

הטכניון מכון טכנולוגי לישראל
המכון לחקר התחבורה

פתוח מדד משופר להערכת רמת השירות בכבישים
בינעירוניים דו נתיבליים

מ א ת
מ. ליבנה
י. קראוס
א. של יבמן

דו"ח סיכום שלב א'
דו"ח זה ממומן על ידי משרד
הבינוי והשכון, מחלקת עבודות
ציבוריות



000005292387



הטכניון מכון טכנולוגי לישראל

מס' פרסום: 81-37

סימון מחקר: 015-808

1981

מרץ

תוכן העניינים

עמוד

1	מבוא	1
2	השגות לגבי הקונספציה הנוכחית	2
2	2.1 כללי	2.1
2	2.2 מהירות התפעול	2.2
2	2.3 מהירות התכן הממוצעת	2.3
3	2.4 מרחק הראות	2.4
3	2.5 סיכום	2.5
4	מקורות ספרותיים	3
7	מסקנות	4
8	מהלך העבודה ומדידות	5
8	5.1 כללי	5.1
8	5.2 הבדיקות	5.2
9	סיכום ותכנון שלב ב'	6
10	מראי מקום	7

1. מבוא

רמת השירות של דרך, מוגדרת כמדד איכותי, המתאר השפעות של מספר גורמים, הכוללים: מהירות, זמן נסיעה, הפרעות תנועה, החופש לתמרן, בוחיות, חסכון, עלות תפעולית ובטיחות, על תפקודו של הכביש.

המושג רמת שירות, הופיע לראשונה ב- Highway Capacity Manual בשנת 1950. ההגדרה, סיווגה את איכויות הזרימה לשלוש קטגוריות שונות, אשר הגדירו את חופשיות הזרימה.

המדד המשופר, הופיע בשנת 1965 (מ.מ.1), אלא שהפעם הוגדרו שש רמות שירות שונות: A, B, C, D, E, F, כאשר הטובה מכולן היא רמת שירות A, הבאה לבטא זרימת תנועה חופשית, ואילו הגרועה שבהן היא רמת שירות F המאופיינת בצפיפות גבוהה אשר למעשה "פוקקת" את הדרך ואינה מאפשרת זרימת תנועה.

רמת השירות, בדרכים דו נתיביות נעשתה בתלות בגורמים הבאים:

Average highway speed	(A.H.S)	-	א. מהירות התכן הממוצעת
Volume to capacity ratio	(V/C)	-	ב. יחס נפח לקיבולת
Operating speed	(O.S)	-	ג. מהירות התפעול
Passing sight distance	(S.D)	-	ד. מרחק ראות לעקיפה

הגדרת רמת השירות נעשתה באופן הבא: מהירות התכן הממוצעת הינה גודל ידוע, וכן גם מרחק הראות, התכנון נעשה איפוא עפ"י הגודל (V/C), בהנחה, שהמהירות התפעולית אכן מתקיימת.

רמת השירות נקבעת עפ"י הגודל הקריטי של אחד המשתנים הנ"ל כפי שהם מופיעים בטבלה של H.C.M. הקוגנספציה הנוכחית, עוררה מספר מחלוקות, באשר לפרמטרים המרכיבים אותה, ובהעדר מיוע מספיק למתכנן. המתכנן לרמת שירות מסוימת, יוצא מתוך הנחה, שהתנאי של מהירות התפעול מתקיים (דבר שאינו נכון בהכרח). נוצר הצורך בקשר ישיר בין הפרמטרים, אשר בעקבותיו, ניתן יהיה להראות שהיווצרות תנאים גיאומטריים מסוימים, מבטיח תנאי זרימה, הן של נפח והן של מהירות.

קשירת האלמנטים הגיאומטריים למאפייני זרימה; מהירות/נפח, תסייע למתכנן, אשר כיום משתמש למעשה אך ורק בגודל (V/C), על מנת לתכנן לרמת שירות מסוימת.

2. השגות לגבי הקונספציה הנוכחית

2.1 כללי

- המדד הנוכחי של "רמת השירות", הותקף לא אחת ע"י חוקרים בארצות שונות. Pignataro (מ.מ.2) מגיע במחקרו למסקנות הבאות:
- א. המדד הנוכחי אין בו כדי לתת תמונה ברורה הן למתכנן והן לנוסע.
 - ב. המדד מאופיין ע"י המהירות התפעולית שהיא לכשעצמה גודל שאינו ברור די צורכו.
 - ג. העובדה שאין קשר בין מהירות התפעול לגודל V/C יוצרת מצב בו אין כל קשר בין הנפח למהירות.

2.2 מהירות התפעול

- מהירות התפעול מוגדרת כמהירות הכוללת הגבוהה ביותר שבה הנהג יכול לנסוע - בתנאי מזג אוויר נוחים ובתוך זרם התעבורה - בלי לעכור אף פעם את המהירות הבטוחה כפי שנקבעה ע"י מהירות התכנון לכל קטע וקטע.
- עפ"י הגדרה זו, בולטת העובדה שמהירות זו, הינה ספציפית לכל נהג ונהג, ותלויה בבליצועים האינדיווידואליים שלו. למתכנן לא נותר איפוא אלא לצאת מההנחה שאכן מהירות זו תושג.
- קשר ישיר בין (V/C) לבין המהירות התפעולית, שהוא רצוי מאד אינו קיים. קשלים נוספים הנובעים מהשימוש במהירות התפעול הם:
- א. מהירות זו נקבעת כתוצאה ממעקב אחרי רכב ניסוי מיוחד. עובדה זו גורמת לכך שלמעשה זהו אינו פרמטר סטטיסטי הלקוח מתוך מידגם ולכן גם קשה העבודה עימו.
 - ב. מהירות התפעול אינה קשורה באופן ישיר לנפח התנועה הזורם.

2.3 מהירות התכן הממוצעת

מהירות התכן הממוצעת (A.H.S) הינה ממוצע משוקלל של מהירויות התכן של הדרך. בהנחה שעבור דרך, קיימות מהירויות תכן הספציפיות לכל קטע וקטע, הממוצע המשוקלל בהתחשב בארכי הקטעים הוא מהירות התכן הממוצעת של הדרך.

עובדה זו יוצרת בעיה, שכן עבור שתי דרכים בעלות אותה מהירות תכן ממוצעת, ניתן לקבל פרופיל מהירויות שונה הנובע מסדר שונה של העקומים המרכיבים את הדרך, משמעות הדבר שזמן הבסיעה גדל, מהירויות הבסיעה משתנות ולכן נוצרים מצבי האטה והאצה המשנים את בוחות הבהיגה.

2.4 מרחק הראות

מרחק הראות לעקיפה, הינו גודל שקשה מאד להעריכו וכן קשה למדוד אותו. למעשה מרחק זה הינו פונקציה של עקמומיות הדרך, והשיפוע הארכי הממוצע של הדרך (מ.מ.3).

2.5 סיכום

לאור ההשגות, שהובעו על צורתו הנוכחית של המדד להערכת רמת השירות, נוצר הצורך, לקשור את האלמנטים הגיאומטרים לאלמנטים התנועתיים (מהירות/נפח). קשר ישיר בצורה של מודל, יכול לתת ביטוי נוח, אשר בתנאים מסויימים של כביש, ניתן יהיה לצפות תנאי זרימה.

העובדה שהפרמטרים הנוכחיים אינם טובים די צרכם, גוררת בעטיה את הצורך להחליפם בפרמטרים אחרים אותם נוכל לאמוד ולכיל.

3. מקורות ספרותיים

כאמור, קיימת עבודתו של L. Pignataro (מ.מ.2) אשר געשתה אמנם בדרכים רב נתיביות, אך ניתן ללמוד ממנה לגבי אלו הדו נתיביות, במ קיימת בעית המהירות התפעולית בצורה חריפה יותר, שכך קיים צורך בקיום עקיפות תוך התחשבות בזרם התנועה ממול.

עבודה זו, מבטלת למעשה את הגודל של מהירות התפעול ובמקומו משבצת את המהירות הממשית הממוצעת (Average Running Speed). גודל זה אף מתקשר לבפח התנועה הזורם מתוך המשוואה של:

$$\text{Volume} = \text{Speed} \times \text{Density}$$

מחקר אחר הקושר את האלמנטים הגיאומטריים של הדרך לתנועה נעשה בידי Duncan (מ.מ.3).

המחבר מגדיר מהירות זרימה חופשית, כלומר מהירות אשר בה עדיין אין לנפח כל השפעה על מהירות התנועה, וכן את הנפח אשר החל ממנו כבר מתחילה המהירות לרדת.

המודל מוצג כך:

$$V_o = 82.5^* - \left(\frac{P-15}{10}\right) - \frac{H}{7.5} \left(\frac{185+P}{200}\right) - \frac{B}{7.5} \left(\frac{215-P}{200}\right) \quad (3.1)$$

כאשר:

- V_o מהירות זרימה חופשית בקמ"ש.
- H שיפוע ארכי ממוצע - סכום כל העליות והירידות בדרך מחולק באורך הדרך (מ'/ק"מ).
- B עקמומיות ממוצעת - סכום הזוויות החיצוניות לעקומים לאורך הדרך מחולק באורך הדרך (מעלות/ק"מ).
- P אחוז המשאיות.

* הגודל של 82.5 משתנה מידי שנה בשנה, בשל עליית המהירות הממוצעת בכבישים, ומומלץ מידי שנה להעלות מספר זה ב- 1.5 קמ"ש.

מודל בוסף אשר פותח בארה"ב הוא זה של Oppenlender (מ.מ.4) בו הוא מציג את מיכלול הפרמטרים הגיאומטריים כפונקציה של המהירות הנוקדתית.

$$\bar{v}_1 = 39.34 + 0.0267 Z_2 + 0.1396 Z_6 - 0.8125 Z_8 - 0.1126 Z_{12} \quad (3.2)$$

$$+ 0.0007 Z_{15} + 0.6444 Z_{16} - 0.5451 Z_{19} - 0.0082 Z_{22}$$

כאשר:

\bar{v}_1	-	מהירות ממוצעת נקודתית mph
Z_2	-	אחוז מכוניות נוסעות 'זרות'
Z_6	-	אחוז משאיות בזרם התנועתי
Z_8	-	עקמומיות, מעלות
Z_{12}	-	שיפוע, אחוזים
Z_{15}	-	מרחק ראות מינימלי לעצירה (ft.)
Z_{16}	-	רוחב הנתיב (ft.)
Z_{19}	-	מספר מבנים מסחריים על יד הכביש, יחידות למייל
Z_{22}	-	נפח תנועה כולל, Vph

Oppenlender אכן בדיק תלות בין המהירות הנקודתית לבין המשתנים הגיאומטריים, אך בספרות קיימות שיטות מעבר מהמהירות הנקודתית למהירות הממשית.

אחת העבודות היא של Wahlgren (מ.מ.5) אשר קשרה בין מהירות נקודתית (Spot Speed) לבין המהירות הממשית (Running Speed) בתלות במאפיינים הגיאומטריים.

מודל זה של Oppenlender אף הוצג ב- Traffic Engineering Handbook (מ.מ.7).

מחקר נוסף שנעשה בפיןלנד ע"י Wahlgren (מ.מ.5), הוא קשר כל פרמטר בנפרד למהירות הממשית הממוצעת, וכן כייל מודל אחד כולל אשר בו שיבץ את כל הגורמים גם יחד:

$$\bar{v} = 72.6 - 5.3 \cdot Y_7 - 0.046 \cdot Y_9 + 11.2 \cdot Y_{15} + 0.368 \cdot Y_{18} \quad (3.3)$$

$$- 31.7 \cdot Y_{19} + 0.116 \cdot Y_{20} + 0.039 \cdot Y_{21}$$

כאשר:

- \bar{V} - מהירות ממשית ממוצעת (קמ"ש)
- Y_7 - עקמומיות ממוצעת (רדיאנים/ק"מ)
- Y_9 - % מרחק ראות הקטן מ-500 מ'
- Y_{15} - V/C
- Y_{18} - נפח תנועה בכוון הנמדד (כ"ר/שעה)
- Y_{19} - הצפיפות (כ"ר/ק"מ)
- Y_{20} - אחוז כלי רכב פרטזים
- Y_{21} - מכוניות זרות

מטרתו של סקר הספרות היתה לסקור את מכלול קשרי הגומלין בין התנאים הגיאומטריים, לבין תנאי הזרימה בדרכים הדו נתיביות.

כתב עת, המסכם את הנעשה בשטח מחקרי התחבורה, OECD (מ.מ.6) מביא את הנעשה בקרב המחקרים על דרכים דו נתיביות. בין היתר מציין המחקר את כשלון המחקרים הקושרים את רוחב הנתיב וזרימת התנועה. כן מביא כתב העת, השוואה של השפעות שונות על המהירות הממשית הממוצעת, בתלות בשיפוע הארכי הממוצע ובעקמומיות הממוצעת, בדרכים דו נתיביות, כמובא בטבלה הבאה:

טבלה 3.1: השפעת גרדיאנט השיפוע ועקמומיות ממוצעת על המהירות הממשית הממוצעת.

שינוי במהירות הממוצעת בקמ"ש						
עבור כל 10 מ' / ק"מ עליות וירידות			עבור כל 10° / ק"מ עקמומיות			
תנועה מעורבת	רכב כבד	רכב קל	תנועה מעורבת	רכב כבד	רכב קל	
-1.02	-1.89	-0.73	-0.71	-0.43	-0.80	אנגליה 1952
-1.40	1.90	-1.23	-1.27	-0.77	-1.43	בריטניה 1968
-	-	-	-0.93	+0.36	-1.36	פינלנד

השלב הבא, היה הסקת מסקנות לגבי סקר הספרות, על מנת לתכנן את שלב ב' הוא שלב הבדיקות. ראוי לציין שהספרות המקצועית בשטח התחבורה אינה משופעת במחקרים העוסקים בקשרים שבין הגיאומטריה למהירות והנפח.

4. מסקנות

מסקר הספרות, מתברר שעל מנת לאפיין את מהירות הנסיעה בדרך, עולה שהמהירות הממשית הממוצעת Average Running Speed, מהווה קריטריון נוח ביותר הן למדידה והן לביטוי.

חשוב גם לציין שהערך של: $V = S \times D$

נקבע ע"י: Volume - נפח (V)

Speed - מהירות ממשית (S) !

Density - צפיפות (D)

ונותן את הקשר הבסיסי של תלות בין מהירות לנפח.

אלמנטים גיאומטריים אשר ניתן להשתמש בהם: שיפוע ארכי ממוצע, המבטא את העליות והירידות לאורך הדרך מבטא ב- (מ'/ק"מ).

עקמומיות ממוצעת של הדרך המבטאת את שיעור שינויי הזווית בעקומים ביחידות של (מעלות/ק"מ).

מהמחקרים עולה, שמרחק הראות הינו למעשה גודל הקשור הן לשיפוע הארכי הממוצע והן לעקמומיות הממוצעת, לכן אין צורך לבודדו באופן ספציפי. המחקרים השונים שנעשו על אודות התלות בין המהירות לרוחב המיסעה (מ.מ.5) לא נתנו כל קורלציה ממשית ולמעשה אין כל מידע מבוסס אשר ממנו ניתן לאמוד תלות זו.

הכיוון אליו יש לשאוף על מנת לבנות מדד להערכת רמת השירות הוא ע"י יצירת בסיס בצורת מודל אשר יבטא את:

(מהירות ממשית) $S = f(G ; \text{Volume})$ גיאומטריה (G)
נפח תנועה

מסקנה נוספת העולה, היא שאין להקיש ממדינה אחת למדינה אחרת, שכן קיימים הבדלים בצורות נהיגה במדינות שונות, והדבר אופייני במיוחד במעבר מאמריקה לאירופה, שם (אמריקה) המכוניות הינן בעלות גודל ממוצע גדול הרבה יותר!

המהירות הממשית, נבחרה לייצג את מהירות הנפח הזורם, מסיבה נוספת, והיא העובדה שמהירות זו היא פרמטר סטטיסטי שניתן לאמוד אותו מתוך מידגם של תצפיות, דבר שאינו אפשרי עבור המהירות התפעולית.

5. מהלך העבודה ומדידות

5.1 כללי

מהמסקנות שהוסקו נובע, שטרם שינוי הקונספציה הקיימת, יש צורך במדידות בשטח, אשר בעזרתן ניתן יהיה לספק בתובנים אשר מספקים מבחינה סטטיסטית, על מנת לכייל מודל המגדיר קשרי גומלין בין הגיאומטריה לתנועה.

לצורך כך נבחרו אתרים אשר לגביהם קיימות מפות תכנוניות, מהן ניתן לדלות את הפרטים הבאים:

- א. אלמנטים של שיפועים ארכיים.
- ב. עקמומיות ממוצעת.
- ג. רוחב הדרך.

5.2 הבדיקות

קטע ביסיוני ראשוני נבחר כביש עוקף יגור, אשר תכנן ובוצע לאחרונה בידי מע"צ. כאמור סוכמו הפרטים הגיאומטריים בעזרת המפות.

המיכשור שנבחר על מנת לבצע את המדידות הוא:

- א. 2 מדי מהירות נייחים, המוצבים בתחילת הקטע ובסופו והמודדים מהירות נקודתית.
- ב. מצלמות המחוברות למדי זמן, אשר בעזרתן ניתן בעזרת צילום מספר הרכב לקבוע זמן כניסה וזמן יציאה מהקטע. בצורה זו ניתן יהיה לחשב זמן נסיעה עבור אורך קטע נתון, וכן את המהירות הממשית הממוצעת.
- ג. מכשיר הוידאו אף נותן אפשרות לספור את זרם התנועה הזורם ממול, וכן להפריד בין רכב כבד לרכב קל.
- ד. מד מהירות נייך, אשר יותקן בתוך רכב ואשר בנסיעה בתוך שיירה, ניתן יהיה לאמוד את שינויי המהירות (תאוצה, תאוטה) הבאים לידי ביטוי במהלך הנסיעה בקטע הדרך.

6. סיכום ותכנון שלב ב'

לאחר בחירת האתרים המיועדים לעריכת תצפיות של מהירות וספירת תנועה, יוצר צורך בפיענוח הנתונים שלאחריהם המטרה היא כיוול מודל המבטא קשרים בין הגדלים הגיאומטריים לזרימת התנועה בדרך.

כיוול מודל זה יאפשר בשלב מאוחר יותר הצעת קונספציה חדשה לזו הקיימת, להערכת רמת השירות בדרכים זו ותיכיות בינעירוניות.

7. REFERENCES

1. Highway Capacity Manual, (1965) - Highway Research Board, Special Report 87.
2. Roess et al. 'Freeway Level of Service : A Revised Approach.' TRR 699.
3. Duncan, N.C. (1974) - 'Rural Speed/Flow Relations.' TRRL Laboratory Report 651.
4. Oppenlander, J.C. & Dawson (1967) - 'Criteria for Balanced Geometric Design of Two Lane Rural Highways.' Purdue University, School of Civil Engineering.
5. Wahlgren, O. (1967) - 'The Dependence of Vehicles Speeds on Different Factors - Particularly Road Geometry - On Two Lane Highway in Finland.' Scientific Research No. 22.
6. 'Two Lane Rural Roads : Design & Traffic Flow.' Organization for Economic Cooperation & Development, Paris, 1972, OECD Road Research.
7. Transportation & Traffic Engineering Handbook. Institute of Transportation Engineers, 3rd Edition, 1965.