



## פרק 8: קיבולת ורמת-שירות

### תוכן עניינים

<b>8-1</b> .....	<b>מונחים כלליים ועקרונות</b>	<b>8.1</b>
8-1.....	מבוא	8.1.1
8-1.....	רמות השירות לתכן	8.1.2
8-2.....	הגדרת המונחים התנועתיים	8.1.3
8-6.....	הגדרת תנאי הבסיס	8.1.4
8-8.....	עקרונות המתודולוגיה לחישוב קיבולת ורמת-שירות בתנאים שאינם תנאי בסיס	8.1.5
8-8.....	תנאי הטופוגרפיה לפי HCM	8.1.6
<b>8-9</b> .....	<b>דרכים חד-מסלוליות דו-נתיביות</b>	<b>8.2</b>
8-9.....	מבוא	8.2.1
8-9.....	סוגי דרך דו-נתיבית	8.2.2
8-10.....	הקיבולת	8.2.3
8-10.....	רמות השירות	8.2.4
8-14.....	נפחי השירות לתכן דרכים דו-נתיביות	8.2.5
8-15.....	הרחבת דרך דו-נתיבית	8.2.6
<b>8-17</b> .....	<b>דרכים דו-מסלוליות (מחולקת) רב-נתיביות</b>	<b>8.3</b>
8-17.....	מבוא	8.3.1
8-17.....	הקיבולת	8.3.2
8-18.....	רמות השירות	8.3.3
8-22.....	גבולות הניתוח	8.3.4
8-22.....	נפחי השירות לתכן דרכים רב-נתיביות	8.3.5
<b>8-23</b> .....	<b>דרכים דו-מסלוליות מהירות</b>	<b>8.4</b>
8-23.....	מבוא	8.4.1
8-25.....	הקיבולת	8.4.2
8-26.....	רמות השירות	8.4.3
8-29.....	גבולות הניתוח	8.4.4
8-29.....	נפחי השירות לתכן דרכים מהירות	8.4.5

פרק 8 – קיבולת ורמת שירות

כרך 1 – 04/2018

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



## פרק 8: קיבולת ורמת-שירות

### 8.1 מונחים כלליים ועקרונות

#### 8.1.1 מבוא

ניתוח קיבולת הדרך ורמת-השירות שלה הם הכלים היישומיים שבעזרתם מטפלים בהערכת השפעת נפח התנועה והמאפיינים הגיאומטריים והתנועתיים על תפקודה של הדרך. נפח התנועה מהווה מרכיב תכנוני עיקרי המכתיב את חתך הרחב האופייני של הדרך (מספר הנתיבים לכיוון, רוחב הנתיבים, ורוחב השול), ואת התוספות המקומיות הנדרשות בקטעים ארוכים וקצרים (נתיבי עקיפה, נתיבי זחילה). בהיבט התפעולי, משפיע נפח התנועה העובר בחתך נתון על מהירות הנסיעה (בזרימה בלתי מופרעת), צפיפות התנועה, ואחוז הזמן שבו נוסעים בעקיבה, מה שמשליך על נוחות ובטיחות הנסיעה.

פרק זה מגדיר את המושגים הבסיסיים ומדדי הזרימה הדרושים לצורך השימוש ברמת-השירות ובקיבולת ככלי ניתוח כמותיים של איפיון תנאי הזרימה בדרכים בין-עירוניות בהתאם לסיווגן. רמות השירות לתכן דרכים בין-עירוניות לפי סיווגן הובאו בפרק 2 – מדיניות התכן. בפרק הנוכחי יסקרו המדדים התנועתיים הכמותיים והתחומים הרלוונטיים שלהם, המאפיינים את רמות השירות. בנוסף ירוכזו בפרק נפחי התכנון המרביים לרמות השירות השונות.

פרק זה יתמקד בדרכים חד-מסלוליות דו-נתיביות (two-lane highways), בדרכים דו-מסלוליות (מחולקות, רב-נתיביות, multilane highways), ובדרכים מהירות (freeways). המתודולוגיה ופירוט תהליך החישוב של מדדי הזרימה הכמותיים המאפיינים את רמות השירות הובאו ב-"HCM 2000 מתורגם ומותאם לתנאי ישראל" (משרד התחבורה 2005). העקרונות כלולים שם בפרק 12 (דרכים דו-נתיביות ורב-נתיביות דו-מסלוליות) ובפרק 13 (דרכים מהירות), ותהליכי החישוב האנליטיים כלולים בפרקים 20 (דרך דו-נתיבית), 21 (דרך רב-נתיבית), ו-23 (דרך מהירה). לפיכך, הפרק שלפניכם יסקור את העקרונות, המתודולוגיה לקביעת רמת-השירות, המשוואות העיקריות ועקומות מהירות זרימה – שיעור זרימה, וכן ירכז תחומים למדדי הזרימה, ודוגמאות של נפחי השירות לרמות השירות השונות בשלושת סוגי הדרכים. לחישוב המפורט ולשימוש בטבלאות העזר, מופנים המשתמשים ל-HCM הישראלי (משרד התחבורה 2005). בנוסף, מכיל הפרק הנחייה לנפחים קריטיים בדרך דו-נתיבית, עבורם ניתן לשקול את הרחבת הדרך לדו-מסלולית (ארבע-נתיבית).

המונח '**דרך כפרית**', המשמש במדריך הישראלי כתרגום למונח 'rural', הומר בפרק שלפניכם במונח 'דרך בין-עירונית מובהקת', להבדיל מדרך בסביבה מעויירת.

#### 8.1.2 רמות השירות לתכן

טבלה 8.1 מרכזת את מהירויות התכן ורמות השירות לתכן לפי סיווג הדרך.



### טבלה 8.1: רמות שירות לתכן דרכים בין-עירוניות

סוג הדרך	מהירות תכן (קמ"ש)	רמת-שירות לתכן*	מס' נתיבים לכיוון
מהירה	בין-עירונית: 100-120 מעויירת: 90-110	בין-עירונית: C באזור לא רגיש, D בשאר; מעויירת: D	2 או יותר
ראשית	דו-מסלולית: 80-110 דו-סיטרית: 60-80	D	בדר"כ 2 או יותר לכיוון (דו-מסלולית); לעיתים 1 לכיוון (חד-מסלולית דו-סיטרית)
אזורית	דו-מסלולית: 80-100 דו-סיטרית: 60-80	D באזור לא רגיש, E בשאר	בדר"כ 1 לכיוון (חד-מסלולית דו-סיטרית); לעיתים 2 לכיוון (דו-מסלולית)

\* ראו פרק 2 (מדיניות תכן בסיסית). אזור מישורי יתאים לרגישות נמוכה, אזור גבעי לרגישות בינונית, ואזור הררי לרגישות גבוהה.  
הפניות נוספות: "הנחיות לקביעת מהירויות ברשת הדרכים" ו-"תבחיני תכן למזעור הפגיעה בקרקע ובסביבה בדרכים בין-עירוניות" (משרד התחבורה 2010).

### 8.1.3 הגדרת המונחים התנועתיים

#### א. קיבולת (capacity):

המספר הגבוה ביותר של כלי-רכב, שיכול לעבור בנקודה מסוימת בדרך, בפרק זמן מוגדר ובתנאים השוררים בדרך באותה עת (תנאי הדרך, התעבורה, והבקרה). הקיבולת נמדדת בשיעור זרימה שעתי כמפורט בסעיף ג' להלן.

**תנאי הדרך:** הצורה הגיאומטרית של הדרך – מספר נתיבים, רוחב שול, מהירות תכן, טופוגרפיה וכו'.

**תנאי התעבורה:** מאפייני זרם התעבורה, כגון: סוגי כלי-הרכב, נפח התנועה והרכבה, וכו'.

**תנאי הבקרה:** סוגי הגישות, תמרורים, רמזורים, הגבלות שימוש בדרך לסוגי רכב מסוימים, וכו'.

לקיבולת שלושה שימושים עיקריים:

**ברמה המערכתית** – ניתוח התאמתה של רשת דרכים קיימת או עתידית לשרת את הביקוש הקיים, וחיזוי המועד בו תגיע הרשת לעומס תנועה שיחייב שינויים ברשת או במאפייניה.

**ברמת התכן** – תכנון מפורט של המאפיינים הגיאומטריים וההנדסיים, כך שהדרך המתוכננת תתאים לדרישות התנועתיים כגון: מספר נתיבים, אורך וסוג קטע ההשתזרות, ואזורי השפעה של התמזגות והיפרדות.

**ברמה התפעולית** – ניתוח תפעול תנועתי של דרך קיימת, למציאת נקודות התורפה והערכת שיפורים תנועתיים נדרשים.

#### ב. רמת-השירות (level of service):

רמת-השירות הינה רמת התנאים התפעוליים של זרימת התנועה, המאופיינת במדדים כמותיים לאיפיון תנאי הזרימה. מונחים אופייניים של מדדי השירות הינם מהירות, זמן נסיעה, צפיפות התנועה, עיכובים, ושיעור הזרימה (או קצב הזרימה, flow rate).

8-2

פרק 8 – קיבולת ורמת שירות

כרך 1 – 04/2018

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



שש רמות שירות (A-F) נקבעו לכל סוג מתקן תחבורתי עבורו הוגדרו תהליכי חישוב. רמת-שירות A מציינת את תנאי הזרימה הטובים ביותר, ורמת-שירות F – את תנאי הזרימה הגרועים ביותר, כדלהלן: רמת-שירות A – זרימה חופשית. המשתמשים בדרך אינם מושפעים מנוכחותם של משתמשים אחרים, והם חופשיים לבחור את המהירות כרצונם. חופש התימרון גבוה. רמת הנוחות של הנהג – מציינת.

רמת-שירות B – זרימה יציבה, כאשר נוכחות משתמשים אחרים בדרך מתחילה להיות מורגשת. החופשיות לבחור במהירות הרצויה עדיין רבה.

רמת-שירות C – זרימה יציבה, כאשר התנהגות הנהגים מושפעת מאינטראקציות עם זרם התנועה. הנהג אינו חופשי לבחור את מהירות נסיעתו ואת מיקומו בזרם התנועה. רמת הנוחות בינונית (נחותה בהרבה מאשר ברמות השירות A, B).

רמת-שירות D – זרימה יציבה אך צפופה. האפשרות לבחור מהירות נסיעה ומיקום בזרם התנועה מוגבלת מאד. רמת הנוחות למשתמש נמוכה.

רמת-שירות E – זרימה צפופה, וקרובה למצב הקיבולת. התנועה נעה במהירות נמוכה ואחידה. כמעט שאין לנהג חופש תימרון להחלפת נתיב. הזרימה נמצאת ברוייה, כאשר כל הפרעה או תנועה בצפיפות או בנפח עשויות לגרום לכשל.

רמת-שירות F – זרימה מאולצת, כשל המערכת. הביקוש למערכת עולה על הקיבולת שלה, ונוצרים תורים עקב "צווארי בקבוק" (bottlenecks). התנועה מאופיינת על ידי מצבי "עצור וסע" מחזוריים.

ההמחשה של רמות השירות על בסיס מדדי איכות זרימה כמותיים תינתן בהמשך בסעיפים העוסקים בסוגים השונים של דרכים בין-עירוניות. יתר פירוט על מאפייני רמות השירות לפי סוג הדרך (דו-נתיבית, רב-נתיבית, ומהירה), מובא ב-HCM הישראלי (משרד התחבורה 2005).

### ג. שיעור הזרימה (קצב הזרימה, flow rate):

קצב המעבר השעתי השקול של כלי-רכב בנקודת המדידה, בהתבסס על מדידות נפח תנועה בפרקי זמן הקצרים משעה (בדרך כלל 15 דקות), והכפלתו במקדם שעת-השיא כדי להפכו לנפח שעתי.

### ד. מקדם שעת-השיא (PHF, peak hour factor):

שעת-השיא היא השעה בעלת נפח התנועה הגבוה ביותר בשעות היממה. מקדם שעת-השיא (PHF) הינו היחס בין הנפח בכל שעת-השיא, לבין שיעור הזרימה השעתי המחושב על-פי שיעור הזרימה ב-15 הדקות העמוסות ביותר בתוך אותה שעה, המוכפל ב-4 (15 דקות נחשבות לתחום זמן מזערי בו הזרימה יציבה):

$$PHF = \frac{V}{V_{15} \cdot 4}$$

כאשר:

V – הנפח בשעת-השיא (כ"ר/שעה);

V<sub>15</sub> – שיעור הזרימה ב-15 הדקות העמוסות ביותר (כ"ר/שעה).



לפי הגדרה זו, מקדם שעת-השיא אינו יכול לעלות על 1.0. ככל שהוא קטן יותר, התנודות בזרימת התנועה בתוך שעת-השיא גדולות יותר. מקדם שעת-השיא מוכפל בשיעור הזרימה כדי לחשב את נפח השירות המרבי (ו. להלן).

ערכי ברירת המחדל ל-PHF הינם בין 0.88 ל-0.95 עבור דרכים בין-עירוניות מובהקות, ובין 0.92 ל-0.95 עבור דרכים בין-עירוניות מעויירות ופרבריות, כפי שמפורט בטבלה 8.2. ככל שעולה רמת הגודש, גדל ערך ה-PHF.

**טבלה 8.2: מקדם שעת-השיא (PHF) – ערכי ברירת מחדל**

רמת-השירות					סוג הדרך
E	D	C	B	A	
0.95	0.94	0.92	0.90	0.88	דרך בין-עירונית מובהקת
0.95	0.94	0.93	0.92	0.92	דרך מעויירת/פרברית

**ה. שיעור זרימת השירות (קצב זרימת השירות, service flow rate):**

הקצב השעתי המרבי שבו אפשר לצפות באופן סביר שכלי-רכב יוכלו לחצות נקודה או קטע של נתיב או דרך בעל מאפייני גיאומטריה, תפעול ובקרה נתונים, ובהרכב תנועה מוגדר, עבור רמת-שירות מסויימת. לכל רמת-שירות שיעורי זרימת השירות האופייניים לה, כפי שיפורט בהמשך הפרק בסעיפים המתאימים לכל סוג דרך. הנ"ל נמדד ב"ת"ן (המונח שהחליף את יר"ם), דהיינו במכוניות נוסעים לשעה (passenger car per hour, pc/hr) או במכוניות נוסעים לשעה לנתיב (passenger car per hour per lane, pcphl).

**ו. נפח שירות מרבי (maximum service volume):**

הנפח השעתי המרבי המתאים לרמת-שירות מסויימת בתנאי הדרך והתנועה הנתונים. נפח זה מבוטא בכלי-רכב לשעה לנתיב, בהרכב התנועה הנתון ולאחר התחשבות במקדם שעת-השיא.

**ז. קיבולת מעשית (actual capacity):**

נפח השירות המרבי ברמת-שירות E, כלומר הנפח המרבי האפשרי בדרך האמורה בתנאים הגיאומטריים והתפעוליים הקיימים בה.

**ח. הנפח היומי בממוצע שנתי (Annual Average Daily Traffic – AADT):**

נפח התנועה (כלי-רכב ליום) בכיוון אחד או בשני הכיוונים, בהתאם לחתך הדרך, בתקופה של שנה אחת, מחולק במספר הימים. נפח זה משמש לתכנון רשת במונחים ארוכי טווח, אך אינו משקף שינויים בטווחי זמן קצרים, לכן נפח זה אינו משמש באופן ישיר לחישוב רמות שירות, לתכן גיאומטרי של קטעים קצרים, ולניתוח תנועת תפעולי.



### ט. הנפח השעתי לתכן (Design Hourly Volume – DHV):

הנפח של השעה העמוסה האופיינית המשמש למטרות תכן, כלומר הנפח השעתי המתאים לרמת-השירות לתכן של הדרך. היחס בין הנפח השעתי לתכן לבין הנפח היומי בדרכים בין-עירוניות ראשיות בתנאי הארץ (K) הינו בתחום של 5%-10%:

$$K = \frac{DHV}{AADT}$$

במצב בו אין נתונים זמינים ל-24 שעות, מומלץ ליישם 8% כברירת מחדל.

י. **מקדם הית"ן (יחידת תנועה)**, המונח שמחליף את המושג הקודם – מקדם היר"מ (יחידת רכב מושווה, passenger car equivalent – PCE):

מקדם המתרגם תנועת כלי-רכב מעורבת לנפח שווה-ערך של מכונית נוסעים (כלי-רכב פרטיים). במילים אחרות, מקדם הית"ן (היר"מ) לרכב כבד, הוא מספר כלי-הרכב הפרטיים שמעברם היה מתאפשר בדרך זו בתנאים הנתונים, אלמלא קיומו של אותו רכב כבד. מקדם זה איננו קבוע, אלא תלוי בסוג הדרך ובטופוגרפיה. לדוגמא: המקדם של משאית או אוטובוס באזור הררי, גבוה מהמקדם שלהם באזור מישורי. (המושג ית"ן נקבע ע"י האקדמיה ללשון העברית אחרי השלמת HCM הישראלי). התנועה בארץ מסווגת על ידי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה לשלושה סוגים עיקריים: מכוניות נוסעים, משאיות ואוטובוסים. מכוניות נוסעים כוללות את הרכב המסחרי הקל, המשאיות כוללות את כלי-הרכב המסחריים בעלי סרן אחורי יחיד דו-גלגל ומעלה (בד"כ משקל העולה על 4 טון). מקדמי הית"ן שיוואו בהמשך יהיו משותפים למשאיות ולאוטובוסים (בהתאמה ל-HCM הישראלי, משרד התחבורה 2005).

### יא. צפיפות (density):

המספר הממוצע לאורך זמן של כלי-רכב, אשר נמצאים בקטע שאורכו נתון. הצפיפות מבטאת בכלי-רכב ליחידת אורך (למשל: מכוניות נוסעים לק"מ לנתיב). הצפיפות היא פרמטר חשוב בניתוח התפעול ובהגדרת רמת-השירות בדרכים דו-מסלוליות, בהגדרה את קירבת המכוניות זו לזו וחופש התפעול שלהן.

### יב. אחוז הזמן שבו נוסעים בעקיבה (percent time spent following, PTSF):

אחוז הזמן הממוצע מתוך סך זמן הנסיעה, שבו כלי-רכב חייבים לנסוע בשיירות מאחורי כלי-רכב איטיים יותר, כתוצאה מחוסר אפשרות לעקוף בדרך דו-נתיבית. הפרמטר מהווה את אחד המדדים לקביעת רמת-השירות בדרך דו-נתיבית.

### יג. מהירות הנסיעה הממוצעת (Average Travel Speed, ATS):

אורך קטע הדרך, מחולק בזמן הנסיעה הממוצע של כל כלי-הרכב העוברים קטע זה, כולל זמני עיכוב כתוצאה מעצירה. הפרמטר מהווה את אחד המדדים לקביעת רמת-השירות בדרך דו-נתיבית.



#### 8.1.4 הגדרת תנאי הבסיס (base conditions)

לשורה של גורמים גיאומטריים ותנועתיים המאפיינים את הדרך, יש חלק בתהליך ניתוח הקיבולת ורמת-השירות:

- א. הסיווג הטופוגרפי.
- ב. רוחב המיסעה והשול.
- ג. מהירות התכן.
- ד. פיצול לכיוונים.
- ה. הרכב תנועה ומקדם הית"ן.

תנאי הבסיס נחשבים לתנאים גיאומטריים ותפעוליים, בהם כושר ההעברה הוא הגבוה ביותר האפשרי לרמת-שירות מסוימת. תנאי הבסיס מניחים מזג אויר טוב, תנאי ריבוד טובים, משתמשים המכירים את המיתקן, והיעדר מכשולים לזרימת התנועה. להלן פרוט תנאי הבסיס לדרך דו-נתיבית, לדרך דו-מסלולית (רב-נתיבית), ולדרך מהירה, בהתאם ל-HCM ישראל (משרד התחבורה 2005):

##### א. תנאי בסיס – דרך דו-נתיבית:

תנאי הבסיס לדרך דו-נתיבית הם היעדר גורמים גיאומטריים, תנועתיים, או סביבתיים מגבילים. תנאי הבסיס כוללים:

- (1) רוחב נתיב מזערי – 3.6 מטר;
- (2) שול פנוי ברוחב 1.8 מטר או יותר;
- (3) העדר אזורי איסור עקיפה;
- (4) הרכב תנועה הכולל מכוניות נוסעים בלבד;
- (5) העדר הפרעות לתנועה העוברת, כגון בקרת תנועה או כלי-רכב פונים;
- (6) טופוגרפיה מישורית;
- (7) התפלגות תנועה 50/50 בין שני הכיוונים (לניתוח דו-כיווני).

מרבית ההתפלגויות הדו-כיווניות נעות בין 30/70 ל-50/50.

אזור שבו אסורה עקיפה מוגדר במדריך כאזור המסומן עם איסור עקיפה, או כל קטע של הדרך בו הראות לביצוע עקיפה היא 300 מטר או פחות. אזורי איסור עקיפה נעים בדרך כלל בין 20% ל-50% מהדרך הדו-נתיבית. איסור עקיפה בשטח הררי יגרום להיווצרות שיירות רבות, ולאפשרויות עקיפה מוגבלות.

##### ב. תנאי בסיס – דרך דו-מסלולית (מחולקת) – רב-נתיבית:

תנאי הבסיס בהם מושגות המהירות והקיבולת המלאות של הדרך הרב-נתיבית כוללים מזג אויר טוב, ראות טובה, והיעדר אירועים או תאונות. להלן שאר תנאי הבסיס לדרך רב-נתיבית:

- (1) רוחב נתיב מזערי של 3.6 מטר;
- (2) מרווח רוחבי פנוי מזערי של 3.6 מטר בכיוון הנסיעה – זהו סך המרווחים הרוחביים הפנויים (שמאלי וימני) מקצה נתיבי הנסיעה אל מכשולים לאורך קצה הכביש ובמפרדה (מרווחים רוחביים ימניים או שמאליים העולים על 1.8 מטר יחושבו לצורך החישוב כ-1.8 מטר);
- (3) מכוניות נוסעים בלבד בזרם התנועה;



- (4) העדר נקודות גישה ישירות לאורך קטע הניתוח;  
 (5) דרך במסלולים מופרדים;  
 (6) מהירות זרימה חופשית של 100 קמ"ש (בקירוב מהירות התכן המרבית).

### ג. תנאי בסיס – דרך מהירה:

תנאי הבסיס בהם מושגת הקיבולת המרבית של קטע דרך מהירה בסיסי כוללים מזג אויר טוב, ראות טובה, והיעדר תאונות או אירועים. אם אחד מתנאי הבסיס אינו מתקיים, המהירות, רמת-השירות, והקיבולת של קטע הדרך המהירה נוסים להיות נמוכים יותר. להלן שאר תנאי הבסיס לדרך מהירה:

- (1) רוחב נתיב מזערי של 3.6 מטר;  
 (2) מרווח צידי פנוי מזערי של 1.8 מטר בשול הימני בין קצה נתיב הנסיעה למכשול הקרוב המשפיע על התנועה;  
 (3) מרווח צידי פנוי מזערי של 0.6 מטר במפרדה;  
 (4) מכוניות נוסעים בלבד בזרם התנועה;  
 (5) בדרכים מהירות מעויירות – חמישה נתיבים או יותר לכיוון;  
 (6) מרווח של 3 ק"מ או יותר בין מחלפים;  
 (7) אזור מישורי עם שיפועים שאינם עולים על 2%;  
 (8) אוכלוסיית נהגים המורכבת בעיקר מיוממים;  
 (9) מהירות זרימה חופשית בסיסית של 120 קמ"ש בדרך מהירה (בין-עירונית) ו-110 קמ"ש בדרך מעויירת מהירה (בקירוב מהירויות התכן המרביות).

הערה: על-פי "הנחיות לקביעת המהירויות ברשת הדרכים", משרד התחבורה 2010, מהירות הזרימה החופשית בדרכים הבין-עירוניות, או מהירות האחזון ה-85, היא בקירוב גבוהה ב-10 קמ"ש מהמהירות המרבית המותרת, וקרובה למהירות התכן של הדרך, ובאזורים מישוריים זהה לאמור בסעיפים ב' ו-ג'.

### ד. הקיבולת בתנאי הבסיס:

הקיבולת בתנאי הבסיס היא שיעור הזרימה הגבוה ביותר העשוי לעבור בדרך ברמת-שירות E, כאשר מתקיימים תנאי הבסיס.

#### (1) בדרך דו-מסלולית:

2400 ית"ן (מכוניות נוסעים passenger cars/hour/lane) לנתיב לשעה בדרך מהירה (בין-עירונית מובהקת).

2350 ית"ן לנתיב לשעה בדרך מעויירת מהירה.

2200 ית"ן לנתיב לשעה בדרך רב-נתיבית שאינה דרך מהירה.

#### (2) בדרך דו-נתיבית:

3200 ית"ן לשעה לשני הכיוונים ביחד, ולא יותר מ-1700 ית"ן לשעה לכיוון נסיעה אחד.



### 8.1.5 עקרונות המתודולוגיה לחישוב קיבולת ורמת-שירות בתנאים שאינם תנאי בסיס

השימוש בקיבולת ורמת-שירות מיועד לחיזוי אופן תפקודה של הדרך ולהערכת אופי הזרימה בה בנפחי תנועה שונים. באופן מעשי, חישוב הקיבולת ושיעור הזרימה לרמת-השירות לתכן בהתאם למאפייני התוואי, והשוואתם לנפח התנועה בשעת-השיא בשנת היעד לתכן (למשל 20 שנה), יאפשרו לקבוע את החתך לרוחב (ובפרט מספר הנתיבים), כך שהדרך תתפקד במרבית השעות בשנת היעד ברמת-השירות הנבחרת.

עבור **דרך דו-נתיבית**, המתודולוגיה לקביעת רמת-השירות ניזונה משיעורי הזרימה, אולם רמות השירות נקבעות באמצעות מהירות הנסיעה הממוצעת (ATS) ואחוז הזמן שבו נוסעים בעקיבה (PTSF).

עבור **דרך דו-מסלולית**, המתודולוגיה לקביעת רמת-השירות מספקת שיעורי זרימה לרמות שירות שונות, כאשר הפרמטר הראשי לקביעת רמת-השירות הינו הצפיפות הנמדדת במכוניות נוסעים לק"מ לנתיב.

בהמשך הפרק יוצגו גם נפחי שירות מרביים המייצגים את תנאי הדרך והתנועה הספציפיים (שאינם תנאי בסיס), תוך התחשבות באחוז הרכב הכבד ובמקדם שעת-השיא.

### 8.1.6 תנאי הטופוגרפיה לפי HCM

הגדרות הטופוגרפיה להלן נגזרות מהגדרות ה-HCM 2000 המתורגם ומותאם לתנאי ישראל (משרד התחבורה 2005). הגדרות אלה, שמקורן ב-HCM, ייחודיות רק לפרק זה, אין להן השלכה על הגדרות דומות בפרקים הקודמים של הנחיות.

#### **טופוגרפיה מישורית:**

כל שילוב של תוואי אנכי ואופקי, המאפשר לכלי-הרכב הכבדים לשמור על מהירויות דומות לאלו של כלי-הרכב הפרטיים. תנאים אלו תואמים בדרך כלל לשיפועים אורכיים קצרים של עד 2%.

#### **טופוגרפיה גבעית:**

שילוב של תוואי אנכי ואופקי, הגורם לכלי-הרכב הכבדים להאט את מהירותם יחסית לכלי-הרכב הפרטיים, אך ללא הגעה למצב של מהירויות זחילה לכל אורך הקטע או לאורך זמן. עבור דרכים דו-נתיביות, מצב זה כולל שיפועים אורכיים של עד 4% באורכים קצרים עד בינוניים. עבור דרכים דו-מסלוליות, מצב זה כולל שיפועים של 3%-5%. בשיפועים של 2%-3%, ייחוס הטופוגרפיה כמישורית או כגבעית הינה לשיקול המתכנן. עבור דרכים מהירות, מצב זה כולל שיפועים של 2%-4%.

#### **טופוגרפיה הררית:**

שילוב של תוואי אנכי ואופקי, הגורם לכלי-הרכב הכבדים לנוע במהירות הזחילה למרחקים גדולים ובתדירות גבוהה. עבור דרכים דו-נתיביות, מצב זה כולל שיפועים הגבוהים מ-4%. עבור דרכים דו-מסלוליות, מצב זה כולל שיפועים של 5%-7%.



עבור דרכים מהירות, מצב זה כולל שיפועים של 4%-6%.

התאמה איכותית עקרונית בין רמת הטופוגרפיה לרמת הרגישות (ראו פרק 2 "מדיניות התכן" לעיל, ו-"תבחיני תכן למזעור הפגיעה בקרקע ובסביבה בדרכים בין-עירוניות", משרד התחבורה 2010), הינה כדלהלן: טופוגרפיה מישורית תתאים בדרך כלל לרמת רגישות נמוכה, טופוגרפיה גבעית תתאים בדרך כלל לרמת רגישות בינונית, וטופוגרפיה הררית לרמת רגישות גבוהה. אלה הקריטריונים המנחים להגדרת הטופוגרפיה לצורך קביעת רמת-השירות לתכן (טבלה 8.1)

## 8.2 דרכים חד-מסלוליות דו-נתיביות (two-lane highways)

### 8.2.1 מבוא

הדרכים הדו-נתיביות הבין-עירוניות מהוות בארץ את מרבית הדרכים המקומיות והאזוריות, וחלק מאורך הדרכים הראשיות.

בדרך דו-נתיבית דו-סיטרית מוקצה נתיב אחד לשימוש של כל כיוון בתנועה, כאשר פעולות העקיפה מבוצעות בנתיב הנגדי כשהוא פנוי. עקב כך, יש השפעה ישירה למאפייני המרווחים בתנועה ולאפשרויות העקיפה של כיוון אחד, על זרימת התנועה בכיוון השני. לפיכך, הניתוח התפעולי צריך להתחשב בשני הכיוונים. כאשר אין אפשרות לעקוף, נוצר תור שמהירות נסיעתו נקבעת על ידי הרכב האיטי בשיירה. הירידה במהירות הממוצעת ובאחוז זמן העקיפה גורמים לירידה ביכולת ההעברה של הדרך וברמת-השירות שלה.

שני הכיוונים אינם חייבים להגיע לרוויה בו זמנית, ייתכן מצב בו כיוון אחד מגיע לרוויה והכיוון השני פנוי יותר.

שיטת החישוב המוצגת לקביעת רמת-השירות של דרך דו-נתיבית מתבססת על ה-Highway Capacity Manual האמריקני משנת 2000 ותרגומו ל-HCM הישראלי (משרד התחבורה 2005). הנחיות אלו מקובלות כעיקרון מנחה במרבית המדינות בעולם המערבי.

### 8.2.2 סוגי דרך דו-נתיבית

דרכים דו-נתיביות מסוגות (לצורך פרק זה בלבד) לשני סוגים לצורך ניתוח רמת-השירות:

**סוג I:** דרכים בהן הנהגים מצפים לנסוע במהירות גבוהה יחסית – דרכים המשמשות כדרכים עורקיות בין מחוללי תנועה ראשיים, בהם נוסעים נהגים יוממים. דרכים אלו משמשות את הנהגים בנסיעות ארוכות, או לחיבור לדרכים ראשיות המשמשות לנסיעות ארוכות. הסיווג התפקודי בישראל של דרך דו-נתיבית מסוג I הינו **דרך אזורית** (פרק 2).

**סוג II:** דרכים בהן הנהגים לא בהכרח מצפים לנסוע במהירות גבוהה – דרכים אלו משמשות כנתיבי גישה לדרכים מסוג I, או נתיבי נוף ונופש שאינם עורקיים. גם דרכים שעוברות בתוואי לא אחיד מסוגות כ-II.



קטעי הדרכים המסווגות כ-II הינם קצרים ביחס לדרכים מסוג I. הסיווג התפקודי בישראל של דרך דו-נתיבית מסוג II הינו **דרך מקומית וגישה** ובפרט, דרך דלת תנועה.

**רמת-השירות** של דרכים מסוג I (ניידות גבוהה) מוגדרת לפי מדדי אחוז זמן עקיבה ומהירות נסיעה ממוצעת. בדרכים מסוג II, שבהן המהירות פחות קריטית, רמת-השירות נקבעת לפי אחוז זמן עקיבה בלבד. בדרכים המסווגות כ-II נהגים יצפו לרמות גבוהות של אחוז זמן עקיבה לרמת-שירות ספציפית.

### 8.2.3 הקיבולת

הקיבולת של דרך דו-נתיבית בתנאי בסיס הינה 1700 ית"ן לשעה (מכונות נוסעים לשעה) בכל כיוון נסיעה. עבור קטעים ארוכים של דרך דו-נתיבית, הקיבולת בתנאי בסיס לשני הכיוונים הינה 3,200 ית"ן לשעה.

הקיבולת לכיוון נסיעה מסויים יישומית למצב של פילוג כיווני לא סימטרי, כך שהקיבולת לכיוון בו שיעור הזרימה הינו הגבוה מבין שני הכיוונים, לא תעלה 1,700 ית"ן לשעה.

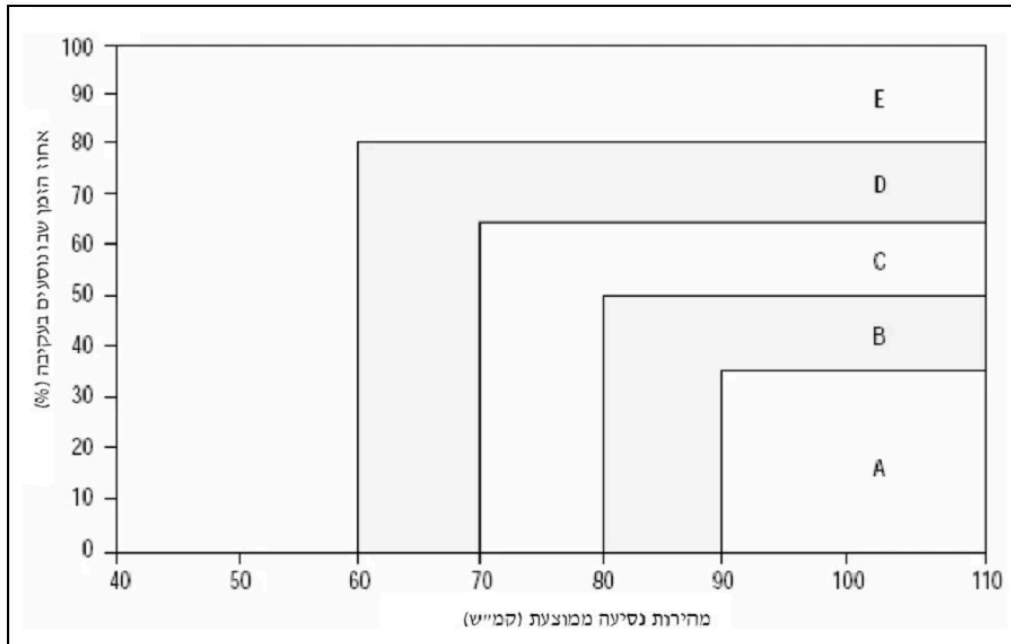
### 8.2.4 רמות השירות

טבלה 8.3 מציגה קריטריונים של רמת-שירות לדרכים דו-נתיביות מסוג I לפי מדדי מהירות נסיעה ממוצעת (ATS) ואחוז זמן עקיבה (PTSF). מרבית הדרכים הדו-נתיביות ברשת הארצית יתאימו לניתוח רמת-שירות לפי טבלה זו. תרשים 8.1 מציג את אותם קריטריוני רמת-שירות לדרך מסוג I. טבלה 8.3 מציגה גם את הקריטריונים של רמת-שירות לדרכים מסוג II לפי מדד PTSF (עמודה ראשונה משמאל).

**טבלה 8.3:** קריטריוני רמת-שירות עבור דרכים דו-נתיביות מעובד מתוך: HCM ישראל (משרד התחבורה 2005)

דרך סוג II*	דרך סוג I*		רמת-שירות
	אחוז זמן עקיבה (% ,PTSF)	מהירות נסיעה ממוצעת (ATS, קמ"ש)	
≤40	>90	≤35	A
>40-55	>80-90	>35-50	B
>55-70	>70-80	>50-65	C
>70-85	>60-70	>65-80	D
>85	≤60	>80	E

\* לפי ההגדרות בסעיף 8.2.2.



**תרשים 8.1:** קריטריוני רמת-שירות עבור דרכים דו-נתיביות סוג I – הצגה גרפית מקור: HCM ישראל (משרד התחבורה 2005)

המתודולוגיה לחישוב מהירות הזרימה הממוצעת או אחוז זמן עקיצה מוצגת בטבלה 8.4. נתוני הקלט הינם: נתונים גיאומטריים, נפח ביקוש, ומהירות הזרימה החופשית הבסיסית (BFFS), המייצגת את מהירות התכן. לחילופין ניתן לבצע מדידה בשטח של מהירות התנועה (SFM). ריכוז המשוואות והפניות לטבלאות העזר המובילות לקביעת רמת-השירות עבור ניתוח לתפעול דו-כיווני מובא להלן. המשוואות והטבלאות לניתוח תפעולי בכיוון אחד נמצאות ב-HCM הישראלי (משרד התחבורה 2005) ולא מובאות במסגרת פרק זה. משוואות וטבלאות אלו (לניתוח בכיוון אחד), עברו בארה"ב עדכון במסגרת HCM 2010, שעדיין לא נבדקה התאמתו לתנאי הארץ.

#### א. מהירות זרימה חופשית:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

כאשר:

- FFS – מהירות הזרימה החופשית בפועל (קמ"ש);
  - BFFS – מהירות הזרימה החופשית הבסיסית (קמ"ש), 80 קמ"ש, בקירוב מהירות התכן המרבית;
  - $f_{LS}$  – מקדם תיקון לרוחב נתיב ורוחב שול (ראו איור 5-20, HCM ישראלי 2005);
  - $f_A$  – מקדם תיקון לצפיפות הגישות בגישה לק"מ (ראו איור 6-20, HCM ישראלי 2005).
- ערכי ברירת המחדל של צפיפות הגישות הינם 5 לפיתוח כפרי, 10 לפיתוח פרברי בצפיפות נמוכה, ו-15 לפיתוח פרברי מעוייר בצפיפות גבוהה.

8-11

פרק 8 – קיבולת ורמת שירות

כרך 1 – 04/2018

**הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות**



### טבלה 8.4: מתודולוגיה לרמת-שירות עבור דרכים דו-נתיביות

מקור: HCM ישראל (משרד התחבורה 2005)

מהירות זרימה ממוצעת (ATS)	אחוז זמן עקיבה (PTSF)
1. חישוב מהירות הזרימה החופשית בפועל – FFS: תיקון הפחתה של מהירות הזרימה החופשית הבסיסית (BFFS) לפי מקדם רוחב שול ורוחב נתיב, ומקדם צפיפות נקודות גישה. לחילופין חישוב לפי $S_{FM}$ , נפח נצפה, מקדם כלי-רכב כבד (ראו HCM ישראלי, 2005, משוואה 20-1).	-
2. חישוב שיעור הזרימה ( $V_p$ ): לפי: נפח ביקוש (כלי-רכב לשעה), מקדם שעת-השיא – PHF, מקדם כלי-רכב כבד – $f_{HV}$ , מקדם שיפוע – $f_G$	חישוב שיעור הזרימה ( $V_p$ ): חישוב בדומה ל-ATS, אך מקדמי התיקון לרכב כבד ולשיפוע הינם עבור PTSF.
3. חישוב ATS	חישוב PTSF
4. קביעת רמת-השירות	קביעת רמת-השירות

#### ב. שיעור הזרימה:

$$V_p = \frac{V}{(PHF \cdot f_G \cdot f_{HV})}$$

כאשר:

$V_p$  – שיעור זרימת השירות ל-15 דקות השיא (ית"ן לשעה, מכוניות נוסעים לשעה);

$V$  – נפח הביקוש לשעה (כלי-רכב לשעה);

PHF – מקדם שעת-השיא;

$f_G$  – מקדם תיקון לשיפוע כתלות בשיעור הזרימה הדו-כיווני ובטופוגרפיה. (ראו איור 20-7 עבור ATS, איור 20-8 עבור PTSF, HCM ישראלי 2005);

$f_{HV}$  – מקדם תיקון לרכב הכבד, כתלות בשיעור הזרימה הדו-כיווני ובטופוגרפיה, המוצג לפי הנוסחה שלהלן. ככל שנוכחות הרכב הכבד בזרם התנועה גבוהה יותר, קטנה מהירות הזרימה החופשית. לצורך חישוב זה אוטובוסים ייחשבו כמו משאיות.

$$f_{HV} = \frac{1}{[1 + P_T \cdot (E_T - 1)]}$$

כאשר:

$P_T$  – החלק היחסי של משאיות בזרם התנועה (כשבר עשרוני);

$E_T$  – מקדם ית"ן עבור משאיות ואוטובוסים (ראו איור 20-9 למקדמי הית"ן למשאיות עבור ATS, ואיור 20-10 עבור PTSF המוסברים בהמשך, HCM ישראלי 2005).



**ערכי ברירת המחדל** במדריך לאחוז רכב כבד (משאיות ואוטובוסים) בדרכים דו-נתיביות הינם 14% לדרך בין-עירונית מובהקת, ו-2% לדרך בין-עירונית מעויירת.

לצורך קבלת המקדמים  $E_T$  ו-  $f_G$ , יש להניח תחום של שיעור זרימה (לפי איורים מ-HCM ישראל, משרד התחבורה 2005). במידה שחישוב שיעור הזרימה ( $V_p$ ) על פי המשוואה מתקבל בתחום הזה, מסתיים החישוב, ובמידה שלא, יש להניח תחום אחר של שיעורי זרימה לקבלת המקדמים מחדש, ולהציבם במשוואת שיעור הזרימה.

מבחינת טופוגרפיה, ההנחה בקטע גבעי היא שהמשאיות לא מגיעות למהירות זחילה כאשר מדובר בשיפועים בקטעים קצרים עד בינוניים של לא יותר מ-4%. בקטע ארוך בשיפוע העולה על 4%, יש לבצע חישוב לפי ניתוח קטע חד-כיווני בהתאם ל-HCM הישראלי (2005).

שיעור הזרימה מהווה קלט לחישוב מדדי רמות השירות: מהירות הזרימה הממוצעת (ATS) ואחוז זמן עקיבה (PTSF).

#### ג. מהירות הנסיעה הממוצעת – ATS:

מהירות הנסיעה הממוצעת מחושבת לפי המשוואה שלהלן:

$$ATS = FFS - 0.0125 \cdot V_p - f_{np}$$

כאשר:

$f_{np}$  – מקדם תיקון להפחתה ב-ATS עבור אחוז אזורי איסור עקיפה, כתלות בשיעור הזרימה הדו-כיווני (איור 20-11 ב-HCM הישראלי, 2005).

**ערכי ברירת המחדל** של אחוז אזורי איסור עקיפה הינם: 20% לטופוגרפיה מישורית, 50% לטופוגרפיה גבעית, ו-80% לטופוגרפיה הררית.

#### ד. אחוז זמן עקיבה – PTSF:

אחוז זמן העקיבה מבוטא באמצעות המשוואות שלהלן:

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

$$BPTSF = 100 \cdot \left( 1 - e^{-0.000879 \cdot v_p} \right)$$

כאשר:

BPTSF – אחוז הזמן הבסיסי שבו נוסעים בעקיבה (משוואה תחתונה);

$f_{d/np}$  – מקדם תיקון להשפעת ההתפלגות הכיוונית ואחוז אזורי איסור עקיפה על PTSF, כתלות בשיעור הזרימה הדו-כיווני (איור 20-12, HCM ישראל 2005).

**ערכי ברירת המחדל** להתפלגות הכיוונית בדרכים דו-נתיביות הינם: 60/40 לדרכים בין-עירוניות מובהקות או מעויירות, ו-80/20 לדרכי נופש.



### ה. קביעת רמת-השירות:

לצורך קביעת רמת-השירות יש לבדוק תחילה אם שיעור הזרימה  $V_p$  גדול מהקיבולת (3200 ית"ן לשעה). במידה שכן, רמת-השירות היא  $F$ . במידה שלא, יש לחשב את מהירות הנסיעה הממוצעת ואת אחוז זמן העקיבה, לצורך קביעת רמת-השירות בהתאם לטבלה 8.3.

### 8.2.5 נפחי השירות לתכן דרכים דו-נתיביות

רמת-השירות לתכן דרך דו-נתיבית הינה  $D$  לדרכים ראשיות או אזוריות שממוקמות באזור מישורי, ו- $E$  לדרכים אזוריות הממוקמות באזורים אחרים. טבלאות 8.5-8.7 המבוססת על איור 12-15 ב-HCM הישראלי (2005) מציגות ערכים של נפחי שירות (כלי-רכב לשעה לשני הכיוונים) למהירויות זרימה חופשית של 90 ו-80 קמ"ש. מהירויות אלו, המהוות מהירויות תפעול, מייצגות בקירוב את מהירויות התכן, אם כי יכולות להיות מעט גבוהות יותר. מהירות התכן המרבית שנקבעה בהנחיות אלה לדרך דו-נתיבית חדשה הינה 80 קמ"ש (פרק 2). ערכי נפחי השירות למהירות תכן 90 קמ"ש נוספו לטבלאות לצרכי מידע של נפחי שירות לרמת-שירות  $B$  לפחות לדרכים קיימות, או למסלול ראשון דו-סיטרי זמני בדרך מחולקת עתידית.

ערכי נפחי השירות לתכן נתונים לאחוזי רכב כבד שבין 10% ל-15%. טבלה 8.5 מתאימה לטופוגרפיה מישורית, טבלה 8.6 לטופוגרפיה גבעית, וטבלה 8.7 לטופוגרפיה הררית, כהגדרתן בסעיף 8.1.6 לעיל. ערכי **מקדמי הית"ן** המרביים לרכב כבד נקבעו ל-1.7 עבור טופוגרפיה מישורית, 2.5 עבור טופוגרפיה גבעית, ו-6 לטופוגרפיה הררית.

הנחת הפיצול הכיווני הינה 60/40, והנחות אחוזי איסור עקיפה הינם 20% לטופוגרפיה מישורית, 40% לטופוגרפיה גבעית, ו-60% לטופוגרפיה הררית.

כדי לקבל את ערכי התכן לנפח היומי המרבי, יש לחלק את ערכי התכן במקדם  $K$  ( $DHV/AADT=$ ) האופייני לדרך (5%-10%).  $K$  האופייני לתנאי ישראל הינו 8%. ערכי התכן של הנפח היומי מובאים בטבלה 8.8.

### **טבלה 8.5:** ערכי נפחי שירות לתכן לרמות השירות השונות בדרכים דו-נתיביות

בטופוגרפיה מישורית (כלי-רכב לשעה לשני הכיוונים)

מעובד מתוך: Hardwood et al. (1999)

רמת-שירות					מהירות הזרימה החופשית (קמ"ש)	% רכב כבד
E	D	C	B	A		
2675	1570	900	-	-	90	10%-15%
2675	1420	490	-	-	80	



**טבלה 8.6:** ערכי נפחי שירות לתכן לרמות השירות השונות בדרכים דו-נתיביות בטופוגרפיה גבעית (כלי-רכב לשעה לשני הכיוונים) מעובד מתוך: Hardwood et al. (1999)

רמת-שירות					מהירות הזרימה החופשית (קמ"ש)	% רכב כבד
E	D	C	B	A		
2495	1490	705	260	–	90	10%-15%
2495	1095	275	–	–	80	

**טבלה 8.7:** ערכי נפחי שירות לתכן לרמות השירות השונות בדרכים דו-נתיביות בטופוגרפיה הררית (כלי-רכב לשעה לשני הכיוונים) מעובד מתוך: Hardwood et al. (1999)

רמת-שירות					מהירות הזרימה החופשית (קמ"ש)	% רכב כבד
E	D	C	B	A		
1505	565	345	175	–	90	10%
1505	565	200	–	–	80	
1395	500	305	155	–	90	15%
1395	500	175	–	–	80	

### 8.2.6 הרחבת דרך דו-נתיבית

מומלץ להרחיב דרך דו-נתיבית לדרך דו-מסלולית, תוך התחשבות באילוצי שטח ואילוצי תקציב, כאשר:

(א) רמת-השירות תרד מתחת לרמת-שירות D בדרכים ראשיות.

(ב) רמת-השירות תרד מתחת לאמצע התחום בין רמת-שירות D ו-E בדרכים אזוריות בטופוגרפיה מישורית וגבעית.

(ג) רמת-השירות תרד מתחת לרמת-שירות E בדרכים אזוריות בטופוגרפיה הררית.

אמצע תחום רמות השירות D ו-E נקבע כאשר מדדי רמת-השירות (מהירות נסיעה ממוצעת ואחוז זמן עקיבה) או נפחי השירות לתכן הינם באמצע התחום שבין מאפייני הנפח המרבי לרמת-שירות D לבין מאפייני הנפח המרבי לרמת-שירות E. לטבלה 8.8 הוספה עמודה המראה את אמצע תחום נפח השירות היומי בין אותם גבולות, למטרה זו.

טבלה 8.9 מציגה ערכים נפחיים יומיים (AADT) מייצגים להרחבה עבור תנאי הארץ לפי  $K=0.08$ .



**טבלה 8.8:** ערכי תכן לנפח היומי המרבי לרמות השירות השונות (כלי-רכב ליום לשני הכיוונים) בדרך חד-מסלולית דו-נתיבית, עבור 15% רכב כבד ומהירות זרימה חופשית 80 קמ"ש

רמת-שירות						K=DHV/AADT
<sup>(1)</sup> D-E	E	D	C	B	A	
<b>מישורי<sup>(2)</sup></b>						
20480	26750	14200	4900	–	–	0.10
22760	29720	15775	5450	–	–	0.09
25600	33440	17750	6125	–	–	<sup>(3)</sup> 0.08
29260	38215	20285	7000	–	–	0.07
34135	44585	23665	8165	–	–	0.06
40960	53500	28400	9800	–	–	0.05
<b>גבעי<sup>(2)</sup></b>						
17970	24950	10950	2750	–	–	0.10
19965	27720	12165	3055	–	–	0.09
22460	31185	13685	3440	–	–	<sup>(3)</sup> 0.08
25670	35645	15645	3930	–	–	0.07
29950	41585	18250	4585	–	–	0.06
35940	49900	21900	5500	–	–	0.05
<b>הררי<sup>(2)</sup></b>						
9380	13780	5000	1750	–	–	0.10
10425	15310	5555	1945	–	–	0.09
11725	17225	6250	2185	–	–	<sup>(3)</sup> 0.08
13400	19685	7140	2500	–	–	0.07
15635	22965	8335	2915	–	–	0.06
18760	27560	10000	3500	–	–	0.05

(1) D-E – אמצע התחום שבין הקצוות לרמות שירות D ו-E – נפחי התכן המומלצים להרחבה מחד-מסלולי לדו-מסלולי.

(2) לפי הגדרות בסעיף 8.1.6.

(3) ערך K האופייני לתנאי ישראל הינו 0.08.



**טבלה 8.9:** נפחי התכן המומלצים להרחבה מדרך דו-נתיבית לדרך דו-מסלולית (מחולקת)  
(כלי-רכב ליום לשני הכיוונים)

רמת-השירות להרחבה	נפח תכן מומלץ להרחבה (כלי-רכב ליום לשני הכיוונים) $K=0.08$	טופוגרפיה	סיווג תפקודי של הדרך
D	17,750	מישורית	ראשית
D	13,685	גבעית	
D-E	25,600	מישורית	אזורית
D-E	22,460	גבעית	
E	17,225	הררית	

D-E – אמצע התחום שבין הקצוות לרמות שירות D ו-E.

### 8.3 דרכים דו-מסלוליות (מחולקת) רב-נתיביות

#### 8.3.1 מבוא

בדרך דו-מסלולית (מחולקת) רב-נתיבית, מוקצים נתיבים מוגדרים לשימוש כל כיוון בתנועה. כל אחד מהכיוונים מתפקד כחד-סיטרי, וכלי-הרכב חופשיים לבצע עקיפות תוך התחשבות בעומס התנועה בכיוון שלהם בלבד, ואין לכיוון נסיעה אחד השפעה על הכיוון הנגדי.

יחד עם זאת, ייתכנו שעות-שיא שונות והתפלגות שונה של נפחי התנועה בשעות היממה בכל אחד מהכיוונים. רמות השירות ונפחי השירות יחושבו לכל כיוון (מסלול) לחוד, בהתאם למספר הנתיבים לכיוון. המתודולוגיה לחישוב רמת-השירות מבוססת על ה-HCM הישראלי (משרד התחבורה 2005). המתודולוגיה המוצגת בפרק זה הינה עבור דרך רב-נתיבית שאיננה דרך מהירה, בה ייתכנו גישות עם צמתים מרומזרים ללא מיחלוף. ההנחה היא שהזרימה ללא הפרעות, כלומר מרחק ארוך יחסית בין הרמזורים, כך שאזור הניתוח לא נמצא בקרבת רמזור.

#### 8.3.2 הקיבולת

הקיבולת של דרך דו-מסלולית רב-נתיבית בתנאי הבסיס הינה בתחום של 2000-2200 ית"ן (מכוניות נוסעים) לנתיב לשעה. מהירות זרימה חופשית המייצגת בקירוב את מהירות התכן מהווה את ההבדל בין הקיבולות: קיבולת של 2000 ית"ן לנתיב לשעה תתאים למהירות תכן של 80 קמ"ש, 2100 ית"ן לנתיב לשעה ל-90 קמ"ש, ו-2200 ית"ן לנתיב לשעה ל-100 קמ"ש. הקיבולת הינה שיעור הזרימה לרמת-שירות E.



בדרכים דו-מסלוליות הכוללות צמתים מרומזרים רבים, הקיבולת נקבעת על פי ניתוח הצמתים, ולא על פי הקיבולת של קטע הדרך כפי שהוצג לעיל.

### 8.3.3 רמות השירות

המדד העיקרי לקביעת רמת-השירות בדרכים רב-נתיביות הינו צפיפות התנועה (D, מכוניות נוסעים לק"מ לנתיב). מדדים נוספים הם שיעור זרימת השירות ( $V_p$ ) ומהירות הזרימה הממוצעת של כלי הרכב הפרטיים (S):

$$D = \frac{V_p}{S}$$

טבלה 8.10 מציגה קריטריונים של רמת-שירות לדרכים רב-נתיביות שאינן מהירות.

המתודולוגיה לקביעת רמת-השירות מוצגת בטבלה 8.11. לצורך קביעת רמת-השירות צריך לחשב את מהירות הזרימה החופשית בפועל (FFS) ושיעור הזרימה ( $V_p$ ).

נתוני הקלט הינם: נתונים גיאומטריים, נפח ביקוש, ומהירות הזרימה החופשית הבסיסית (BFFS) המייצגת את מהירות התכן. לחילופין ניתן לבצע מדידה בשטח של מהירות הזרימה החופשית (בשיעורי זרימה הנמוכים מ-1400 ית"ן לשעה לנתיב).

ניתן לחשב את מהירות הזרימה S (שלב 3 במתודולוגיה) בהתאם לנוסחאות שלהלן, על בסיס תחום של שיעורי זרימה ( $V_p$ ) בתלות במהירות הזרימה החופשית, או להשתמש בעקומות מהירות-זרימה.

#### טבלה 8.10: קריטריוני רמת-שירות לדרכים מחולקות רב-נתיביות שאינן מהירות

מקור: HCM ישראל (משרד התחבורה 2005)

רמת-שירות					קריטריון*	מהירות הזרימה החופשית (קמ"ש)
E	D	C	B	A		
25	22	16	11	7	צפיפות, D	100
2200	2015	1575	1100	700	שיעור הזרימה, $V_p$	
26	22	16	11	7	צפיפות, D	90
2100	1860	1435	990	630	שיעור הזרימה, $V_p$	
27	22	16	11	7	צפיפות, D	80
2000	1705	1280	880	560	שיעור הזרימה, $V_p$	

\* הצפיפות נמדדת במכוניות נוסעים /ק"מ/נתיב, שיעור הזרימה במכוניות נוסעים/שעה/נתיב



**טבלה 8.11:** מתודולוגיה לרמת-שירות עבור דרכים רב-נתיביות ודרכים מהירות מעובד מתוך: HCM ישראל (משרד התחבורה 2005)

1.	<b>חישוב מהירות זרימה חופשית (FFS):</b> תיקון מהירות הזרימה החופשית הבסיסית (BFFS) לפי: מקדם רוחב נתיב ( $f_{LW}$ ), לדרך דו-מסלולית ולדרך מהירה. <u>לדרך דו-מסלולית:</u> מקדם מרווח רוחבי כולל לשול ימין + שול שמאל ( $f_{LC}$ ), מקדם צפיפות נקודות גישה ( $f_A$ ). <u>לדרך מהירה:</u> מקדם תיקון למספר נתיבים ( $f_N$ ), מקדם תיקון לצפיפות מחלפים ( $f_D$ ), מקדם מרווח רוחבי לשול ימין ( $f_{LC}$ ). לחילופין קבלת FFS באמצעות מדידה בשטח.
2.	<b>חישוב שיעור הזרימה (<math>V_p</math>):</b> לפי: נפח ביקוש (כלי-רכב לשעה), מקדם שעת-השיא – PHF, מקדם כלי-רכב כבד – $f_{HV}$ , מספר הנתיבים, ומקדם אוכלוסיית הנהגים (1.0 עבור יוממים).
3.	הגדרת עקומת מהירות-נפח וקביעת מהירות הזרימה (S), בהתבסס על שיעור הזרימה ומהירות הזרימה החופשית (FFS).
4.	חישוב הצפיפות (D) לפי שיעור הזרימה והמהירות הממוצעת.
5.	קביעת רמת-השירות.

עבור תחום שיעור זרימה,  $V_p \leq 1400$ :

מהירות הזרימה (S) משתווה למהירות הזרימה החופשית (FFS):

$$S = FFS$$

ניתן לחשב את מהירות הזרימה (S שלב 3 במתודולוגיה) בהתאם לנוסחאות שלהלן, על בסיס תחום של שיעורי זרימה ( $V_p$ ) בתלות במהירות הזרימה החופשית, או להשתמש בעקומות מהירות-זרימה.

עבור תחום שיעור זרימה,  $V_p \leq 1400$ :

מהירות הזרימה (S) משתווה למהירות הזרימה החופשית (FFS):

$$S = FFS$$

עבור תחום שיעור זרימה,  $V_p > 1400$ :

מיושמות המשוואות הבאות לתחומי מהירות הזרימה החופשית (FFS) להלן:

עבור  $90 < FFS \leq 100$ :

$$S = FFS - \left[ \left( \frac{9.3}{24} \cdot FFS - \frac{630}{25} \right) \cdot \left( \frac{V_p - 1400}{15.7 \cdot FFS - 770} \right)^{1.31} \right]$$



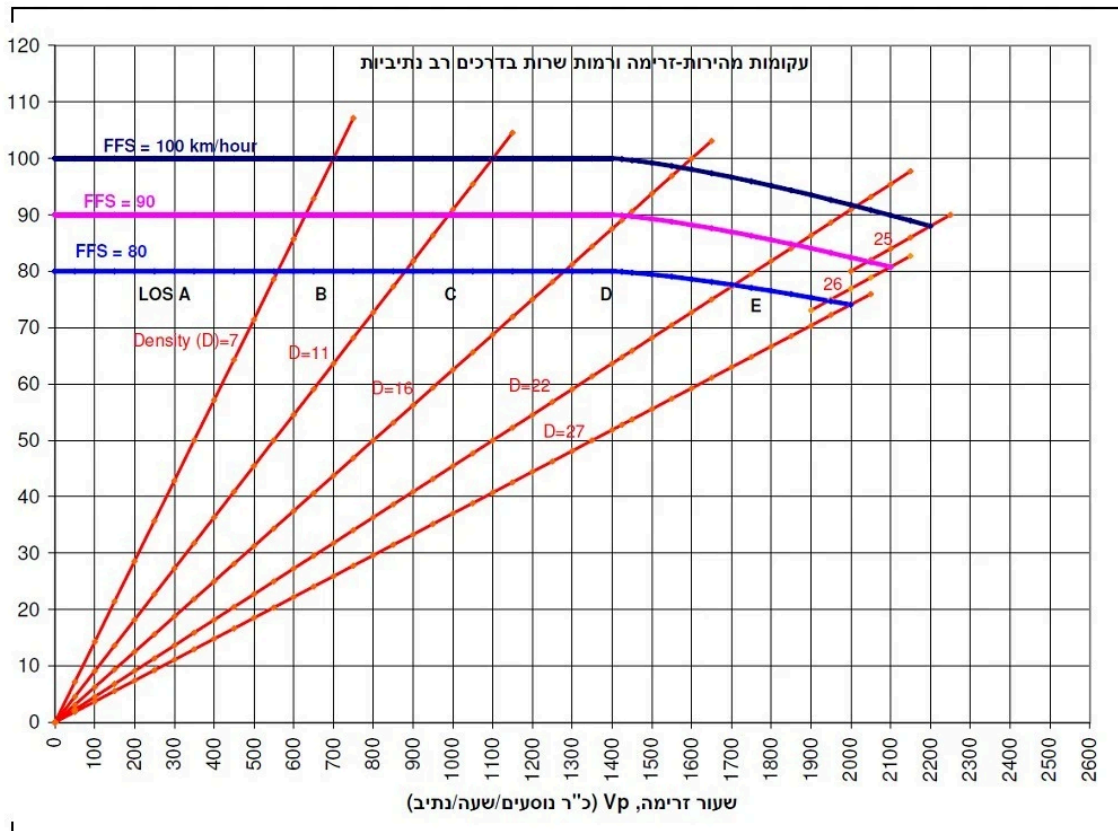
עבור  $80 < FFS \leq 90$ :

$$S = FFS - \left[ \left( \frac{10.4}{26} \cdot FFS - \frac{696}{26} \right) \cdot \left( \frac{V_p - 1400}{15.6 \cdot FFS - 704} \right)^{1.31} \right]$$

עבור  $70 < FFS \leq 80$ :

$$S = FFS - \left[ \left( \frac{11.1}{27} \cdot FFS - \frac{728}{27} \right) \cdot \left( \frac{V_p - 1400}{15.9 \cdot FFS - 672} \right)^{1.31} \right]$$

תרשים 8.2 מציג עקומות מהירות – נפח וקווים שווי צפיפות לרמות השירות השונות. עקומות אלו והקווים שווי-הצפיפות הינם בהתאם למשוואות מהירות-זרימה שהוצגו לעיל ולטבלה 8.10.



**תרשים 8.2:** שילוב עקומות מהירות – זרימה לקריטריוני רמות שירות – דרכים רב-נתיביות. מבוסס על HCM 2000 (או HCM מתורגם לעברית, משה"ת 2005)



### א. מהירות זרימה חופשית:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_A$$

- FFS – מהירות הזרימה החופשית בפועל (קמ"ש);
- BFFS – מהירות הזרימה החופשית הבסיסית (קמ"ש); ערך ברירת מחדל – 100 קמ"ש (בקירוב, מהירות תכן מרבית);
- $f_{LW}$  – מקדם תיקון לרוחב נתיב (איור 4-21, HCM ישראלי 2005). רוחב נתיב 3.6 מטר לא מצריך מקדם תיקון להפחתת FFS;
- $f_{LC}$  – מקדם תיקון למרווח הרוחבי (איור 5-21, HCM ישראלי 2005); מרווח רוחבי כולל של 3.6 מטר אינו מצריך מקדם תיקון להפחתת FFS; המרווח הרוחבי הכולל (TLC) מורכב מהמרווח הימני הפנוי LCR (מקצה ימני של נתיבי התנועה ועד למכשול בצד הדרך – לכל היותר 1.8 מטר), ומהמרווח השמאלי הפנוי מהקצה השמאלי של נתיבי הנסיעה עד למפרדה (לכל היותר 1.8 מטר);
- $f_A$  – מקדם תיקון לצפיפות נקודות גישה לק"מ (איור 7-21, HCM ישראלי 2005). צפיפות זו נמדדת לכיוון הנסיעה, כאשר צומת ייחשב נקודת גישה, במידה שמהווה הפרעה לתנועה בכיוון הרלוונטי.

**ערכי ברירת המחדל במדריך** עבור צפיפות הגישות הינם 5 לפיתוח כפרי, 10 לפיתוח פרברי בצפיפות נמוכה, ו-15 לפיתוח פרברי מעוייר בצפיפות גבוהה.

### שיעור הזרימה:

$$V_p = \frac{V}{(PHF \cdot N \cdot f_{HV})}$$

- $V_p$  – שיעור זרימת השירות ל-15 דקות השיא (ית"ן לשעה, מכוניות נוסעים לשעה);
- $V$  – נפח הביקוש לשעה (כלי-רכב לשעה);
- PHF – מקדם שעת-השיא;
- $N$  – מספר הנתיבים;
- $f_{HV}$  – מקדם תיקון לרכב הכבד כתלות בטופוגרפיה (ראו איור 8-21 למקדמי הית"ן למשאיות,  $E_T$ , HCM ישראלי 2005).

מקדם התיקון לרכב הכבד מיוצג לפי נוסחה הזוהה לדרך דו-נתיבית בסעיף 8.2.4 ב'. לצורך חישוב זה, אוטובוסים ייחשבו כמו משאיות. **מקדמי הית"ן** הינם 1.5 לאזור מישורי, 2.5 לאזור גבעי ו-4.5 לאזור הררי.

**ערכי ברירת המחדל** במדריך לאחוז רכב כבד (משאיות ואוטובוסים) בדרכים רב-נתיביות הינם 10% לדרך בין-עירונית מובהקת, ו-5% לדרך בין-עירונית מעויירת.



במידה שאורך שיפוע הקטן מ-3% עולה על 1.6 ק"מ, או שאורך שיפוע הגדול מ-3% עולה על 0.8 ק"מ, יש להתייחס לקטע באופן ספציפי לשיפוע עולה או לשיפוע יורד:

עבור **שיפוע עולה**, מקדם הית"ן למשאיות ואוטובוסים תלוי באורך השיפוע ובאחוז הרכב הכבד, בהתאם לאיור 9-21 (HCM ישראל, 2005).

בשיפוע **יורד** של 4% או יותר ובאורך העולה על 6.4 ק"מ, מקדם הית"ן למשאיות ואוטובוסים מתקבל בהתאם לאיור 11-21 (HCM ישראל, 2005) כתלות באורך השיפוע ובאחוז המשאיות.

**שיפוע משוקלל**: בקטע המכיל שיפועים של 4% או פחות, או באורך שיפועים הקטן מ-1200 מטר, ניתן לחשב שיפוע משוקלל (הפרש גבהים מחולק באורך), ולקבל את מקדם הית"ן בהתאם לשיפוע זה לצורך ניתוח הקטע.

#### 8.3.4 גבולות הניתוח

האורך המזערי של קטע המצריך ניתוח נפרד הינו 760 מטר. הגבולות של קטעי הניתוח צריכים להיות במרחק העולה על 400 מטר מצומת מרומזר. תנאים נוספים היכולים לקבוע את חלוקת הדרך לניתוח: (1) שינוי במספר הנתיבים, (2) שינוי של 2% או יותר בשיפוע, או שיפוע עולה באורך של 1220 מטר ויותר, (3) שינוי משמעותי בצפיפות הגישות, (4) שינוי בהגבלת המהירות.

#### 8.3.5 נפחי השירות לתכן דרכים רב-נתיביות

רמת-השירות לתכן דרך דו-מסלולית שאיננה דרך מהירה, הינה D לדרכים ראשיות או אזוריות במישור, ו-E לדרכים אזוריות הממוקמות באזור גבעי או הררי.

טבלה 8.12, המבוססת על שיעורי זרימת השירות, מקדמי הית"ן וערכי ה-PHF, מציגה ערכים של נפחי שירות (כלי-רכב לשעה לכיוון לנתיב) למהירות זרימה חופשית של 98 קמ"ש. מהירות זו המייצגת בקירוב את מהירויות התכן, נקבעה בהנחה של צפיפות גישה של 3 גישות לקילומטר, ולפי תנאי בסיס של רוחב נתיב ומרווח רוחבי.

ערכי נפחי השירות לתכן נתונים לאחוזי רכב כבד של 10% ו-15% ולטופוגרפיה מישורית, גבעית, והררית. ערכי **מקדמי הית"ן** המרביים לרכב כבד הינם 1.5, 2.5 ו-4.5 לטופוגרפיה מישורית, גבעית, והררית בהתאמה (איור 8-21, HCM ישראל, 2005).

כדי לקבל את ערכי התכן לנפח היומי המרבי, יש לחלק את ערכי התכן במקדם K האופייני לדרך (-5% ו-10%). K האופייני לתנאי ישראל הינו 8%. ערכי התכן של הנפח היומי מובאים בטבלאות 8.13 ו-8.14 עבור 10% ו-15% רכב כבד (בהתאמה), ומהירות זרימה חופשית בפועל (FFS) של 98 קמ"ש.



**טבלה 8.12:** ערכי נפחי שירות לתכן לרמות השירות השונות בדרך דו-מסלולית רב-נתיבית (כלי-רכב לשעה לכיוון לנתיב) – מהירות הזרימה החופשית 98 קמ"ש

רמת-שירות					% רכב כבד	טופוגרפיה*
E	D	C	B	A		
1970	1775	1355	925	575	10%	מישורית
1925	1735	1325	900	560	15%	
1800	1620	1240	845	525	10%	גבעית
1690	1520	1160	790	495	15%	
1535	1380	1055	720	445	10%	הררית
1360	1225	935	635	395	15%	

\* לפי ההגדרות בסעיף 8.1.6.

## 8.4 דרכים דו-מסלוליות מהירות (freeways)

### 8.4.1 מבוא

דרך מהירה הינה דרך דו-מסלולית עם בקרה מלאה על הגישות, ושני נתיבים או יותר לכיוון. דרכים מהירות מספקות זרימת תנועה ללא הפרעות. במפלס הדרך המהירה אין צמתים מרומזרים או צמתים מבוקרים בתמרורים. הגישה לדרך המהירה וממנה מבוצעת רק באמצעות רמפות של מחלפים, כאשר כיווני הזרימה המנוגדים מופרדים ברציפות על ידי מפרדה רציפה. התפעול בדרך המהירה מושפע בעיקר מהאינטרקציה בין כלי-הרכב, המאפיינים הגיאומטריים, והמאפיינים הסביבתיים.

בדומה לדרכים רב-נתיביות שאינן מהירות, חישוב רמות השירות ונפחי השירות יחשבו לכל כיוון (מסלול) לחוד בהתאם למספר הנתיבים לכיוון.

דרכים מעוירות מהירות העוברות באזורים מטרופוליניים ועירוניים, נכללות בקטגוריה של דרכים מהירות. הן נבדלות מהדרכים המהירות הבין-עירוניות בצפיפות מחלפים גבוהה יותר ובהעברת נפחי תנועה גבוהים יחסית. הבדלים אלה מתבטאים במהירות הזרימה החופשית הבסיסית: 120 קמ"ש לדרך מהירה, ו-110 קמ"ש לדרך מעוירת מהירה (מהירויות התכן המרביות).

המתודולוגיה לחישוב רמת-השירות מבוססת על ה-HCM הישראלי (משרד התחבורה 2005).



**טבלה 8.13:** ערכי תכן לנפח היומי המרבי לרמות השירות השונות בדרך דו-מסלולית רב-נתיבית לא ממוחלפת (כלי-רכב ליום לכיוון לנתיב), עבור 10% רכב כבד ומהירות הזרימה החופשית בפועל 98 קמ"ש

רמת-שירות					K=DHV/AADT	טופוגרפיה*
E	D	C	B	A		
19700	17750	13550	9250	5750	0.10	מישורית
21900	19720	25055	10280	6390	0.09	
24625	22185	16935	11560	7185	0.08	
28140	25355	19355	13215	8215	0.07	
32835	29585	22585	15415	9585	0.06	
39400	35500	27100	18500	11500	0.05	
18000	16200	12400	8450	5250	0.10	גבעית
20000	18000	13780	9390	5835	0.09	
22500	20250	15500	10560	6560	0.08	
25715	23145	17715	12070	7500	0.07	
30000	27000	20665	14085	8750	0.06	
36000	32400	24800	16900	10500	0.05	
15350	13800	10550	7200	4450	0.10	הררית
17055	15335	11720	8000	4945	0.09	
19185	17250	13185	9000	5560	0.08	
21930	19715	15070	10285	6355	0.07	
25585	23000	17585	12000	7415	0.06	
30700	27600	21100	14400	8900	0.05	

\* לפי ההגדרות בסעיף 8.1.6.  
ערך K אופייני לדרכים הבין-עירוניות בישראל הינו 0.08.



**טבלה 8.14:** ערכי תכן לנפח היומי המרבי לרמות השירות השונות בדרך דו-מסלולית רב-נתיבית לא ממוחלפת (כלי-רכב ליום לכיוון לנתיב), עבור 15% רכב כבד ומהירות הזרימה החופשית בפועל 98 קמ"ש

רמת-שירות					K=DHV/AADT	טופוגרפיה*
E	D	C	B	A		
19250	17350	13250	9000	5600	0.10	מישורית
21390	19280	14720	10000	6220	0.09	
24060	21685	16560	11250	7000	0.08	
27500	24785	18930	12855	8000	0.07	
32085	28915	22085	15000	9335	0.06	
38500	34700	26500	18000	11200	0.05	
16900	15200	11600	7900	4950	0.10	גבעית
18775	16890	12890	8775	5500	0.09	
21125	19000	14500	9875	6185	0.08	
24145	21715	16570	11285	7070	0.07	
28165	25335	19335	13165	8250	0.06	
33800	30400	23200	15800	9900	0.05	
13600	12250	9350	6350	3950	0.10	הררית
15110	13610	10390	7055	4390	0.09	
17000	15315	11685	7935	4935	0.08	
19430	17500	13355	9070	5645	0.07	
22665	20415	15585	10585	6585	0.06	
27200	24500	18700	12700	7900	0.05	

\* לפי ההגדרות בסעיף 8.1.6.

ערך K אופייני לדרכים הבין-עירוניות בישראל הינו 0.08.

#### 8.4.2 הקיבולת

הקיבולת של דרך מהירה רב-נתיבית בתנאי בסיס הינה בתחום של 2250-2400 ית"ן לשעה (כלי-רכב פרטיים לשעה לנתיב). מהירות זרימה חופשית המייצגת בקירוב את מהירות התכן מהווה את ההבדל בין הקיבולות: קיבולת של 2250 ית"ן לשעה לנתיב תתאים למהירות תכן של 90 קמ"ש, 2300 ית"ן לשעה לנתיב – ל-100 קמ"ש, 2350 ית"ן לשעה לנתיב – ל-110 קמ"ש, ו-2400 ית"ן לשעה לנתיב – ל-120 קמ"ש. הקיבולת הינה שיעור הזרימה המרבי לרמת-שירות E.

8-25

פרק 8 – קיבולת ורמת שירות

כרך 1 – 04/2018

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



### 8.4.3 רמות השירות

המדד העיקרי לקביעת רמת-השירות בדרכים רב-נתיביות הינו צפיפות התנועה (D, כלי-רכב פרטיים לק"מ לנתיב). מדדים נוספים הם שיעור זרימת השירות ( $V_p$ ) ומהירות הזרימה של כלי-הרכב הפרטיים (S):

$$D = \frac{V_p}{S}$$

טבלה 8.15 מציגה קריטריונים של רמת-שירות לדרכים מהירות. תרשים 8.3 מראה עקומות מהירות-נפח וקוים שווי צפיפות לרמות השירות השונות. ספי הצפיפות (המגדירות את רמות השירות) זהים לכל תחום מהירויות התכן.

המתודולוגיה לקביעת רמת-השירות זהה למתודולוגיה של דרכים רב-נתיביות שאינן מהירות, כפי שמוצגת בטבלה 8.11. לצורך קביעת רמת-השירות צריך לחשב את מהירות הזרימה החופשית (FFS) ושיעור הזרימה ( $V_p$ ).

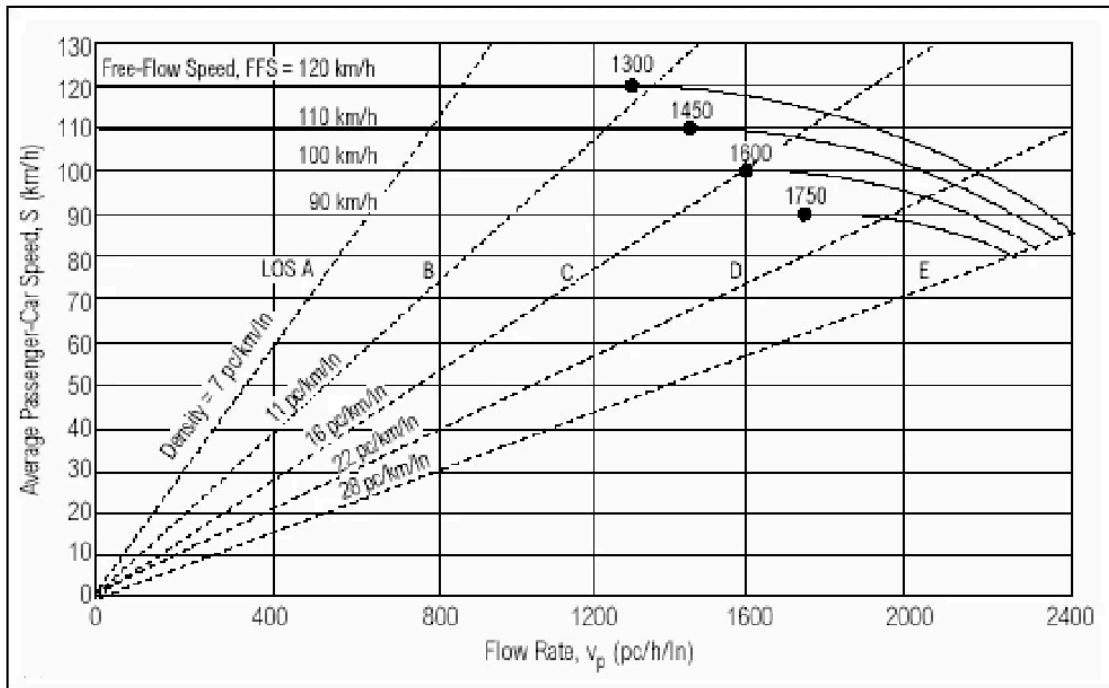
נתוני הקלט הינם: נתונים גיאומטריים, נפח ביקוש, ומהירות הזרימה החופשית הבסיסית (BFFS), המייצגת את מהירות התכן. לחילופין ניתן לבצע מדידה בשטח של מהירות הזרימה החופשית (בשיעור זרימה הנמוכים מ-1,300 ית"ן לשעה לנתיב).

#### טבלה 8.15: קריטריוני רמת-שירות לדרכים רב-נתיביות מהירות

מקור: HCM ישראל (משרד התחבורה 2005)

רמת-שירות					קריטריון*	מהירות הזרימה החופשית (קמ"ש)
E	D	C	B	A		
28	22	16	11	7	צפיפות, D	120
2400	2200	1840	1320	840	שיעור הזרימה, $V_p$	
28	22	16	11	7	צפיפות, D	110
2350	2135	1740	1210	770	שיעור הזרימה, $V_p$	
28	22	16	11	7	צפיפות, D	100
2300	2065	1600	1100	700	שיעור הזרימה, $V_p$	
28	22	16	11	7	צפיפות, D	90
2250	1955	1440	990	630	שיעור הזרימה, $V_p$	

\* הצפיפות נמדדת במכוניות נוסעים /ק"מ/נתיב, שיעור הזרימה במכוניות נוסעים/שעה/נתיב



**תרשים 8.3:** שילוב עקומות מהירות-זרימה לקריטריוני רמות שירות – דרכים מהירות  
 מקור: HCM ישראל (משרד התחבורה 2005)

ניתן לחשב את מהירות הזרימה (S שלב 3 במתודולוגיה) בהתאם לנוסחאות שלהלן, על בסיס תחום של שיעורי זרימה ( $V_p$ ) בתלות במהירות הזרימה החופשית, או להשתמש בעקומות מהירות-זרימה.  
 עבור:

$$90 \leq FFS \leq 120 \quad \text{מהירות זרימה חופשית:}$$

$$(3100 - 15 \cdot FFS) < V_p \leq (1800 + 5 \cdot FFS) \quad \text{ותחום שיעור זרימה:}$$

מהירות הזרימה (S) הינה:

$$S = FFS - \left[ \frac{1}{28} \cdot (23 \cdot FFS - 1800) \cdot \left( \frac{V_p + 15 \cdot FFS - 3100}{20 \cdot FFS - 1300} \right)^{2.6} \right]$$

ועבור:

$$90 \leq FFS \leq 120 \quad \text{מהירות זרימה חופשית:}$$

$$V_p \leq (3100 + 15 \cdot FFS) \quad \text{ותחום שיעור זרימה:}$$



מהירות הזרימה (S) משתווה למהירות הזרימה החופשית (FFS):

$$S = FFS$$

כאשר:

- S – מהירות הזרימה או מהירות ממוצעת של מכונית נוסעים (קמ"ש);
- $V_p$  – שיעור הזרימה (מכוניות נוסעים לשעה לנתיב);
- FFS – מהירות הזרימה החופשית בפועל (קמ"ש).

א. מהירות זרימה חופשית בפועל:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID}$$

כאשר:

- FFS – מהירות הזרימה החופשית בפועל (קמ"ש);
- BFFS – מהירות הזרימה החופשית הבסיסית (קמ"ש) – 110 קמ"ש לדרך מעויירת מהירה ו-120 קמ"ש לדרך מהירה (בקירוב מהירות התכן המרבית);
- $f_{LW}$  – מקדם תיקון לרוחב נתיב (איור HCM, 23-4, 2005). רוחב נתיב 3.6 מטר לא מצריך מקדם תיקון להפחתת FFS;
- $f_{LC}$  – מקדם תיקון למרווח הצידי הפנוי של השול הימני, כלומר המרחק מקצה השול הסלול לקצה הנתיבים (איור HCM, 23-5, 2005). מרווח צידי של 1.8 מטר אינו מצריך מקדם תיקון להפחתת FFS;
- $f_N$  – מקדם תיקון למספר הנתיבים (איור HCM, 23-6, 2005) המיועד לדרך מעויירת מהירה. עבור 5 נתיבים או יותר, אין צורך במקדם הפחתה. הנתיבים הנספרים הינם נתיבי תנועה ראשיים ללא נתיבי (High Occupancy Vehicles) HOV; עבור דרך מהירה אין צורך בהפחתה למספר נתיבים ( $f_N=0$ ).
- $f_{ID}$  – מקדם תיקון לצפיפות המחלפים (איור HCM, 23-7, 2005). עבור 0.3 מחלפים לק"מ ומטה אין צורך במקדם הפחתה. רמפות יציאה בלבד לא ייחשבו כמחלפים.

ב. שיעור הזרימה:

$$V_p = \frac{V}{(PHF \cdot N \cdot f_{HV})}$$

כאשר:

- $V_p$  – שיעור זרימת השירות ל-15 דקות השיא (ית"ן לשעה, מכוניות נוסעים לשעה);
- V – נפח הביקוש לשעה (כלי-רכב לשעה);
- PHF – מקדם שעת-השיא;
- N – מספר הנתיבים;



$f_{HV}$  – מקדם תיקון לרכב הכבד כתלות בטופוגרפיה (ראו איור 8-23 למקדמי הית"ן למשאיות,  $E_T$ , HCM ישראלי 2005).

מקדם התיקון לרכב הכבד מיוצג לפי נוסחה הזזה לדרך דו-נתיבית בסעיף 8.2.4 ב'. לצורך חישוב זה, אוטובוסים ייחשבו כמו משאיות. **מקדמי הית"ן** הינם 1.5 לאזור מישורי, 2.5 לאזור גבעי ו-4.5 לאזור הררי (איור 8-21, HCM ישראלי, משרד התחבורה 2005).

**ערכי ברירת המחדל** במדריך לאחוז רכב כבד (משאיות ואוטובוסים) בדרכים מהירות הינם 10% לדרך בין-עירונית מובהקת ו-5% לדרך בין-עירונית מעויירת.

במידה שאורך שיפוע הקטן מ-3% עולה על 1.0 ק"מ, או שאורך שיפוע הגדול מ-3% עולה על 0.5 ק"מ, יש להתייחס לקטע באופן ספציפי לשיפוע עולה או לשיפוע יורד:

עבור קטע ספציפי **בשיפוע עולה**, מקדם הית"ן למשאיות ואוטובוסים תלוי באורך השיפוע ובאחוז הרכב הכבד, בהתאם לאיור 9-23 (HCM ישראלי, 2005). אורך השיפוע כולל את הקטע הישר ו-25% מאורך העקום האנכי בהתחלה ובסוף השיפוע.

**בשיפוע יורד** של 4% או יותר ובאורך העולה על 6.4 ק"מ, מקדם הית"ן למשאיות ואוטובוסים מתקבל בהתאם לאיור 11-23 (HCM ישראלי, 2005), כתלות באורך השיפוע ובאחוז המשאיות.

**שיפוע משוקלל**: בקטע המכיל שיפועים של 4% או פחות, או באורך שיפועים הקטן מ-1200 מטר, ניתן לחשב שיפוע משוקלל (הפרש גבהים מחולק באורך), ולקבל את מקדם הית"ן בהתאם לשיפוע זה לצורך ניתוח הקטע.

#### 8.4.4 גבולות הניתוח

גבולות הניתוח הטבעיים של הקטע הנבדק הינם רמפת כניסה או רמפת יציאה, מכיוון שהנפח של התנועה בדרך המהירה משתנה לפניהן או אחריהן. תנאים נוספים היכולים להכתיב חלוקה נוספת של הקטע המנותח הינם: (1) שינוי במספר הנתיבים, (2) שינוי במרווח הצידדי של השול הימני, (3) שינוי של 2% או יותר בשיפוע, או שיפוע עולה קבוע באורך של 1200 מטר ויותר, (4) שינוי מהירות מותרת.

#### 8.4.5 נפחי השירות לתכן דרכים מהירות

רמת-השירות לתכן דרך דו-מסלולית מהירה הינה C באזור מישורי ו-D בשאר האזורים.

טבלאות 8.16 ו-8.17, המבוססות על שיעורי זרימת השירות, מקדמי הית"ן וערכי ה-PHF, מציגות ערכים של נפחי שירות שעתיים (כלי-רכב לשעה לכיוון לנתיב) למהירות זרימה חופשית של 120 קמ"ש לדרך מהירה בין-עירונית, ו-105 קמ"ש לדרך מעויירת מהירה. מהירויות אלו, המייצגות בקירוב את מהירויות התכן, נקבעו בהנחה של 3 נתיבים לכיוון לפי תנאי בסיס של רוחב נתיב, מרווח צידדי של השול הימני וצפיפות מחלפים. עבור דרך מעויירת מהירה בוצעה הפחתה של 5 קמ"ש ממהירות הזרימה החופשית הבסיסית (או ממהירות התכן המרבית), בהתאם למספר הנתיבים.



**טבלה 8.16:** ערכי נפחי השירות השעתיים לתכן לרמות השירות השונות

בדרך מהירה בין-עירונית (כלי-רכב לשעה לכיוון לנתיב),  
מהירות זרימה חופשית בפועל 120 קמ"ש

רמת-שירות					% רכב כבד	טופוגרפיה*
E	D	C	B	A		
2225	2020	1650	1160	720	5%	מישורית
2170	1970	1610	1130	705	10%	
2120	1925	1575	1105	690	15%	
2120	1925	1575	1105	690	5%	גבעית
1980	1800	1470	1035	645	10%	
1860	1670	1380	970	605	15%	
1940	1760	1440	1010	630	5%	הררית
1690	1530	1255	880	550	10%	
1495	1355	1110	780	485	15%	

\* לפי ההגדרות בסעיף 8.1.6.

**טבלה 8.17:** ערכי נפחי השירות השעתיים לתכן לרמות השירות השונות

בדרך מעויירת מהירה (כלי-רכב לשעה לכיוון לנתיב),  
מהירות זרימה חופשית בפועל 105 קמ"ש

רמת-שירות					% רכב כבד	טופוגרפיה*
E	D	C	B	A		
2155	1925	1515	1035	660	5%	מישורית
2105	1880	1480	1015	645	10%	
2055	1835	1445	990	630	5%	גבעית
1920	1715	1350	925	590	10%	
1880	1680	1320	905	575	5%	הררית
1635	1460	1150	785	500	10%	

\* לפי ההגדרות בסעיף 8.1.6.



ערכי נפחי השירות לתכן נתונים לאחוזי רכב כבד של 5% ו-10% ולטופוגרפיה מישורית, גבעית, והררית. לדרכים מהירות בין-עירוניות מובהקות, הוספו ערכי נפח שירות לתכן גם ל-15% רכב כבד.

כדי לקבל את ערכי התכן לנפח היומי המרבי, יש לחלק את ערכי התכן במקדם K האופייני לדרך (5%-10%). K האופייני לתנאי ישראל הינו 0.8%. ערכי התכן של הנפח היומי מובאים בטבלאות 8.18-8.21. טבלאות 8.18, 8.19 ו-8.20 מתייחסות לדרך מהירה במהירות זרימה חופשית בפועל (FFS) של 115 קמ"ש עבור 15%, 10% ו-5% רכב כבד. טבלה 8.21 מתייחסת לדרך מעוירת מהירה במהירות זרימה חופשית בפועל של 105 קמ"ש עבור 5% רכב כבד.



**טבלה 8.18:** ערכי תכן לנפח היומי המרבי לרמות השירות השונות

בדרך מהירה בין-עירונית (כלי-רכב ליום לכיוון לנתיב),  
עבור 15% רכב כבד ומהירות זרימה חופשית בפועל 120 קמ"ש

רמת-שירות					K=DHV/AADT	טופוגרפיה*
E	D	C	B	A		
21200	19250	15750	11050	6900	0.10	מישורית
23556	21389	17500	12278	7667	0.09	
26500	24063	19688	13813	8625	0.08	
30286	27500	22500	15786	9857	0.07	
35333	32083	26250	18417	11500	0.06	
42400	38500	31500	22100	13800	0.05	
18600	16700	13800	97000	60500	0.10	גבעית
20667	18556	15333	107778	67222	0.09	
23250	20875	17250	121250	75625	0.08	
26571	23857	19714	138571	86429	0.07	
31000	27833	23000	161667	100833	0.06	
37200	33400	27600	194000	121000	0.05	
14950	13550	11100	7800	4850	0.10	הררית
16611	15056	12333	8667	5389	0.09	
18688	16938	13875	9750	6063	0.08	
21357	19357	15857	11143	6929	0.07	
24917	22583	18500	13000	8083	0.06	
29900	27100	22200	15600	9700	0.05	

\* לפי ההגדרות בסעיף 8.1.6.  
ערך K אופייני לדרכים הבין-עירוניות בישראל הינו 0.08.



**טבלה 8.19:** ערכי תכן לנפח היומי המרבי לרמות השירות השונות

בדרך מהירה בין-עירונית (כלי-רכב ליום לכיוון לנתיב),  
עבור 10% רכב כבד ומהירות זרימה חופשית בפועל 120 קמ"ש

רמת-שירות					K=DHV/AADT	טופוגרפיה*
E	D	C	B	A		
21700	19700	16100	11300	7050	0.10	מישורית
24111	21889	17889	12556	7833	0.09	
27125	24625	20125	14125	8813	0.08	
31000	28143	23000	16143	10071	0.07	
36167	32833	26833	18833	11750	0.06	
43400	39400	32200	22600	14100	0.05	
19850	18000	14700	10350	6450	0.10	גבעית
22056	20000	16333	11500	7167	0.09	
24813	22500	18375	12938	8063	0.08	
28357	25714	21000	14786	9214	0.07	
33083	30000	24500	17250	10750	0.06	
39700	36000	29400	20700	12900	0.05	
16900	15300	12550	8800	5500	0.10	הררית
18778	17000	13944	9778	6111	0.09	
21125	19125	15688	11000	6875	0.08	
24143	21857	17929	12571	7857	0.07	
28167	25500	20917	14667	9167	0.06	
33800	30600	25100	17600	11000	0.05	

\* לפי ההגדרות בסעיף 8.1.6.  
ערך K אופייני לדרכים הבין-עירוניות בישראל הינו 0.08.



**טבלה 8.20:** ערכי תכן לנפח היומי המרבי לרמות השירות השונות

בדרך מהירה בין-עירונית (כלי-רכב ליום לכיוון לנתיב),  
עבור 5% רכב כבד ומהירות זרימה חופשית בפועל 120 קמ"ש

רמת-שירות					K=DHV/AADT	טופוגרפיה*
E	D	C	B	A		
22250	20200	16500	11600	7200	0.10	מישורית
24722	22444	18333	12889	8000	0.09	
27813	25250	20625	14500	9000	0.08	
31786	28857	23571	16571	10286	0.07	
37083	33667	27500	19333	12000	0.06	
44500	40400	33000	23200	14400	0.05	
21200	19250	15750	11050	6900	0.10	גבעית
23556	21389	17500	12278	7667	0.09	
26500	24063	19688	13813	8625	0.08	
30286	27500	22500	15786	9857	0.07	
35333	32083	26250	18417	11500	0.06	
42400	38500	31500	22100	13800	0.05	
19400	17600	14400	10100	6300	0.10	הררית
21556	19556	16000	11222	7000	0.09	
24250	22000	18000	12625	7875	0.08	
27714	25143	20571	14429	9000	0.07	
32333	29333	24000	16833	10500	0.06	
38800	35200	28800	20200	12600	0.05	

\* לפי ההגדרות בסעיף 8.1.6.  
ערך K אופייני לדרכים הבין-עירוניות בישראל הינו 0.08.



**טבלה 8.21:** ערכי תכן לנפח היומי המרבי לרמות השירות השונות  
בדרך מעויירת מהירה (כלי-רכב ליום לכיוון לנתיב),  
עבור 5% רכב כבד ומהירות זרימה חופשית בפועל 105 קמ"ש

רמת-שירות					K=DHV/AADT	טופוגרפיה*
E	D	C	B	A		
21550	19250	15150	10350	6600	0.10	מישורית
23945	21390	16835	11500	7335	0.09	
26935	24060	18935	12935	8250	0.08	
30785	27500	21645	14785	9430	0.07	
35915	32085	25250	17250	11000	0.06	
43100	38500	30300	20700	13200	0.05	
20550	18350	14450	9900	6300	0.10	גבעית
22835	20390	16055	11000	7000	0.09	
25685	22935	18060	12375	7875	0.08	
29355	26215	20645	14145	9000	0.07	
34250	30585	24085	16500	10500	0.06	
41100	36700	28900	19800	12600	0.05	
18800	16800	13200	9050	5750	0.10	הררית
20890	18665	14665	10055	6390	0.09	
23500	21000	16500	11310	7185	0.08	
26855	24000	18855	12930	8215	0.07	
31335	28000	22000	15085	9585	0.06	
37600	33600	26400	18100	11500	0.05	

\* לפי ההגדרות בסעיף 8.1.6.  
ערך K אופייני לדרכים הבין-עירוניות בישראל הינו 0.08.