



אגף תכנון כלכלי אגף מטענים ומל"ח

**הובלת
מטענים**
תכנית אב

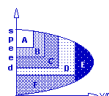
גל תכנון וניהול מערכות אורבניות
מתת - מרכז תכנון תחבורה בע"מ
TNO

תכנית אב למטענים

הובלת מטענים ברכבת

עלויות ותחומי יתרונות למשק ביחס למשאיות

אפריל 2016





אגף תכנון כלכלי אגף מטענים ומל"ח

20.4.16

תכנית אב למטענים

הובלת מטענים ברכבת – עלויות ותחומי יתרונות למשק ביחס למשאיות

תכנית האב למטענים נערכת במטרה להבטיח כושר הובלת מטענים פנימי בישראל מספיק לטווח הארוך, וניהול ההובלה בדרך יעילה ובטוחה, הכרוכה בעלויות כוללות מינימליות.

מוערך שכיום רק כ 5.5% מהובלות המטענים בארץ (במונחי טון-ק"מ) נעשה ברכבת, בעוד חלקן של המשאיות מתקרב ל 90% (השאר משונע בצנרת הדלקים). הרכבת מובילה סוגי מטען המותאמים לה ולאורך מרחק ממוצע של יותר מ 150 ק"מ. אין זה, כמובן, מרחק אופייני להובלות מטענים בארץ.

בקהלייה האירופית חלקן של הרכבות בהובלה הוא בממוצע כ 18%. במימדיה של ישראל וברשת המסילות הנוכחית שלה לא ניתן להגיע לשיעור זה. עם זאת, יש מקום לסייע לרכבת להגדיל את חלקה הנוכחי בסוגי הובלות המתאימים לה, ובהתחשב בתועלת האפשרית מכך למשק. בטווח היותר רחוק יש מקום לפתח את רשת המסילות באופן שיאפשר לרכבת להרחיב את פעילותה בתחום המטענים לגבולות יתרונה היחסי בנושא.

לצורך התווית מדיניות זו נדרש מידע ויש צורך בניתוח עלויות ההובלה של שני אמצעי ההובלה העיקריים של המטענים: הרכבת והמשאיות. מעבר לעלויות התשתית (המשמשות גם את תנועת הנוסעים במסילות ובכבישים) יש עלויות ישירות וגלויות בהובלת מטענים, המתבטאות בעלויות ציוד ותפעול, עלויות שכר ודלק וכו'. חלק מהעלויות הן חיצוניות, אינן מתומחרות, אך יש להביאן בחשבון כשעורכים השוואות משקיות. עלויות אלו נובעות בעיקרן מתנועת משאיות ומתבטאות בבילאי תשתית הכבישים, בזיהום אוויר, בנזקי תאונות שאינם מכוסים בביטוחי הרכב, ובעיקר בתרומה לגודש בדרכים ותוצאותיו. בדו"ח המצורף מוצגת השוואה כוללת כזו.

הדו"ח הוכן ע"י אסף חזות ויהושע כהן מחברת מתת. אנו מודים לאנשי אגף הכלכלה ברכבת על הסיוע בהכנת העבודה, לקרן אצלאן, לתמר אדלר, לנינה לוינסקי ולגיל שמעון. כמו כן לאנשי אגף התכנון הכלכלי במשרד התחבורה: אברהם ירושלמי ועופר אלישר.

ממצאי הדו"ח יוכלו לשמש לבדיקות מתמחות של תועלת למשק בהרחבת רשת המסילות והשלוחות לצורך הובלת מטענים ברכבת, לבחינת ההצדק למיסוי ענף ההובלה במשאיות ו/או לשיעורי הסובסידיה המוצדקים לרכבת.

תוכן העניינים

עמוד

1	1. רקע
1	1.1. מטרות
1	1.2. נתונים כלליים
4	1.3. ציוד ורשת המסילות
6	1.4. נתוני פעילות ענף המטענים ברכבת לחודש פברואר 2016
7	2. מבנה העלות הכללית
8	2.1. ביטוח
8	2.2. שכר
8	2.3. עלויות דלק
10	2.4. תשלומי סובסידיה ממשלתית לענף המטענים
11	3. תחשיבי עלויות הובלת מטענים ברכבת
11	3.1. תחשיבים על בסיס עלויות קבועות ומשתנות שהתקבלו מהרכבת
15	3.2. תחשיב על סמך מחירון הובלת מכולות בין יעדים שונים
20	4. עלויות הובלת מטען במשאיות
20	4.1. עלויות ישירות ועקיפות
22	4.1.1. תאונות דרכים
24	4.1.2. זיהום אוויר
25	4.1.3. גודש בדרכים
26	4.1.3.1. המחשת השינוי בעלות הגודש בהתאם ליחסי נפח-קיבולת שונים
29	4.1.4. תחזוקת תשתית
30	5. הערכת החיסכון למשק מהובלת מכולות ברכבת לעומת משאיות
30	5.1. תחשיב לפי פרמטרים שונים
34	5.2. ניתוח התוצאות
35	5.3. שימוש במקדמי העבודה לבדיקות כדאיות הסטת מטענים לרכבת

לוחות

2	לוח 1 - השוואת שיעור הובלת המטענים ברכבת (במונחי טון-ק"מ) בין מדינות שונות (לשנת 2014)
3	לוח 2 - היקף הובלת המטענים ברכבת בשנת 2015 לפי סוג מטען
6	לוח 3 - משקל ממוצע לרכבת לפי סוג מטען (לחודש 02/2016)
8	לוח 4 - ממוצע עלות השכר לשעת עבודה
9	לוח 5 – מחירי סולר חודשיים בש"ח ל 1000 ליטר
9	לוח 6 – השוואת נתוני צריכת דלק שנתיים של קטרי מטען בין השנים 2009-2011 לשנת 2015
10	לוח 7 - סובסידיה שנתיית למטענים לפי טון-ק"מ (ש"ח)
12	לוח 8 - תחשיב עלויות למשק בהובלה מסילתית לפי סוג הובלה (ש"ח)
14	לוח 9 - תחשיב עלויות למשק בהובלה מסילתית לפי סוג הובלה (ש"ח)
16	לוח 10 - מחירי הובלת מכולה <u>20 רגל</u> ברכבת בין מוצאים ויעדים שונים
18	לוח 11 - מחירי הובלת מכולה <u>40 רגל</u> ברכבת בין מוצאים ויעדים שונים
21	לוח 12 - הוצאות הפעלת משאית טיפוסית לפי תחשיב 'חשב' 2015 (בש"ח ללא מיסים עקיפים)
21	לוח 13 – עלויות חיצוניות הנגרמות מהפעלת משאיות
22	לוח 14 - נפגעים בתאונות דרכים בהן מעורבות משאיות מעל 12 טון לפי חומרת פציעה
23	לוח 15 - נפגעים בתאונות דרכים במעורבות הרכבת עם כלי רכב אחר
24	לוח 16 – השוואת יחס הנפגעים לנסועה בין רכבות למשאיות
26	לוח 17 – רמות שירות ויחסי נפח-קיבולת
28	לוח 18 - תועלת כספית לק"מ מהפחתת משאית אחת מרשת הדרכים בנפחים שונים בכביש בין עירוני-תלת נתיבי

עמוד

איורים

2	איור 1 – התפתחות תנועת המטענים ברכבת ישראל לפי טונאז' וטון-ק"מ מ 1980 ואילך
3	איור 2 - תנועת מטענים שנתית ברכבת לפי סוג מטען (מיליון טון-ק"מ)
4	איור 3 – מרחק ממוצע בהובלת טון מטען ברכבת
5	איור 4 - מיפוי תחנות ומסופי מטען בשימוש רכבת ישראל
13	איור 5 - הקשר בין עלות ההובלה לטון-ק"מ לבין מרחק ההובלה - רכבות במשקל ממוצע
15	איור 6 - הקשר בין עלות ההובלה לטון-ק"מ לבין מרחק ההובלה - רכבות במשקל גבוה מהממוצע
16	איור 7 - הקשר בין מחיר הובלת מכולה <u>20 רגל</u> לבין מרחק ההובלה
17	איור 8 - הקשר בין המחיר למכולה-ק"מ למרחק ההובלה בהובלת <u>מכולה 20 רגל מלאה</u>
18	איור 9 - הקשר בין מחיר הובלת מכולה <u>40 רגל</u> לבין מרחק ההובלה
19	איור 10 - הקשר בין המחיר למכולה-ק"מ למרחק ההובלה בהובלת <u>מכולה 40 רגל מלאה</u>
27	איור 11 - מהירות הנסיעה כתלות ביחס נפח-קיבולת על בסיס פונקציית הגודש
29	איור 12 - תועלת כספית מהפחתת משאית אחת מכביש בין עירוני-תלת נתיבי כתלות ביחס נפח-קיבולת
33	איור 13 - הקשר בין מרחק ההובלה לעלות לטון-ק"מ לפי אמצעי

נספחים

36	נספח 1 - מחירון הובלת מכולות בין מסופי ושלוחות הרכבת (05/2016)
38	נספח 2 - עלויות חיצוניות מנזקי זיהום אוויר

20/4/2016

הובלת מטענים ברכבת – עלויות ותחומי יתרונות למשק ביחס למשאיות

1. רקע

1.1 מטרות

אחת המטרות העיקריות של תכנית האב למטענים היא לכוון לכך שהובלת המטענים תחולק בין אמצעי ההובלה השונים (בעיקר משאיות ורכבת) באופן היעיל ביותר למשק, דהיינו במזעור עלויות ההובלה הכוללות. עלויות אלו כוללות עלויות ישירות אך גם השלכות חיצוניות של ההובלה. בהתאם לכך, הכרת מכלול העלויות הכרוכות בבחירה באמצעי ההובלה השונים, לרבות העלויות החיצוניות, מהווה תנאי להכוננת הפיתוח ואמצעי מדיניות משלימים באופן המיטבי. מלבד משאיות ורכבת קיימות בשוליים הולכת דלקים בצנרת, והובלת סוגי מטען שונים למרחקים קצרים במסועים.

מסמך זה סוקר בקצרה את פעילות ענף המטענים ברכבת ואת העלויות השונות הכרוכות בהפעלתו, נסקרת גם עלויות ההובלה במשאיות. בסיכומו נערך תחשיב השוואתי לעלות הובלת טון-ק"מ בין הובלה מסילתית לבין הובלה במשאיות. יש לציין כי הן רכבות מטען והן משאיות הן לא המשתמשות העיקריות בתשתית, רוב השימוש הוא של נוסעים - רכבות נוסעים בתשתית מסילתית ונוסעים ברשת הכבישים. יש צורך לחייב את ענף המטענים בחלקו היחסי בלבד בהוצאות ההקמה והתחזוקה של התשתית.

נעשה ניסיון לאסוף מידע פיזי, תפעולי וכספי המשוך לענף הובלת המטענים ברכבת. רמת הפירוט שהושגה היא חלקית ואינה מאפשרת הכרה מפורטת של פונקציית הייצור של הרכבת, העלויות השוליות בהתאם למרחק ההובלה, היקף מטען לסוגיו וכד', השפעת שיפורים טכנולוגיים. בתחום המשאיות העבודה נשענת על מידע קיים על עלויות ההובלה במשאיות, תוך בחינה מפורטת וחדשה בעיקר של העלויות החיצוניות הכרוכות בשימוש בהן. למרות מגבלות המידע, מסמך זה מאפשר הכרה עם מבנה העלויות בשני אמצעי ההובלה וקביעת תחומי יתרון יחסי לכל אחד מהם בהיבט המשקי.

1.2 נתונים כלליים

היקף הובלת המטענים בישראל מוערך בכ 22 מיליארד טון-ק"מ בשנה, רק כ 5.5% מכך מועבר ע"י הרכבת (הרוב מועבר באמצעות משאיות והיתר בצנרת). לצורך השוואה, השיעור הממוצע ב 28 מדינות האיחוד האירופי עומד על 18.4% הובלה מסילתית כפי שניתן לראות בלוח 1 שלהלן.

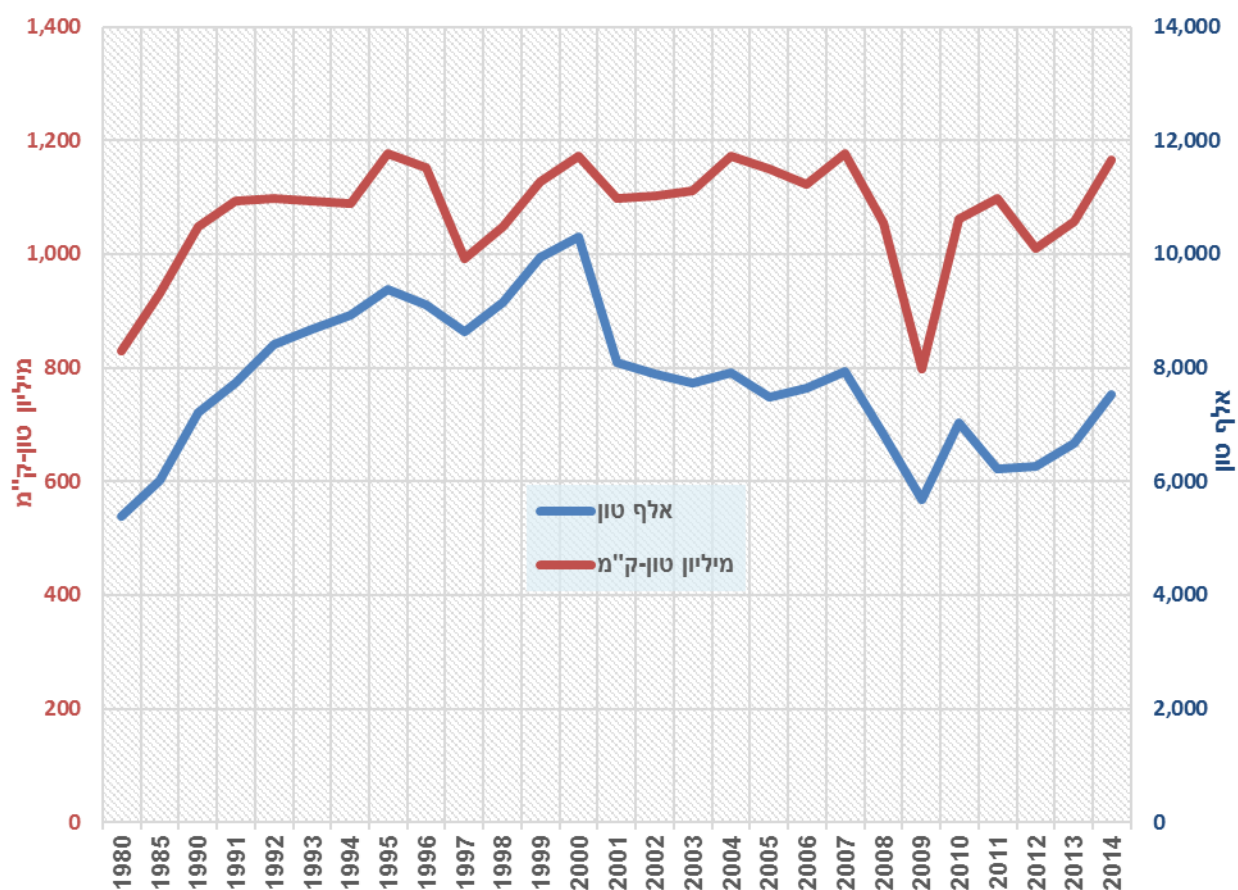
עם זאת, השוואה זו מחייבת סייגים שונים, שכן גודלן של המדינות שונה וכך גם מרחקי ההובלה והתשתית המסילתית המאפשרת הובלת מטען. יתרונה של הרכבת גדל עם גידול במרחקי ההובלה והדבר מסביר מעיקרו את שיעורי ההובלה הגבוהים ברכבת ביחס לישראל. עם זאת, נראה שאין זה מסביר את כל הפער, ושהרכבת בארץ רחוקה מלנצל את מלוא הפוטנציאל שלה.

לוח 1 - השוואת שיעור הובלת המטענים ברכבת (במונחי טון-ק"מ) בין מדינות שונות (לשנת 2014)¹

מדינה	שיעור הובלת מטענים באמצעות הרכבת
שווייץ	36.2%
שבדיה	30.4%
גרמניה	18.8%
28 מדינות האיחוד האירופי	18.4%
איטליה	13.1%
בריטניה	12.9%
צרפת	10.7%
ספרד	6.1%
הולנד	5.8%
ישראל	5.5%

בין 1990 לשנת 2014 גדל היקף הובלת המטענים בארץ בכל אמצעי התחבורה פי 3 ויותר, ואילו ברכבת לא גדל כלל, כמוצג להלן.

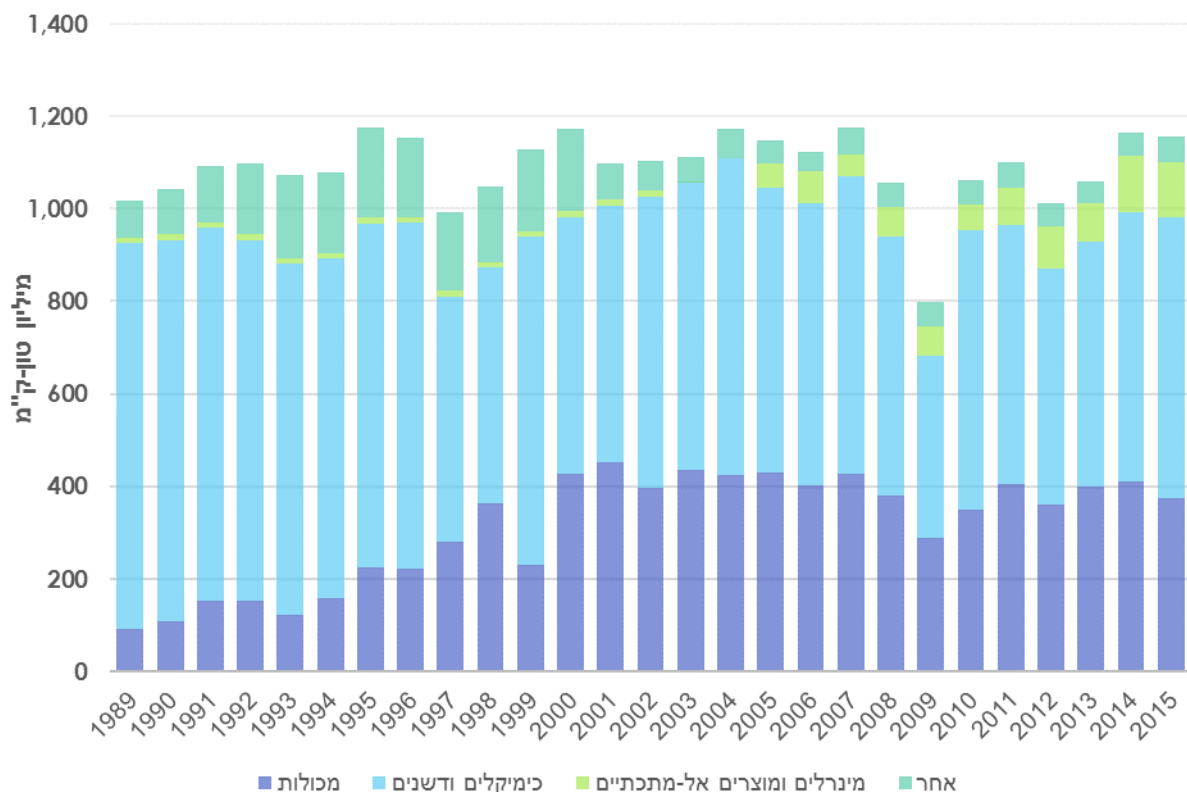
איור 1 – התפתחות תנועת המטענים ברכבת ישראל לפי טונאז' וטון-ק"מ מ 1980 ואילך²



¹ מקור: Eurostat: Freight transport statistics - modal split

² הנתון לישראל לקוח מהלמ"ס, לוחות 'שירותי רכבת' בשנתונים הסטטיסטיים

איור 2 - תנועת מטענים שנתית ברכבת לפי סוג מטען (מיליון טון-ק"מ)³



האיורים לעיל אמנם מראים התאוששות מסוימת בשנים האחרונות וגידול קל בהיקף הובלת המטען ברכבת, אך המגמה ארוכת הטווח היא של קיפאון בהיקף ההובלה. גם בתחום הובלת המכולות ברכבת אין גידול ב 15 השנים האחרונות, למרות שבטווח זמן זה היקף הובלת המכולות אל ומהנמלים כמעט הוכפל.

בלוח הבא נראה את היקף ההובלה ברכבת ב 2015 בלבד לפי סוגי מטען:

לוח 2 - היקף הובלת המטענים ברכבת בשנת 2015 לפי סוג מטען

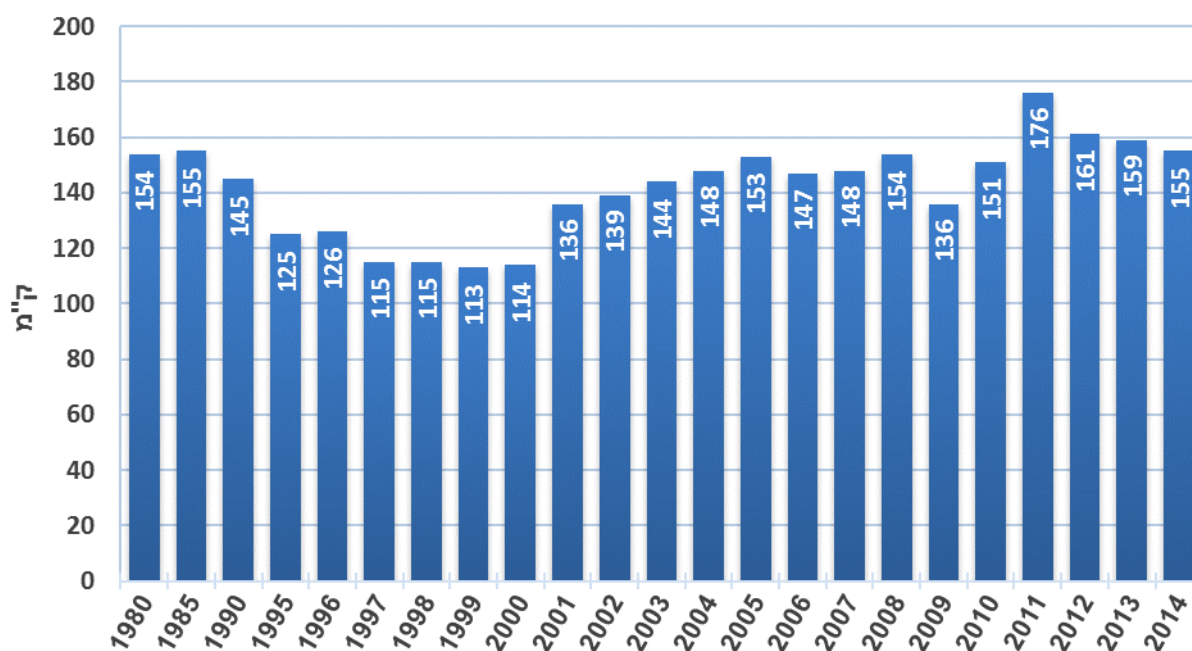
סוג מטען	מיליון טון-ק"מ שנת 2015	שיעור מהסה"כ
גרעינים	54.3	4.7%
חול ואשפה	117	10.1%
מחצבים	606	52.5%
מכולות	374.8	32.4%
סלע	2.9	0.3%
סה"כ	1,155	100%

ניתן לראות מהלוח שעיקר פעילותה של הרכבת בתחום המטענים היא הובלת המחצבים ממסופים ושלוחות בדרום הארץ (בעיקר לעבר נמל אשדוד). הובלת המכולות נעשית בין הנמלים חיפה ואשדוד (כ-40% מכלל הובלת המכולות ברכבת).

³ למ"ס, שנתונים סטטיסטיים

מרחק ההובלה הממוצע של מטען ברכבת בארץ הוא מעל ל 150 ק"מ. מרחק לא אופייני, כמובן, להובלות בארץ. מידע נוסף ניתן למצוא בדוחות הסיכום לתכנית אב למטענים (שלב א' ושלב ב') כפי שהוגשו בשנים 2012 ו-2013 בהתאמה.

איור 3 – מרחק ממוצע בהובלת טון מטען ברכבת⁴ (ק"מ)



בהיעדר קיבולת מספיקה בקווים הראשיים במהלך היום, רוב הובלת המטענים באמצעות הרכבת מתבצעת בשעות הערב והלילה, עובדה המגבילה את תחומי פעילותה של הרכבת ומקשה עליה להוות תחליף נוח וגמיש להובלה במשאיות.

1.3 ציוד ורשת המסילות

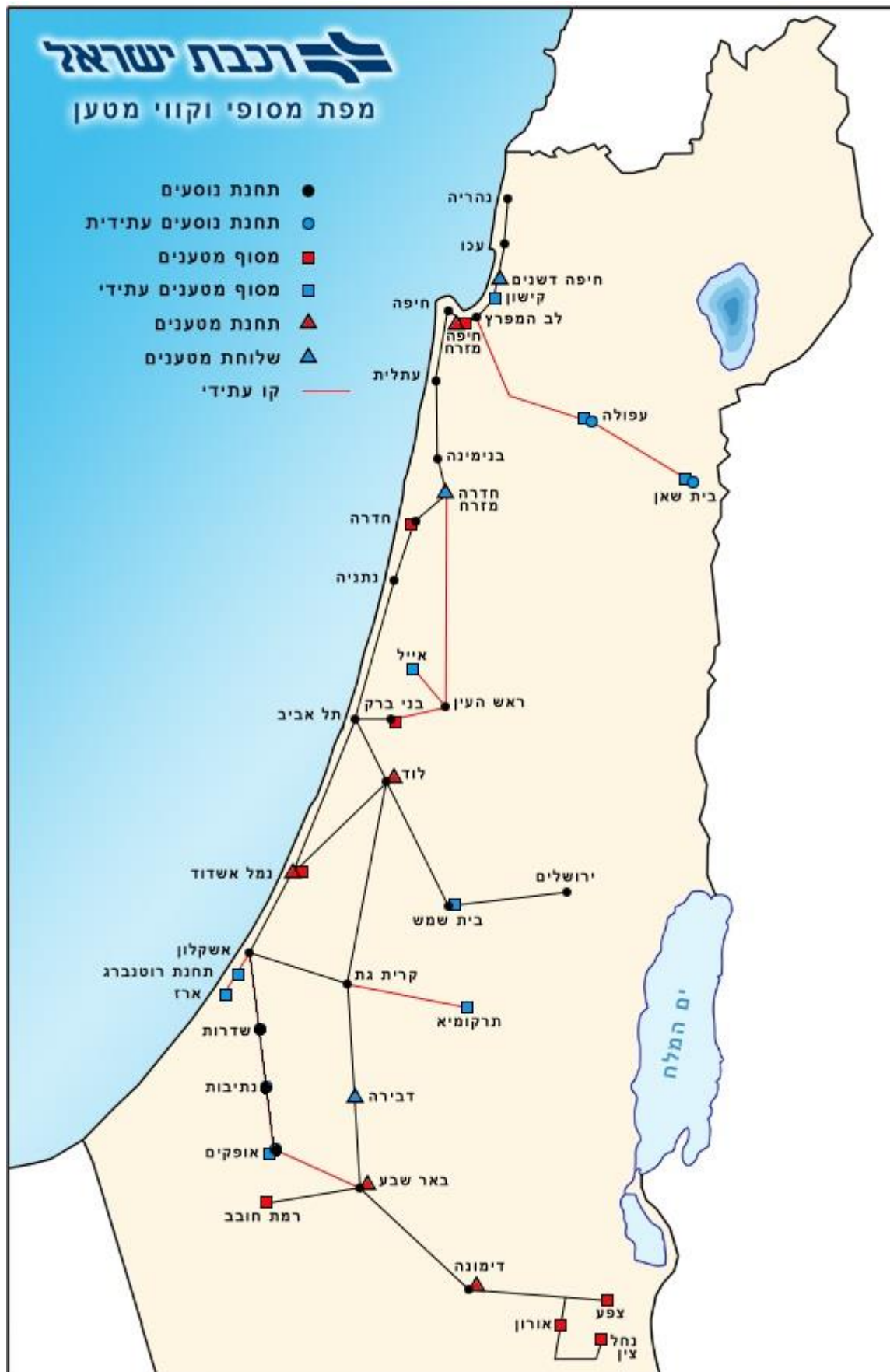
מצבת הציוד הנייד לשנת 2015 כללה 48 קטרי משא ו 1,301 קרונות משא פעילים, מתוכם 440 בבעלות כי"ל, 76 בבעלות חברת 'מילניום' (הובלת מכולות) ו-60 בבעלות חברת 'עמית' (חול ואשפה).

סך ק"מ נסועת רכבת בענף המטענים עמד על 1,699,392 ק"מ בשנת 2015. לצורך השוואה, בשנת 2011 עמדה נסועת קטרי המטען על 1,745,686 ק"מ.

המפה הבאה מציגה את תחנות ומסופי המטען הקיימים וכן קווים ומסופים עתידיים.

⁴ למ"ס, לוחות 'שירותי רכבת' בשנתונים הסטטיסטיים

איור 4 - מיפוי תחנות ומסופי מטען בשימוש רכבת ישראל



1.4 נתוני פעילות ענף המטענים ברכבת לחודש פברואר 2016

מרכבת ישראל התקבלו נתונים על יחידות מטען שהועברו ע"י הרכבת בחודש 02/2016, התייעוד הוא ברמת המכולה או הקרון ולא ברמת הרכבת מכיוון שבמקרים לא מעטים רכבת פורקת ומעמיסה מטען בתחנות ביניים בדרכה ליעדה הסופי, בשל כך היה קושי מסוים לספק נתונים כמו משקל ממוצע לרכבת, אך ע"י עיבוד של הנתונים הגולמיים מוצגת להלן הערכה על נתוני הפעילות לחודש המדובר.

מנתוני הפעילות עולה כי כ 119 מיליון טון-ק"מ התבצעו במהלך חודש 02/2016, כשמשקלו של כלל המטען שהועבר היה 733,000 טון.

המרחק הממוצע לרכבת עמד על 165 ק"מ כשמשקלה הממוצע של רכבת מטען היה 625 טון (כולל רכבות ריקות), ו 790 טון ללא התחשבות ברכבות ריקות. פירוט לפי סוג מטען מובא להלן.

לוח 3 - משקל ממוצע לרכבת לפי סוג מטען (לחודש 02/2016)

סוג מטען	משקל ממוצע לרכבת (טון)	מספר רכבות ביום
גרעינים	1,059.3	1.6
חצץ מסחרי	438.2	1.9
מחצבים	2,109.2	6.5
מכולות	493.3	27.5 (37.7 כולל ריקות)
סה"כ	788.5 (625 כולל ריקות)	37.5 (47.7 כולל ריקות)

רוב המטען המשונע ברכבת הוא מכולות (בעיקר בין שני הנמלים), משקל המטען המועבר במכולות נמוך מפוטנציאל ההובלה לרכבת (רק 500 טון בממוצע לרכבת). ייתכן כי המשקל הנמוך נובע מאילוצי זמנים והתאמת היצע לביקוש. הגדלת המשקל הממוצע לרכבת ע"י הוספת מטען תגביר את יעילות הרכבת במונחי משקל-מרחק תוך הגדלת הפדיון ואפשרות להוזלת מחירים ללקוחות הקצה. כאמור, ניצולת ההובלה לרכבת עומדת על 64%, במצב הנוכחי קיים פתח להתייעלות וניצול יעיל יותר של המשאבים.

2. מבנה העלות הכללית

מקורם של כלל הנתונים שנאספו בדוחות הכספיים והתפעוליים לשנת 2015 התקבלו מרכבת ישראל.

מבנה עלויות ענף המטענים ברכבת מחולק לכאורה ל 2 קטגוריות:

א. עלויות משתנות: הוצאות ישירות הנובעות מהובלת המטענים, וגדלות ישירות ככל שהיקף ההובלה גדל. עלויות אלו כוללות הוצאות שכר, דלק לקטרים, הוצאות תחזוקת קטרים, עלויות טעינה ועריכת רכבות מטען ופריקתן ועוד.

ב. עלויות קבועות: עלויות הון של המסילות וחלקית של הציוד (בעיקר קטרים וקרונות), תפעול תחנות, תחזוקה קבועה של נייד ושל המסילה וכד', וכן תקורה בסיסית של הרכבת שאינה משתנה ע"פ היקף ההובלה.

למעט עלויות הון של התשתית, כלל העלויות הקבועות ישתנו גם הן בהיקפי הובלה גדולים.

סיווג נוסף הוא עלויות בלעדיות לענף המטענים (שכר עובדי ענף המטענים, תחזוקת קרונות משא וכד') אל מול עלויות משותפות הן לענף הנוסעים והן לענף המטענים (תחזוקת מסילה, שכר עובדים כלל ענפיים וכו') אשר מועמסות על ענף המטענים לפי מפתח של נסועה.

מוצגות להלן העלויות השנתיות המשויכות לענף המטענים כפי שהתקבלו מרכבת ישראל:

סה"כ הסתכמו העלויות הישירות + חלקו של ענף המטענים מהעלויות המשותפות עם ענף הנוסעים ב 313 מיליון ₪ ב 2015. מהם 125 מיליון ₪ עלויות קבועות ו 188 מיליון ₪ עלויות משתנות. **בממוצע, העלות לטון-ק"מ עומדת של 0.27 ₪**, כמובן שעלויות זו משתנה כפונקציה של מרחקי ההובלה כפי שיוצג בתחשיב בהמשך דו"ח זה. לצורך השוואה, הכנסות הרכבת לשנת 2015 מענף המטענים עמדו על 165 מיליון ₪ (ללא סובסידיה), 0.14 במונחי ש"ח לטון-ק"מ.

העלויות ששויכו לענף המטענים מעלויות אחזקת התשתית, הנייד, מהניהול המשותף עם ענף הנוסעים הסתכמו ב 200 מיליון ₪ לפי הפירוט הבא:

- **אחזקת מסילה:** כ 26 מלש"ח בשנה
 - **אחזקת נייד:** כ 44 מלש"ח בשנה
 - **עלות תחנות/מסופים:** כ 70 מלש"ח בשנה (מרבית הסכום כ – 60 מלש"ח בגין שכר)
 - **תקורה:** כ 60 מלש"ח בשנה.
- ◀ **סה"כ 200 מיליון ₪**

113 מיליון ₪ נוספים הוצאו בסעיפים בלעדיים לענף מטענים, מהם כ 57 מיליון ₪ עבור דלק המהווה את ההוצאה התפעולית העיקרית של החברה לאחר עלויות השכר.

2.1 ביטוח

פרמיות הביטוח אמנם אינן מהוות הוצאה למשק והן בגדר העברה מכיס לכיס בראות המשק הלאומי, אך פרמיות הביטוח נותנות ביטוי לנזקים מכל סוג שהוא שהתשלומים שחלו בעקבותיהם כן מהווים הוצאה למשק. ברכבת אין הפרדה של עלויות הביטוח בין הענפים השונים ולכן יוצגו כאן עלויות שנתיות של פרמיות ביטוח שונות ששולמו בשנת 2015 ומשויכות לכל ענפי החברה.

- ציוד רכבתי מסילתי נייד לא בתנועה מכל סוג שהוא (קרונות, קטרים ומנופים): **970,000€**
- ביטוח חובה נייד רכבתי (מחויב מחוק פיצויים לנפגעי תאונות דרכים): **24,015,000 ₪**
- רכוש וציוד נייד (ציוד משרדי, מחשוב, מלאים שונים): **8,731,000 ₪**
- ביטוח צג ג' כללי (רכוש צד שלישי): **2,260,000 ₪**

נכון לחודש 04/2016 לא נערכה פוליסת ביטוח ציוד רכבתי מסילתי נייד בתנועה, והחברה בוחנת האם להתקשר בפוליסת ביטוח מסוג זה.

2.2 שכר

מס' העובדים המשוך ישירות לענף המטענים הוא 448 מתוך 3,216 עובדים המועסקים ברכבת ישראל (נכון ל 31 בדצמבר 2015), יש לציין כי עובדים בחטיבות שונות כגון חטיבות המטה והפיתוח עוסקים בין היתר בפעילות הנוגעת לחטיבת הטענים.

עלות השכר הממוצעת לשנת 2015 קטנה בין התפקידים השונים לעומת 2012, וזאת לטענת הרכבת בשל עובדים חדשים שנקלטו עם תנאי שכר נמוכים מהעובדים הוותיקים.

לוח 4 - ממוצע עלות השכר לשעת עבודה

תפקיד	2012	2015
נהג קטר	257 ₪	191 ₪
נהג עיתוק	153 ₪	122 ₪
עוזר נהג	129 ₪	109 ₪

העלויות המפורטות בלוח לעיל הן עלות לשעת עובד ולא עלות לשעת נהיגה, שכן שעות הנהיגה החודשיות לנהג מצומצמות יחסית כאשר רוב שעות העבודה של עובדי הניהוג הן שעות המתנה בקצות מסלולי הנסיעה וכד'.

2.3 עלויות דלק

כדי ללמוד על עלויות הדלק המשולמות וכן על צריכת הדלק לק"מ-קטר (נתון שלא נמסר מהרכבת ולו חשיבות רבה מאחר שמחירי הדלק תנודתיים ולא צפויים), נאספו מחירי הסולר החודשיים לפי שער בז", מרווח השיווק המשולם לחברות הדלק ומס הבלו שבניגוד למשאיות המקבלות החזר, משולם במלואו ע"י הרכבת. הלוח הבא משחזר את המחירים החודשיים ומגלה שבממוצע ליטר סולר נקנה ע"י הרכבת ב 4.78 ₪ כשנראית מגמה ברורה של ירידה במחירי הדלקים.

לוח 5 – מחירי סולר חודשיים בש"ח ל 1000 ליטר

חודש	מחיר בשער בז"ן	הוצאות תשתית	מס בלו	מרווח השיווק	סה"כ ללא מע"מ
01/2015	1,877.30	18.00	2,928.12	128.12	4,951.54
02/2015	1,627.74	18.00	2,928.12	128.12	4,701.98
03/2015	1,953.55	18.00	2,928.12	128.12	5,027.79
04/2015	1,824.04	17.64	2,928.12	128.12	4,897.92
05/2015	1,961.03	17.64	2,890.15	128.12	4,996.94
06/2015	1,975.42	17.64	2,890.15	128.12	5,011.33
07/2015	1,881.49	17.64	2,890.15	128.12	4,917.40
08/2015	1,635.70	17.64	2,890.15	128.12	4,671.61
09/2015	1,508.94	17.64	2,928.18	128.12	4,582.88
10/2015	1,575.24	17.88	2,928.18	128.12	4,649.42
11/2015	1,462.38	17.88	2,928.18	128.12	4,536.56
12/2015	1,412.06	17.88	2,928.18	128.12	4,486.24
ממוצע שנתי	1,724.57	17.79	2,915.48	128.12	4,785.97

עלות הדלק הממוצעת לקטר הינה 24 ש"ח לק"מ (נתון שהתקבל מהרכבת), עלות ממוצעת לקילו-ליטר (1000 ליטר) סולר לרכבת הינה 4,785.97 ש"ח (12.8 אג' מרווח שיווק לחברות הדלק), אי לכך צריכת הדלק המחושבת עומדת על 5.01 ליטר לק"מ.

מהצלבת נתוני נסועה וצריכת דלק משנים קודמות⁵ (נתוני 2009-11 נלקחו ממחקר שביצעה חברת מטאו-טק, נתוני 2015 התקבלו מהרכבת) ניתן לחלץ את צריכת הדלק במונחי ליטר לק"מ קטר.

לוח 6 – השוואת נתוני צריכת דלק שנתיים של קטרי מטען בין השנים 2009-2011 לשנת 2015

2015	2011	2010	2009	
1,699,392	1,745,686	1,662,070	1,634,512	ק"מ נסועה בשנה
8,513,954	9,719,726	9,860,596	8,387,952	סה"כ ליטר דלק שנצרכו
5.01	5.57	5.933	5.132	ליטר לק"מ

נראה כי חלה ירידה בנסועת הקטרים בשנת 2015 אל מול שנת 2011 וכפועל יוצא גם בצריכת הדלק השנתית. מנגד, צריכת הדלק הממוצעת השתפרה ייתכן בשל שימוש פוחת בקטרים ישנים (G12) ושינוי בחלקן של התנועות במסילות עם שיפוע קל, שכן צריכת הדלק ברכבת רגישה מאוד לשיפוע תוואי הדרך. עושה רושם שהשיפור בצריכת הדלק הממוצעת לא התרחש מהתייעלות טכנולוגית כלשהי בקטרי האלקטרו-דיזל, וזאת מאחר שבשנים האחרונות עיקר המאמץ הטכנולוגי מתרכז בקטרים חשמליים.

סיכום כלל העלויות שפורטו לעיל מתאר עלות ממוצעת של **0.27 ש"ח לטון-ק"מ** להובלת מטען ברכבת, כמובן שעלות זו נגזרה ממרחקי ההובלה הממוצעים ברכבת (כמוצג באיור 3 לעיל), שינוי במרחקי ההובלה, כמו גם עלויות שטעון ומשתנים נוספים ישנו את העלות הממוצעת.

⁵ סקר על פליטות מזהמי אוויר וגזי חממה מרכבות בישראל. מספר מחקר במשרד להגנת הסביבה 103-4-1

מתוך אבני היסוד לעיל אנו יכולים להעריך מחירי הובלת מטען ברכבת במונחי סוג מטען, משקל הרכבת, סוג ההובלה, הצורך בשטעון בצד אחד או יותר, האפשרות לרכבת טעונה/ריקה בכיוון הנסיעה ההפוך וכדומה. הפרק הבא יתבסס בחלקו על העלויות שהוצגו עד כה בניסיון לתמחר את אפשרויות ההובלה השונות.

2.4 תשלומי סובסידיה ממשלתית לענף המטענים

פעילותיה השונות של הרכבת מסובסדות ע"י המדינה לפי מדדי יעילות שונים. לפי הסכם הסובסידיה שנחתם ביוני 2014, הסובסידיה למטענים הוגדרה כמכפלת טון-ק"מ בסכום קבוע לאותה שנה כמפורט בטבלה שלהלן, בניכוי סכום הפחת השנתי ובתוספת (לאחר ניכוי פחת) מע"מ. בהתאם לתנאי ההסכם, הסכום הקבוע, שממנו נגזרת הסובסידיה, יפחת במהלך שנות ההסכם בשיעור של כ-6% מדי שנה ובסך כולל של 28.5% החל משנת 2016.

לוח 7 - סובסידיה שנתית למטענים לפי טון-ק"מ (ש"ח)⁶

2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013
0.110	0.118	0.126	0.135	0.144	0.154	0.154	0.154

מרבית ההכנסות של הרכבת נובעות מסובסידיה, להלן נתוני הכנסות ענף המטענים מהדוחות הכספיים:

שנת 2015: הכנסות מסובסידיה שוטפת - 165,360,000 ₪, כאשר כלל הכנסות ענף המטענים הסתכמו ב-329,950,000 ₪ (50.1% מההכנסות).

שנת 2014: הכנסות מסובסידיה שוטפת - 173,211,000 ₪, כאשר כלל הכנסות ענף המטענים הסתכמו ב-342,852,000 ₪ (50.5% מההכנסות).

אמנם הכנסות מסובסידיה אינן מוגדרות כהוצאה למשק והן בחזקת העברה מכיס לכיס, אך שינויים בגובה הסובסידיה עלולים לגרום לרכבת לשנות את תעריפי שירותיה ללקוחות ולהשפיע על התחרות שלה אל מול הובלה במשאיות.

התחשיבים המופיעים במסמך זה מתארים עלויות למשק הלאומי ולכן נושא הסובסידיה אינו מובא בהם לידי ביטוי, מלבד כאזכור בהשוואת עלויות הובלה לטון-ק"מ בין המשאיות לרכבת אשר מובא בפרק 5.

⁶ מתוך הדו"ח הכספי של הרכבת לשנת 2015

3. תחשיבי עלויות הובלת מטענים ברכבת

3.1 תחשיבים על בסיס עלויות קבועות ומשתנות שהתקבלו מהרכבת

מנתוני העלויות שהתקבלו נעשה ניסיון לתמחר את העלות למשק בהובלת מטענים ברכבת כתלות במאפייני הנסיעה (מרחק, מס' מכולות/ קרונות, משקל וכד'). מכיוון שהתחשיב בודק את העלות למשק, מנוכים מעלות הדלק מיסי הבלו והמע"מ.

התחשיב מתאר מצב ממוצע של הובלת מכולות במשקל כולל של 540 טון ומטען בצובר (קרן תפזורת המשמש להובלת גרעינים, מחצבים וחצץ) במשקל של 480 טון, בדומה לממצאים מלוח 3 לעיל. בנוסף התחשיב מביא בחשבון שני מצבים אפשריים של נסיעה:

(1) נסיעה עם מטען מלא

(2) נסיעה ללא מטען (המכולות והצוברים ריקים)

יבוצע גם תחשיב במצב ניצול גבוה של יכולת ההעברה וייערכו ניתוחי רגישות.

התחשיבים המוצגים להלן, מתבססים על עלויות משתנות כפי שהתקבלו מהרכבת ופרמטרים כלליים להובלת מטען סטנדרטית.

עלויות משתנות:

תחזוקת קטר- 3.9 ₪ לק"מ

תחזוקת קרון- 0.14 ₪ לק"מ

תחזוקת מסילה- 0.019 ₪ לטון-ק"מ

העמסת תקורה- 36 ₪ לק"מ

צריכת דלק- 5.01 ליטר לק"מ במחיר 1.87 ₪ לליטר

עלות שכר נהג- 191 ₪ לשעה

עלות שכר עוזר נהג- 122 ₪ לשעה

עלות שכר עתק- 109 ₪ לשעה

פרמטרים כלליים:

מרחק נסיעה- 150 ק"מ לכיוון

מס' קרונות- 10 (בכל קרון מכולה קטנה ומכולה גדולה)

משקל מכולה קטנה- 18 טון (2.5 טון טרה)

משקל מכולה גדולה- 36 טון (3.5 טון טרה)

מס' צוברים – 8

משקל צובר – 60 טון (6 טון טרה)

שעות ניהוג- 5 שעות

זמן קצה בכל כיוון- 20 דק' לקרון / צובר



לוח 8 - תחשיב עלויות למשק בהובלה מסילתית לפי סוג הובלה (ש"ח)
הובלה ל 150 ק"מ, רכבת מכולות במשקל 540 טון וצובר במשקל 480 טון

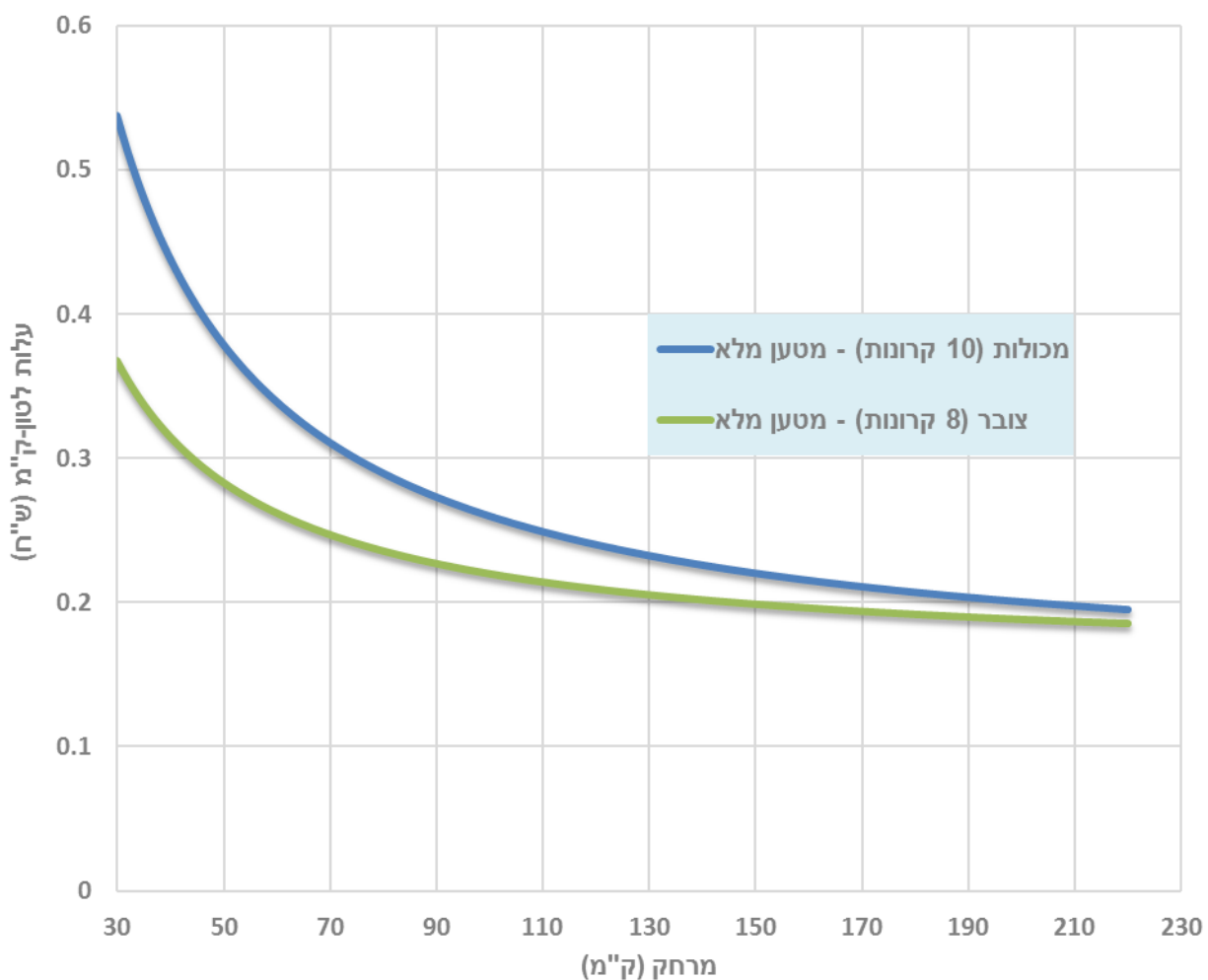
צובר		מכולות			
ללא מטען	מטען מלא	ללא מטען	מטען מלא		
				עלות שכר עבודה:	
1,019	1,019	1,273	1,273	נהג	שעות קצה ⁷
651	651	813	813	עוזר נהג	
581	581	727	727	עתק	
955	955	955	955	נהג	5 שעות ניהוג
610	610	610	610	עוזר נהג	
400	800	1,800	3,600	שטעון:	
				70 ש' למכולה קטנה, 110 למכולה גדולה, 50 ש' לצובר	
984	1,405	984	1,405	צריכת דלק ⁸ :	
				9.37 ש' לק"מ (ללא בלו ומע"מ)	
				תחזוקה:	
585	585	585	585	קטר (3.9 ש' לק"מ)	
168	168	210	210	קרין (0.14 ש' לק"מ)	
137	1,368	171	1,539	מסילה (0.019 ש' לטון-ק"מ)	
5,400	5,400	5,400	5,400	העמסת תקורה:	
				36 ש' לק"מ	
526	752	526	752	זיהום אוויר: ⁹ (1 ש' לליטר)	
12,015	14,294	14,054	17,869	עלות כוללת (ש')	
7,200	72,000	9,000	81,000	סה"כ טון-ק"מ	
1.669	0.198	1.561	0.220	עלות לטון-ק"מ (ש')	

⁷ שעות קצה הן הזמן בו הרכבת מועמסת במטען ומאורגנת לקראת הנסיעה בתחנת המוצא, וכן נפרקת בתחנת היעד.
⁸ ללא פונקציות צריכת הדלק בהתאם למשקל הנגרר, הונחה הפחתה של 30% בצריכת הדלק בין הובלת מכולות ריקות למלאות
⁹ יוסבר בסעיף 4 ובנספח 2

התחשיב לעיל מראה כי חלק נכבד מעלות ההובלה משויך לעלויות השטעון (העמסה ופריקה של מכולות מהקרונות), לפי נתוני הרכבת שטעון מכולה קטנה (20 רגל – 1 TEU) מתומחר ב 70 ש, מכולה גדולה (40 רגל - 2 TEU) ב 110 ש וצובר (קרון תפזורת) ב 30-70 ש. הצורך בשני שטעונים למכולה בכל צד (העמסתה ופריקתה) מכביד על עלויות ההובלה ונראה שהוזלת פעולות השטעון יגדילו את אטרקטיביות הרכבת בהובלת מטען.

ניתוח רגישות בהתאם למרחק הנסיעה יוכל לזהות מרחקי הובלה מינימליים מהם כדאי להוביל ואף להעריך את נקודת האיזון בין הובלת מטען במשאיות אל מול הובלה ברכבת. האיור הבא מציג את העלות לטון-ק"מ כפי שמשקפת מהתחשיב לעיל כתלות במרחק הנסיעה.

איור 5 - הקשר בין עלות ההובלה לטון-ק"מ לבין מרחק ההובלה
רכבות במשקל ממוצע (על בסיס לוח 8)



לוח 8 תיאר תחשיב על רכבות במשקל ממוצע כפי שתועדו בנתוני הפעילות שהתקבלו מהרכבת, לוח 9 שלהלן מציג תחשיב דומה ובו משקלי ההובלה גדלו, ברכבת המובילה מכולות נוספו 5 קרונות (כל קרון מכיל מכולה גדולה ומכולה קטנה) כך שמשקלו הכולל של המטען ברכבת עומד על 810 טון. ברכבת המובילה בצובר (קרונות תפזורת) נוספו 6 קרונות צובר כך שמשקלו הכולל של המטען ברכבת עומד על 840 טון.

לוח 9 - תחשיב עלויות למשק בהובלה מסילתית לפי סוג הובלה (ש"ח)
הובלה ל-150 ק"מ, רכבת מכולות במשקל 810 טון וצובר במשקל 840 טון

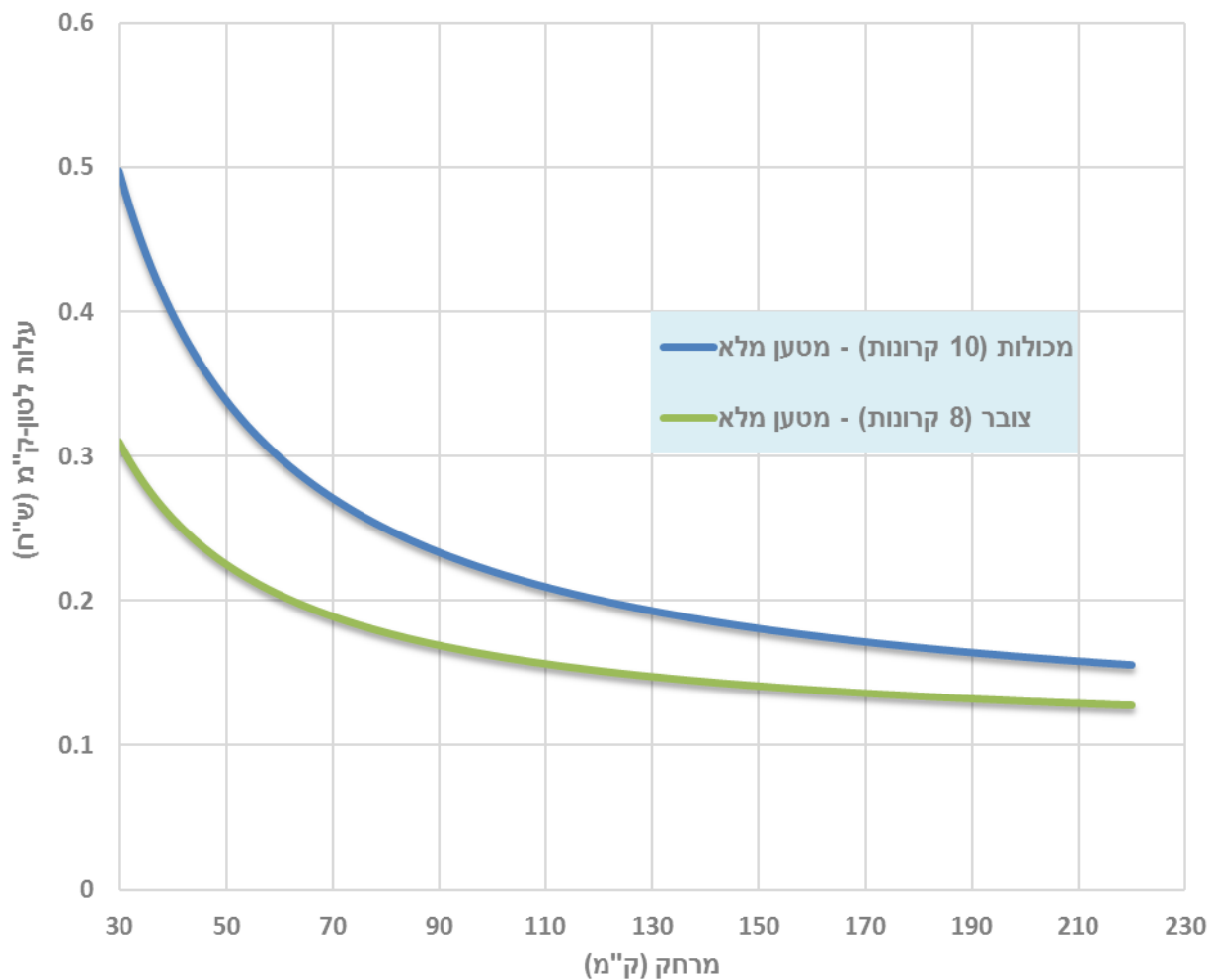
צובר		מכולות			
ללא מטען	מטען מלא	ללא מטען	מטען מלא		
				עלות שכר עבודה:	
1,783	1,783	1,910	1,910	נהג	שעות קצה ¹⁰
1,139	1,139	1,220	1,220	עוזר נהג	
1,017	1,017	1,090	1,090	עתק	
955	955	955	955	נהג	5 שעות ניהוג
610	610	610	610	עוזר נהג	
700	1,400	2,700	5,400	שטעון:	
				70 ש' למכולה קטנה, 110 למכולה גדולה, 50 ש' לצובר	
984	1,405	984	1,405	צריכת דלק:	
				9.37 ש' לק"מ (ללא בלו ומע"מ)	
				תחזוקה:	
585	585	585	585	קטר (3.9 ש' לק"מ)	
294	294	315	315	קרין (0.14 ש' לק"מ)	
239	2,394	257	2,309	מסילה (0.019 ש' לטון-ק"מ)	
5,400	5,400	5,400	5,400	העמסת תקורה:	
				36 ש' לק"מ	
526	752	526	752	זיהום אוויר: ¹¹ (1 ש' לליטר)	
14,232	17,734	16,522	21,952	עלות כוללת (ש')	
12,600	126,000	13,500	121,500	סה"כ טון-ק"מ	
1.129	0.141	1.224	0.181	עלות לטון-ק"מ (ש')	

כצפוי, הוספת קרונות ומטען לרכבת מוזילה את העלות למשק בהובלת טון-ק"מ. האיור הבא מציג ניתוח רגישות למרחקי הנסיעה כאשר יכולת ההעברה של רכבת מטען קרובה למיצוי.

¹⁰ שעות קצה הן הזמן בו הרכבת מועמסת במטען ומאורגנת לקראת הנסיעה בתחנת המוצא, וכן נפרקת בתחנת היעד.

¹¹ יוסבר בסעיף 4 ובנספח 2

איור 6 - הקשר בין עלות ההובלה לטון-ק"מ לבין מרחק ההובלה
רכבות במשקל גבוה מהמוצע (על בסיס לוח 9)



3.2 תחשיב על סמך מחירון הובלת מכולות בין יעדים שונים

היתרון ההולך והגובר של הרכבת בהובלות ארוכות מול חסרונה בהובלות קצרות, כפי שהוצג בסעיף הקודם, משתקף גם במחירים של ההובלה ברכבת, ותומך בממצאי הסעיף הקודם. מהרכבת התקבל מחירון הובלת מכולות בין מוצאים ויעדים שונים ולפי סוג המכולה, שיוך מרחק ההובלה בין כל מוצא ויעד מאפשר לאמוד את הקשר בין המחיר למרחק כמוצג בלוחות ובאיורים הבאים, הנתונים מראים שמרחק ההובלה הקצר ביותר (למעט הובלות בין שלוחות ומסופים בתוך חיפה) הוא 52 ק"מ בין חיפה לחדרה, מחיר הובלת מכולה בין מוצאים ויעדים אלו הוא 117 ₪. מרחק ההובלה הארוך ביותר הוא 341 ק"מ בין חיפה לנחל צין, והמחיר הוא 401 ₪.

עלויות השטעון שלא מופיעות במחירון שהתקבל, נוספו למחיר הכולל במידת הצורך. עלות טעינת/ פריקת מכולה קטנה (20 רגל) הינה 70 ₪ לפעולה בעוד מכולה גדולה (40 רגל) הינה 110 ₪ לפעולה. ברוב ההובלות קיים צורך בשתי פעולות מנוף לכל מכולה- טעינתה על הקרון בתחנת המוצא ופריקתה ממנו בתחנת היעד. התחשיבים הבאים יראו כיצד מחירי השטעון מכבידים על מחירי ההובלה כפי שכבר הוצג בפרקים קודמים.

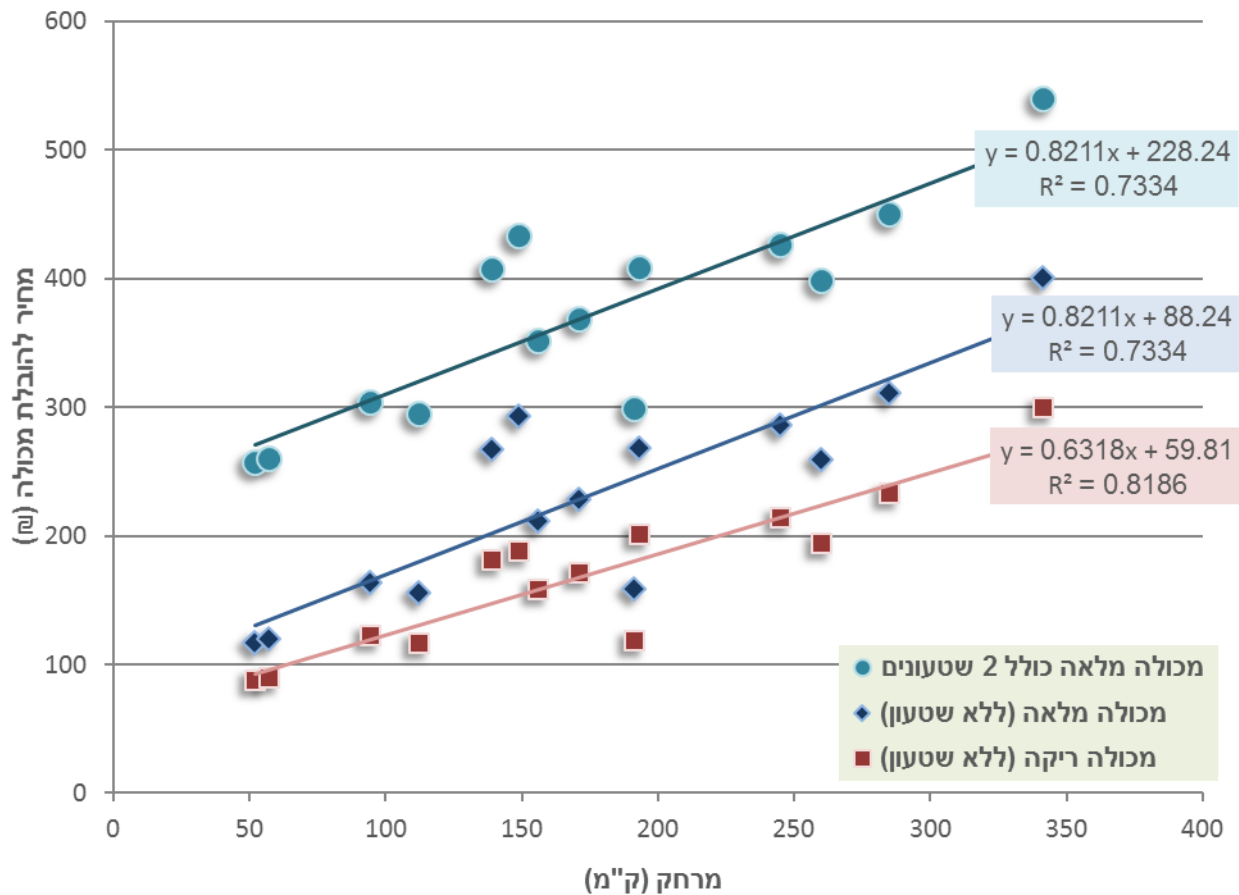
המחירון המלא מצורף בנספח 1.

לוח 10 - מחירי הובלת מכולה 20 רגל ברכבת בין מוצאים ויעדים שונים

מוצא	יעד	מרחק (ק"מ)	מחיר למכולה מלאה (₪)	מחיר למכולה ריקה (₪)
נמל חיפה	אשדוד	149	293.56	188.23
מסוף דשנים	אשדוד	139	267.66	181.32
חיפה- שלוחות	חדרה	52	117.42	88.07
	בני ברק	94	164.05	123.47
	רמת חובב	260	259.03	194.27
	צפע	285	310.83	233.12
	צין	341	400.63	300.47
	דימונה	245	286.65	214.99
	חדרה	191	158.87	119.15
אשדוד- כלל השלוחות	בני ברק	57	120.02	89.8
	רמת חובב	112	155.42	116.56
	צפע	156	211.54	158.87
	צין	193	268.52	202.04
	צפע	171	228.81	171.82

* ללא עלויות שטעון הנדרשות ברוב המקרים.

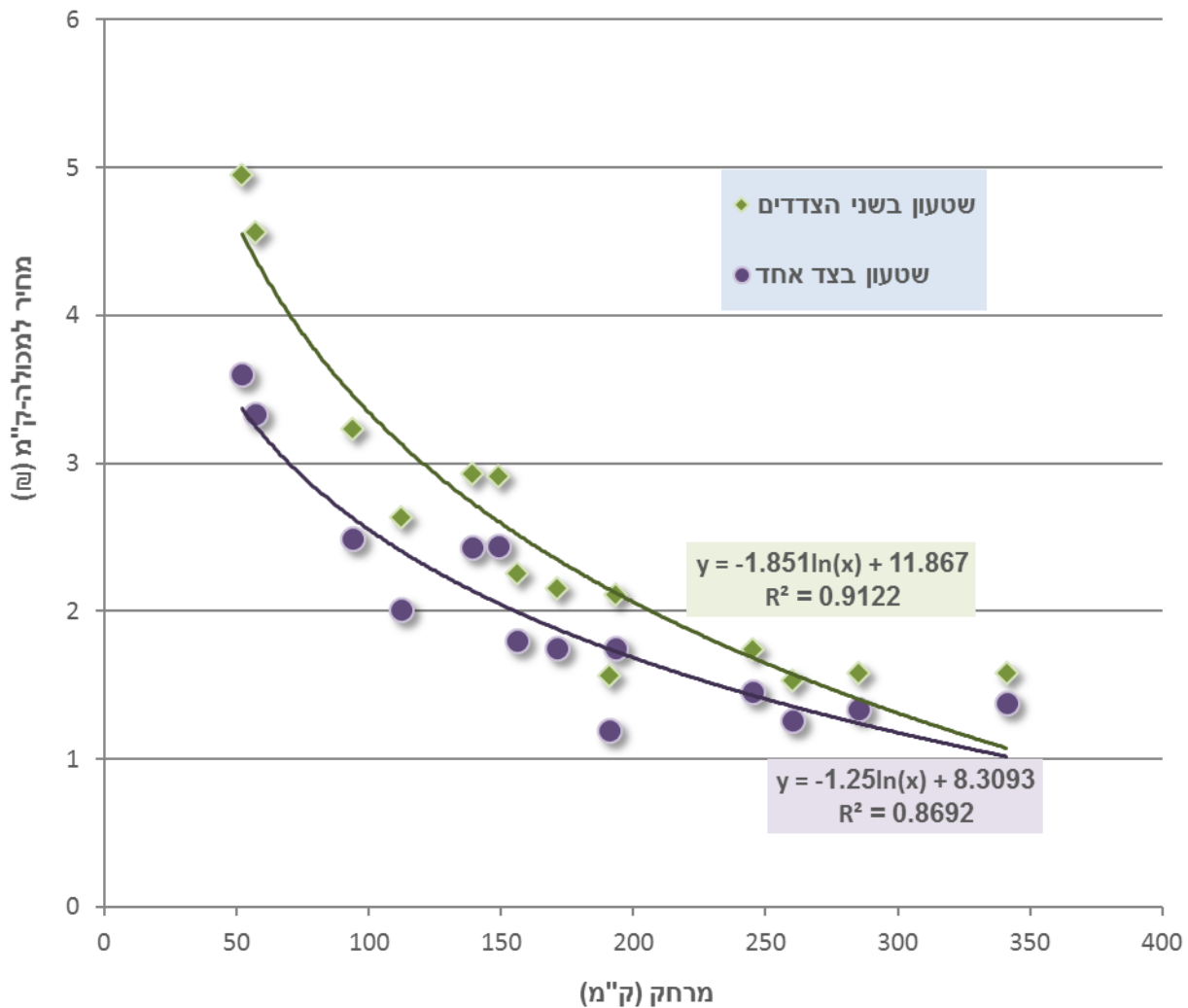
איור 7 - הקשר בין מחיר הובלת מכולה 20 רגל לבין מרחק ההובלה



מרחק ההובלה המינימלי וכן נק' החיתוך עם ציר המחיר כפי שהתקבלה מהרגרסיה (228 ש' כולל שטעונים), מראים שוב שאין כדאיות בהובלת מטען למרחקים קצרים ברכבת. מחיר ההובלה מתייקר ביחס של פחות מ 1 ש' לק"מ, כך שהובלות ארוכות משתלמות יותר. הצורך בשטעון המכולה מייקר את התהליך וחלקו מהעלות הכוללת גבוה מאוד במרחקי הובלה קצרים.

על סמך נתונים אלו, נבדק הקשר בין המחיר הנגבה ע"י הרכבת לטון-ק"מ של מכולה לבין מרחק ההובלה, בדומה לתחשיבים שהוצגו בתת סעיף הקודם והתבססו על העלויות הקבועות והמשתנות כפי שהתקבלו מהרכבת.

איור 8 - הקשר בין המחיר למכולה-ק"מ למרחק ההובלה בהובלת מכולה 20 רגל מלאה



מבנה הקשר שהתקבל מהתחשיב הנ"ל תואם לאלו שהוצגו באיורים 5 ו-6 ומתאר עלות לטון-ק"מ שפוחתת עם מרחק ההובלה וקצב שינוי שפוחת גם הוא. ממצא בולט נוסף הוא הפער במחיר אותו גובה הרכבת לעומת העלות אותה היא משלמת, ממצא המדגיש את הצורך בסבסוד ענף המטענים ברכבת.

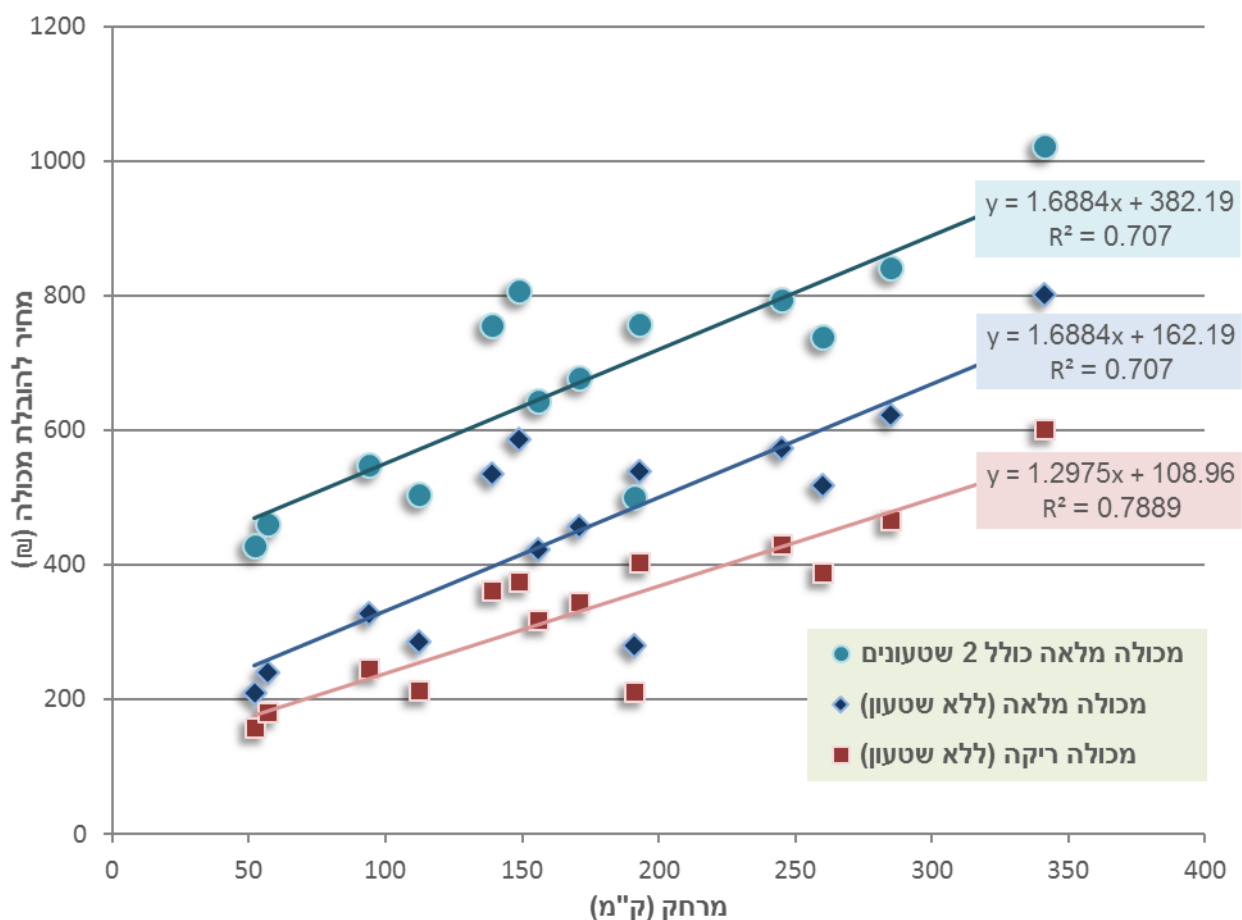
בהמשך למוצג לעיל, תחשיבים דומים על הובלת מכולות גדולות (40 רגל) יתוארו להלן.

לוח 11 - מחירי הובלת מכולה 40 רגל ברכבת בין מוצאים ויעדים שונים

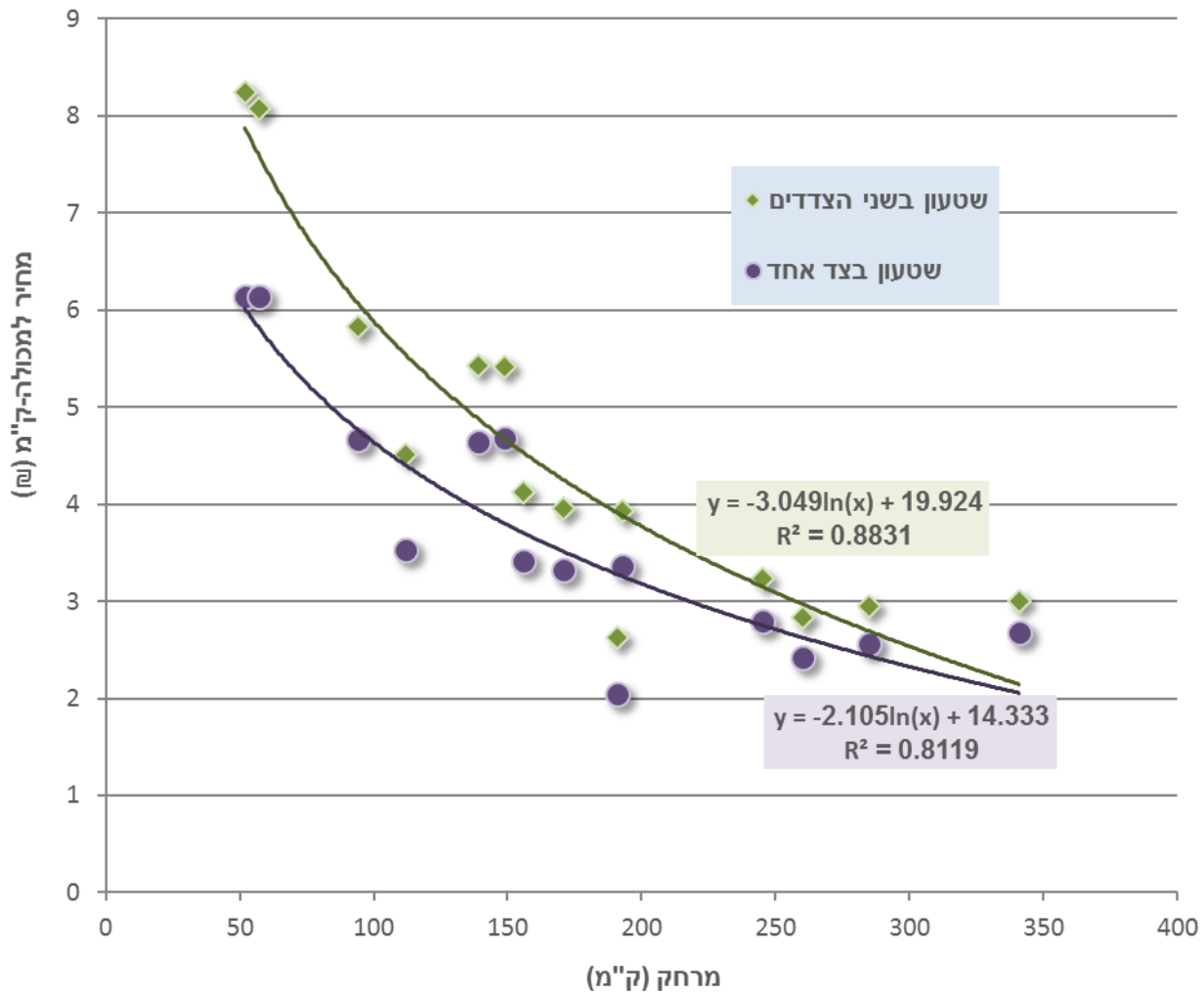
מוצא	יעד	מרחק (ק"מ)	מחיר למכולה מלאה (₪)	מחיר למכולה ריקה (₪)
נמל חיפה	אשדוד	149	587.12	375.59
מסוף דשנים	אשדוד	139	535.32	362.64
חיפה- שלוחות	חדרה	52	208.95	157.14
	בני ברק	94	328.1	246.07
	רמת חובב	260	518.05	388.54
	צפע	285	621.66	466.25
	צין	341	802.12	601.8
	דימונה	245	573.31	429.98
	חדרה	191	280.61	210.67
אשדוד- כלל השלוחות	בני ברק	57	240.03	180.45
	רמת חובב	112	284.93	214.13
	צפע	156	423.07	317.74
	צין	193	537.91	403.22
	צפע	171	457.61	343.64

* ללא עלויות שטעון הנדרשות ברוב המקרים.

איור 9 - הקשר בין מחיר הובלת מכולה 40 רגל לבין מרחק ההובלה



איור 10 - הקשר בין המחיר למכולה-ק"מ למרחק ההובלה בהובלת מכולה 40 רגל מלאה



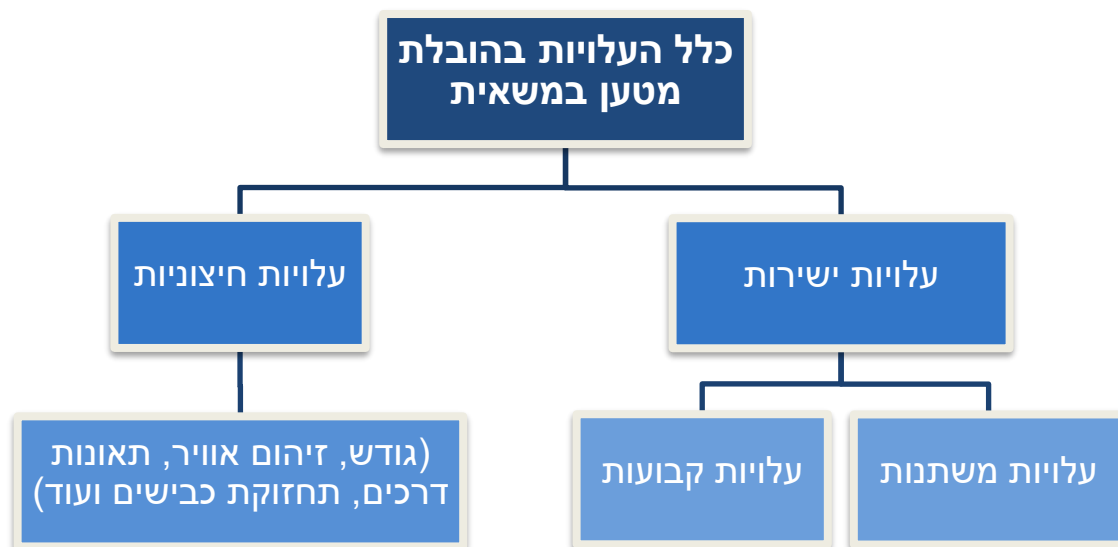
כאמור, מבנה הקשר בין המחיר למכולה-ק"מ לבין המרחק הינו במבנה של נגזרת ראשונה שלילית ונגזרת שניה חיובית, כשהמחיר יורד עם העלייה במרחקי ההובלה וקצב ירידת המחיר דועך. עוד בולטת השפעת השטעון במרחקי הובלה שונים.

4. עלויות הובלת מטען במשאיות

4.1 עלויות ישירות ועקיפות

מרבית המטענים מובלים בארץ (כנ"ל באירופה) במשאיות, כשבנסיעות קצרות השימוש בהן כמעט בלעדי. מנקודת המבט של מקבלי השירות בנסיעות אלו גם רמת השירות שלהן וגם המחיר עדיפים על הרכבת. בהובלות ארוכות המצב משתנה. המרחק המאזן בין יתרונות הרכבת ליתרון המשאיות מותנה בסוגי העלויות המובאות בחשבון ובמאפייני ההובלה. פרק זה יתאר בקצרה את סוגי העלויות בהפעלת משאית המובילה מטען, כאשר עלויות אלו יהוו את הבסיס להשוואת עלויות הובלה בין הרכבת למשאיות.

ההובלה במשאיות כרוכה בשני סוגי עלויות: ישירות וחיצוניות. עלויות ישירות המשולמות ע"י מספק השירות בהתאם להיקף ההובלה (כוללות עלויות קבועות ומשתנות בהפעלת משאית) ועלויות חיצוניות בהן לא נושא מספק השירות (במקרה זה חברות ההובלה) ואינן ממומנות ע"י מזמין ההובלה, אך משפיעות על כלל המשק בעקיפין (זיהום אוויר, תחזוקת כבישים וכו').



כלל העלויות הישירות להובלה במשאיות נלקחו מתחשיבי חברת 'חשב' לשנת 2015, ומתואמות גם עם ערכי נוהל פר"ת. תחשיבים אלו מפרטים את מרכיבי ההוצאות למשאיות מסוגים וגדלים שונים. לצורך ההשוואה הנידונה בעבודה זו רוכזו עלויות למשאית מטען ציר יחיד 2*6 במשקל כולל של 27 טון - סמיטריילר (יכולת העברת מטען מקסימלית של 43 טון לפי תקנות משרד התחבורה), משאית זו מסוגלת להוביל TEU 2 (מכולה אחת של 40 רגל או 2 מכולות של 20 רגל) ומהווה תחליף להובלת מכולות ברכבת. בלוח שלהלן מוצגות הוצאות ללא מיסים עקיפים שאינם מהווים הוצאה למשק (אגרת רישיון שנתית, מע"מ, בלו ועוד).

לוח 12 - הוצאות הפעלת משאית טיפוסית לפי תחשיב 'חשב' 2015 (בש"ח ללא מיסים עקיפים)

הוצאה לק"מ נוסף	הוצאה לק"מ	הוצאה חודשית	הוצאה שנתית	
	1.48	6,553	78,632	החזר הון
	0.08	353	4,234	ביטוח חובה
	0.32	1,405	16,862	ביטוח מקיף
0.67	0.67	2,981	35,767	תיקונים וחלפים
0.47	0.47	2,086	25,035	צמיגים
0.75	0.75	3,304	39,644	דלק (בניכוי מיסים)
0.13	0.13	595	7,138	שונות
2.02 ₪	3.90 ₪	17,277 ₪	207,312 ₪	סה"כ

* בסיס התחשיב: מחיר משאית- 469,931 ₪, צריכת דלק- 2.5 ק"מ לליטר, מחיר ליטר סולר- 1.87 ₪ ללא מע"מ ובלו, נסועה שנתית- 53,000 ק"מ, ללא עלויות שכר עבודה.

מלבד העלויות הישירות הנובעות מהובלת מטען באמצעי מסוים קיימות גם השפעות חיצוניות (כדוגמת זיהום אוויר, בטיחות, הפרעות למשתמשי דרך אחרים) שאינן באות לידי ביטוי בתחשיבי חברות ההובלה, אך מקבלות ביטוי בהוצאות למשק הלאומי, לוח 13 יפרט עלויות אלו.

לוח 13 – עלויות חיצוניות הנגרמות מהפעלת משאיות

הערות	משאיות	
עיקר תנועת המשאיות נעשית מחוץ לשעות הגודש ו/או מחוץ לאזורים גדושים.	המשאיות תורמות לגודש בדרכים ולעלויות הכרוכות בכך. הן תופסות בכביש מקום של 2 כלי רכב אקוויולנטיים במישור ועד ל 10 ויותר בדרך משופעת.	תרומה לגודש בדרכים
הביטוי לכך בעלויות התחזוקה השנתיות וכן בעלויות המיסעה ובגידול בצריכת הדלק כאשר ריבוד ותחזוקת הדרך מתעכבים.	המשאיות גורמות לעיקר הנזק למיסעות ולצרכי התחזוקה של מערכת הכבישים הבין-עירונית.	עלויות תחזוקת כבישים
הנזק הפוטנציאלי ברכבת לתאונה עלול להיות ניכר אך בהתחשב בהסתברות נמוכה לתאונה תוחלת הנזק נמוכה מאוד ביחס למשאיות.	עלות תאונות הדרכים במעורבות משאיות גבוהה, מוערכת ביותר מחצי מיליארד ₪ בשנה. נזק גבוה יחסית לתאונה. הביטוח מכסה רק מקצת מהעלויות למשק	עלות תאונות
צריכת הדלק לטון-ק"מ ברכבת נמוכה משמעותית ביחס למשאיות, וכך גם נזקי פליטת המזהמים.	נזק מפליטת "גז החממה" CO ₂ וכן מפליטת תחמוצות חנקן. פליטת מזהמים נוספים פחתה מאוד בעשור האחרון.	זיהום אוויר

4.1.1 תאונות דרכים

שיעור הנפגעים וכן שיעור ההרוגים מתאונות דרכים בהן מעורבות משאיות לרוב גבוה מחלקן של משאיות אלו במצבת כלי הרכב ובנסועה השנתית. חלקן של משאיות שמשקלן מעל ל 12 טון בכלל הנסועה היה כ 4% בשנים 2011-14. באותה תקופה נהרגו בכבישי הארץ 290 אזרחים בממוצע שנתי, מהם 44 כתוצאה מתאונה בה הייתה מעורבת משאית (15%). אמנם, במונחי תאונות חלקן של המשאיות נמוך מחלקן בנסועה: באותן שנים התרחשו בממוצע 62,912 תאונות דרכים עם נפגעים, מהן 1,482 במעורבות משאיות (2.4%). עם זאת, לתאונה במעורבות משאית יש חומרת יתר. יש לכך ביטוי בתחשיב של עלותן למשק. העלות הכוללת למשק מכלל תאונות הדרכים עם נפגעים בתקופה המנותחת נאמדת בממוצע בכ 9.3 מיליארד ₪ בשנה. מעלות זו 598 מיליון ₪ נגרמו ע"י משאיות (6.4%).

מעורבותן של משאיות בתאונות דרכים עם נפגעים פוחתת עם השנים כפי שניתן לראות בלוח 14, אך עדיין מדובר בעשרות הרוגים ואלפי פצועים כל שנה כתוצאה מתאונות במעורבות משאיות כבדות. הצלבת נתוני הלמ"ס עם רישומי בתי החולים מאפשרת לקבל מידע מהימן אודות היקף וחומרת הנפגעים.

לוח 14 - נפגעים ועלויות למשק כתוצאה מתאונות דרכים בהן מעורבות משאיות מעל 12 טון

שנה	נפגעים לפי חומרת הפגיעה						סה"כ תאונות	סה"כ נפגעים
	קל	בינוני	קשה	קשה מאוד	הרוגים			
2008	2,918	37	18	29	59	3,061	1,956	
2009	2,541	32	22	19	41	2,655	1,698	
2010	2,415	30	24	35	43	2,547	1,699	
2011	2,284	29	32	24	41	2,410	1,586	
2012	2,088	30	16	23	47	2,204	1,405	
2013	2,136	44	22	28	55	2,285	1,517	
2014	2,021	39	24	19	33	2,136	1,419	
סה"כ לשנים 2008-2014	16,403	241	158	177	319	17,298	11,280	
שנה	עלות למשק לפי חומרת התאונה (אלפי ש"ח)						סה"כ עלות למשק (אלפי ש"ח)	סה"כ תאונות
	קלה	בינונית	קשה	קשה מאוד	קטלנית			
2008	123,608	34,710	29,563	84,795	444,547	1,956	717,223	
2009	109,609	33,978	38,107	64,719	294,506	1,698	540,919	
2010	104,904	28,920	25,400	146,890	312,751	1,699	618,865	
2011	99,368	25,564	44,641	92,753	300,357	1,586	562,683	
2012	88,500	32,010	24,500	86,701	347,730	1,405	579,441	
2013	92,147	41,950	33,180	90,327	425,845	1,517	683,449	
2014	87,000	36,435	36,115	89,573	237,495	1,419	486,618	
ממוצע שנתי בשנים 2008-2014	100,734	33,367	33,072	93,680	337,604	1,611	598,457	

עלות התאונות מחושבת לפי ערכי נוהל פר"ת, מעודכן ל 2015. בלוח יש צבירה של עלות כל אחת מהתאונות לפי מספרי הנפגעים בהן ורמות החומרה, ותוספות בגין נזקי רכוש, עלויות טיפול ועוד.

למרות מגמת הירידה בהיקף התאונות והנפגעים (אם כי נתונים לא סופיים של 2015 מראים גידול בהיקף התאונות והנפגעים מפגיעת משאיות) העלות השנתית חושבה כממוצע העלויות השנתיות.

חלק מעלויות אלו משולמות ע"י חברות הביטוח באמצעות הביטוחים השונים, ומהוות חלק מהתמחיר שלהן. נראה להלן רק במרכיב הלא מבוטח של תאונות הדרכים כן עלות חיצונית למשק. נכון ליוני 2016, צי המשאיות הארצי כולל כ 36,000 משאיות במשקל כולל של 12 טון ומעלה, מהן רק 16,500 מסוגלות להוביל מטען במשקל של לפחות 15 טון ולהוות תחרות לרכבת. עלות הביטוח הממוצעת למשאית לפי 'חשב' היא כ 20,000 ₪ בשנה. לכן, ובסה"כ 330 מיליון ₪ בשנה. **העלות הלא מכוסה הנוותרת היא כ 268 מיליון ₪ לשנה וב 30 אג' לק"מ משאית.**

באשר לתאונות במעורבות הרכבת- ישנן מעט מאוד תאונות רכבת במעורבות משתמשי דרך נוספים, אך כאשר תאונה כזו מתרחשת הפגיעה לרוב קטלנית. בנתוני התאונות לא נמצא תיעוד לסוג הרכבת (נוסעים או מטען), בכל אופן היקף התאונות והנפגעים נמוך לאין שיעור מתאונות בהן מעורבות משאיות.

לוח 15 - נפגעים בתאונות דרכים במעורבות הרכבת עם כלי רכב אחר

שנה	סה"כ תאונות	מהן:	
		הרוגים	פצועים קשה
2008	3		1
2009	1	1	
2010	1	1	1
2011	6		1
2012	7		
2013	7		
2014	8	2	
סה"כ לשנים 2008-2014	33	4	3

מספר ההרוגים המצטבר בשבע השנים הוא 4, ואם נניח ש 2 מהם נפגעו מרכבות משא ערך זה נמוך פי 160 ביחס למשאיות (319 הרוגים). בפצועים קשה היחס הוא של 1:120. עלות התאונות ע"פ הלוח היא בממוצע 1.0 מיליון ₪ בשנה. לפיכך, במונחי עלות היחסים הם 1:600 לטובת הרכבת ועבור כל תנועת הרכבות. אם נניח שמחצית מהעלות נגרמה ברכבת בשל רכבות משא (ונראה לפי ק"מ- הרכבת שהרבה פחות מכך) היחס הוא 1:1,200. משתמע שעלות התאונות לק"מ-רכבת משא זעומה ביחס לק"מ משאית, ויחס זה עוד מתחדד בתחשיב לטון-ק"מ.

הלוח הבא מציג בהמשך השוואה ביחס הנפגעים (מכל דרגות הפגיעה) לנסועה השנתית בין משאיות לרכבת. סך הנפגעים ברכבת מתייחס לנפגעים ברכבות נוסעים ומטען גם יחד מאחר ובנתוני התאונות אין שיוך לסוג הרכבת.

לוח 16 - השוואת יחס הנפגעים לנסועה בין רכבות למשאיות

שנה	נסועת רכבות נוסעים ומטען (מיליוני ק"מ) ¹²	נפגעים מתאונות במעורבות הרכבת ¹³	נפגעים למיליון ק"מ	נסועת משאיות (מיליוני ק"מ) ¹⁴	נפגעים מתאונות במעורבות משאיות	נפגעים למיליון ק"מ
2011	10.28	46	4.47	1,603	2,410	1.50
2012	10.75	28	2.60	1,639	2,204	1.34
2013	11.62	23	1.98	1,708	2,285	1.34
2014	12.95	24	1.85	1,758	2,136	1.21
ממוצע שנתי	11.40	30	2.63	1,677	2,259	1.35

הלוח מתאר מגמת ירידה במספר הנפגעים למיליון ק"מ הן בתאונות במעורבות הרכבת והן במעורבות משאיות. עוד נראה כי שיעור הנפגעים ביחס לנסועה גבוה מאשר זה במשאיות, אך במונחי טון ק"מ השיעורים שונים בתכלית ושיעור הנפגעים ברכבת נמוך משיעור הנפגעים במשאיות וזאת מאחר שיחסי המשקל בין משאית לרכבת הם כ 1/70-1/30. נוסף על כך, השוואת נפגעים במעורבות רכבות מטען בלבד לנסועת רכבות המטען ככל הנראה תקטין את שיעור הנפגעים ביחס לנסועה ולטון-ק"מ.

כאמור, במונחי הנזק לק"מ, שלא לדבר על טון-ק"מ, היחס נוטה בצורה קיצונית ביותר לטובת הרכבת.

4.1.2 זיהום אוויר

קטרי רכבת וכן משאיות צורכים סולר. למרות שפליטת המזהמים מהסולר (וכן מבנזין) במגמת ירידה, עדיין השפעת הזיהום על המשק לא מבוטלת. עלות הזיהום מתחבורה בשנת 2016 צפויה להיות כ 4.4 מיליארד ₪, מתוכם 3 מיליארד ₪ כתוצאה משימוש בסולר. מתחילת המאה פחת מאוד הזיהום משאריות גופרית בדלק, פחת הזיהום מחלקיקי אבק מרחפים (SPM) ועוד. עיקר הזיהום כיום הוא מתחמוצות חנקן ופחמן דו חמצני. הפחמן הדו חמצני (CO₂) הוא תוצר ישיר של שריפת סולר באוויר (ככל דלק פוסילי) ולא ניתן להפחיתו במונחי פליטה לליטר, עם זאת ייעול בצריכת הדלק יאפשר פליטה נמוכה יותר לכל ק"מ. תחמוצות חנקן למיניהן (NO_x) נפלטות לסביבה כאשר גז החנקן, הנמצא באופן טבעי באוויר, מתחמצן בזמן שריפה בטמפרטורות גבוהות. הרחבה על העלויות החיצוניות למשק מזיהום אוויר מובאות בנספח 2.

מתחשיב שמפורט בנספח עולה כי עלות זיהום האוויר למשק כתוצאה משימוש ב 1 ליטר סולר היא ב 2016 1.00 ₪. למרות שייתכן שוני בין פליטת המזהמים ע"י מנועי הקטרים ובין הפליטה ממשאיות, עלות זו תהיה זהה בין שני אמצעי ההובלה בתחשיב שיוצג בהמשך בפרק 5.

עלויות זיהום האוויר באות לידי ביטוי בתחשיבים במסמך זה באמצעות תוספת של 1.00 ₪ למחירי הסולר המשולמים ע"י הרכבת ובעלי המשאיות. כשצריכת הסולר היא 0.40-0.45 ליטר לק"מ עלות הזיהום היא כ-0.40-0.45 ₪ לק"מ.

¹² לוחות 24.3 (שירותי רכבת) מהשנתונים הסטטיסטיים של הלמ"ס

¹³ נפגעים כתוצאה מתאונות רכבת עם משתמש דרך נוסף (כלי רכב כלשהו, רוכב אופניים או הולך רגל)

¹⁴ על סמך מכפלת צי המשאיות במשקל 12 טון ומעלה מלוחות 24.12 מהשנתונים הסטטיסטיים של הלמ"ס בנסועה ממוצעת של 53,000 ק"מ למשאית לפי עיבודים מפורטים של מתת לנתוני נסועת המשאיות שהועברו ב 2012-13 מאגף מערכות המידע במשרד התחבורה.

4.1.3 גודש בדרכים

המשאיות תורמות לגודש בדרכים, כשבמונחי תפוסת כביש האקוויולנט שלהן הוא 2 ומעלה כלי רכב פרטיים (עד 10 ויותר בדרך משופעת). הסטת הובלות לרכבת מפחיתה עלויות אלו. אמנם, שעות השיא בתנועת משאיות אינה חופפת לשעות השיא בתנועת כלי רכב פרטיים, אך עדיין, בשעות השיא באזורי הגודש קיימת תנועת משאיות התורמת לגודש.

במקביל, יכולה להיות הפרעה של רכבות מטען לרכבות נוסעים בקטעי מסילה בהינתן קיבולת נתונה של מסילה וביקוש משותף (נוסעים, מטען) גבוה יותר. אלא שלהבדיל מהמצב בכבישים התנועה במסילה מנוהלת, והפרעה כזו לא נוצרת בפועל. הפתרון הנוכחי לעודף הביקוש המסילתי הוא הסטת תנועת המטען ללילות. פתרון זה כמעט ולא קיים בענף המשאיות, תנועת המטען מעורבת עם תנועת הנוסעים, וכאמור תורמת לגודש.

לצורך הערכת הגודש הנגרם ממשאיות, שיהווה חלק מתחשיב השוואתי שיוצג בסעיף הבא, בוצעו הצבות תנועה על רשת הדרכים של המודל הארצי לשנת 2016 בנפחי תנועה ממוצעים לשעת שיא בוקר (9-6 בבוקר) באמצעות תוכנת ההצבה Emme. כאשר בתרחיש הבסיס נמדדו סך שעות הרכב והנסועה ברשת והושוּו לתרחיש נוסף בו "הורדו" מרשת הדרכים 250 משאיות שרובן יוצאות/מגיעות אל הנמלים חיפה ואשדוד (בשל חוסר הרגישות ובעיות בהתכנסות המודל כאשר מפחיתים משאיות בודדת בבדיקה הופחתו 250 משאיות בפריסה רחבה. התקבלה ההשפעה התנועתית למצב זה במונחי שעות רכב ונסועה והיא חולקה ל 250 לקבל השפעה של הפחתה למשאיות בודדת וכן לק"מ משאיות). התוצאות מוצגות בהמשך.

החיסכון בשעות הרכב והנסועה כתוצאה מהעברת מטען ממשאיות לרכבת מתחלק לשני מרכיבים עיקריים- ישיר ועקיף: החיסכון הישיר הוא של המשאיות עצמן אשר ירדו מהכביש ועלויות התפעול שנחסכו כתוצאה מהמהלך, החיסכון העקיף מתבטא בקיצור זמני הנסיעה לכלל משתמשי הדרך כתוצאה מהפחתת הגודש בכבישים.

כעיקרון, את השפעת הפחתת תנועת המשאיות על הגודש יש לבחון נקודתית למסלול הנסיעה והזמן בה הנסיעה נערכת. אפקט הפחתת תנועת משאיות בין אשדוד לחדרה על הגודש אינה דומה לזו שבין אשדוד לבאר שבע למרות המרחקים הדומים. האפקט הנ"ל גם שונה לגמרי אם הנסיעה מאשדוד לחדרה נערכת ב 7:00 או ב 11:00 בבוקר. אין משמעות להערכות על אפקט ממוצע של הגודש, אלא רק ליצירת כלי לחישוב נכון שלו בתנאים ספציפיים נבדקים. מטרתו של התחשיב שיוצג הינה רק להציג את "סדר הגודל" של התופעה.

כאמור, נבדקה השפעת הפחתת 250 תנועות של משאיות בשעות שיא הבוקר מטבלת המוצא-יעד של הנסיעות במודל הארצי, עם אוריינטציה עיקרית של הפחתת תנועת משאיות אל ומהנמלים.

בהצבות תנועה במודל הביקושים הארצי התקבל חיסכון של 364 שעות רכב (לכל משתמשי הדרך) בשעת שיא ממוצעת כתוצאה מהפחתת נסיעות של 250 משאיות בצירים מרכזיים (באותה שעת שיא). כשמבודדים את השינוי למשאיות אחת החיסכון קרוב ל 1.5 שעת רכב לכלל משתמשי הדרך. על בסיס חיסכון זה וערך הזמן למשתמשים התקבלה תועלת של 1.35 ש"ח לק"מ משאיות שנחסך כמפורט להלן.

$$\frac{364}{250} \times 1.6 \times 29 = 1.35$$

ערך זמן שעות ממוצע
 מקדם מילוי
 שעות רכב שנחסכות מהפחתת משאיות אחת בשעת שיא
 חיסכון בעלות הגודש כתוצאה מהפחתת משאיות אחת בשעת שיא. במונחי ש"ח לק"מ.
 נסועת משאיות בודדת בשעה

ערך הזמן לשעת נוסע חושבה לפי נוהל פר"ת כך:

מטרת הנסיעה	ערך זמן לשעה	התפלגות מטרות הנסיעה בבוקר	ערך זמן שעתי ממוצע
נסיעות בענייני עבודה	75.15 ש	13.3%	29 ש
נסיעות לעבודה וממנה	22.54 ש	80%	
נסיעות אחרות	15.03 ש	6.7%	

עלות גודש זו של 1.35 ש לק"מ הינה נקודתית והיא ממוצעת לקטעים בהם היא כ 10 ש לק"מ ויותר (בקטעים עמוסים של כביש 4) וקטעים בהם היא כמעט לא קיימת. עלות זו יותר ממכפילה את העלות החיצונית למשק של הובלה במשאיות הנאמדת ב 1.00 ש לק"מ ללא עלות הגודש.

הסעיף הבא מציג ניתוח אנליטי של הנושא ומלמד על טווח ערכים אפשרי מ 0 ועד לעשרות ש לק"מ מהפחתת משאיות מכבישים בין עירוניים כתלות ביחס נפח-קיבולת (V/C) השורר בכביש, ההמחשה תעשה ע"י שימוש בפונקציות קוניות המקובלות ע"י ה HCM^{15} לתיאור הגודש כתלות ביחס V/C. שווי החיסכון בזמן מחושב בהתאם לערכי נוהל פר"ת (לאחר הצמדת המחירים לשנת 2015), כשהובא בחשבון ערך של 29 ש לשעת נוסע שנחסכת, בחישוב גם נלקח מקדם של 1.6 נוסע ליר"מ שכבר הוצג לעיל.

4.1.3.1 המחשת השינוי בעלות הגודש בהתאם ליחסי נפח-קיבולת שונים

יחס נפח-קיבולת (V/C) הינו היחס בין מס' כלי הרכב (ביר"מ) המבקשים לעשות שימוש בכביש בזמן נתון- להלן הביקוש, אל מול קיבולת הכביש- כמה יר"מ יכול אותו כביש להכיל- להלן ההיצע. יחס זה הינו אחד הפרמטרים לקביעת רמת השירות של הכביש כמתואר בלוח שלהלן.

לוח 17 – רמות שירות ויחסי נפח-קיבולת

יחס נפח-קיבולת (V/C)	רמת שירות	תיאור
0.00-0.35	A	תנאי זרימה חופשיים.
0.35-0.58	B	זרימה טובה, אולם הנוכחות של כלי רכב אחרים מתחילה להשפיע.
0.58-0.75	C	ההשפעה של צפיפות התנועה על הנסיעה ברורה יותר.
0.75-0.90	D	היכולת לתמרן מוגבלת במידה רבה בגלל גודש תנועה.
0.90-1.00	E	מייצגת פעילות בקיבולת מלאה או קרוב לכך. כלי רכב פועלים במרווח מינימלי לשמירה על זרימה אחידה.
>1.00	F	זרימה מאולצת. מתרחשת כאשר כלי רכב מגיעים בקצב גבוה יותר מאשר קצב יציאתם או כאשר הביקוש החזוי עולה בהרבה על הקיבולת המחושבת של הדרך.

¹⁵ HCM- Highway Capacity Manual – מדריך לחישובי קיבולות ורמות שירות המקובל במדינות רבות ותורגם לעברית- [קישור](#)

ביטוי לקשר שבין המהירות בכביש לבין יחס ה V/C יתואר להלן באמצעות פונקציות קוניות¹⁶ כמקובל ע"י ה-HCM. להלן מבנה פונקציית הגודש:

$$f^c\left(\frac{v}{c}\right) = 2 + \sqrt{\alpha^2 \left(1 - \frac{v}{c}\right)^2 + \beta^2} - \alpha \left(1 - \frac{v}{c}\right) - \beta$$

כאשר $\beta = \frac{2\alpha - 1}{2\alpha - 2}$

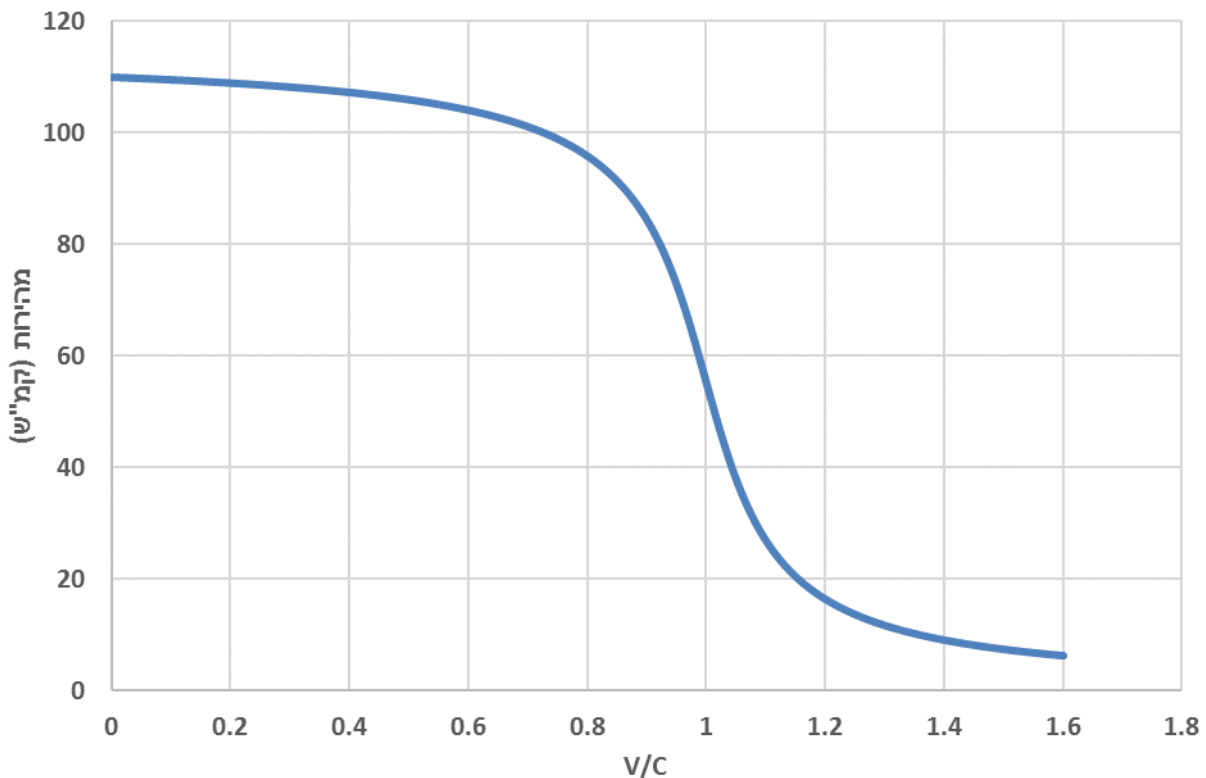
ו- α הוא פרמטר רגישות הפונקציה (במסמך זה נקבע על 14 בהתאם לעקרונות מקובלים).

$f^c(v/c)$ הוא זמן הנסיעה (במונחי דק' לק"מ) ביחס לזמן במהירות חופשית (110 קמ"ש בכביש דו מסלולי מישורי).

בסעיף זה נתאר את המהירות ומצב הגודש בדרך מהירה בעלת 3 נתיבים המשקפת קיבולת של 6,000 יר"מ בשעה ובה המהירות החופשית (מהירות בצפיפות ונפח מינימליים) היא 110 קמ"ש. כאשר הערך $f^c(v/c)$ הוא, לדוגמא, 2 המהירות תהיה 55 קמ"ש.

איור 11 מציג את המהירות כתלות ביחס הביקוש לקיבולת.

איור 11 – מהירות הנסיעה כתלות ביחס נפח-קיבולת על בסיס פונקציית הגודש



הערה- יחסי V/C הגדולים מ1 אינם מעשיים אם מתייחסים לנפח (V) הממשי בכביש, אך בהתייחסות לנפח המבקש להיכנס לכביש ניתן לבטא יחסי V/C הגדולים מ1.

מהלוח והאיור שהוצגו לעיל, ברור שהפחתת תנועה ביחסי נפח-קיבולת גבוהים תיטיב יותר עם זרימת התנועה מאשר הפחתה ביחסי V/C נמוכים (רמות שירות טובות). על בסיס פונקציית הגודש נעריך את התרומה הסגולית של הפחתת משאית אחת (2 יר"מ) מרשת הדרכים ונראה כי בנפחים שונים נקבל תועלות שונות.

הערכת התועלת תתבסס על מקדמים שנקבעו בסעיף 4.1.3 והם: מקדם מילוי של כלל התנועה בכביש- 1.6, ערך זמן של 29 ש לשעה.

מבנה הערכת התועלת: בנפח תנועה מסוים נפחית משאית בודדת (2 יר"מ) ונחשב את הפרש פלט הפונקציה אל מול תוצאת הפונקציה בנפח לפני ההפחתה. תוצרי הפונקציה הינם ביחידות של דק' לק"מ, לאחר המרת היחידות לשעה לק"מ נכפיל במקדם המילוי וערך הזמן במונחי כספיים וכן בנפח התנועה בכביש לאחר הורדת המשאית וכך נקבל את התועלת הכספית לק"מ מהורדת משאית אחת מרשת הדרכים.

דוגמאות לתועלת המתקבלת מהפחתת משאית אחת מוצגות להלן לפי נפחי תנועה שונים וממחישות את השונות הגבוהה בתועלת בין הנפחים שונים, מאגורות בודדות בנפחים נמוכים ועד עשרות שקלים בנפחים גבוהים.

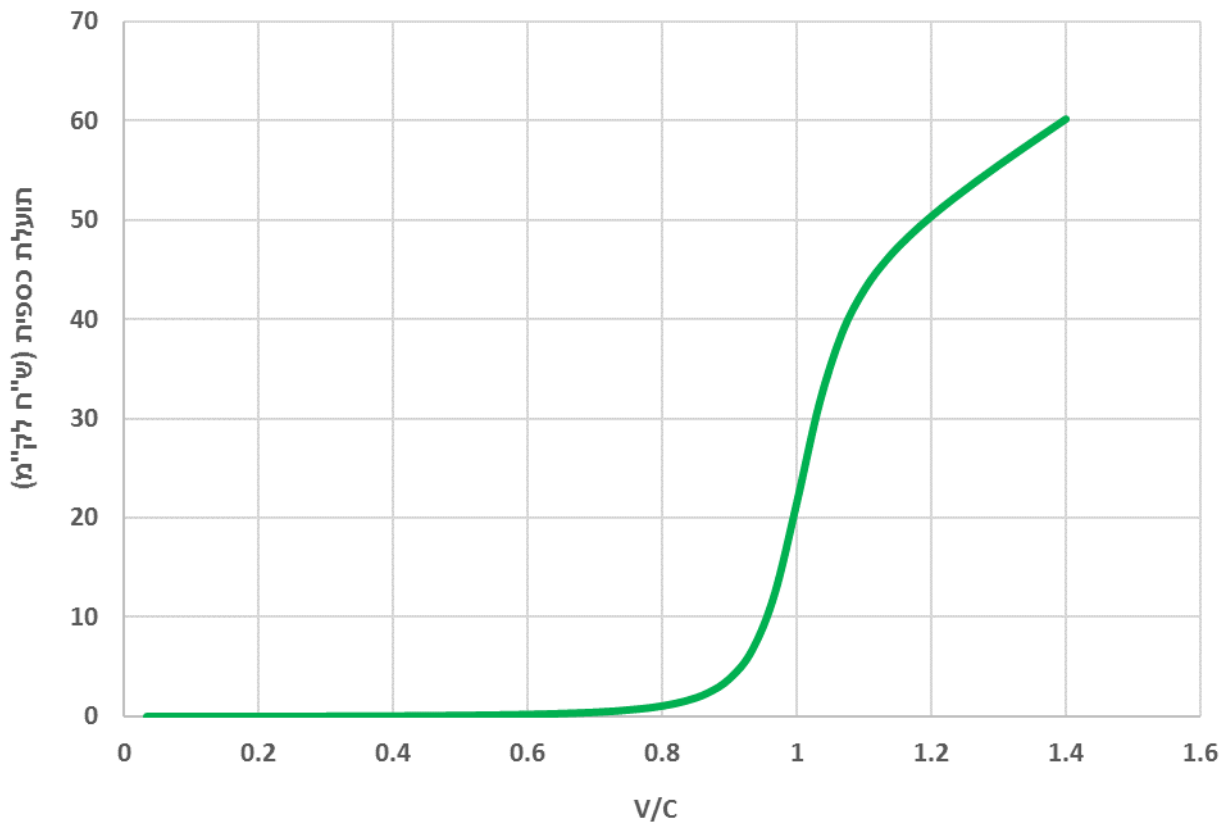
**לוח 18 – תועלת כספית לק"מ מהפחתת משאית אחת מרשת הדרכים בנפחים שונים
בכביש בין עירוני-תלת נתיבי (קיבולת של 6,000 יר"מ לשעה)**

נפח	V/C	זמן נסיעה במונחי דק' לק"מ	חיסכון לרכב [שעות רכב לק"מ]	חיסכון לכלל התנועה [שעות רכב לק"מ]	תועלת כספית [ש לק"מ] לפי מקדם מילוי 1.6 ברכב
2398	0.3997	1.02545	5.87E-07	0.001	0.07
2400	0.4	1.02549			
2998	0.4997	1.03810	8.41E-07	0.003	0.12
3000	0.5	1.03815			
3598	0.5997	1.05693	1.30E-06	0.005	0.22
3600	0.6	1.05701			
4198	0.6997	1.08788	2.27E-06	0.010	0.44
4200	0.7	1.08802			
4798	0.7997	1.14762	4.85E-06	0.023	1.08
4800	0.8	1.14791			
5398	0.8997	1.30372	1.53E-05	0.082	3.83
5400	0.9	1.30464			
5998	0.9997	1.99534	7.76E-05	0.465	21.60
6000	1	2.00000			
6598	1.0997	4.09623	1.40E-04	0.925	42.92
6600	1.1	4.10464			
7198	1.1997	6.73887	1.51E-04	1.085	50.33
7200	1.2	6.74791			

כאמור, קיימת שונות רבה בתועלת הכספית לק"מ מהפחתת משאית אחת בין נפחי התנועה השונים. תועלת של 1.35 ש לק"מ כפי שחושבה בסעיף 4.1.3 ובה יעשה שימוש בתחשיבים בדו"ח זה מתארת מצב מסוים של בו יחס V/C הוא 0.82, אין זה ערך ממוצע אך הוא משקף מצב תנועתי סביר במרכז הארץ, כשבשעות שיא היחס אף גבוה יותר בממוצע במסלולים לא ארוכים.

איור 12 מציג את התועלת מהפחתת משאית אחת מכבישים במצבי הצפיפות השונים המתוארים בלוח. העקומה ממחישה את התועלת הנמוכה עד יחס של 0.8 בין הביקוש לקיבולת ו"זינוק" של התועלת מנקודה זו. ביחס שכיח של 1.00 התועלת היא כ-22 ₪ לק"מ!

איור 12 - תועלת כספית מהפחתת משאית אחת מכביש בין עירוני-תלת נתיבי כתלות ביחס נפח-קיבולת



באיור מוצגת התועלת גם ביחסי V/C הגבוהים מ-1.2 שכנראה אינם מתקיימים הלכה למעשה מאחר ועודפי ביקוש אלו מוצאים מסלולים אלטרנטיביים לנסיעתם.

לסיכום, תועלת מהפחתת תנועה תלויה רבות בנפחי התנועה השוררים בכביש אשר משתנים בין האזורים השונים ושעות היום. אין ערך אחד שיכול לתאר נכונה את המצב בכל רשת הדרכים ובכל שעות היום, ובבדיקות ייחודיות יותר יש צורך לבחון את מצב התנועה באזור או בשעות הפעילות הרצויות ולפיהם לגזור את התועלת מהפחתת כלי רכב כלשהם מהרשת.

יש לציין, כי עלות הגודש (1.35 ₪ לק"מ) בה ייעשה שימוש בתחשיב בפרק 5 הינה ערך נקודתי שהתקבל על סמך הנחות ההצבה (שעת שיא ממוצעת ונסיעות בין הנמלים וסביבם). עלות זו אינה אחידה לכל מרחקי הנסיעה, במרחקי הובלה ארוכים רק חלק מהנסיעה תהיה באזורים גדושים והיתר באזורים בה הפרעת המשאית לתנועה פוחתת, לאור זאת, בתחשיב בפרק 5 תובא תופעת הגודש במבנה דיפרנציאלי כתלות במרחק הנסיעה.

4.1.4 תחזוקת תשתית

משאיות כבדות המהוות חלק קטן מהנסועה ברשת הכבישים הארצית (רוב הנסיעות מתבצעות ע"י כלי רכב פרטיים) גורמות למירב הנזק למיסעה מפאת משקלן הגבוה, הנזקים למיסעה גדלים בקצב עולה (שינוי אקספוננציאלי) עם משקלה של המשאית ובמדד מדויק יותר עם העומס (במיוחד העודף) על כל אחד מצירי המשאית. לכן, משאיות כבדות המסוגלות להעביר משקל רב הן הגורם העיקרי לנזקים במסעה. הערכת העלות

למשק כתוצאה מפגיעה בתשתית הכבישים נגזרה מעלות הריבוד השנתית כמוצג בתקציב השנתי של חברת נתיבי ישראל, עלות זו מתקציב 2016 עומדת על 430 מיליון ₪ כאשר ההערכה היא ש70% מהצורך בריבוד נגרם כתוצאה מפגיעת משאיות כבדות בתשתית, כשהיתר נגרם ע"י כלי רכב כבדים אחרים כדוגמת אוטובוסים וכן בשל פגעי מזג אוויר. בתחשיבים שיוצגו בפרק 5 ייעשה שימוש בעלות של 0.029 ₪ לטון-ק"מ (0.344 ₪ לק"מ) של משאית כביטוי לנזקי התשתית. החישוב התבסס על שיוך 70% מעלויות הריבוד השנתיות בחלוקה לנסועה השנתית של כלל המשאיות הכבדות (16,500 משאיות המסוגלות להעביר מטען של 15 טון ויותר כפול 53,000 ק"מ נסועה שנתית למשאית) וזאת ביחס למשקל מטען ממוצע של 11.7 טון בהתחשב בשני כיווני הנסיעה כשלרוב בכיוון השני המשאית חוזרת ריקה.

בדומה לכבישים, גם ברשת המסילות הארצית רוב השימוש מבוצע ע"י רכבות נוסעים, אך הפגיעה במסילה נגרמת בעיקר ע"י רכבות משא. מנתוני הרכבת, תחזוקת המסילה מתבטאת בעלות של 0.019 ₪ לטון-ק"מ.

5. הערכת החיסכון למשק מהובלת מכולות ברכבת לעומת משאיות

5.1 תחשיב לפי פרמטרים שונים

מושגות להלן העלות הכוללת למשק בהובלה מסילתית ובהובלה באמצעות משאיות. זו השוואה מורכבת המביאה בחשבון עלויות ישירות התלויות בסוג ואמצעי ההובלה והמשולמות ע"י המובילים, וכן עלויות חיצוניות המשפיעות על המשק הלאומי, אך לא ע"י המובילים.

כפי שהוצג באיור 5, העלות לטון-ק"מ קטנה ככל שמרחק ההובלה גדל, כשקצב השינוי גם כן פוחת עם המרחק (נגזרת ראשונה שלילית ונגזרת שניה חיובית). התחשיב הבא נועד לבחון את התועלת הכספית למשק מהובלת מטען ברכבת במקום במשאיות כתלות במרחק ובפרמטרים נוספים.

ערכים כלליים בתחשיב:

- מספר המשאיות המסוגלות להעביר מטען נטו של 15 טון ומעלה הוא כ 16,500 משאיות (סוף 2015)
- הנסועה השנתית הממוצעת של משאית כזו הינה 53,000 ק"מ (לפי ניתוח מפורט של נתוני נסועה)
- משאית מובילה לרוב מכולה טעונה בכיוון אחד וריקה בכיוון השני. משקל מטען ממוצע במשאית הינו 11.7 טון בהתחשב בשני כיווני הנסיעה.
- עלויות זיהום האוויר הן עלויות חיצוניות המשותפות לרכבת ולמשאיות גם יחד ובאות לידי ביטוי כתוספת של 1 ₪ לליטר סולר (אך הצריכה לטון ק"מ גבוהה בהרבה במשאיות)

תועלת כתוצאה מהפחתת גודש לכלל משתמשי הדרך:

על בסיס התחשיב בסעיף 4.1.3, עלות הגודש משתנה כתלות במרחק הנסיעה שכן במרחקי נסיעה ארוכים חלק ניכר מהדרך אינו מבוצע באזורים גדושים, לעומת מרחקי נסיעה קצרים שבם ההנחה היא שרוב הנסיעה מתבצעת בגודש כאשר מבצעים אותה בשעת שיא ממוצעת. לפיכך, עלות הגודש בש"ח לטון-ק"מ כפונקציה של מרחק הנסיעה הינה פונקציה מפוצלת המתוארת כדלקמן:

$$\begin{array}{ll} \text{כאשר } w \text{ הוא המשקל בטון} & \frac{1.35}{w} \\ \text{ו- } d \text{ הוא מרחק הנסיעה בק"מ} & \text{במרחקים עד 30 ק"מ} \\ & \frac{1.35}{w} - 0.0002(d - 30)^{0.95} \\ & \text{במרחקים הארוכים מ 30 ק"מ} \end{array}$$

תועלת כתוצאה מהפחתת תאונות דרכים:

עלות שנתית למשק מתאונות במעורבות משאיות כבדות ¹⁷	268 מיליון ₪
נסועה שנתית לכלל המשאיות הכבדות	874.5 מיליון ק"מ
חיסכון כספי מהפחתת תאונות דרכים לק"מ	30.6 אג' לק"מ
חיסכון כספי מהפחתת תאונות דרכים לטון-ק"מ	2.62 אג' לטון-ק"מ

תועלת כתוצאה מהפחתת נזקים למיסעה:

עלות שנתית למשק מתחזוקת מיסעות ¹⁸	301 מיליון ₪
נסועה שנתית לכלל המשאיות הכבדות	874.5 מיליון ק"מ
חיסכון כספי מהפחתת נזקים למיסעה לק"מ	34.4 אג' לק"מ
חיסכון כספי מהפחתת נזקים למיסעה לטון-ק"מ	2.94 אג' לטון-ק"מ

ממצאי התחשיב לעיל אוחדו עם נתוני עלויות תפעול והובלה ממחירון 'חשב' לשנת 2015 והוצלבו עם תחשיב עלויות הובלת מטען ברכבת כפי שהוצג באיור 5 בדו"ח זה, בכדי ליצור השוואת עלויות וכדאיות בהובלת מטען בשני האמצעים עפ"י מרחק, העלויות שהתקבלו מתואמות עם ערכי נוהל פר"ת לעלויות תפעול משאיות (בערכי נוהל פר"ת אין דיפרנציאציה לפי משקל המשאיות).

להלן נוסחאות לעלויות ההובלה ברכבת ובמשאיות כתלות באורך ההובלה.

C^1 - עלות לטון-ק"מ ברכבת להובלת מטען מלא של מכולות לכיוון אחד

$$C^1_{(D,W)} = [422 \cdot 2 \cdot \frac{20}{60} \cdot p_1 + 313 \cdot \frac{D}{30} + 2(70+110)p_1 + 3.9D + 0.14 \cdot p_1 \cdot D + 0.019 \cdot W \cdot D + 36 \cdot D + 5.01(1+p_2)D] / (D \cdot W)$$

עלות שנתית של צוות ניהול

עלות שעתית של צוות עובדים בזמן קצה

20 דק' לקרון

מהירות נסיעה ממוצעת

עלויות שטעון מכולות

תחזוקת קטר לק"מ

תחזוקת קרון לק"מ

תחזוקת מסילה לטון-ק"מ

עלויות תקורה לק"מ

צריכת דלק (ליטר לק"מ)

עלות חיצונית מזיהום אוויר לליטר סולר

כאשר W - משקל כלל המטען ברכבת, D - מרחק הנסיעה

p_1 - מס' הקרונות $W = p_1(18+36)$ - ובכל קרון מכולה קטנה ומכולה גדולה

p_2 - מחיר ליטר סולר בניכוי מע"מ ובלו

C^2 - עלות לטון-ק"מ ברכבת להובלת מטען מלא בצובר לכיוון אחד (לא מוצג באיור)

$$C^2_{(D,W)} = [422 \cdot 2 \cdot \frac{20}{60} \cdot p_1 + 313 \cdot \frac{D}{30} + 2 \cdot 50 \cdot p_1 + 3.9D + 0.14 \cdot p_1 \cdot D + 0.019 \cdot W \cdot D + 36 \cdot D + 5.01(1+p_2)D] / (D \cdot W)$$

כאשר p_1 - מס' הצוברים $W = p_1 \cdot 60$ - ובכל קרון מכולה קטנה ומכולה גדולה

C^3 - עלות לטון-ק"מ להובלת מטען במשאית ללא עלויות חיצוניות

$$C^3_{(D,W)} = [1 \cdot 2 \cdot 60 + 60 \cdot \frac{D}{50} + 3.15D + 0.4 \cdot p_2 \cdot D] / (D \cdot W)$$

עלויות תפעול לפי 'חשב' ללא עלויות דלק (לוח 12)

שעות קצה

שכר שעת לנהג

מהירות נסיעה ממוצעת

צריכת דלק (ליטר לק"מ)

מחיר ליטר סולר בניכוי מיסים

¹⁷ כמחצית מכלל המשאיות מעל 12 טון (משקל כולל) מסוגלות לשאת מטען נטו של 15 טון ומעלה.

¹⁸ מקור: תקציב נתיבי ישראל לשנת 2016. שיוך של 70% מכלל תקציב הריבוד לנזקים הנגרמים ממשאיות כבדות.

C^4 - עלות לטון-ק"מ להובלת מטען במשאית עם עלויות חיצוניות (ללא עלות גודש)

$$C^4_{(D,W)} = [1 \cdot 2 \cdot 60 + 60 \cdot \frac{D}{50} + 3.15D + 0.4 \cdot (1 + p_2) \cdot D + 0.306D + 0.344D] / (D \cdot W)$$

עלות חיצונית
מזיהום אוויר
לליטר סולר

עלות חיצונית
מנזקי תאונות
דרכים

עלות חיצונית
מנזקי תשתית

C^5 - עלות לטון-ק"מ להובלת מטען במשאית עם עלויות חיצוניות (עם עלות גודש)

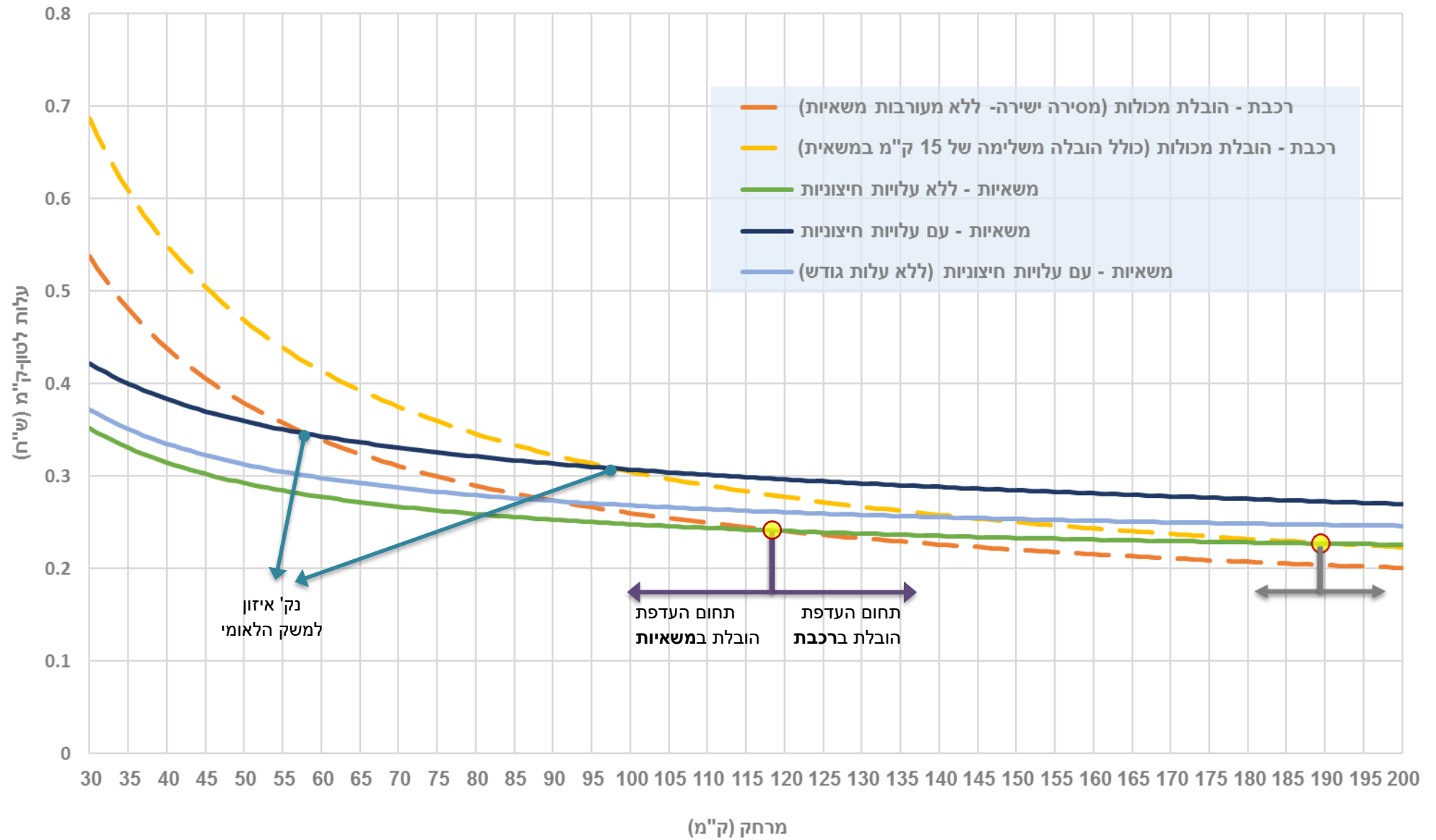
$$C^5_{(D,W)} = [1 \cdot 2 \cdot 60 + 60 \cdot \frac{D}{50} + 3.15D + 0.4 \cdot (1 + p_2) \cdot D + 0.306D + 0.344D] / (D \cdot W) + \begin{cases} 1.35/W & \text{while } D \leq 30 \text{ km} \\ 1.35/W - 0.0002(D-30)^{0.95} & \text{else} \end{cases}$$

עלות הגודש משתנה
בהתאם למרחק

איור 13 שלהלן מציג את הקשר בין מרחק ההובלה לבין העלות לטון ק"מ בהובלה ע"י הרכבת (הובלת מכולות והובלה בצובר לכיוון אחד עם מטען מלא) והובלה באמצעות משאיות עם הפרדת העלויות החיצוניות. האיור מבוסס על הפונקציות לעיל.

האיור מבוסס על סדרת הנחות המוצגת בהמשך, אך תחילה על הנחה שבין אזורי מוצא ויעד יש מספיק מטען להעמסת רכבות שלמות ובלו"ז קבוע. בהובלות בהיקפים קטנים ובלו"ז לא קבועים לא ניתן כלל להשתמש ברכבת.

איור 13 - הקשר בין מרחק ההובלה לעלות לטון-ק"מ לפי אמצעי



מאחר ובחלק לא מבוטל של הובלות המטען ברכבת נדרשת הובלה משלימה של משאיות (בין המוצא למסוף המטענים ו/או ממסוף המטענים ליעד הסופי) נבחנה גם האפשרות של הובלה מסילתית עם הובלה משלימה במשאיות של 15 ק"מ, כצפוי הובלה משלימה מייקרת את עלויות ההובלה למשק. יש להדגיש שמדובר במרחק נוסף של הובלת המטען, דהיינו כאשר המרחק במשאית בין המוצא ליעד הוא, לדוגמא 75 ק"מ, המרחק בהובלה משולבת יהיה 90 ק"מ: 75 ק"מ ברכבת + 15 ק"מ במשאית. גם אם אין זה כך, דהיינו התארכות המסלול הכולל נמוכה יותר יש לזכור שמחיר הובלה קצרה במשאית משקף בעיקר את עצם התייצבות המשאית למשימה ואת עלויות הקצה שלה, ואלה קיימים גם אם המרחק הנוסף קצר יותר.

5.2 ניתוח התוצאות

באיור לעיל ניתן לראות שנקודת האיזון בין הובלת מכולות באמצעות הרכבת לבין הובלה באמצעות משאיות נמצאת במרחקי הובלה סביב 120 ק"מ לכיוון בהובלה ברכבת בלבד (מעט נמוך מהמרחק הממוצע בהובלת מטען ברכבת כפי שהוצג באיור 3) ו 190 ק"מ בהובלה שדורשת ש 15 ק"מ מהמרחק יבוצע באמצעות משאיות. זאת כאשר משווים לעלויות הישירות של המשאיות ולא לוקחים בחשבון את העלויות החיצוניות שנגרמות עקב נסועתן. במרחקים קצרים יותר ישנה עדיפות ברורה להובלה במשאיות (עלות לטון-ק"מ קטנה יותר) וכשמרחקי הנסיעה מתארכים הובלה ברכבת כדאית יותר. מרחק ההובלה הממוצע של מכולות ברכבת היה בפועל בשנת 2015 בטווח המתואר לעיל: 157 ק"מ.

כאשר כוללים גם את העלויות החיצוניות למשק, לרבות עלויות גודש ממוצעות, נקודת האיזון בין עדיפות הובלה ברכבת ביחס להובלה במשאיות ממוקמת במרחקי נסיעה סביב 60 ק"מ במסירה ישירה ובכ 100 ק"מ בהובלה משולבת הכוללת תנועת משאית קצרה.

אך האם האיור מלמד על כך ששיקולי בעלי המטען, שאינם נושאים בעלויות חיצוניות, אינם דומים לשיקולי המשק בבחירת אמצעי ההובלה? – לא בהכרח. **סובסידיה להובלה ברכבת (שתוארה בסעיף 2.4), ושהייתה בגובה של כ 15 אג' לטון ק"מ ב 2015, ומאידך בלו על הסולר (חל גם על הרכבת, אך בהשפעה פחותה), מתעדפים את הרכבת בכ 19 אג' לטון ק"מ בממוצע (כ 1 אג' לטון-ק"מ ברכבת, כ 5 אג' לטון ק"מ במשאית), ואמורים להשפיע על תמחיר הרכבת (בכיוון של הוזלת המחיר ללקוח) והפוך מכך על לקוחות חברות ההובלה במשאיות. תיעדוף זה גבוה בממוצע מהעלות החיצונית של ההובלה במשאיות שאינן מהוות חלק מתמחירן.**

לדוגמא: בהובלת מכולות למרחק של כ 130 ק"מ ברכבת (עם הובלת מישנה במשאית) העלות הממוצעת שחושבה לטון ק"מ היא כ 32 אג' לטון-ק"מ. העלות הישירה של המשאיות רק 27 אג' לק"מ, אך עם עלויות חיצוניות: כ 35 אג' לטון ק"מ. אולם, הרכבת יכולה להוזיל את העלות ללקוח ב 14 אג' לטון ק"מ (סובסידיה 15 אג' לטון ק"מ, מס 1 אג' לטון ק"מ) דהיינו ל 18 אג' לטון ק"מ, על המשאית מוטל מס בשיעור של כ 5 אג' לטון ק"מ, ועל כן העלות במשאית היא 32 אג' לטון-ק"מ.

כלומר יש בפועל עודף תיעדוף של הרכבת: במקרה זה של 19 אג' לטון-ק"מ כשיש הצדק רק ל 7 אג' לטון ק"מ.

הסיבות לשימוש החלקי ברכבת, כשיש לה, לכאורה, יתרון ניכר ב"עלויות הייצור" מול האמצעי המתחרה רבות:

- תשתית חסרה
- פיזור מטענים בין מוצאים ליעדים, וכמויות קטנות בין מוצא ליעד שאינם מאפשרים מילוי רכבות.
- הבדלים בטיב השירות, גמישות לשינוי לו"ז ועוד, הנוטים לרוב בבירור לטובת המשאיות.

יש לציין שתועלתם של הצרכנים מהווה חלק מהתועלת למשק (או עלויות הנגרמות לצרכנים בשל בעיות ברמת השירות הן חלק מהעלות למשק), אם כי קשה ל"מדל" תועלות אלו ולבטאם כמותית. ככל שישתפר שירות הרכבת, יוכל להיעשות בכל שעות היממה, להיות עם רזרבת היצע מספיקה לעמוד בגידול זמני בביקוש וכו' יצטמצם יתרון זה של המשאיות. בכל מקרה בפועל נקודות האיזון הכלליות מתקיימות במרחקים מעט גדולים מהמתואר באיור.

5.3 שימוש במקדמי העבודה לבדיקות כדאיות הסטת מטענים לרכבת

ניתן להיעזר בנתונים בדו"ח זה על מנת להכיר את העלויות למשק כתוצאה מהובלה ברכבת וכן במשאיות, ובנוסף להעריך את היתרון היחסי של הובלת מטען ברכבת מול משאיות ולהיפך.

בחינת עלות תועלת לפי נוהל פר"ת של הסטת מטענים ממשאיות לרכבת תוכל להיעזר בממצאי הפרק האחרון באופן הבא:

- שימוש בפונק' עלויות ההובלה ברכבת לפי הנוסחאות בפרק 5.
- שימוש בפונק' העלויות במשאיות לפי הנוהל, המטמיעות בתוכן את גם את חלק מהעלויות החיצוניות: עלות הנזק למיסעה ועלות זיהום האוויר (שנכלל במחיר הסולר).
- הוספת עלות תאונות דרכים לעלויות המשאיות: כ 30 אג' לק"מ. רצוי להתאים לנתוני תאונות במעורבות משאיות במסלול הנבדק.
- חישוב התועלת משינוי בגודש/ הקלת העומס בדרכים על פי תוצאות הצבות התנועה בהתאמה לתנאי הבדיקה (לפי היקף ההובלות, אורכן, תקופות יום, מסלולים).

באופן כללי התובנה ממתואר בפרק זה היא שהתועלת השוטפת למשק מהובלת מטען ברכבת יכולה להתקיים בהובלות קצרות (ושכיחות) ביחס לנוכחיות הנעשות בה כשמביאים בחשבון עלויות חיצוניות של הובלה ברכבת. עם זאת, אין הרכבת ממצה את יתרונה היחסי בשל מחסור בתשתית ונייד, קושי להתמודד עם המשאיות ברמת השירות וגמישותה, ועוד.

ככל שהגדלת היקף ההובלות ברכבת כרוכה בהשקעות בתשתית יש לבדוק אם יתרונותיה שפורטו לעיל מצטברים בתנאי הבדיקה להיקפים המצדיקים את ההשקעה הנדרשת.

נספחים

נספח 1 - מחירון הובלת מכולות בין מסופי ושלוחות הרכבת (05/2016)¹⁹

מוצא	יעד	20 רגל רגילה	20 רגל כבדה	20 רגל ריקה	20 רגל חומ"ס	20 רגל ריקה חומ"ס
נמל חיפה	אשדוד	293.56	310.83	188.23	406.50	315.04
מסוף דשנים	אשדוד	267.66	276.29	181.32	372.31	299.33
חיפה- שלוחות ²⁰	חיפה- שלוחות	112.24	120.88	84.61	156.13	117.33
	חדרה	117.42	129.51	88.07	-	-
	בני ברק	164.05	181.32	123.47	-	-
	רמת חובב	259.03	271.98	194.27	398.18	298.41
	צפע	310.83	328.10	233.12	465.62	349.22
	צין	400.63	441.21	300.47	558.01	418.51
	דימונה	286.65	302.20	214.99	429.59	322.43
	חדרה	376.45	401.49	282.34	398.18	298.41
אשדוד כלל שלוחות	אשדוד כלל שלוחות	103.61	116.56	77.71	144.12	108.09
	נמל חיפה	293.56	310.83	188.23	406.50	315.04
	מסוף דשנים	267.66	276.29	181.32	372.31	299.33
	חדרה	158.87	174.41	119.15	-	-
	בני ברק	120.02	132.10	89.80	-	-
	רמת חובב	155.42	164.05	116.56	243.90	182.92
	צפע	211.54	224.49	158.87	327.97	245.75
	צין	268.52	296.15	202.04	374.16	280.85
בני ברק	צפע	228.81	237.44	171.82	-	-
דימונה	צפע	58.71	64.76	44.03	-	-
רמת חובב	צפע	99.29	104.47	74.25	155.21	116.41
רמת חובב	בני ברק	170.09	179.59	127.79	266.99	200.48

¹⁹ המחירים בשקלים ואינם כולל עלויות שטעון בכל אחד מקצות המסלול.

²⁰ חיפה שלוחות- מסוף דשנים, קישון, אוברסיז.

מוצא	יעד	40 רגל רגילה	40 רגל ריקה	40 רגל חומ"ס	40 רגל חומ"ס ריקה	45 רגל מלאה	45 רגל ריקה
נמל חיפה	אשדוד	587.12	375.59	812.99	630.99	660.51	422.21
מסוף דשנים	אשדוד	535.32	362.64	744.63	598.66	602.67	408.40
חיפה- שלוחות	חיפה- שלוחות	224.49	168.37	312.26	234.66	252.98	189.09
	חדרה	208.95	157.14	-	-	234.85	176.14
	בני ברק	328.10	246.07	-	-	369.54	277.16
	רמת חובב	518.05	388.54	796.37	597.74	582.81	436.89
	צפע	621.66	466.25	931.25	698.44	699.37	524.96
	צין	802.12	601.80	1115.10	837.01	902.27	676.92
	דימונה	573.31	429.98	859.19	643.93	644.97	483.51
	חדרה	727.00	545.68	796.37	597.74	817.66	613.03
אשדוד כלל שלוחות	אשדוד כלל שלוחות	207.22	155.42	288.24	216.18	233.12	175.27
	נמל חיפה	587.12	375.59	812.99	630.99	660.51	422.21
	מסוף דשנים	535.32	362.64	744.63	598.66	602.67	408.40
	חדרה	280.61	210.67	-	-	316.01	236.58
	בני ברק	240.03	180.45	-	-	270.25	202.90
	רמת חובב	284.93	214.13	487.80	365.85	320.33	240.03
	צפע	423.07	317.74	655.94	492.42	475.74	356.59
	צין	537.91	403.22	748.32	560.78	605.26	453.29
בני ברק	צפע	457.61	343.64	-	-	514.60	385.95
דימונה	צפע	104.47	78.57	-	-	117.42	88.07
רמת חובב	צפע	182.18	136.42	311.34	233.74	204.63	153.69
רמת חובב	בני ברק	311.69	233.99	533.99	400.95	350.55	263.34

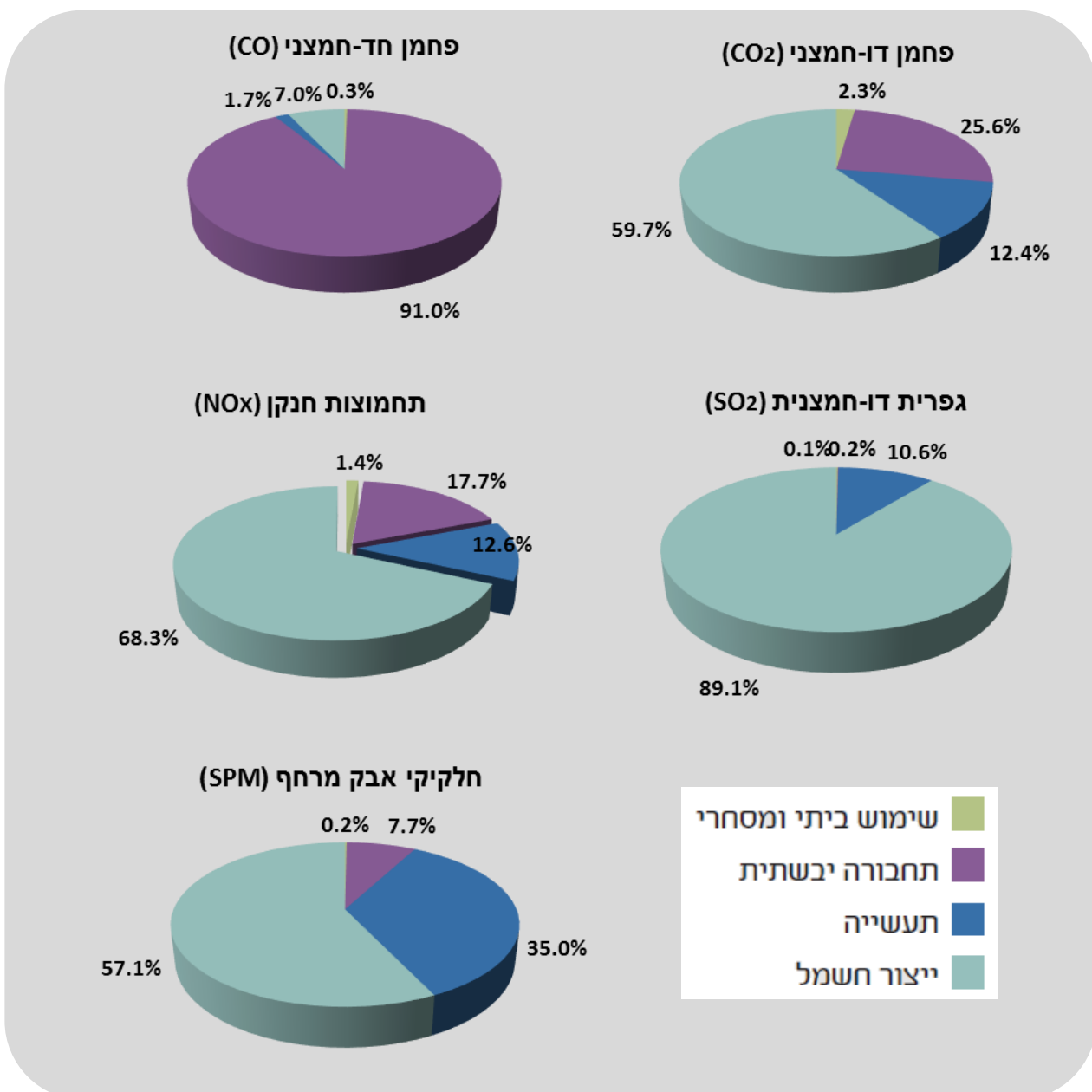
נספח 2 - עלויות חיצוניות מנדקי זיהום אוויר

א. מידע כללי

עקב שריפת הדלקים בכלי הרכב נפלטות לאוויר מזהמים. בשריפה מושלמת של דלק פוסילי בכל צורותיו (בנזין, סולר, גז) נפלטות אדי מים ודו תחמוצת הפחמן – CO_2 בלבד. עקב קיום שאריות של גופרית, חנקן ומרכיבים כימיים אחרים בדלק וכן משריפה לא מושלמת של הדלק נוצרים מזהמים נוספים (פחמן חד חמצני, תחמוצות חנקן- NO_x ותחמוצות גופרית- SO_x). מזהמים אלו גורמים לתחלואה, לקורוזיה, וכנטען להתחממות כדור הארץ עקב הצטברות דו תחמוצת הפחמן המכונה "גז החממה".

עם זאת, זיהום מכלי רכב הוא אחד המקורות לזיהום האוויר. מקורות זיהום כבדים יותר בארץ הם ייצור החשמל והתעשייה, כמוצג באיור הבא.

איור 1: מקורות זיהום האוויר בישראל - פליטת מזהמים לפי מגזרים - נתוני 2014



לוח 27.6 בשנתון הסטטיסטי, מקור: נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה 2014

ב. צמצום פליטת המזהמים מכלי רכב

פליטת המזהמים מכל המקורות פוחתת, ובתחום התחבורה הירידה משמעותית במיוחד. לתהליך זה שתי סיבות:

1 שיפור באיכות הדלק ע"י הוצאת מרבית המרכיבים הזרים שהיו בו- עופרת, גופרית (שרק שארית קטנה מאוד ממנה נותרה) ועוד.

2 ממירים קטליטיים והתקנים אחרים, ותקינה הולכת ומחמירה לכלי רכב חדשים המיועדת להפחתת הזיהום. היא הפחיתה מאוד את פליטת הפחמן החד חמצני (CO) ומזהמים אחרים.

במונחים של זיהום לק"מ נסיעה, חלה ירידה במזהמים גם עקב התייעלות המנועים וצריכה נמוכה של דלק לק"מ בכלי רכב חדשים, דבר שמקטין גם הוא את פליטת המזהמים. עם זאת, במונחים מוחלטים, ועקב גידול בנסועה צריכת הדלק ע"י כלי רכב גדלה. התייעלות המנועים מצמצמת רק את הגידול בצריכת הדלק ואת הזיהום המשתמע.

משקלם של הגורמים שלעיל גבוה, וחל צמצום ניכר בפליטת מזהמים מרכב. תהליך זה לא מיצה עצמו, צי הרכב כולל עדיין כלי רכב ישנים ומזהמים יחסית, ועם גריטתם והחלפתם בחדשים יפחתו מקדמי פליטת הזיהום מרכב עוד יותר. ככל שהזמן יעבור יישאר "גז החממה" (CO₂) שאינו מושפע משני סעיפי התייעלות הראשונים כמזהם העיקרי, כמעט היחיד. כיום יש עדיין מזהם משמעותי נוסף: תחמוצות החנקן בשריפת סולר.

הצלבת נתוני הצריכה השנתית של הדלקים (בניכוי העברות לרשות הפלסטינית) עם נתוני פליטות המזהמים (לוחות 27.6 מהשנתונים הסטטיסטיים של הלמ"ס) מאפשרים לחלץ את ערכי הזיהום במונחי טון פליטה לליטר סולר, ערכים אלו יהוו את הבסיס לבחינת העלויות החיצוניות למשק הנגרמות מהמזהמים השונים.

לוח 1: פליטת מזהמים כתוצאה משריפת ליטר סולר (גרם)

SPM	NO _x	SO ₂	CO	CO ₂	
0.64	21.31	0.78	4.47	2,630	2000
0.39	16.95	0.08	3.95	2,636	2005
0.52	14.68	0.08	3.47	2,630	2007
0.24	12.41	0.02	3.14	2,631	2010
0.19	9.82	0.02	2.49	2,633	2011
0.17	8.75	0.02	2.25	2,627	2012
0.16	8.52	0.02	2.23	2,620	2013
0.15	8.11	0.02	2.20	2,614	2014
0.13	7.50	0.02	2.15	2,620	2016*
0.03	5.5	0.01	2.00	2,620	2030*

צפיפות הסולר: 845 גרם לליטר

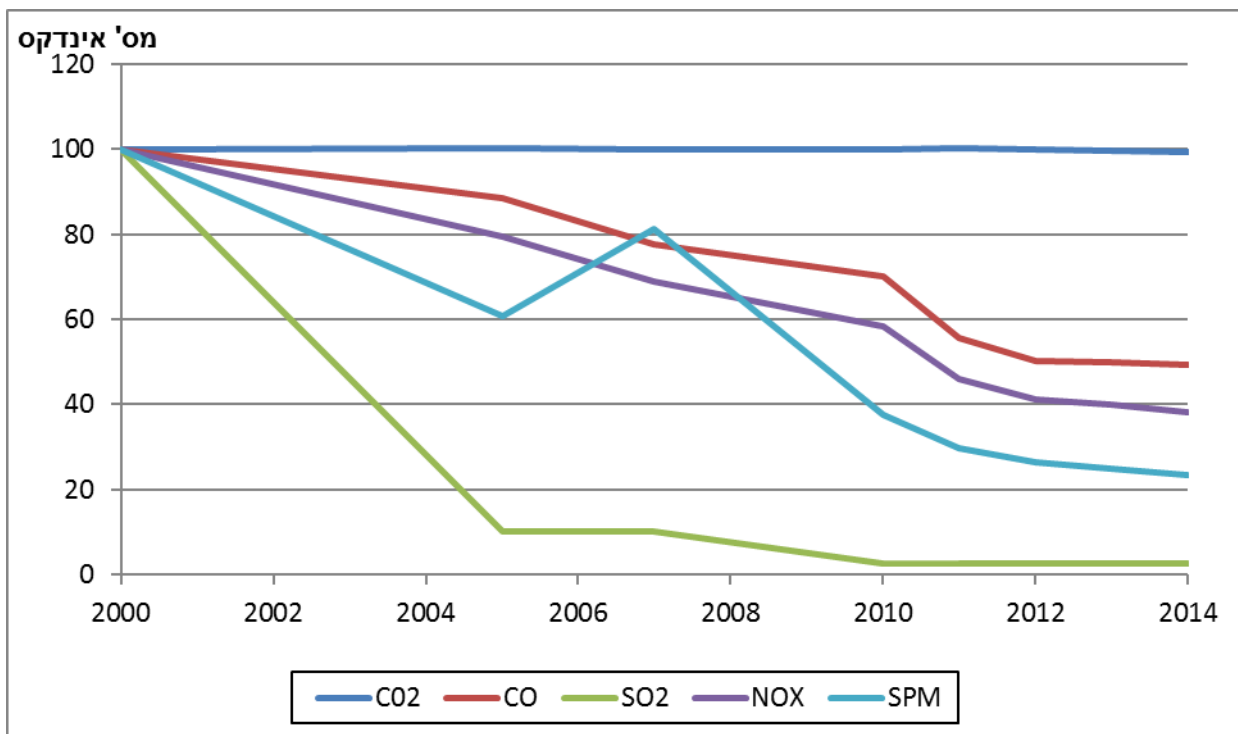
יש לשים לב למהפכה שהתרחשה: בין שנת 2000 ל 2014 פחת פי 2 מקדם פליטת ה CO לליטר סולר, של תחמוצת החנקן פי 2.5, בחלקיקי ה SPM נותר רבע מהזיהום ואילו מקדם פליטת ה SO₂ פחת פי 39. רק ב CO₂ לא חל שינוי.

* ערכי פליטת המזהמים לשנים 2016 ו 2030 מבוססים על הערכות על סמך מגמות השנים האחרונות.

כאמור, הנתונים המוצגים בלוח לעיל הינם ערכים ממוצעים לכלל צי הרכב. כאמור, בכלי רכב חדשים ערכים אלו נמוכים יותר. תוך תחלופת הרכבים- יציאת רכבים ישנים ומזהמים משימוש והגדלת חלקם של כלי רכב חדשים ונקיים יותר, ערכים אלו יקטנו.

האיור הבא מציג את הירידה במקדמי הזיהום משריפת ליטר סולר בין 2000-2014 במספרי אינדקס, כשהבסיס הוא שנת 2000.

איור 2: ההפחתה במקדמי הזיהום משריפת ליטר סולר בכלי רכב בין השנים 2000-2014



ג. אומדן עלות למשק במונחים כספיים

המשרד להגנת הסביבה קבע על בסיס הערכות בין לאומיות ומחקר להתאמת הערכות אלו לארץ עלויות לטון פליטת מזהמים שונים. פירוט ניתן למצוא באתר המשרד. עלויות אלו מבוססות על נתוני היבטים בריאותיים בלבד (אין התייחסות לנזקים מפגיעה ביבולים חקלאיים או בחומרים ובמבנים).

העלויות מתעדכנות מידי שנה באמצעות נוסחה המתחשבת בשינויים במדד מחירי התוצר, בהיקף האוכלוסייה וכד'21. סך הנזקים למשק לשנת 2016 במונחים כספיים כתוצאה מפליטות מזהמים שמקורם בענף התחבורה מוערך בכ 4.4 מיליארד ₪. מוצגים להלן עלויות מזהמים עיקריים המעודכנים לתחילת 2016.

לוח 2: עלות זיהום האוויר למשק במחירי 2016 (₪ לטון פליטה)

₪ לטון פליטה	
119	פחמן דו-חמצני (CO ₂)
1,222	חד-חמצני פחמן (CO)
*88,000	גופרית דו-חמצנית (SO ₂)
88,461	תחמוצות חנקן (NO _x)
170,885	חלקיקי אבק מרחף (SPM)

* בעלויות שחושבו ע"י המשרד להגנת הסביבה לא שויכה עלות לזיהום ע"י תחמוצות גופרית, מהשוואת עלויות מזהמים במדינות שונות נמצא כי עלות זו דומה לעלויות תחמוצות החנקן.

²¹ מתוך המסמך: "עדכון ערכי העלויות החיצוניות של מזהמי האוויר וגזי חממה 2016.1.1" מופיע באתר המשרד להגנת הסביבה. קישור: <http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/Pages/AirExternalCost.aspx>

לסיכום, הלוח הבא מציג את העלויות הכספיות למשק משריפת ליטר סולר. סך עלויות הזיהום יכול להתווסף לעלויות הדלק בתחשיבים כלכליים ובכך לתת ביטוי כספי לעלויות זיהום האוויר.

לוח 3: מחירי פליטה בש ליטר סולר (במחיר 2016)

2030	2016	2014	2013	2012	2011	2010	
0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	פחמן דו-חמצני (CO ₂)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	חד-חמצני פחמן (CO)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	גופרית דו-חמצנית (SO ₂)
0.49	0.66	0.72	0.75	0.77	0.87	1.10	תחמוצות חנקן (NO _x)
0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	חלקיקי אבק מרחף (SPM)
0.81	1.00	1.06	1.10	1.12	1.22	1.46	סה"כ

*המחירים לשנים 2016 ו-2030 מבוססים על המשך מגמת הפחתת הפליטה לליטר דלק ועל מחירי 2016.

צריכת הסולר ב 2014 (בניכוי העברות לרשות הפלסטינית) היתה 2.85 מיליארד ליטר ולפיכך עלות הזיהום ממזהמי הסולר הייתה 3.03 מיליארד ₪.

הנזק המוערך מפליטות מזהמים משני סוגי הדלק ב 2014: 4.4 מיליארד ₪ (במחירי 2016). נזק בסדר גודל זה צפוי גם ב 2016, בשל הגידול בצריכת הבנזין והסולר מחד, והירידה במקדמי הפליטה מאידך.

נזקי המזהמים השונים מקומיים, ומשפיעים בעיקר באזור בו הם נפליטים, למעט הפחמן הדו חמצני (תורם כיום כ 40% לנזקי הזיהום לפי המקדמים שלעיל), שהוא מזהם גלובלי, השפעתו היא בהצטברותו באטמוספירה, לא מקומית. לא ניתן לקבוע איך ובאיזו מידה נפגעת מכך ישראל ישירות או בעקיפין, ואולם ישראל מחויבת, גם מתוקף הסכמות בין-לאומיות, לתרום את חלקה למאמץ הגלובלי להפחתת פליטות גז החממה.

ערכי הזיהום הנוכחיים של 1.00 ₪ לליטר סולר נוספו למחיר למשק של הדלק כחלק מעלויות התפעול. בדרך זו בא לידי ביטוי כולל בנקודת זמן זו המחיר הכולל למשק של זיהום האוויר הנגרם מכלי רכב, ותבוא גם לידי ביטוי תועלת בתחום הסביבתי מפרוייקטים המפחיתים שריפת דלק ע"י הפחתת נסועה, שינויי מהירות נסיעה ועוד. עלויות המזהמים נוספו גם לעלויות התפעול למשק לאופק שנת 2030, בערכים מופחתים, כמשתמע מהלוחות שלעיל.

בשלב זה אין דיפרנציאציה במקדמי הפליטה לסמ"ק דלק נשרף לפי מהירות הנסיעה. הנושא רלוונטי רק לגבי תחמוצת החנקן.