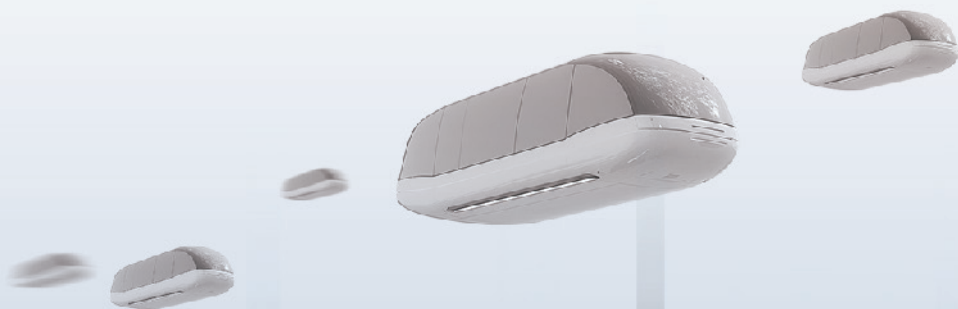




IFA ט ה HAIFA UAM

תחבורה
אווירית
עירונית
בחיפה

שחק שביט



הפקולטה
לארכיטקטורה ובינוי ערים

הטכניון
מכון טכנולוגי
לישראל



תוכן עניינים

שחק שביט

HIGH-FA

4 מבוא

6 מגמות תנועה כמעצב עירוני בציר הזמן

8 חיפה: מגבלות, פערים והזדמנויות

8 • טופוגרפיה וטבע

10 • מדיניות תכנונית

12 • פערים בתשתיות התחבורה

18 תחבורה אווירית עירונית

18 • ניסיונות מוקדמים ולקחים היסטוריים

20 • לקראת יישום ציבורי

21 • סאו פאולו - עיר בשתי קומות

22 • למה עכשיו?

24 רובד חדש בעיר: אסטרטגיה תכנונית לחיפה

24 • עיר ואוויר

26 • היררכיה

28 • בין AIRPOINT ל-AIRHUB

44 סיכום

פרויקט גמר

סטודיו טכנולוגיה מחוללת

מנחים | איתן קימל, דויד רובינס

אדריכלות חוקרת

מנחה/ים | הדר פורת

מסלול ארכיטקטורה ובינוי ערים

הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון

התשפ"ה | 2025

מבוא

לאורך ההיסטוריה, אמצעי תחבורה חדשים לא היו רק כלי ניידות, אלא כוחות צורניים שעיצבו מחדש את העיר. הופעת הרכבת במאה ה־19 יצרה מוקדים עירוניים חדשים; הרחובות הישירים של אוסמן בפריז היו כלי שליטה פוליטי וחברתי; ובמאה ה־20 המחלפים של רוברט מוזס בניו יורק שינו את מפת העיר לטובת הרכב הפרטי, לעיתים במחיר של עקירת שכונות שלמות. כל אלה מלמדים כי תחבורה אינה רק מענה טכני לבעיה של תנועה, אלא מנגנון שמארגן מחדש את המרחב, את החברה ואת יחסי הכוח.

במאה ה־21, נפתח פרק חדש בסיפור זה: תחבורה אווירית עירונית (URBAN AIR MOBILITY). כלי טיס חשמליים קלים (eVTOL) מציעים אפשרות לנתק את התחבורה מן הקרקע וליצור רובד תחבורתי חדש, המרחף מעל העיר. חזון זה מעלה שאלות תכנוניות מהותיות: אילו מבנים ותשתיות חדשים הוא יוליד? כיצד ישתלב עם המרחב הציבורי הקיים? ובעיקר - האם יהפוך לכלי יוקרה פרטי שמשרת מיעוט מצומצם, או למערכת תחבורה ציבורית שוויונית שמצמצמת פערים ומחזקת נגישות?

כאן נכנסת חיפה כמקרה מבחן ייחודי. העיר ההררית, שנפרסת על מדרונות הכרמל בין החוף לרכס העליון, מתמודדת עם פערי נגישות מובנים: בעוד שבמישור החוף קיימת מערכת תחבורה מאוונת - רכבת, מטרופיט ואוטובוסים - הרי ששכונות הרכס נשענות כמעט בלעדית על קווי אוטובוס סיבוביים ואיטיים. התוצאה היא מערכת תחבורה שמחזקת תלות ברכב פרטי, מחלישה את הקישוריות בין שכונות, ומדירה אוכלוסיות חסרות ניידות. הפער הזה אינו רק טכני, אלא גם חברתי־מרחבי: הוא מייצר עיר מקוטעת, שבה הגובה הופך למחסום נגישות.

על רקע זה עולה שאלת המחקר המרכזית: כיצד ניתן באמצעות רובד תחבורתי חדש, לצמצם פערים תחבורתיים ולחזק את הקישוריות בין שכונות במרחב עירוני הררי?

מטרת העבודה היא לבחון את האפשרות לשלב תחבורה אווירית עירונית במודל ציבורי ושוויוני, שיתווסף אל מערך התחבורה הקיים ויציע רובד חדש - בלתי תלוי בטופוגרפיה או בתשתיות כביש כבדות. באמצעות ניתוח מגבלות התחבורה בחיפה, בחינת מקרי בוחן בינלאומיים (מדיין, סאו פאולו, ברצלונה), וחקר אווירודינמי של זרימות רוח והשפעותיהן על התכנון האדריכלי, מוצעת אסטרטגיה תכנונית־אדריכלית שמבקשת לנסח חלופה ישימה לעיר הררית.

הפרויקט אינו מציע רק פתרון הנדסי או טכנולוגי, אלא מבקש להעלות טענה רחבה יותר: שינוי ברמת התווך התחבורתי עשוי לחולל תמורה מרחבית כוללת - מהנגשת שכונות מרוחקות ועד חיזוק חיי קהילה עירוניים. במובן זה, תחבורה אווירית אינה רק כלי ניידות עתידי, אלא פוטנציאל לתיקון מרחבי־חברתי וליצירת עיר שוויונית, מחוברת ורב־ממדית.

2025

2021

2020

2014

2011

2008

1980

1970

1948

1939

1929

1924

1914

1908

1903

1885

1876

1863

1853

1825

1817

1804

כפי שהרכבת, השדרות של אוסמן והמחלפים של מוזס עיצבו מחדש את העיר בעבר - כך גם התחבורה האווירית העירונית שכבר מתקרבת אל קו האופק. וכאן, עלינו כאדריכלים לשאול: מה היא תעשה לעיר? אילו מבנים תוליד? אילו קישורים תפתח - ואילו תבטל?

הכלים האוויריים החדשים - רחפנים לשילוח, מוניות מעופפות וכלי EVTOL אוטונומיים - פותחים חזית חדשה בתולדות העיר. השמיים, שתמיד נתפסו כתחום חופשי ובלתי מתוכנן, הופכים כעת לרובד תחבורתי נוסף. המשמעות אינה רק טכנולוגית אלא גם צורנית ותכנונית: גאות עשויים להפוך למסופי נחיתה, חזיתות למוקדי טעינה, והמרחב העירוני יתעצב סביב "צמתי אוויר" חדשים.¹⁰ כמו בעבר, עולה שאלת השליטה: האם התחבורה האווירית תהפוך לרשת פרטית שתשרת בעלי אמצעים בלבד, או לכלי ציבורי שיצמצם פערים ויחזק נגישות גם לאוכלוסיות מוחלשות?

כעת, במאה ה-21, הערים נעות בין שתי מגמות מקבילות: האחת מבקשת להשיב את המרחב לאדם - באמצעות הליכתיות, מיקרו־מוביליטי ומודלים כמו "עיר 15 הדקות"; השנייה מציבה את הטכנולוגיה בחזית - עם רכבים אוטונומיים, מערכות ניתוח תנועה בזמן אמת, וכלי תעופה חכמים. לא מדובר במגמות סותרות: לעיתים הן אף משתלבות זו בזו, כשהטכנולוגיה מאפשרת ניהול יעיל של התנועה, והאדם תובע מחדש את המרחב כהילתי.⁹

בעשורים האחרונים מנסות ערים רבות לתקן את זקי המאה הקודמת. הסופרבלוקס בברצלונה מציעים מודל הפוך: הרחובות הפנימיים נסגרו לרכב פרטי, והתנועה הוסטה לעורקים היקפיים. כך נוצרו מתחמים עירוניים שבהם העדיפות ניתנת להולכי רגל, ורכבי אופניים וחיי קהילה. מודל זה, שנבחן כיום גם כבסיס ליישום בערים נוספות בעולם, מצביע על האפשרות להחזיר לרחוב תפקיד חברתי וסביבתי רחב יותר.⁷ דוגמא נוספת ניתן למצוא במדיין שבקולומביה, שבה רכבל עירוני הפך לכלי של חיבור חברתי בין שכונות הרריות מנותקות.⁸ כאן מתברר כיצד תחבורה יכולה לשמש לא רק להזרמת תנועה אלא גם ככלי של צדק מרחבי, המאפשר לאזרחים להשתתף באופן פעיל יותר בעיר.

במקביל, הרכב הפרטי הפך לדמות המרכזית בעיצוב העיר המודרנית. בארצות הברית, רוברט מוזס חולל מהפכה בניו יורק באמצעות מערכת מחלפים, גשרים ונתיבים מהירים - תכנון שנועד להבטיח זרימה לרכב, גם במחיר עקירת שכונות שלמות.⁵ מולו ניצבה גיין גייקובס, שהדגישה כי התחבורה צריכה לשרת את החיים העירוניים ולא למחוק אותם.⁶ המאבק הזה סימן קו פרשת מים: בין תכנון מוטה־מכונית, שמקדש מהירות ויעילות תנועתית, לבין תכנון מוטה־אדם, שמבקש לשמר את הרחוב כמרחב חברתי.

בראשית המאה ה־20 התווסף למרחב העירוני ממד חדש – השמיים. הופעת התעופה האזרחית חיברה הקמה של שדות תעופה בשולי הערים, מחוץ למרקם הצפוף. אל הנוף חדרו מבנים עצומים: טרמינלים, האנגרים ומסלולי המראה ארוכים שדרשו קרקעות נרחבות.³ מה שנתפס בתחילה כמבני תשתית שוליים הפך בהמשך למוקד כלכלי ותכנוני משמעותי. בשנות ה־60 התגבש מודל ה"אירוטרופוליס" – עיר המתארגנת סביב שדה התעופה, המשמש מרכז תעסוקה, מסחר ולוגיסטיקה.⁴ בכך התעופה לא נותרה שולית אלא הפכה למנוע של צמיחה אזורית.

כבר במאה ה-19, הופעת מסילות הברזל הפכה את תחנת הרכבת למוקד עירוני חדש. היא לא רק קיצרה מרחקים, אלא גם הגדירה גבולות גיאוגרפיים וכלכליים: יישובים חדשים נבנו היכן שעברה הרכבת, בעוד אזורים אחרים נותרו בשוליים.¹ במקביל, בפריז, פרויקט ההתחדשות העירונית של הברון אוסמן הדגים כיצד תשתיות תחבורה - שדרות רחבות וישרות - שימשו גם כלי שליטה פוליטי. מעבר לזרימת תנועה וניקוז, הרחובות החדשים תוכננו כך שיאפשרו תנועת צבא מהירה ויסקלו הקמת בריקדות. התחבורה הפכה אפוא לא רק לאמצעי נידות, אלא גם למנגנון של סדר וכוח.²

ההיסטוריה העירונית מלמדת שוב ושוב: טכנולוגיות תחבורה אינן רק אמצעי ניידות - הן כוח צורני המסוגל לשנות את מבנה העיר, את דפוסי החיים, ואף את יחסי הכוח שבתוכה. בכל תקופה, אמצעי תחבורה חדש לא רק אפשר לנוע אחרת, אלא גם כפה ארגון מחודש של המרחב העירוני

חיפה: מגבלות, פערים והזדמנויות

החיפוש אחר סביבת פיילוט לשילוב תחבורה אווירית עירונית לא יכול להתבסס רק על חזון עתידי - אלא חייב לבוע מתוך צרכים ממשיים ומעלה את חיפה כמקרה בוחן מובהק. העיר ההררית, המפוצלת והמורכבת, מציגה רצף חסמים תחבורתיים שמקורם בטופוגרפיה, במדיניות תכנונית, ובפערים בתשתיות התחבורה. כל אחת מהשכבות הללו מדגישה את הקושי הקיים - אך גם את הפוטנציאל לשינוי עמוק וקווי המתאר לרובד תחבורתי חדש.

טופוגרפיה וטבע

חיפה היא עיר שנבנתה לאורך מדרונות תלולים של רכס הכרמל, ומורכבת ממספר מפלסים עירוניים נפרדים. מבנה זה יוצר רצף מרחבי אנכי - מהעיר התחתית הסמוכה לנמל, דרך שכונות הביניים של מרכז הכרמל, ועד לשכונות ההר העליונות - הפרושות לגובה של מאות מטרים. אף שהמרחק האופקי בין שכונות רבות קצר, הפער האנכי, יחד עם רשת דרכים צרה ומפותלת, יוצר תחושת ניתוק מהותית בין חלקי העיר.

השכונות בחיפה נבנו לרוב כתשובות נקודתיות לתנאים הטופוגרפיים - חלקן "נשפכות" במורד, אחרות "יושבות" על רכס - אך כמעט אין ביניהן רצף תחבורתי או אורבני. תכנון זה, הנשען על מספר עורקי תנועה מצומצמים, מקבע תלות ברכב הפרטי ומקשה על פיתוח של מערכת תחבורה ציבורית רב-שכבתית, שוויונית ויעילה.

הקושי התכנוני מוחמר עוד יותר בשל הרצון המוצדק לשמור על ערכי טבע, שטחים פתוחים ומערכות אקולוגיות עירוניות. שכונות רבות צמודות לשמורות טבע או לשטחים ירוקים, דבר שמגביל את אפשרויות הפיתוח הקונבנציונליות, ודורש פתרונות תחבורתיים שאינם צורכים שטח נוסף על הקרקע - אלא פועלים מעליה בתוך כך, העיר אינה חווה את תחושת ה"עירוניות" הרציפה המוכרת מערים שטוחות יותר, אלא מבנה מפורק שמזמן אתגר תכנוני ייחודי.



1 - מבט מקו החוף של חיפה



2 - מיפוי טופוגרפיה וגבול רשויות



3 - מיפוי נחלים

מדיניות תכנונית

מדיניות התכנון בחיפה הובילה להיווצרות שכונות מגורים המתפקדות כיחידות סגורות ונבדלות, בעלות כניסה ויציאה אחת בלבד. גישה זו, שנבעה לעיתים מהצורך להסתגל לטופוגרפיה של ההר, יצרה מרקמים מנותקים זה מזה - הן במובן הפיזי והן במובן החברתי-שימושי. במקום עירוניות שמייצרות חיבורים בין שכונות, נוצרה סדרה של מובלעות תפקודיות, שכל אחת מהן מתקיימת במידה רבה בעיתוק משכונתיה, עם תנועה ליניארית חד-כיוונית דרך אותה כניסה יחידה."

בנוסף, רבות משכונות המגורים בחיפה אינן כוללות עירוב שימושים, אלא מתפקדות כמרחבים מונופונקציונליים שמיועדים כמעט בלעדית למגורים. במרחבים אלו נוכחותם של שירותים ציבוריים, מסחריים או תעסוקתיים נמוכה מאוד - מה שמאלץ את התושבים לצאת מהשכונה לצורך כל פעילות יומיומית בסיסית. היעדר מגוון שימושים מחריף את התלות ברכב פרטי ומונע התפתחות של קהילתיות עירונית פעילה, תוססת ומחוברת.¹¹

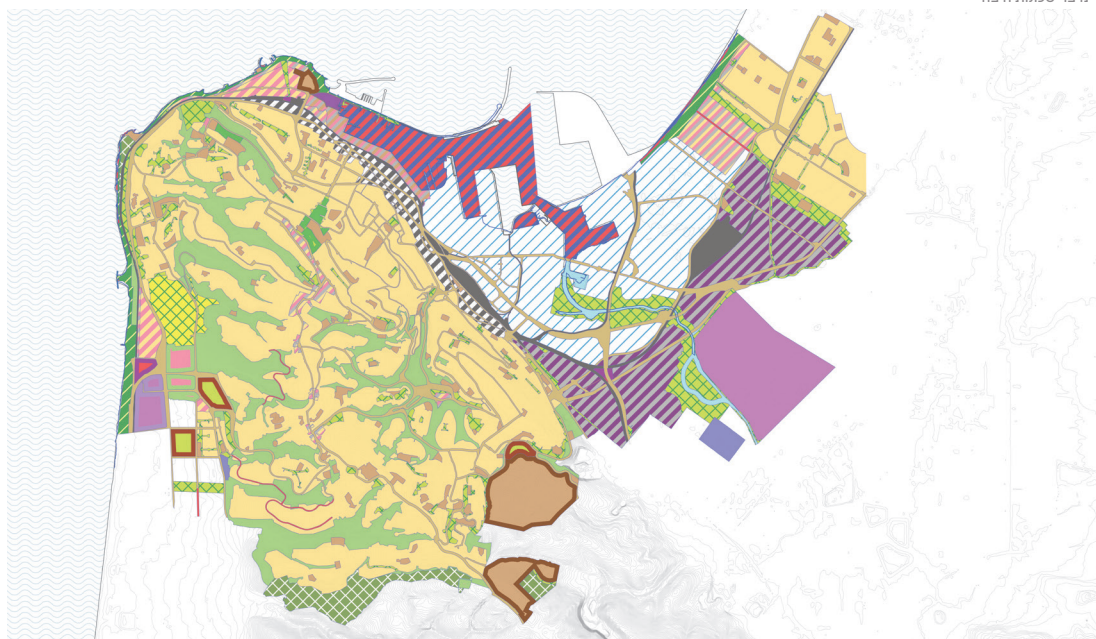
שתי מגמות אלו – של שכונות מבודדות ושל היעדר עירוב שימושים – מעצימות את תחושת הניתוק בתוך העיר, מגדילות את הפערים בין האזורים, ומציבות אתגר משמעותי בפני כל ניסיון ליצירת מערכת תחבורה אינטגרטיבית, שוויונית ורב-ממדית. הן גם מדגישות את הצורך במודל תחבורתי חדש שיפרוך את הגבולות הפיזיים והתכנוניים שנבנו לאורך השנים.



4 - שכונת רמת אשכול



5 - מיפוי שכונות חיפה



6 - יעודי קרקע בחיפה

תכנית אב לתחבורה ובידוד בחיפה – מפגש שיתוף ציבור 4: הצעת חלופות (חיפה: עיריית חיפה, פברואר 2025), 24–23. ¹¹ Municipality of Haifa), עיריית חיפה. <https://www.haifa.muni.il/wp-content/uploads/2025/02/%D7%A0%D7%99%D7%AA-%D7%90%D7%91-%D7%9C%D7%A4%D7%97%D7%91%D7%95%D7%A8%D7%94-%D7%97%D7%99%D7%A4%D7%94-%D7%9E%D7%A4%D7%92%D7%A9-%D7%A9%D7%99%D7%AA-%D7%95%D7%A3-%D7%A6%D7%99%D7%91%D7%95%D7%A8-4.pdf>

פערים בתשתיות התחבורה

מגוון תחבורה במורד ההר מול
אנמיות התחבורתית ברכס-

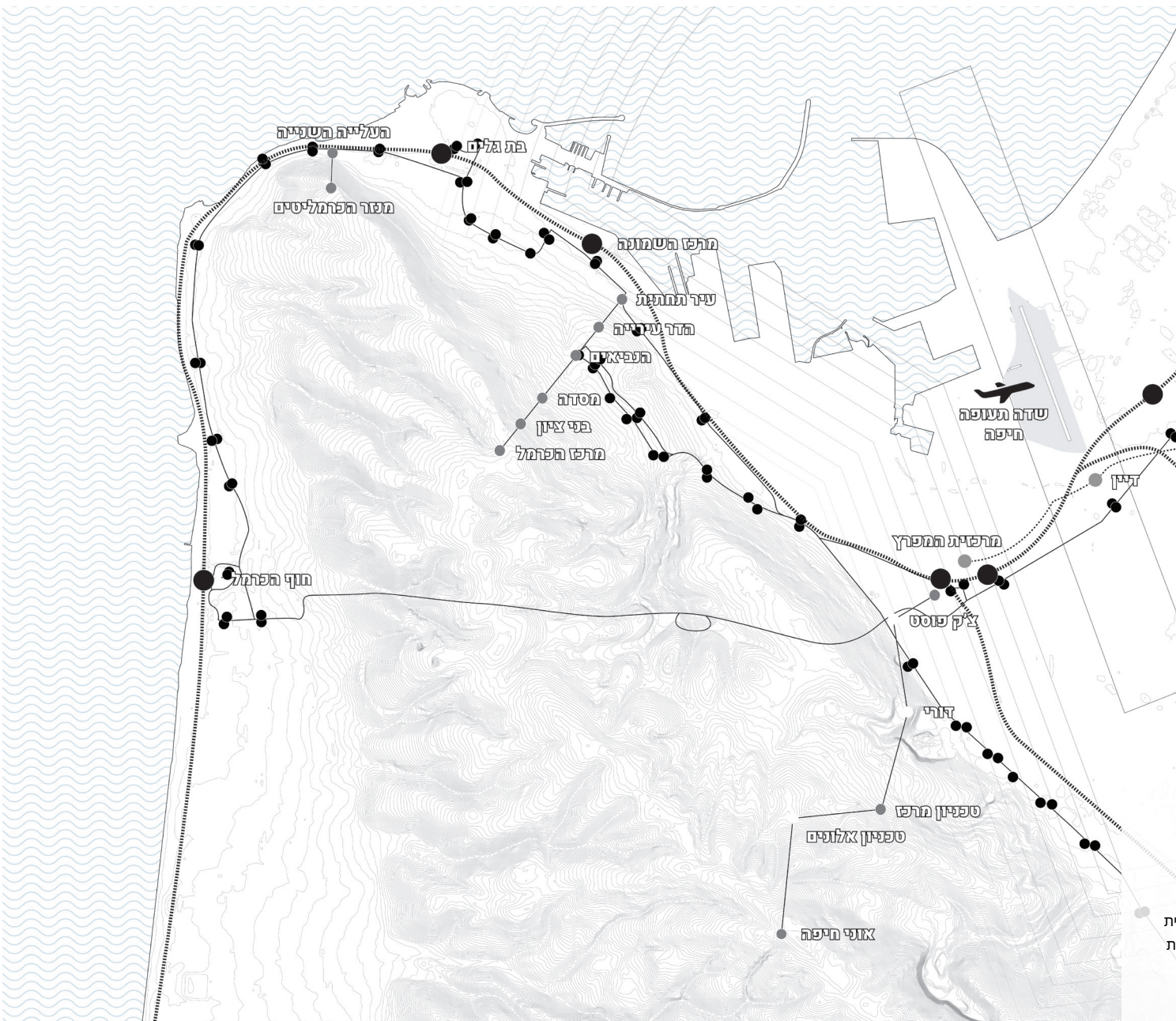
חיפה מתאפיינת בריבוי תשתיות
תחבורה מגוונות, אך הן אינן
מחוברות היטב זו לזו, ובוודאי לא
משרתות באופן שוויוני את כל חלקי
העיר. העיר התחתית נהנית מגישה
נרחבת לרשתות תחבורה: תחנות
רכבת, תחנות אוטובוס מרכזיות,
מערכת BRT בדמות המטרופוליטנית, וקווי
אוטובוס רבים בתדירות גבוהה. נוסף
לכך פועלות בה מערכות ייחודיות
כמו הרכבל לסטלה מאריס, הכרמלית
- הרכבת התחתית היחידה בישראל
- והרכבל החדש לאוניברסיטאות.
מנגד, שכונות הרכס נשארות
מנותקות: הן מתבססות כמעט
בלעדית על קווי אוטובוס מקומיים,
ללא חיבור ישיר למערכות התחבורה
המסילתיות והמהירות. הפער
התפקודי הזה מחריף את תחושת
הניתוק בין תחתית העיר לבין ההר
ומעמיק את הקיטוע במרקם העירוני.



7 - רכבל סטלה מאריס

- קווי טופוגרפיה
- מסילות רכבת
- תחנות רכבת
- נתיבי מטרופוליט
- תחנות מטרופוליט
- מסלולי ת. טופוגרפית
- תחנות ת. טופוגרפית
- תוואי רכבת קלה
- תחנות רכבת קלה

8 - מיפוי תחבורה ציבורית בחיפה

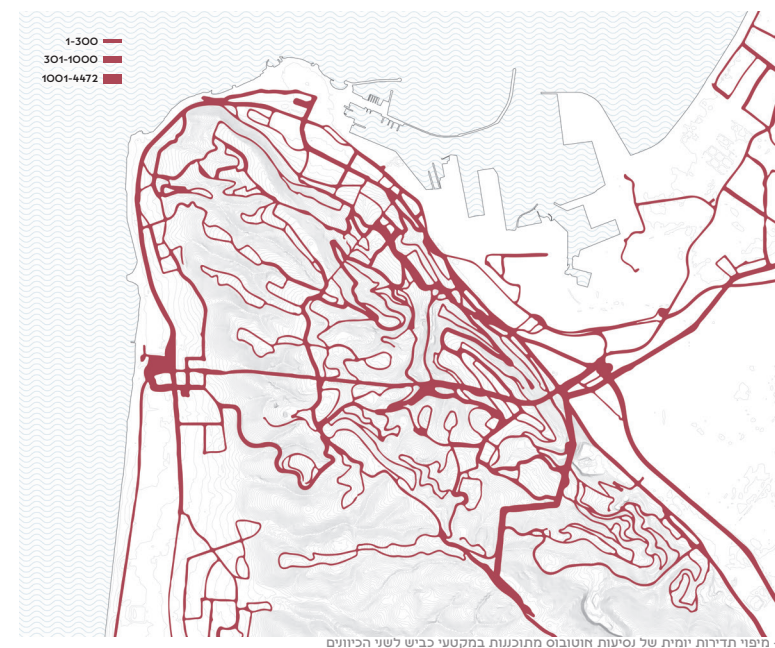




10 - מיפוי מהירויות נסיעה בתחבורה ציבורית בחיפה

-מהירות נסיעה איטית ומסורבלת באזור הרכס-

גם כאשר קיים קו תחבורה ציבורית פעיל, הנסיעה עצמה אינה יעילה. ריבוי פניות, עצירות תכופות, עליות תלולות ועומסי תנועה בצווארי בקבוק מאריכים משמעותית את משך הנסיעה. כך, אוטובוס שמצליח לנוע בתדירות סבירה עדיין מתפקד באיטיות רבה ואינו מהווה חלופה ראויה לרכב פרטי.



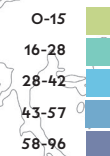
9 - מיפוי תדירות יומית של נסיעות אוטובוס מתוכננות במקטעי כביש לשני הכיוונים

-תדירות נמוכה ונסיעות ארוכות ומפותלות-

השכונות הממוקמות על ההר - סובלות מרמת שירות נמוכה של תחבורה ציבורית. זמני הנסיעה באוטובוס מחלה למרכז העיר או למוקדי תעסוקה עשויים להימשך 40-60 דקות, גם כאשר המרחק האווירי קצר בהרבה. הסיבה לכך היא שמסלולי הקווים סיבוביים ותלויים בכבישים צרים ושיפועים חדים, שלעתים אינם מאפשרים מסלול ישיר. נוסף על כך, תדירות האוטובוסים אינה אחידה ולעיתים רחוקה מהמספק, במיוחד בשעות שיא או בשעות לא שגרתיות, מה שמצמצם את התחבורה הציבורית כאופציה אפקטיבית.

תלות ברכב פרטי ומשקי בית
עם שני רכבים לפחות-

על רקע מגבלות אלה, רכב פרטי
הופך לאמצעי כמעט הכרחי
לניהול חיי היומיום, במיוחד
בשכונות ההר. רבים מהתושבים
אינם מסתפקים ברכב אחד,
אלא מחזיקים שני כלי רכב ואף
יותר לכל משק בית. מצב זה
אינו נובע מרצון לנוחות, אלא
מתוך צורך הישרדותי לניידות
בסיסית. ההשלכות המרחביות
ניכרות היטב: הרחבת כבישים,
סלילת חניונים והקצאת
משאבים ניכרים עבור תנועה
וחנייה - לעיתים על חשבון
שטחים ציבוריים פתוחים.
במקביל, אוכלוסיות שאין
ברשותן רכב - קשישים, בני
נוער, צעירים חסרי רישיון או
אוכלוסיות מוחלשות - נותרים
מנותקים ומוגבלים בהשתתפות
מלאה בחיים העירוניים. הפער
הזה מייצר עיר שמשרתת את
מי שיכול לנסוע, אך לא בהכרח
את מי שצריך לנוע.



11 - מִפְּיוּ מִשְׁקֵי בֵּית עִם 2 רִכְבִּים לַפְּחוֹת

תחבורה אווירית עירונית

תחבורה אווירית עירונית (UAM) מתבססת על כלי טיס קלים מסוג - EVTOL - ELECTRIC VERTICAL TAKE-OFF AND LANDING - המיועדים לטוס למרחקים קצרים בגובה נמוך, לפעול על חשמל, להמריא ולנחות אנכית, ולהשתלב בתוך מערכות התחבורה העירוניות. בניגוד למסוקים או מטוסים, הם אינם דורשים מסלולי המראה ארוכים ואינם תופסים שטח נרחב.¹²

הבשורה המרכזית של UAM היא האפשרות לנתק את התחבורה מהקרקע: לעקוף פקקים, טופוגרפיה מורכבת או היעדר תשתיות - וליצור רובד תחבורתי חדש שמרחף מעל העיר. השילוב בין התקדמות טכנולוגית (בינה מלאכותית, סוללות מתקדמות, חומרים קלים) לבין צורך עירוני בוער (צפיפות, פערי נגישות, משבר תחבורתי) ובצירוף תמריצים כלכליים ורגולטוריים - הופך את הרעיון לרלוונטי מתמיד.

ניסיונות מוקדמים ולקחים היסטוריים

הרעיון לשלב כלי טיס בתוך העיר איננו חדש. כבר בשנות ה-50 וה-60 הופעלו בניו יורק, לוס אנג'לס וערים נוספות שירותי מסוקים עירוניים שנועדו להעביר נוסעים בין מרכזי עסקים למלי תעופה. למרות שהוצגו כפתרון מהפכני, הם נסגרו במהרה בשל רעש חריג, עלויות גבוהות ובעיות בטיחות - כולל תאונות קטלניות.¹³

עם זאת, הרעיון לא נעלם אלא שינה צורה. בתחילת שנות ה-2000 החלו להתפתח קונספטים חדשים של כלי טיס קטנים, קלים ושקטים יותר - רובם חשמליים, חלקם אף אוטונומיים. נקודת מפנה משמעותית הייתה פריצת הדרך בתחום הרחפנים: מערכות ניווט GPS, חיישנים, שליטה מרחוק וייצוב הפכו אותם לכלים זולים, זמינים ויעילים. טכנולוגיות אלו סללו את הדרך לפיתוח EVTOL לנוסעים והעניקו לתחום כולו בסיס הנדסי וציבורי רחב יותר.¹³

מאז החלו חברות רבות לפתח אבטיפוסים ואף לבצע טיסות מבחן, לצד בניית תשתיות ניסיוניות (VERTIPORTS). ועדיין, אף מערכת כזו לא הפכה למערכת תחבורה ציבורית רחבת היקף - בעיקר בשל אתגרי רגולציה, בטיחות ותשתיות



12 - מסוק נוחת על ההליפד בבניין Pan Am בניו יורק - דוגמה מוקדמת לתחבורה אווירית עירונית



13 - מסוק נוסעים של New York Airways על רחבת שדה התעופה - שירות האוויר-שטל של ניו יורק בשנות ה-60-70

¹² Wind River, "What Is Urban Air Mobility, and Why Is It Important?," Wind River, <https://www.windriver.com/solutions/learning/urban-air-mobility>
¹³ "Urban Air Mobility," Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Urban_air_mobility

לקראת יישום ציבורי - תשתיות, רגולציה וישראל

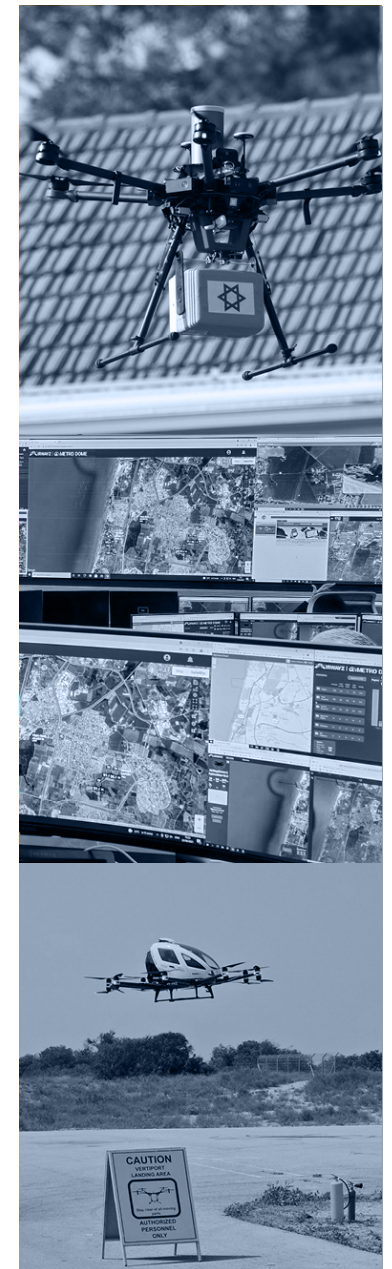
בשנים האחרונות מתגבשת מגמה ברורה: רשויות תעופה, מדינות וערים מתכננות הלכה למעשה לעידן של תחבורה אווירית עירונית:

האיחוד האירופי (EASA) פרסם תקנים ל-EVTOL והנחיות להקמת VERTIPTS.¹⁴

רשות התעופה האמריקאית (FAA) מפתחת מערכות לשילוב כלי טיס בלתי-מאוישים במרחב האווירי האזרחי.¹⁵

ערים מובילות כמו סינגפור, פריז ודובאי - כבר מקצות שטחים ייעודיים ומתכננות שילוב במערכות התחבורה הקיימות.

גם בישראל נבנית תשתית ראשונית. "הפרויקט הלאומי לרחפנים", בהובלת רת"א, רשות החדשנות ומשרד התחבורה, מקיים ניסויים רחבי היקף ברחפנים אוטונומיים מעל תל אביב, חיפה וירושלים. בשלב זה מדובר בעיקר במערכות לוגיסטיות (משלוחים רפואיים, הסעת מטענים קלים), אך הפרויקט מייצר בסיס טכנולוגי, חוקי ורגולטורי שיכול לאפשר בעתיד מעבר לתחבורה אווירית נוסעים.¹⁶

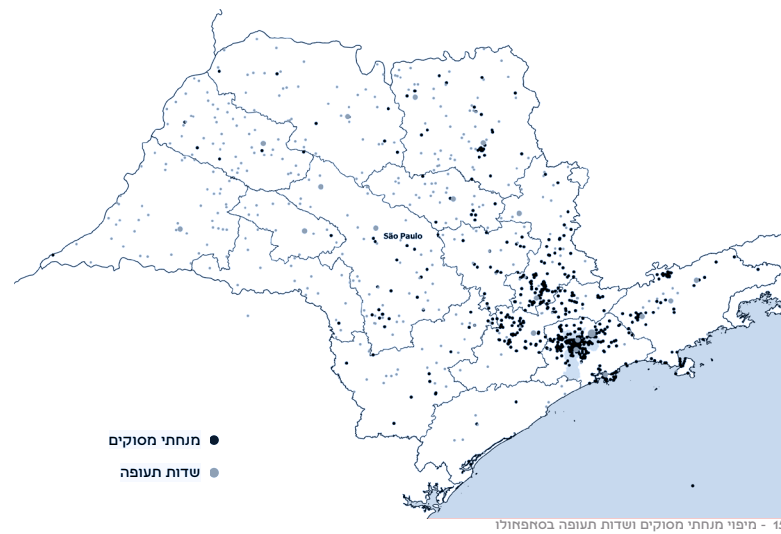


14 - ניסויים בתחבורה אווירית עירונית ע"י מיום הרחפנים הלאומי

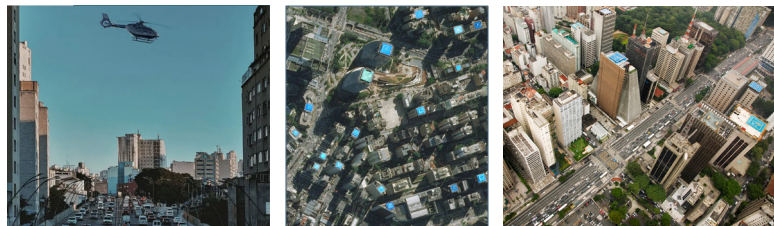
סאו פאולו: עיר בשתי קומות

סאו פאולו מחזיקה באחד ממאגרי המסוקים הגדולים בעולם, עם מאות טיסות יומיות בין מנחתים פרטיים על גגות מגדלים. עבור בעלי עסקים ועשירי העיר מדובר בפתרון מהיר ונוח לעקיפת הפקקים, אך עבור רוב התושבים - זו מערכת שאינה נגישה באופן מוחלט. היא אינה משולבת בתחבורה הציבורית, אינה פועלת לטובת הכלל, ומחריפה את הפער בין שכבות האוכלוסייה: העיר נחלקת לשתי קומות - אחת לעשירים שמרחפים מעל, ואחת לרוב הציבור התקוע בפקקים על הקרקע.¹⁷

מקרה זה מהווה אזהרה תכנונית חשובה: ללא מדיניות מכוונת לשילוב שוויוני של UAM, קיים סיכון שהטכנולוגיה תאמץ את דפוסי סאו פאולו ותהפוך לכלי של מיעוט פריבילגי במקום להיות משאב ציבורי.



15 - מפיץ מנחתי מסוקים ושדות תעופה בסאופאולו



16 - מסוקים ומנחתים בסאו פאולו

¹⁷ Dario Rais Lopes and Jorge Silva, "Urban Air Mobility (UAM) in the Metropolitan Region of São Paulo: Potential and Threats," Journal of Airline and Airport Management 13, no. 1 (2023): 4-5, accessed August 31, 2025, https://www.researchgate.net/publication/369604589_Urban_air_mobility_UAM_in_the_metropolitan_region_of_Sao_Paulo_Potential_and_threats

¹⁴ European Union Aviation Safety Agency (EASA), Prototype Technical Design Specifications for Vertiports, 24 March 2022, <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/prototype-technical-design-specifications-vertiports>

¹⁵ Federal Aviation Administration (FAA), "With New Rule, FAA Is Ready for Air Travel of the Future," 22 October 2024, <https://www.faa.gov/newsroom/new-rule-faa-ready-air-travel-future>

¹⁶ Ayalon Highways, (Ayalon Highways), <https://ayalon-hw-marketing-site.euwest01.umbraco.io/projects/the-drone-project/>, מיזם הרחפנים הלאומי, נתיב אילון.

LILIJM JET DATM EVTOL - 19



VOLOCOPTER DATM EVTOL - 18



XPENG X2 DATM EVTOL - 21

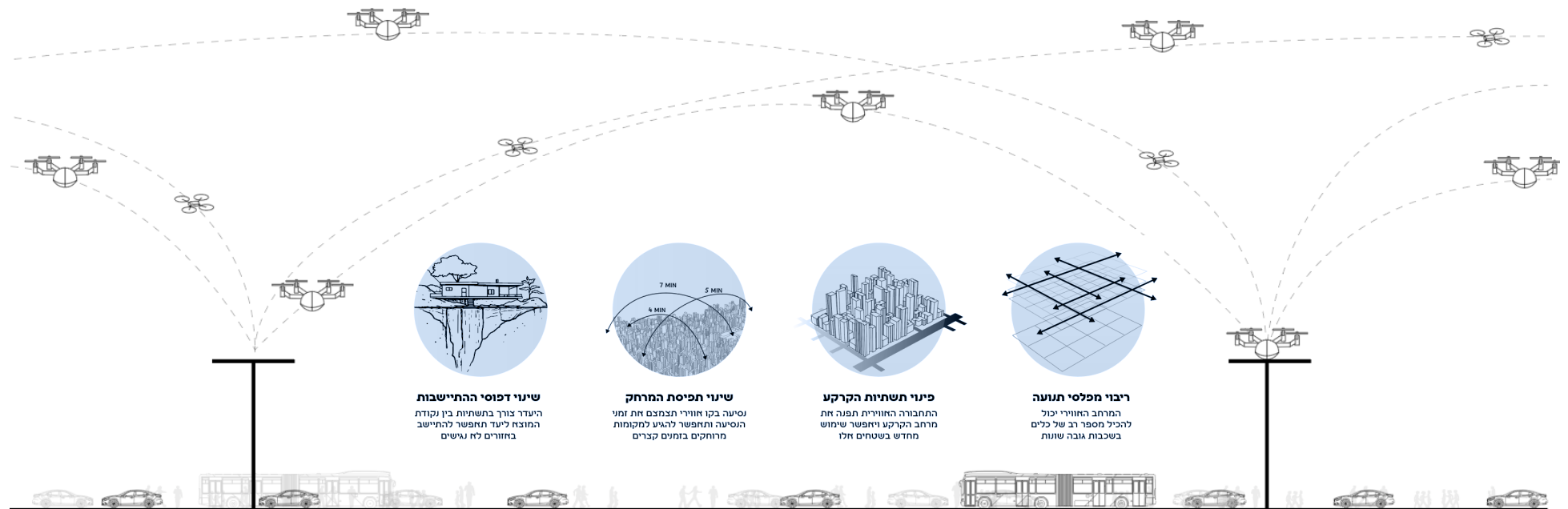


BELLWETHER VOLAR DATM EVTOL - 20

למה דווקא עכשיו?

הדור החדש של כלי ה-EVTOL מסמן קפיצה משמעותית בתחבורה האווירית העירונית: חשמליים, אוטונומיים ושקטים בהרבה ממסוקים, הם מסוגלים להמריא ולנחות אנכית, ללא צורך במסלולים ייעודיים וללא פליטת מזהמים. טכנולוגיות מתקדמות בסוללות, חיישנים וחומרים קלים הופכות אותם לשיש מבחינה הנדסית וכלכלית, תוך קיצור זמני נסיעה וחיבור בין נקודות מנותקות גם מול טופוגרפיה מורכבת. בעולם מתהווה מסגרת רגולטורית ותשתיתית - מה-EASA וה-FAA ועד ניסויים בישראל - שמקרבת את החזון ליישום מעשי.

אך ההיסטוריה מלמדת שהטכנולוגיה לבדה אינה מספיקה: הצלחת התחום תלויה גם במדיניות, תכנון ומודעות חברתית. אם לא תיעשה בחירה ברורה לשילוב ציבורי ושוויוני, קיימת סכנה שנחזור על טעויות העבר - וניצור ערים "בשתי קומות", עם שמיים לעשירים וקרקע ליתר האוכלוסייה. דווקא כעת, כשהתנאים הטכנולוגיים והרגולטוריים הבשילו, נדרשת אחריות תכנונית שתבטיח שה-UAM יהפוך למשאב עירוני אמיתי ולא לפריבילגיה בלעדית.



17 - מפלסי תנועה והשפעות תחבורה אווירית עירונית

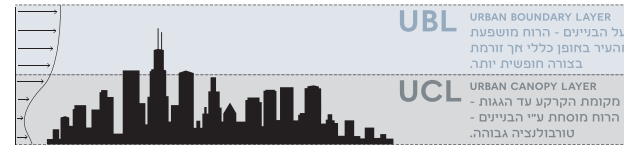
רובד חדש בעיר: אסטרטגיה תכנונית לחיפה

האסטרטגיה התכנונית המוצגת נולדה מתוך הצורך לנסח רובד תחבורתי חדש עבור חיפה - רובד אווירי ציבורי, אוטונומי, ונגיש לכלל האוכלוסייה. בשונה ממודלים פרטיים שהתפתחו בערים אחרות, דוגמת סאו פאולו, שבהם נוצרה מערכת סגורה של כלי טיס אישיים לעשירים בלבד, מטרת ההצעה היא לייצר מערכת תחבורה ציבורית שוויונית: מערכת שתפעל בדומה לרכבת, מטרופיט או אוטובוס, אך בממד חדש - המרחב האווירי.

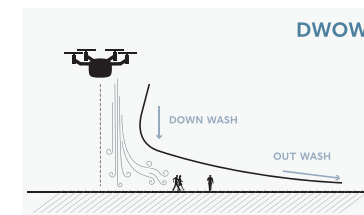
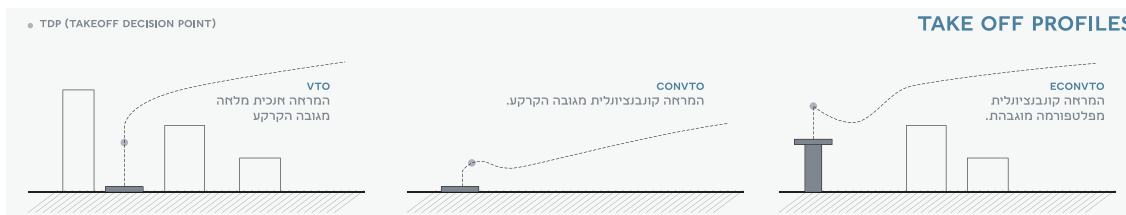
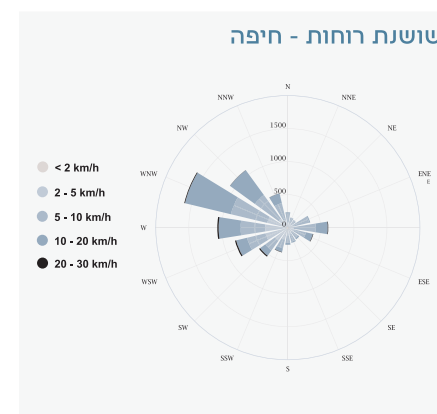
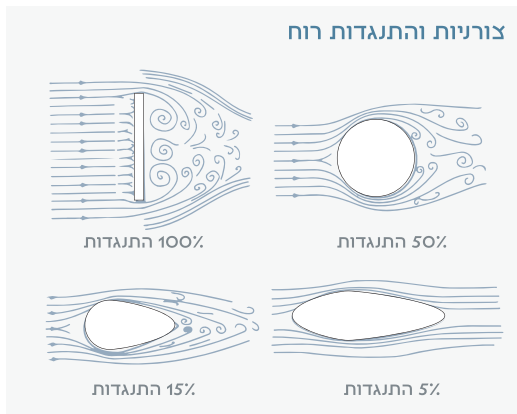
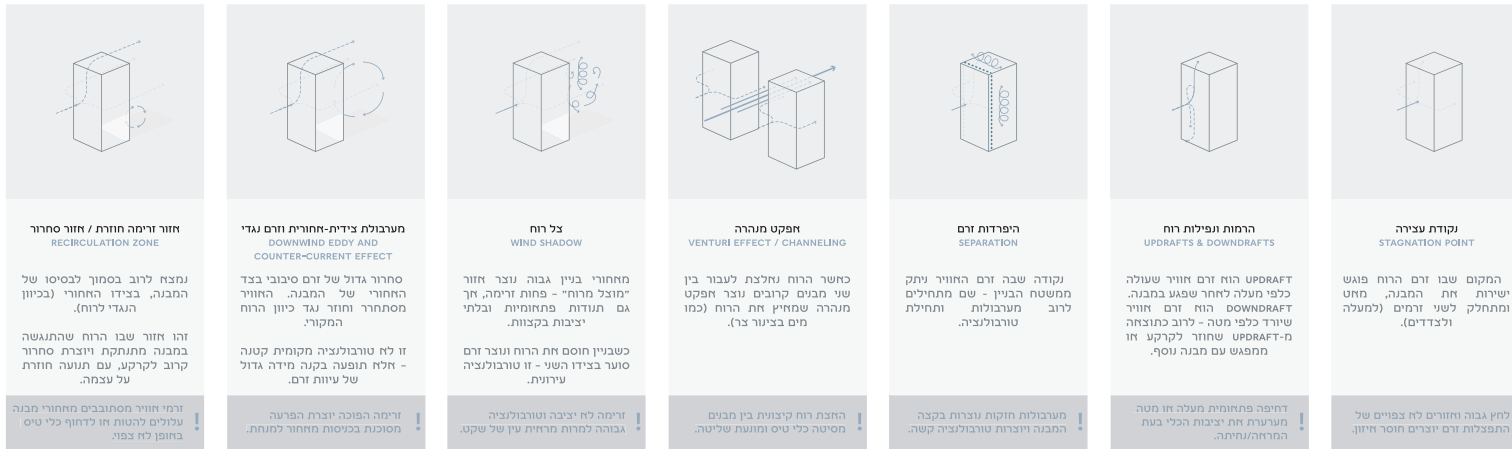
עיר ואוויר

הטמעת מערכת תחבורה אווירית אינה אפשרית מבלי להתייחס לרוח - אחד הכוחות המשמעותיים ביותר במרחב העירוני. הרוח משפיעה על יציבות כלי הטיס בהמראה ובנחיתה, על אופן זרימתה בין מבנים גבוהים, ועל תחושת הנוחות במרחב הציבורי שמתחת.

מחקרי זרימת רוח מצביעים על מערבולות ו"צלי רוח" הנוצרים סביב גורדי שחקים, וכן על אפקט ה-downdraft - זרם האוויר שיוצר כלי הטיס עצמו בעת המראה ונחיתה. שילוב המערכת בעיר מחייב אפוא חשיבה חדשה על מיקום התחנות, אופן הקירוי, ותכנון המעטפת האדריכלית, כדי למזער סכנות וליצור מרחב נעים לשימוש.



רוח היא תנועה של אוויר הנגרמת בעיקר מהפרשי לחץ אטמוספרי. ככל שהפרשי הלחץ גדולים יותר - הרוח חזקה יותר. הסביבה העירונית יוצרת עיוותים מקומיים משמעותיים בזרימת האוויר.



22 - מערכת היחסים בין הרוחות לסביבה הבנויה לבין הכלים האוויריים

היררכיה

על מנת לייצר מערכת יציבה, נבחרה אסטרטגיה היררכית של תחנות בקני מידה שונים, המותאמות לצרכים מגוונים של השכונות והעיר כולה:

AIR POINT - תחנה שכונתית קטנה, הממוקמת על גגות מבני ציבור קיימים או שטחים פתוחים ציבוריים. היא כוללת משטח נחיתה, רמפה או מעלית גישה, אזור המתנה בסיסי, ואלמנט קל של קירוי. תפקידה לספק נגישות ישירה ויומיומית עבור דיירי השכונות בהתאם לקנה המידה שלהן

AIR CENTER - תחנה בינונית, הממוקמת במרכזי תעסוקה, מסחר או מע"ר, ומציעה חיבור לתחבורה רכה (אופניים, קורקינטים, הליכה), מסחר קל ושירותים קהילתיים. זוהי תחנה המשלבת תחבורה עם פעילות עירונית יומיומית, ומהווה מוקד חברתי חדשני.

AIR HUB - תחנה גדולה, הפועלת כמרכז תחבורה רב-ממדי. היא כוללת טרמינלים למספר כלי טיס במקביל, מערך לוגיסטי וחיבור ישיר לתחבורה קרקעית מסורתית. תחנות אלו יכולות לשלב עירוב שימושים משמעותי - מגורים, תעסוקה ומסחר - ולהפוך לציר מרכזי בהתפתחות העירונית.

23 - גריד תחבורה אווירית עירונית ציבורית מוצע

בין AIRPOINT ל-AIRHUB

החלק הבא מציג את שלושת סוגי התחנות, כפי שתוכננו בהקשר החיפאי. תכנון זה נשען באופן ישיר על תובנות ממחקר הרוח: צורות המבנים עוצבו להיות זורמות ודינמיות, כדי להפחית התנגדות רוח ולצמצם היווצרות מערבולות; אזורי ההמראה והנחיתה הוגבהו מעל מפלס הקרקע, מתוך מטרה למנוע את השפעות ה-DOWNWASH הישירות על המרחב הציבורי; ומעטפת התחנות גובשה כך שתאפשר מעבר אוויר חופשי. כל טיפוס תחנה מתורגם לשפה אדריכלית ייחודית, תוך התייחסות למיקומו בעיר, לצרכים התפקודיים, ולשילובו במרקם הבנוי הקיים. דרך השרטוטים, החתכים, והדיאגרמות ניתן להבין את השפה התכנונית ואת האופן שבו היא מציגה רובד עירוני חדש.

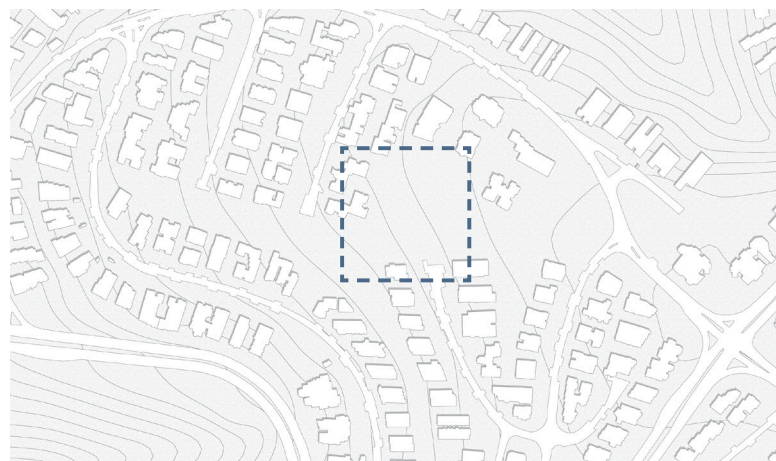




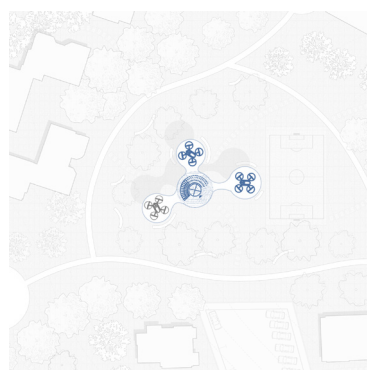
רמת אשכול AIR POINT



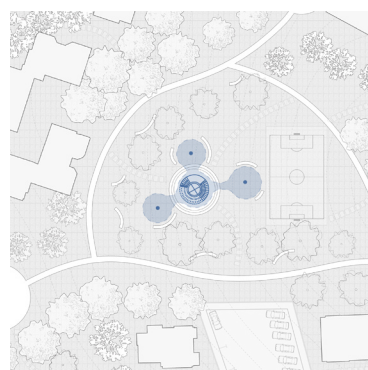
ה־AIR POINT ברמת אשכול הוא תחנה בקנה המידה הקטן במערך התחבורה האווירית העירונית, המיועדת לשרת את התושבים במרחב השכונתי. התחנה ממוקמת בלב הסביבה המקומית, לרוב בסמוך לאינה ציבורית, מרכז קהילתי או פונקציה ציבורית אחרת, מתוך מטרה להשתלב במרקם היומיומי של חיי השכונה. תכנון התחנה נבע מהרצון לייצר מינימום אחיזה בקרקע, כך שהשטח שבו המבנה נוגע באדמה מתורגם לתרומה ציבורית ישירה - מרחב פתוח לתושבים המשמש להמתנה, מפגש או פעילות שכונתית. ה־AIR POINT מצומצם בהיקפו בהתאם לאגודל הקהילה שהוא משרת, ומהווה נקודת כניסה נגישה ונוחה למערכת האווירית העירונית, תוך שמירה על אופי המקום וחיזוק המרחב הציבורי.



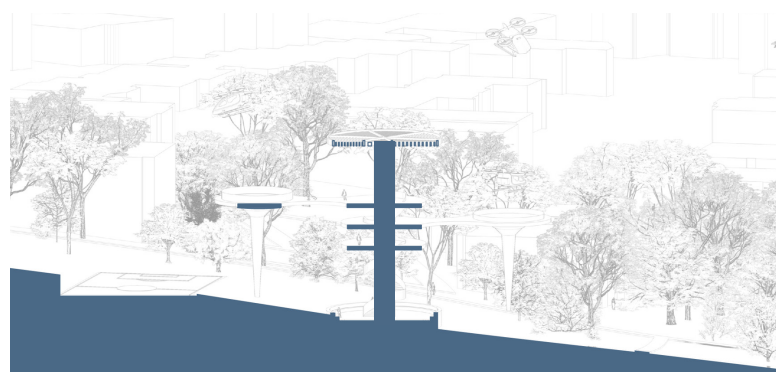
מרחב התחנה

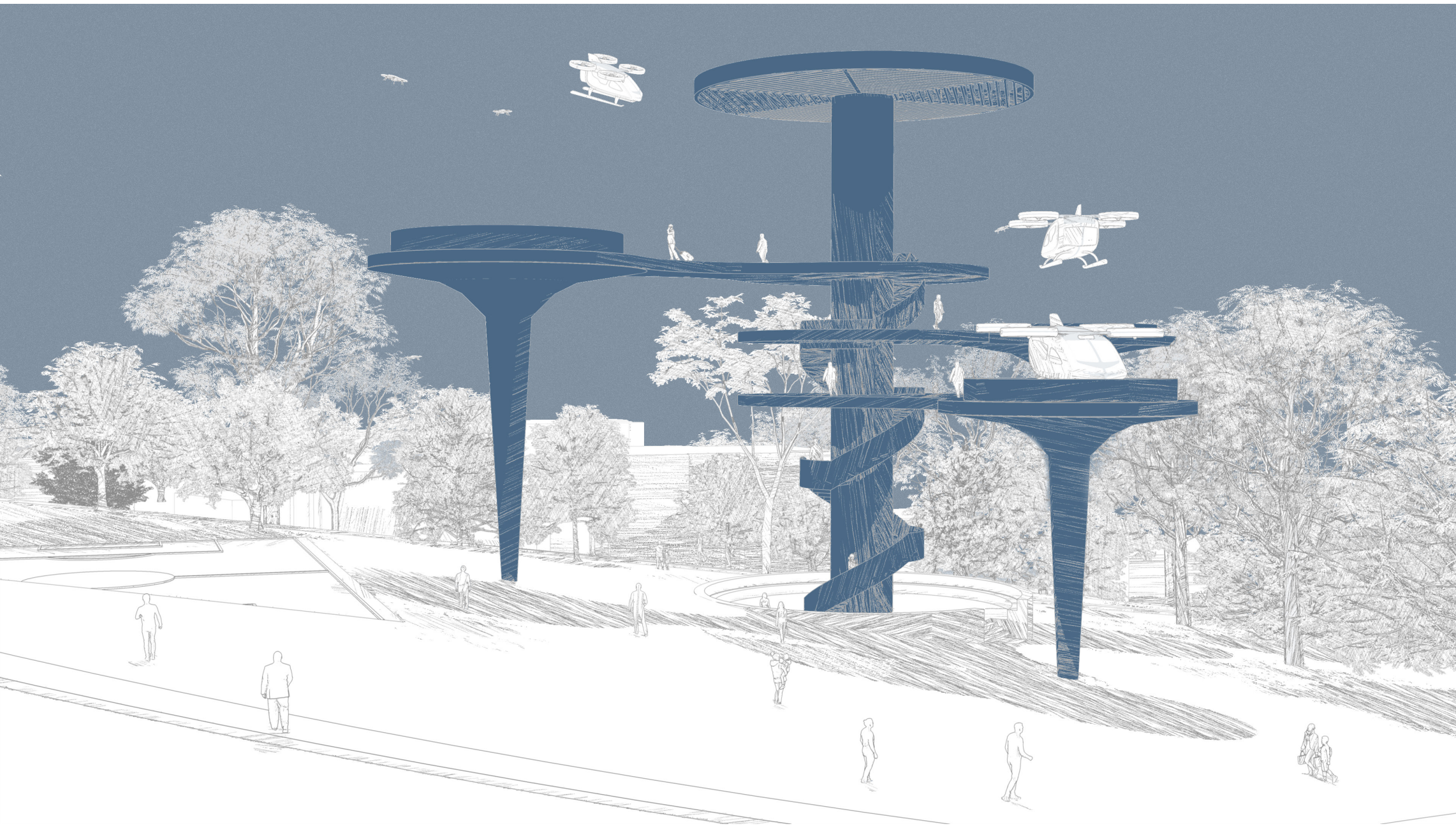


מפליס עליון



מפליס קרקע



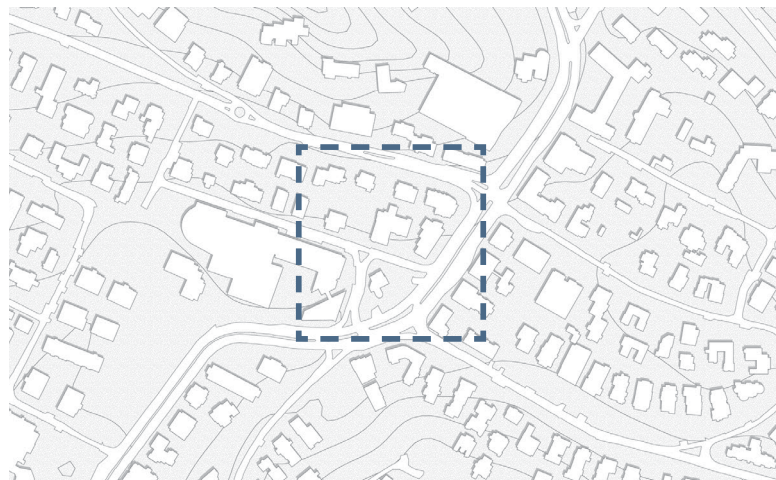




מרכז הכרמל AIR CENTER



ה־AIR CENTER ממוקם במרכז הכרמל לאורך שדרות הנשיא, ומשמש כתחנה בקנה המידה הבינוני במערך התחבורה האווירית העירונית. הוא מתווך בין תחנות AIR POINTS לבין AIR HUBS ומיועד לשרת את תושבי ההר והמבקרים באזור המסחרי-תרבותי של מרכז הכרמל. מהלך התנועה מתוכנן לאורך הרחוב, עם נקודות עלייה מרובות בצמתים מרכזיים, כך שהגישה לתחנות האוויריות תהיה נוחה וישירה. הגשרים האוויריים נבנים כקונסטרוקציה קלה ורחבה, הפועלת כשכבת קרקע הליכתית נוספת מעל העיר - מהלך צורני שמאפשר חווית הליכה ייחודית לצד השימוש התחבורתי.



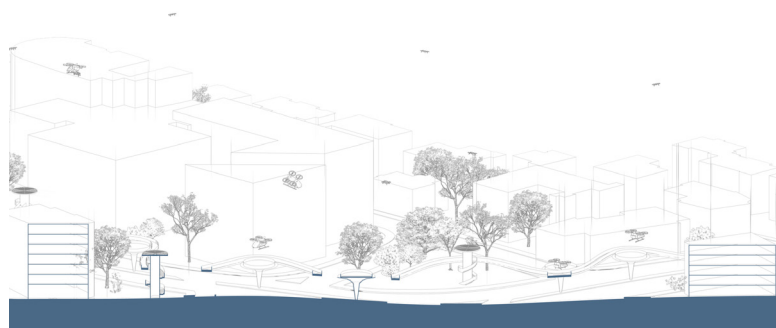
מרחב התחנה

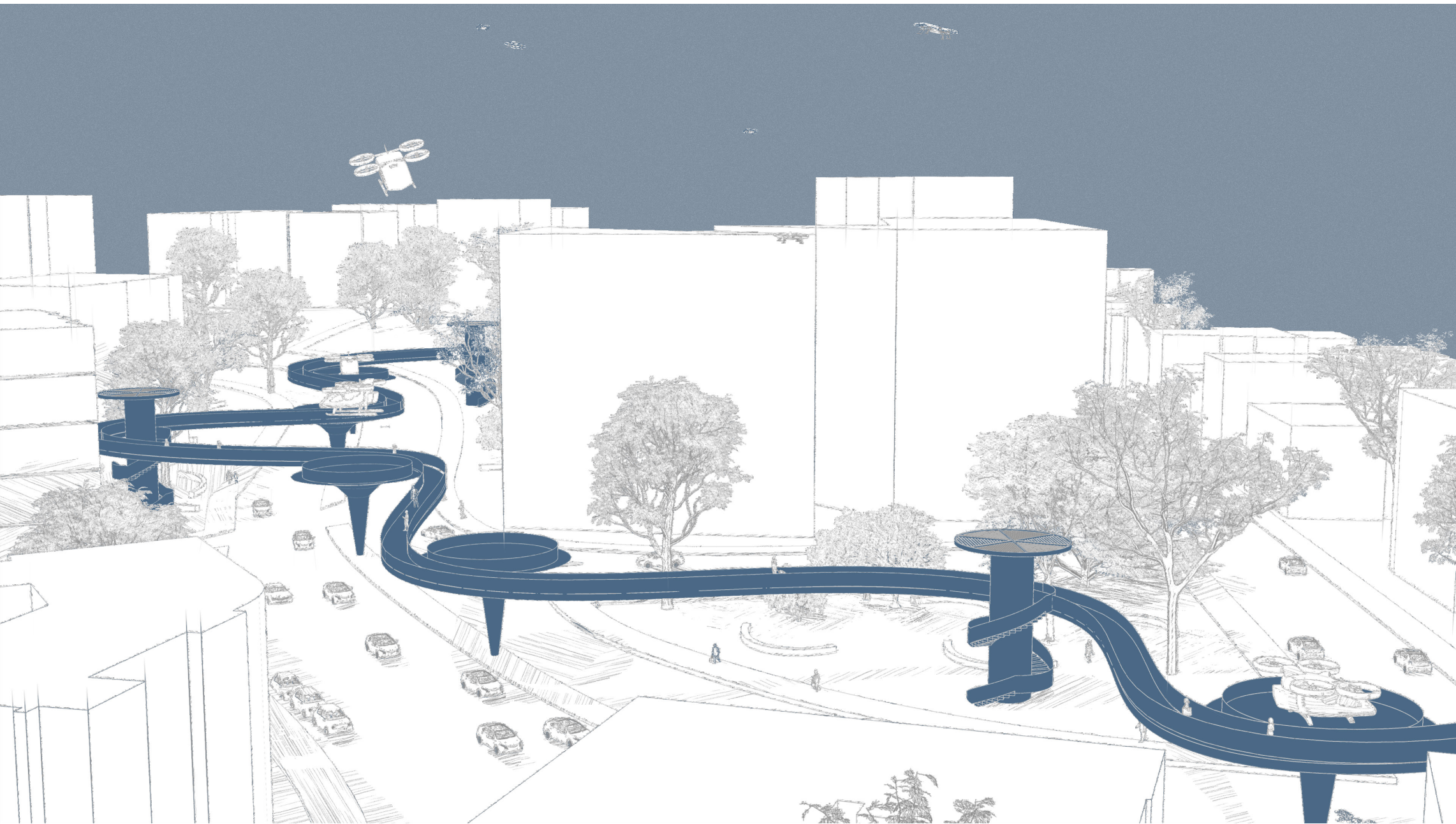


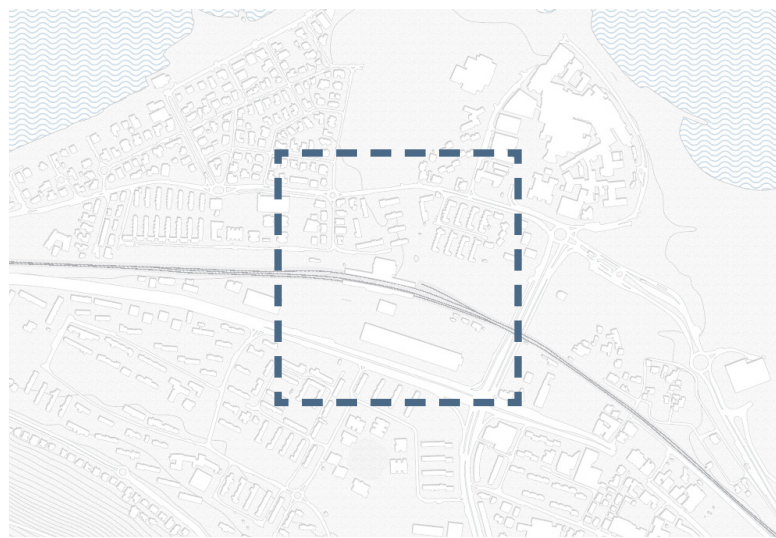
מפליס עליון



מפליס קרקע



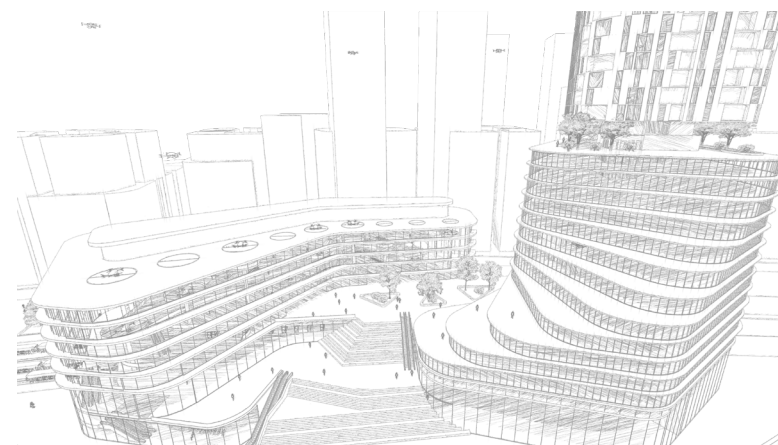
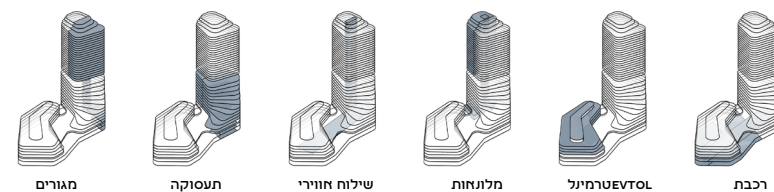
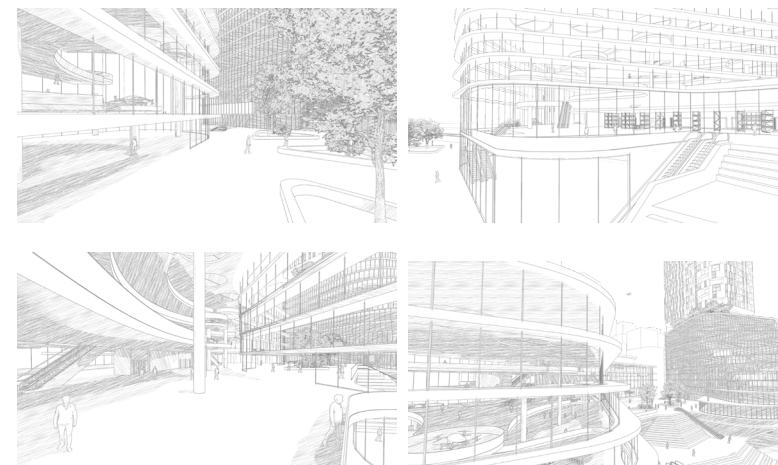
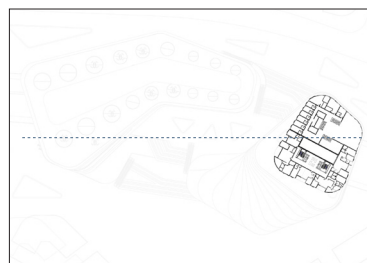
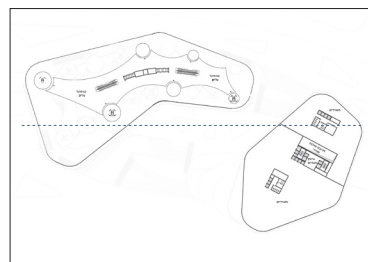
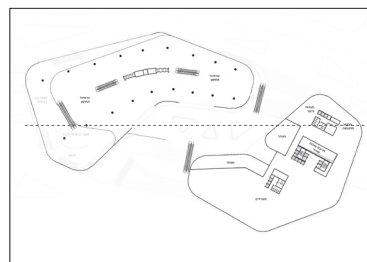
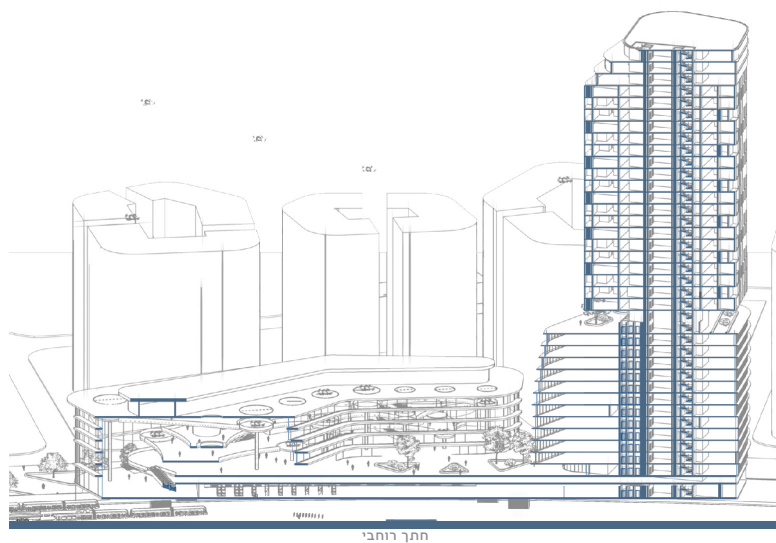


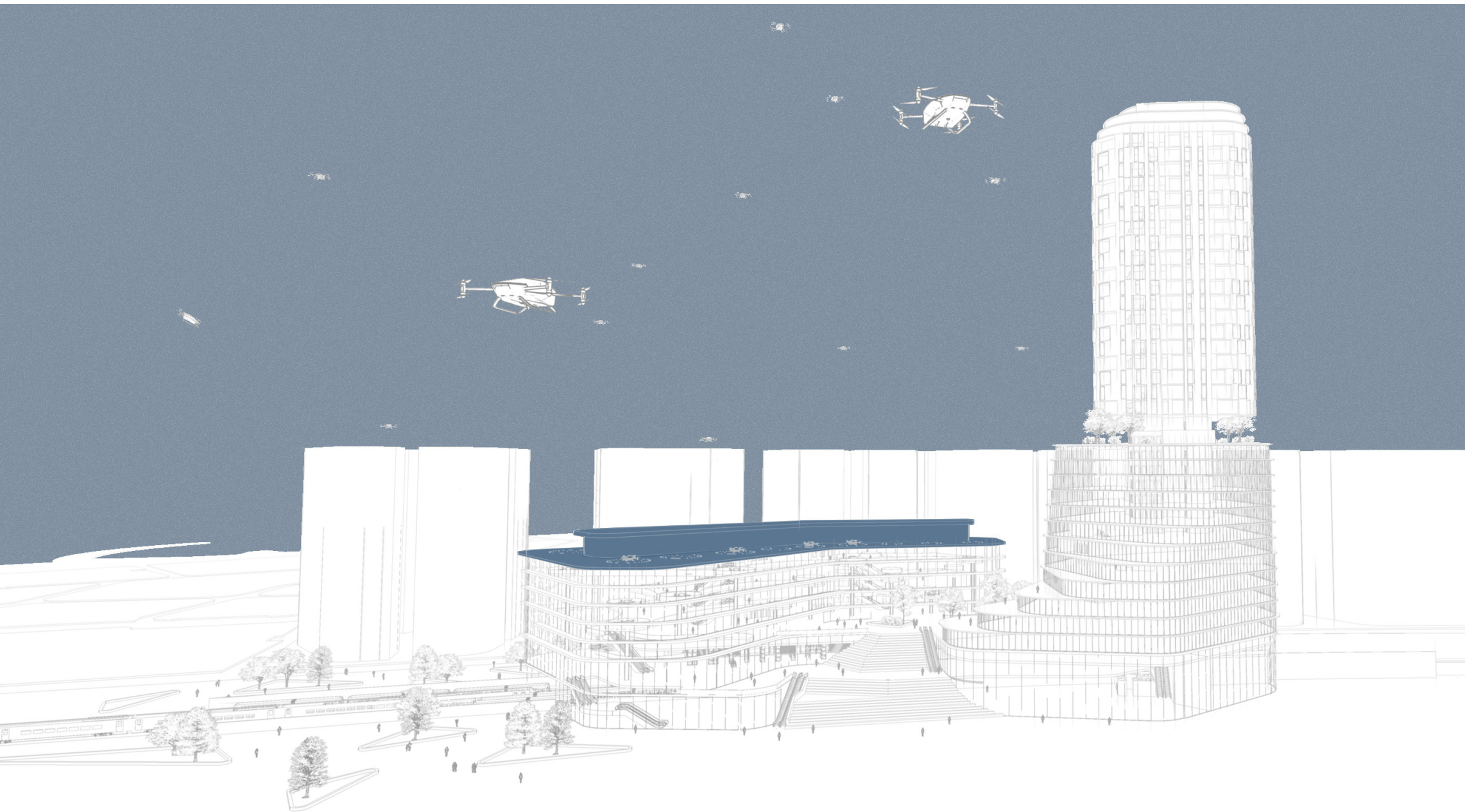


מרחב התחנה

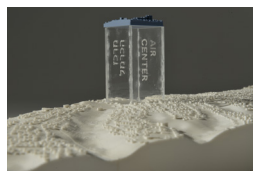
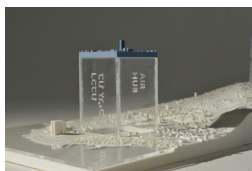
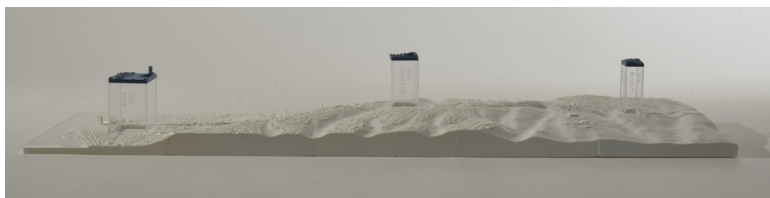
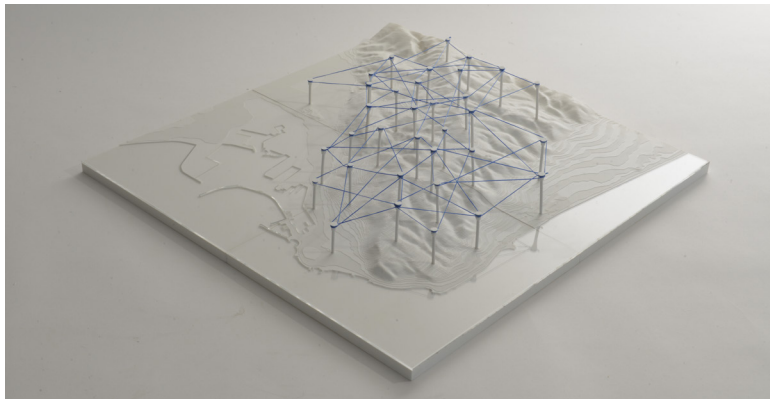
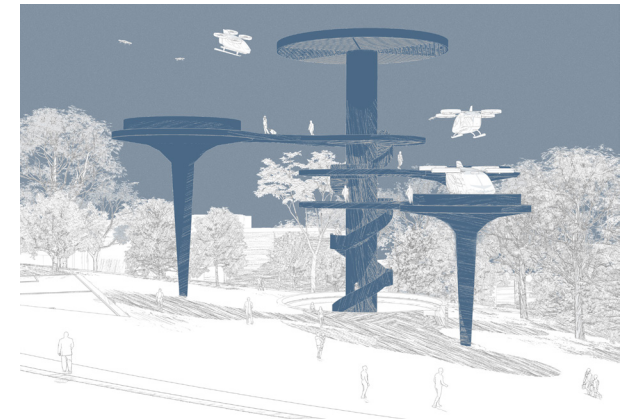
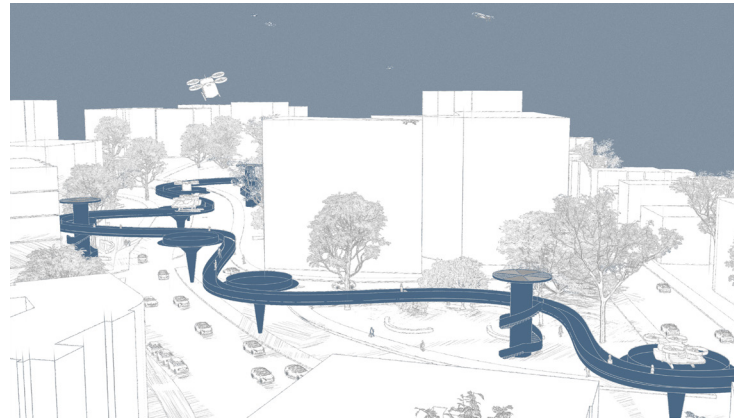
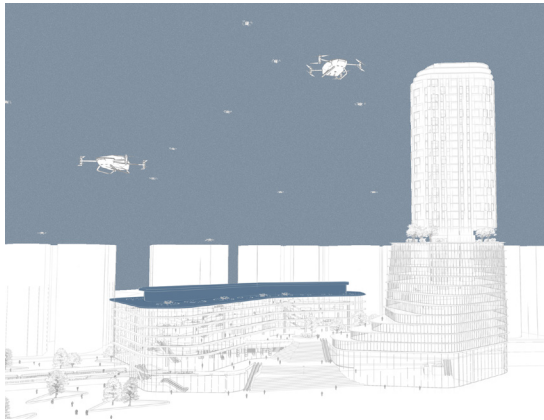


ה־ AIR HUB מתמקם בתחנת הרכבת בת גלים, ומשמש כתחנה הגדולה במערך התחבורה האווירית העירונית וכשער תחבורתי מרכזי אל שאר חלקי העיר. המיקום נבחר בשל היותו מוקד הסעת המונים פעיל, הכולל רכבת, אוטובוסים ומטרופיט, ובכך מאפשר חיבור ישיר בין תחבורה קרקעית קיימת לבין רובד התעופה העירוני החדש. ה־ AIR HUB מתפקד כמתחם רב־מערכתי המשלב תנועה אווירית של כלי נוסעים רבים ורחפנים לואיסטיים, יחד עם מרכז לואיסטי הממוקם בקומה מעל תחנת הרכבת. סביבו מתפתח מבנה אינטנסיבי ורב־שימושי הכולל מסחר, תעסוקה, מלונאות, פנאי ופונקציות ציבוריות נוספות - מה שהופך אותו לצומת עירוני חיוני ורב־שכבתי, המאגד תחבורה, לואיסטיקה וחיים עירוניים.





סיכום

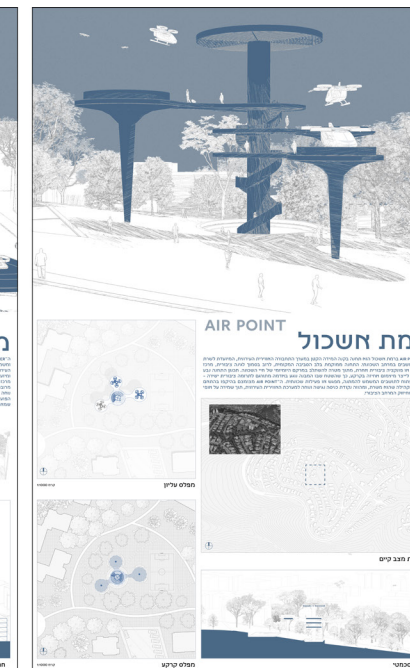
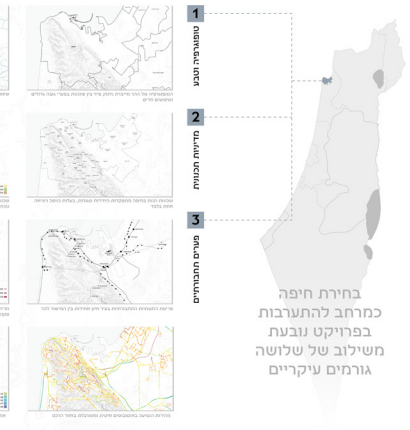
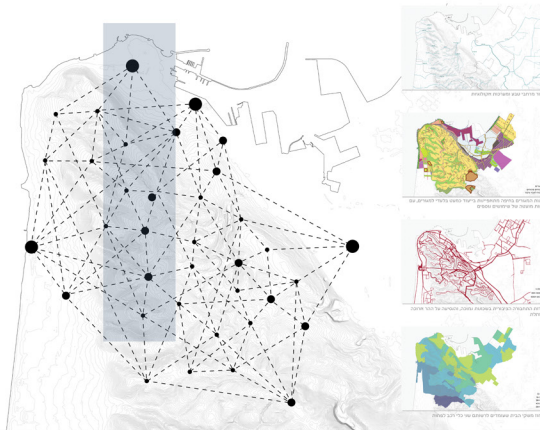
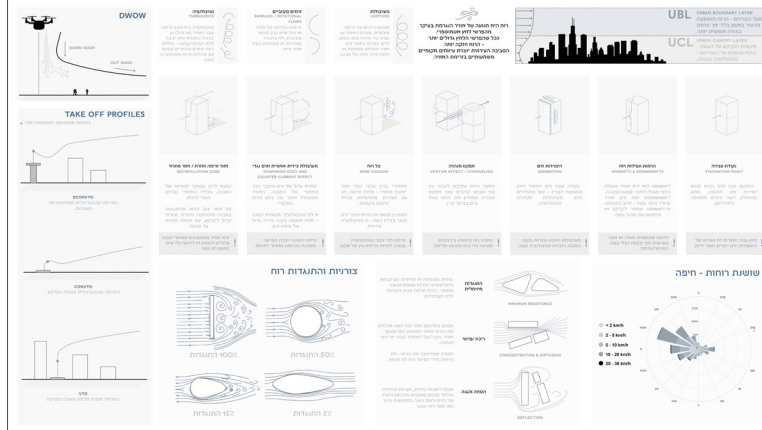


באסטרטגיה זו אני מציע מבט קדימה על חיפה - עיר הררית, צפופה ומורכבת - ולבחון כיצד רובד תחבורתי חדש יכול להפוך לכלי מרכזי בחיזוק הקישוריות, בצמצום פערים תחבורתיים, ובפתיחת אפשרויות עירוניות חדשות. שילוב תחבורה אווירית אוטונומית ציבורית, חקר סביבה אווירית ותכנון אדריכלי מותאם מציע עתיד שבו העיר אינה כבולה עוד לרשת הדרכים הקיימת בלבד, אלא מתפקדת במרחב רב־ממדי ודינמי.

אסטרטגיה זו מגדירה מסגרת פעולה ברורה להקמת מערכת תחבורה אווירית ציבורית - מערכת נגישה ושוויונית שמשרתת את כלל התושבים, מחזקת את המרקם העירוני ופועלת כתשתית משותפת לעיר. היא נועדה למנוע מצב שבו השימוש במערכת יוגבל לעשירים בלבד, כפי שעלול לקרות אם מנחתים יישענו בעיקר על גגות מבנים פרטיים שאינם נגישים לכלל הציבור. במקום זאת, היא מציעה פיתוח נדבך חדש של תחבורה ציבורית שמרחיב את גבולות העיר, יוצר תחנות משותפות ונגישות, ומחזק את הלכידות החברתית.

בעוד שכיום היא מתווספת לשכבה הקיימת, בעתיד מערכת זו יכולה להפוך לבסיס לשינוי עמוק בהרכב העירוני: עתיד שבו הצורך בכבישים פוחת באופן דרמטי, משאבי קרקע יקרים משתחררים לטובת הקהילה, והמרחב הציבורי מקבל מעמד מרכזי יותר מתמיד.





לאורך ההיסטוריה, התחבורה לא שימשה רק כאמצעי ניידות, אלא ככוח מעצב של העיר. מסילות הברזל, שדרות אוסמן בפריז או המחלפים של רוברט מוזס בניו-יורק – כולם עיצבו לא רק את דרכי התנועה אלא גם את מבנה העיר, חיי הקהילה ויחסי הכוח שבה. כעת נפתח פרק חדש: תחבורה אווירית עירונית (URBAN AIR MOBILITY). כלי טיס חשמליים ואוטונומיים (eVTOL) מציעים רובד תחבורתי חדש, בלתי תלוי בקרקע, ומציבים שאלות מהותיות: אילו תשתיות ומבנים חדשים יידרשו? כיצד ישתלבו במרחב העירוני? ובעיקר – האם יהפכו לכלי יוקרה לעשירים בלבד, או יתפתחו למערכת ציבורית נגישה ושוויונית?

חיפה, משמשת כאן כמעבדה עירונית הפרושה על מדרונות הכרמל בין הרכס לים, מתמודדת עם פערי נגישות: בעוד המישור התחתון נהנה ממערך תחבורתי מגוון, שכונות ההר נשענות על קווי אוטובוס איטיים ותלות כמעט מוחלטת ברכב פרטי. כך נוצרת עיר מקוטעת, שבה הגובה הופך למחסום נגישות ולמכשול חברתי. מכאן עולה שאלת המחקר המרכזית: כיצד רובד תחבורתי חדש יכול לצמצם פערים תחבורתיים ולחזק את הקישוריות במרחב עירוני הררי?

הספר מציע עמדה ברורה: יש לפתח מודל של תחבורה אווירית ציבורית, אוטונומית ונגישה, שתפעל כתשתית משותפת ולא ככלי פרטי לעשירים בלבד. מתוך ניתוח היסטורי, בחינת דוגמאות בינלאומיות (כמו סאו פאולו או מדיין) וחקר תנאי הרוח בעיר, מתגבשת אסטרטגיה תכנונית-אדריכלית לחיפה. ההצעה בנויה במבנה היררכי של תחנות – AIRPOINTS שכונתיים, AIRCENTERS במוקדים עירוניים מרכזיים ו-AIRHUBS ראשיים המחברים לצמתים של תחבורה ארצית – כולם מותאמים לסקייל המקומי. העיצוב האדריכלי מבוסס על זרימות האוויר כמחולל מרכזי, ליצירת סינרגיה בין העיר לבין הטכנולוגיה.

באופן זה, התחבורה האווירית אינה מוצגת כעתיד טכנולוגי בלבד, אלא כבסיס לשינוי חברתי-מרחבי: חיזוק הקישוריות, הקטנת פערים, והצעת עתיד לעיר רב-ממדית, נגישה ושוויונית יותר.