

# תכנון ערים, רעש תחבורה וקיברנטיקה

בכתיבה העת "התפתחויות בקיברנטיקה ובחקר מערכות" הופיע מאמר מאלף, פרי עטם של חוקרים ישראלים, המנתח את השפעת המוטרד של רעש התחבורה על תכנון הערים. להלן תרגום המאמר מאנגלית, תוך השמטות מסוימות.

התעבורה העירונית ומיטרדי הרעש הכרוכים בה, קשורים במבנה הכללי של עיר: הפיזי, חברתי, הדמוגרפי, הכלכלי וכו'. מאמר זה דן בהשלכות, החיוביות והשליליות כאחד, של התחבורה בעיר והרעשים הנלווים אליה, על הפעילויות העירוניות. המאפיינים של רעש התחבורה — התפשטותם, מקורותיהם, דרכי מדידתם, השפעתם על התושבים ואמצעי ההתגוננות מפניהם — כל אלה הם בגדר מידע חיוני לחקר השלכות אלו.

## הטיפול ברעש התחבורה

האמצעים למלחמה ברעש התחבורה נחלקים לשלוש קבוצות:

- 1) אמצעים המכוונים כלפי מקור הרעש;
- 2) אמצעים לטיפול ב"מדיום" החוצץ בין מקור הרעש לבין אוזן השומע.
- 3) אמצעים המשמשים לבידודו של השומע.

כדי שאפשר יהיה לפעול באחד משלושת המישורים האלה יש לנקוט בתחילה כמה אמצעים שונים כגון: איתור אזורים פגיעים לרעש על-יסוד אופי התחבורה, דירוג הרעש וכו'; שיפורים והתאמות מכניים (לחלקי כלי רכב, לתוואי הכבישים, לאזור שבין הכביש לבניינים, לחזיתות הבתים עצמם וכו'); תכנון מוקדם ספציפי או כולל הלוקח בחשבון גורמים כמו נתיבי תחבורה, סוגי דרכים, חלוקה לאזורים והפונקציות שלהם, מיקומן של דירות על כיווני האויר שלהן ועוד; וכן התקנת חוקים ותקנות המכוונים להגביל את רעש כלי הרכב, לדלל את התנועה בדרכים, להקטין את המהירות המירבית של כלי הרכב, לקבוע גבולות מותרים לדרגות רעש, להטיל קנסות וכו"ב. התוצאות הטובות ביותר מתקבלות, כמובן, אם נוקטים בו זמנית אמצעים בכל שלושת המישורים כאחת. טיפול בבעיה בדרך של שיפור כלי הרכב, הוא כנראה אמצעי המבטיח ביותר, כי בדרך זו ניתן לבלום את הרעש לפני שיספיק להתפשט. אך דרושה תקופה ארוכה של עבודה מאומצת כדי להשיג שיפורים נאותים בחלקיהם השונים של כלי הרכב, באופן שרק בטווח ארוך יחסית ניתן לצפות לתוצאות. המערכות העקריות שבהן יש למקד מאמצים אלה הן: המנוע של כלי הרכב, המפלט וכן

מערכת הבלמים. בעיות נילוות בעלות חשיבות הן החיכוך של הצמיגים והרעש האירודינמי.

פיקוח על התחבורה — על הרכבה, יעדיה ומהירותה — הינם חיוניים לשליטה במידת הרעש. ניתן להשיג מטרה זו, בין השאר, ע"י פיקוח על מוקדי היציאות של כל-ירכב ויעדיהם, פיזור צמתים ורמזורים, תכנון נכון של זוויות הסיבובים בכבישים, מתקנים לעצירה וחניה בשולי הדרך, הפניות לכבישים צדדיים וכו'.

### **טיפול ב"מדיום" המעביר את הרעש**

טיפול במרחב החוצץ בין מקור הרעש והאדם החשוף לו מביא בחשבון כרגיל שימוש באזורים, שאינם מבוזים לצורך סלילת דרכים ראשיות, וכן ניצול של מחסומים טבעיים ואחרים הקיימים בשטח (או יצירתם) כדי לבלום את התפשטות גלי קול ממקורם לאוזן השומע.

ככל שנגביה את הכביש מעל לגובה הכללי של סביבתה כן נשפיע השפעה ניכרת על שיעור התפשטות הרעש. בדומה לכך, ככל שתהיה הדרך נמוכה יותר מהגובה הכללי של הסביבה כן תקטן תפוצת הרעש. התוצאה הטובה ביותר מתקבלת ע"י שתילת צמחיה על המדרונות משני עברי הכביש שנסלל מתחת לפני הסביבה.

מספר גורמים משפיעים על המירווח המינימלי הדרוש בין הכביש לבין הבתים הסמוכים. חשיבות ראשונה במעלה נודעת לגורמים כגון שיעור הרעש, או הכמות והמהירות של התנועה. השפעה פחותה יותר יש, לעומת זאת, לגורמים בדומה לגובה הבניינים, צורת הפיתוח שעברה הסביבה, מבנה הקרקע והצמחיה וכו"ב.

בתים נמוכים מוקפים צמחיה צפופה או מחסומים אחרים המונעים התפשטות גלי-קול, יכולים להיבנות קרוב יותר לכביש מאשר בניינים גבוהים שקומותיהם העליונות חשופות לרעש.

כאשר דנים באפשרויות האלטרנטיביות בבתיים גבוהים — התנאים הנוחים ביותר נוצרים שעה שבנין גבוה משמש חיץ בין בתים אלה לבין הכביש. ועוד, בקומות התחתונות של בתים גבוהים כאלה הממוקמים במרחק-מה מהכביש, דרגת הרעש הינה נמוכה כיוון שחלק מהקול נבלע ע"י הקרקע. לעומת זאת, בקומות עליונות של הבתים יורגש הרעש בצורה חזקה הרבה יותר.

### **דרכים לפעולה נגד רעש התנועה**

בידוד מהשפעות של רעש התנועה ניתן להשיג ע"י עבודות עפר מסויימות, גבעות ומדרונות טבעיים (או מלאכותיים), בניינים וקירות ובמקרים מסויימים נוסף גם צמחיה צפופה. למחסומי הקול האלה יש לעתים יעילות אקוסטית ניכרת, שהינה בעיקר פונקציה של ממדיהם. הדבר תלוי בגובהם מעל מקור הרעש, המרחק שביניהם לבין השומע ומקור הרעש, רציפותם ואורכם, יכולת הספיגה של קול הגלים בהם, הזווית שהם יוצרים ביחס למקור ולשומע, וכן כיום גורמים מחזירי-קול בשטח. כאשר מתכננים מחסומים אלה, יש גם לקחת

בחשבון גורמים כגון יציבות המיבנים, בטיחותם, צורתם וכן יכולתם להחזיר קול חזרה לכיוון הכביש. התכנון הכולל של הסביבה מהבחינה האקוסטית הייב לכלול ניצול יעיל של המבנים השונים בעיר וסביבתה; וכן, עליו להביא בחשבון מידע כגון הכיוונים של זרימת התנועה, רשת הכבישים המתוכננת, רוחב הכבישים וכו'. טיפול מיוחד יש להקדיש למרכזים מסחריים שם תנועת הולכי הרגל הינה צפופה במיוחד.

כיוון שרוב מיבני המגורים בעיר מרוכז בבלוקים או בקבוצות, הרחקתה של תנועת הרכב הכבד ממקומות אלה תביא הקלה מיידידת לחוגי אוכלוסיה רחבים. ואולם, בערים הגדולות קשה תכופות למצוא רובעים דלילי-אוכלוסיה או בלתי מיושבים לחלוטין, אשר זרכס ניתן להפנות את כלי הרכב הכבדים. ועוד, קשה לתכנן בעיר כבישים ראשיים מהירי תנועה בדרך שלא תיפגע בצורה זו או אחרת בחלקים מסויימים של האוכלוסיה.

הכוונת המעבר של כלי רכב באופן שיעקפו את העיר ויעברו בפריפריה שלה היא בסופו של דבר הדרך המהירה ביותר להגיע לחלקים שונים של אזור עירוני; וזאת על אף הגדלת המרחקים הכרוכים בה. עם זאת יש לציין כי בעוד שהכבישים העוברים בפריפריה מקילים על התנועה בתוך העיר, הרי אין בהם עדיין משום פתרון לטווח ארוך להתרחבות הדינמית של התחבורה העירונית. הכוונה של התנועה לדרכים עוקפות היא למעשה בגדר "כיבוי שרפות" ותהיה אפקטיבית למספר שנים בלבד, בעוד ששיפור לטווח ארוך ברשת התחבורה דורש אמצעים מקיפים יותר ומצריך השקעות הון גדולות מאוד.

סלילתם של כבישים ראשיים בהם מותרת מהירות נסיעה גבוהה, שעוברים בלב הערים, מעוררת בעיות אקוסטיות חמורות ברובעים השונים של הערעים. הכרחי, איפוא, כי ההשלכות האקוסטיות של כבישים ראשיים אלה ייבדקו בצורה יסודית קודם סלילתם. יש ללמוד השלכות אלו לפרטיהן ויש להסיק את המסקנות הראויות. הנסיון מראה כי תכנון מדוקדק של קירות, חגורות-מגן ומחסומי רעש הוא חיוני, אם מבקשים להקטין במידה סבירה את הרעש.

במישור האדמיניסטרטיבי מחייב הפיקוח על רעש התנועה את חלוקתה של העיר לאזורים, שלגבי כל אחד מהם ייקבע גבול הרעש המותר בו. האזורים השונים חייבים להיות ידועים לציבור הרחב, כדי שרוכשיהם הפוטנציאליים של נכסיד-לא-ניידי יוכלו להביא בחשבון את גורם האקוסטיקה. חלוקה כזו לאזורים אקוסטיים נהוגה כבר בארצות שונות כמו שוויצריה, אוסטריה, צרפת, יפאן ואחרות. וגם בישראל מעוררת הבעיה לאחרונה תשומת לב פעילה.

בעיה בפני עצמה היא התחבורה הגוברת בשעות הלילה, העתידה להשיג דרגות רעש שוות לזו שבשעות היום. הדבר מחייב, איפוא, ביקורת ופיקוח במשך 24 שעות ביממה. הפיקוח על התחבורה הלילית יכול לכלול איסור על מהירות נסיעה מעל לגבול מסויים, תקנות מיוחדות (כגון הגבלת השימוש בצופר), החמרות לגבי התחבורה המסחרית, ולדוגמא, הגבלת השעות בהן מותר להעמיס ולפרוק סחורות) ועוד. בדרך זו אפשר יהיה, במידה מסויימת, להפחית את הטרדת התושבים בזמן השינה.

אם למרות כל המאמצים האלה נשארים אזורים, שבהם רמת הרעש עוברת

את גבול הנסבל יש לנסות להנהיג פעילויות עירוניות פחות רעשניות במקום אלו הרווחות בהן כיום. פירוש הדבר הוא שינוי ביעודיהם הנכחיים של המבנים — אם בדרך טבעית והדרגתית ואם בדרך של אכיפה חוקית תוך תשלום פיצויים לנפגעים.

### **שיפורים תכנוניים וארכיטקטוניים**

אם אין דרך למנוע או לפחות לצמצם את הרעש הנגרם ע"י כלי הרכב, ואם בנוסף לכך אין אפשרות לטפל בדרך משביעת רצון במרחב שבו עובר הקול, הרי האלטרנטיבה היחידה היא זו של שיפורים תכנוניים וארכיטקטוניים. כדי להשיג מטרה זו יש לדרוש מיקום נכון של הבנינים באופן שהם יפנו אל הכביש בצורה הנאותה ביותר וכן יש להקדיש תשומת לב לצורת הבניין במגמה להקטין עד למינימום את ההחזרים והתנודות של הקול. סידור החדרים בדרך המקטינה את הרעש ובידוד החזיתות של הבנינים הפונות לכביש — אלה הם אמצעים נוספים באותו כיוון.

כאשר מוקם בנין בקרבת עורק תחבורה הומה — נודעת חשיבות מרובה לצורתו וכיווני האויר שלו. כאשר בכיוון הרחוב פונה חזית שקועה של בנין — השקע ירכז את גלי הקול ויביא להחזרתם מצד אחד למשנהו. לעומת זאת, צורה קמורה של הבנין תתרום לפיזורם של גלי הקול. ועוד, קומות הפונות הצידה מהכביש מוגנות היטב מרעש תחבורה. ואילו מרפסות מתוכננות היטב עם מעקות נגד-רעש מהוות תוספת מגן לחזית הבנין.

כאשר הבניין נמצא עדיין בשלבי תכנון, יש שהות לבנות אותו באופן שהחדרים הסובלים ביותר מהרעש, כמו חדרי מגורים ושינה, ימוקמו בצד האחורי של הבנין, בעוד שחדרי השירות (חדרי המדרגות, המטבח והאמבטיה) יפנו אל הדרך. החלונות הם הם החוליה החלשה בכל הנוגע לבידוד אנשים מרעשים חיצוניים. בעיית הבידוד מתמקדת, איפוא, בטיפול בחלונות: סגירתם, הפחתת שטח פניהם או אמצעים אחרים כגון זכוכית כפולה. בידוד החלונות מחייב טיפול באמצעי האיוורור (כגון מאווררים ומזגנים), כיוון שהפעלתם של אלה מעוררת אף היא רעש מסויים.

### **ההשפעה על ההתפתחויות בעיר**

ניתן להצביע כאן על מספר דוגמאות להשפעת הגומלין בין מערכת תחבורה והרעש הכרוך בה מחד, לבין המערך האורבני בכללו מאידך:

1. שינויים רציניים בדרגות הרעש לאורך עורק תחבורה באזור, אשר נגרמו בין השאר ע"י גידול בצפיפות התנועה, מהירותה, או ע"י מעבר של כלי רכב כבדים, עלולים להביא בעקבותיהם לשינויים בעלי משמעות בסביבה הקרובה, ואף הרחוקה יותר. המדובר בשינויים בחזיתות הבנינים במטרה להבטיח בידוד מרעש או בהתקנת גדרות, קירות וסוללות עפר העשויים לשמש כחיץ בפני קולות רעש. כן מדובר בשינויים בהרכב הדמוגרפי, חברתי וכלכלי של אוכלוסיות האזור. שהרי התושבים המתגוררים בסמוך למקורות הרעש נוטים לעזוב את האזור ולעבור לחלקי עיר אחרים. מחיר הדירות באזור הרעש

- יורד, דבר המביא אליו חוגי אוכלוסיה מרמה חברתית-כלכלית נמוכה וכן חדירת שימושים כדוגמת בתי מלאכה ועסקי מסחר סיטוני. כתוצאה מכל אלה יורדת הרמה של אחזקת הבנינים ומתחילים להיווצר משכנות עוני טיפוסיים.
2. לפעמים קורה שהפיכת רחובות לעורקי תחבורה ראשיים משפיעה לטובה על אזורים אחרים בעיר, כיוון שהיא מסיחה מהם את התנועה וע"י כך מפחיתה את המטרד של רעש וזיהום.
  3. עלולות לחול גם תמורות בכיוון ההפוך בעיר, כאשר התפתחויות מסויימות האופייניות למבנה העירוני מביאות להתגברות דרגת הרעש בסביבתם של עורקי התחבורה. הדבר קורה בעיקר כאשר קיים רצף חזיתות בתים גבוהים לאורך שני צידי הרחוב.
  4. מאידך, בתים נמוכים ומפוזרים המוקפים צמחיה גבוהה וצפופה עוזרים לפיזורם ובליעתם של גלי-הקול וכתוצאה מכך פוחתת רמת הרעש בסביבה.
  5. קירות מגן בשני צדדיו של עורק תחבורה עלולים לגרום לתנודות חוזרות ונשנות של גלי הקול, להגביר את רמת הרעש, ואם אינם גבוהים וארוכים במידה מספקת יכולים גלי הקול אף לעבור דרכם.
  6. לעומת זאת, סוללות עפר שעל מדרונותיהן נשתלה צמחיה, בולעות חלק ניכר מגלי הקול, עוצרות את הרעש שמקורו בכלי הרחב ושומרות על השקט בסביבה משני עברי הכביש.
  7. התקנת מספר גדול של רמזורים בכבישים מסדירה אמנם את זרם התנועה ומונעת פקקי תנועה וכן את הצורך להשתמש בצופרים. אך מצד שני מביא הדבר לריבוי עצירות של כלי הרכב והתנעתם מחדש, דבר הכרוך בהתגברות הרעש.

### **דוגמאות לטיפול בבעיה**

להלן מובאות שתי דוגמאות — האחת שלילית והאחת חיובית — לגבי הטיפול בבעיות רעש בסביבה עירונית.

**דוגמא א' —** בעיר בנויה בצפיפות המאופיינת בדרגה גבוהה של מינוע בולטת דיספרפורציה בין מספר האנשים המבקשים לנסוע מזה לבין מערכת עורקי התחבורה מזה. הקשיים העיקריים הם מחסור בכבישים, איכותם הנמוכה והיעדר פיקוח נאות על התנועה. כדי להתגבר על קשיים אלה סוללים כבישים רבי-מסלולים באזורים מיושבים בעיר. אך לכך עלולות להיות תוצאות שליליות, כפי שממחישה הדוגמא הבאה לגבי ירושלים.

בהתאם לתכנית-האב התחבורתית לירושלים ייבנה כביש לתנועה מהירה, אשר יעבור בליבו של רובע מגורים וותיק. הדבר עלול לפגוע בשלמותו של רובע מגורים זה וכן לטשטש את זהותו. יתירה מזו, חלקיו של הרובע עלולים להפוך לנספחים של שכונות סמוכות באופן שהאינטגרציה הפנימית שלו תלך ותתערער. ועוד, המטרד האקוסטי הגובר הכרוך בסלילתו של כביש זה יביא בעקבותיו לשינויים ארכיטקטוניים בסביבה, אשר לא תהיה אפשרות לשלוט עליהם. התפתחויות כאלה עלולות לגרום לכך שתושבים יעזבו את הסביבה אשר רמתה

תלך ותרד. פתרון אלטרנטיבי העשוי למנוע התפתחות זו, הוא בניית מנהרה תחתית עבור חלק הדרך העובר במרכז הרובע, באופן שיישמר הקשר בין חלקיו השונים. אמנם, פתרון מסוג זה הינו יקר, אבל לטווח ארוך הוא יכול להתברר ככדאי כיוון שימנע את נטישת האזור (נטישה שתהיה כמובן כרוכה בתשלום פיצויים ותחייב את בנייתו של דוור אלטרנטיבי).

**דוגמא ב' —** דוגמא לפתרון מתקבל על הדעת היא בניית תחנה מרכזית לאוטובוסים בת"א בלב אזור מגורים ירוד. התחנה המרכזית, המתקרבת לשלבי בניה סופיים, מתוכננת למחזור יומי של 500,000 נוסעים. להובלתם של נוסעים אלה ישמשו כ-12,000 אוטובוסים הפועלים ב-200 קווים בינעירוניים ו-30 קווים עירוניים. בתחנה יופעלו 500 בתי עסק כולל בתי קולנוע, מסעדות, סופרמרקטים וכו'. כמו כן היא תכלול שטחי חניה ל-1,000 מכוניות בערך. התחנה המרכזית תהיה מחוברת ישירות לכבישי תנועה בינעירוניים ראשיים. מכלול התחנה המרכזית והרחובות הסמוכים, על התנועה האינטנסיבית שתתמקד בהם, יהיו מקור לרעש בדרגה גבוהה וכן לתופעות חמורות של זיהום האויר. הרעש וזיהום האויר יהפכו את האזור לבלתי מתאים למגורים. הרובע בו ניבנית התחנה המרכזית מיועד, איפוא, לפי תכנית האב לתל-אביב, להפוך לאזור מלאכה וחרושת. כבר כיום מרובים בו החנויות הסיטונאיות ומבני המלאכה והחרושת הדוחקים בהדרגה את המגורים. התושבים שעדיין גרים באזור יעדיפו, קרוב לודאי, לעזוב אותו בקרוב ולעבור לאזורים שקטים יותר בעיר. תהליך זה של עזיבת התושבים וחדירת שימושים שאינם רגישים ביותר לרעש, יכול להוביל באופן טבעי לתוצאה הרצויה.

בנוסף לכל אלה, התחבורה המסחרית אשר באופן טבעי תימשך לאזור זה תקל על העומס הרב של תחבורה באזורי המגורים. הדבר עלול להגדיל את ערך המבנים באזורי המגורים ולשפר את הרמה החברתית של תושביהם. הדוגמאות וההסברים שהובאו לעיל מצביעים על ההשלכות העשויות להיות לפעולות לתהליכים שיש בהם כדי לשנות את אופיים של אזורים עירוניים.

השפעת הגומלין בין המרכיבים השונים של הפיתוח העירוני — התחבורה, המבנה החברתי, המשק וכו' — עלולות לגרום לתהליך שלילי של היזון חוזר, המוביל להתערערום להרס של מרכיבים מסויימים בתשתית העירונית. ידע שיטתי לגבי מרכיבים אלה על השפעות הגומלין שביניהם — כולל המרכיב של רעש התנועה — יכול לסייע לאיתור הבעיות ולבלימתם של התהליכים השליליים האלה.

בדיקה מקיפה של יסודות המערכת האורבנית, תוך שילובם של יסודות אלה במודלים מתמטיים, יאפשרו לתהליך תכנון רציונלי המביא בחשבון גורמים (קבועים ומשתנים) רבים ככל האפשר, ואשר ניתן להשלימו תוך זמן קצר יחסית.

תירגמה מאנגלית : ניבה צוער

מתוך : Progress in Cybernetics and Systems Research. Volume 2. 1975