

## תחבורה ציבורית חכמה במטרופולין תל-אביב (?)

אינג' בני שליט"א

נת"ע – נתיבי תחבורה עירוניים

### תקציר

מערכות התחבורה החכמות, הנמצאות בתהליך פיתוח מואץ, חודרות גם למערכות התחבורה הציבורית. מערכות המידע לנוסע, מערכת ניהול התחבורה הציבורית, מערכות ההעדפה ברמזורים, מערכות בקרת רכב חכמות, מערכות כרטוס אינטליגנטיות, מערכות בטחון לנוסע ומערכות נוספות כבר נכנסו לשימוש בהיקף נרחב במדינות המערביות. מערכות אלה מאפשרות יעול מערכות התחבורה הקלאסיות על-ידי קיצור זמן הנסיעה מדלת לדלת והפיכת הנסיעה לנוחה יותר וזולה יותר. שיפור בשלושה מדדים אלה מעלה את שיעור השימוש בתחבורה הציבורית – כורח השעה, הנובע מהסף העליון של שטח כביש לנפש אליו כבר הגענו. מעבר להשקעה הנדרשת ליישומן, מערכות אלה מחייבות טיפול מתמיד ועדכון בזמן אמת. מרכז הבקרה העומד לקום במטרופולין תל-אביב, נועד לאפשר זאת. היתרון של המתחיל, שאין לו ירושות מחייבות, יאפשר לישראל להיות מהמובילות בעולם בתחום.

### התחבורה הציבורית החכמה

בעולם עם משאבים מוגבלים, הם מופנים למקום בו הכדאיות למשקיע גבוהה יותר. כאשר התפתח הרעיון של הכנסת טכנולוגיה ותחכום לעולם התחבורה, משאבי המשקיעים הופנו לעולם הרכב הפרטי. עולם ה-ITS (Intelligent Transportation Systems) של התחבורה הציבורית נשרך מאחור ובעיקר נהנה מהשיריים של הפיתוח עבור הרכב הפרטי. תחום הבטיחות בתח"ץ או תחום ניהול המידע, הם דוגמה מובהקת לכך. הגידול המואץ בהיקף התנועה של הרכב הפרטי וההבנה שלקיבולת הכבישים ולהיקף הנזק הסביבתי האפשרי יש גבול, הביאו למתן דגש הולך ומתחזק לתחום התחבורה הציבורית, ובעקבותיו גם לקידום תחום ה-ITS של התחבורה הציבורית.

כמו כל מערכת תחבורתית, גם מערכות ה-ITS לתחבורה ציבורית צריכות לתרום לשלושה המדדים הבסיסיים של התחבורה - **זמן, נוחות ומחיר**. לפי הסדר הזה. מערכות ה-ITS יסייעו להפוך את התחבורה הציבורית למתחרה מועדפת בתחרות עם הרכב הפרטי.

המגמה בעולם ה-ITS היום היא להגדיר את השירות למשתמש, ללא חשיבות מהי המערכת המעניקה את השירות, ובלבד שתיתן מענה מיטבי לצורך, בהיבט נוחות השימוש והמחיר. מערכת מסוימת יכולה לשמש מספר שירותים. לדוגמה המערכת המזהה את מקומו של הרכב (AVL - Automated Vehicle Location), יכולה להתבסס על מספר טכנולוגיות, החל מחיבור לגלגל הרכב (מערכת מיושנת למדי), דרך מערכת מבוססת GPS, ועד מערכת אינרציאלית. ידיעת מיקום הרכב בזמן אמת, מאפשרת מספר שירותי משתמש: מידע לנוסע, ניהול אירועי תח"ץ, ניהול צי הרכב ועוד.

מערכות ITS, התומכות בתחבורה ציבורית, מתמקדות היום במספר חבילות שירות (Market Packages), שהעיקריות הן: (1) המידע לנוסע, (2) מערכות הגביה, (3) מערכות הרכב, (4) מערכות הכביש, (5) ניהול ההפעלה, ו- (6) בטחון הנוסע. כל חבילת שירות הניתנת על-ידי מערכת ITS צריכה לתרום לפחות לחלק מהמדדים הדרושים לתחבורה, אותם מדדי זמן-נוחות-מחיר. מידת המענה למדדים היא ההצדק לפיתוח מערכת מסוג זה. בסקירה הקצרה ננסה לראות מהן חבילות השירות ומה תרומתן למשתמש בתחבורה הציבורית.

### המידע לנוסע

תחום המידע לנוסע היה הראשון מבין תחומי ה-ITS שנכנס לתחבורה הציבורית והוא אולי גם החשוב שביניהם. המידע לנוסע ניתן היום במגוון רחב של אמצעים, והוא ניתן הן לפני הנסיעה והן במהלכה.

**המידע טרום נסיעה** נועד בעיקרו לתכנון מסלול נסיעה מלא מדלת לדלת. הוא יכול להינתן באינטרנט – במחשב הביתי, במחשב הנייד ובמחשב כף-יד, במענה טלפוני אנושי (Call Center), בטלפון סלולארי דרך הודעת SMS או הודעה קולית, בעמדות מידע ועוד. מסלול הנסיעה הניתן במסגרת שירות זה יכול להיבנות לפי העדפות המזמין, למשל – מינימום הליכה, מינימום מחיר, מינימום זמן המתנה, הגעה עד שעה מסוימת ועוד. נכון לעכשיו מידע זה מתבסס בעיקר על לוחות זמנים מתוכננים של קווי התחבורה הציבורית, אולם יש כבר ניצנים של מערכות המסתמכות גם על מידע בזמן אמת מהשטח.

**המידע הדינמי בתחנה**, כמו כל מידע, חייב להיות רלבנטי, מעודכן וקליט. בתחנה יש לתת את המינימום ההכרחי לשימוש הנוסע: איזה קו, לאן ומתי. בדרך כלל השלט מציג מספר קווים ואת מועדי הגעתם. היכולת להציג מידע דינאמי בתחנה מאפשר שירות של תחנות דינמיות, כלומר – שלט מרכזי למקבץ תחנות, המפנה את הנוסע לרציף בו אמור להגיע בזמן הקרוב - הרכב שייקח אותו ליעדו. הרכב עוצר בתחנה הנוחה ביותר לנוסעים, מבלי לפגוע ברכב הבא. בנושא המידע בתחנות כבר עשה משרד התחבורה צעד חשוב, בהגדירו את מהו המידע בתחנה וכיצד יהיה מוצג, וכבר יש פיילוט להמחשת היכולת ולצבירת ניסיון.

עדכון הנוסע נמשך גם **בזמן הנסיעה**. המידע ברכב כולל את: שם תחנה הקרובה ובאפשרות גם את זו שאחריה, מתי מגיעים אליה והודעות רלבנטיות נוספות.

קיימת אפשרות **למידע דינאמי עוקב**. מידע זה מלווה את מזמין המידע מרגע בחירת המסלול ועד הגיעו ליעד, באמצעים כמו הטלפון הסלולארי. מערכת זו מודיעה למשתמש האם יש שינוי בלוח הזמנים של הקו שבחר וממליצה האם לשנות החלטות, מודיעה לו מתי עליו לרדת ולהחליף קו, מסייעת בניווט ועוד.

## ניהול התחבורה הציבורית

תחום ניהול המערכת הוא התחום בעל פוטנציאל הגידול הרחב ביותר. היום הוא מופעל להיקף מוגבל למדי. המערכות מיועדות הן לניהול אירועי תחבורה ציבורית והן לתכנון וניהול צי הרכב.

**ניהול אירוע** תחבורה ציבורית הוא כל טיפול באירוע הקשור ברכב ציבורי. האירועים העיקריים שניתן למנות בקטגוריה זו הם חריגה מלוח זמנים, צפיפות מעל המותר או תקלה ברכב. המערכת אמורה לזהות את האירוע בצורה אוטומטית - על-ידי מערכות הרכב, או יזומה על-ידי הנהג - ולהגיב בהתאם. התגובה, בין השאר, יכולה להיות הוספת רכב לקו מתוך "מחסניות" חירום הפזורות במקומות אסטרטגיים. לעיתים עלולה להתעורר בעיה בתנועה הכללית ואז גם התחבורה הציבורית מושפעת מכך. הקשר שבין מערכת ניהול התחבורה הציבורית למערכת ניהול התנועה הכללית יאפשר שינוי במהלך קו או שינוי במערכת קווים כך שהפגיעה בנוסעי התחבורה הציבורית תהיה מזערית. במקרים של אירוע חמור בתחבורה הציבורית, כגון השבתה מאולצת של הסעת המונים, כאשר אלפי נוסעים עלולים להיקלע לבעיה, המערכת תסייע לפתרון מערכתי ממוסד מוגדר מראש.

**תכנון ההפעלה וניהולה:** אחת הבעיות המורכבות באופטימיזציה היא לבנות מערכת שעות עם אילוצים. כך למטוסים, כך לבית ספר וכך גם לצי תחבורה ציבורית – מערכת האופטימיזציה המסובכת מכולן. במערכת תחבורה ציבורית מורכבת יש הרבה משתנים להתחשבות: הקווים ותתי הקווים, השעות, כלי הרכב, הנהגים, טרמינלים לחניה ועוד. בנוסף על כך יש להתחשב באילוצים כמו שעות ביקוש משתנות, אילוצי נהגים (שעות, מקום מגורים, צמידות לרכב ולקו ועוד), אילוצי רכב (קיבולת, טיפולים, התאמה לסוג שירות וכד'), קיבולת טרמינלים ועוד ועוד. תכנון מערכת מסובכת כזו מחייבת שימוש במערכות מתקדמות הן לצורך התכנון מוקדם והן לצורך מענה על שינויים צפויים ולא צפויים. הבשורה הרעה היא שהיום המערכות די מוגבלות ביכולות ומסתמכות על הנחות רבות, והבשורה הטובה היא שיש כאן כר נרחב להתפתחות.

מערכת ניהול הצי תאפשר לרגולאטור (המדינה) לבחון את העמידה של בעל הזיכיון במחויבויותיו לנוסע בחוזה עם המדינה. מחויבויות כגון לוחות זמנים וצפיפות ברכב, יוכלו להיבדק בצורה שיטתית ולא רק מדגמית ומכך בוודאי יצא הנוסע נשכר.

### **מערכת הגבייה AFR – Automated Fair Collection:**

הדלק לכל מערכת התחבורה הציבורית הוא הכסף. לא בכדי מערכת הגבייה היא היותר מפותחת היום מבין מערכות ה-ITS לתח"צ. המערכת מחייבת הכנת תשתית רחבה של אמצעים ותקשורת, ולא פחות מכך מערכת הסכמים בין כל הגורמים. כאשר שני המרכיבים הנ"ל בוצעו, אז המערכת זורמת עם מעט תקלות.

### **עקרונות המערכת:**

העדפה משמעותית לנוסע מתמיד (לא חד-פעמי);

הכרטוס יבוצע מחוץ לרכב, כדי לחסוך בזמן עצירת רכב בתחנה;

תאימות בין כל המפעילים (Interoperability);

## סוגי כרטיסים:

מערכת התחבורה הציבורית מכירה בשני סוגי כרטיסים חכמים: חופשי תקופתי, כרטיסיה דינאמית. שני סוגי הכרטיסים הם אישיים ושניהם ניתנים לטעינה מחדש. בנוסף עליהם, בלית ברירה, קיים גם כרטיס חד-פעמי.

הכרטיס ה-"חופשי תקופתי" מוגדר לתקופה מוגדרת - חודש, שבוע או יום, עם אפשרויות להגדרות אחרות, כגון תקופת האולימפיאדה או כל אירוע אחר. עם כרטיס מסוג זה הנוסע מקבל נסיעות במחיר קבוע לכל התקופה, ללא תלות במספר הנסיעות.

**הכרטיסיה הדינאמית** (Stored Value) היא למעשה ארנק אלקטרוני לתחבורה. הנוסע טוען בכרטיסיה סכום כסף וגורע ממנו בכל נסיעה, לטובת מפעיל השירות.

הכרטיס **החד-פעמי** נרכש לזמן מוגבל ולאזור מוגבל אולם ללא מגבלת מספר נסיעות במגבלות אלה. הכרטיס מיועד לנוסעים מזדמנים, ללא מניע חזק לרכוש אחד מהכרטיסים המועדפים. כדי ליצור מניע לרכוש את הכרטיסים הקבועים נוצר פרופיל נוסע אישי, שמשמש למתן זכויות (תלמיד, אזרח וותיק, חייל וכדומה) וכן אפשרויות לזכויות נוספות כגון מועדון קונים, זכויות לאירועים וכו'.

## עבודת המערכת:

מערכת התחבורה הישראלית, כמו כל המדינות המערביות, מופעלת ותופעל על-ידי מספר חברות הפעלה. הבעיה בעיקרה היא בעיה מדינית-ארגונית ולא בעיה טכנולוגית. הטכנולוגיה זמינה על המדף כבר היום ועובדת בהרבה ארצות. ההסכמים על חלוקת הרווחים עלולים לעכב תהליך כזה לשנים רבות.

מערכת הגבייה פשוטה יחסית – כל מפעיל גובה את הסכום עבור הנסיעה שבוצעה בו ואת נתוני הנסיעות שבוצעו בו. כל חברה מעבירה למסלקה המשותפת הן את ההכנסות והן את נתוני הנסיעות וחלוקת רווחים נעשית בהתאם להגדרות בסיס מתעדכנות.

## מערכות הרכב

הציוד הנייד של חברות התחבורה הציבורית (הרכב) נהנה מהפיתוח הרב שחל בתחום הרכב הפרטי. שילוב ה-ITS במערכות הרכב בא לידי ביטוי בשני כיוונים – הבטיחות והנהיגה. מערכות הבטיחות שהתפתחו תואמות למדי את אלה של הרכב הפרטי: בלימה, הגנה על נוסעים, בקרת מרחק, בקרת החלקה ועוד. בהיות הרכב הציבורי גדול יותר האמצעים והבטיחות הותאמו לכך.

לעומת זאת נושא הנהיגה בתחבורה הציבורית קיבל כיוון ייחודי. בעוד שאין כדאיות להשקעה יקרה ברכב פרטי, בתחבורה הציבורית התקדמו מספר כיוונים המשנים את תנאי הנהיגה של הרכב הציבורי ואת תחושת הנוסע בהתאם.

הרכב הציבורי המתקדם יכול להיות מופעל על-ידי מערכות ממוחשבות, לעומת המערכות המכאניות הקלאסיות. בהתאם לכך הוא יכול להגיע להיגוי ברדיוסים של רכב פרטי, יכול לעצור בתחנות במדויק ובמרחק אפסי מהרציף. המערכות מאפשרות לו נהיגה כמעט אוטומטית. ברכב ציבורי גדול הבקרה

על הנוסעים יכולה להתבצע על-ידי מערכות וידיאו, ובסיוע של מערכת ספירת נוסעים, לבקרת צפיפות יתאפשר לנהג לשמור על תנאי השירות של הנוסע. במספר מקומות בעולם, בינתיים מעט, קיימות מערכות תחבורה ציבוריות אוטונומיות לחלוטין – רכב ללא נהג! מגמה זו יכולה להתרחב, בעיקר במקומות בהם יש הפרדה מלאה בין התנועה הרגילה ותנועת הרכב הציבורי. לאחרונה התפתחו מאד מערכות של תקשורת בין רכב לרכב (V2V) ובין רכב לתשתית (V2I). מערכות אלה כדאיות להתקנה במיוחד ברכב המוביל מספר נוסעים רב – התחבורה הציבורית. בנושא מערכות הרכב השיפורים נמצאים בהליך מואץ והגבול עדיין רחוק.

### מערכת השטח – רמזורים מעדיפים

מערכת ההעדפה לתחבורה ציבורית היא למעשה רמזורים (מנגנונים) חכמים לתנועה, המקבלים אילוצים לטובת התח"ץ. קיימות אפשרויות העדפה שונות, מותנה ברמת המידע שמקבל הרמזור, במדיניות ההעדפה וכמובן ביכולותיו הטכנולוגיות. בהנחה שיהיה מידע מלא זמין המערכת תוכל להיות אופטימאלית. מעבר לכך, ככל שתפחת תנועת הרכב הפרטי, מערכת ההעדפה תהיה יותר יעילה ותשאף להגיע ל-100% העדפה. הצלחת ההעדפה ברמזורים תלויה רבות בתצורת התשתית הכבישים, וזו אינה חלק ממערכת ה-ITS. נכון להיום אין בנמצא הרבה מערכות רמזורים שיודעות לעשות בחוכמה גם העדפה לתחבורה ציבורית וגם אופטימיזציה של ייתרת התנועה, ובנוסף יהיו מותאמים לתנאי התנועה בישראל.

### מרכז הבקרה המטרופוליני

כל המערכות הנ"ל מוכרות ורובן מטופלות בשלב זה או אחר במסגרת משרד התחבורה. יישומים מוקדמים של מערכת המידע, קרי מידע בתחנות, כבר יצא לדרך וניתן לראות אותם כבר בשטח. מערכת מידע מלאה, הכוללת מידע משולב לנוסע בתחבורה הציבורית לנסיעה מדלת לדלת, נמצאת בשלבי אפיון ופיתוח עבור משרד התחבורה, על-ידי, חברת עדלי"א. גם למערכת הכרטוס יש כבר סנוניות ראשונות בשטח, וחברות תחבורה ציבורית כבר הכניסו לשימוש כרטיס חכם. שילוב הכרטיסים של כל החברות עדיין לא נראה באופק, אם כי משרד התחבורה כבר מוביל מהלכים נמרצים בכיוון.

מערכת ההעדפה ברמזורים כוללת חמישה מרכיבים: (1) המדיניות, (2) הרמזור (המנגנון), (3) מערכת השליטה עליו, (4) תכנית הרמזור המעדיפה ו-(5) מערכת קבלת ההחלטות להחלפת תכניות. המדיניות - בחרה ומוגדרת, רמזור היודע לבצע העדפה - קיים, מערכת בקרה - קיימת ("אביבים") ואילו עם שיטת התכנון להעדפה ועם מערכת קבלת ההחלטות נעשות היום פעולות נמרצות כדי להעמיד את היכולות בתוך כשנתיים.

מערכות הרכב ומערכות הניהול הן בעיקר בידיהם של מפעילי התחבורה הציבורית, ואלה, ללא מניע חזק להתקדם בנושא לא יעשו אלא את הנדרש מהם.

כפי שמצטייר מהאמור לעיל, בסימביוזה שבמשולש **ממשלה-מפעיל-נוסע**, תפקיד המפתח הוא בידי הממשלה.

כל המערכות האלה חייבות הסתכלות מרכזית אחת, שתדאג לקשרים ההדדיים בין המערכות:

- ↔ שהמידע על פקקים יגיע למערכות ניהול קווי האוטובוס ← שידעו לבחון מסלול חלופי,
- ↔ שהמידע על עיכובים באוטובוס יגיעו לנוסע שבדרך ← וגם הוא יקבל המלצות למסלול חלופי,
- ↔ שהמידע על אוטובוס מלא יגיע למנהל הקו ← והוא ישלח אוטובוס משלים,
- ↔ שרכבת קלה מאחרת תבקש ממרכז בקרת הרמזורים העדפה ברמזורים ← ותקבל
- ↔ וכך הלאה – כל המערכות צריכות להיות משולבות.

המקום בו יתרכזו כל המערכות הוא **במרכז הבקרה המטרופוליני של תל-אביב**. במרכז זה, יחבורו כל מערכות בקרת הרמזורים עם מערכות המתע"ן ועם מערכות בקרת התחבורה הציבורית, וכך יוכל כל המידע להיות זמין במקום אחד. במרכז זה ניתן יהיה לעבד את המידע ולבנות אותו לפי הצרכים של כל גורמי התחבורה בכלל, והתחבורה הציבורית בפרט. חיבור זה במקום אחד, שבמדינות רבות מבוצר על פני גורמים באתרים שונים, יאפשר לישראל להיות בין המובילות בנושא – יתרונו של המתחיל, שאין לו ירושות מחייבות.