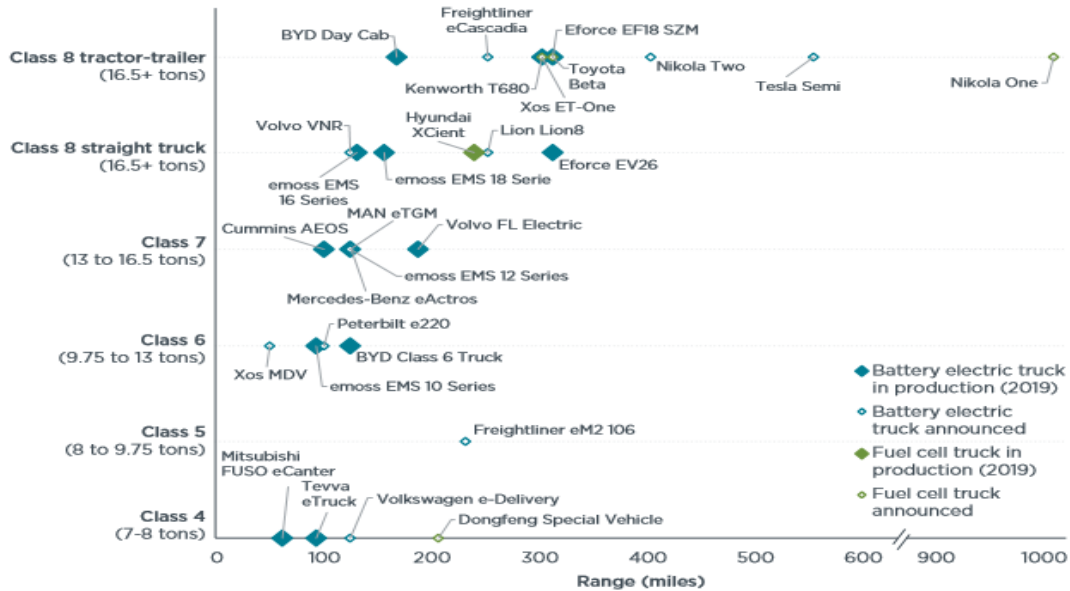


Figure 2. Range and GVWR class of announced or in-production zero-emission trucks

על אף שתרשים זה מכיל רשימה חלקית בלבד, הוא מלמד כי קיימת פעילות משמעותית בתחום ייצור כלי רכב מאופסי פליטה, הן ע"י יצרנים גדולים ומוכרים והן ע"י חברות הזנק קטנות. בולט כי כבר היום ישנם לפחות 10 דגמים של רכבי משא חשמליים במשקל העולה על 13 טון, המסוגלים לייצר טווח נסיעה של עד לכדי 550 מייל (קרוב ל- 900 ק"מ). לשם המחשה, טסלה הכריזה על דגם משאית כבדה המסוגל לספק טווח נסיעה המתקרב ל- 900 ק"מ, כפי שהוזכר לעיל. רשימה מלאה של רכבי משא חשמליים בינוניים וכבדים ניתן למצוא בטבלה 10 הנמצאת בפרק הנספחים.

גם אם באופן פחות מרכזי משא חשמליים, גם בתחום פיתוח רכבי משא מבוססי תא דלק מימני קיימת פעילות לא מבוטלת. ניתן לראות כי כבר היום יונדאי הכריזה על דגם מבוסס מימן בקטגוריית משקל של למעלה מ- 16.5 טון, המסוגל לייצר טווח נסיעה של כ- 400 ק"מ. בנוסף, ניקולה הכריזה על פיתוח של רכב משא בקטגוריית משקל דומה, המסוגל לייצר טווח נסיעה של למעלה מ- 1500 ק"מ.

החסם הטכנולוגי העיקרי של מימן אינו רק זמינות הטכנולוגיה לכלי רכב, אלא גם מגבלות ביכולת הייצור והאספקה של מימן למשק בשלב זה. כאמור, ככל שהטכנולוגיה אינה מפותחת דיה, עלויות הייצור וחוסר הוודאות גבוהות יותר ומכאן קיים קושי בתכנון תשתית תומכת מלאה לכלל ציי הרכב הכבדים בטווח הקצר- בינוני.

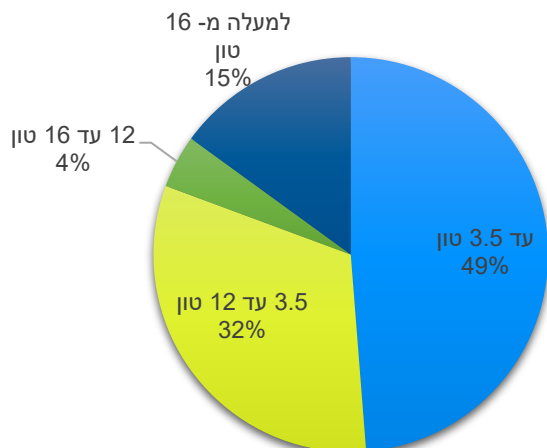
⁵⁰ <https://theicct.org/publications/zero-emission-truck-infrastructure>

המצב בישראל וסוגיות בבחירת הטכנולוגיה המתאימה

משאיות כבדות בישראל

לפי נתוני הלמ"ס, מספר המשאיות (לפי קטגורית משקל) שעלו לכביש בין השנים 2010-2018, התפלג באופן הבא: ⁵¹

תרשים 2 - משאיות שעלו לכביש בין השנים 2010-2018, לפי קטגורית משקל

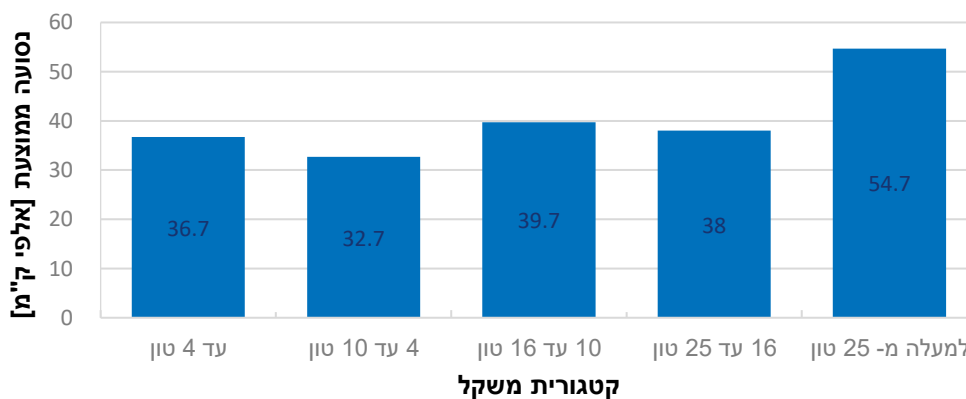


ניתן לראות כי עיקר המשאיות המצויות בישראל, נכון לשנת 2018, מאופיינות במשקל נמוך באופן יחסי. 81% מהמשאיות במשק שוקלות פחות מ-12 טון. עבור מרבית הטכנולוגיות שנבחנו בפרק הקודם קיימות כבר היום חלופות טכנולוגיות הולמות עבור משאיות במשקלים אלה.

עם זאת, בשל אופי הפעילות של רכבי משא כבדים, אלה ייטו לעבור מרחק גדול יותר בכל מקטע נסועה. למרחק הנסועה בכל מקטע משמעות גדולה בכל הנוגע למספר תחנות התדלוק הנדרשות לאורך הדרך וביכולת הטכנולוגית לספק את האנרגיה הנדרשת ללא תדלוק ביניים. כפי שהוצג לעיל, קיימת שונות בצפיפות האנרגיה של החלופות וכפועל יוצא ביכולתן לאפשר מרחק נסיעה גדול יותר ללא עצירת ביניים לתדלוק/טעינת הרכב.

בכדי לאמוד את היקף הנסועה הממוצע בכל מקטע נסועה של משאיות בישראל, ראשית נבחנו את הנסועה השנתית הממוצעת של משאיות מכל סוג. לפי נתוני הלמ"ס, הנסועה הממוצעת של משאיות בשנת 2018, לפי קטגוריות משקל הינו כדלקמן:

גרף 2 - נסועה ממוצעת של משאיות בשנת 2018, לפי קטגורית משקל



⁵¹ למ"ס, לוח 19.11 - משאיות, לפי סוג דלק, משקל כולל ושנת עלייה לכביש

ניתן לראות בגרף 2 כי אכן הנסועה השנתית הממוצעת של משאיות במשקל כבד גבוהה מזה של משאיות קלות יותר. משאיות במשקל של למעלה מ- 25 טון נוסעות כ- 55 אלפי ק"מ שנתי ממוצע, בעוד שמשאיות במשקל של עד 4 טון ומשקל של 4-10 טון נוסעות כ-37 וכ- 33 אלפי ק"מ שנתי ממוצע, בהתאמה.

בשלב השני נעריך את היקף הנסועה בכל מקטע בשני תרחישים: האחד בו נסועה מבוצעת במהלך 150 ימים בשנה (מקביל לכ- 3 ימי עבודה בשבוע). תרחיש שני בו נסועה מבוצעת במהלך 250 ימים בשנה (מקביל לכ- 4 ימי עבודה בשבוע) תוצאות החישוב מוצגות בטבלה 3. חשוב לציין כי בשל תקנות הנהיגה והמנוחה, קיימות מגבלות על משך הזמן בו רשאי נהג לנהוג ברציפות ומכאן שסביר כי מספר ימי העבודה בשנה צפוי להיות נמוך מהממוצע בשאר ענפי המשק.

טבלה 3 - אומדן של היקף נסועת משאיות כבדות בכל מקטע נסועה (ק"מ ליום)

קטגוריית משקל	נסועה ממוצעת בכל מקטע - 150 ימים בשנה	נסועה ממוצעת בכל מקטע - 250 ימים בשנה
10 עד 16 טון	265	159
16 עד 25 טון	253	152
למעלה מ- 25 טון	365	219

ניתן לראות כי בשני התרחישים שנבחנו, היקף הנסועה של משאיות בישראל אינו עולה על 400 ק"מ נסועה ביום. לתוצאה זו חשיבות, שכן יצרניות הרכב בעולם מייצרות ומפתחות משאיות חשמליות ומשאיות מבוססות גט"ד המסוגלות לתת מענה הולם לטווח נסיעה זה.

טבלה 4 מציגה סיכום של היתרונות והחסרונות של כל אחת מהטכנולוגיות שהוצגו לעיל מנקודת מבטה של ישראל:

טבלה 4 - סיכום היתרונות והחסרונות של ארבעת החלופות הטכנולוגיות להנעה של רכבים כבדים

טכנולוגיה	תרחיש הייחוס - דיזל	רכב מונע גט"ד	רכב מונע גט"ן	רכב חשמלי מונע מצבר	רכב מבוסס תא דלק מימיני
טווח נסיעה [ק"מ]	1000-2000 ק"מ ⁵²	נמוך עד פי 6 מסולר ⁵³ 150-500 ק"מ ⁵⁴	נמוך עד פי 2 מסולר ⁵⁵ 500-1000 ק"מ	ישנם דגמים הנמצאים בשלבי ייצור ופיתוח של משאיות כבדות בעלי טווחי נסיעה המוערכים בכ- 500-900 ק"מ.	מוערך כי דגמים עתידיים יהיו בעלי טווחי נסיעה של 1500 ק"מ
זמני תדלוק/טעינה	מספר דקות	<ul style="list-style-type: none"> טעינה איטית לאורך הלילה זמן תדלוק בתחנת תדלוק מהירה דומה לסולר⁵⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> היות והגז במצב נוזלי, דומה לזה של סולר⁵⁷ גט"ן לא ניתן לאחסון ברכב לזמן ממושך. לכן מתאים לרכבים הנוסעים באופן תדיר בלבד 	<ul style="list-style-type: none"> טעינה איטית לאורך הלילה הטכנולוגיה לטעינה מהירה של רכבים כבדים (סוללות בהספק גבוה) נמצאת בשלבי פיתוח. 	דומה לזה של סולר
זמינות מסחרית	זמין מסחרית	זמין מסחרית לכלי רכב במשקלים כבדים הנמצאים בשימוש תדיר בלבד. אינו זמין מסחרית לרכבים קלים ובינוניים	זמינות ראשונית, אפשרות מוגבלת להזמנת משאית כבדה וממספר יצרנים מצומצם. עם זאת, נמצא בשלבי ייצור ופיתוח. כבר היום יצרנים הכריזו על פיתוח דגמים בעלי טווחי נסיעה של עד 900 ק"מ	נמצא בשלבי פיתוח מוקדמים ביחס ליתר סוגי ההנעה, יצרנים הצהירו על מספר דגמים מצומצם יחסית	
תשתית נדרשת	תשתית קיימת	<ul style="list-style-type: none"> הרחבת מערכת הולכה וחלוקה של גז טבעי לתחנות התדלוק באמצעות צנרת גז ודחיסה 	<ul style="list-style-type: none"> הקמה של מתקן הנזלה בעלות גבוהה 	<ul style="list-style-type: none"> פיתוח רשת החשמל, הולכה וחלוקה של חשמל לעמדות הטעינה 	קיים חוסר ודאות בכל הנוגע לייצור והפקת מימן לרבות עלויות נלוות גבוהות

⁵² Forecast of Medium- and Heavy-Duty Vehicle Attributes to 2030, California Energy Commission, 2018, לפי יעילות של 7.1 מייל לגלון דיזל (3.2 ק"מ לליטר) במשאית דיזל בקטגורית משקל (Class)

⁵³ 7 ונפח מיבלי דלק של כ-300 עד 550 ליטר

⁵⁴ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

⁵⁵ בהנחה של צפיפות אנרגיה נמוכה פי 4-6

⁵⁶ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

⁵⁷ https://afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_cng_stations.html#timefill

https://afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_infrastructure.html

	<ul style="list-style-type: none"> הקמה של עמדות טעינה, איטיות ומהירות בנקודות אסטרטגיות. בהקשר זה חשוב לציין כי מתכנן הרגולטור להקים תשתית לטעינת רכבים חשמליים קלים (ואוטובוסים עירוניים) 	<ul style="list-style-type: none"> הקמה של תשתית לחלוקת והפצה של גז ט"ח והקמה של תחנות תדלוק 	<p>בתחנת התדלוק או באמצעות שינוע של גז דחוס</p> <ul style="list-style-type: none"> הקמה של תחנות תדלוק איטיות ומהירות בנקודות אסטרטגיות 		
<ul style="list-style-type: none"> אפס פליטות מזהמי אוויר במוקד הצריכה. מעט פליטות במקור (פליטות מייצור מימן בלבד) כתלות באופן ייצור המימן 	<ul style="list-style-type: none"> אפס פליטות מזהמי אוויר במוקד הצריכה. פוטנציאל להפחתת פליטות מזהמי אוויר וגז"ח במקור. ככל שגדל ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות כך קטנות גם הפליטות במקור. עם זאת, הסוללות עשויות מחומרים מזהמים 	<p>שריפת גז טבעי כרוכה בפליטת מזהמי אוויר וגזי חממה במוקד השריפה</p>	<p>שריפת גז טבעי כרוכה בפליטת מזהמי אוויר וגזי חממה במוקד השריפה</p>	<p>השפעות סביבתיות נרחבות של זיהום אוויר ופליטת גזי חממה</p>	<p>השפעה סביבתית</p>
<ul style="list-style-type: none"> רמת דליקות 4 (מתוך 4)⁶¹ סכנות הנובעות מנפיצות הגז⁶² 	<ul style="list-style-type: none"> סכנות בטיחותיות לרוב נמוכות ביחס לחלופות. עם זאת, קיימות סכנות המשויכות בעיקר להתלקחות הסוללה. 	<ul style="list-style-type: none"> רמת דליקות 4 (מתוך 4)⁶⁰ בשל הצורך באחזקתו בטמפי נמוכה מאוד, קיימות סכנות בטיחותיות במהלך התדלוק ולכן נדרשת הכשרה של כוח אדם תהליך הרתיחה (Boil-off) במיכלי הגז (הן ברכבים והן בתהליך השינוע) עלול לגרום לעלייה בלחץ המיכל ולהוות סיכון. 	<ul style="list-style-type: none"> רמת דליקות 4 (מתוך 4)⁵⁹ סכנה במקרה של דליפה במקומות סגורים 	<p>רמת דליקות 2 (מתוך 4)⁵⁸</p>	<p>סוגיות בטיחות</p>

⁵⁸ <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/11452>

⁵⁹ <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/8823>

⁶⁰ <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/8823>

⁶¹ <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/8729>

⁶² The international consortium for safety health & the environment, Safety issues regarding fuel cell vehicles and hydrogen fueled vehicles

<p>מוערך כי דגמים עתידיים יהיו בעלי טווחי נסיעה של 1500 ק"מ</p>	<p>קיימים דגמים בייצור של משאיות כבדות בעלי טווח סוללה המוערך בכ- 500 ק"מ. דגמים בפיתוח מסוגלים להגיע עד לכדי 900 ק"מ</p>	<p>נמוך עד פי 2 מסולר⁶⁴ 500-1000 ק"מ</p>	<p>נמוך עד פי 6 מסולר⁶⁴ 150-500 ק"מ⁶⁵</p>	<p>1000-2000 ק"מ⁶³</p>	<p>ביטחון אנרגטי</p>
---	---	---	---	-----------------------------------	-----------------------------

⁶³ Forecast of Medium- and Heavy-Duty Vehicle Attributes to 2030, California Energy Commission, 2018

7 ונפח מיבלי דלק של כ-300 עד 550 ליטר

⁶⁴ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

⁶⁵ בהנחה של צפיפות אנרגיה נמוכה פי 4-6

⁶⁶ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

השפעת מדיניות ממשלתית נוספת

בהתאם למגמה העולמית ובמטרה להביא להפחתת פליטות גזי חממה ומוזהמים והוצאתם מחוץ לריכוזי אוכלוסייה, קבע משרד האנרגיה במסגרת יעדי משק האנרגיה לשנת 2030⁶⁷ יעדים לחדירת רכבים חשמליים בשוק הרכבים הפרטיים ובאופן חלקי בשוק הרכבים הכבדים. יעדים אלה קובעים כי כבר בשנת 2030, 100% מהרכבים הפרטים (ורכבים כבדים נוספים, כדוגמת אוטובוסים עירוניים) החדשים שימכרו בישראל יהיו חשמליים, על כל המשמעויות התשתיות הכרוכות בחשמול מגזר התחבורה.

להערכתנו, המשמעויות הנלוות של מהלך זה בהיבטי התכנון, הביצוע והעלויות הנלוות, צריכות להוות שיקול משמעותי בבחירת הטכנולוגיה המתאימה לישראל. באם מבוצעת השקעה משמעותית בפריסת תשתית לכלי רכב פרטיים (וקטגוריות מסוימות של רכבים כבדים), נכון לבצע את ההתאמות הנדרשות לתשתית זו, במטרה לאפשר את היכולת לספק חשמל גם לרכבים כבדים ולא להשקיע בתשתית נוספת נפרדת.

בכל הנוגע למשאיות במשקל נמוך (עד 3.5 טון, הנחשבות לכלי רכב מסחריים), במסגרת יעדי משק האנרגיה, מעריך משרד האנרגיה כי רוב המשאיות הקלות יונעו ע"י חשמל (כ-80%). זאת משום שהזמינות המסחרית של משאיות חשמליות קלות צפויה להיות יחסית גבוהה עד תום העשור. מסיבה זו, נכון לשלב משאיות אלה במסגרת היעדים לחשמול מלא, בדומה לרכבים פרטיים ואוטובוסים עירוניים.

בהקשר השקעה ממשלתית בתשתיות אנרגיה, יש לציין כי גם בבחינת גז טבעי מקדם הרגולטור מספר מהלכים במטרה לעודד חדירה של גט"ד לענף התחבורה, לרבות הקלות באגרות רישוי לכלי רכב כבדים, מענקים להקמת תחנות תדלוק, סיוע ברכישה של משאיות מונעות גט"ד, הכרה בפחת מואץ לכלי רכב כבדים ועוד. בנוסף קיימת השקעה משמעותית בפיתוח ופריסה של רשת הולכה וחלוקה של גז טבעי לשימושים שונים במשק, בעיקר למגזר התעשייה. גם עבור גז טבעי ניתן לתכנן את הרחבת רשת הגז הטבעי באופן המשלב שיקולים שונים בפריסת רשת הגז לתעשייה עם הפריסה הנדרשת לאספקת גז לתחנות תדלוק בקרבת ציי רכב גדולים (לדוגמה באזור הנמלים או אזורי תעשייה גדולים).

⁶⁷ https://www.gov.il/BlobFolder/news/plan_2030/he/2030summary.pdf

היועצות עם בעלי עניין וגורמים בענף הרכב

בכדי לאשש את תובנות ההשוואה טרם הבחינה הכלכלית, נעשתה פנייה למספר גורמים בסקטור הפרטי, לרבות יבואני רכבים כבדים וחברה המחזיקה בצי רכבים כבדים. מטרת שיחות אלה לקבל את התובנות מהגורמים הפועלים בשטח ולהרחיב את המידע שנאסף מספרות מקצועית ומחקרים. להלן הדברים המרכזיים שעלו משיחות אלה:

- נכון להיום, הזמינות המסחרית של משאיות מאופסות פליטה (חשמל, מימן) עדין נמוכה. בפרט, בקטגוריות המשקל הכבדות, כיום לא קיימות משאיות הפועלות בתפוצה רחבה.
- עבור משאיות במשקל קל עד בינוני צוין כי קיימים דגמים הפועלים כבר היום וכי שוק זה מתרחב.
- בכל הנוגע לתחזיות חדירה של חלופות דלות ומאופסות פליטה, כלל הגורמים הדגישו את מידת אי הוודאות, המורכבות והקושי בחיזוי של התפתחות הטכנולוגיות החליפיות (ובעיקר מימן וחשמל).
- ישנם הבדלים מבניים בשוק המשאיות הכבדות העולמי (ובפרט ארה"ב ואירופה) וישראל. הבדלים אלה באים לידי ביטוי בכך שסוגי המשאיות הנפוצים בארה"ב ואירופה, יכולים להיות שונים מאלה הנפוצים בישראל. הבדלים אלה נובעים בעיקרם מצרכים ושימושים שונים להובלה ונשיאת מטען.

מסקנות ביניים - טרם הניתוח הכלכלי

- עבור משאיות קלות (עד 3.5 טון) המהוות כ- 50% מסך המשאיות במשק החלופה החשמלית המקודמת ע"י משרד האנרגיה לרכבים פרטיים ואוטובוסים עירוניים הינה המתאימה ביותר. מסיבה זו הניתוח הכלכלי יתמקד במשאיות במשקל כבד יותר.
- בשל שטחה הקטן של מדינת ישראל, גם עבור חלופות בעלות טווח נסיעה קצר באופן יחסי (כדוגמת גט"ד וחשמל), קיימת בשלות טכנולוגית וזמינות מסחרית של רכבים היכולים לספק טווחי נסועה מתאימים בטווח הנראה לעין.
- כתוצאה מאי הוודאות בכל הנוגע לטכנולוגיות ייצור והפקת מימן, במקביל לזמינות מסחרית מצומצמת ביחס לחלופות, נכון להיום, מימן נמצא כחלופה פחות ישימה לישראל. מסיבה זו, לא תבוצע בחינה של המשמעויות הכלכליות להנעה באמצעות מימן.
- היות וגט"ן זמין מסחרית לכלי רכב כבדים בלבד, בחינת הכדאיות הכלכלית של גט"ן לא יבוצע למשאיות במשקל בינוני.

בחינה כלכלית של החלופות

בחלק זה אנו מבקשים לבחון את הכדאיות הכלכלית של כל אחת מהחלופות (מלבד מימן שנפסל כתוצאה מזמינות מסחרית נמוכה), תוך הסתכלות על ארבעה מרכיבים עיקריים: עלות הון (מחיר הרכישה של הרכב), עלות צריכת אנרגיה, עלויות תפעול ותחזוקה והשקעה נדרשת בתשתית. בשלב הראשון, יוצגו תוצאות ממחקרים שביקשו להשוות את העלות הכלכלית של החלופות הטכנולוגיות העומדות בבסיס הניתוח. לאחר מכן ועל בסיס נתונים ותחזיות שנאספו ממחקרים אלה, כמו גם נתונים והנחות פרטניים לישראל, תבוצע הערכה כלכלית של המשמעויות הכרוכות באימוץ הטכנולוגיות בישראל.

ממצאי מחקרים שסייעו בכתיבת הפרק הכלכלי

חלק זה סוקר ממצאים עיקריים ממספר מחקרים שבוצעו ע"י גופים וארגונים בעולם בדבר הנעה חלופית לכלי רכב כבדים, תוך התמקדות בתוצאות ובמצאים הכלכליים. הניתוחים בהם התמקדנו בחלק זה בוחנים עבור כל חלופה מספר רכיבי עלות, לרבות עלויות הון, תשתית, אנרגיה, ועלויות סביבתיות. בנוסף, חלק מהמחקרים מנסים להעריך את פוטנציאל החדירה של כל חלופה לשוק לאורך העשור הנוכחי, ע"י הערכת השינוי במחירי הרכישה ובעלויות הנוספות.

מהמחקרים שנסקרו בפרק זה נראה כי עלות ההון מהווה רכיב ניכר בעלות הבעלות על הרכב. ניתוח עלות הבעלות במחקרים הנ"ל נעשה בהנחת מרחקי נסועה ארוכים, האופייניים למדינות בהן בוצע המחקר. בישראל היקפי הנסועה של רכבים כבדים קצרים יותר ועל כן עלות האנרגיה צפויה להיות נמוכה יותר בהתאם (כפי שניתן יהיה לראות בתוצאות הניתוח הכלכלי בהמשך). לכן, הסקירה שמה דגש מיוחד על התפתחות עלויות הרכישה של החלופות לאורך העשור.

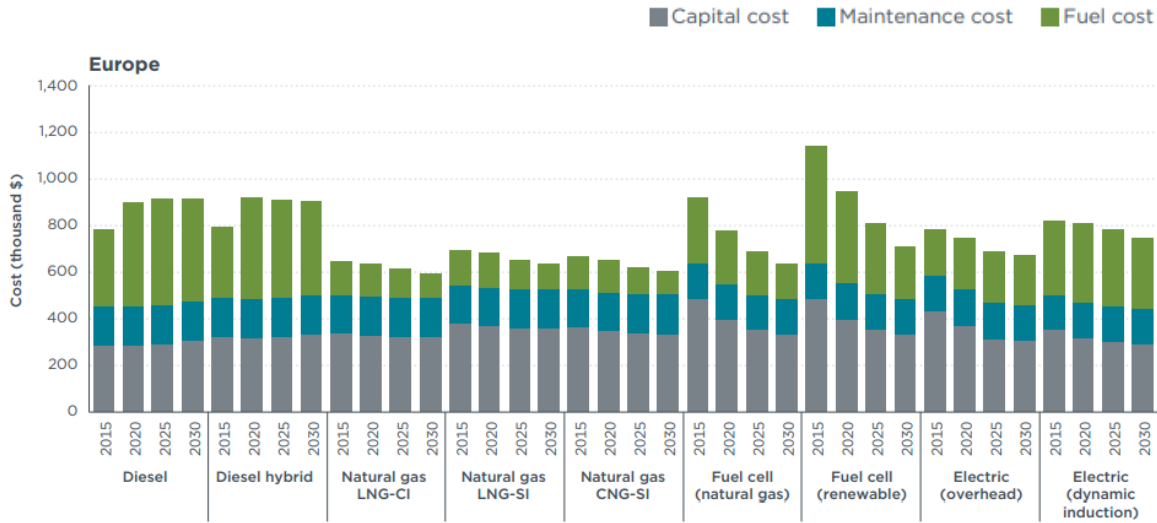
(The International Council on Clean Transportation) - ICCT

ב- 2017 פרסם ה- ICCT (הפאנל הבינלאומי לתחבורה נקייה), דו"ח⁶⁸ הבוחן מעבר רכבים כבדים בעלי מנועי דיזל קונבנציונליים, לרכבים מאופסי פליטה (רכבים חשמליים ורכבים עם תא דלק מימני). בתוך כך, הדו"ח בחן את ההתפתחות הטכנולוגית של משאיות משא כבדות מסוג דיזל, דיזל היברידי, ג"ט, תא דלק מימני, חימום עילי וטעינה חשמלית בטכנולוגיית אינדוקציה (electrodynamic induction), לאורך העשור הנוכחי. ניתוח החלופות הטכנולוגיות כלל שני רכיבים מרכזיים: בחינת עלות הבעלות הכוללת של המשאית בהנחה שאורך חיי משאית הוא עשר שנים וסך פליטות גז"ח עבור כל אחת מן החלופות. הניתוח בחן את התפתחות הטכנולוגיות בשלושה שווקים מרכזיים: סין, אירופה וארה"ב ומציג תחזיות לשנים 2020, 2025 ו- 2030. יש לציין כי העלויות המוצגות בניתוח לשנת 2020 לא בהכרח משקפות את העלויות בשוק היום, שכן הן מבוססות על תחזית שנעשתה ב- 2017.

⁶⁸ <https://theicct.org/publications/transitioning-zero-emission-heavy-duty-freight-vehicles>

תוצאות ניתוח עלות הבעלות הכוללת עבור רכבים כבדים באירופה

גרף 3- עלות הבעלות הכוללת לרכבים כבדים בטכנולוגיות הנעה שונות באירופה, במחירי 2015

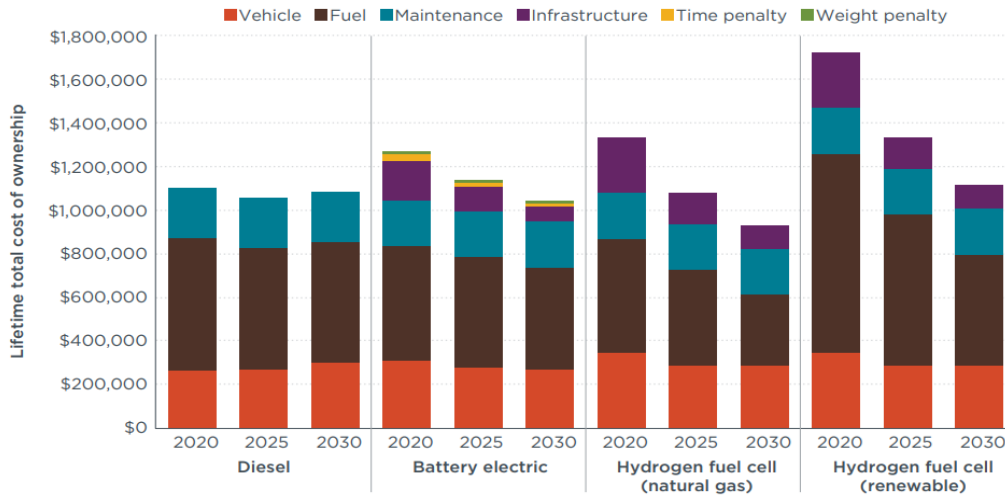


כפי שעולה מניתוח זה, עלות ההון של משאיות דיזל עולה לאורך השנים, אך נותרת יחסית יציבה, בהשוואה למשאיות מבוססות מימן שמחירן במגמת ירידה. עוד עולה כי בכלל החלופות צפויה ירידה בעלות הבעלות הכוללת, הנובעת בעיקרה מירידה בעלויות ההון של הטכנולוגיות בשנים 2015-2030. למשאיות מבוססות ג"ט, ובפרט גט"ן, עלות הבעלות הכוללת הנמוכה ביותר באופן עקבי. הירידה המשמעותית ביותר בעלות הבעלות הכוללת נזקפת לטכנולוגיות המימן, שנובעת בעיקרה מירידה מתמשכת במחירי הטכנולוגיה (תא הדלק המימני) ובמחירי המימן.

ב- 2019 פרסם ה- ICCT מחקר נוסף⁶⁹, בו בחן את התשתית הנדרשת והעלויות הנלוות במעבר למשאיות חשמליות ומשאיות מבוססות תא דלק מימני, תוך חלוקה לשתי טכנולוגיות הפקת מימן: מימן המופק מגז טבעי- מתאן (SMR - Steam Methane Reforming) ותהליך הפקת מימן ממקורות מתחדשים לייצור אנרגיה. הניתוח נעשה עבור משאיות במשקלים שונים: משאיות קלות Class 6, משאיות בינוניות Class 7-8 ומשאיות משא Class 8. הניתוח נעשה בהתייחס לשלושה שלבי חדירה: פריסה ראשונית של 100 משאיות מאופסות פליטה, פריסה בינונית של 1,000 משאיות ופריסה רחבה וארוכת טווח של 10,000 משאיות. השלבים נפרסו בהתאמה על פני שלוש נקודות בציר הזמן: 2020, 2025, 2030. ההנחות על בסיסן בוצע הניתוח הן כי אורך חיי משאית הוא עשר שנים וכי ישנה ירידה של 2% מדי שנה בנסועה השנתית.

⁶⁹ https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EV_HDVs_Infrastructure_20190809.pdf

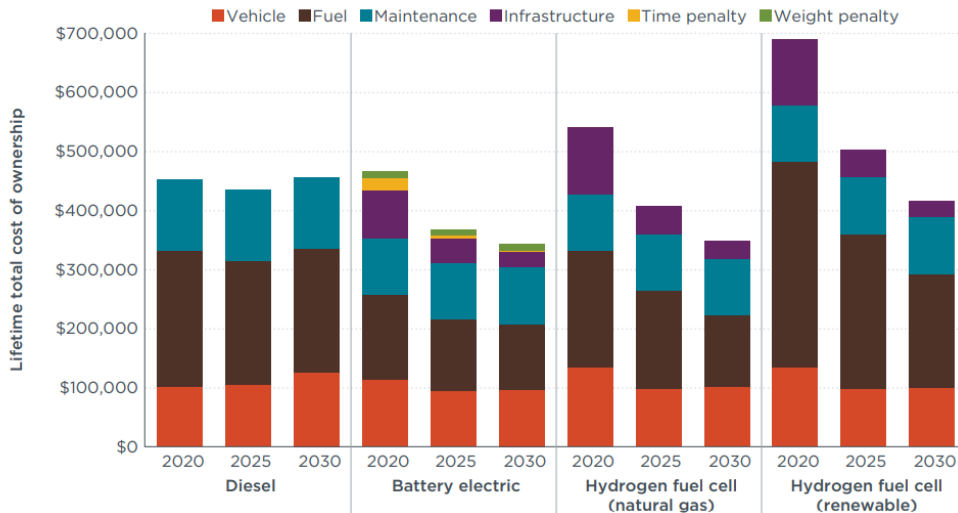
גרף 4- עלות הבעלות הכוללת עבור משאיות משא במשקלים כבדים בארה"ב



מהניתוח עולה כי עלות התשתית מהווה מרכיב משמעותי בחלופות מאופסות הפליטה ונעה בין 10%-20% מעלות הבעלות הכוללת. בהתייחס לעלות ההון, משאיות דיזל נותרות הזולות ביותר, עד לשנת 2026 בה עלות ההון של משאיות דיזל משתווה לעלות ההון של משאיות חשמליות. מעבר לך, עד לסוף העשור צופים כי מחיר משאית חשמלית יהיה נמוך יותר משל משאית דיזל. באשר למשאיות מבוססות מימן, עלות ההון צפויה להשתוות לעלות ההון של משאיות דיזל בשנת 2028.

עוד עולה מניתוח זה, עד לתום העשור עלות הבעלות הכוללת של משאית מימן בטכנולוגיית הפקה מגז טבעי ועלות הבעלות הכוללת של משאית חשמלית צפויות להיות הנמוכות ביותר.

גרף 5- עלות הבעלות הכוללת של משאיות במשקלים בינוניים בארה"ב



מהניתוח הנ"ל עולה כי עלות תשתית הטעינה עבור רכבים חשמליים מהווה 13% מעלות הבעלות הכוללת, נכון לשנת 2025 ויורדת לכדי 9% מתוך העלות הכוללת בשנת 2030. אחוז דומה משתקף גם עבור עלות התשתית של משאיות בינוניות מבוססות מימן, ב-2030. עוד עולה כי בשנים 2025-2030 עלות ההון של החלופות מאופסות הפליטה, נמוכה מעלות ההון של החלופה הקונבנציונלית. בנוסף, בדומה לניתוח עבור משאיות במשקלים כבדים, גם כאן ניתן לראות כי עד לתום העשור, עלות הבעלות הכוללת של משאיות חשמליות ועלות הבעלות של משאיות מימן בטכנולוגיית גז טבעי צפויות להיות הנמוכות ביותר.

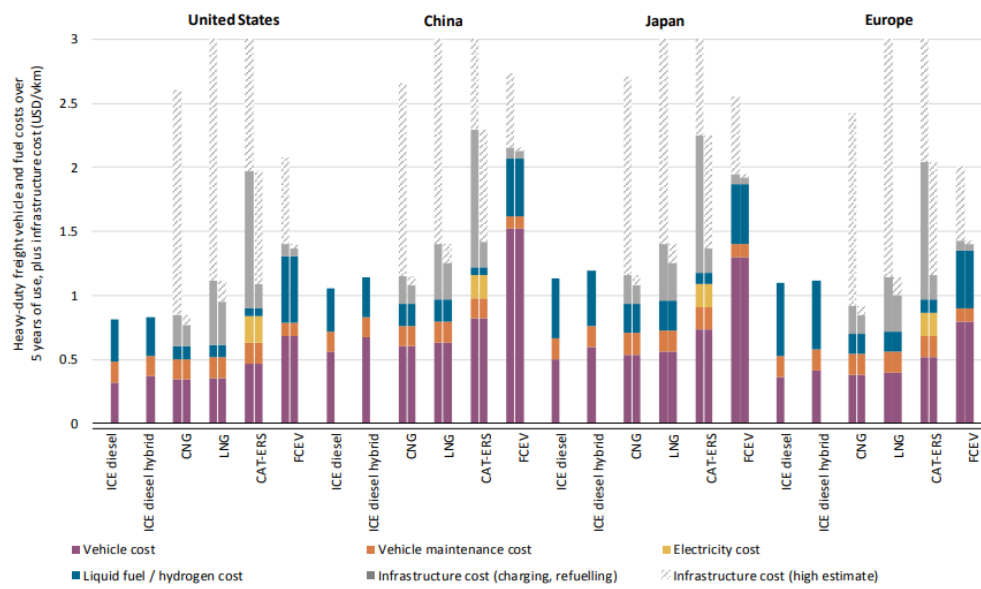
(International Energy Agency) - IEA

The Future of Trucks - Implications) פרסם ה- IEA מחקר הכולל סקירה רחבה של צי המשאיות הכבדות (for energy and environment⁷⁰), תוך סקירת החלופות הטכנולוגיות והצגת החשיבות שבנקיטת צעדי מדיניות בענף משאיות המשא. זאת, בשל צריכת תזקיית הנפט הגבוהה של ענף זה, המייצגת נתח משמעותי מצריכת תזקיית הנפט של מגזר התחבורה בכללותו.

ראשית, מוצגת סקירה כללית של השפעות ענף המשאיות הכבדות על משק האנרגיה, על זיהום האוויר ועל סך פליטות גז"ח. בהמשך מוצגת סקירה של החלופות הטכנולוגיות לתזקיית נפט, הכוללות ג"ט, דלקים ביולוגיים, מנוע חשמלי ותא דלק מימני, תוך הצגת סטטוס בשלות הטכנולוגיה ודרכים אפשריות להטעמה רחבה של הטכנולוגיה בענף משאיות המשא. לבסוף מציג המחקר את התובנות המדיניות העולות מהניתוח ואת ההשפעות על משק האנרגיה ועל היקף פליטות גז"ח.

במסגרת בחינת החלופות הטכנולוגיות, בוצעה השוואה בין עלויות החלופות נכון לזמן כתיבת המחקר - ללא תחזיות. הגרף להלן מציג את העלויות עבור ק"מ נסועה (במחירי 2015), לרכבים כבדים תחת טכנולוגיות שונות ובהתייחס לעלות הדלק, עלויות תשתית, עלויות תחזוקה ועלות הרכישה. העלויות חושבו על פני חמש שנות שימוש ומוצגות תחת שני תרחישים: תרחיש עלויות גבוהות ותרחיש עלויות נמוכות עבור התשתית הנדרשת להטמעת הטכנולוגיה.

גרף 6- עלויות רכבים כבדים על פני חמש שנות שימוש, במחירי 2015



לפי הניתוח הנ"ל, משאיות חשמליות בעלות טכנולוגיית טעינה מהדרך (CAT - catenary based electric road systems) ומשאיות מימן (שהן החלופה העדיפה מבחינת השפעות סביבתיות, כפי שעולה בעבודה) יקרות ממשאיות דיזל. באירופה, עלות הבעלות על משאית גט"ד נמוכה יותר ממשאית דיזל ומשאית גט"ן (שעלותן דומה יחסית). בארה"ב, בעיקר משום שמחיר הדיזל נמוך יותר בהשוואה לאירופה, נראה כי עלות הבעלות על משאית גט"ד ומשאית דיזל אינן שונות מאוד. עלות הבעלות על משאית גט"ן בארה"ב הינה גבוהה יותר.

Fueling the Future of Mobility - Deloitte

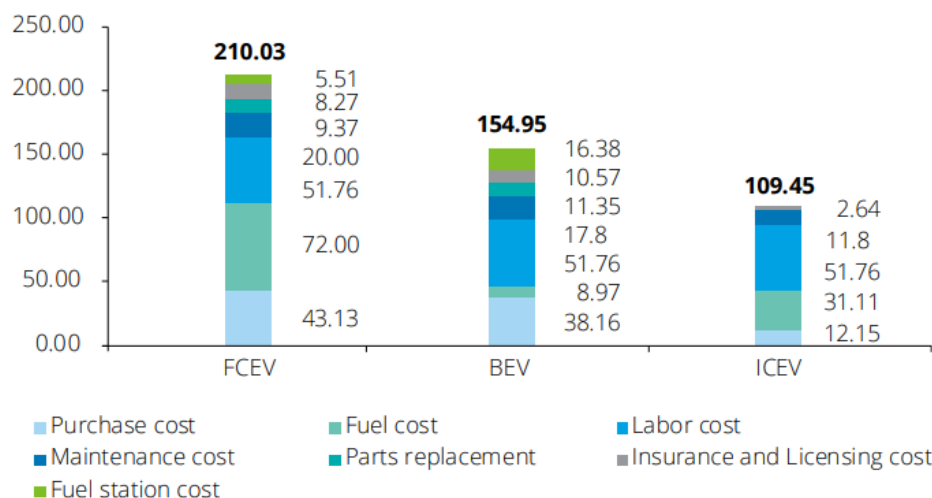
עבודה זו⁷¹ מתמקדת בבחינת טכנולוגיות הנעה המבוססות מימן ותאי דלק מימניים. ניתוח עלות הבעלות הכוללת, התמקד בבחינת טכנולוגיית המימן אל מול החלופה החשמלית והחלופה הקונבנציונלית, במחירי 2019. עיקר הניתוח

⁷⁰ <https://www.oecd.org/publications/the-future-of-trucks-9789264279452-en.htm>

⁷¹ <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/finance/deloitte-cn-fueling-the-future-of-mobility-en-200101.pdf>

הכלכלי התמקד באוטובוסים, אך העבודה בחנה גם את חדירת הטכנולוגיות בכלי רכב נוספים, מרכבים פרטיים ועד למשאיות כבדות. הניתוח הכלכלי בחן את התפתחות הטכנולוגיות בשלושה שווקים מרכזיים: ארה"ב, סין ואירופה.

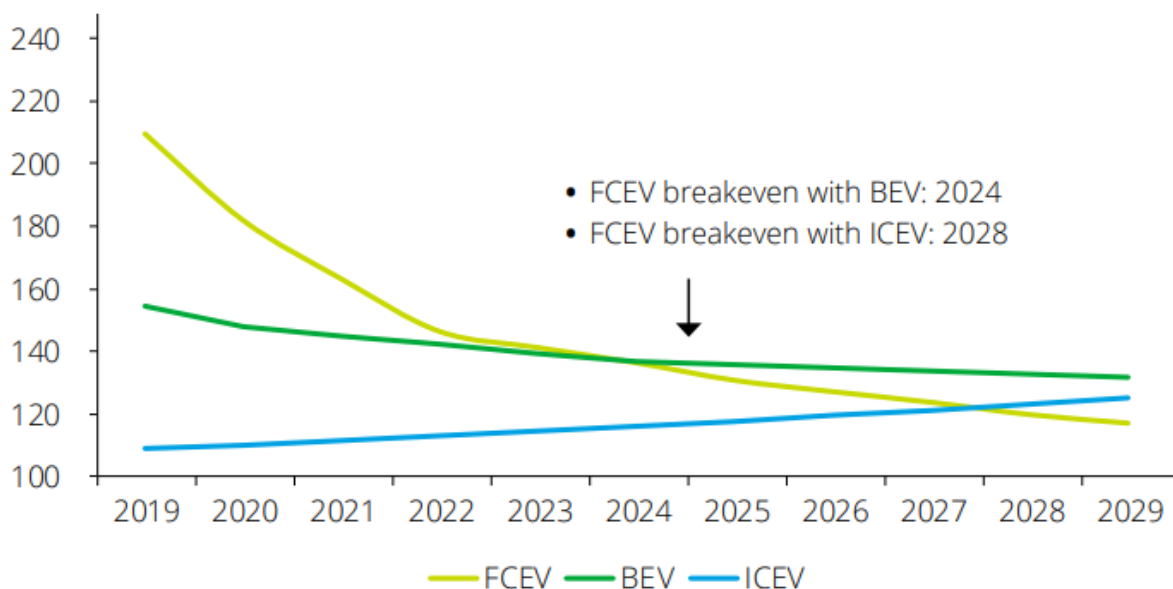
גרף 7- עלות הבעלות הכוללת של משאיות כבדות בארה"ב, דולר/100 ק"מ



הניתוח מציג את עלות הבעלות הכוללת במחירי 2019, עבור משאיות משא כבדות (Class 8) הפועלות בעיקר באזורי נמל (Drayage truck). יש לציין כי בשל אופי פעילותן, טווחי הנסיעה של משאיות אלה צפוי להיות נמוך ביחס למשאיות המובילות משא למרחקים ארוכים.

מהניתוח עולה כי עלות הבעלות הכוללת של החלופה הקונבנציונלית הינה הנמוכה ביותר באופן יחסית משמעותי. עלות הבעלות של החלופה המימנית היא הגבוהה ביותר, וזאת בשל עלות הון גבוהה וכן עלויות אנרגיה ותחזוקה משמעותיות. ניתן לראות כי עלות הרכישה, של משאית מימן ומשאית חשמלית מונעת מצבר גבוהות באופן מעלות משאית קונבנציונלית.

גרף 8- תחזית התפתחות עלות הבעלות הכוללת של משאיות Drayage, דולר/100 ק"מ



התחזית להלן מציגה ירידה משמעותית בעלות החלופה המימנית לאורך העשור. על פי תחזית זו, עלות הבעלות של משאית בטכנולוגיית מימן, צפויה להשתוות לעלות הבעלות של משאית בטכנולוגיית הנעה חשמלית כבר בשנת 2024. עוד עולה מן הניתוח, כי לקראת סוף העשור עלות משאית מימנית צפויה להשתוות לעלות משאית דיזל ובהדרגה להיות החלופה הזולה ביותר מבין שלוש החלופות. הירידה החדה בעלות הבעלות של משאיות מימן נזקפת לטובת ירידה משמעותית בעלות האנרגיה, המהווה רכיב מרכזי בעלות הבעלות של המשאית.

מחקר שפורסם ב- 2018 מטעם נציבות האנרגיה בקליפורניה (Forecast of Medium and Heavy-Duty Vehicle Attributes to 2030⁷²). נציבות האנרגיה בקליפורניה מספקת הערכות בדבר צריכת האנרגיה של סקטור התחבורה ומשקפת סטטוס חדירה לשוק של החלופות הטכנולוגיות. ההערכות שמבצעת הנציבות נעשות כחלק מדו"ח מדיניות האנרגיה המשולבת לשנת 2017 ופרויקטים נוספים הנעשים במדינה.

במסגרת עבודה זו, נעשו תחזיות לעלויות האנרגיה ומחירי הרכישה של כלי רכב במשקל בינוני וכבד, לשנים 2016-2030. כמו כן, מחקר זה מציג את ההנחות הטכנולוגיות בנוגע לכל חלופה ואת המודל ששימש לביצוע התחזיות. בכדי לבצע הערכה לצריכת האנרגיה של ענף התחבורה, נעשה שימוש במודלים החוזים את הביקוש לכל אחת מן החלופות. נוסף על כך, במסגרת עבודה זו נעשתה בחינה של טכנולוגיות ההנעה החלופיות הזמינות בשוק, באמצעותן ניתן לצמצם את היקף פליטת גזי"ח מענף התחבורה.

השוואת מחירי התחזיות למחירי הרכבים הכבדים בין השנים 2016-2030, נעשתה תחת בחינת שני תרחישים אפשריים:

(1) **תרחיש ביקוש גבוה לרכבים חשמליים**, המשקף חדירה מוצלחת של רכבים חשמליים לשוק ומציג תחזית מחירים התואמת להיקף חדירה זה.

(2) **תרחיש ביקוש נמוך לרכבים חשמליים**, המשקף חדירה חלקית של רכבים חשמליים לשוק ומציג תחזית מחירים בהתאם למחירי הרכישה של רכבים חשמליים נכון לזמן כתיבת המחקר.

ההשוואה נעשתה בין מספר טכנולוגיות הנעה, ביניהן בנזין, דיזל, רכב חשמלי מונע מצבר, תא דלק מימני, גטי"ן וגטי"ד. לשם הניתוח, המשאיות סווגו לקטגוריות משקל שונות. מהתחזיות המוצגות במחקר עולה כי בתרחיש הראשון המבטא ביקוש גבוה לרכבים חשמליים, נראית ירידה משמעותית במחיר הרכישה של רכבים חשמליים בכל קטגוריות המשקל השונות, בהשוואה לטכנולוגיות ההנעה הקונבנציונליות בהן נראית עלייה קלה במחירים. נוסף על כך, בטכנולוגיות הנעה חלופיות כגון גטי"ן וגטי"ד נראית גם כן עלייה במחיר לאורך זמן.

באשר לתרחיש השני המבטא ביקוש נמוך לרכבים חשמליים, נראה כי מחיר הרכבים החשמליים יורד גם כן לאורך זמן אך בשיעור נמוך יותר מאשר בתרחיש הראשון. לצורך המחשה, הפער בין מחיר רכב חשמלי בשני התרחישים יכול להגיע עד לכדי פי 2 עבור אותה קטגורית משקל (למשל עבור רכבים חשמליים בקטגוריות משקל (Class 6)). עוד עולה מן הניתוח, כי העלייה במחיר החלופות הקונבנציונליות מעט נמוכה יותר בתרחיש השני עבור רכבים בקטגוריית משקל בינוני (Class 4/5), ביחס לאלו שבתרחיש הביקוש הגבוה.

סיכום

המחקרים שנבחנו במסגרת כתיבת הפרק הני"ל מצביעים כי בעולם המעבר לרכבים מאופסי פליטה, לרבות רכבי מימן ורכבים חשמליים, צפוי כבר לקראת תום העשור הנוכחי. אנו רואים כי שווקים מרכזיים בעולם (ארה"ב, אירופה, סין) מקדמים טכנולוגיות הנעה חלופיות לכלי רכב, כמו גם פיילוטים אזוריים לחדירת רכבים בטכנולוגיות הנעה אלטרנטיביות ותקצוב צעדים מדיניים בנושא אנרגיה חלופית לסקטור התחבורה. חלק עיקרי במגמה זו נובע מרגולציה סביבתית והסכמים בין לאומיים שמטרתם להפחית שימוש בדלקים (לרבות דלקים דלי זיהום) ואף קובעות יעדים לאיפוס פליטות גזי חממה (כולל פליטות בסקטור התחבורה).

עם זאת, ניתן לראות כי קיימת שונות בין המחקרים הני"ל בנוגע לתחזיות החדירה והתפתחות המחירים של הטכנולוגיות השונות. שונות זו משקפת את המורכבות ורמת אי הוודאות בכל הנוגע לחדירה של טכנולוגיות חליפיות ובפרט לרכבים כבדים.

המחקר שנעשה על ידי Deloitte למשל, צופה ירידה משמעותית בעלות הבעלות של רכבי מימן לאורך העשור, בעוד המחקר שפורסם ב- 2019 מטעם ה- ICCT מצביע על עלות בעלות כוללת נמוכה יותר עבור רכבים חשמליים עד לתום העשור. על אף השונות הקיימת, נראה כי ככלל, מרבית הממצאים מצביעים על ירידה משמעותית לאורך הזמן בעלות הטכנולוגיות, שבתורה תורמת לירידה בעלות הבעלות של החלופות מאופסות הפליטה.



שיטת החישוב ונתונים

בחלק זה יוצג בסיס הנתונים ששימש לגיבוש האומדן הכלכלי בעבודה זו. הניתוח מבוסס על נתונים, הנחות ותחזיות שנאספו מהמחקרים לעיל, כמו גם נתונים והנחות פרטניים למשק הישראלי. הניתוח מבוצע עבור שני תרחישים:

- א. תרחיש הלוקח בחשבון תחזית לשינוי במחירי ההון, מחירי האנרגיה ושיפורים טכנולוגיים **בטווח הקצר-בינוני**. סביבת מחירים התואמת את תחזיות המחקרים לסביבות שנת 2025.
- ב. תרחיש הלוקח בחשבון תחזית לשינוי במחירי ההון, מחירי האנרגיה ושיפורים טכנולוגיים **בטווח הבינוני-ארוך**. סביבת מחירים התואמת את תחזיות המחקרים לסביבות שנת 2030 ואף מאוחר יותר.

במסגרת עבודות המחקר שעמדו בבסיס ניתוח זה גובשו תחזיות לשנים ספציפיות ובפרט לשנים 2025 ו-2030. בשל רמת אי הוודאות בכל הנוגע למימוש תחזיות אלה במועד החזוי, בעבודה זו לא התייחסנו לשנות התחזית הספציפיות באופן מחייב. עוד יצוין כי שני התרחישים מבוססים על ההנחה ששוק הרכב העולמי ינוע בכיוון טכנולוגיות מאופסות פליטה ומכאן שעם הביקוש, מחירי חלופות אלה ירדו ויעילות עבודתן תעלה.

הניתוח מתמקד בשני סוגי משאיות: **משאיות במשקל בינוני** - משאית בקטגורית משקל (class) 4/5 לפי קטגוריות המשקל האמריקאית ו**משאיות במשקל כבד** - קטגורית משקל (class) 8 לפי קטגוריות המשקל האמריקאית. כאמור, בשל זמינות מסחרית נמוכה למשאיות מונעות גט"ן במשקל נמוך עד בינוני, עבור טכנולוגיה זו ייבחנו המשמעויות הכלכליות של משאיות כבדות בלבד.

הכדאיות הכלכלית של כל אחת מהטכנולוגיות תבחן משתי נקודות מבט, הראשונה מנקודת מבטו של הצרכן (בעל המשאית) והשנייה מנקודת המבט של המשק. עיקר ההבדל בין הניתוחים הינו בכך שבמסגרת הניתוח המשקי לא נכללים רכיבי מיסוי, תמלוגים והעברות פנימיות בתוך המשק (לרבות רכיבי המיסוי והתמלוגים במחירי הדלק והחשמל), אך כן נאמדת העלות החיצונית הנגרמת מפליטות גזי חממה ומזהמי אויר.

עלויות הון

עלות הון כוללת את סך ההשקעה הנדרשת לרכישת כלי הרכב עבור כל אחת מהחלופות המוצעות, עבור רכבים חשמליים המחיר כולל את עלות הסוללה. מחיר הרכב משתנה בהתאם לסוג הטכנולוגיה וקטגורית המשקל של המשאית. כמו כן, עלות הון צפויה להשתנות בהתאם לשינויים בביקוש לטכנולוגיות מצד הצרכנים והיקף ההיצע והזמינות המסחרית של כל טכנולוגיה. טבלה 5 מציגה את תחזית עלות הרכישה של כל אחת מהטכנולוגיות ובהתאם לקטגוריות משקלן. תחזית מחירי רכישת משאיות כבדות מבוססת על מחקר שנעשה ע"י ה- ICCT (ושעיקריו תוארו לעיל). עבור כלל החלופות, עלות זו משקפת את תחזית מחירי משאיות באירופה, בתוספת 3 נגררים (טריילרים) בעלות של 25,000 דולר כל אחד. תחזית מחירי רכישת משאיות במשקל בינוני מבוססת על מחקר שנעשה בקליפורניה (ושעיקריו תוארו לעיל) ובו תחזית למחירי החלופות השונות על פני העשור הקרוב. נבחר להתבסס על תחזיות מחקרים אלה משום שסיפקו בסיס נתונים אחיד וברמת פירוט שאפשרה התאמה לישראל. יש לציין כי מחקרים אלה מניחים סביבת מחירים בהינתן תרחישי חדירה גבוהים של כלי רכב מאופסי פליטה (ובפרט כלי רכב חשמליים).

עוד הונח בניתוח כי כלל ציי הרכב מקבלים החזר על מע"מ המשולם במועד הרכישה. כמו כן, לפי פרסום של רשות המיסים לשנת 2018 בדבר מיסוי ונתונים נבחרים על ענף הרכב⁷³, בישראל לא חל מס קנייה על כלי רכב שמשקלו עולה על 4.5 טון ועל כן מחיר הרכב ישמש הן עבור הניתוח למשק והן עבור הניתוח לצרכן (מלבד ההצגה הגרפית של תוצאות הניתוח המוצגות בהמשך, טבלאות סיכום של העלויות השנתיות לכל סוג רכב, הן עבור הצרכן והן עבור המשק, מופיעות בפרק הנספחים).

טבלה 5 - תחזית עלות הון לרכישת משאית, לפי קטגורית משקל ולפי סוג טכנולוגיה (דולר)

משאיות במשקל בינוני ⁷⁴		
טכנולוגית הנעה	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך

⁷³ <https://www.gov.il/he/Departments/publications/reports/tax-reviewvehicle>

⁷⁴ Forecast of Medium- and Heavy-Duty Vehicle Attributes to 2030, California Energy Commission, 2018. משקף

עלות למשאיות בקטגורית משקל 4/5 (Class).

57,150	56,503	דיזל
61,777	64,857	חשמלי מונע מצבר
61,700	61,103	גט"ד
משאיות כבדות⁷⁵		
טווח בינוני-ארוך	טווח קצר-בינוני	טכנולוגית הנעה
218,000	208,000	דיזל
213,000	217,500	חשמלי מונע מצבר ⁷⁶
237,000	239,000	גט"ד
228,000	228,000	גט"ן ⁷⁷

ניתן לראות כי בטווח הבינוני-קצר, מחיר משאיות דיזל הינו הנמוך ביותר מבין החלופות הנבחרות. עם זאת, עלות זו, הן עבור משאיות כבדות והן עבור משאיות במשקל בינוני, צפויה לעלות במהלך העשור הקרוב. העלייה במחירים צפויה בעיקר בשל חדירה של חלופות טכנולוגיות וירידה בהיצע הרכבים מבוססי דיזל המיוצרים בשוק העולמי.

עוד ניתן לראות כי עם החדירה הצפויה של כלי רכב חשמליים ככלל ומשאיות חשמליות בפרט, צפוי מחירן לרדת. יש לציין כבר היום הצהירה חברת Tesla על דגם משאית כבדה בעלת טווח נסיעה של 500 מייל שמחירה 200,000 דולר.⁷⁸ בבחינת משאיות מבוססות גז טבעי, צפויים מחיריהן להישאר יחסית יציבים במהלך העשור הקרוב.

עלויות תפעול ותחזוקה

עלויות התפעול והתחזוקה של כלי הרכב כוללים טיפול שוטף ברכב לאורך חייו. טבלה 6 מציגה את עלויות התחזוקה לק"מ נסועה לפי טכנולוגית ההנעה וקטגוריית המשקל של הרכב. הנתונים מתבססים על ניתוחים שבוצעו על ידי המועצה הבינ"ל לתחבורה נקייה בשנים 2017 ו-2019. ניתוח זה מניח כי עלויות התחזוקה לא משתנות עם השנים.

טבלה 6 - עלויות תפעול ותחזוקת משאיות, לפי קטגוריית משקל ולפי סוג טכנולוגיה (דולר לק"מ)

משאיות כבדות ⁸⁰	משאיות במשקל בינוני ⁷⁹	טכנולוגית הנעה
0.12	0.13	דיזל ⁸¹
0.11	0.10	חשמלי מונע מצבר
0.12	⁸³ 0.13	גט"ד ⁸²
0.12	-	גט"ן ⁸⁴

ניתן לראות כי בהשוואה לחלופות טכנולוגיות מבוססות דלקים פוסיליים, עלויות התחזוקה של רכב חשמלי נמוכות יותר. הפער בעלויות התחזוקה נובע משחיקה פחותה של מערכות הרכב בהיעדר זרימת דלק במערכות ההנעה.

בכדי להעריך את עלות התחזוקה השנתית של כל רכב, הוכפלו העלויות בטבלה לעיל בנסועה הממוצעת אותה מפרסמת הלמ"ס לכל קטגוריית רכב, כפי שהוצג בגרף 2 לעיל. עבור משאיות במשקל בינוני, חושב ממוצע פשוט של משאיות במשקל 4-16 טון (36.2 אלפי ק"מ בשנה). עבור משאיות במשקל כבד חושב ממוצע פשוט למשאיות במשקל העולה על 16 טון (כ-46.3 אלפי ק"מ בשנה).

עלויות אנרגיה

צריכת האנרגיה השנתית של הרכב תלויה בשלושה פרמטרים עיקריים: היקף הנסועה, נצילות כלי הרכב ומחיר האנרגיה.

⁷⁵ <https://theicct.org/publications/transitioning-zero-emission-heavy-duty-freight-vehicles>. משקף עלות למשאיות

מסוג Long-haul tractor-trailer באירופה.

⁷⁶ נלקחה העלות הממוצעת של משאית מסוג "Electric overhead catenary" ו-"Electric dynamic induction"

⁷⁷ עבור הנעה בניצוץ (Spark ignition).

⁷⁸ <https://www.tesla.com/semi>

⁷⁹ משקף את העלות של משאית משלוחים (Delivery truck)

⁸⁰ משקף עלות למשאיות מסוג Long-haul tractor-trailer

⁸¹ <https://theicct.org/publications/zero-emission-truck-infrastructure>

⁸² <https://theicct.org/publications/transitioning-zero-emission-heavy-duty-freight-vehicles>

⁸³ הונח כזה לסולר, בהתאם להנחות 2017, ICCT,

⁸⁴ <https://theicct.org/publications/transitioning-zero-emission-heavy-duty-freight-vehicles>

- **נסועה שנתית** - היקף הנסועה השנתית לכל קטגורית משקל משאיות חושב ע"ב נתוני הלמ"ס (כפי שהוסבר לעיל עבור עלויות התחזוקה).

נעילות הטכנולוגיה – תצרוכת הדלק/ אנרגיה של כל אחת מהחלופות מופיעה בטבלה 7 מטה. לצורך נוחיות ההשוואה, ב

- *טבלה 8 ניתן לראות את הערכים ביחידות אנרגיה אחידות (קוט"ש לק"מ)*
- *באופן כללי יעילות כלי רכב חשמליים, גבוהה מכלי רכב מבוססי דלק.*

טבלה 7 – תחזית יעילות תצרוכת דלק/ אנרגיה לפי קטגורית משקל ולפי סוג טכנולוגיה

משאיות במשקל בינוני			
טכנולוגית הנעה	יחידה	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
דיזל ⁸⁵	ק"מ לליטר	4.48	4.70
חשמלי מונע מצבר ⁸⁶	קוט"ש לק"מ	0.78	0.70
גט"ד ⁸⁷	MMBTU לק"מ	0.010	0.010
משאיות כבדות			
טכנולוגית הנעה	יחידה	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
דיזל ⁸⁸	ק"מ לליטר	3.51	3.63
חשמלי מונע מצבר ⁸⁹	קוט"ש לק"מ	1.06	0.95
גט"ד ⁹⁰	MMBTU לק"מ	0.013	0.012
גט"ן ⁹¹	MMBTU לק"מ	0.013	0.012

טבלה 8 - תחזית יעילות תצרוכת דלק/ אנרגיה לפי קטגורית משקל ולפי סוג טכנולוגיה (קוט"ש לק"מ)

משאיות במשקל בינוני			
טכנולוגית הנעה	יחידה	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
דיזל ^{92,93}	קוט"ש לק"מ	2.55	2.42
חשמלי מונע מצבר	קוט"ש לק"מ	0.78	0.70
גט"ד	קוט"ש לק"מ	2.926	2.793
משאיות כבדות			
טכנולוגית הנעה	יחידה	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
דיזל	קוט"ש לק"מ	3.25	3.14
חשמלי מונע מצבר	קוט"ש לק"מ	1.06	0.95
גט"ד	קוט"ש לק"מ	3.711	3.401
גט"ן	קוט"ש לק"מ	3.711	3.401

⁸⁵ Forecast of Medium- and Heavy-Duty Vehicle Attributes to 2030, California Energy Commission, 2018. משקף עלות למשאיות בקטגורית משקל (Class) 4.

⁸⁶ <https://theicct.org/publications/zero-emission-truck-infrastructure>. עבור משאיות משלוחים (Delivery truck), בהנחה והנצילות בשנת 2020 הינה 1.4 קוט"ש למייל וקצב שיפור שנתי של 2.1%.

⁸⁷ Forecast of Medium- and Heavy-Duty Vehicle Attributes to 2030, California Energy Commission, 2018. עבור משאיות בקטגורית משקל (Class) 4/5. מקדם המרה בין GGE ל-BTU גט"ד הינו 125,000.

⁸⁸ Forecast of Medium- and Heavy-Duty Vehicle Attributes to 2030, California Energy Commission, 2018. עבור משאיות בקטגורית משקל (Class) 7.

⁸⁹ <https://theicct.org/publications/zero-emission-truck-infrastructure>. עבור משאיות מסוג Long-haul tractor-trailer, בהנחה והנצילות בשנת 2020 הינה 1.9 קוט"ש למייל וקצב שיפור שנתי של 2.1%.

⁹⁰ <https://theicct.org/publications/transitioning-zero-emission-heavy-duty-freight-vehicles>. עבור משאיות מסוג Long-haul tractor-trailer באירופה.

⁹¹ <https://theicct.org/publications/transitioning-zero-emission-heavy-duty-freight-vehicles>. עבור משאיות מסוג Long-haul tractor-trailer בהנעת ניצוץ (Spark ignition) באירופה.

⁹² ערך קלורי של דיזל ליחידת נפח הינו 1,020 [Liter/toe], על פי הנציבות האירופאית

⁹³ 1 TOE שווה ערך ל- 11.63 MWh, על פי סוכנות האנרגיה הבינלאומית

● **מחירי אנרגיה** - מחירי הדלקים והחשמל משתנים בין הניתוח המשקי והניתוח לצרכן, שכן בניתוח המשקי לא נכללים רכיבי מיסוי ותמלוגים המשולמים על מקור האנרגיה. להלן המחירים לכל מקור אנרגיה לצרכן וברמת המשק:

○ **סולר** - מחיר ליטר סולר למשק הינו 2.25 ש"ח לליטר (ללא מיסוי, כולל מרווח שיווק). מחיר סולר לבעל משאית בינונית וכבדה הינו 3.99 ו- 3.85 ש"ח לליטר בהתאמה.⁹⁴ מחירי הסולר לצרכן משתנים בהתאם לקטגורית המשקל של המשאית, שכן שיעור הישבון הבלו למשאיות כבדות (למעלה מ- 32 טון) עומד על 50%, כנגד 40% למשאיות במשקל של עד 32 טון.⁹⁵ במסגרת הניתוח למשאיות במשקל 16.5 טון ומעלה נלקח שיעור הישבון ממוצע- 45%.

○ **חשמל** - מחיר החשמל לצרכן הוערך ב- 50 אג' לקוט"ש, בדומה לתעריף החשמל הביתי. עלות ייצור החשמל למשק הוערכה בכ- 22 אג' לקוט"ש בטווח הקצר-בינוני (עלות מוערכת בשנת 2025) וכ- 20.5 אג' בטווח הבינוני-ארוך (עלות מוערכת בשנת 2030).

■ החישוב מתבסס על ההנחה כי תוספת החשמל תיוצר ע"י תחנות קונבנציונאליות הפועלות בגז טבעי, כמו גם באנרגיה מתחדשת בהתאם לשיעור הנדרש לעמידה ביעד שנקבע על ידי משרד האנרגיה - 30% בשנת 2030.

■ עלויות הייצור בגז טבעי מחושבות בהתאם להנחות רשות החשמל בדבר תמהיל ההקמה וההפעלה של תחנות כוח בגז טבעי.⁹⁶ בפרט הונח כי תמהיל ההספק החדש שיוקם הינו 40% פיקר ו-60% מחז"מ, בעוד שתמהיל ההפעלה (ייצור בפועל) הינו 85% מחז"מ ו-15% מחזור פתוח וקיטורי.

■ עלות זו אינה כוללת הרחבה ותפעול של רשת החשמל, וזאת בשל הקושי בהערכת ההשפעה על עלויות הקמה ותפעול של הרשת.

■ עלות זו אינה כוללת עלויות חיצוניות מפליטות לאוויר שכן רכיב זה יחושב בנפרד (ראה התייחסות בהמשך).

○ **מחיר גז"ד וגט"ן** - עבור מחירי גז"ד וגט"ן למשק, נוכח תמלוגים על הגז מהמחירים המופיעים לעיל. רכיב התמלוגים והמיסים הוערך ב- 35% מהעלות המוכרת המשוקללת לחברת החשמל וליצרנים הפרטיים. לפי דוח מצב משק החשמל, בשנת 2018 העלות המשוקללת המוכרת ממאגר תמר עמדה על 5.49 דולר ל- MMBTU.⁹⁷ באופן זה רכיב התמלוגים והמיסים הוערך בכ- 1.9 דולר ל- MMBTU.

● **מחיר גז"ד – 7 דולר ל- MMBTU לאורך השנים 2020-2030**. מחיר זה משקף את העלות המשוקללת המוכרת ממאגר תמר עמדה כמפורט מעלה (5.49 דולר ל- MMBTU) בניכוי תמלוגים ומיסים בסך 35% (דהיינו 3.57 דולר ל- MMBTU) ובתוספת כ- 3.5 דולר עבור שיווק, הפצה ודחיסת הגז.

● **מחיר גט"ן – 8 דולר ל- MMBTU לאורך השנים 2020-2030**. מחיר זה משקף את העלות המשוקללת המוכרת ממאגר תמר ומרכיב המיסוי והתמלוגים בדומה לגט"ד ובתוספת כ- 4.5 דולר עבור שיווק, הפצה והנזלת הגז.

עלויות תשתית

הערכת עלות התשתית למשק ולצרכן נעשתה תחת ההנחות הבאות:

● באופן שמרני, הונח כי עבור משאיות דיזל לא נדרשת השקעה בתשתית נוספת מעבר לזו הקיימת כבר היום.

⁹⁴ יעדי משק האנרגיה לשנת 2030, משרד האנרגיה

⁹⁵ <https://www.gov.il/he/departments/general/heshavon>

⁹⁶ הגדלת יעדי ייצור החשמל באנרגיות מתחדשות לשנת 2030, רשות החשמל

⁹⁷ https://www.gov.il/he/departments/publications/Call_for_bids/shim_2030yaad

⁹⁷ https://pu.gov.il/Publications/PressReleases/Pages/doch_mashek_2018.aspx ממוצע עלות משוקללת בשנת 2018

- הונח כי תעריף החשמל בעמדת הטעינה יהיה גבוה מתעריף החשמל שנלקח במסגרת הניתוח (כ- 50 אג' לצרכן וכ- 20-22 אג' למשק). זאת משום שמחירי חשמל כיום אינם משקפים את עלויות תשתית הטעינה שתידרש. מסיבה זו עבור החלופות החשמליות הונח כי קיים רכיב עלות תשתית נפרד (מעבר לתעריף החשמל). רכיב זה יתווסף הן בניתוח לצרכן והן בניתוח למשק.
- בסיס מחירי האנרגיה ששימשו לניתוח עבור גט"ד וגט"ן משקפים את העלות אותה משלם הצרכן בתחנת התדלוק. מכאן שעלות זו צפויה לגלם בתוכה גם את העלויות הנלוות להקמה ופריסה של תשתית תדלוק הרכבים. **מסיבה זו, בניתוח הכלכלי הונח כי לגט"ד וגט"ן אין עלות תשתית נוספת, שכן זו כלולה במלואה במחיר הגז.** עם זאת, בכדי להמחיש את סדרי הגודל, יתוארו להלן עלויות פריסה והקמה של עמדות טעינה מסוגים שונים וזאת על בסיס מחקרים וממצאים מהספרות.

להלן אומדן העלות עבור כל אחת מהחלופות הנבחנות:

- **חשמל-** עלות תשתית טעינה חשמלית כוללת הקמה של עמדות טעינה מהירה ואיטית. בהתאם לניתוח של ה-ICCT, הונח כי כלל המשאיות יטעינו את מצבריהן בנקודה מרכזית במהלך הלילה, באמצעות עמדות טעינה איטיות, בהספק של 50 kW. לפי ה-ICCT, בתרחיש הכולל חדירה בהיקף רחב של כלי רכב כבדים חשמליים, נדרשת עמדת טעינה איטית אחת על כל 1.5 רכבים. נתון זה נכון גם למשאיות כבדות וגם למשאיות בינוניות. מספר העמדות האיטיות הנדרש גובש באמצעות חלוקה של מספר המשאיות במשקל העולה על 4 טון (לפי הלמ"ס), במפתח עמדות הטעינה האיטיות הנדרשות לכל רכב (1.5). עבור עלויות ההקמה של עמדות טעינה מהירה לאורך הדרך (בהספק של 350-500 kW), הונח באופן שמרני כי אורך הדרך הנדרשת על כל תחנת טעינה מהירה זהה לזה הנדרש עבור גט"ד, כלומר עמדה על כל 150 ק"מ. בישראל כ- 3200 ק"מ אורך דרך ארצית⁹⁸, מכאן שלפי מפתח זה נדרשות כ- 21 תחנות טעינה המוצבות בנקודות אסטרטגיות לאורך צירים מרכזיים במטרה לספק מענה לטעינה שאינה במהלך הלילה. בכל תחנת טעינה הונח כי מוצבות 10 עמדות לטעינת רכבים (מכאן שסך הכל יוצבו מעל 200 עמדות טעינה מהירה לרכבים כבדים). יש לציין כי היות והדרכים הארציות חוצות זו את זו לאורך, חישוב זה שמרני שכן מרחק הנסיעה בפועל בין התחנות המהירות עשוי להיות אף קטן יותר. להלן תחזית עלויות הקמת עמדות טעינה מהירות ואיטיות:

טבלה 9 - עלויות הקמה של עמדות טעינה חשמלית בשנים 2020, 2025 ו-2030 (דולר)⁹⁹

סוג עמדה	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
טעינה איטית - 50 kW	22,598	20,427
טעינה מהירה - 350-500 kW	193,215	165,920

עוד הונח כי אורך חיי עמדות הטעינה הינו 10 שנים.¹⁰⁰

- **גט"ד - כאמור לעיל, בניתוח זה לא הונחה עלות תשתית נוספת נפרדת עבור גט"ד, שכן הונח שזו כלולה במחיר הגז.** לצורך המחשת סדרי הגודל, ניתן לבחון את העלויות המתוארות במחקר שביצע משרד האנרגיה האמריקאי¹⁰¹. מחקר זה מפרט את עלויות ההקמה של עמדות תדלוק גט"ד מהירות ואיטיות בהיקפים שונים. לפי מחקר זה עלות ההקמה של עמדה קטנה, אשר לדוגמא מסוגלת לספק שירות לכ- 20-10 אוטובוסים להסעות תלמידים הינה 250-500 אלפי דולר, כלומר כ- 25 אלפי דולר לרכב כבד בודד. עלות עמדת תדלוק איטית בגודל בינוני, אשר לדוגמא מסוגלת לספק שירות לכ- 80-50 אוטובוסים להסעת תלמידים, עולה כ- 850-550 אלפי

⁹⁸ ויקיפדיה- כבישי ישראל, נדלה ביום 19.4.20

⁹⁹ <https://theicct.org/publications/zero-emission-truck-infrastructure>

¹⁰⁰ Costs Associated With Non-Residential Electric Vehicle Supply Equipment, U.S. Department of Energy, 2015

¹⁰¹ Costs Associated With Non-Residential Electric Costs Associated With Compressed Natural Gas, U.S. Department of Energy, 2015

דולר. כלומר כ-11 אלפי דולר לרכב כבד. לפי משרד האנרגיה האמריקאי, עלות ההקמה של עמדת תדלוק מהירה בהיקף גדול נע בין 1.2 ל-1.8 מיליון דולר.

גט"ן- כאמור לעיל, בניתוח זה לא הונחה עלות תשתית נוספת נפרדת עבור גט"ן, שכן הונח שזו כלולה במחיר הדלק. לצורך המחשה, עלות ההקמה של כל עמדת גט"ן מוערכת בכ- 2.5 מיליון דולר.¹⁰² מלבד עלות ההקמה של תשתית התדלוק, עבור גט"ן נדרשת גם הקמה של מתקן הנזלה, עלות מתקני הנזלה קטנים מוערכת בעשרות מיליוני דולרים, עלות מתקן הנזלה זעיר בתחנת הדלק מוערך במיליוני שקלים. עלות מתקן הנזלה ענק למטרות יצוא מוערך במיליארדי דולרים (לפי מרכז המחקר והמידע של הכנסת, עלות זו נאמדה בכ- 10 מיליארד דולר¹⁰³).

עלויות חיצוניות- זיהום אויר וגז"ח

למקורות האנרגיה המשמשים להנעת כלי הרכב בחלופות השונות הבדלים בבחינת ההשפעות הסביבתיות ואיכות האוויר. ראשית, מלבד הנעה חשמלית, שריפת דלקים (הן גז טבעי והן סולר) גורמת לפליטת מזהמי אויר במוקד השריפה. במקרים רבים מוקד השריפה עלול להיות בקרבת ריכוזי אוכלוסייה וכתוצאה מכך ההשפעה הסביבתית והבריאותית גדולה בהרבה. אמנם רכבים כבדים לרוב נוסעים מחוץ לריכוזי אוכלוסייה, אך אין זה הכרח. כדוגמה לכך ניתן לחשוב על משאיות המבצעות משלוחים למרכזי ערים. שנית, לסוג הדלק הנשרף משמעות גדולה גם כן על היקפי הפליטה לסביבה היות וכמות מזהמי האוויר וגזי החממה משתנים כתלות בתכולת החומר.

להלן העלויות החיצוניות של מקורות האנרגיה המשמשים לחלופות השונות. העלות החיצונית של מזהמי האוויר מבוססת על מקדמי העלות החיצוניות לתחבורה שמפרסם המשרד להגנ"ס¹⁰⁴

- **סולר**- מקדמי הפליטה לק"מ נסועה בכל סוג רכב מבוססים על מחשבון פליטות מתחבורה שמפרסם המשרד להגנ"ס.¹⁰⁵ בהתאם לכך העלות החיצונית מפליטת מזהמי אויר וגז"ח הנגרמת משריפת סולר מוערכת בכ-2.7 ש"ח לליטר סולר.
- **גז טבעי**- היקפי הפליטה והעלויות החיצוניות המשוויכים לרכבים מבוססי גט"ד וגט"ן זהים ליחידת גז, זאת משום שמרגע שמשחרר הגז ממיכל האגירה, טכנולוגיה ההנעה דומות מאוד. מקדמי הפליטה לכלי רכב מבוססי גז טבעי לקוחה מתוך ה-HBEFA (Handbook of Emission Factors for Road Transport).¹⁰⁶ עבודה זו פותחה עבור משרדי הגנת הסביבה של גרמניה, שוויץ ואוסטריה ומכילה מקדמי פליטה לסוגי רכב שונים. בניתוח זה נלקחו מקדמי הפליטה לרכבי גז טבעי בגרמניה. עבור משאיות כבדות נלקחו מקדמי הפליטה של רכבים כבדים (HGV - Heavy Goods Vehicle), בעוד שעבור משאיות בינוניות נלקח ממוצע של מקדמי הפליטה לרכבים כבדים ורכבים מסחריים (LCV - Light Commercial Vehicle). בהתאם לנתונים אלה ולעלות החיצונית שמפרסם המשרד להגנ"ס, העלויות החיצוניות של משאית ג"ט כבדה ובינונית מוערכות ב- 15.9 ו- 10.9 אג' לק"מ, בהתאמה.
- **חשמל**- העלות החיצונית מייצור חשמל מבוססת על נתוני רשות החשמל ובפרט העבודה שנעשתה לבחינת הישימות להגדלת יעדי ייצור החשמל באנרגיות מתחדשות לשנת 2030.¹⁰⁷ לפי הערכות אלה, העלות החיצונית מייצור חשמל במשק מוערכת בכ- 7.1 ו- 6.5 אג' לקוט"ש בשנים 2025 ו- 2030 בהתאמה (2025 משקפת את הטווח הקצר- בינוני ו-2030 משקפת את הטווח הבינוני-ארוך).

¹⁰² https://afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_infrastructure.html

¹⁰³ תיאור וניתוח שוק גז טבעי לתחבורה בישראל, מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 2019

¹⁰⁴ https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/green_book_external_costs_air_pollutants_greenhouse_gases

¹⁰⁵ https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/emission_factors_from_vehicles/he/transportation_emission_coefficients_air.xlsx

¹⁰⁶ <https://www.hbefa.net/Tools/EN/MainSite.asp>

¹⁰⁷ https://www.gov.il/he/departments/publications/Call_for_bids/shim_2030yaad

תוצאות

השוואת הכדאיות הכלכלית של החלופות המוצעות, הן עבור הניתוח לצרכן והן עבור הניתוח למשק, מנורמלת למשאית בודדת ומוצגת גם עבור משאית כבדה וגם עבור משאית במשקל בינוני. כפי שהוצג בהרחבה לעיל, במהלך העשור הקרוב צפויים שינויים בשוק הרכב העולמי שעשויים להשפיע על עלויות הרכבים ויעילותם. על כן, כאמור ניתוח זה מבוצע בשני תרחישים: תרחיש הכולל תחזיות בטווח הקצר- בינוני ותרחיש הכולל תחזיות בטווח הבינוני-ארוך. תחזיות אלה משקפות מצבי עולם המשתנים כתלות בפיתוח הטכנולוגי ומחירי הרכבים.

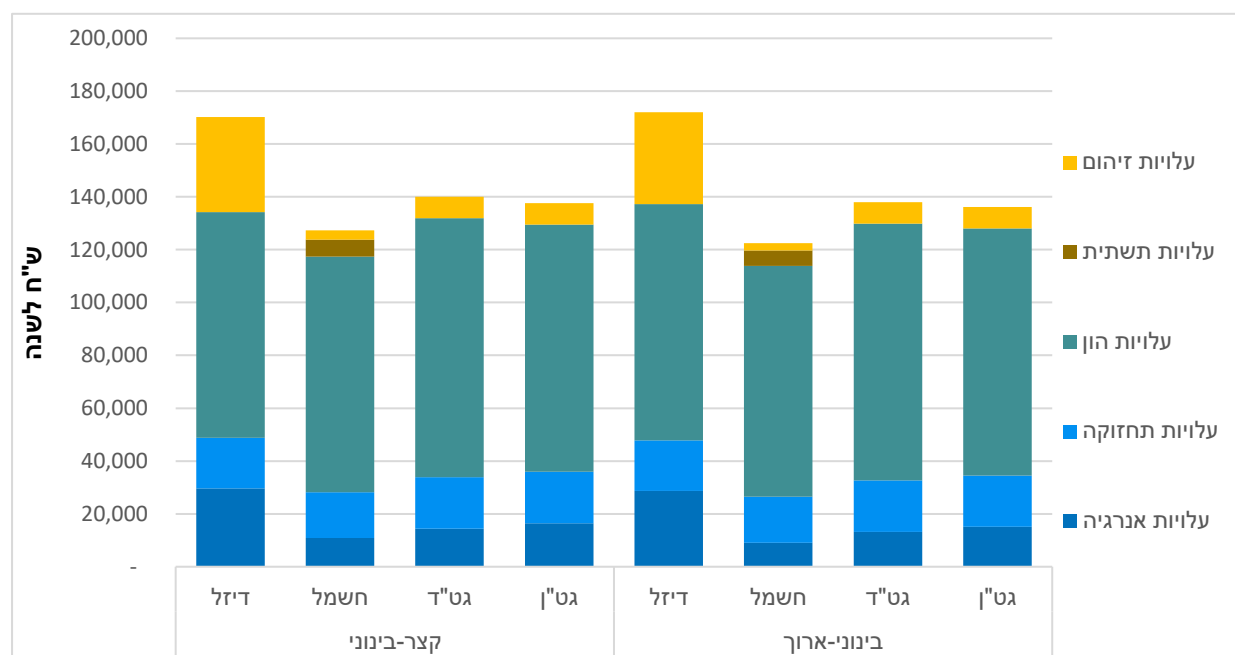
בחינת מצבי עולם משתנים מאפשרת מספר נקודות החלטה עבור הממשלה בדבר בחירת החלופה המתאימה ביותר (תחזיות חדירה של חלופות דלות זיהום לרכבים כבדים ניתן למצוא במסגרת 'יעדי משק האנרגיה לשנת 2030'¹⁰⁸ אותה פרסם משרד האנרגיה בשנת 2019).

במסגרת הניתוח עלויות ההון והתשתית נפרסו לאורך חיי כל רכיב לפי שיעור ריבית של 3%. אורך חיי משאית הינו 10 שנים¹⁰⁹ ואורך חיי עמדת טעינה ותחנת דלק הינו 10. שעי"ח ששימש לניתוח הינו 3.5 ש"ח לדולר.

השוואת החלופות מנקודת מבט משקית

גרף 9 מציג את העלויות השנתיות של כלל החלופות במהלך העשור הקרוב, עבור משאית כבדה.

גרף 9- תחזית עלויות משקיות של משאית כבדה (ש"ח לשנה)



ניתן לראות כי עבור כל החלופות, עלות רכישת הרכב מהווה את המרכיב הגדול ביותר בעלויות השנתיות, כאשר עבור מרבית החלופות ההוצאה על אנרגיה הינה המרכיב השני בגודלו. היות ועלויות התשתית מנורמלות לרכב בודד ניתן לראות כי מרכיב זה אינו גדול במיוחד, עם זאת בראייה משקית מדובר בהוצאה לא מבוטלת.

מבחינת השוואת החלופות עולה כי החלופה החשמלית צפויה להיות הכדאית ביותר הן בטווח הקצר-בינוני והן בטווח הארוך, בפער קטן לעומת החלופות מבוססות גז טבעי. חלק ניכר מתוצאה זו נובע מכך שההוצאה על אנרגיה של החלופה החשמלית תחת הנחות אלו הינה הנמוכה ביותר, שכן יעילות הרכב גבוהה יותר ומחיר החשמל למשק נמוך מהחלופות. בנוסף, הצפי לירידה במחירי משאיות חשמליות בטווח הארוך מחזק תוצאה זו. עוד עולה מתוצאות הניתוח כי סך העלות השנתית של משאיות כבדות מבוססות גז טבעי די דומות עבור גט"ד וגט"ן, אם כי גט"ן מעט כדאי יותר לאורך התחזית.

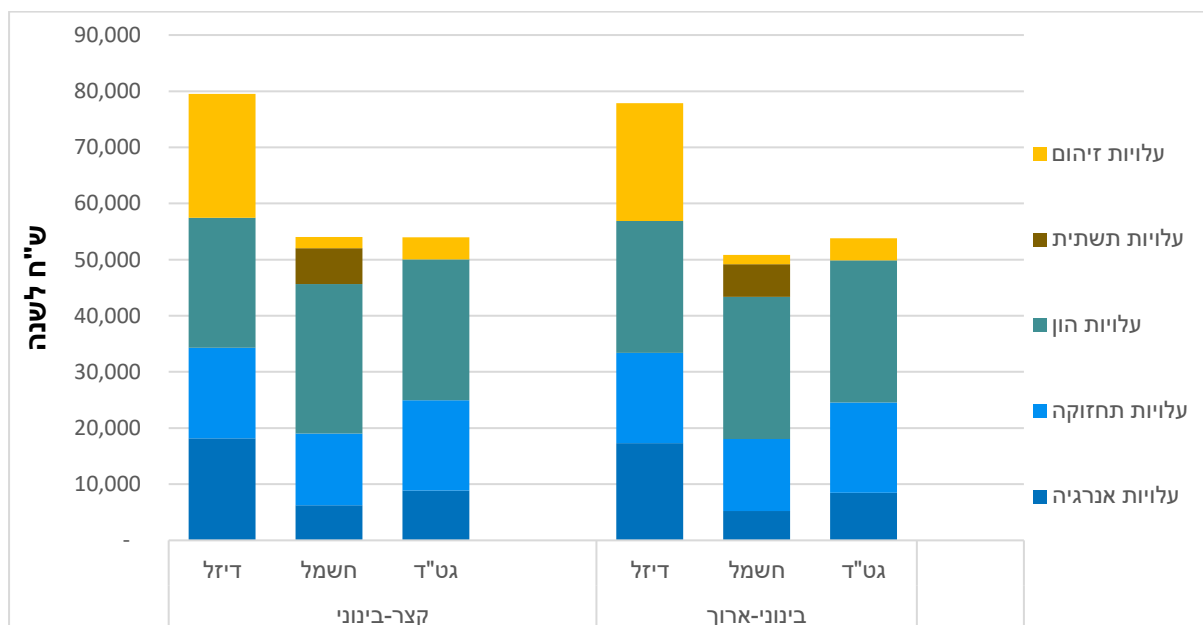
¹⁰⁸ https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/target_2030_final

¹⁰⁹ <https://theicct.org/publications/zero-emission-truck-infrastructure>

נקודה חשובה נוספת עולה מניתוח העלויות הכלכליות הנלוות לשימוש ברכבי סולר. מהניתוח עולה כי כבר בטווח הקצר- בינוני, העלות הכלכלית שברכישה ואחזקה של רכבי סולר הינה הגבוהה ביותר, זאת ללא השקעה בתשתית תדלוק הכלולה בחלופות האחרות. תוצאה זו מחזקת את הצורך למצוא חלופה מתאימה להנעת רכבים כבדים.

בבחינת העלויות המשקיות למשאית בינונית, גרף 10 מציג את העלויות המשקיות לכל אחת מהחלופות במהלך העשור הקרוב, בדומה למשאיות כבדות.

גרף 10- תחזית עלויות משקיות של משאית במשקל בינוני (ש"ח לשנה)



תוצאות הניתוח למשאיות במשקל בינוני מניבות מסקנות דומות לאלה שעלו עבור משאיות כבדות. בקטגוריית משקל זו, צפוי כי החלופה החשמלית תהיה הכדאית ביותר בטווח הארוך, אולם בטווח הקצר ישנו יתרון קטנטן לחלופת הגט"ד. נקודה זו הגיונית היות והזמינות הטכנולוגית והיכולת לספק טווח נסיעה מספק באמצעות רכב חשמלי מונע מצבר (כמו גם גט"ד) מוגבל יותר במשקלי הרכב הכבדים. מכאן שצפוי כי הקושי הטכנולוגי יביא לעלויות רכישת רכבים כבדים גבוהות יותר באופן יחסי לרכבים חשמליים במשקל פחות. ככל שרכבים חשמליים כבדים כדאיים יותר ביחס לחלופות, אך הגיוני שתוצאה זו תבוא לידי ביטוי גם במשקלי רכבים נמוכים יותר.

במטרה להעריך את התועלת המשקית הכוללת ממעבר לנסועה במשאיות דיזל לנסועה במשאיות חשמליות, בוצעה הערכה של היקף החיסכון הצפוי מהחלפת כלל הרכבים הכבדים והבינוניים במשקל לרכבים חשמליים. לפי תחזית העלויות לטווח הקצר-בינוני, היקף החיסכון השנתי החזוי של משאית חשמלית במשקל כבד ביחס למשאית סולר כבדה הינו כ- 43 אלפי ש"ח בשנה. לעומת זאת, בטווח הבינוני-קצר, החיסכון בחלופת המבוססת גז טבעי במשאיות במשקל כבד לעומת סולר הינו כ-32 אלף ש"ח בשנה. החיסכון החזוי למשאיות בינוניות הינו כ- 25.5 אלפי ש"ח בשנה הן לחלופה החשמלית והן לחלופת הגט"ד.

בהתאם לתחזית העלויות לטווח הבינוני-ארוך, היקף החיסכון השנתי החזוי של משאית חשמלית במשקל כבד ביחס למשאית סולר כבדה הינו כ- 49.5 אלפי ש"ח בשנה. לעומת זאת, החיסכון השנתי החזוי של משאית מבוססת גז טבעי ביחס למשאית סולר כבדה הינו כ-35 אלפי ש"ח בשנה. החיסכון החזוי בטווח הבינוני-ארוך למשאיות בינוניות הינו כ- 27 אלפי ש"ח בשנה לחלופה החשמלית, וכ- 24 אלפי ש"ח בשנה לחלופת גט"ד.

להלן טבלה המסכמת את החיסכון בעלויות לעומת משאית סולר :

משקל	טווח	חשמל	גט"ד	גט"ן
בינוני	קצר-בינוני	25,499	25,582	-
	בינוני-ארוך	27,062	24,074	-
כבד	קצר-בינוני	42,910	30,167	32,626

35,869	34,059	49,582	בינוני-ארוך	
--------	--------	--------	-------------	--

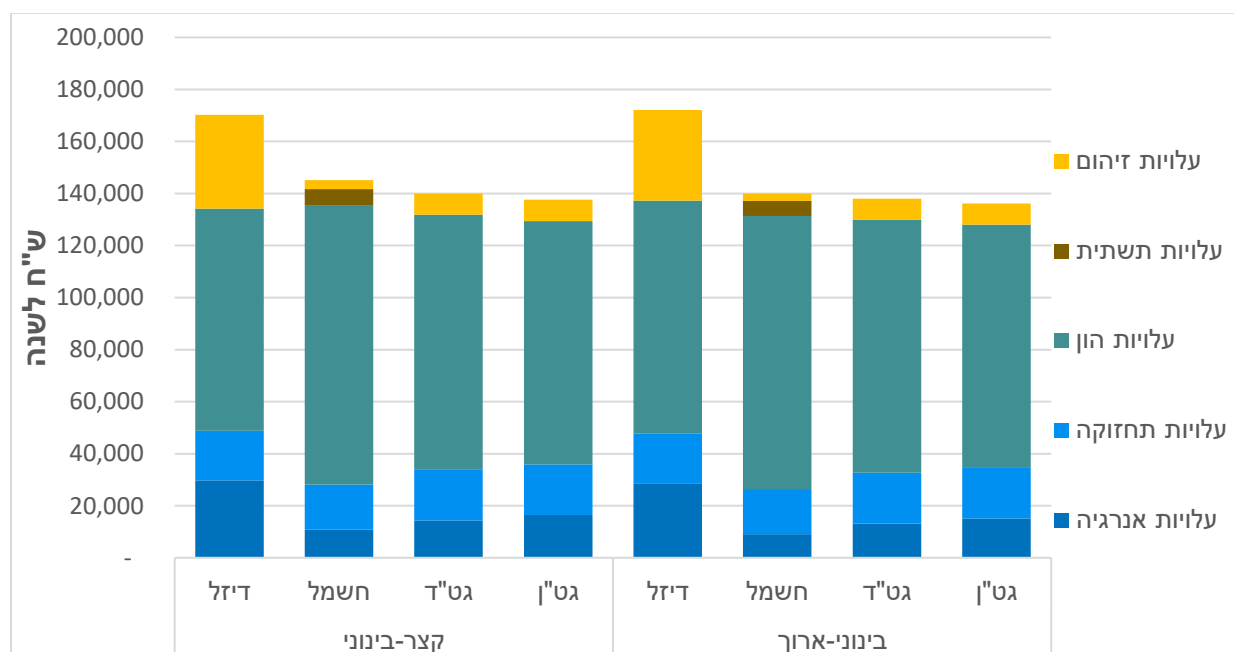
מספר המשאיות במשק נלקחו מפרסומי הלמ"ס¹¹⁰ תוך הנחה שמרנית כי אין שינוי במספר המשאיות על פני התחזיות. לפי הלמ"ס, מספר המשאיות הכבדות (למעלה מ-16 טון) שעלו על הכביש בין השנים 2010-2018 הינו 21,772. באופן דומה מספר המשאיות במשקל בינוני וקל (בין 3.5 ל-16 טון) הינו 52,579.

בהינתן התחזית לטווח הקצר בינוני, החלפת כלל מצבת המשאיות הכבדות והבינוניות במשק למשאיות חשמליות צפויה להניב תועלת משקית של כ- 19 מיליארד ש"ח במונחי ענ"נ לשנת 2020. בהינתן התחזית לטווח הבינוני-ארוך, תועלת זו צפויה לעמוד על כ- 21 מיליארד ש"ח. לעומת זאת, החלפת כלל המשאיות במשק למשאיות גט"ד (המספרים דומים גם עבור שילוב בין גט"ן במשאיות כבדות וגט"ד במשאיות בינוניות) הוא כ-17 מיליארד ש"ח.

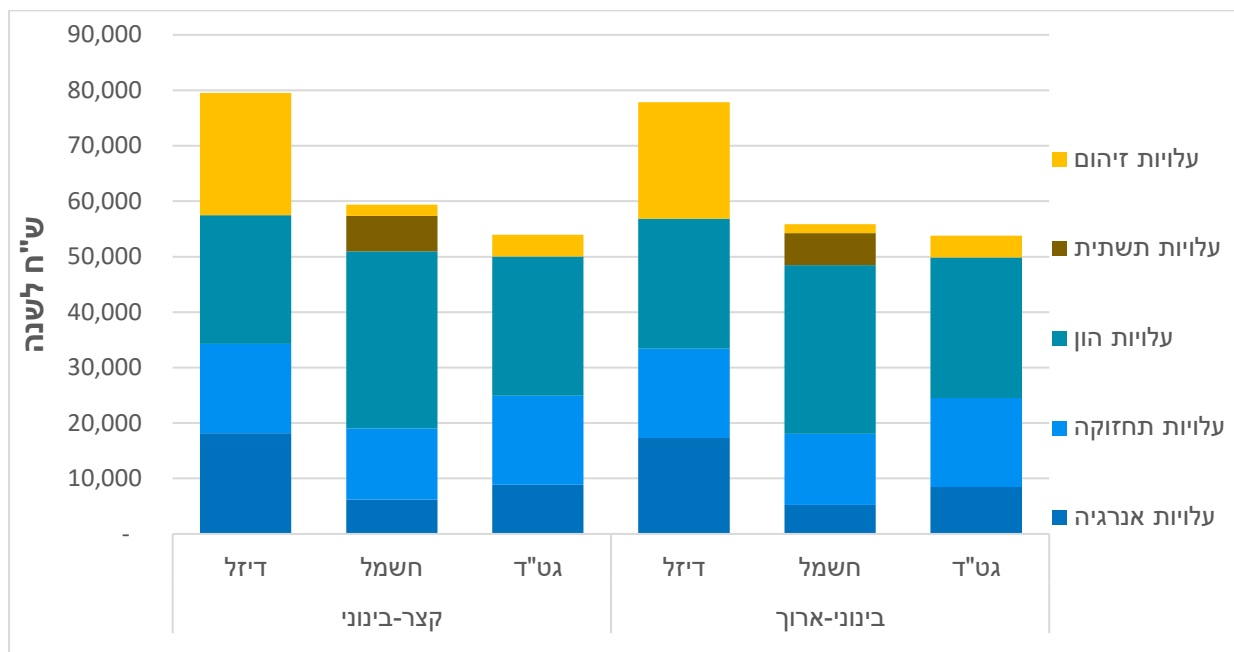
ניתוח רגישות לכדאיות המשקית של החלופות, בהינתן מחירי משאיות חשמליות גבוהים ב-20%

על מנת להעריך את מידת הרגישות של התוצאות לעלויות ההון של משאיות חשמליות, בוצע ניתוח רגישות המניח עלייה של 20% במחירי החלופות החשמליות. הניתוח בוצע עבור משאיות במשקל כבד בלבד שכן מדובר בקטגוריות המשקל בה רמת אי הוודאות בכל הנוגע לזמינות המסחרית וסביבת העלויות, גבוהה יותר. בניתוח זה, עלות ההון של משאית חשמלית כבדה מוערכת בכ- 260 ו-255 אלפי דולר בטווח הקצר-בינוני ובטווח הבינוני-ארוך בהתאמה.

גרף 11 - ניתוח רגישות, מחירי חשמל גבוהים ב-20% עבור משאיות כבדות



¹¹⁰ למ"ס, לוח 19.11 משאיות לפי סוג דלק, משקל כולל ושנת עלייה לכביש



ניתן לראות כי בהינתן ומחירי החלופות החשמליות גבוהים ב-20%, נשמרת הכדאיות הכלכלית כנגד החלופה הקיימת (דיזל), הן בטווח הקצר-בינוני והן בטווח הבינוני-ארוך, אולם חלופות הגז הטבעי זולות במעט מזו החשמלית. עם זאת, מובהקות התוצאות בניתוח זה נמוכה יותר ונשענת באופן גדול יותר על ההבדלים בעלויות החיצוניות מפליטת גזי חממה ומזהמי אוויר.

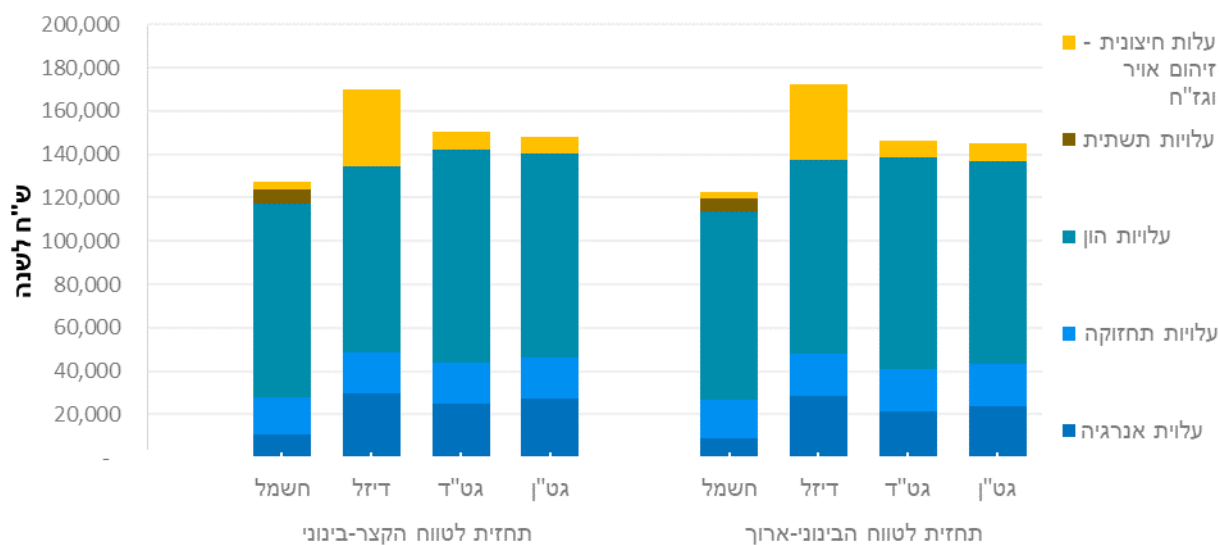
ניתוח רגישות לכדאיות המשקית של החלופות, בהינתן מחירי גט"ד וגט"ן נמוכים

לצורך הערכת ההשפעה של שינויים במחירי גט"ד וגט"ן על עלויות החלופות הנבחנות, בוצע ניתוח רגישות בהינתן סביבת מחירים גבוהה משמעותית. הניתוח מבוסס על ניתוח של המועצה הבינ"ל לתחבורה נקייה והינם כדלהלן¹¹¹ (מחירים אלה משקפים עלות יחידת גז מיובאת):

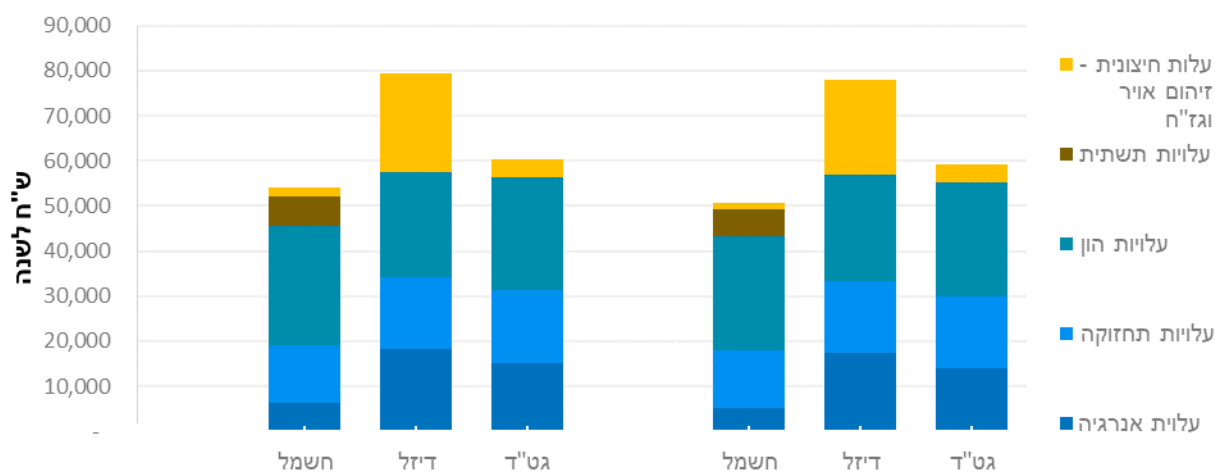
טכנולוגיה	יחידה	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
גט"ד	דולר ל- MMBTU	13.94	13.44
גט"ן	דולר ל- MMBTU	15.1	14.57

להלן תוצאות ניתוח הרגישות, ראשית עבור משאיות כבדות ולאחר מכן עבור משאיות במשקל בינוני:

¹¹¹ <https://theicct.org/publications/transitioning-zero-emission-heavy-duty-freight-vehicles>. מחירי אירופה

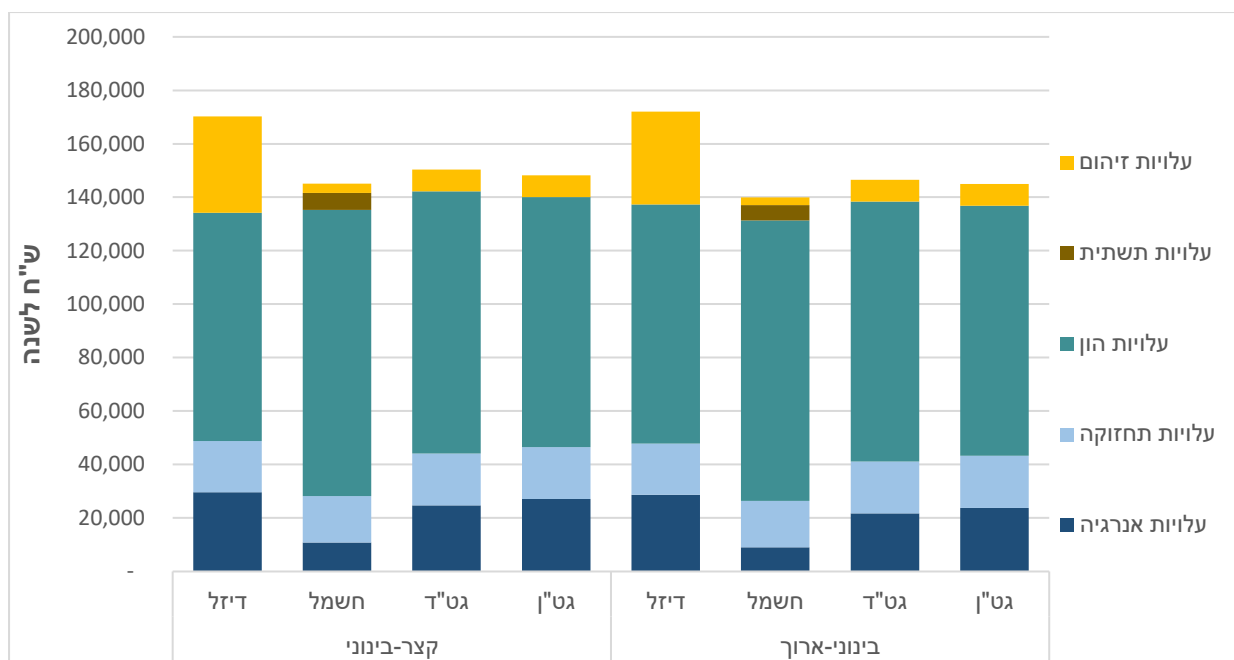


גרף 14 - ניתוח רגישות, מחירי גט"ד וגט"ן גבוהים עבור משאיות במשקל בינוני



להלן ניתוח רגישות המציג גם הוא מחירי גז טבעי גבוהים, בהתאם למתואר לעיל, ובמקביל עלויות חשמל הגבוהות ב- 20%:

גרף 15 - ניתוח רגישות, מחירי גט"ד וגט"ן גבוהים וכן מחיר משאיות חשמליות גבוה, עבור משאיות כבדות

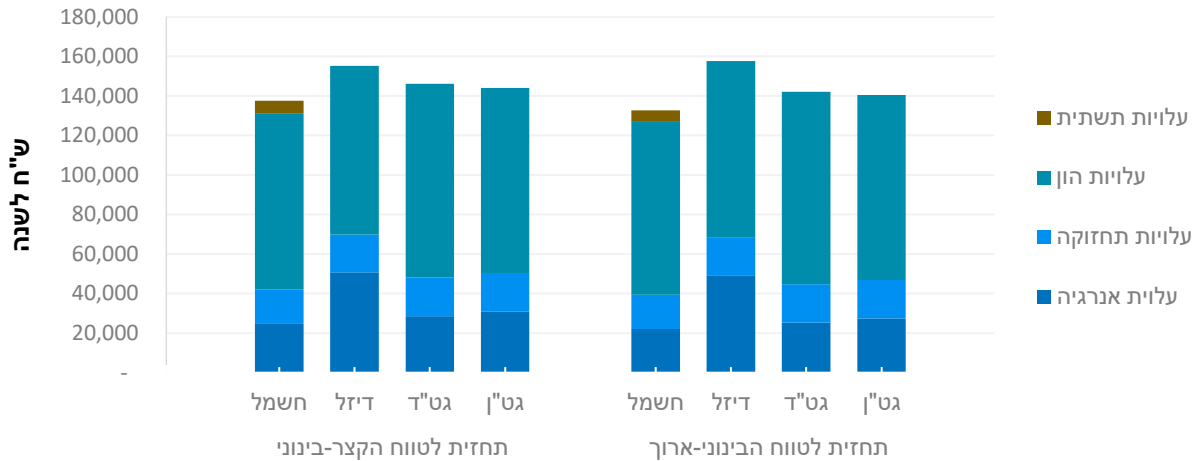


מניתוח הרגישות ניתן לראות כי **בסביבת מחירי גט"ד וגט"ן גבוהים משמעותית, העלות השנתית של החלופה החשמלית צפויה להיות הנמוכה ביותר** בטווח הקצר-בינוני והבינוני-ארוך, בפער גדול למדי מחלופות הגז הטבעי. בתרחיש שבו הן מחירי החלופה החשמלית יקרים יותר והן מחירי הגז גבוהים יותר, הפער מצטמצם והחלופה החשמלית זולה רק במעט מהחלופות של הגז הטבעי.

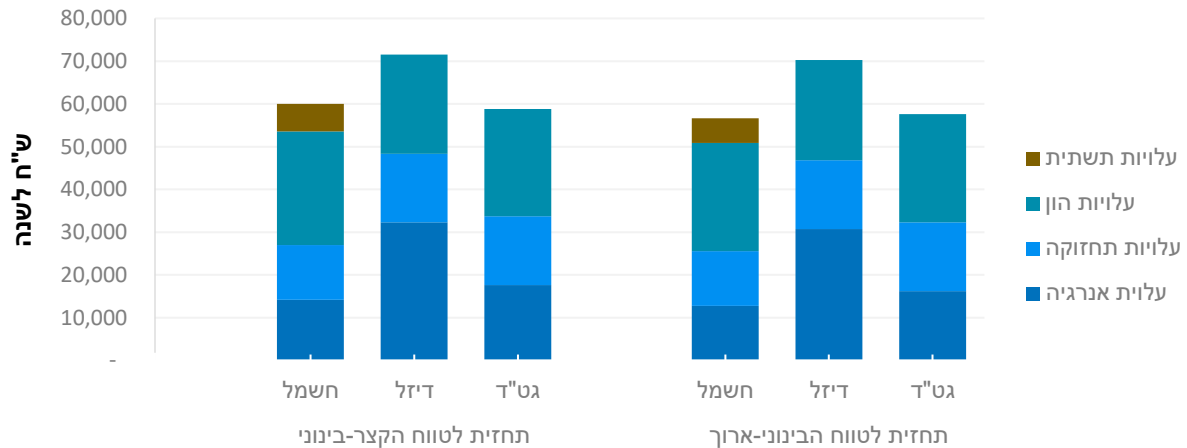
השוואת החלופות מנקודת המבט של הצרכן

כפי שהוסבר לעיל, בנייתו העלות השנתית לצרכן (בעל משאית) נכללים שלושה מרכיבים: עלויות ההון, עלויות תחזוקה והוצאות על אנרגיה. כאמור, הונח כי עבור משאיות חשמליות עלות התשתית מושתתת גם על הצרכן וזאת במטרה לשקף את הצפי למחירי חשמל גבוהים יותר בתחנות הטעינה, ביחס לתעריף החשמל כיום (או לחלופין את הצורך בהקמת עמדות טעינה איטית פרטיות). גרף 16 וגרף 17 מציגים את תוצאות הניתוח לבעל משאית כבדה ומשאית במשקל בינוני.

גרף 16 - תחזית עלויות לצרכן - משאית כבדה (ש"ח לשנה)



גרף 17 - תחזית עלויות לצרכן - משאית בינונית (ש"ח לשנה)



בדומה לתוצאות המשקיות, גם עבור הצרכן, עלויות רכישת הרכב מהוות חלק ניכר בהוצאות השנתיות. עם זאת, היות ומחירי האנרגיה עבור הצרכן גבוהים יותר מהעלויות למשק, גדל החלק היחסי של רכיב זה מתוך סך העלות. עלויות התחזוקה זהות בין שני הניתוחים.

כבר בטווח הבינוני-קצר, העלות השנתית של רכבי דיזל הינה הגבוהה ביותר ביחס לחלופות. זאת, בעיקר כתוצאה מהוצאה שנתית גבוהה על אנרגיה, הנובעת מיעילות פחותה של הרכב ומחיר דלק גבוה. נתון זה גדל עם השנים, כיוון שבניגוד לחלופות, הניתוח צופה עלייה במחירי רכבים מבוססי סולר על פני תקופת התחזית.

עוד ניתן לראות כי בטווח הקצר-בינוני העלות הכוללת של משאיות חשמליות במשקל כבד הינה הנמוכה ביותר. עבור משאיות במשקל בינוני, גט"ד הינה החלופה הזולה ביותר. בטווח הבינוני-ארוך, ניתן לראות כי החלופה החשמלית הינה הכדאית ביותר עבור שתי קטגוריות המשקל.

בנוסף, העלות השנתית המוערכת של משאיות גט"ד וגט"ן כבדות דומה לכל אורך התחזית. בעוד שמחיר גט"ן מעט גבוה יותר, עלות ההון של רכב גט"ן מעט נמוכה יותר ולכן לא ניכרים הבדלים בולטים בעלות הבעלות הכוללת. עבור משאיות במשקל בינוני, כאמור, הזמינות המסחרית של רכבים בינוניים וקלים מבוססי גט"ן נמוכה מאוד ועל כן נבחנו משאיות כבדות מבוססות גט"ד בלבד.

הניתוח לעיל הניח שיעורי בלו ושיעורי הישבון על סולר כמפורט לעיל בעוד חשמל איננו ממוסה ישירות והגז הטבעי לייצור חשמל ולתחבורה ממוסה ברמת החברות המפיקות והמכירות. יחד עם זאת, יש להניח שהמעבר לרכב חשמלי ורכב מונע בגז ילווה בהטלת מיסוי על הרכב והנסועה (לא בהכרח באמצעות מיסוי ישיר על החשמל) באופן שסך תקבולי המסים מענף הרכב לא ישתנה. לפיכך יש להניח שהעלות השנתית לצרכן בעל משאית חשמלית או כזו המונעת בגט"ד או גט"ן תעלה ותתקרב לעלות משאית מונעת סולר.

מסקנות והמלצות

להלן מסקנות והמלצות עיקריות הנגזרות מניתוח זה:

- העלות השנתית הכוללת של משאיות כבדות ומשאיות במשקל בינוני מבוססות דיזל הינה הגבוהה ביותר ביחס לכלל החלופות שנבחנו. מכאן, **שקיים צורך ממשי במציאת חלופה למצב הקיים**.
- בבחינת החלופות למשאיות כבדות קונבנציונליות, **כיום משאיות גט"ד וגט"ן זמינות מסחרית**. בכל הנוגע לחלופות מאופסות פליטה (מאגוז הרכב), משאיות חשמליות מונעות מצבר נמצאות בשלבי פיתוח וזמינות מסחרית לקטגוריות המשקל הנמוכות יותר. משאיות מבוססות מימן נמצאות בשלבי פיתוח ראשוניים, אך זמינותן המסחרית נמוכה וקיימת אי וודאות רבה בנוגע לעלויות הנלוות לייצור, אחסון ושינוע מימן.
- שווקים מרכזיים בעולם פועלים לקידום ופיתוח טכנולוגיות מאופסות פליטה, בין היתר כדי לעמוד בהסכמים סביבתיים בינ"ל ולהביא להפחתה ואף איפוס פליטות גז"ח. מגמה זו צפויה להשפיע על התחבורה העולמית ועל ענף ייצור הרכב. כמשק קטן, ענף התחבורה בישראל צפוי להיות מושפע ממגמות אלה.
- **העלות הכוללת של רכבים חשמליים צפויה להיות הנמוכה ביותר הן למשק והן לצרכן**, ברוב תנאי משקל המשאיות והטווח שנבחנו. אולם, **הפער בין מחיר הרכבים החשמליים והרכבים מונעי הגז הטבעי היה קטן למדי**.
- לשם המחשה, התועלת המשקית הצפויה מהחלפה של כלל רכבי הדיזל הקיימים ברכבים חשמליים, מוערכת בכ-20 מיליארד שקלים במונחי עניי לשנת 2020. לעומת זאת, התועלת המשקית הצפויה מהחלפת הרכבים מדיזל לרכבים מונעי גז טבעי, מוערכת בכ-17 מיליארד שקלים.
- ישנה אי-ודאות בנוגע למחיר העתידי של הרכבים החשמליים. **בהינתן מחירי רכבים חשמליים גבוהים יותר, חלופות הגט"ן והגט"ד זולות במעט מהחלופה החשמלית**, לשתי קטגוריות המשקל שנבחנו.
- לא נמצא הבדל מובהק בין העלויות השנתיות של החלופות מבוססות גז טבעי - גט"ד וגט"ן. עם זאת, לגט"ן חסרונות בהשוואה לגט"ד: זמינותו המסחרית של גט"ן מוגבלת לרכבים כבדים הנוסעים באופן תדיר בלבד, כתוצאה מתהליך רתיחת הגז המתרחש תוך מספר ימים לאחר מילוי המיכל. לעובדה זו שיקול בבחינת ההחלטה על השקעה תשתיתית נרחבת. שנית, הנזלת הגז כרוכה בעלויות גבוהות. להשקעה תשתיתית רחבה הנדרשת לביצוע בטווח הקצר משמעות כלכלית בהשוואה להשקעה תשתיתית הנפרסת באופן הדרגתי עם חדירת הטכנולוגיה (בדומה לחשמל וגט"ד).
- משרד האנרגיה קבע יעדים להחלפה מאסיבית של כלי הרכב הקלים בישראל ומספר קטגוריות רכבים כבדים (כמו אוטובוסים עירוניים) בכלי רכב חשמליים במהלך העשור הקרוב. המהלך דורש תכנון והשקעה נרחבת בתשתית טעינה חשמלית ובעלויות גבוהות. **נכון יהיה להשקיע בהרחבת התשתית המתוכננת באופן שיתאים גם לרכבים כבדים** ולהימנע מהשקעה בתשתית נוספת נפרדת. פרט לעלויות הישירות, לרכבים חשמליים מספר יתרונות בולטים נוספים: לרכב חשמלי אין פליטות מזהמי אוויר בקצה הצינור, מכאן עלויות סביבתיות ובריאותיות מופחתות; לרכב חשמלי מספר יתרונות בכל הנוגע לבטיחות הרכב ותחנת הטעינה ביחס לרכב מבוסס דלק ותחנת תדלוק; בשל היותו טכנולוגיה חדשה יחסית, כמו גם ההשקעה העולמית במחקר ופיתוח, לרכב חשמלי פוטנציאל שיפור טכנולוגי גבוה ביחס לחלופות.
- תחת הנחות הבסיס, **חלופת משאיות חשמליים הינה העדיפה ביותר מבחינת העלויות למשק**. אולם, שינוי בהנחות הבסיס לגבי מחיר הרכבים החשמליים, פרמטר סביבו ישנה אי-ודאות גבוהה בהשוואה לחלופת הרכבים מונעי הגז הטבעי שקיימים שנים רבות בשוק, **מביא לכך כי חלופת המשאיות המונעות בגז טבעי עדיפה**.

Table A1. Announced or in-production battery electric medium- and heavy-duty trucks

Make	Model	Range (miles)	Battery capacity (kWh)	Vehicle class	First demonstration	Start of regular production
Eforce	EF18 SZM	310	630	8 (Tractor-trailer)	2016	2017
Eforce	EV26	310	630	8 (Straight truck)	2016	2017
Thor	ET-One	300	800	8 (Tractor-trailer)		2019
Volvo	FL Electric	186	300	7		2019
BYD	Day Cab	167	435	8 (Tractor-trailer)		2018
emoss	EMS 18 Series	155	240	8 (Straight truck)	2017	2018
emoss	EMS 16 Series	130	200	8	2015	2018
emoss	EMS 12 Series	124	200	7	2013	2018
BYD	Class 6 Truck	124	221	6		2018
Cummins	AEOS	100	140	7	2018	2019
emoss	EMS 10 Series	93	120	6	2014	2018
Mitsubishi FUSO	eCanter	62	83	4	2017	2019
Tevva	eTruck	93	75	4-6		2018
Tesla	Semi	550	1000	8 (Tractor-trailer)	2018	2020
Nikola	Two	400	1000	8 (Tractor-trailer)	2019	
Freightliner	eCascadia	250	550	8 (Tractor-trailer)	2018	2021
Lion	Lion8	250	480	8	2018	2020
Freightliner	eM2 106	230	325	5	2018	2021
Mercedes-Benz	eActros	125	240	7-8 (Straight truck)	2018	2021
MAN	eTGM	124	150	7-8 (Straight truck)	2018	
Volvo	VNR	124	300	8	2019	2020
Volkswagen	e-Delivery	124	200	4	2018	2020
Peterbilt	e220	100	148	6	2019	
Xos	MDV	50	60	6	2018	2020
Eforce	EF18 SZM	310	630	8 (Tractor-trailer)	2016	2017
Eforce	EV26	310	630	8 (Straight truck)	2016	2017
Thor	ET-One	300	800	8 (Tractor-trailer)		2019
Volvo	FL Electric	186	300	7		2019
Volkswagen	e-Delivery	124	200	4	2018	2020
Peterbilt	e220	100	148	6	2019	
Xos	MDV	50	60	6	2018	2020

Class One: 6,000 lbs. or less



Class Two: 6,001 to 10,000 lbs.



Class Three: 10,001 to 14,000 lbs.



Class Four: 14,001 to 16,000 lbs.



Class Five: 16,001 to 19,500 lbs.



Class Six: 19,501 to 26,000 lbs.

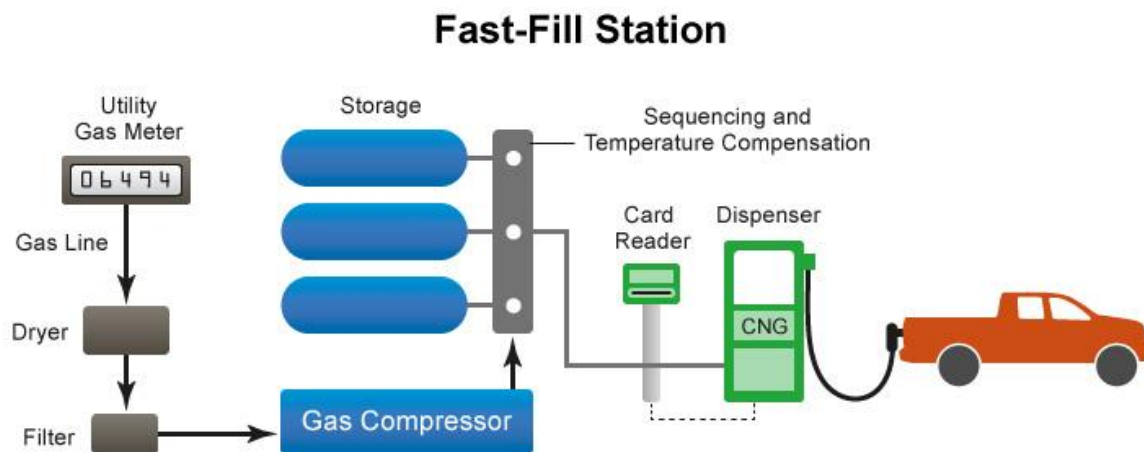


Class Seven: 26,001 to 33,000 lbs.

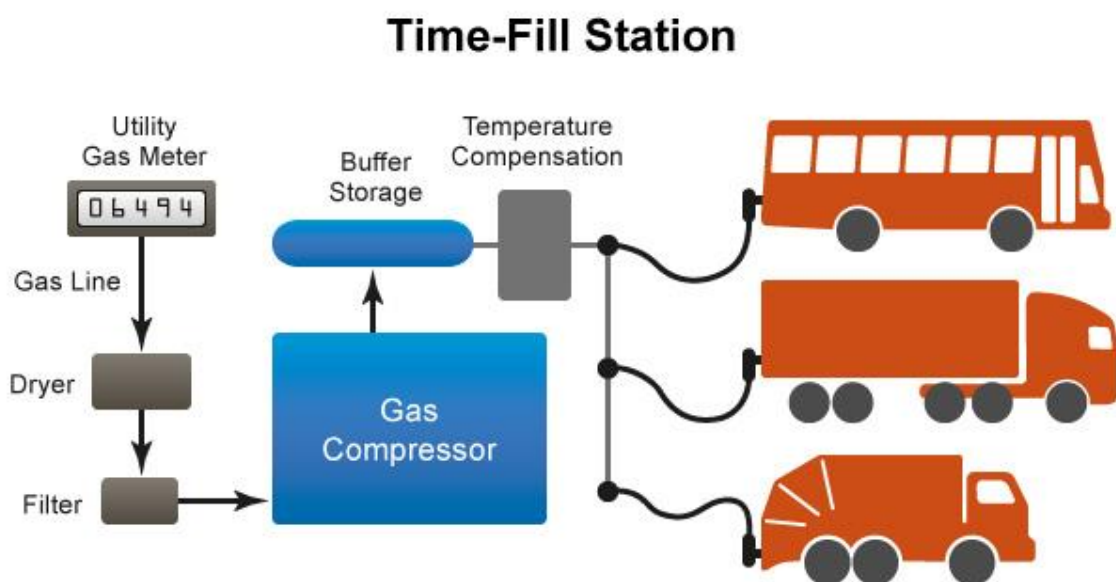


Class Eight: 33,001 lbs. & over

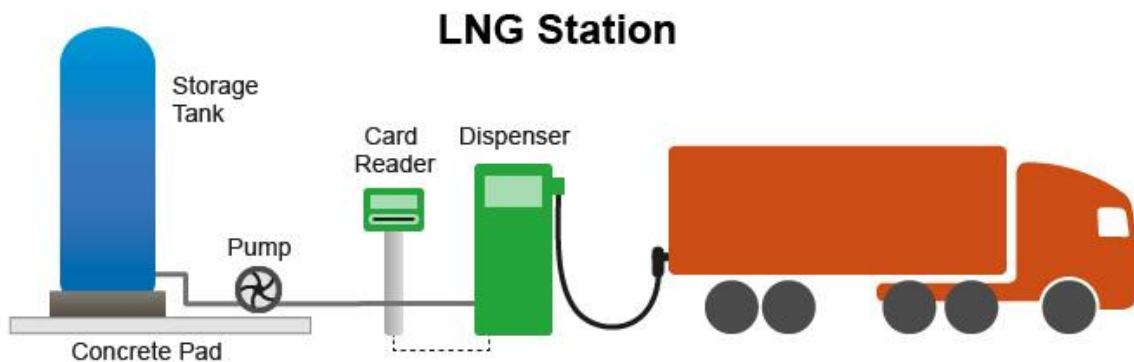




תרשים 5 – דוגמא לתחנת תדלוק גטי"ד איטית (Time-Fill)¹¹⁵



תרשים 6- דוגמא לתחנת תדלוק גטי"ד איטית¹¹⁶



¹¹⁴ https://afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_cng_stations.html#fastfill
¹¹⁵ https://afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_cng_stations.html#timefill
¹¹⁶ https://afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_infrastructure.html

תוצאות ניתוח לצרכן - עלויות שנתיות עבור משאית במשקל כבד

טבלה 11 - משאית דיזל (שי"ח לשנה)

רכיב	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
עלויות אנרגיה	50,749	49,028
עלויות תחזוקה	19,143	19,143
עלויות הון	85,344	89,447
עלויות תשתית	-	-
עלות שנתית	155,236	157,617

טבלה 12 - משאית חשמלית (שי"ח לשנה)

רכיב	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
עלויות אנרגיה	24,606	22,128
עלויות תחזוקה	17,358	17,358
עלויות הון	89,242	87,395
עלויות תשתית	6,409	5,783
עלות שנתית	137,614	132,665

טבלה 13 - משאית גטי"ד (שי"ח לשנה)

רכיב	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
עלויות אנרגיה	18,960	17,501
עלויות תחזוקה	19,467	19,467
עלויות הון	98,063	97,243
עלויות תשתית	-	-
עלות שנתית	136,490	134,211

טבלה 14 - משאית גטי"ן (שי"ח לשנה)

רכיב	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
עלויות אנרגיה	21,067	19,446
עלויות תחזוקה	19,467	19,467
עלויות הון	93,550	93,550
עלויות תשתית	-	-
עלות שנתית	134,084	132,463

תוצאות ניתוח לצרכן - עלויות שנתיות עבור משאית בודדת במשקל בינוני

טבלה 15 - משאית דיזל (שי"ח לשנה)

רכיב	טווח קצר- בינוני	טווח בינוני- ארוך
עלויות אנרגיה	32,264	30,718
עלויות תחזוקה	16,091	16,091
עלויות הון	23,184	23,449
עלויות תשתית	-	-
עלות שנתית	71,538	70,258

טבלה 16 - משאית חשמלית (שי"ח לשנה)

רכיב	טווח קצר- בינוני	טווח בינוני- ארוך
עלויות אנרגיה	14,160	12,735
עלויות תחזוקה	12,797	12,797
עלויות הון	26,611	25,348
עלויות תשתית	6,409	5,783
עלות שנתית	59,977	56,662

טבלה 17 - משאית גטי"ד (שי"ח לשנה)

רכיב	טווח קצר- בינוני	טווח בינוני- ארוך
עלויות אנרגיה	14,824	13,684
עלויות תחזוקה	16,091	16,091
עלויות הון	25,071	25,316
עלויות תשתית	-	-
עלות שנתית	55,986	55,091

תוצאות ניתוח למשק - עלויות שנתיות עבור משאית בודדת במשקל כבד

טבלה 18 - משאית דיזל (ש"ח לשנה)

טווח בינוני-ארוך	טווח קצר-בינוני	רכיב
28,690	29,697	עלויות אנרגיה
19,143	19,143	עלויות תחזוקה
89,447	85,344	עלויות הון
-	-	עלויות תשתית
34,801	36,023	עלות חיצונית - זיהום אויר וגז"ח
172,081	170,207	עלות שנתית

טבלה 19 - משאית חשמלית (ש"ח לשנה)

טווח בינוני-ארוך	טווח קצר-בינוני	רכיב
9,094	10,815	עלויות אנרגיה
17,358	17,358	עלויות תחזוקה
87,395	89,242	עלויות הון
5,783	6,409	עלויות תשתית
2,869	3,473	עלות חיצונית - זיהום אויר וגז"ח
122,500	127,297	עלות שנתית

טבלה 20 - משאית גטי"ד (ש"ח לשנה)

טווח בינוני-ארוך	טווח קצר-בינוני	רכיב
13,179	14,377	עלויות אנרגיה
19,467	19,467	עלויות תחזוקה
97,243	98,063	עלויות הון
-	-	עלויות תשתית
8,133	8,133	עלות חיצונית - זיהום אויר וגז"ח
138,022	140,040	עלות שנתית

טבלה 21 - משאית גטי"ן (ש"ח לשנה)

טווח בינוני-ארוך	טווח קצר-בינוני	רכיב
15,062	16,431	עלויות אנרגיה
19,467	19,467	עלויות תחזוקה
93,550	93,550	עלויות הון
-	-	עלויות תשתית
8,133	8,133	עלות חיצונית - זיהום אויר וגז"ח
136,212	137,581	עלות שנתית

תוצאות ניתוח למשק - עלויות שנתיות עבור משאית בודדת במשקל בינוני - 4-16.5 טון

טבלה 22 - משאית דיזל (ש"ח לשנה)

רכיב	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
עלויות אנרגיה	18,194	17,322
עלויות תחזוקה	16,091	16,091
עלויות הון	23,184	23,449
עלויות תשתית	-	-
עלות חיצונית - זיהום אויר וגז"ח	22,070	21,012
עלות שנתית	79,538	77,874

טבלה 23 - משאית חשמלית (ש"ח לשנה)

רכיב	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
עלויות אנרגיה	6,224	5,233
עלויות תחזוקה	12,797	12,797
עלויות הון	26,611	25,348
עלויות תשתית	6,409	5,783
עלות חיצונית - זיהום אויר וגז"ח	1,999	1,651
עלות שנתית	54,039	50,812

טבלה 24 - משאית גטי"ד (ש"ח לשנה)

רכיב	טווח קצר-בינוני	טווח בינוני-ארוך
עלויות אנרגיה	8,854	8,452
עלויות תחזוקה	16,091	16,091
עלויות הון	25,071	25,316
עלויות תשתית	-	-
עלות חיצונית - זיהום אויר וגז"ח	3,941	3,941
עלות שנתית	53,957	53,800

מחקרים נוספים בעניין פליטות מזהמי אוויר וגזי חממה - גט"ן מול סולר

הדעה הרווחת כיום גורסת כי הנעת רכבים כבדים בגז טבעי תורמת להפחתת פליטות גזי חממה ומזהמי אוויר ביחס לרכבים כבדים המונעים בסולר. עם זאת, בשנים האחרונות מתפרסמים מחקרים המערערים סברה זו. בחלק זה יוצגו שני מחקרים העוסקים בסוגיה זו, האחד בוצע על ידי הפאנל הבינלאומי לתחבורה נקייה (ICCT) בשיתוף Öko-Institut (ארגון סביבתי ללא מטרת רווח הפועל בגרמניה), ומחקר נוסף שבוצע עבור ממשלת הולנד ונעשה על ידי ארגון TNO (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research), ארגון ללא מטרת רווח שנועד לסייע במחקר ויישום טכנולוגיות בהולנד. מחקרים אלו משווים בין שימוש בגז טבעי מונזל (LNG) לדיזל, עבור רכבי נסועה כבדה. המחקרים אינם דנים בגז טבעי דחוס (CNG).

117 Do gas truck reduce emission 2019

בשנת 2019 ביצע ארגון TNO עבור ממשלת הולנד מחקר ובו נוטרו והשוו גזים הנפלטם ישירות מהאגוז (On-road tests) של מספר כלי רכב השייכים לצי הרכב הכבד ומונעים על ידי גז טבעי או דיזל. במחקר זה כל המשאיות נבדקו תחת תנאים זהים, לרבות: מסלול הנסיעה (כלי הרכב נבדקו בדרכים עירוניות, כפריות ובכביש המהיר), עומסי נסיעה (המחקר בוצע עבור שני מטענים במשקלים שונים). כמו כן, פליטות המזהמים נמדדו מהאגוז באמצעות מערכת מדידת פליטות ניידת (PEMS).

להלן דגמי משאיות גז טבעי שנבדקו במחקר:

○ Volvo Euro VI step C long-haul LNG truck, תוצרת 2018 ועובדת בטכנולוגיית (HPDI) ¹¹⁸

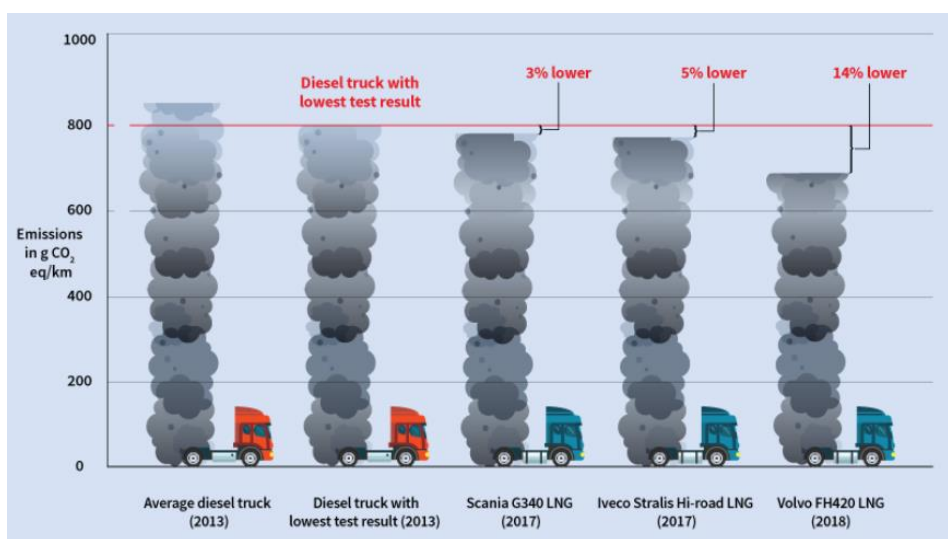
○ Iveco Stralis Hi-road Euro VI 400hp, תוצרת 2017 ועובדת בטכנולוגיית SI ¹¹⁹

○ Scania G340 Euro VI 340hp, תוצרת 2017 ועובדת בטכנולוגיית SI

מנגד, נוטרו משאיות דיזל העומדות בתקן יורו 6 (first generation Euro VI Step A engines) בעלות מנועים שיוצרו בשנת 2013.

תוצאות המחקר מראות כי לשימוש בגז טבעי אין תרומה סביבתית מובהקת בכל הנוגע להפחתת פליטות גז"ח, כפי שניתן לראות בגרף 11. מעבר לכך, נמצא כי פליטות מזהמים מסוג NOx גבוהות בהרבה (פי 2 עד פי 5) לעומת דיזל ופליטות החלקיקים (PM) בגז טבעי דומות לחלופות הדיזל.

גרף 11 פליטות CO₂ דיזל עפ"י ארגון TNO - גז טבעי אל מול דיזל



<https://www.transportenvironment.org/publications/do-gas-trucks-reduce-emissions> ¹¹⁷

High Pressure Direct Injection ¹¹⁸

Spark Ignition ¹¹⁹

Decarbonization of on-road freight transport and the role of LNG from a German perspective, 2020 ¹²⁰

במאי 2020 ערך ארגון ICCT בשיתוף Öko-Institut מחקר בו נותחו פליטות גזי חממה לאורך מחזור החיים (Well-to-Wheel) של גז טבעי מונוזל ודיזל, בעבור טכנולוגיות ואיכויות דלקים שונות בצי הרכב הכבד. פליטות גזי חממה הנפליטים מאגוזו הרכב (TTW- Tank to Wheel) גובשו על בסיס תוצאות מחקרים ועבודות קודמות שפורסמו בנושא. פליטות WTT (Well to Tank) במחקר זה כוללות: תהליכי הפקה, עיבוד, ניזול, שינוע והפצה ומתבססות גם כן על עבודות ומחקרים קודמים בנושא.

יש לציין כי ערכי הפליטה משלב הבאר למיכל הרכב (WTT) שנלקחו במחקר זה כוללים גם הפקת גז טבעי בשיטות לא קונבנציונליות (כגון: "פראקינג" Fracturing ופצלי גז - Shale Gas) הפולטות לסביבה כמות מתאן גבוהה באופן משמעותי. כמו כן, מרחקי השינוע והובלת הגז מותאמים לשטחה של גרמניה.

מאחר ובישראל טכנולוגיות הפקת גז טבעי בשיטות לא קונבנציונליות אינן נפוצות ובנוסף מרחקי השינוע והובלת הגז קטנים יותר, ניתן להניח כי ערכי הפליטה מהבאר למיכל הרכב (WTT) בישראל יהיו נמוכים מאלה שנאמדו במחקר זה. להלן טבלה המסכמת את ממצאי המחקר בדבר הפחתת פליטות גזי חממה הנגרמות מהנעת רכבים כבדים בגז טבעי מונוזל בהשוואה לדיזל, עבור טכנולוגיות שונות:

טבלה 25 פליטות גזי חממה עבור יישום טכנולוגיות שונות בגז טבעי, ביחס לדיזל

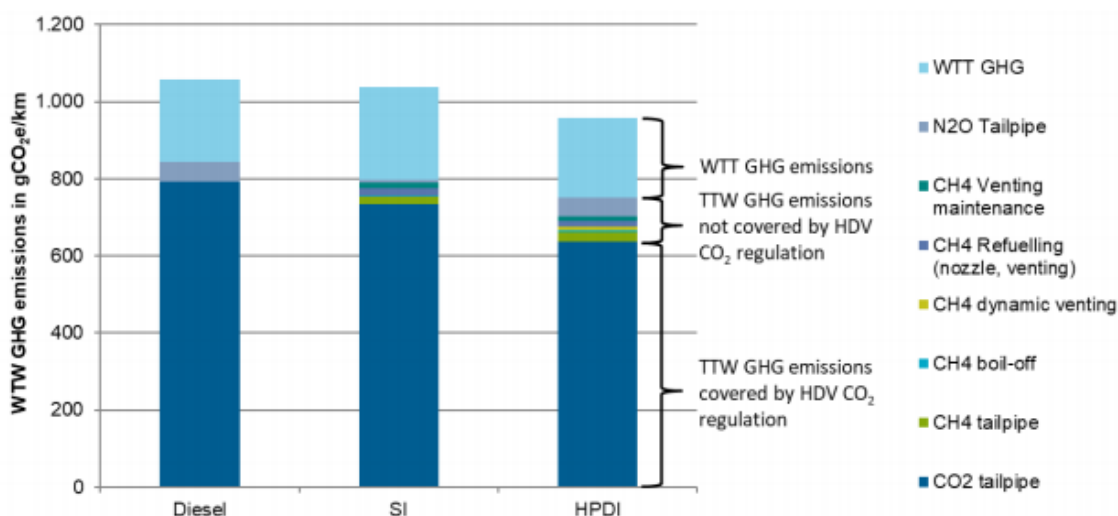
HPDI	SI	בערה במנוע (Tank-to-Wheel)
-17% עד -20%	-4.9%	
-7% עד -9%	-2% עד +1%	סה"כ (Well-to-Wheel)

לפי מחקר זה, שימוש ברכבים הפועלים בטכנולוגיית SI בגז טבעי לא מוביל להפחתה משמעותית בפליטת גזי חממה. מנגד שימוש בטכנולוגיית HPDI אמנם מפחית את שיעור גזי החממה אך לא בשיעור גבוה כפי שנהוג לחשוב.

כמו כן, ניתן לראות כי שיעור ההפחתה הכולל בגזי חממה לאורך כל מחזור החיים (WTW) של הגז הטבעי להנעת משאית, נמוך משיעור ההפחתה מאגוזו הרכב בלבד (TTW). כלומר שתהליך ההפקה, ניזול ושינוע הגז הטבעי (WTT) מהווה מרכיב משמעותי בהשוואה זו.

להלן גרף הממחיש את ההבדלים בפליטת גזי חממה לעומת דיזל, עבור שלבים שונים במחזור החיים של הדלקים והטכנולוגיות השונות:

גרף 12 פליטות CO2 - גז טבעי ודיזל



ניתן לראות כי פליטות TTW (ממיכל הרכב להנעתו) נמוכות עבור משאיות גז"ן ביחס למשאיות דיזל. עם זאת, לפי מחקר זה, פליטות ה-WTW (מהבאר להנעת הרכב) ובפרט בטכנולוגית SI אינן נמוכות באופן משמעותי. מחקרים אלו מציעים מספר סיבות לתוצאות אלה:

1. אף על פי שלפי המחקרים רכבים כבדים מייצרים פחות פליטות גז"ח מהאגוז בהשוואה לדיזל, הם מייצרים פליטות גז"ח בלתי מבוטלות הנגרמות בשלבי ההפקה, ההובלה והשינוע. במקרים מסוימים מדובר בפליטות ישירות של מתאן שהשפעתו כגז חממה גבוהה בהרבה מזו של CO₂.
2. רגולציה ותקינה מחמירה על פליטות מזהמים ברכבי דיזל הביאה להתפתחויות טכנולוגיות במערכות בקרת הפליטות. לעומת זאת, רכבים המונעים בגז טבעי לעיתים מחויבים ברגולציה פחותה.
3. בהסתכלות לאורך חיי הגז הטבעי, תהליך הנזלת הגז כרוך בצריכת אנרגיה רבה וכפועל יוצא גורם לפליטות לאוויר.

לסיכום, מחקרים אלה סוברים כי לשימוש בגז טבעי בצי הרכב הכבד אין תרומה סביבתית מובהקת בכל הנוגע להפחתת פליטות גז"ח ומזהמי אוויר. עם זאת, מדובר במחקרים חדשים יחסית ועל כן יש צורך באישוש מסקנותיהם ע"י מחקרים נוספים שעתידיים לבוא בנושא.

מעבר לכך, ממצאים אלה אינם פועלים בסתירה למסקנות עבודה זו (כפי שיובאו בהמשך), שכן עבודה זו אינה בהכרח ממליצה על משאיות מבוססות גז כחלופה המתאימה ביותר. אחת התובנות העולות במסגרת עבודה זו היא שהתחבורה העולמית נעה בכיוון טכנולוגיות מאופסות פליטה (מאגוז הרכב), אלה לא כוללות הנעה בגז טבעי.