

מרחב המחיה של עצים בסביבה העירונית בישראל

שחר צור

מרחב המחיה של עצים בסביבה העירונית בישראל

חיבור על מחקר לשם מילוי חלקי של הדרישות לקבלת
התואר מגיסטר למדעים באדריכלות נוף

שחר צור

הוגש לסנט הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
שבט תשע"ז, חיפה, פברואר 2017

הנחיה

המחקר נעשה בהנחיית פרופ"ח ד"ר נורית ליסובסקי בפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים בטכניון, המסלול לאדריכלות נוף.

תמיכה כספית

אני מודה לקרן ג'ייקובס Irwin and Joan Jacobs Fellowship על התמיכה הכספית הנדיבה בהשתלמותי.
אני מודה לפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים ולבית הספר ללימודי מוסמכים בטכניון - מכון טכנולוגי לישראל על התמיכה בהשתלמותי.

תודות

למנחת המחקר נורית ליסובסקי, תודה על התווית הדרך והתמיכה בי ובחשיבות המחקר. לאדריכל הנוף יעקב אילון, על שלימד אותי מניסיונו הרב בתכנון ובטיפוח עצים. לישראל גלון, יצחק הלאור, דני אלמליח, דוד סקלי, חיים גבריאל, חנוך בורגר, דפנה הלבין, דבי לור, Jan Willem De Groot, Werner Hendriks, Anton Dekker, על שחלקו איתי מניסיונם העשיר והיו שותפים לדיון בתחום המחקר. למיכל וולנר ושקד גיל, תודה על העזרה בתמלול, ניתוח ואיור. לבסוף, אני רוצה להודות לאשתי הגר צור ולמשפחתי על התמיכה והאמון ללא סייג במשך כל תקופת לימודי.

תוכן העניינים

	רשימת איורים וטבלאות	
1	תקציר	
2	רשימת קיצורים	
3	פרק 1 - מבוא	
6	פרק 2 - רקע / שדות ידע	
6	2.1 אקולוגיה עירונית	
15	2.2 היער העירוני	
21	2.3 עץ הרחוב	
30	2.4 גישות לשיפור מרחב המחיה של עץ הרחוב	
40	פרק 3 - מתודה / שיטות מחקר	
40	3.1 סקר ספרות	
41	3.2 ראיונות עומק	
43	3.3 מקרי בוחן	
44	פרק 4 - ממצאים	
44	4.1 מרחב המחיה של עץ הרחוב בישראל	
45	4.1.1 עצים ברחובות ישראל	
46	4.1.2 נפח הקרקע בבית הגידול של עצי רחוב בישראל	
48	4.1.3 אבולוציה של בתי גידול לעצי רחוב בישראל	
56	4.1.4 מאפייני פרופיל הרחוב והשפעתו על הצלחת עצי רחוב	
57	4.1.5 ביזור תשתיות בתת הקרקע	
58	4.1.6 קונפליקט בין בתי גידול להנדסת תכן מבנה	
59	4.1.7 השקיית עצי רחוב	
59	4.1.8 פרנסת עצי רחוב מחצרות פרטיות מעבר לתחומי המגרש	
61	4.2 מדיניות ואסטרטגיה בנושא יער עירוני ועצי רחוב בישראל	
61	4.2.1 חוסר מודעות של מקבלי החלטות - פרדיגמה - עצים הם נוי בלבד	
62	4.2.2 פער ידע מקצועי - העצים יסתדרו	
63	4.2.3 הכשרה מקצועית ביערנות עירונית	
64	4.2.4 הפרט הסטנדרטי במסמכי מדיניות והנחיות	
66	4.2.5 פער בין מדיניות והנחיות לביצוע בשטח	
66	4.2.6 תקצוב הקמת בתי גידול לעצי רחוב	
67	4.2.7 עיריות מעדיפות עצים קטנים	
68	4.2.8 סטנדרט שתילים במשתלות	
69	4.2.9 אחזקת עצי רחוב	
69	4.2.10 שלד העצים העירוני בתהליך התכנון	

תוכן העניינים (המשך)

פרק 5 - דיון

73	שינוי פרדיגמה – העק תשתית לכל דבר וענין	5.1
75	נטיעת עצים בריצוף בהתאמה לפרוגרמה עירונית	5.2
76	שילוב בתי גידול לעצים לצד שבילי אופניים	5.3
77	מדרג שיטות בתי גידול	5.4
78	תכנון בתי גידול לעצים בשלב התב"ע	5.5
79	4 תנאי יסוד להצלחת עצי רחוב	5.6
80	תנאי ראשון - מרחב מחייה תחתון	5.6.1
92	תנאי שני - מין עץ מתאים ושתיל עץ איכותי	5.6.2
95	תנאי שלישי - מרחב מחייה עליון	5.6.3
97	תנאי רביעי - גיזום מכוון ואחזקה ארוכת טווח	5.6.4
98	ממצאי המחקר וכיוונים למחקר עתידי	5.7
100	סיכום	5.8
102	ביבליוגרפיה	5.9

רשימת טבלאות

65	נפח הקרקע בבית הגידול לעץ רחוב במסמכי מדיניות ישראלים	טבלה 1
86-87	טבלת השוואה - שיטות בתי גידול תת קרקעיים לעצי רחוב בישראל	טבלה 2

רשימת איורים

5	חזון העצים בקו המים של טורונטו	איור 1
13	משרעת הטמפרטורות מעל אזור עירוני	איור 2
16	מרכיבי היער העירוני	איור 3
17	תרומת העץ לסביבה העירונית	איור 4
21	"View down a Dutch Canal" by Jan van der Heyden	איור 5
23	יחס בין גודל העץ לתרומתו לסביבה	איור 6
25	פרישת השורשים של עץ בוגר	איור 7
26	מורפולוגית שורשי העץ	איור 8
26	שורשי עץ כפי שהם נלמדים בגן הילדים	איור 9
27	גרף יחס נפח קרקע גודל עץ	איור 10
29	השוואת נפחים, אדמת יער - אדמת עיר	איור 11
31	שיטות לשיפור מרחב המחיה של עצי רחוב	איור 12
32	עקרון פעולה – אדמת מבנה	איור 13
33	חתך רוחב בבית גידול בשיטת אדמה מבנה מסוג Cu Soil	איור 14
34	חתך רוחב בבית גידול אדמה מבנה בשיטת סטוקהולם	איור 15
35	משטחי פיזור עומס	איור 16
36	ארגזי מבנה Root Cells	איור 17
36	חתך בבית גידול בשיטת ארגזי מבנה Silva Cell	איור 18
37	פרט נטיעה מסוג שוחת שורשים HP Tree Box	איור 19
38	פרט נטיעה מסוג תעלה מגושרת – איטונג	איור 20
38	אלמנט נתיבי שורש	איור 21
39	תעלת נטיעה המשכית עם אדמת מבנה מבוססת חמרה חולית רח' ההגנה ת"א	איור 22
47	עץ רחוב עם בית גידול מוגבל	איור 23
50	פרט נטיעה סטנדרטי לעץ רחוב, עיריית תל אביב	איור 24
51	פרט נטיעה סטנדרטי לעץ רחוב, עיריית ירושלים	איור 25
52	תעלת נטיעה המשכית, אזור התעשייה חבל מודיעין	איור 26
53	פרט תעלת נטיעה המשכית, רחוב אבן גבירול, תל אביב	איור 27
53	עצי מיש ברחוב אבן גבירול, 7 שנים לאחר נטיעה	איור 28
54	חתך פרט נטיעה עם ארגזי מבנה Silva Cell, רמת הנדיב	איור 29
55	תעלת נטיעה המשכית עם אדמת מבנה רח' תובל רמת גן	איור 30
55	פרט תעלת נטיעה המשכית עם חמרה חולית, רח' ההגנה, תל אביב	איור 31
56	כרונולוגיה של בתי גידול לעצי רחוב בישראל	איור 32

57	תשתיות עירוניות בחתך הרחוב, משרד הבינוי והשיכון	איור 33
58	תכנית תאום תשתיות, רח' בוגרשוב, תל אביב	איור 34
60	חשיבות גינות קדמיות לפרנסת עצי רחוב	איור 35
67	עלות נטיעת עץ רחוב מול תאורת רחוב	איור 36
70	מודל תכנון היער העירוני, רוברט מילר	איור 37
74	נחוץ שינוי פרדיגמה	איור 38
74	מדוע לשפר בתי גידול לעצי רחוב	איור 39
75	מערכות נטיעה לעצים בריצוף בהתאמה לפרוגרמה עירונית	איור 40
76	שילוב בתי גידול לעצי רחוב מתחת שביל אופניים	איור 41
77	La Rambla, Barcelona	איור 42
77	מגוון מערכות נטיעה למדרג רחובות	איור 43
78	תכנון בתי גידול לעצים בשלב התב"ע, שדה דב	איור 44
79	4 תנאי יסוד להצלחת עצי רחוב	איור 45
81	מעבר מבור נטיעה לתעלת נטיעה המשכית	איור 46
82	מרחב מחייה תחתון ראשוני ושניוני	איור 47
83	יכולת נשיאת משקל של בתי גידול	איור 48
85	השקיה בבור נטיעה סטנדרטי	איור 49
85	עקרון השקיית עצים	איור 50
89	השפעת מרווחי נטיעה על גודל עץ הרחוב	איור 51
90	מערכת אוורור בור נטיעה	איור 52
91	אבן תיחום בור נטיעה עמוקה, אקרשטיין	איור 53
91	צווארון מכווין שורשים	איור 54
94	תקן שתילים חדש	איור 55
94	עצים מעוצבים לפי התקן החדש	איור 56
95	זכויות שמש לעצים בעיר	איור 57
97	עיצוב עץ עם נוף גבוה	איור 58

תקציר

גדלתי בקיבוץ, במרחב ירוק ופתוח עם עצים גדולים וקרבה לטבע. היום אני חי בתל אביב ואוהב את המהות העירונית. מאז שבחרתי לעסוק באדריכלות נוף, החיבור הזה בין עצים לעירוניות, בין טבע ותרבות אנושית שוקקת, מעסיק אותי בשעות הפנאי, בפרקטיקה ובמחקר. המחקר הנדון, מצביע על חשיבות הייעור העירוני ומתווה תפיסה חדשה ודרכי פעולה יצירתיות להעצמת היער העירוני בישראל.

עצים הם מרכיב חשוב בכל קהילה. הם נטועים ברחובות, בכיכרות, בגני המשחק ובחצר האחורית. העצים נותנים צל, מייצרים לחות, מהווים בתי גידול ומקנים לעיר איכות ויזואלית ומרגוע מהנוף הבנוי. כיום ידוע שלעצים שורה של תועלות ותפקידים כמרכיב מרכזי באקולוגיה העירונית. שירותי המערכת האקולוגית של עצים בסביבה הבנויה הוכחו אמפירית כחשובים ביותר לשיפור איכות החיים של תושבי העיר.

הצורך בניהול הצמחייה צמח לצד התפתחותן של הערים וזכה להכרה מלאה במאה ה-20. ניהול מערכת של עצים בעיר נקרא "ייעור עירוני" והוא מקיף את מכלול התחומים המלווים את חיי העץ בפן האגרוטכני, מחד גיסא, לצד אסטרטגיה ומדיניות לשילוב עצים בסביבה הבנויה ולתחזוקת שלד עירוני ירוק מאידך גיסא.

חשיבותם של עצי הרחוב גדולה בהרבה מחלקם היחסי ביער העירוני. מיקומם בנקודות מפתח עירוניות, בין התחום הציבורי לפרטי, ברחובות שהם עורקי החיים של העיר, מבליט את ערכם. אולם, מתוך מרכיבי היער העירוני, עצי הרחוב הם גם אלו שסובלים ביותר מהסביבה העירונית. עצי הרחוב מתחרים עם מגוון שימושים על מרחב מצומצם צפוף ורווי תשתיות, בחזית ההתרחשות העירונית. מתובנות אלו נגזרה מטרת המחקר שמבקש למצוא דרכים מעשיות וקריטריונים לשיפור מרחב המחייה של עצי הרחוב לצורך טיפוח יער עירוני של עצים גדולים בריאים ואיכותיים לרווחת תושבי העיר בישראל.

טענה מרכזית במחקר היא שהפרקטיקה הנהוגה בתכנון, נטיעה ואחזקה ארוכת טווח של עצי רחוב מעידה על פער משמעותי לעומת הנעשה בעולם. פער זה קיים הן בהקצאת המשאבים, הן בשיטות הנהוגות והן במודעות של מקבלי ההחלטות לחשיבות הנושא. עוד עולה מהמחקר כי לא קיימת במערכת התכנון העירוני, דרישה להכנת תכנית אב או תכנית אסטרטגית לייעור עירוני. אפיון בתי הגידול לעצים מגיע בשלב מאוחר בתהליך התכנון שאינו מאפשר שילוב מיטבי.

תובנות נוספות מצביעות על כך שהעצים הגדולים נעלמים מהנוף העירוני. קיימת מגמה במחלקות גינון עירוניות להעדפת עצים קטנים ומסודרים בשל קלות התחזוקה. לצד אלו, ניתן להצביע על העדר כמעט מוחלט של מחקר בתחום יערנות עירונית בישראל. זאת ועוד, יתכן שההערכה הנמוכה שמקבל תחום הייעור העירוני בישראל, ממשרדי ממשלה ורשויות עירוניות, נובעת בין השאר מהעדר מחקר מקומי מספק.

למחקר שלפניכם אופי תיאורטי ויישומי מובהק ותוצאותיו ישמשו כבסיס לתכנון וניהול עתידי של נטיעת עצים בערי ישראל. לצד אלו נחוץ מחקר המשך שיבחן באופן כמותי את אחוז כיסוי הצמרות בערים ודרכים נוספות להעצמת היער העירוני בישראל.

רשימת קיצורים

פירוט	קיצור
Best Practices Manual	BPM
California Bearing Ratio	CBR
Carbon Capture and Storage	CCS
Cornell University Soil	CU Soil
Low Impact Development	LAI
Leaf Area Index	LID
Light Detection and Ranging	LIDAR
Sand-Based Structural Soil	SBSS
Urban Canopy Layer	UCL
Urban Heat Island Effect	UHIE
Urban Tree Canopy Cover	UTCC

מרביתנו חיים ועובדים בעיר. למרות שאנו מכירים בתרומה של עצים לעיר אנו לא תמיד מודעים לכך שהעצים הנטועים בשדרת הרחוב, בגינה השכונתית או בפארק מהווים מדד חיוני בהגדרת איכות הסביבה העירונית. ההשפעה החיובית של עצים בעיר באה לידי ביטוי הן בהיבט האקלימי, הן בהיבטים החברתיים והכלכליים והוכחה במספר מחקרים (Sudipto et al. 2012).

העץ הוא אורגניזם מופלא יוצר חיים וסביבות. בצד התרומה המוכחת לאיכות הסביבה העירונית, שילוב עצים במרחב הבנוי מציב אתגרים שונים. רחש העלווה מחייה את המרחב העירוני במפלס הרחוב ואולם, צמיחתם של העצים תלויה לחלוטין בשורשים, במפלסים סמויים מהעין הטמונים בקרקעית העיר. הבנת הביולוגיה של העץ ומתן תשומת לב למרחב המחייה התחתון, עומדים בבסיס ההצלחה של ייעור עירוני (Urban 2008).

בעשורים האחרונים מושקעים משאבים גדולים במחקר ובטיפוח של יערות עירוניים ברחבי העולם. בניגוד למגמה העולמית, תמונת המצב בישראל שונה בתכלית. למרות הפיתוח המואץ, ציפוף הערים, והאקלים החם המצדיקים ייעור מאסיבי, תחום היערנות העירונית בישראל אינו מקבל את המקום הראוי לו. העיור הגובר והתחרות על קרקע מקשים על הייעור העירוני. קיים חוסר מהותי של מחקר ישראלי בתחום, שמתבטא בהיעדר אסטרטגיה מקיפה והקצאת משאבים מוגבלת ברמה הארצית והעירונית.

במבט ראשון, העצים בישראל מעוררי פליאה. עם עונת צימוח ארוכה, טמפרטורה נוחה וקרקע פורייה, לצד נחישות המייסדים להפרחת השממה, הוריקו ערי ישראל מעלוות עצים תוך חצי מאה. במחקר זה אטען כי מרבית העצים המיירקים כיום את ערינו הם פירות העבר ולא נותר להם זמן רב לחיות. עצי הרחוב החדשים בישראל, ניטעים באופן שאיננו איכותי ולרובם אין עתיד. זאת ועוד, מדיניות של "ייעור עירוני" המכוונת לתכנון וניהול מושכל של עצים בודדים, שדרות וחורשות בסביבה העירונית, היא בעלת חשיבות רבה ליצירת סביבה עירונית איכותית בישראל היום ובעתיד.

התחדשות קו המים של טורנטו (קנדה), פרוייקט שבו לקחתי חלק, היא דוגמא לתכנון מושכל של עצים בעיר. הרעיון המרכזי בתכנית הגדיר את קו המים כמרחב ציבורי לינארי רב שכבתי לפעילות עירונית שוקקת בחזית האגם המרכזית. התכנית הציעה שדרה כפולה של עצי אדר מפוארים בחזית אגם אונטריו, רצועה חיה ונוכחת, במפגש בין הטבע לעיר. (ראה איור 1) התהליך של יצירת השדרה, מהדמיות מחשב בשלב ההגשה לתחרות, דרך התכנון המפורט, הנטיעה, הצמיחה והשגשוג בחזית האגם, היה עבודה שיעור מקצועי ומבחינות רבות הניע את המחקר הנוכחי.

שנים לאחר מכן, עם שובי ארצה, הסתכלתי באופן אחר על עצים בעיר. ככל שהעמקתי לסקור את העצים ואופן ניהולם, מצאתי מערכת צעירה עם פערי ידע לא קטנים. לתובנות המקצועיות שרכשתי בחו"ל התווספו שיקולים מקומיים ייחודיים תרבותיים והיסטוריים שחיבו חשיבה חדשה על יער ועיר עירוני בישראל.

מחקר זה מתמקד בעצי הרחוב כקבוצה מרכזית ביער העירוני. מיקומם של עצי הרחוב בנקודות מפתח, בין התחום הפרטי לציבורי ובין הרחוב לשימושי קרקע אחרים וכן, תפקודם כמסדרונות ממותני אקלים לתנועת תושבי העיר, מבליטים את חשיבותם. הם, כך אטען, אבן הבניין המרכזית בשלד הירוק העירוני.

במסגרת המחקר נבחנו המשתנים המגדירים את מרחב המחיה של עץ הרחוב ונלמדו הנתונים המקומיים במטרה לבסס קריטריונים עדכניים ליצירת מרחב מחיה אופטימאלי לעצי רחוב בישראל. קריטריונים אלה מבוססים על ידע בינלאומי מוביל, ומותאמים למאפיינים הנדסיים פיסיים ואקולוגיים של הרחובות והערים בישראל. המחקר מבקש להרחיב את הידע התאורטי הקיים ולפתח דרכים מעשיות לשיפור מרחב המחיה של עצי רחוב בישראל, באופן שיאפשר תכנון וניהול ארוך-טווח של עצים גדולים בריאים ואיכותיים לרווחת תושבי הסביבה העירונית.

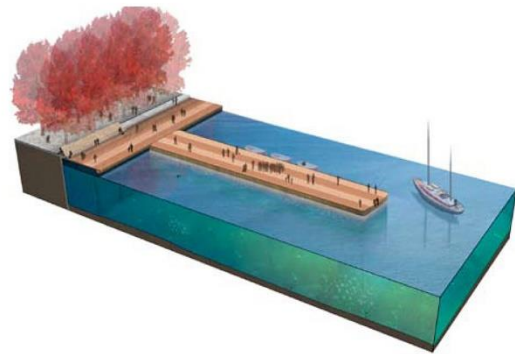
העבודה כוללת ארבעה פרקים:

שדות הידע (פרק 2) פרק זה סוקר את הידע הקיים (the state of the art), בשלושה תחומים משיקים-משלימים: מהקונטקסט הרחב של אקולוגיה עירונית, דרך היער העירוני ושירותי המערכת האקולוגית של עצים בעיר ועד לדיון עומק בעץ הרחוב. הדיון בעץ הרחוב, כולל היבטים ביולוגיים, צרכים, אפשרויות ומגבלות של עץ הרחוב בסביבה העירונית וכן, אמצעים תכנוניים וטכנולוגיים לשיפור מרחב המחיה של עצים בריצופים קשים.

שיטות המחקר (פרק 3) פרק זה מתאר את השיטות השונות ששמשו במחקר, בהן סקר ספרות, ראיונות עומק עם אנשי מקצוע וניתוח מקרי בוחן.

ממצאים (פרק 4): פרק זה מורכב משני תתי-פרק, החלק הראשון סוקר את המאפיינים הפיסיים המגדירים את מרחב המחיה של עצי הרחוב בישראל וכן את החסמים והמגבלות המאפיינים את תנאי הנטיעה. החלק השני דן במדיניות ואסטרטגיה בנושא יער עירוני ועצי רחוב בישראל.

דיון (פרק 5): פרק זה דן בחסמים ובמגבלות ומציע פעולות ואסטרטגיה לשיפור המצב הקיים ולפיתוח מדיניות לנטיעת עצי רחוב בהתאמה לאקלים המקומי ולמאפיינים הייחודיים של המרחב העירוני בישראל.



איור 1 - מימין, 2006, חזון קו המים של טורונטו, שתי שורות עצי מייפל גדולים.
משמאל, 2016 שדרת עצי מייפל, קו המים של טורונטו

Figure 1 - Toronto Central Waterfront Vision and Project Implementation

פרק 2: רקע / שדות ידע

2.1 אקולוגיה עירונית Urban Ecology

הצורך של האנושות בסביבת מגורים השואבת מאיכויות הטבע הינו עתיק יומין (Spirn, 2011). מאז שחקלאות הובילה את האדם ליישוב של קבע, גידול צמחייה, עם דגש על עצים בסמיכות למגורי האדם, הינו דבר שבשגרה.

יערות הינם מערכת אקולוגית יבשתית הדומיננטית על כדור הארץ תוך אספקת כ- 75% מכלל הייצור הראשוני (Primary Production) (Pan et al. 2013). היער הינו תצורת השיא (climax) האקולוגית וביטוי אלוהי של הטבע (Jones 2015). רוברט הריסון (Robert Harrison), טען בעבר כי ערים הן למעשה קרחות ביער הקדמון (Harrison 1992). במידה רבה, העיר היא תצורת השיא של סביבת המחיה האנושית. החיבור בין עצים לעיר, לכדי אקולוגיה עירונית אחת, הינו הביטוי המיטבי למיזוג בין הטבע הפראי לתרבות האנושית (Jones 2015). אולם, יחסי הגומלין בין שני האלמנטים הם טעונים ומורכבים. הקשר בין האדם לעץ מלווה את התפתחות החברה האנושית מראשיתה. לקשר זה היבטים מגוונים - חומריים, פסיכולוגיים, חברתיים, אמנותיים ומיסטיים (Appleyard 1975).

עירור הינו ביטוי למגמה דמוגרפית דומיננטית, שמשנה לגמרי את פני כדור הארץ. (Pickett et al. 2001), ערים הינן מערכת אקולוגית מורכבת הנשלטת על ידי האדם. המרכיב האנושי הוא שמבדיל, בדרכים רבות, את האקולוגיה העירונית מזו הטבעית (Alberti 2009). מדע האקולוגיה הניח לפתחנו מגוון הוכחות לכך שהאנושות משנה את האקולוגיה של כדור הארץ באופן דרמטי. שינוי זה מקבל ביטוי פיזי ביצירת נופים הטרופניים דומיננטיים, בעלי מחזורי אנרגיה וחומרים שונים לגמרי מאלו הטבעיים (Vitousek et al. 1997). זאת ועוד, התמונה המתבהרת על סמך ריבוי מחקרים היא כי תהליך העירור הוא בעל השפעה אדירה על האקולוגיה של כדור הארץ, הן בקצב הצמיחה העירונית והן באופי הפיזי, האדריכלי והנופי של הסביבה העירונית. (Alberti 2009)

העץ הוא מכונה טבעית ומשוכללת של הטבע להטמעת אור ויצור אנרגיה. לצורך הגשמת הווייתו נמצא העץ בגדילה, השתנות ודינמיקה מתמדת. הסביבה הבנויה, מעצם הגדרתה הפיזית, מבוססת על יציבות, נייחות וסטטיקה הנדסית. הצמדת שתי מערכות אלו מציעה הזדמנויות מחד גיסא, אך מציבה אתגרים לא פשוטים מאידך גיסא.

אקולוגיה עירונית הינה תחום מחקר מדעי שעוסק ביחסים בין אורגניזמים חיים ובינם לסביבתם במרחב העירוני. הסביבה העירונית מוגדרת לצורך זה כמרחב מבונה בצפיפות גבוהה למגורים, תעסוקה ומסחר. מרחב זה מאופיין בריבוי שטחים מרוצפים. גישה זו מתייחסת אל העיר כאל מערכת אקולוגית המאופיינת על ידי ההיסטוריה שלה, המבנה והתפקוד וכוללת מרכיבים ביוטיים וא-ביוטיים (Sukopp 2008). בשנים האחרונות, מתפתח המחקר בתחום זה בקצב מהיר

וחותר להבנה כיצד האדם, תושב העיר, מחד גיטא, ותהליכים אקולוגיים, מאידך גיטא, יכולים להתקיים זה לצד זה במערכת שמאופיינת בשליטה ובדומיננטיות אנושית. חקר אקולוגיה עירונית יש ביכולתו לתרום למאמץ להגדרת סביבות וחברות מקיימות ובעלות חוסן סביבתי (Mrzluff et al, 2013). על פי קווין לינץ' (Kevin Lynch), העיר היא בראש ובראשונה סביבת מגורים לאדם. על כן יש לבחון תכנון עירוני במדדים של איכות החיים האנושית, בדגש על האופן בו תושבי העיר תופסים את תחושת החלל במרחב העירוני (Lynch 1981). בהקשר של מקצוע אדריכלות הנוף, אקולוגיה עירונית מתמקדת בעיצוב שירותי הסביבה למען בני האדם בסביבת מגורים עירונית (בריקנר - בראון 2008). מכיוון שכבר כיום מתגוררים מרבית תושבי כדור הארץ בערים צפופות וזהו תהליך במגמת עלייה, (UN, World Urbanization 2014), קיימת חשיבות עליונה להעמקת ההבנה והמחקר באקולוגיה עירונית ומרכיביה, בדרך ליצירת ערים מקיימות ואקולוגיות יציבות (Alberti 2009). על פי אן ספירן (Anne Whiston Spirn), הישרדות האדם כמין (במובן הטקסונומי) תלויה במידה רבה ביכולתנו לעצב את ערינו בדרכים חדשות מקיימות וידידותיות לסביבה (Spirn 1998). בחקר אקולוגיה עירונית קיימת שאיפה לקידום מטרה זו. תיאוריה ומעשה בתכנון עירוני נארגים יחדיו, תוך שאיבת השראה מענף האקולוגיה כמדע הבוחן את יחסי הגומלין בין האורגניזמים לסביבתם ואת התהליכים המעצבים את שניהם (Pickett et al. 2001) אחת ההגדרות המקובלות למערכת אקולוגית נטבעה בשנת 1994 על ידי גרי מול (Gary Moll), והיא אומרת כך: "An ecosystem can be defined as a set of interacting species and their local, non-biological environment functioning together to sustain life" (Moll 1994).

לעיתים, הגבולות בין מערכות אקולוגיות שונות אינם חז-משמיעים או ברורים. גבולות האקולוגיה העירונית מוגדרים במגוון צורות: על ידי קווי פרשת מים ואגני ניקוז, טווחי יוממות (טווחי היוממות הינם הביטוי למרחק בין מקום המגורים למקום הפרנסה), מגדירים את מרחב המחיה של האדם, או בהתאם לנוחות המחקר לשמו הם מוגדרים. (Pickett 2011). כשמדובר על האקולוגיה העירונית לאור הגדרתם של מול ופטיט, ניתן להתבונן בה בשתי דרכים שונות. הראשונה, מתייחסת לעיר כאל מערכת אקולוגית אחת, הכוללת את כל המרכיבים ממנה בנויה הסביבה העירונית. לעומתה טוענת הגישה השנייה, כי ניתן להסתכל על העיר כבנויה ממגוון מערכות אקולוגיות קטנות יותר, למשל יערות, פארקים, אגמים וכו'. למרות שעל פי תפיסתם של מול ופטיט, במערכת האקולוגיה העירונית נחשבת קבוצת "עצי הרחוב" כקטנה מדי מכדי להיקרא מערכת אקולוגית, בולונד והונהמר (Bolund & Hunhammar), טוענים כי המרכיב הטבעי באקולוגיה העירונית ניתן לחלוקה לשבע מערכות אקולוגיות שונות. בין קבוצות אלו נכללים גם עצי הרחוב שבדרך זו הופכים להיות מערכת פרטנית ועל כן בהמשך. (Bolund & Hunhammar 1999)

תושבי הערים נהנים ממגוון רחב של משאבים שמספקות המערכות הטבעיות המרכיבות את האקולוגיה העירונית. שירותים אלו מוגדרים כך: "התועלת בה זוכה האוכלוסייה האנושית – ישירות או באופן עקיף - משירותי המערכת האקולוגית (Ecosystem services)".

Ecosystem services are defined as “the benefits human populations derive, directly or indirectly, from ecosystem functions” (Costanza et al. 1997).
דוברט קונסטנזה (Robert Costanza), מזהה 7 קטגוריות מובהקות של תרומות סביבתיות בשירותי המערכת אקולוגית. התרומות של חלק מאותן קטגוריות, אינן נצרכות באופן ישיר על ידי בני האדם. ל-7 קטגוריות מתוך המכלול חשיבות רבה במרחב העירוני והן: שיפור איכות האוויר, תרומה למיקרו אקלים, הפחתת רעש, הקטנת סחף קרקע, שיפור חלחול נגר עילי וכן שירותי פנאי ונופש וערכים תרבותיים. ליער העירוני מיוחסת **תרומה משמעותית** בכל אחת מאותן 7 קטגוריות. (Costanza et al. 1997).

2.1.1 ההיסטוריה של אקולוגיה עירונית

מחקרים מוקדמים באקולוגיה עירונית בחנו ביוטופים מקומיים של טבע בעיר ולא התייחסו לעיר כאקולוגיה שהיא מקשה אחת. אותם מחקרים עסקו בבתי גידול שהתפתחו בטירות עתיקות וחורבות, כמו גם בגנים ופארקים. מחקרים אלו חשפו הימצאותם של מגוון מינים רחב בתחום הצומח בסביבה הבנויה וכן את קיומם של תהליכי התפתחות דינמיים. מחקרים כוללים יותר החלו סביב שנת 1970 (Sukopp, 2008).

אן ספירן (Spirn) מציינת שכבר לפני יותר מאלפיים שנה תיאר היפוקרטס את השפעתם של תנאים סביבתיים על בריאותם של יחידים וקהילות בסביבה בנויה. במאה הראשונה לפני הספירה קבע ויטרוביוס הרומאי (Vitruvius) המלצות להתוויית רחובות עירוניים ותנוחת בניינים בהתאם למופע עונתי של קרינת השמש ומשטר הרוחות. הארכיטקט האיטלקי לאונה בטיסטה אלברטי (Leone Battista Alberti) בחיבורו “על הארכיטקטורה” במאה החמש עשרה העמיק את הקשר בין בינוי ערים לתפיסה סביבתית. אלברטי טען שעל המיקום והעיצוב של רחובות, כיכרות, ובניינים להתאים לאופי סביבתם בכדי שהערים יוכלו לקדם בריאות, בטיחות, נוחות חיים, והנאה. בשלהי המאה התשע עשרה היה זה אדריכל הנוף פרדריק לו אולמסטד (Frederick Law Olmsted), שתכנן פארקים אורבניים, שכונות ושדרות בגישה סביבתית מקיפה לקידום בריאותם, בטיחותם ורווחתם של תושבי הערים. בתחילת המאה העשרים, ניטש ויכוח (שהינו רלוונטי אף לזמננו) האם יש לרכז מאמצים בשיקום ערים קיימות או שמא לבנות ערי גנים חדשות באזורים כפריים. על פי הרעיון שהגה אבנעזר הווארד (Ebenezer Howard) ל “עיר הגנים” בספרו - Garden Cities for Tomorrow, עיר הגנים היא ניסיון לשילוב יתרונות הכפר עם יתרונות העיר במסגרת המרחב העירוני. פטריק גדס (Patrick Geddes) התנגד לחזון של הווארד בטענה שהעיר והקונטקסט המקומי בו היא שוכנת צריכים להתפס כישות אחת. על פי גדס, דמותה של העיר העתידי צריכה להתבסס על הבנה של ההיסטוריה הטבעית והתרבותית ועל התהליכים הקיומיים שקורים בהווה (Geddes 1915). בבסיס התפיסה של גדס נמצאת ההנחה שהתכנון לכל עיר צריך להתפר על פי האופי הספציפי ורוח המקום (Geddes 1915) (כפי שאכן קרה בתל אביב). כמו מורו פטריק גדס, גם ההיסטוריון לואיס ממפורד (Lewis Mumford) קידם באמצע שנות השישים גישה מערכתית המבוססת על יחסי גומלין בין העיר לסביבתה. על פי ממפורד, “דמות העיר העתידי חייבת לשאוב בעיצובה תרומה ממשאבי הטבע שסביבה (כמו נהר, מפרץ, גבעה ויער)

כמו גם מתנאי האקלים, ההיסטוריה והתרבות האנושית על כל גווניה החברתיים" (Mumford.1968). תפיסתו של ממפורד השפיעו על התיאוריות של קווין לינץ' ואיאן מקהארג (Ian L. McHarg), שניהם דמויות מפתח בתחום התכנון האורבני והנופי סביבתי. לינץ' ומקהארג, חלקו את התפיסה שיש לבחון ערים בהקשרם האזורי ושלסביבה הטבעית יש ערך חברתי שחשוב להטמיעו בסביבה העירונית. מנקודה זו התפצלו דעותיהם. בשביל לינץ', העיר היא בראש ובראשונה סביבת מגורים לאדם ועל פיו תכנון עירוני יש לבחון במדדים של איכות החיים האנושית, בדגש על האופן בו תושבי העיר תופסים את תחושת החלל במרחב העירוני (Lynch 1981). לעומת זאת נקודת המוצא של מקהארג, היא הסביבה הטבעית ועיצוב הסביבה הינו תהליך אבולוציוני. לדידו, על כל תכנון עירוני להתבסס על התנאים הפיזיים הקיימים. על המתכנן לסקור את האקלים, הגיאולוגיה, הצמחייה ומגוון החי ולתת להם ביטוי בתכנון בלי קשר למיקום האתר או לגודלו. (McHarg 1969) מקהארג, תפס את העיר כסביבה חולה שיש לרפא. למרות נקודת מבטו הפאסימית, גישות התכנון שלו הינן בעלות ערך רב בעיצוב עירוני עד היום. דמות חשובה נוספת בהיסטוריה של האקולוגיה העירונית היא ג'יין ג'ייקובס (Jane Jacobs). בשביל ג'ייקובס, הן בני האדם והן הערים הם חלק מהטבע (Jacobs, 1961). כמו קווין לינץ', התייחסה ג'ייקובס לעיר כאל מרחב מחיה (human habitat) לבני אדם כאשר עיצוב עירוני הוא דרך להגשמת צורכי האדם. ג'ייקובס דגלה בגישה אקולוגית לעיצוב ערים וניהולן בטענה, שערים, בדומה לאורגניזמים חיים, מאופיינות במורכבות מאורגנת. הגישה האקולוגית לתכנון ערים של ג'ייקובס, מקהארג, לינץ' וממפורד זכתה לתמיכה מדעית מהבוטנאי סר ארתור טנסלי (Arthur Tansley) שטבע את המושג ecosystem. טנסלי, טען שפעילות האדם הינה בין הגורמים המשפיעים על מבנה ותפקוד המערכת האקולוגית (Tansley 1935).

בתחילת שנות השמונים כבר ניתן היה למצוא בסיס ידע לא מבוטל בנושא הטבע העירוני ועניין גובר בגישה האקולוגית לתכנון ערים. בשנת 1984 יצא הספר של אן ספירן "גן הגרניט" ובו סקירה של הספרות המדעית הטוענות שהעיר היא חלק בלתי נפרד מעולם הטבע וכן דוגמאות ליישום מוצלח של הגישה בפרויקטים עירוניים בקנ"מ משתנה. (Spirn 1984). מכאן ועד שנות האלפיים נחקר ונכתב הרבה על הקשרים בין עיר ואקולוגיה:

Hough 1995, Van der Ryn and Cowan 1996, Thompson and Steiner 1997, Corner 1997, Johnson and Hill 2002, Berger and Brown 2009

התייחסות לרוב המקורות האלו ואחרים ניתן למצוא בספרם של מוסן מוסתאפאבי וגרת' דוהרטי: Ecological Urbanism (Mohsen Mostafavi & Gareth Doherty), שמאגד בתוכו חלקים נרחבים של בסיס הידע. (Mostafavi and Doherty 2010).

2.1.2 הקונפליקט בין עיר לאקולוגיה

בתוך המונח אקולוגיה עירונית טמון לכאורה ניגוד פנימי שיש לבחון. מוסתפאבי, מתאר זאת כך: "אקולוגיה עירונית, האין זה אוקסימורון באותו אופן שרכב היברידי הינו פרדוקס? כיצד מסוגלת

העיר בעלת המכניזם הצרכני טורפת המשאבים להיות אקולוגית? (Mostafavi and Doherty 2010), על פי ויליאם רייס, המטבוליזם המוגבר של הערים בצריכת אנרגיה וחומרים מאיץ את דעיכת האקולוגיה על פני כדור הארץ, ולכן כיישות, ערים הן אינן מקיימות. ואולם, בעת ובעונה אחת, ערים על תושביהן יכולות להוות גורם מפתח בשאיפה להשגת קיימות גלובלית. (Rees 2008)

על פי מוסתפבי, אכן, תהליך העיור העולמי פועל בניגוד מוחלט לאקולוגיה, בעיקר בשל תביעת הרגל האקולוגית האדירה שמייצרות הערים (ecological footprint). אך יחד עם זאת ניתן לדמיין בקלות, עיר שנוהגת בזהירות רבה יותר בצריכת משאבים, בניגוד לנורמה הרווחת, על הערים להיות יעילות הרבה יותר מבחינה אנרגטית בחיי היומיום. (Mostafavi and Doherty, 2010)

סטפן להמן (Steffen Lehmann) בספרו "עקרונות לאורבניזם ירוק" (The Principles of Green Urbanism) עונה על שאלה זאת באופן הבא: "כאשר האורבניזם מגיע כמעט לנקודת הרתיחה בנוגע לפליטות פחמן ויצור פסולת, לאורבניזם קיים עדיין סיכוי להיות ירוק רק אם נבסס את כל בניי הערים והעיצוב העירוני על תפיסה הוליסטית בעלת עקרונות מדידים לשינוי תפיסת הקיימות. ניתן להגדיר תפיסה זו בחמישה עשר עקרונות. כך שהתשובה היא כן, אנו מסוגלים להתאים את ערינו לעתיד על ידי נקיטת אסטרטגיות מושכלות. הפתרונות לצמיחה מקיימת כבר קיימים, יש צורך ליישם בדחיפות" (Lehmann 2011). בספרו מונה להמן חמישה עשר עקרונות שמפרטים ברזולוציה גבוהה את השלבים הדרושים לערים במעבר לאורבניזם ירוק. מתוך אותם עקרונות, מתייחס הסעיף החמישי למערכת בוטנית עירונית ולחשיבותה הרבה (על כך בהמשך).

על פי הארכיטקט האיטלקי לאונה בטיסטה אלברטי **ניהול האקולוגיה** העירונית דורש הבנה במכניזם שקושר בין האדם לתהליכים אקולוגיים וכן בדינמיקה ובאבולוציה של תהליכים אלו. מכיוון, שמערכת אקולוגית מתאפיינת בתהליך תדיר של השתנות, יכולתה של האקולוגיה העירונית להגיב, להתגמש ולהתאים לתנאים חדשים, הינה גורם חשוב בהפיכת ערים למקיימות בראייה ארוכת טווח (Alberti et al. 2004). בהקשר לאמירה זו, אטען במחקר זה כי על מנת לחזק את היער העירוני כמרכיב מרכזי באקולוגיה העירונית, על מובילי מדיניות עירונית להעמיק את ההבנה בתהליכים אקולוגיים ואף לשנות פרדיגמה, על כך בהמשך.

2.1.3 מרכיבי אקולוגיה עירונית

תושבי העיר הם הכוח הדומיננטי המניע אקולוגיה עירונית. זאת באמצעות פרישה דמוגרפית, מהלכים כלכליים, קבוצות סוציאקונומיות, מבנים פוליטיים וטכנולוגיה (Alberti 2009). הרגלי האדם והרציונל המוביל לאופן תפקודו במרחב העירוני, משפיעים ישירות על הביקוש לקרקע, אופן השימוש בה וכן על אופי חלוקת המשאבים. (Turner 1989). הקרקע המקומית, תכנית הצמחייה שגדלה בה ומערכת החי, הינם הבסיס של מערכת אקולוגיה עירונית לה שותף האדם ומושפעת מהמחזור ההידרולוגי ותנאי אקלים מקומיים. בתת פרק זה אתייחס למרכיבים הרלבנטיים למחקר זה: קרקע, צומח והידרולוגיה.

לקרקע תפקיד מרכזי בנוף העירוני. היא משמשת כמדיום גידול ומצע לחי ולצומח, מאחסנת ומנגישה חומרי הזנה, סופחת ומשמרת מים (Pickett et al. 2001). קרקע הינה המצע הבסיסי בו תלויים מגוון תהליכי החיים. זאת ועוד, הקרקע היא מרכיב חשוב לגדילת עצים, בהיותה המקור למים ומינרלים הדרושים לצמיחתו של העץ. בתוך הקרקע מתפתחת מערכת השורשים של העץ ומתבצעים תהליכים ביולוגיים של ספיחת חומרים. כמו כן, משמשת הקרקע בסיס לעיגון פיזי של מאסת העץ. מספר חוקרים טוענים כי חלק ניכר מחוסר ההצלחה של עצים עירוניים נובע מבעיות בקרקע בה הם נטועים. (Bassuk, Urban, Roberts et al.) בין אגרונומים ומומחי העצים, קיימת הסכמה גורפת כי לקרקע השפעה מרכזית על הצלחת הנטיעות. (Trowbridge et al 2004)

קרקע היא תוצאה של תהליכים גיאולוגיים, אקלימיים, הידרולוגיים וביולוגיים שמפרקים את סלע האם משך מיליארדי שנים. אחד מתפקודי הקרקע הבסיסיים, הינו לאפשר את זמינותם של מים עבור הצמחים. בטבע בכדי לעשות זאת, בכל פעם שיורד גשם המים נעים במהירות לתוך הקרקע. כמות מסוימת ממים אלו נשארת אחוזה בין הרגבים בשכבת הקרקע העליונות והינה זמינה לשורשי העצים. לצד מים זקוקים השורשים גם לחמצן בתוך הקרקע על מנת לנשום תוך ספיחת המים. לכן איכות הניקוז של מים מהקרקע, גם היא חשובה.

הקרקע איננה מדיום מוצק. קרקע אידיאלית לתמיכה בתהליכים טבעיים מורכבת מ 45% מוצקים מינראליים, 5% חומר אורגני (המורכב מחלקים, בקטריות, תולעים, וכן שורשים וחלקי צומח בתהליכי התפרקות). הנפח הנותר מורכב מחללים פנויים שמכילים מים ואויר, 25% בנפח לכל מרכיב (Trowbridge et al 2004). נקבוביות הקרקע מאפשרת תנועת מים וחילופי גזים, פעולות חשובות ביותר בתהליך הגדילה של צמחים (Urban 2008). חלק הקרקע שמוגדר "מוצק מינראלי" מורכב משלושה סוגי חלקיקים: חול, טין וחרסית. אלו מסווגים על פי מידות וחלקם היחסי בקרקע הוא שקובע את מרקם הקרקע, מקנה לה את איכותה כמדיום גידול לצמחים ומעניק לה את שמה.

קרקע עירונית היא תוצאה של הפרה רנדומלית באזור מבונה בהתאם לגחמות ולשימושי הקרקע שהגדיר האדם. את איכות הקרקע העירונית קשה מאוד לחזות (Urban 2008). בחינת מעבדה לקרקע עירונית תעלה במרבית המקרים עדות להיסטוריה של פעילות האדם. תהליכי פיתוח עירוני כוללים שינוי משמעותי של פני הקרקע, מילוי וחפירה, הידוק, בניה והריסת מבנים. כל אלו, משנים את תכונות הקרקע שנבנו משך מאות ואלפי שנים. המניפולציות שנעשות באדמת כדור הארץ אינן חדשות, הן החלו לפני מאות רבות בכריתת יערות והכשרת שטחים נרחבים לחקלאות. כל שימוש שנעשה מאז בקרקע, הוסיף ושחק את המבנה המקורי. במקומות רבים בעולם המערבי, ניתן למצוא קרקע שעברה עד ארבעה מחזורי שינוי, בכל נקודה נתונה רק במהלך 200 השנה האחרונות (Urban 2008).

המושג **קרקע עירונית** מתייחס לקרקע שהושפעה מתהליך העיור. זהו מינוח כללי שיכול להתפרש בדרכים רבות. בניגוד להגדרות קרקע תקנית הכוללת תכונות כימיות ופיזיות מדויקות לפיהן נהוג לאפיין קרקעות, ההגדרה של קרקע עירונית הינה תיאורית ואיננה סיווג טקסונומי (Kopel et al. 2015).

2.1.4 חלקה של צמחייה באקולוגיה העירונית

מבנה והרכב הצמחייה בעיר, מהווים את אחד ממוקדי המחקר באקולוגיה עירונית. מספר מחקרים שמשווים את אינדקס כיסוי העלווה (LAI), מצביעים על העובדה כי עיקר המרכיב הצמחי בערי ארה"ב הינו עצים. כשבוחנים את כיסוי צמרות העצים הכללי של ערים באזורים עם יערות טבעיים בארה"ב (UTCC), מגיעים לממוצע של 31% כיסוי משטח העיר. בשיקגו למשל, מהווים עצי רחוב 24% מכלל כיסוי העלווה. (Nowak 1994) בהשוואה ליער הטבעי, צפיפות העצים בעיר קטנה משמעותית. (Lawrence 1995) אך קיימים מקרים רבים בהם הפרטים (עצים בודדים), בעיר עולים בגודלם למין פרטיקולרי, על העצים בטבע הסמוך. (McPherson et al.1997).

אחוז הצמחייה המייצגת מינים מקומיים נמצאת במגמת ירידה מכיוון שולי העיר למרכזה. כמו כן ניתן למצוא עלייה במספר מיני הצומח האקזוטי בהתאמה לעלייה ברמת הפיתוח. Kowarick (1990) אזורים עירוניים אשר בהם רמת תחזוקה ירודה, מאופיינים באחוז גבוה של צמחי מעזבות. צמחים אלו הינם חובבי חנקן או ניטרופילי (nitrophilic) ולכן גדלים על קרקעות העשירות בנוטריינטים. בתי גידול נפוצים לצמחים אלו הם צידי הדרכים, מעזבות, חלקות וגינות נטושות. תהליך הסוקצסיה (המהלך הטבעי של חילוף החברות בטבע, מחברת החלוץ ועד לחברת השיא) של האקולוגיה העירונית, בהשוואה לתהליך סוקצסיה שעוברת צמחיה בשטח שאיננו עירוני, מושפע מתהליכים אנטרופוגניים חזקים ומגוונים, הקשורים בהיסטוריית האתר הספציפי. לכן, חברות הצומח אינן עוברות סוקצסיה מכוונת, אלא נתונות ליד המקרה ואירועים בלתי צפויים. בדרך כלל גם לא תהיה הגעה לחברת השיא. (Sukopp 2008).

2.1.5 חלקם של שורשי עצים באקולוגיה עירונית

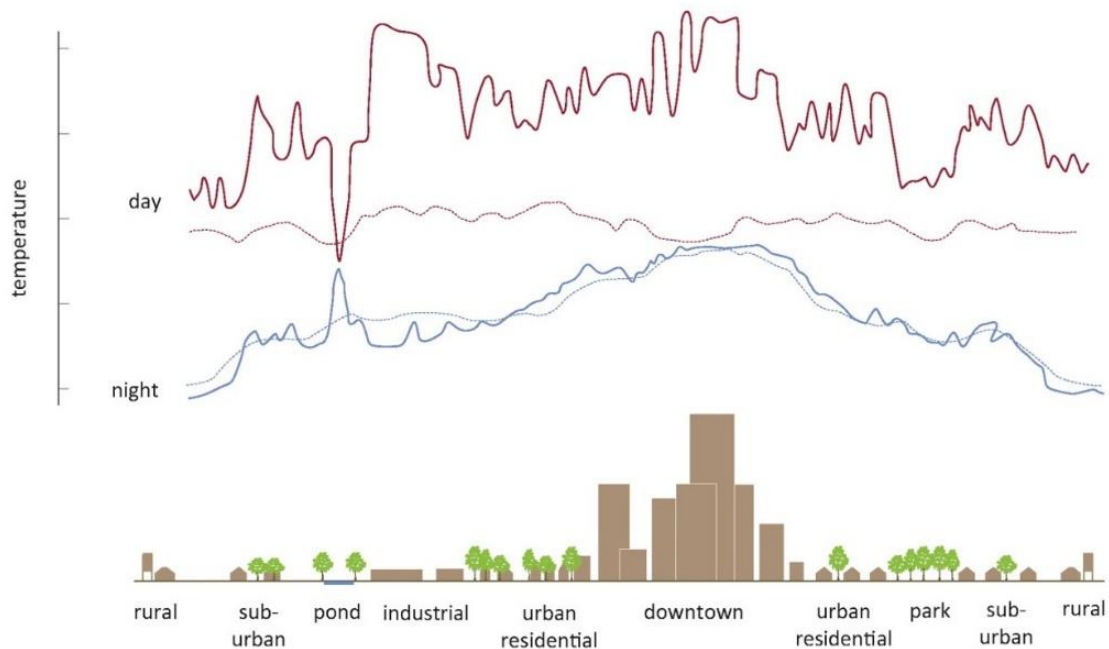
הגשמת פוטנציאל הצימוח של עצים עירוניים תלוי במידה רבה ביכולתה של מערכת השורשים להשיג משאבים לכלכלת העץ וביכולתם של השורשים לתמוך את העץ קונסטרוקטיבית. עם זאת, סביבת הגידול התת קרקעית של שורשי העץ, הריזוספרה העירונית, הינה גורם קריטי לא רק לבריאותו של העץ, אלא גם לקיומה ותפקודה התקין של האקולוגיה העירונית כולה (Day et al. 2010). במערכת השורשים של עצים, קיים הפוטנציאל לשיפור משמעותי של איכות הקרקע, בהיבטים פיזיים וכימיים. בממד הפיזי, מעצבים השורשים את פרופיל הקרקע ואת רמת הנקבוביות. ברמה הכימית, שורשי עצים משמרים ומשפרים את תכולת החומר האורגני בקרקע, משפרים את קיבוע החנקן, מקטינים איבוד נוטריינטים בסחף, מקטינים את חומציות הקרקע ומשפרים את פעילותה הביולוגית. (Young 1997)

לשורשי עצים תפקיד חשוב בהתפתחות מבנה הקרקע (Richter et al. 2007). תרומתם משפיעה לטובה לא רק על התפתחות העצים, היא גם קטליזטור לשירותי מערכת אקולוגית נוספים כגון מיתון זרימות נגר עילי, על ידי הגדלת חדירות הקרקע ויכולת אחיזת מים (Bartens et al. 2008).

2.1.6 השפעת האקולוגיה העירונית על איכות החיים של תושבי העיר

קיימים ארבעה מרכיבים בעלי השפעה על הנוחות הפיזית של האדם מבחינה אקלימית: קרינת השמש, תנועת אויר, טמפרטורת האוויר, וכן משקעים ורמת הלחות באוויר. (Miller et.al 2015)

לתנאים הסביבתיים בתוך אזור ציבורי פתוח יכולה להיות השפעה ניכרת על תנאי הנוחות אותם חש האדם. כתוצאה מהתנאים הסביבתיים, נקבעת מידת השימוש במרחב העירוני הפתוח על ידי האנשים. הדבר חשוב במיוחד בעונות ובאזורים חמים (Givoni 1991). על פי עודד פוצ'טר מאוניברסיטת תל אביב, **הסביבה העירונית** משנה את תנאי האקלים בתחומה באופן ניכר. "מחקרים רבים הוכיחו כי העיר גורמת להפחתה בערכי הלחות היחסית, למיתון בעוצמת הרוחות ולתופעת "אי חום עירוני" (Urban Heat Islands Effect) (פוצ'טר 1990). אי החום העירוני יוצר מצב בו ניתן לראות גרדיאנט של עלייה בטמפרטורה ממוצעת מאזורים כפריים ועד למרכזי ערים (McDonnell et al. 1997).



איור 2 - משרעת הטמפרטורות מעל אזור עירוני atelier GROENBLAUW

Figure 2 - Temperature Curve above an Urban Area

בדרך כלל, לפחות שני שלישים ויותר משטחה הממוצע של העיר הינם שטחים פתוחים. (שעשונע- בר 2004). עצים וצמחיה זקוקים לקרקע ואור שמש לצורך קיומם, ועל כן צמחיה, ועצים בפרט, ממלאים תפקיד מרכזי במיתון עומס חום באזורים עירוניים (Gilner 2015). לעצים בודדים, לקבוצות עצים ולחורשות, היינו, לעצים בשילוב עם תצורות טופוגרפיה בקרקע, יש השפעה משתנה על אותם מרכיבים שמגדירים את הנוחות האקלימית של אדם במרחב (Robinette 1972). (ראה איור 2)

במחקר על אקלים העיר בתל אביב התברר שתופעת אי-החום העירוני מתפתחת בקיץ הן בצוהרי היום והן בשעות הלילה. תופעת אי-החום מחריפה במיוחד עקב הירידה בצפיפות השטחים הידוקים בתוך סביבה בנויה. מתוך מסקנות המחקר שערכה שעשוע-בר בתל אביב, "אפקט הקירור של עצים ברחובות סואנים נמצא משמעותי". "... "לעצים היכולת לשפר תנאי אקלים וכתוצאה מכך למתן את עומס החום העירוני בתנאי הקיץ" (שעשוע – בר 2002).

למרות חשיבותה של תופעת "אי החום העירוני", התחממות יתר של האוויר במרחב העירוני אינה הסיבה היחידה ולעתים גם לא העיקרית, לתחושת חוסר הנוחות התרמית של המשתמשים במרחב. בחלקים החמים של השנה השפעת פגיעתה של קרינת השמש הישירה במשתמשים במרחב היא לרוב הגורם המרכזי המחולל אי-נוחות תרמית במהלך מרבית שעות היום.

בניגוד ליכולתנו המוגבלת לווסת את טמפרטורת האוויר במרחב העירוני, ויסות החשיפה לקרינת שמש ישירה הוא פעולה קלה יחסית שדורשת בעיקרה תכנון נכון של הצללות במרחב.

(Erell et. al 2011)

מיני עצים שונים נבדלים זה מזה בצורה משמעותית ברמת שירותי המערכת שביכולתם לספק. ביטוי לכך ניתן למצוא ביכולתם להצל, ביכולתם להפחית טמפרטורות אוויר, כמו גם בכושרם להגדלת הלחות היחסית של האוויר בסביבתם. עצים בעלי ערך LAI גבוה (אינדקס צפיפות עלווה) ובעלי קצב דיות גבוה, הם האפקטיביים ביותר בהורדת טמפרטורת האוויר (Shashua-Bar 201). ואולם, הבדלים בטמפרטורות פני השטח של אזורים המוצללים על ידי עצים הינם בעלי משמעות רבה יותר לעומת טמפרטורות האוויר (Gilner 2015).

במחקרה של שעשוע-בר משנת 2004 נמצא כי אפקט הקירור של עצי צל ברחובות תל אביב תלוי בצפיפות העצים ובגיאומטריית הנטיעה. זאת ועוד, בר שעשוע כותבת, כי "באזורים מיוערים בעלי שטח קטן יחסית התחומים בין מבנים בעיר (שדרות וגנים), ההשפעה על תנאי מיקרו האקלים בתחומם כוללת בנוסף לצמחייה השפעת גורמים עירוניים, ביניהם גיאומטריית המרחב התוחם, סוג וגוון חומר הבינוני וגורמים אנתרופוגניים כגון עומס תחבורה" (שעשוע-בר 2004).

להמחשת ההשפעה של הצללת עצים על משטחים ניתן לראות מחקר נוסף של פוצ'טר ושעשוע - בר, אשר בחן השפעת עצים על תנאי מיקרו-אקלים בעיר באר-שבוע). במסגרת המחקר, נבדקו שני רחובות מקבילים וסמוכים בעיר העתיקה, בכיוון מצפון-מערב לדרום-מזרח, ולשניהם יחס ממדים שווה (גובה בתים ביחס לרוחב הרחוב). הראשון, רחוב קק"ל נטוע בשדרה של שתי שורות עצי צל בוגרים מסוג אלביציה צהובה, בכיסוי של 50%. הרחוב הוא מדרחוב ומשמש לתנועת הולכי הרגל. השני, רחוב שטרן ללא עצים, חשוף לקרינת השמש במשך רוב שעות היממה. נמצא כי בשעות אחר הצהריים הייתה טמפרטורת האוויר ברחוב ללא העצים גבוהה בכ- 3°C מזו שברחוב קק"ל, עם העצים. עומס החום ברחוב החשוף היה כבד לעומת הרחוב עם העצים. (פוצ'טר 2012)

בהיבט זה יש לזכור שרחובות הינם עורקי החיים של העיר. כאשר קיימת מגמה להחזרת הולכי הרגל לרחוב לצד להגברת השימוש בתחבורה ציבורית, קיימת חשיבות רבה לתכנון רחובות כמסדרונות ממותני אקלים. עצי רחוב הינם כלי מרכזי להשגת יעד זה.

2.1.7 הידרולוגיה עירונית

הנדסת הסביבה העירונית משנה לחלוטין את המחזור ההידרולוגי הטבעי. אספלט בטון וריצוף, נפרשים לחיפוי הקרקע הטבעית לשם תמיכה בפעילות עירונית קדחתנית. בניינים גדלים במקום הצמחייה, ומערכות תיעול מלאכותי מחליפות את ערוצי הזרימה הטבעית באגן הניקוז (Carmon 2007). הסביבה ההידרולוגית החדשה הנוצרת במרחב עירוני מפותח, מאופיינת באזורים נרחבים בעלי תכסית אטומה למים ועקב כך בדרגת חידור מים נמוכה לתת הקרקע. חלק גדול מהמטרים שנופלים בתחומי העיר, שוטפים את המרחב המבונה וסוחפים עימם מגוון מזהמים אל פיסות הקרקע החשופות הנותרות ואל מי התהום.

למחזור המים תפקיד חיוני בתפקוד מערכת אקולוגית, בשילוב והנעת תהליכים פיזיים, כימים וביולוגיים תומכי חיים (Alberti 2009). מים הם גורם מפתח, בקביעת מידת היצרנות של מערכת אקולוגית ומגוון המינים. כמות מספקת של מים בעיר חיונית לתמיכה בחיי היום יום של תושביה, כמו גם לתחזוקת הטבע העירוני ולקיום מערכת הצומח. אטימות הקרקע משנה באופן מהותי את רמת האוטרנספירציה (evapotranspiration) ומגדילה זרימות נגר עילי באזורים עירוניים. (אוטרנספירציה – סכום איבוד המים לאטמוספירה שכולל אידוי מהקרקע, ודיות צמחים). זאת ועוד, ריבוי משטחים אטומים משנה במידה ניכרת את מאזן החום העירוני וכך את תופעת אי החום העירוני. אטימת הקרקע גורמת גם להרס בתי גידול של חי וצומח. האזורים הנותרים בלתי מחופים בעיר הופכים איים מבודדים בהם מתקיימים תנאים מקומיים. עומס מזהמים ממרחבים מרוצפים ונתיבי תחבורה, נשטף עם הנגר אל מיעוט שטחים חלקית או שאריות שטחים מחלחלים. תופעה זו יוצרת במקרים רבים ריכוז מזהמים גבוה בשכבות הקרקע העליונות. רמות גבוהות של מתכות כבדות וזיהום, גורמים להאטת תהליכים טבעיים חשובים בקרקע Wessolek (2008). מערכת הידרולוגיה עירונית מושפעת רבות מתכונותיו של היער העירוני וזאת במספר מישורים. פגיעת ממטרים בעלוות עצים טרם נפילה, מקטינה אירוזיה בקרקע. בית הגידול של העצים מהווה מדיום להשהיית וסינון גשמים. שורשי העצים מסייעים בהחדרת מים לקרקע. ולבסוף, עלוות העצים מחזירה לאטמוספירה כמות גדולה של מים בתהליך של אוטרנספירציה.

2.2 היער העירוני

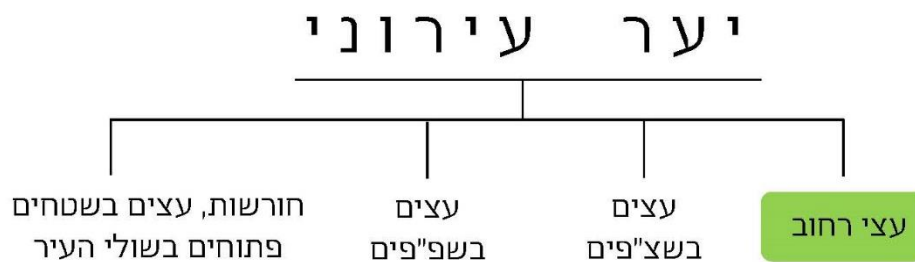
הביטוי "יעור עירוני" נטבע במאה העשרים, אך עדות למה שידוע היום כ"יעור עירוני" נמצא על ידי חוקרים בכמה מהתרבויות העתיקות בעולם. המצרים הקדמונים, הפרסים, היוונים, הרומאים והסינים, כולם דאגו לקיום מרחבים ירוקים בתוך עריהם. הם יצרו גנים וחורשות בקרבת מקומות הפולחן ונטעו עצים סביב בניינים (Grey, 1978).

יערנות עירונית היא התחום העוסק בניהול העצים בתוך תחומי העיר. יצירתם, טיפוחם ותחזוקתם של יערות ועצים בודדים לצורך שיפור איכות הסביבה העירונית (Jorgensen, 1974). בבסיסו מתייחס תחום זה לשטחים עירוניים מיוערים מנקודת מבט מערכתית, זו הרואה במגוון

סוגי הצמחייה בעיר חלק אינטגרלי ממערכת יער כלל עירונית (Miller,1997; Konijnendijk and Randrup, 2004)

במהלך המאה הקודמת שוננו פני העיר בצורה משמעותית כתוצאה מהמהפכה החקלאית והתעשייתית ומגידול האוכלוסייה המהיר שנלווה אליהן. הצורך בניהול הצמחייה בערים צמח יחד עם התפתחותן וזכה להכרה מלאה רק במאה ה-20. ניהול מערכתי של עצים בעיר נשען על הכנת תכנית מסודרת לטווח הקצר והארוך ומקיפה את התחומים המלווים את החיים של העץ: הכנת מרחב המחיה, נטיעה, תחזוקה, טיפוח ועקירה של עצים (משגב, 1988).

קיימות מספר גישות לחלוקת היער העירוני לקבוצות. השכיחות שביניהן מחלקות את היער עפ"י בעלות קרקע, שימושי הקרקע, מיקום וסוג הצמחייה (Grey, 1986). בהצעת מחקר זו בחרתי לאמץ את החלוקה שהוצעה על ידי אילה משגב וזאת משום שבין השיטות היא המתאימה ביותר לחלוקה העירונית של ייעודי הקרקע בישראל. בהתאם לכך חילקתי את נושאי היער העירוני על פי מיקום העצים לארבע קבוצות ראשיות (ראה איור 3):



איור 3 - מרכיבי היער העירוני, אילה משגב 1988

Figure 3 - Components of the Urban Forest, Ayala Misgav

1) עצי רחוב, 2) עצים בשטחים פתוחים פרטיים, 3) עצים בשטחים פתוחים ציבוריים, 4) חורשות ועצים בשטחים פתוחים בשולי העיר (משגב, 1988).

2.2.1 האקולוגיה של היער העירוני

היער העירוני הינו מרכיב מרכזי של האקולוגיה העירונית. הוא איננו רק עצים וכולל בתוכו מגוון רחב של צמחייה הקיימת בערים. כמו יערות או מערכות טבעיות אחרות, שנתפסות כמערכות אקולוגיות, כך אזורים עירוניים הינם מערכת אקולוגיות הכוללת סביבה בנויה למגורי האדם. תהליכים טבעיים כגון מחזורי חומרים וזרימות אנרגיה, תופסים מקום באקולוגיה העירונית בדיוק כפי שהם קורים במערכות אקולוגיות אחרות (Miller et.al 2015).

לאדם, תפקיד מרכזי בעיצוב והשפעה על מצב היער העירוני וכך גם על האקולוגיה העירונית בכללותה. זאת ועוד, באותו אופן גם ליער העירוני חלק בעיצוב סביבת האדם. רעיון העיר כ"בית הגידול" (habitat) של תושביה, מוביל לתפיסה שכוללת את כל מרכיבי העיר כמערכת אקולוגית אחת. במהלך שנות ה-80 וה-90 הניחו מספר חוקרים את היסודות לחקר האקולוגיה של היער העירוני. מול ופטיט הגדירו את האקולוגיה העירונית כך: "ערים הינן מערכות אקולוגיות המורכבות ממגוון מיני צומח וחי. היער והאקולוגיה העירונית, הינם האזורים בתוך וסביב לערים אלו" (Moll and Petit 1994). הם מוסיפים כי הבנה מלאה של האקולוגיה העירונית מוכרחה לכלול תיאור הן של החומרים הטבעיים והן של החומרים מעשה ידי אדם, כי לשניהם תפקיד במחזור החומרים וזרימות האנרגיה בעיר. Rowntree התייחס למבנה ותפקוד כמרכיבים חשובים באקולוגיה של היער העירוני וקבע מדדים לבחינת כיסוי צמרות עירוני והערכת מיני עצים (Rowntree 1998).

2.2.2 שירותי המערכת האקולוגית של היער העירוני

לאורך השנים האחרונות מצביעים מחקרים רבים על כך שלמרכיב העצים, תפקיד מרכזי בשיפור התנאים הסביבתיים ואיכות החיים העירונית. (Sudipto, Pickering, Byrne, 2012) בהתחשב בעובדה זו מהווה תחום היערנות העירונית מושג מפתח הקושר בין אקולוגיה לבין איכות החיים העירונית. בעקבות זאת מושקעים בעשורים האחרונים משאבים הולכים וגדלים במחקר וטיפול של יערות עירוניים ברחבי העולם. מאמרם של Bolund & Hunhammar משנת 1999 ("Ecosystemservices in urban areas") היווה אבן דרך, בסיס מחקרי והכרה בחשיבות שירותי המערכת של האקולוגיה העירונית ובתוכו היער העירוני לתושבי העיר.



איור 4 - תרומת העץ לסביבה העירונית

Figure 4 - Tree Benefits in the Urban Environment

בולונד והונהמר טוענים כי ברור ששירותי המערכת האקולוגית של היער העירוני, תורמים לאיכות החיים של תושבי העיר, וכי למרות שהערים נשענות במידה רבה על שירותי מערכת חיצוניים לקיומן, קיימת חשיבות רבה לשירותים מקומיים המופקים מצמחיה שמשתלבת במרקם העירוני (Bolund & Hunhammar 1999). מאז התפרסם מאמר זה נערכו בעולם מאות מחקרים שמוכיחים כי ליער העירוני פוטנציאל להוות תרומה משמעותית לתושבי העיר בתחומי סביבה כלכלה וחברה (ראה איור 4).

מרחב פתוח (שאיננו מבונה) מכסה חלק לא מבוטל מהנוף העירוני בדמות פארקים, גנים, רחובות, גינות פרטיות ושטחי תפעול עירוניים. תחת ניהול עירוני נכון, ביכולתם של שטחים פתוחים אלו לשמש כתשתית ירוקה ולפעול לשיפור האקולוגיה העירונית ואיכות החיים של תושבי העיר. התשתית הירוקה יכולה להיות מורכבת הן מצמחייה טבעית והן מצמחייה נטע אדם, והיא תומכת במגוון שירותי מערכת אקולוגית. תרומת התשתית הירוקה תלויה בתנאים הסביבתיים, בשימושי הקרקע ובשיטות הניהול (Kim, 2015).

2.2.3 מיתון טמפרטורה עירונית - הקטנת אי חום עירוני

מידת ההשפעה של עצי רחוב על פרמטרים אקלימיים נבחנה במספר מחקרים שערך צוות חוקרים בראשות עודד פוצ'טר מאוניברסיטת תל אביב. דגש הושם על בחינת יכולת הקירור של העצים והשפעתם על עומס החום בתנאי האקלים החם והלח בעיר. (פוצ'טר ואחרים, 2012)

באופן כללי מעידות תוצאות המחקרים על החשיבות האקלימית של הצמחייה בשטחים עירוניים, ובמיוחד בתל אביב ואת תרומתה לשיפור האיכות האקלימית של העיר, המתבטאת בהפחתה משמעותית של הטמפרטורות ובהורדת ערכי עומס החום ומשכס. וכך נכתב במסקנות המחקר: "התרומה האקלימית של עצים רחבי צמרת הנטועים בצפיפות לאורך רחובות העיר רבה ביותר. קבוצת עצים צפופה מסוגלת להפחית בצהרי היום את הטמפרטורה העירונית עד כדי- 4°C ". (פוצ'טר ואחרים, 2012)

2.2.4 הפחתת זיהום אוויר, לכידה ואחסון של פחמן - CCS

זיהום אוויר מתחבורה, תעשייה, חימום וקירור ביתי וכן שריפת פסולת, גורמים למגוון בעיות נשימה, מחלות לב וכלי דם בערים (Sunyer et al. 2002). צמחייה באזורים עירוניים משפרת במידה ניכרת את איכות האוויר על ידי הסרת מזהמים מהאטמוספירה. צמחים משמשים כפילטר טבעי, אשר לוכד זיהום חלקיקי באופן פיזי וכן גם סופח מזהמים גזיים לפנים התאים. לעצים תרומה משמעותית בהפחתת CO_2 על ידי צריכתו בתהליך הפוטוסינתזה וכן ספיחת גזים נוספים כגון אוזון (O_3), גופרית דו-חמצנית (SO_2), תחמוצת חנקן (NO_2) ופחמן חד חמצני (CO) (Nowak 1994; Escobedo et al., 2008). ניקוי האוויר על ידי הצמחים מושפע ממשטר היממה, כאשר בשעות החשיכה נסגרות הפיוניות דרכן חוזרים הגזים. באופן דומה מושפע התהליך מעונות השנה ונשירת העלים. מחקרים שכמתו כלכלית תהליך הסרת פחמן על ידי עצים מהסביבה העירונית, מקנים לנטיעת עצים ערך כלכלי גבוה ביחס לשימושי קרקע אחרים (Kim 2015). תרומה נוספת של העצים בטיהור האוויר היא בלכידת זיהום של חלקיקים מרחפים. חלקיקים קטנים מ-10 מיקרון, נלכדים על גבי עלווה, גזע וענפים ובכך מפסיקים את נדידתם באוויר ונשטפים לתוך הקרקע עם הגשם.

2.2.5 הקטנת צריכת האנרגיה של מבנים

הצללה על מבנים ומשטחים עירוניים בכלל, מקטינה את צריכת האנרגיה לקירור וחימום בעיר, בעד 25%. זאת על ידי הפחתת ההשפעה של קרינת שמש ישירה וכן על ידי הקטנת הפליטות של ייצור האנרגיה מדלקים מזהמים בתחנות הכוח.

2.2.6 הפחתת רוחות

נטיעת עצים להגנה מרוחות הינה פעולה שגורה ועתיקת יומין ברחבי העולם. מחקרים מצביעים על כך שמיסוך, אפילו חלקי, באמצעות עצים ושיחים, הוא בעל השפעה משמעותית על עוצמת הרוח. באמצעות נטיעת עצים ניתן לכוון נשיבה ולעצב אזורים מוגנים מרוח, בעלי נוחות

אקלימית טובה. באזורים עירוניים בהם נוצרת תופעה של מנהרות רוח, כתוצאה ממורפולוגית הסביבה הבנויה, משפרת הקטנת מהירות הרוח את יכולת הניידות במרחב, עם דגש על הליכה ורכיבה על אופניים. גם כאן מהווה צורת העץ וצפיפות העלווה מדד שמשפיע על רמת המיסוך.

2.2.7 הפחתת רעש

תחבורה, בנייה ופיתוח, ופעולות אנושית נוספות, הופכות את הרעש בסביבה העירונית, לזיהום משמעותי תוך השפעה על בריאות בתחומים פיזיים ופסיכולוגיים. ביכולתם של קרקע עירונית וצמחייה עם דגש על עצים, להקטין את זיהום הרעש על ידי בליעה, שבירה, שיקוף והסטה של גלי הקול. אין משמעות רבה למספר צמחים בודדים בהפחתת הרעש. ואולם, נטיעות צפופות בשילוב חסמים מוצקים וקפלי קרקע, ביכולתם להפחית את הרעש בצורה משמעותית (Bassuk) 2008. כאשר הערים הופכות צפופות, הפחתת זיהום הרעש, הופכת מדד משמעותי בשיפור איכות החיים וכן בהפחתת מתח וחרדות.

2.2.8 שירותי מערכת במישור החברתי

ממצאים ממספר מחקרים שנערכו בערים מצביעים על כך, שלעצים שירותי מערכת חשובים גם במישור החברתי. Frances E. Kuo, חוקרת שעוסקת בבריאות הציבור במרחב העירוני, טוענת כי לעצים בסביבה השפעה חיובית על מגוון מדדים חברתיים בסביבה עירונית צפופה, כגון הגברת הביטחון האישי, הפחתת פגיעה ברכוש ציבורי, הפחתת אלימות, דפוסים איכותיים של שימוש בשטחים פתוחים על ידי ילדים, שיפור קשרי שכנות, ועוד. על פי Kuo, הסבר לתרומה החיובית של עצים טמון בהסבר שכאשר מרחב עירוני מסוים הוא קירח מעצים וצמחיה אחרת, הוא נתפש כ"no man's land" עובדה שגורמת להפחתה משמעותית באינטראקציה חברתית שמתקיימת בו וכתוצאה מכך, התגברות וונדליזם, אלימות ופשע (Kuo 2003).

"Trees can set out urban space, its tone and feel: mark them as socio-economic-cultural-ecological space of some particular kind. Trees can be lead players in the city performed.

(Jones 2015)

2.3 עץ הרחוב

'Tree-softened streets', ביטוי שטבע הסופר האמריקאי ריצ'רד פורד לתיאור רחוב נעים, מיטיב לנסח את אחת התרומות העיקריות של עצי הרחוב לסביבה הבנויה (Ford 1995).

בראש ובראשונה מתפקדים עצי הרחוב כישות טבעית מרכזת, שמהווה משקל נגד לבינוני העירוני ויחד עם זאת, כגורם משלים ליצירת חלל רחוב אנושי ומוצל בקנה המידה המאסיבי של כרך הומה.

שיטות לשמירה וטיפול בעצי רחוב, מוכרות כבר במאה ה-17. Jan Van der Heyden, צייר את תור הזהב באמסטרדם ובחר להתרכז ברגעים אינטימיים של חיי הרחוב. בחלק ניכר מציוריו, מלוות שורות עצים מפוארים את תעלות אמסטרדם (ראה איור 5). בשנת 1610, כתב שגריר ונציה לאמסטרדם: "מנהג מקובל הוא כי אנשי אמסטרדם נוהגים לטעת עצים גדולים בשורות ישרות לצד התעלות. עצים אלו תורמים בצורה נהדרת ליופייה של העיר" (Bakker 1995). לציוריו של Der Heyden, חשיבות תרבותית רבה. אך מעבר לכך, התבוננות בציורים, חושפת שיטה מערכתית הן לתכנון נטיעות מתקדם והן לשיטות תחזוקה של עצים עירוניים. במבט מקרוב ניתן להבחין בשורות עצים, במרווחים קבועים. העצים מטופחים, גזומים ובעלי נוף מורם, חלקם אף עטופים במערכות להגנה מפני פגיעה פיזית בגזעים. (De Groot 2016). ואולם, לא היה זה לפני תחילת המאה ה-20, אז החל להיאסף ידע מבוסס מחקר והשתפרה ההבנה בתנאים שיתמכו בשגשוגם של עצים. בספרות ההולנדית קיים תיעוד למחקר מוקדם בנושא ייצור עצים במשתלות, גידול עצים לצרכים חקלאיים ומחקר ייעוץ לטובת תעשיית העץ, במחצית הראשונה של המאה ה-20, אין סימוכין לעיסוק מחקרי



איור 5 - "View down a Dutch Canal" by Jan van der Heyden (1637-1712) ca.1670

בדגש על הסביבה העירונית. מצב זה השתנה במחצית השנייה של שנות ה-60. באותה תקופה כמות גדולה של עצי רחוב מתו כתוצאה מהרעלה. הנזק היה גדול עד כדי איבוד 20% מעצי הרחוב במספר ערים. קבוצת חוקרים הולנדית, מצאה שהסיבה הייתה נעוצה במחסור בחמצן בבית השורשים. הצורך במציאת פתרון היה דחוף. (Kopinga 1991). תוצאה ישירה של אירוע זה היה הפיתוח של אדמת מבנה מבוססת חול (Sand-based tree soils), שיטה שמהווה למעשה את הבסיס לאדמת המבנה המוכרת כיום.

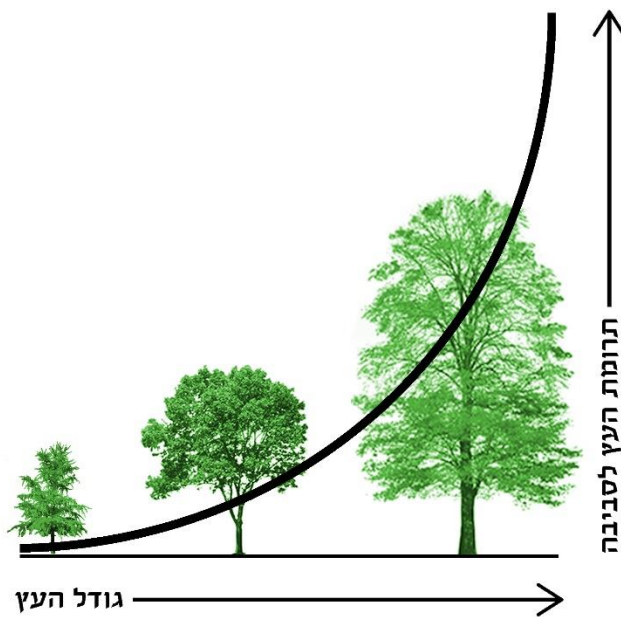
עצי הרחוב היא אחת מהקטגוריות המרכזיות 'באקולוגיה העירונית' (Bolund 1999, Hunhammar). עץ הרחוב מוגדר כ- "כל עץ הנטוע בתחום זכות הדרך העירונית או במרחב הציבורי, באזור המאופיין בחיפויי קרקע קשים" (אספלט, בטון, ריצופים). (Richards, 1983). לאורך ההיסטוריה, מאז היווסדן של הערים, היווה הרחוב מרכיב מרכזי בשלד העיר. רחובות הינם עורקי החיים של העיר וביטוי לזהות מקומית. חלל הרחוב הינו מרחב ציבורי לינארי ופלטפורמה לפעילות אנושית מגוונת, לשימושי תרבות ופנאי, לתנועה ותחבורה, למעבר תשתיות עירוניות, וכן כבית גידול לאקולוגיה עירונית, בתוכה נכללים עצי הרחוב. השימוש בעצים הנטועים בשורות רצופות אחידות לאורך דרכים איננו חדש. האזכור המוקדם ביותר של עצי רחוב שניתן למצוא חוזר בזמן לתור הזהב של שושלת טאנג בסין (618-907) לספירה. במאה ה-13 דרש המנהיג קובלאי חאן נטיעת שדרות עצים לאורך דרכים ציבוריות בסביבת בייג'ין, לסימון והצללה (Profous 1992). בשלהי המאה ה-15 ניטעו שורות עצים בנופים כפריים לאורך שבילים העוברים בתוך מטעים, כרמים ושטחי ציד (Duepelmann 2009). בתקופת הרנסנס החל שימוש נרחב בעצים בגני הווילות, למטרות פנאי ונופש. בראשית המאה ה-17 ניטעו לראשונה שדרות עצים לשימוש הולכי רגל ותנועה רכובה במרחב עירוני, לאורך ביצורים בערים בצרפת (Lawrence.1993).

בתחילת המאה ה-20 הוכנסו עצי רחוב לערים חדשות באזורנו, כחלק מן התפישות התכנוניות המודרניסטיות וכביטוי לסדר, לרציונליות ולרצון להידמות לאירופה. כך בבירה החדשה של טורקיה – אנקרה (Bozdogan 2001), וכך גם בקזבלנקה, אותה פיתחו הצרפתים (Cohen, Eleb 2002). במהלך השנים הפכה נטיעת עצי רחוב מרכיב שכיח בעיצוב העירוני. עצי הרחוב יוצרים מסדרונות עירוניים שהינם חללים מקורים ממותני אקלים, מהווים אלמנט עיצובי ברחוב, מסייעים בהכוונת מבטים לנוף, מאחדים את דמות הרחוב ומשרים תחושה של טבע בעיר (1986 Grey & Deneke). חשיבותם של עצי הרחוב גדולה בהרבה מחלקם היחסי בעיר העירוני. מיקומם בנקודות מפתח עירוניות, בין התחום הציבורי לפרטי ובין הרחוב לשימושי קרקע אחרים מבליט את ערכם ותפקידם (משגב, 1988). הימצאותם של עצים כמרכיב נופי דומיננטי ברחובות שהינם עורקי החיים היומיומיים של העיר, לצד תועלתם הסביבתית, חברתית וכלכלית, מקנים לעצי הרחוב ערכיות גבוהה.

ואולם, מתוך מרכיבי היער העירוני, עצי הרחוב הם גם אלו שסובלים ביותר מהסביבה העירונית. בניגוד לעצים בגן, בפארק או בחצר הפרטית, עצי הרחוב ממוקמים בחזית ההתרחשות העירונית המאופיינת בלחצי סביבה רבים. על העצים להתחרות כל יום בתנועת הולכי רגל וכלי רכב

אינטנסיבית, באזורי חנייה, בתעלות ביוב וניקוז ובקווי תשתית תת קרקעיים (Hubbes 1975). במקרים רבים בית הגידול לשורשיו של עץ הרחוב קטן ומוגבל ותנאי הסביבה שמעבר לו אינם מתאימים להתפתחות שורשים.

Grey and Deneke ואחרים הדגישו את נוכחותם של לחצים סביבתיים מוגברים על עצי העיר בכלל ועל עצי רחוב בפרט (Grey & Deneke 1992). חיזוק לכך ניתן למצוא במחקר שנערך על ידי מחלקת היערנות באוניברסיטת קורנל, אשר בין השאר מצביע על העובדה שפחות ממחצית מעצי הרחוב שניטעים בעיר ניו-יורק שורדים את עשר השנים הראשונות לחייהם (Whitlow & Bassuk). מה הן הסיבות לתמותת עצי רחוב? מחקרים מהשנים האחרונות מצביעים על כך שהצלחתו של העץ תלויה באופן מכריע בקרקע בתוכה הוא גדל בעוד שקיימים שני משתנים עיקריים בעלי השפעה קריטית על הצלחת העץ: כמות הקרקע הזמינה ורמת הידוק הקרקע (Urban 2008). זאת ועוד, על פי החוקרת Nina Bassuk, חוסר בקרקע הוא הגורם המרכזי לתמותת עצים בעיר. לפיכך, האתגר הוא לתכנן בתי גידול גדולים, עם תנאי קרקע טובים, שיאפשרו צמיחת עצי רחוב בריאים, במלוא גודלם, במרכזי הערים (Lindsey & Bassuk 1991). רחובות העיר זקוקים לעצי רחוב גדולים משום שיכולתם הביולוגיות להביא את כל אותן תועלות סביבתיות הן לאין ערוך גדולות משל עצים קטנים (Urban 2008) (ראה איור 6). הצורך בעצים גדולים למקסום שירותי המערכת האקולוגית מחזקת את השאיפה לשיפור בתי הגידול של עצים



איור 6 - יחס בין גודל העץ לתרומתו לסביבה

Figure 6 - Tree Size to Environmental Benefits Ratio

בעיר. יש ביכולתנו לראות את נוף העץ מעל הקרקע ולאמוד את מרחב המחיה והתנאים להם זקוק העץ לצמיחתו. אך קל מאוד לשכוח שחלק מרכזי של העץ טמון מתחת לקרקע (כ- 25%

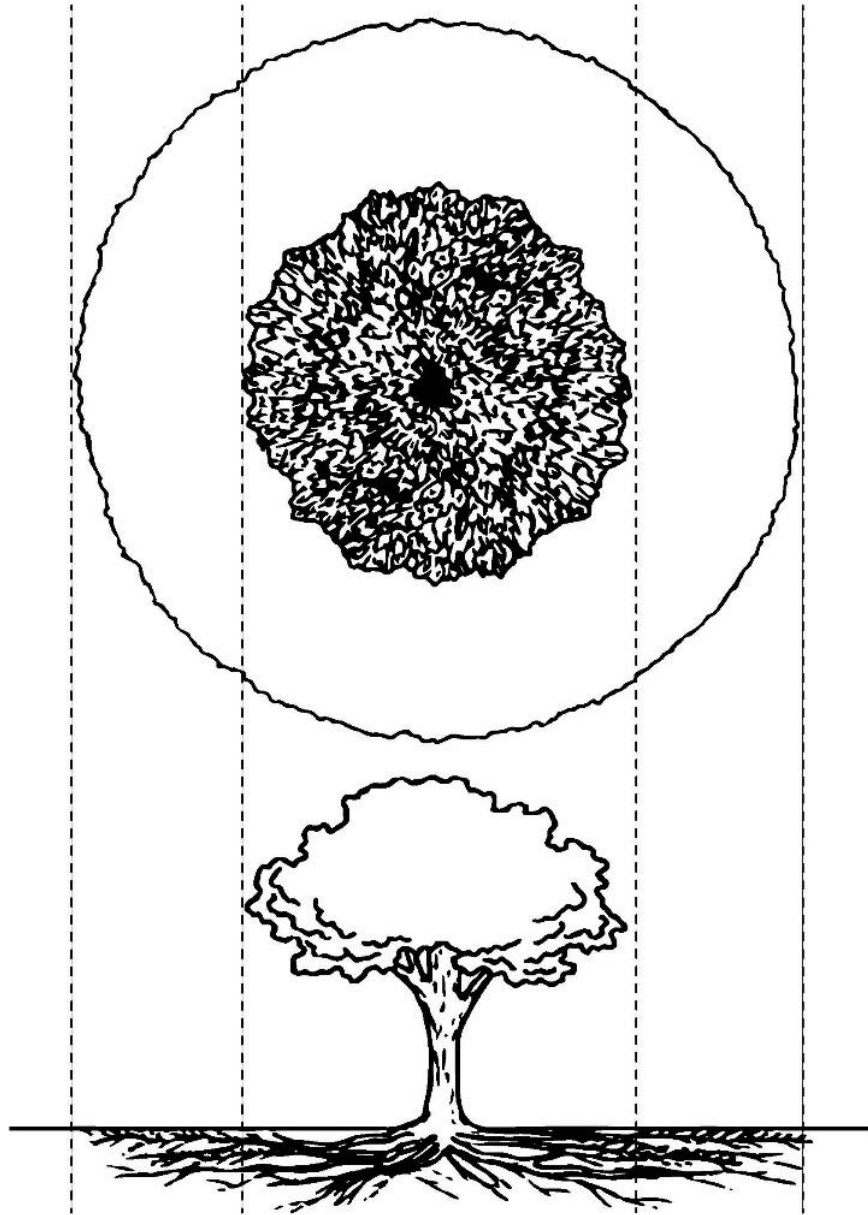
מהמאסה הכללית). ללא התחשבות ותכנון קפדני של מרחב המחיה התת קרקעי, אין עתיד לעצי הרחוב. (Bassuk, 2004).

במטרה למקסם את תרומת העצים לאיכות הסביבה העירונית, על העצים להימצא בסמיכות גבוהה לפעילות עירונית אינטנסיבית המאופיינת בשימושים מגוונים. על מנת לאפשר מגוון פעילויות ברחובות וכיכרות שהינם עורקי החיים של העיר, מחופים אלו במרבד ריצופים אחיד להבטחת נוחות התנועה, בטחון המשתמשים, ניקוז נגר יעיל וקלות התחזוקה. מעצם הגדרתה מהווה סביבה עירונית מרוצפת, צפופה ורווית תשתיות, בית גידול עוין עבור עצים. מגוון רחב של גורמים המרכיבים את המרחב העירוני, אינם מותאמים לצרכיו הבסיסיים של העץ ומגבילים באופן דרסטי את התפתחותו התקינה. זאת ועוד. מבחינת מבנה חתך הרחוב המבוצע בישראל, קיים קונפליקט מובנה בין האופן בו מתוכננות ומבוצעות כיום תשתיות המבנה של מסעות ומדרכות, אשר לצורך הצלחתן נדרשת רמת הידוק גבוהה ויציבות סטטית קבועה, לבין תהליך הצמיחה הדינמי של שורשי העץ מתחת לפני המדרכות. הרצון להגדלת נפח בית הגידול התת קרקעי לטובת הצלחת עצי רחוב נתקל בחסמים רבים.

2.3.1. הביולוגיה של העץ

תפקיד השורשים בעץ הוא לספוג מים וכימיקלים מהקרקע, להוליך מרכיבים אלו אל גוף העץ, כמו גם לעגון את העץ למקום צמיחתו. צ'ארלס דארווין (Charles Darwin) כתב: "The root is the brain of the tree" הביולוגיה המודרנית תומכת חלקית באמירה זו. מחקרים מראים ששורשי העץ מגיבים לרמות שונות של מים, חמצן וכימיקלים, שהינם הגורמים המרכזיים שמשפיעים על בריאותו של העץ. השורשים "שולחים" אותות במעלה העץ לוויסות צמיחה ותהליכי התרבות בהתאם לתנאי הסביבה המשתנים (Urban 2008).

להכרת המורפולוגיה של שורשי העץ חשיבות רבה להבנת הצרכים של עצי רחוב לצורך התאמת בית הגידול שלהם לסביבה העירונית. בתפיסה שמרנית של מבנה השורשים קיימת הנחה ששורשי העץ יורדים לעומק הקרקע וכן, שפרישתם הרוחבית אינה חורגת מגבולות הרדיוס של נוף העץ (tree drip line). תפיסה זו נמצאה שגויה ונסתרה על ידי מחקרים שמצביעים על כך שמרבית שורשי העץ מצויים באופק הקרקע העליון עד לעומק של מטר אחד. (ראה איורים 7,8,9) פרישת השורשים לרוחב, חורגת הרבה מעבר לקוטר צמרת העץ, בהתאם למין העץ, סוג הקרקע ותנאי הגדילה הנוספים. (Roberts et al.2013). קיימות מספר סיבות להימצאות השורשים בשכבות הקרקע העליונות. הסיבה המרכזית קשורה ביעילות חילוף הגזים, בכמות החמצן המוגבלת ובפינוי מוגבל של פחמן דו חמצני מתת הקרקע. איכות האוויר פוחתת בעומק הקרקע עד למצב בו מערכות השורשים אינן מסוגלות לנשום ולתפקד (אלמלית, 2016). סיבה נוספת נעוצה בעובדה כי אופק הקרקע העליון מכיל את מירב הנוטריינטים. ככל שמעמיקים בקרקע צפיפותה עולה, כמות החמצן והנוטריינטים פוחתת, מספר הנקבוביות יורד ומקשה על התפתחות השורשים.



איור 7 - פרישת שורשים של עץ בוגר, עד פי 3 מקוטר הנוף
Figure 7 - Tree Roots extend out from the Trunk



איור 9 - שורשי העץ בספר ילדים
Figure 9 - Tree Roots in Children Literature



איור 8 - מורפולוגית שורשי העץ
Figure 8 - Tree Roots Morphology

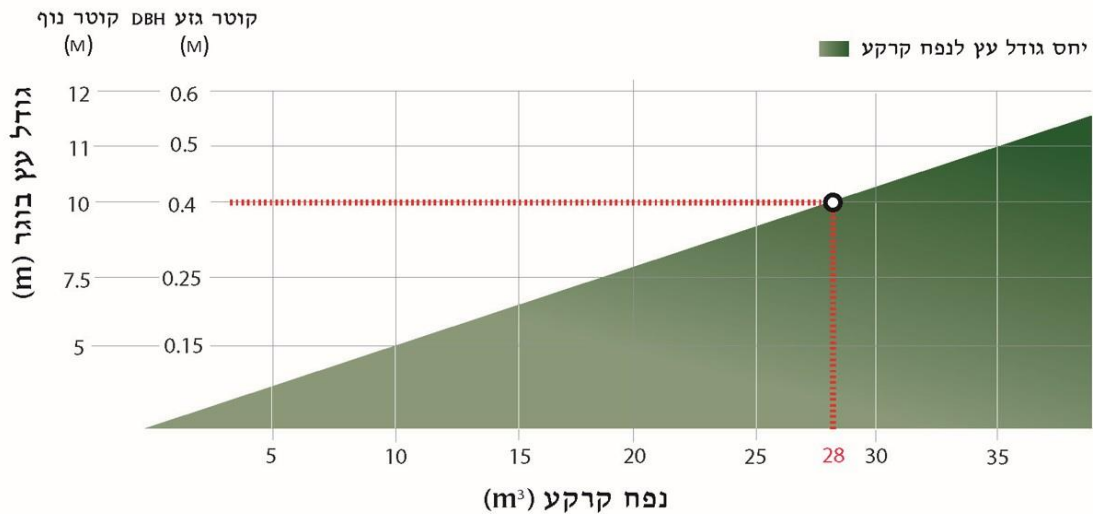
בבית הגידול הטבעי של העץ מצויה קרקע באיכות גבוהה. בדרך כלל מהווים מינרלים כ- 50% מנפח הקרקע. מרכיב נוסף שמהווה כ-5% מהנפח הינו חומר אורגני. חומר זה מורכב מבקטריות וחרקים עד חלקי שורשים, צמחים ועלים שנוקבו והתפרקו. כמעט מחצית מנפח הקרקע הנותר (45%), מורכב מחללים נקבוביים בתוך מבנה הקרקע. נקבוביות אלו מתמלאות באוויר ובמים ומאפשרות לשורשים ספיחת נוזלים וחילופי גזים. נקבוביות קרקע אלו הינן קריטיות לצימוח תקין של העץ ולמחייטו למשך שנים ארוכות.

על מנת למצות את פוטנציאל הגדילה של עץ הרחוב יש להתחשב בביולוגיה של העץ בתכנון תשתית הנטיעה. לעץ תהליך צימוח וגדילה מתמשך. כל מערכות העץ חייבות לגדול באופן רציף לצורך קיום העץ. תכנון שמתעלם מצורך בסיסי זה נידון לכישלון (Urban 2008). העץ חייב לשמור על יחס מאוזן בין שטח הפנים של העלווה המבצעת פוטוסינתזה לבין שטח הפנים של השורשים המספקים מים וחומרי בניין. תנאי מרכזי לקיומו הבריא של עץ רחוב הינו כמות מספקת של קרקע בבית השורשים על מנת לתמוך בגודל העץ הרצוי.

קיימים מספר מחקרים בדבר **נפח בית הגידול האופטימלי** התומך בהתפתחות העץ למידותיו הרצויות ולקיומו כעץ בוגר למשך עשרות שנים. בתחילת שנות התשעים פיתחו חוקרים בתחום, גרף ובו יחס בין גודל העץ (קוטר נוף, ועובי גזע) לנפח הקרקע שנדרש לקיומו הבריא של העץ (Urban 2008). על פי מפתח זה לעץ קטן (קוטר נוף 3 מטר) ידרשו 7 מ"ק אדמת גידול, לעץ בינוני (קוטר נוף 7 מטר) ידרשו 14 מ"ק קרקע, בעוד שלעץ גדול (בקוטר 10 מטר) ידרשו כ 28 מ"ק אדמת

גידול. במחקר שנעשה בעיר סיאטל בשנות התשעים על ידי נינה באסוק מאוניברסיטת קורנל, נמצא כי עצי רחוב חיים בממוצע 7-10 שנים, וכי הגורם המרכזי לתמותת העצים הינו חוסר בקרקע (Bassuk, 1991). בשנים האחרונות קיימת תמיכה נרחבת במפתח נפח קרקע/קוטר נוף, וקיים לו שימוש נרחב גם בתחום המסחרי. (ראה איור 10)

גורמים נוספים הפוגעים בחוסנם של עצי רחוב באזורים עירוניים צפופים כוללים ונדליוזם, גודש תנועה, עבודות פיתוח וכן זיהום אוויר (Lu et al. 2010). זאת ועוד, לעצי רחוב תוחלת חיים קצרה יותר משל עצים דומים ששפר גורלם לחיות בפארק או באתר עם תנאים תומכים וסביבה מוגנת. ממחקרים שונים עולה ההשערה שהגורמים לתוחלת החיים הקצרה של עצי רחוב הינם טמפרטורה גבוהה יותר בבית הגידול, מחסור במים ונוטריינטים, שנגרם כתוצאה מחיפויי נרחב של משטחים עירוניים באספלט וריצוף, וכן פגיעות פיזיות שנגרמות לעצים בשל מיקומם בחזית הרחוב, מקום שחשוף לפעילות עירונית אינטנסיבית. (Blunt, 2008).



איור 10 - יחס גודל עץ לנפח קרקע, DeepRoot
 Figure 10 - Ratio of Tree Size to Soil Volume

מצד אחד תורמים עצי רחוב לעיר, בהיבטים סביבתיים, אדריכליים, חברתיים וכלכליים. אולם העצים יכולים לגרום גם נזקים שעלות תיקונם יקרה. במקרים רבים מביאה גדילת שורשי עצים בעיר לפגיעה בתשתיות, הרמת ריצופים, אבני שפה וסדיקת כבישים (Blunt, 2008). רבים מהקונפליקטים בין שורשים לתשתיות עירוניות יכולים להימנע על ידי הבנה טובה יותר של פיזיולוגיה העץ, הבנת אופן צמיחת השורשים וכן חשיבה לטווח ארוך בתכנון תשתית הנטיעה. על ידי שימוש בשיטות נטיעה מתאימות לסביבת הרחוב העירוני ניתן להביא להצלחת העצים תוך הקטנת עלויות התחזוקה (Coder, 1998). במקרים רבים משתמשים בעצי רחוב כ"שעיר לעזאזל" לחיפוי על חוסר מקצועיות של גורמי האחזקה ותכנון כושל (Roberts et al. 2013).

חוסר הבנה ביחסי הגומלין בין ביולוגיית העץ לקרקע עירונית, מסתיים לעיתים קרובות בעצים מתים או מדרכות מפורקות (Urban 2008). קיימת חשיבות רבה להבנת תהליכי הגדילה של העץ על מנת להתאים לו בית גידול שיתמוך בו לשנים ארוכות. לאור האמור ובהתחשב במאפייניו הפיסיים ואופיו הקומפקטי של הרחוב העירוני, קיימת חשיבות לתכנון קפדני של מרחב המחיה של עץ הרחוב. מרחב זה מושפע ממספר מרכיבים אשר ניתן לסווגם בשתי קבוצות, מתחת לפני הקרקע ומעליה. מרחב המחיה התת קרקעי מושפע מהגורמים הבאים: נפח, איכות ורמת הדחיסות של הקרקע הזמינה לעץ, כמות המים הזמינים, איכות הניקוז, וכן חסמים המגבילים גדילת שורשים. מרחב המחיה העל קרקעי מושפע מהגורמים הבאים: תנאי האקלים, רמת התאורה והקרינה, זיהום האוויר, ומפגעים פיסיים (Lindsey & Bassuk 1991).

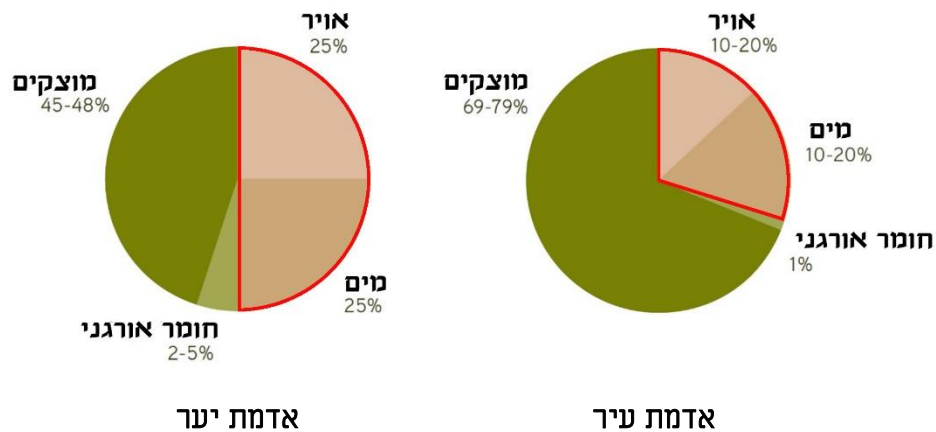
אגרונום דני אלמליח מתאר באופן הבא את צרכי העץ: "בין העצים לבני האדם קיים הסכם בלתי כתוב שאף עולה על זכות הקניין, לפיו העץ מעניק ברוב נדיבותו לאדם הצללה, הגנה מקרינה, מקרר את סביבתו, קולט טונות של אבק במהלך חייו, קולט פחמן דו חמצני ופולט חמצן, משמש מקלט ומקור מזון לציפורים. אך בכדי שהעץ יעמוד במשימות נעלות אלו עליו לממש את פוטנציאל הגודל שלו, משימה זו אפשרית רק באמצעות התפשטותה של מערכת השורשים ללא הפרעה לכבוס שטחים נרחבים וגדולים בתת הקרקע. (אלמליח ראיון 2016)

2.3.2 הידוק הקרקע

קיים הבדל משמעותי ביחסים בין מרכיבי הקרקע בהשוואת קרקע טבעית ביער לקרקע עירונית. (ראה איור 11) הבנת הגיאולוגיה המקומית, היא קריטית להבנת איכות הקרקע המקומית בתהליך הגדרת בית הגידול של עצי רחוב (Urban 2008).

משטח פני הרחוב העירוני, מעל פני הקרקע, מאופיין בריצופים קשים על מנת לאפשר הליכה בטוחה וניקוז מהיר של נגר עילי. בתהליך פיתוח המרחב הציבורי מהודקת הקרקע המקומית לרמות גבוהות לקבלת משטח יציב לריצוף או סלילה. הידוק הקרקע: מגביל חדירת חמצן, מגביל חדירת שורשים, מצמצם חלחול מים וגורע מאיכות הניקוז. מכיוון שלעץ יש פחות גישה למים וחמצן הוא מפתח פחות שורשים, עובדה הגורמת להתפתחות כללית מוגבלת של העץ (Urban 2008).

כפי שמתאר זאת אלכס שייגו (Shigo), אחד החוקרים החשובים בתחום הביולוגיה של העץ: לעצים יש יכולת שרידות מעולה. אותן יכולות מופלאות שמסייעות לעצים משך מיליוני שנים להתמודד עם איתני הטבע ולשרוד גם בבתי גידול מאתגרים ובמצבי קיצון, מאפשרים להם להתמודד גם עם המרחב העירוני הלוחץ. (Shigo 1989) לצורך כלכלת העץ, נפרשת מערכת השורשים של עץ בריא, למרחק של פי שתיים (ולפעמים פי שלוש) מקוטר נוף העץ מעל הקרקע (ראה איור 7). כלומר, עצים זקוקים לבית גידול תת קרקעי בשטח גדול פי 4 מהשטח שמכסה נוף העץ (Roberts et al. 2013). אנו יכולים להבחין בחלקו העליון של העץ ולהעריך את המרחב והאור הנחוצים לשגשוגו ואולם, קל מאוד לשכוח את חלקיו החיוניים של העץ שנמצאים בתת הקרקע. ללא תפקוד חיוני של מערכת השורשים, שחלקה מגיע לעיתים לכדי 25% ממאסת העץ, לעץ אין קיום.



איור 11 - השוואת הנפחים של חומר מינרלי, אויר, מים, וחומר אורגני באדמת יער ואדמת עיר על פי James Urban

Figure 11 - Forest VS Urban Soil Components Volumes

2.3.3 שורשים וריצוף

נטיעת עצים ברחוב, בקרקע מהודקת בין תשתיות, משולה להקצאת עציץ אטום עבור העץ. בור הנטיעה הסטנדרטי בערים רבות סביב העולם, מקצה לעץ פחות ממטר קוב אחד של אדמה. מכיוון שהקרקע סביב בור הנטיעה היא בדרך כלל מהודקת ומופרת, מוגבל העץ ביכולת גדילתו. (Craul, 1992) לינדסי, בסוק, אורבן ורוברטס, טוענים כולם במאמרים שונים, כי עץ בריצופים קשים, בבור נטיעה במידות שהוזכרו לעיל, לא סביר שיצליח להשיג את כמות המים שיאפשרו לו להגיע לבגרות. (Bassuk et al. 1991), תוך כדי מאמצי ההישרדות (השגת מים) שולח העץ שורשים למקומות בהם הוא מזהה לחות. אותם מקומות הם בדרך כלל, בסמיכות לריצוף או תשתיות. עם התייבשות מצע הקרקע מתחת לריצוף, הוא נוטה להתכווץ ומותיר רווח קטן של אוויר בין תחתית הריצוף לקרקע. בימים חמים, המים מתעבים במרווח זה תחת הריצוף שגם מפחית את התאדותם. השורשים מנצלים הזדמנות זו של אוויר ומים ומתפרשים אל מרווח זה. מרגע שמצאו השורשים בית גידול מטבי מתחת לריצוף, תואץ גדילתם ולבסוף תגרום לסדיקת הריצוף. לעומת זאת, אם בכל זאת נוצר מצב בו קיימת ברחוב קרקע מקומית ראויה להשרשה, יש לעצים סיכוי להצליח. אגרונום דני אלמליח מתאר זאת כך: "כל עוד הקרקע הטבעית הקיימת מאווררת ומנוקזת וכל עוד ניתן להבטיח את נפחה הבלתי מוגבל ורציפותה הרי שזה בית הגדול שיש לשמר ולטפח ולא נדרש לחפש אחר פתרונות יקרים ומורכבים". (אלמליח ראיון, 2016)

2.4 גישות לשיפור מרחב המחיה של עצי רחוב

מצד אחד תורמים עצי רחוב לעיר, בהיבטים סביבתיים, אדריכליים, חברתיים וכלכליים. אולם העצים יכולים לגרום גם נזקים שעלות תיקונם יקרה. במקרים רבים גורמת גדילת שורשי עצים בעיר לפגיעה בתשתיות, הרמת ריצופים, אבני שפה וסדיקת כבישים (Blunt, 2008). רבים מהקונפליקטים בין שורשים לתשתיות עירוניות יכולים להימנע על ידי הבנת אופן צמיחת השורשים, תכנון וחשיבה לטווח ארוך ועל ידי שימוש בשיטות מתאימות (Coder, 1998). במקרים רבים משתמשים בעצי רחוב כ"שעיר לעזאזל" לחיפוי על חוסר מקצועיות ותכנון כושל. (Roberts et al. 2013).

המרחב העירוני המרוצף, שבו אנו רוצים לנטוע עצים, מורכב ממגוון תנאים ואילוצים. במקרים רבים קיים קושי להשיג את נפח הקרקע הרצוי גם אם נקדיש לכך את כל רוחב המדרכה. לכן, במטרה לספק לעצי רחוב נפח מספק של קרקע להשרשה, נחוצים מגוון פתרונות בתי גידול שיתנו מענה לקשת רחבה של מצבים.

לאור המגבלות של גידול עצים בסביבה עירונית פותחו בשנים האחרונות מספר גישות לשיפור מרחב המחיה של עץ הרחוב. אחת השיטות המרכזיות מבוססת על עיקרון של "ריצוף מרחף" (suspended pavement). השיח המדעי נסוב סביב שתי גישות מרכזיות שמשמשות בעיקרון זה. הראשונה היא אדמת מבנה (Structural Soil) שפותחה באוניברסיטת קורנל (Bassuk, 2004), והשנייה היא גישת ארגזי השורש (Root box) שפותחה על ידי ג'ימס אורבן (Urban, 2008). במחקר שנעשה בקרוליניה, ארה"ב, ע"י מכון ברטלט לייעור עירוני (Bartlett Tree Research Laboratories, North Carolina) נחקרו הגישות השונות להגדרת מרחב המחיה. בניסוי מתמשך נבדק קצב גדילתם של עצים שניטעו בקרקע מהודקת בהשוואה לנטיעה באדמת מבנה ובריצוף מרחף. התוצאות הוכיחו יתרון משמעותי לעצים בריצוף המרחף, ועדיפות לאדמת מבנה על פני קרקע מהודקת (Smiley, 2006). במחקר הנוכחי אסקור את הנחות הבסיס, היתרונות וההשלכות של שימוש בכל אחת מהגישות ליצירת מרחב מחיה והקריטריונים להתאמתן לקונטקסט הישראלי. להלן תיאור של מרבית השיטות הקיימות בשוק ונותנות מענה לנושא זה.

2.4.3 "ריצוף מרחף" (suspended pavement) היא שיטה מרכזית לשיפור בית הגידול של עצים בריצופים קשים. זהו מונח כללי לכל טכנולוגיה שתומכת במשקל חיפוי המדרכה מחד גיסא ומאפשרת קיום מדיום גידול מאוורר להתפתחות שורשי העץ בתת הקרקע, מאידך גיסא. השיח המדעי, בתמיכת חברות מסחריות, נסוב סביב שתי גישות מרכזיות שמשמשות בעיקרון ה"ריצוף



איור 12 - שיטות לשיפור מרחב המחיה של עצי רחוב, מערכות ריצוף מרחף על פי

Figure 12 - Street Tree Planting Systems by Werner Hendriks

המרחף". הגישה הראשונה כוללת את קבוצת אדמות המבנה (Structural Soil). בעוד השנייה מאגדת תחתיה קבוצת פתרונות של אלמנטים תומכים (ראה איור 12). (Hendriks 2015)

2.4.4

אדמת מבנה Structural Soil

שיטה ליצירת מרחב מחיה תת קרקעי לעצי רחוב שפותחה במהלך 30 השנה האחרונות בהולנד ובארה"ב. אדמת המבנה מורכבת מתערובת קרקע בשני עוביים (שתי פרקציות שונות): אגרגט עבה ואדמת גידול למילוי החללים הנותרים. יחס הפרקציות נע סביב 80%, אגרגט, ו-20% אדמת גידול. קיימים מגוון יחסי ערבוב (תערובת האדמה מעורבבת היטב ועוברת הידוק מלא בשכבות. שורשי העץ גדלים בחללים בינות לשברי הסלע העשירים באוויר ובמים, בעוד עומסי הריצוף מועברים לקרקע דרך אבני האגרגט הנשענות זו על זו. ברחבי העולם מצויים מאות פרויקטים מבוצעים בשיטה זו בווריאציות שונות בהתאם לתנאי אקלים וחומרים מקומיים. (ראה איור 13)

2.4.5 אדמת מבנה מבוססת חול Sand-Based Structural Soil (SBSS)

עיקרון השיטה מתבסס על התכונה הפיזית של קרקע חולית שאינה מתהדקת. שגם לאחר הידוק מלא נשארים בו חללי אויר פנויים להתפתחות שורשים. שיטה זו היא למעשה פשרה, בין הצרכים הביולוגיים של מערכת השורשים של עצי הרחוב, לבין דרישות הנדסיות מאדמת מבנה. (Roberts 2006) אדמת מבנה מבוססת חול, פותחה לראשונה בהולנד סביב שנות השבעים, כמענה להידרדרות במצב עצי הרחוב באמסטרדם. הקרקע מורכבת בעיקר מחול סיליקה (כ-90%) עם גודל גרגר 0.75

מ"מ, בתוספת 5% חומר אורגני (קומפוסט בדרך כלל) ועוד 5% חרסית לשיפור תאחיזת מים ונוטריינטים. על גרגירי הסיליקה להיות בעלי חתך מצולע ולא עגול. תערובת החול מהודקת בהידוק מלא. שיטה זו מאפשרת חיפוי בריצוף מעליה, אך מיועדת למשקלים קלים בלבד, הולכי רגל ואופניים.

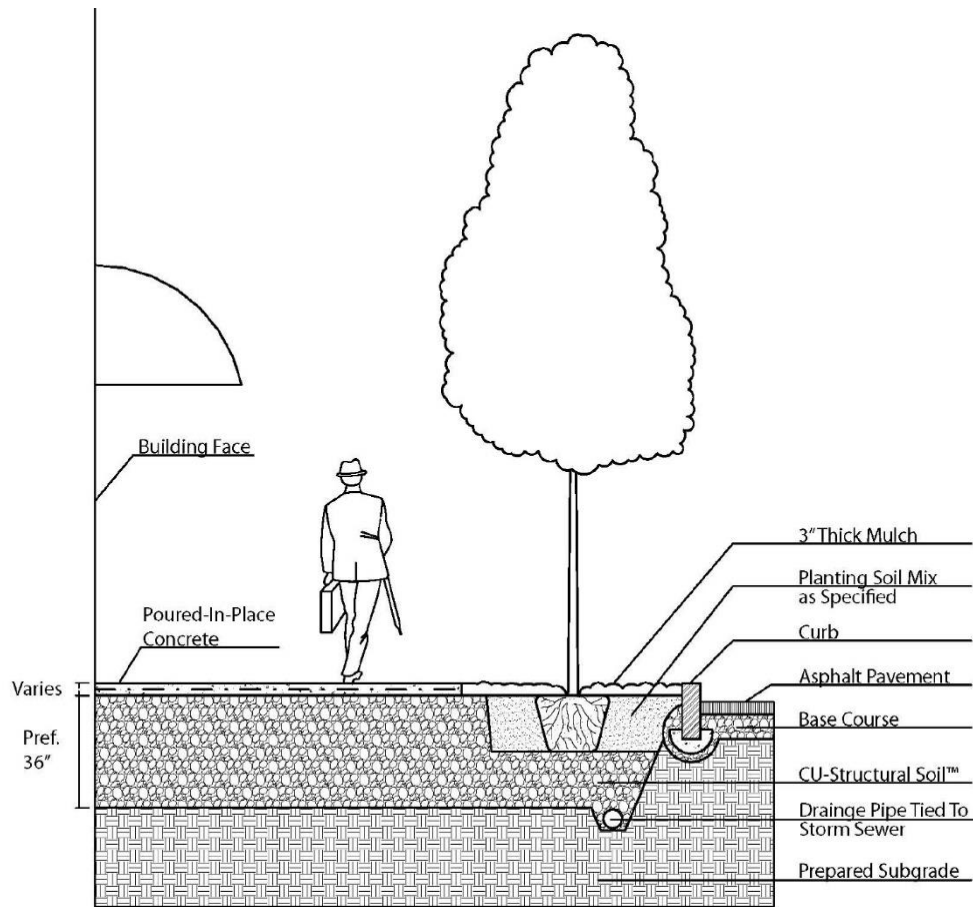


איור 13 - עקרון אדמת מבנה

Figure 13 - Structural Soil Principle Diagram

2.4.6 אדמת מבנה מסוג Cu Soil

בתחילת שנות ה-90, נחקרה ופותחה תערובת ייחודית באוניברסיטת קורנל, מכאן גם השם CU. אדמת המבנה של קורנל מאופיינת על ידי ערבוב של 80% סלע דולימיטי גרוס במידות 2-4 ס"מ, ו 20% אדמת גידול חרסיתית, שעוטפת את האגרנט. הפטנט של קורנל הינו תוספת של מרכיב פולימרי ג'לי (Hydrogel), שמטרתו כפולה: לקשור את אדמת הגידול לאגרנט, על מנת למנוע את היפרדות הפרקציות בעת ביצוע בית הגידול וכן למניעת שטיפת הפרקציה הדקה לתחתית ערוגת הגידול. (Grabosky and Bassuk 1995) תערובת הקרקע מהודקת באמצעות ציוד הנדסי לרמה של 95% צפיפות פרוקטור. על גבי המצע המהודק ניתן לרצף ולסלול. אדמת CU יודעת לשאת משקלים כבדים והיא מוכרת כבסיס יציב לכיכרות, חניונים וכבישים. (Bassuk 1991) חברה אמריקאית בשם Amereq, חתמה על חוזה התקשרות עם אוניברסיטת קורנל, ומאז שנת 1999 היא המפיצה של המותג Cu Soil. מאז שנות התשעים, בוצעו בעולם מאות פרויקטים לנטיעת עצי רחוב ב Cu Soil. (ראה איור 14).



Nina Bassuk Cu Soil איור 14 - חתך רחוב בפרט נטיעה עם אדמת מבנה מסוג
 Figure 14 - Cross-section of Typical Tree Installation into CU Soil

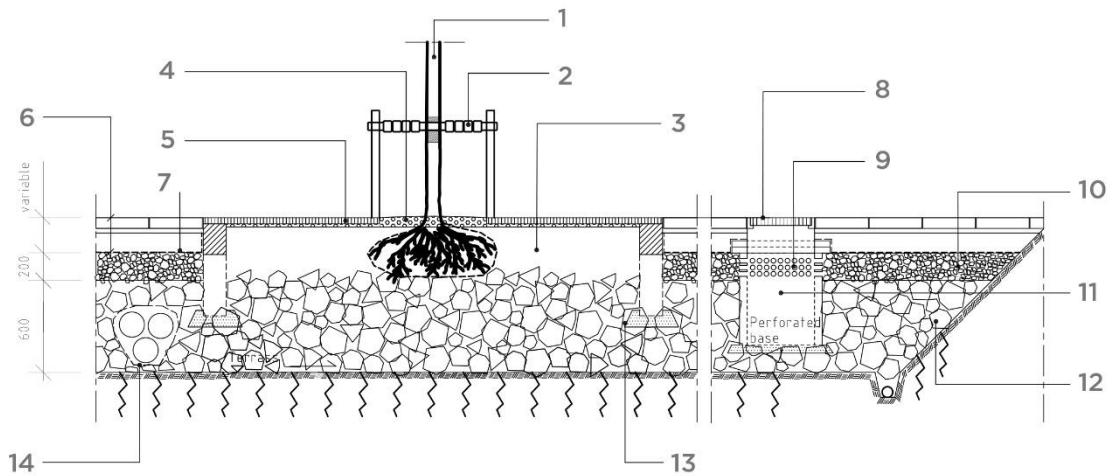
2.4.7 אדמת מבנה טוף

עיקרון השיטה הינו זהה לאדמות המבנה שתיארתי עד כאן. את מקומו של הסלע הדולומיטי בתערובת, תופס סלע וולקני שהינו נקבובי יותר ורך יחסית לדולומיט. יחס ערבוב הפרקציות דומה גם הוא ועומד על סביבות ה 20-80% לטובת הפרקציה הגדולה. מחד גיסא, משפרת נקבוביות הטוף את הלחות היחסית של בבית הגידול. מאידך גיסה, עובדת היות הסלע הוולקני רך מהדולומיט, משפיעה על חוזק המבנה והמשקל שניתן להעמיס עליו. מחקרים מראים כי הרכב אדמת מבנה זה, מעודד את שורשי העצים לחדור עמוק יותר לקרקע ובכך מונע הרמת ריצופים. (Grabosky et al. 1998).

2.4.8 שיטת סטוקהולם

שיטה זאת מבוססת על עקרון "אדמת מבנה" והיא פותחה בעיר סטוקהולם בתחילת שנות ה-2000. את שלד בית הגידול מהווה שכבת יסוד בגובה 60 ס"מ, עשויה משברי אבן גדולים במידות 90-

150 מ"מ. לתוך שכבה זאת מוחדרת בהרבה (התזת מים), אדמת גידול חרסיתית. שכבה זאת עוברת הידוק ומעליה מניחים שכבת חצץ 32-63 מ"מ מהודקת, שמשמשת לאוורור שכבת היסוד/גידול. בין כל שני עצים מתקינים בתוך שכבת החצץ ארובות אוורור. מעל שכבת החצץ/אוורור פורסים יריעה גיאוטכנית ומעליה מצע מקומי מהודק. מעל הכל מרצפים או סוללים אספלט. בור השתילה תחום באמצעות אלמנט בטון 120/120/50 המכוון את השורשים לתוך שכבת הגידול ומנטרל את הכוחות המופעלים על ידי בית השורשים. מעל אלמנט הבטון מתקינים גריל מתכת לצורך אוורור אופטימלי. שכבת היסוד לפי שיטה זו מיועדות שתי מטרות: בית גידול לשורשים בעל מבנה קונסטרוקטיבי המסוגל לשאת ריצוף. הובלה והשהייה של נגר עילי מהמיסעה, מדרכה ומרזבים. (ראה איור 15)



- | | |
|--|---|
| 1. New tree size 20-25 cm | 9. Air hole placed at level of aerated bearing layer |
| 2. Tying in tree support | 10. Aerated bearing layer |
| 3. Planting soil. | 11. Air and water supply |
| 4. Crushed rock at grid 4-8mm thick c. 50 mm | 12. Crushed rock structural soil with planting soil |
| 5. Surface grid 1400 x 2800 mm | 13. Fertiliser at each structural soil level |
| 6. Surfacing superstructure | 14. Pipes in structural soil protected with geotextile and gravel surround. |
| 7. Geotextile | |
| 8. Stormwater cover, dished for laying by gutter | |

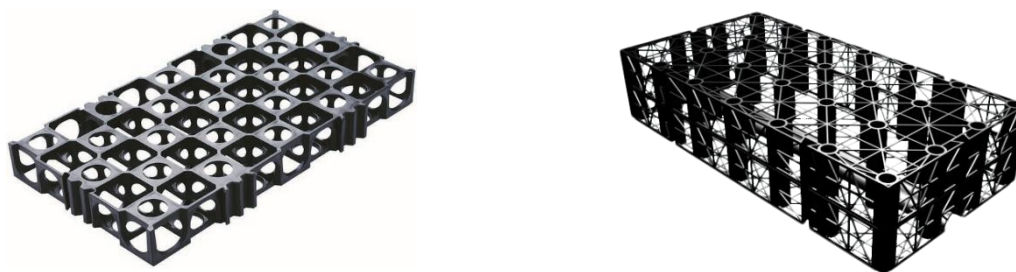
איור 15 - אדמת מבנה בשיטת סטוקהולם

Figure 15 - Cross-Section of Typical Tree Installation with the Stockholm Planting Method

Image courtesy of B. Embren

2.4.9 קבוצת אלמנטים תומכים-משטחי פיזור עומס Raft systems

משטחים סינטטיים מפלסטיק יוצרים שכבת בסיס קשיח בעובי 8-15 ס"מ, שמרחפת מעל אזור ההשרשה של עצי הרחוב (ראה איור 14). מטרתם של המשטחים להוות תחליף לשכבות המצעים בבסיס הריצוף, תוך פיזור שווה של עומסים וורטיקלים ודינמיים במדרכות ומגרשי חניה. על ידי שימוש בשכבה רציפה של משטחים המחברים זה לזה, ניתן להפחית את עובי שכבת המצעים וכן את רמת ההידוק שנדרשת עבור יצירת בסיס יציב לריצוף. משטחי הפלסטיק מאפשרים שכבה חלולה מתחת לריצוף שמונעת מחד גיסא עליית שורשים על פני השטח ומאידיך מאפשרת את נשימת הקרקע וקיום חילופי גזים. (ראה איור 16)



איור 16 - משטחי פיזור עומס, מימין Perma-void משמאל Sandwich-Paneel 74

Figure 16 - Pressure Distributing Plates

2.4.10 ארגזי מבנה (Root Cell)

פיתוח השיטה של ארגזי מבנה, בסוף שנות התשעים, פתר למעשה את המגבלה של נפח ואיכות הקרקע עבור עצי רחוב. באמצעות תאים מודולריים, שתומכים במבנה המדרכה מתאפשרת אספקת אדמת גידול אוורירית ולא מהודקת בסביבת השורשים. על ידי הפרדה בין הפתרון המבני לאיכות הקרקע בבית הגידול, נתנה באופן זה ההזדמנות להתאים את אדמת הגידול בצורה מדויקת, למתן מענה לדרישות הביולוגיות של העץ. תכולת המים של הקרקע, תכולת הנוטריינטים, איכות הניקוז והתפקוד הביולוגי של הקרקע לטווח הארוך, נקבעים על פי איכות תערובת הגידול שמוגנת בתוך הארגזים מפני הידוק. קיימים מספר דגמים של ארגזי מבנה, שהראשון בהם: Silva Cell, פותח על ידי אדריכל הנוף James Urban, בשיתוף חברת DeepRoot, בתחילת שנות האלפיים. (ראה איור 17)

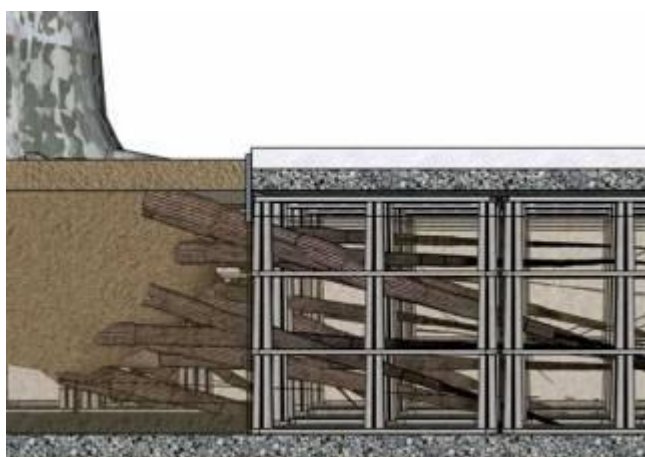
2.4.11 ארגזי מבנה מסוג Silva Cell

מערכת של תאים מודולריים מפלסטיק קשיח לתמיכה בריצוף מרחף. ארגזי פלסטיק קשיחים, מסודרים בתת הקרקע סביב פקעת השורשים של העץ. כבסיס לריצוף עירוני תוך יצירת חללי קיבול לאדמה

גננית. נפח אדמה גננית בתת הקרקע משמש ככלי איכותי לניהול נגר עילי על ידי ספיגה, השהיה ואידוי לצד הבטחת בית גידול משמעותי לעצים גדולים ובריאים. (ראה איור 18)



איור 17 - ארגזי מבנה (Root Cells) מימין Silva Cells באמצע Stratavault משמאל TreeParker
Figure 17 - Root Cells

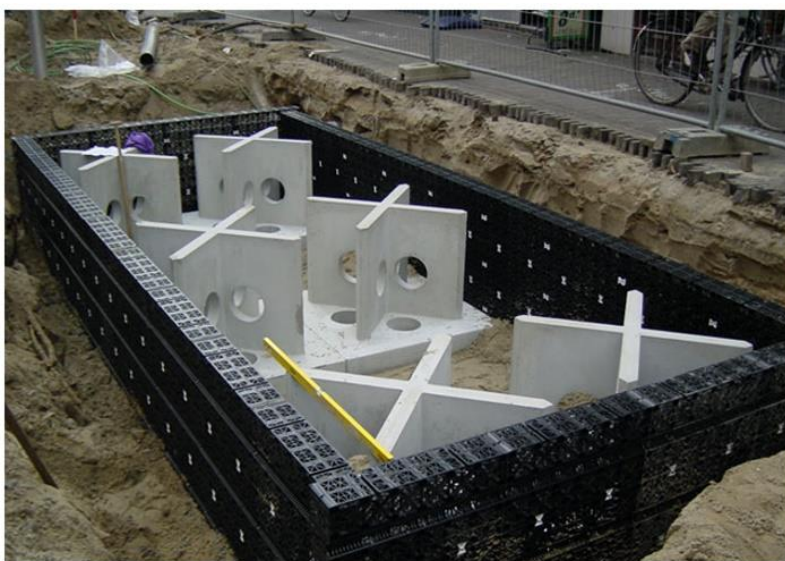


איור 18 - פרט נטיעה לעץ רחוב מסוג ארגזי מבנה DeepRoot Silva cells
Figure 18 - Silva Cells

2.4.12 שוחות נטיעה Soil Vaults

שוחות נטיעה מהווה בית גידול שהוא למעשה קופסא סגורה מארבעה כיוונים, מחופה במכסה. שורשי העץ מתפתחים בשוחה כמו בעציץ סגור, ללא קונפליקט עם תשתיות עירוניות. קיימים שני טיפוסים שונים. בראשון, מהוות דפנות השוחה את הגורם הנושא את המשקל. השוחה יצוקה במקום,

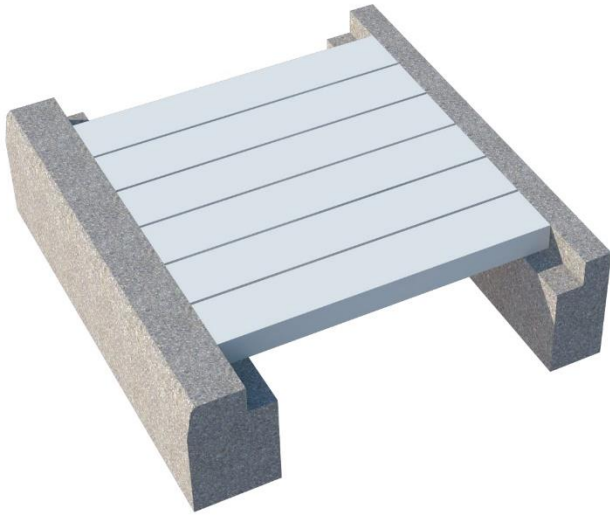
או עשויה אלמנטים טרומיים של בטון, פלדה. הטיפוס השני מבוסס על מערכת עמודים שפרושה במרחב הגידול, עליהם מונח מכסה בטון (ראה איור 19). דפנות השוחה עשויות תאים סינטטיים ואין להן תפקיד מבני. בשני הטיפוסים, השוחה פתוחה בתחתיתה ומונחת על שכבת שתית מהודק. נפח הקרקע הזמין לשורשי העץ מוגבל על ידי מידות השוחה ולשורשים אין אפשרות לפרוץ את הקירות. מכסה השוחה הוא בדרך כלל מבטון ומאפשר נשיאת משקל כבד ועליית רכבים על גבי בית הגידול. מחד גיסא קיים בעולם ניסיון מוצלח של נטיעות רחוב בשוחות תוך הקטנת העלות של עבודות תחזוקה סביב העצים, מאידך גיסא, עלות השוחות גבוהה וכן, נחוצים פתרונות יצירתיים להעברת תשתיות אורך ברחוב.



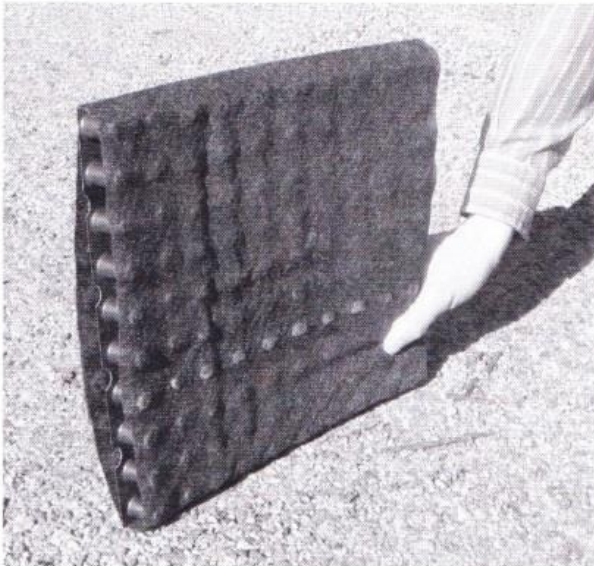
איור 19 - פרט נטיעה מסוג שוחת שורשים HP TreeBox
Figure 19 - HP Tree Box by TGS

2.4.13 מערכות מגושרות

עקרון שיטה זו מבוסס על יצירת מבנה גשר מעל תעלת נטיעה המשכית. אלמנט מבטון טרומי או יצוק במקום, נתמך כמכסה על אבני שפה בעלות מגרעת מתאימה. העובי הסטטי של אלמנט הבטון נע סביב 10 ס"מ. מפתח רוחב התעלה נע סביב 100 – 150 ס"מ. יתרון המערכת הוא בקלות התחזוקה וטיפול בבית הגידול תחת המבנה המגושר, בשל האפשרות להרים יחידות כיסוי ללא צורך בפתיחת ריצופים. חסרון מרכזי של המערכת היא ביכולת נשיאת משקל מוגבלת ובאיסור עלייה עם רכב על גבי המערכת. (ראה איור 20)



איור 20 - פרט נטיעה מסוג תעלה מגושרת איטונג
Figure 20 – Soil Trench Bridge System



איור 21 - אלמנט נטיבי שורש
Figure 21 - Root Paths Element

2.4.14 נטיבי שורש Root Paths

בשיטה זו מוצע לשורשי העץ נטיב גדילה, שמכוון את התפתחות שורשי העץ למרחב השרשה סמוך. במקרים רבים לא ניתן לספק לעץ מדיום גידול מספק בסביבתו המידית. שיטה זו, עושה שימוש בתעלות צרות עם משטחי ניקוז וורטיקלים, על מנת להכווין ולמשוך גדילת שורשים בחיפוש אחר מקורות קרקע זמינים. (Urban 2008) (ראה איור 21)

2.4.15 תעלות נטיעה המשכיות Soil Trenches

בשיטה זו נחפרת תעלה המשכית ברוב משתנה, בקרבת שפת המדרכה. בתעלה זו יינטעו עצים במרווחים על פי החלטת המתכנן, כאשר מרווחי הנטיעה הם שמגדירים את נפח הקרקע שיוקצה לעצים וכך את פוטנציאל גודל העץ. התעלה ממולאת במצע גידול שמהווה את מדיום השרשה של עצי הרחוב. דפנות התעלה נחפרות בזווית בהתאם למאפייני הקרקע המקומית (45-90 מעלות), על מנת למנוע את קריסת התעלה. קיימות מגוון אפשרויות של מצעי גידול למילוי בתעלת הנטיעה. החלטה על אופי המצע היא בהתאם לחתך הרחוב ולמשקל העמסה רצוי. במידה

והרחוב רחב מספיק וניתן להשאיר את תעלה הנטיעה חשופה ומגוננת, יש לכך יתרונות גדולים. כאשר יש צורך לרצף את המרחב מעל התעלה, ישמשו אדמות מבנה כמצע גידול. ליכולת העמסה גדולה (רכב פרטי - משאית) ישמשו אדמות מבנה מסוג Cu Soil ושיטת סטוקהולם. לשימוש הולכי רגל ואופניים בלבד, תתאים אדמת מבנה מבוססת חול. (ראה איור 22).
 כותב על תעלות נטיעה דני אלמליח: "תעלת גידול עם קרקע מקומית, החופפת עם רצועת השירות, שבה הדפנות ותחתית התעלה נושקים לקרקע טבעית, סביר שתהיה הפתרון הזול ביותר שיש בו גם להציע פתרון לסוגיות הנדסיות של יציבות משטחי הריצוף. (אלמליח 2016)



איור 22 - תעלת נטיעה המשכית Soil Trench במילוי אדמת מבנה מבוססת חול
 פיילוט תעלת נטיעה המשכית, רחוב ההגנה, תל אביב.

Figure 22 - Tree Planting Continuous Soil Trench

כפי שתואר בתת פרק זה, קיימות בעולם מגוון שיטות לשיפור תנאי הנטיעה לעצים בריצופים קשים. השיטות נבדלות זו מזו בעיקרון הפעולה שמגדיר את אופן יצירת נפח האחסון של מצע הגידול, באופן תמיכת מבנה החיפוי העליון וכן באיכות התנאים בבית הגידול בהיבטים של אוורור והשקיה. בפרק 4 - ממצאים, אסקור את האבולוציה של התפתחות השיטות הקיימות בישראל.

פרק 3: מתודה / שיטות מחקר

מטרת המחקר היא לבחון את מרחב המחייה של עצי הרחוב בישראל בהשוואה לדוגמאות מהעולם ולהגדיר קריטריונים ליצירת מרחב מחייה אופטימאלי לעצי רחוב, זאת במסגרת התנאים והאילוצים המאפיינים את רחובות ישראל. המחקר מבקש למצוא דרכים מעשיות לשיפור מרחב המחייה של עצי הרחוב בישראל לצורך טיפוח יער עירוני של עצים גדולים בריאים ואיכותיים לרווחת תושבי העיר.

שאלות המחקר:

- מהם המאפיינים הפיזיים, הגורמים והסיבות המגדירים כיום את מרחב המחייה של עצי רחוב בישראל?
- מהן הסוגיות המקומיות שמגבילות את התפתחות עצי הרחוב בישראל בשני מישורים, במרחב המחייה הפיזי ובתנאים התפעוליים?
- כיצד ניתן להגדיר מחדש את מרחב המחייה הדרוש להתפתחותם של עצי הרחוב בישראל ולאפשר להם להגיע לגודל ומשך חיים מרביים?

שיטות המחקר:

מחקר העוסק במרחב המחייה של עצי רחוב הוא רב-תחומי במהותו, וככזה הוא מצוי בתפר שבין תיאוריה ופרקטיקה, משלב ידע ממדעי הטבע (אקולוגיה, בוטניקה, קרקע והידרולוגיה) עם ידע ממדעי הרוח והחברה (היסטוריה עירונית, שימושי קרקע, סוציולוגיה), עיצוב והנדסה (תכנון ומדיניות, תשתיות עירוניות, נגר). בהתאם, השיטות ששימשו במחקר הן כמותיות ואיכותניות. המחקר הכמותי האמפירי נעשה באמצעות דגימות של נתונים, ניסויים, סטטיסטיקות וכו' של מקרי בוחן (Sogunro 2002).

המחקר האיכותני שימש לבחינה של המשמעות הסובייקטיבית הניתנת לעצים ע"י האנשים המשתמשים במרחב הרחוב ולניתוח עקרונות הקשורים בעיצוב, תכנון, מדיניות וניהול. הבדל מרכזי בין מחקר כמותי לאיכותני הוא קנה המידה דרכו בוחנים את שדה המחקר. (Creswell 2014). במחקר כמותי יש צורך באיסוף נתונים רוחבי על מנת להגיע למסקנות מעוגנות. במחקר איכותני לעומת זאת המטרה היא לבחון תופעה מקומית ולכן ישנה עדיפות לאיסוף מידע מקומי ומעמיק. (Murphy et al. 1998).

מחקרים דומים למחקר הנוכחי, להשוואת גישות שונות לנטיעת עצי רחוב, נפרשים על פני מספר שנים וזאת במטרה לאיסוף וניתוח נתוני גדילה והשתנות של העצים. לאור לוח הזמנים הקצר יחסית של המחקר הנוכחי, מצאתי לנכון להשתמש בעיקר במתודות איכותניות המתבססות על ידע וניסיון של מומחים מקומיים. שילוב של מספר שיטות מחקר וניתוח ביקורתי של התוצאות המתקבלות מהן, תורם להעמקה ולהסקת מסקנות שקולה ומורכבת יותר. (Golafshani 2003)

3.1 סקר ספרות

בשלב הראשון, בוצע סקר ספרות מקדים להגדרת הקונטקסט הכללי ולחיפוש כיווני התמקדות. סקירת הספרות מאפשרת ללמוד על נושא או תופעה ממחקרים קודמים ולהרחיב את הידע התיאורטי והמקצועי הקיים בעולם. על בסיס המידע שנאסף בשלב זה, ניתן ללמוד מה הם התפיסות, התובנות והכלים המובילים בעולם האקדמי ואילו מהם נמצאים בחסר. סקר הספרות הראשוני, הגדיר עבורי את ההקשר התאורטי וסייע למיקוד שאלות המחקר. שדה הידע בעבודה זו נפרש על שלושה חלקים תוך ירידה בקנה מידה. מאקולוגיה עירונית ליער העירוני ולעצי הרחוב. הספרות בשלב זה הייתה זרה בעיקרה ונסובה סביב הרצון להבין את מאפייני התחום, הבעיות והדרכים לפתרונן. בהקשר של שדה הידע, כמעט ולא ניתן למצוא ספרות מקומית שעוסקת בתחום נדון. לעומת זאת, בראיה גלובלית מתקיים בשנים האחרונות דיון עשיר. ביטוי לעומק הדיון ניתן למצוא במגוון של ספרים ומאמרים שיצאו בעשר השנים האחרונות – עדות מוצקה לצורך בשיח מקצועי. לדוגמה: *Urban Forestry by Miller, Hauer, Werner*. אוסף ספרות נוסף כולל ספרים שסוקרים פרטיקולרית, חסמים ובעיות בהשמת עצי רחוב. הספר החשוב והמקיף בתחום זה "Up By Roots" נכתב על ידי אדריכל נוף אמריקאי בשם James Urban, אחד ממובילי התחום ברמה העולמית. (Urban 2008)

בשלב זה, גובה סקר הספרות בראיונות עומק עם מומחים הולנדים בניסיון להבין בעיות חובקות עולם, בדגש על לימוד מתודות *Best-practice* לנטיעת עצי רחוב. בשלב השני נערכו ראיונות עומק עם אנשי מקצוע ישראלים לצורך ניתוח המצב הקיים והגדרת נקודות מפתח לבחינה בהיקשר המקומי. ראיונות אלו נתמכו בסקר ספרות ביקורתי שייצר השוואה של סטנדרטים נהוגים והנחיות תכנון. מעצם העובדה כי בישראל כמעט ולא קיימת ספרות או מאמרים בתחום, התבסס המחקר לצד ראיונות העומק, בעיקר על מסמכי מדיניות, חוברות הנחיה ומפרטים טכניים לביצוע.

3.2 ראיונות עומק

המונח "ראיון" כולל טווח רחב של פרקטיקות. בצד אחד של הרצף נמצאים ראיונות בעלי מובנות גבוהה המשמשים לסקרים מחקרניים. אלו הם ראיונות הערוכים בקפידה עם שאלות סטנדרטיות ולרוב סגורות. בקצה האחר של הרצף נמצאים הראיונות הפתוחים. סוג זה של ראיון עומק דומה יותר לשיחה מאשר לראיון פורמלי ומובנה. (שקדי 2003)

בכל ראיון מתקיימת מעין מערכת יחסים בין המדבר למקשיב. ראיונות עומק הם שיחות בהן, הן המרואייין והן החוקר, מפתחים את המשמעות במשותף. הדימוי ההולם ראיונות עומק הוא סדרה של שיחות חברתיות (שקדי 2003). הריאיון אם כן, אינו רק כלי לאיסוף מידע. זהו תהליך של הבניית מציאות ששני הצדדים תורמים לו ואף מושפעים ממנו.

חסרונותיה של שיטה זו הם בתלות בדמות המרואייין, ההקשר בו נערך הריאיון ובקושי לנתח ראיונות עומק לכדי אמירה ברורה וישימה למחקר ויצירת מסד נתונים מהימן ובר השוואה

לראיונות נוספים, מחקרים קודמים ושיטות מחקר אחרות (Strauss 1994)). הראיונות ששימשו במחקר זה היו ראיונות פתוחים, שנשמכו אמנם על שאלות התחלתיות מובנות, אך אפשרו במודע סטייה לכיוונים שונים ולא צפויים. בחלק מהמקרים נעשו ראיונות משלימים עם שאלות הבהרה וחידוד.

בחירה במרואיינים נבעה מרצון להציג תמונה רחבה ככל האפשר, מזוויות מבט שונות. בהתאם, נבחרו מרואיינים שנושאים בתפקידים מגוונים, במגזר הפרטי והציבורי, ובהם נציגי ממשלה (משרד החקלאות), נציגי רשויות ועירויות, אדריכלי נוף ובעלי ענין שאחראים על הנחיות מקצועיות בתחום גידול עצים במרחב העירוני ועל ליווי והדרכת אנשי המקצוע.

המרואיינים נבחרו בקפידה בתהליך מוקדם של גישוש על מנת לאתר אנשים עם בסיס ידע רחב והיכרות ארוכה עם התחום. לצד ראיונות עם מרואיינים מרכזיים שאמנה מיד, נערכו שיחות לא רשמיות עם מגוון אנשים נוספים שהעמיקו את הבנתי וחידדו שאלות.

רשימת המרואיינים כוללת את:

אגרונום **ישראל גלון**, מנהל אגף פרחים ונוי בשירות ההדרכה והמקצוע במשרד החקלאות, בעברו פקיד היערות הארצי. אגרונום **יצחק הלאור**, שנים שניהל בעבר את המחלקה להנדסת הצומח והגננות במשרד החקלאות).

ישראל דרורי, מנהל אגף גנים ונוף בעיריית פתח תקווה, **חיים גבראל**, אגרונום ראשי בעיריית תל אביב. אדריכלי הנוף **יעקב אילון ודויד סקלי ואריאל ברנט**.

אגרונום **דני אלמליח**, אגרונומית **דפנה הלבין**, **דבי לרר**, יועצת סביבתית לעיריית כרמיאל. במקביל לאנשי המקצוע המובילים בארץ נערכו ראיונות בהקשר העולמי עם אנשי המקצוע הבאים:

Anton Dekker, מומחה העצים של עיריית Apeldoorn, **Jan Willem De Groot**, ארבוריסט מומחה לתחזוקה וטיפול עצים צעירים, **Werner Hendriks** אדריכל נוף הולנדי, מומחה למערכות נטיעה של עצי רחוב.

בשלב השלישי, נערכו ראיונות עומק נוספים, בהם הועמדו למבחן מדדים וקריטריונים שעלו מהספרות העולמית. באמצעות הצגת פתרונות שדרוג אפשריים לבתי גידול עצי רחוב, נבחנה התאמתם של עקרונות תכנון למרחב המקומי. הקושי העולה מתוך המחקר האיכותני הוא בבחינת התוקף והמהימנות של הממצאים. מאחר והנתונים הגולמיים המשמשים את המחקר אינם מגולמים במספרים, קשה מאוד להעניק להם ערך מספרי המוכיח את אמינותם (בניגוד למחקר כמותי). מתוקף כך, הופך שלב ניתוח המידע במחקר איכותני למעין כלי מחקרי כשלעצמו (שלסקי ואלפרט 2007). לדוגמא, במספר מקרים, המרואיינים היו נושאי משרה בעלי אחריות להצלחת העצים בתחומם. לכן, שימוש במספר שיטות מחקר כחלק מהמחקר האיכותני והשוואה שלהן, מגדיל את רמת התוקף ומהימנות הממצאים. (Golafshani 2003) בחירת מקרה הבוחן להתמקדות, קרתה במהלך ראיונות העומק כשנחשפתי לפרויקט שניתן להגדירו כמתקדם בתחומו.

3.3 ניתוח מקרי בוחן

ניתוח תקדימים ומקרי בוחן הוא כלי מרכזי באדריכלות הנוף דיון במקרי בוחן משמעו איתור של פרויקטים בתחום גיאוגרפי מסוים, תיעוד ובחינה מעמיקה שלהם בצורה שיטתית בתהליכי התכנון, קבלת ההחלטות, הביצוע ותוצאות הפרויקט, (Francis 2010). במסגרת זו, המחקר בחן מספר מקרי בוחן של מערכת נטיעה חדשה בסביבה העירונית. אולם, לצד היתרונות הרבים שיש לשיטת מקרי הבוחן, יש בה חסרונות מובנים הנובעים מכך שלצד הידע המקצועי הם חושפים גם כשלים. מתכננים רבים, עיריות ובעלי מקצוע לא מעוניינים לחשוף את הטעויות שלהם ולכן קשה להשיג מידע מהימן, והמידע הוא לעיתים סובייקטיבי ונתון לפרשנות של הדובר. זאת ועוד, קיימת בעייתיות בחקר מקרי בוחן חדשים שכן, לעיתים יש לחכות שנה, שנתיים ואפילו יובל על מנת שיהיה ניתן לחקור תופעה מסוימת. במחקר הנוכחי, אחד המדדים להצלחה הינו גדילת העצים. תוצאות ראשונות ניתן לקבל אחרי שתי עונות צימוח, בעוד שהזמן שייקח להכתרת מערכת כמוצלחת, יכול לקחת שנים רבות.

מקרה בוחן אבן גבירול - בין השנים 2006-2011, עבר רחוב אבן גבירול בתל אביב, מתיחת פנים ואתה שודרגו גם תשתיות הרחוב ביניהן בתי הגידול לעצי הרחוב. פרויקט זה היווה תקדים מעניין בהיותו הראשון להתוות תעלת נטיעה המשכית לעצים במרחב עירוני צפוף (תעלות נטיעה מוקדמות יותר בוצעו באזור התעשייה חבל מודיעין, במגרש חניה).

פרק 4: ממצאים

4.1 מרחב המחיה של עץ הרחוב בישראל

באזורים עירוניים צפופים, ישנם גורמים רבים שעשויים להשפיע על הצלחתם של עצי הרחוב. גודש תנועה, זיהום, עבודות תשתית ופיתוח וכן, מרחב המחיה הבסיסי שמוקצה לעצים. מחד גיטא, אנו עדים בשנים האחרונות לקמפיינים ויוזמות ברחבי העולם וגם בישראל, שמטרתם, ירוק מרכזי הערים תוך נטיעת עצים מאסיבית. יוזמות כגון "נטיעת מיליון עצים" הושקו בשנים האחרונות בערים ני יורק, לוס אנג'לס, דנבר, פילדלפיה ועוד רבות אחרות. נטיעות נרחבות אלו, כמו גם השקעת משאבים גדולים ביערנות עירונית, מקבלים הצדקה בעקבות מחקרים שמעידים על מגוון שירותי מערכת אקולוגית של עצים בסביבה הבנויה. (הורחב על כך בפרק 2 עמ' 17). מאידך גיטא, זיהו חוקרים אמריקאים ירידה משמעותית באחוז כיסוי הצמרות העירוני (UTCC) בערים מרכזיות בארה"ב (Nowak et al. 2012). תוצאות ראשונות מפרויקט הנטיעה (One Million Trees NY), מעידות על אחוזי הצלחה נמוכים של עצי הרחוב כבר לאחר שנים ספורות (De-Groote 2016). נשאלת השאלה: כמה מאותם עצים חדשים שניטעים כיום ברחובות יחיו יותר ממספר עשורים, או יגשימו עצמם להיות עץ רחוב גדול ויהוו חלק מהותי מהיער העירוני? מזה יותר מ-25 שנה, מתנהל דיון בספרות המקצועית בנושא הצלחת עצי רחוב, משך החיים ואחוזי התמותה של עצי רחוב. (Moll 1989, Skiera 1992, Lu 2010, Roman 2011) קיימת הכרה בין ארבוריסטים (מומחים לעצים) ומתכננים עירוניים, שעצי רחוב שניטעו בחמישים השנה האחרונות, אינם מאריכים חיים. קיימת מחלוקת מהו משך החיים הממוצע. (Roman 2011) נתונים אמפיריים ראשונים שעסקו בשאלה זו התבססו על מחקר משנת 1989 שדיברו על ממוצע נמוך מאוד של שבע שנים בלבד מרגע נטיעה ועד תמותת העץ. (Moll 1989) מחקר מאוחר יותר של אותו צוות חוקרים, הצביע על כך שעצי רחוב במרכזי ערים, מתים אחרי 13 שנים בממוצע. (Lara 2011) מחקרים אלו התבססו על סקר בקרב יערנים עירוניים ברחבי ארה"ב. סקר באותו נושא שנערך עבור עיריית טורונטו התפרסם בשנת 2004 והציג נתונים על כך שאורך החיים הממוצע של עצי רחוב בטורונטו הוא חמש שנים בלבד. (Toronto 200) בעקבות סקר זה, השיקה עיריית טורונטו מהלך נרחב לשיפור תקנים לנטיעת לעצי רחוב. בהמשך למחקרים אלו, נערכו בעשור הראשון של שנות האלפיים עוד מספר מחקרים באותו נושא. Lara Roman, מדענית במשרד החקלאות האמריקאי, בחנה 11 מאותם מחקרים תוך יצירת אנליזה על בסיס נתונים מכל אותם מחקרים. תוצאות המחקר שפרסמה הצביעו על אורך חיים ממוצע של 19-28 שנים לעצי רחוב, נתון מעט יותר אופטימי. זאת ועוד, רומן הגיע למסקנה שמתוך כל 100 עצי רחוב שניטעו, יגיעו רק 50% מהם לבגרות (Roman 2011). לנתוני מחקרים אלו השלכות רציניות על תהליך שיפור אחוזי ההצלחה וחוסנם של עצי רחוב. James Patterson, חוקר קרקע בשירות הפארקים הלאומיים בארה"ב, מעריך שכ-90% מהבעיות של עצים בסביבה העירונית, מקורן במצע הגידול. (Urban 2008) לעיתים קרובות ניטעים עצים בריצופים קשים, בנפח קרקע מוגבל, בקרקע דלה, ללא ניקוז מספק, בקרקע דחוסה ומהודקת, בעלת חוסר איזון כימי או עם תכולת מזהמים גבוהה. במידה שהעץ איננו מסוגל לספק לעצמו את הדרישות הביולוגיות

המינימליות לקיומו, הוא לא יגדל, ללא קשר לקונטקסט האורבני שבו הוא נטוע (Lu 2010). עם חסרונות כאלו, מתקשים עצי הרחוב לשגשג, הם גדלים לאט יותר, הם חשופים ופגיעים יותר למחלות ומזיקים. עצי רחוב בתנאים אלו, דועכים, קמלים ומתים בגיל צעיר. (Lindsey & Bassuk 1991) קיימות סיבות נוספות לאי הצלחת עצי רחוב, כגון שתילים שמגיעים מהמשתלה ברמה נמוכה, או כתוצאה מתחזוקה לקויה, חוסר השקיה או ונדליזם. ואולם, ברוב המקרים, עצים צעירים הנטועים במצע גידול טוב, הם בעלי סיכויים טובים להתגבר על בעיות אלו. על פי James Urban, קרקע איכותית היא הגורם החשוב ביותר, כשהמטרה היא לגדל עצים בריאים, מאריכי חיים בעיר (Urban 2008).

4.1.1 עצים ברחובות ישראל

לפני שאכנס לתיאור מצב עצי הרחוב יש לבחון את השאלה **מהו עץ רחוב מוצלח**. על פי גיימס אורבן, על העץ להיות גדול מספיק על מנת לספק את השירותים הסביבתיים לנוף בתוכו הוא נטוע. (Urban 2008). כלומר, עץ רחוב שמגשים את מגוון שירותי המערכת הפוטנציאליים שביכולתו לממש, הינו עץ רחוב מוצלח. לצד אלו, אנו מצפים מעץ רחוב להאריך שנים, לייצר מינימום עבודת תחזוקה ולתפקד כך שהתרומה שהוא נותן לא תיפול מהוצאות תחזוקתו. במקרים רבים, עץ רחוב מוצלח הוא אלמנט אחד ברצף או סדרה של עצי רחוב איכותיים שיוצרים רחוב מוצלח. ניתן למדוד הצלחת עצי רחוב גם בתכנים ובהקשר התרבותי וההיסטורי לנוף בו הוא גדל.

אין למעשה מחקר אמפירי שבחן את הצלחת עצי הרחוב בישראל באופן כמותי. מתוך תצפיות שדה וראיונות עומק עם מומחים, עולה התמונה כי עצים וותיקים שניטעו באמצע המאה הקודמת, הצליחו יפה, בעוד שעצי רחוב שניטעו בעשורים האחרונים בישראל, מתפתחים באיטיות ואף מוחלפים תדיר, למעט מספר יוצאי דופן. המחקר הנוכחי עוסק, לא בבחינת קיום הבעיה ברמה הכמותית, אלא בבחינת מאפייני בית הגידול לעצי רחוב בערי ישראל וכן, בהשוואת מאפיינים אלו לשיטות המשמשות בחו"ל שהוכחו כיעילות (Best-Practice).

אגרונום יצחק הלאור, אחד המומחים הוותיקים והמוערכים בישראל בתחום עצי נוי, טוען כי לאזרח מהשורה, תושב העיר, נראה כי יש הרבה עצים ורחובות מוצללים, בעיקר בערים ובמושבות הוותיקות. ואולם, מומחים בתחום העצים מבינים שבעצם רוב עצי הרחוב שלנו גדלים "בצורות לא נורמליות". (הלאור ראיון 2016).

אגרונום ישראל גלון, בעבר פקיד היערות, מוביל ומקדם את תחום העצים כ-30 שנה. אומר: "מצב עצי הרחוב, בגדול, הוא לא טוב, נקודה". (גלון ראיון 2016).

חיים גבריאל, **אגרונום ראשי בעיריית תל אביב**, טוען שבתל אביב ניתן לראות רמות שונות של הצלחת עצי רחוב. הגורמים לכך, על פי דבריו, הם בעיקרם תנאים ספציפיים שהכתיבו את מרחב המחיה המידי וכן, המשך הטיפול בעץ לאחר הנטיעה. זאת ועוד, לדעתו של גבריאל הסיבות לתמותת עצים צעירים הן מגוונות: במקרה אחד העץ נשתל בצורה לא נכונה, ללא פתיחה של שק

הגידול. במקרה אחר הפריע תשתית תת קרקעית לעץ. במקרה נוסף העץ לא הושקה לאחר הנטיעה. גבריאל טוען שחלק גדול מהמקרים של אי הצלחה של עצי רחוב טמון בתפעול העירוני ובאחזקה ולא דווקא בבית הגידול. (גבריאל ראיון 2016)

לשאלה על הצלחת עצי רחוב בישראל עונה אגרונום דני אלמליח, כי בניגוד למחקרים מחו"ל שמצביעים על משך חיים קצר מאוד של עצי רחוב, בישראל הנתון הוא גבוה משמעותית ועומד על כ- 30 שנה. הסיבה על פיו, נעוצה בעובדה שבישראל קיים תקן של השקיית עצי רחוב בשנים הראשונות לאחר נטיעתם. ההשקיה נותנת לעצים הצעירים התחלה טובה למרות בית הגידול המוגבל, דבר שכמעט אינו קיים באירופה ובצפון ארה"ב. (אלמליח - ראיון 2016).

האגרונומית דפנה הלבית, מלווה מזה מספר שנים את עיריית ירושלים כיועצת בנושא עצים. לשאלה על מצב עצי הרחוב היא עונה: "מצב העצים איננו טוב. כנראה מחוסר משאבים לקיים את כל העקרונות שקבענו, במיוחד כשמדובר בניהול ובתחזוקה השוטפת. (הלבית - 2017). כלומר, הבעיה נעוצה בחוסר תקציב ובחוסר הקפדה על ביצוע שיטות משופרות לנטיעה.

4.1.2 נפח הקרקע בבית הגידול של עצי רחוב בישראל

כפי שנכתב בפרק שדה הידע (פרק 2, עמ' 26), תנאי מרכזי לקיומו הבריא של עץ רחוב הינו כמות מספקת של קרקע בבית השורשים וזאת על מנת לתמוך בתפקוד הביולוגי של העץ. משיחות עם אגרונומים ומתכננים, עולה התמונה כי בשאלת נפח הקרקע בבתי הגידול של עצי הרחוב בישראל, יש להבחין בין שתי תקופות עיקריות. בקבוצת הזמן הראשונה נכללים העצים הוותיקים, אלו שניטעו בתחילה המאה ה-20 ועד סביב שנות השבעים. אלו עצים שגדלו היטב והם עיקר העצים הבוגרים בערי ישראל. בקבוצת השנייה, נכללים העצים שניטעו משנות השבעים ועד ימינו. קיימים יוצאי דופן לשתי הקבוצות.

מסביר על כך אגרונום יצחק הלאור בציטוט הבא: "אלה ששתולים מזמן, עצי הרחוב ששתולים ברחובות המושבות הוותיקות. אותם שתלו בקרקע פתוחה, ללא בעיות שמגבילות את השורשים. באותה תקופה לא היו אז הרבה תשתיות מתחת למדרכות. ברוב המקרים המדרכות באו אחר כך, אחרי שהעצים כבר היו שתולים הרבה שנים. הם בעצם הכניסו פיתוח על גבי עצים קיימים. כל העצים ששתלו מאוחר יותר, נשתלו בעצם בתוך תשתיות, שממסגרות את העצים בתוך עקה גדולה למדי". (הלאור ראיון 2016). לדברי ישראל גלון, עצים שנשתלו לפני 50 שנה ויותר, היו להם תנאים טובים להתפתח. "ברוב המקרים לא היו כל כך הרבה תשתיות, העיר הייתה פחות צפופה, היה פחות זיהום עירוני." (גלון ראיון 2016). תופעה זו מוכרת גם בארצות הברית וכך מתארת נינה בסוק, חוקרת מאוניברסיטת קורנל: קיים הבדל מהותי בין עצי הרחוב שניטעים היום לאלו שניטעו באמצע המאה הקודמת. בעבר, עץ שניטע בבור נטיעה מוגדר היה מסוגל ברוב המקרים לפרוץ את גבולות הבור ולחפש מקורות מים והזנה חיצוניים. (Lindsey & Bassuk, 1991).

מדברים אלו ניתן להסיק, שעצים שנטעו בשנים הראשונות לאחר קום המדינה, התפתחו והצליחו בהתאמה לאיכות בית הגידול הטבעי, ללא צורך בתשומת לב מיוחדת למרחב הנטיעה. בשל

העובדה שבאותה עת, הערים טרם חופו באספלט וריצוף, חדירות המרחב הפתוח לקליטת נגר עילי, אפשר לעצים ליהנות מכמות גדולה של משקעים מקומיים. באזורים עירוניים כגון מישור החוף, בהם קיימות קרקעות חוליות בעומק גדול, התפתחו עצי רחוב בבית גידול טוב למדי. אומר על כך אגרונום דני אלמליח: "כל עוד הקרקע הטבעית הקיימת, מאווררת ומנוקזת וכל עוד ניתן להבטיח את נפחה הבלתי מוגבל ורציפותה, הרי שזה בית הגדול שיש לשמר ולטפח ולא נדרש לחפש אחר פתרונות יקרים ומורכבים". (אלמליח 2016).



איור 23 - עץ רחוב עם בית גידול מוגבל
Figure 23 - Limited Street Tree pit

אגרונום דני אלמליח מוסיף ואומר כי את הדוגמא הקיצונית ביותר שממחישה את בעייתיות בתי הגידול לעצים במדרכות ניתן למצוא בעיר הדרומית אילת. "באילת אין לעצים בתי גידול. הקרקע המקומית היא מלוחה ואטומה. בחלק מהמקרים העצים מתפרנסים באופן בלעדי מהשקיה שניתנת להם ואם אתה לא יוצר בתי גידול נדיבים, מערכות השורשים מחסלות את המדרכות. סיסם הודי שבאזור המרכז, נחשב עץ סביר מבחינת אגרסיביות שורשים, באילת, מערכות השורשים של הסיסם מטיילות על פני השטח. בדיונות של חולון, המכנף יכול לגדול ללא נזקי שורשים, באילת

מערכות השורשים שלו גדלות על פני השטח. (ראה איור 23) מצד שני אם לא תיתן למערכות השורשים להתפתח לאן שהיא רוצה, פשוט לא יהיה לך עץ". (אלמליח 2016) העמקה נוספת בהבנת הסטנדרטים להקצאת נפח אדמת גידול בתת הקרקע של עצי רחוב בישראל, ניתן לראות בתהליך האבולוציה של בתי הגידול.

4.1.3 אבולוציה של בתי גידול לעצי רחוב בישראל

מראיונות עם מומחים ולימוד מסמכי מדיניות ומפרטים, ניתן לזהות מספר אבני דרך וללמוד על התפתחות פרטי הנטיעה לעצי רחוב בערי ישראל. בכדי להבין את התפיסות על פיהן ניטעים עצים כיום, מצאתי חשיבות בהתחקות אחר ההתפתחות הכרונולוגית של בתי הגידול (ראה איור 32). בתהליך התפתחות זה, ניתן לראות ביטוי לכך שעצים שנשתלו לפני 50 שנה ויותר, היו להם תנאים טובים להתפתח. (גלון ראיון 2016) ברוב המקרים ניטעו העצים באדמה פתוחה ונפח קרקע גדול. בשל מיעוט תשתיות עירוניות בתת הקרקע, וסטנדרטים ישנים להידוק רחובות, הצליחו העצים יפה. (הלאור ראיון 2016)

אדריכל הנוף אריאל ברנט נזכר כי השימוש בפרט 1X1 מטר התחיל אצל גנני העיריות רמת גן ותל אביב. בהזמנת אגודת האינג'ינרים והארכיטקטים בישראל, פורסמה בשנות החמישים חוברת בשם נטיעות רחוב, עם ההנחיה לטעת בפתח נטיעה של 1X1 מטר. החוברת בנושא גינון נכתבה על ידי משה כבשני, הגנן הראשי של רמת גן באותם ימים. ברנט מוסיף, כי מידות בור הנטיעה היו למעשה פועל יוצא של מידות מרצפות הבטון 45X45 ס"מ, שהיו נפוצות בשימוש. (ברנט ראיון 2016)

4.1.3.1 שנות ה-80

על פי אגרונום חנוך בורגר, ההתייחסות לבור הנטיעה החלה עם גידול עצים "בוגרים" במשתלות בגודל 7-8-9 כחלק מדרישות תכנוניות (גדלי עצים, ראה מדריך עצי הרחוב בישראל 2013). זה קרה בתחילת שנות ה-80. עד אז גידלו בעיקר עצים בשיטות ייעור של שטחים פתוחים בפחי מתכת (הרבה עצים בשטח קטן וצפוף). (בורגר 2017)

חנוך בורגר מוסיף כי באופן כללי הוא מוצא קשר בין בורות הנטיעה ומפרטי הנטיעה, לשוק השתלנות הפרטי. המשתלות הגדולות דאז, יגור וגבעת ברנר קבעו את הסטנדרט. גודל בור הנטיעה הותאם לגודל הכלי בו הובאו העצים הצעירים לשטח, בתוספת 30% מרחב נוסף. (בורגר 2017)

4.1.3.2 1992 ירושלים לאחר אירוע השלג

אגרונומית דפנה הלביץ מספרת על הגורמים שהביאו לקפיצת מדרגה בפרטי הנטיעה של עיריית ירושלים. בעקבות אירוע השלג הגדול בחורף הקשה של שנת 1991 תחילת 1992, התגבשה הבנה אצל מקבלי ההחלטות שמצב העצים בעיר לוקה בחסר. מצב העצים הירוד החמיר בצורה משמעותית את השבר והמפגעים בעקבות סופת השלג החזקה. כתוצאה מהאירוע האקלימי,

הוחלט בעיר להתייחס באופן מיוחד לתחום העצים. דפנה מספרת: "סוף סוף זכיתי לאזון קשבת אצל מקבלי ההחלטות בעירייה בתחום זה. בעקבות הסערה, התקיים יום עיון במכון לחקר ירושלים. אני הרצתי בנושא וקראתי לראש העיר מעל הבמה להעלות את המודעות לנושא תחום העצים בעיר. בין המאזינים היה ארתור פריד, מנהל קרן רוטשילד דאז, אשר פנה לטדי ואמר שהוא רואה שיש על מי לסמוך בעירייה ... תגיד לדפנה שאני נותן לה תקציב של חצי מיליון דולר, שתגיש לי תכנית". בעקבות האירוע ניתנו הנחיות לגורמי הפיתוח שפעלו בעיר, לשדרוג מרחב המחייה של עצי הרחוב". (הלביץ 2016)

הדרישה של העירייה הייתה לבית גידול בנפח 2x2 מ' ובעומק 1.5 מ'. בפועל, לא תמיד צלח אלא אם ניטעו העצים ברצועת העזר ואז קיבלו ערוגה/תעלה לשתילת העצים. הסיבה העיקרית הייתה שטרם פותח פרט לייצוב תשתית המדרכה מעל בור הנטיעה. בשלב מאוחר יותר, סביב שנת 2002 קבעה עיריית ירושלים מידות אלו כפרט הסטנדרטי לנטיעה ברחוב (ראה בהמשך).

4.1.3.3 1993 המפרט הבין משרדי הכללי לעבודות בנייה

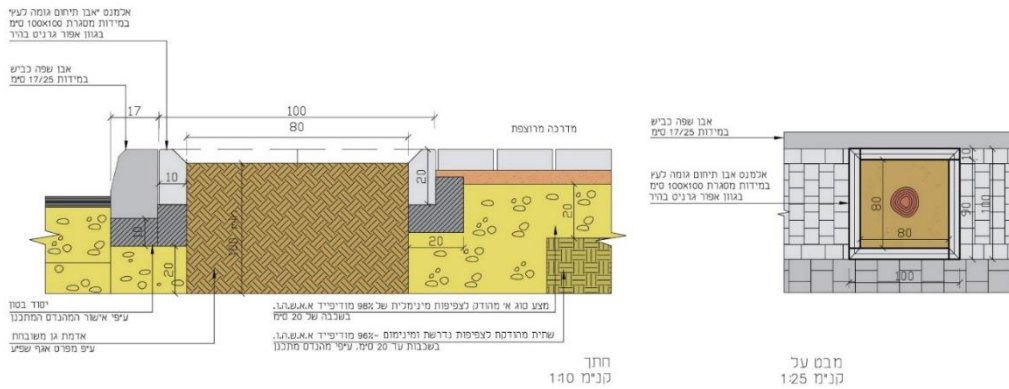
בשנת 1993 התפרסם לראשונה המפרט הכללי לעבודות בנייה (הידוע גם בכינוי "הספר הכחול") בהוצאת הוועדה הבין משרדית לסטנדרטיזציה של מסמכי החוזה לבנייה, בהובלת משרד הביטחון. המפרט יועד להיות חלק ממסמכי המכרז והחוזה לבנייה של משרדי ממשלה. מאז הפרסום הראשון יצאו למפרט מספר עדכונים והוא מהווה עד היום את קובץ ההנחיות המרכזי בנושאי בניה ופיתוח, וכן כבסיס לכתב כמויות ואומדן של פרטי נטיעה. במהדורה העדכנית של המפרט משנת 2009, קיימות ההנחיות הבאות:

"בור לנטיעת עצי רחוב יהיה כנדרש במסמכי החוזה, אם לא נאמר אחרת הבור לנטיעה יהיה

בעומק 1.2 מטר, באורך 1.0 מטר וברוחב 1.0 מטר לפחות."

(המפרט הבין משרדי, פרק 41.04.06.05 הכנת בור לנטיעת עצי רחוב, 2009)

אגרונום ישראל גלון היה שותף לצוות הבין משרדי שעבד מטעם משרד החקלאות על המפרט המקורי משנת 1993, וכך הוא מתאר: לצערי אני לא יכול להגיד שלא הייתי שותף לקביעת בור הנטיעה הקטן של 1X1 מטר (ראה איור 24), בתחילת שנות התשעים ישבנו על זה בצוותים, אך המפרט של הנטיעה והגינות נעשה על ידי משרד החקלאות. למעשה הצלחנו להוביל להגדלה של הבור לגודל הנוכחי (1.2X1X1) שזו הגדלה עצומה בהשוואה למה שהיה בעבר. כשכתבנו את המפרט, עדכנו סטנדרטים ישנים שהיו נהוגים עד אז. אני מניח שבתפיסות של היום היינו מכניסים למהדורה העדכנית נפח של 5-12 מ"ק, כתלות בתנאים. אז יש מהלך של התקדמות, אבל אין ספק שמה שהוגדר אז זו בדיחה בשביל העץ. (גלון ראיון, 2016). יש לציין כי על המפרט הכללי ניתנת אפשרות להוסיף מפרט טכני מיוחד וזאת למקרים בהם ההנחיות אינן מכסות מקרים מיוחדים. עוד אוסיף, כי מעיון במכרזי פיתוח וגינות בשנים האחרונות, נדיר למצוא מפרטים מיוחדים הנוגעים לבית הגידול של עצי רחוב בכלל, ולפרטי נטיעה משודרגים בפרט.



איור 24 - פרט נטיעה סטנדרטי לעץ רחוב במידות 1X1 מטר (עיריית תל אביב)
 Figure 24 - Standard Tree Planting Detail - Tel Aviv

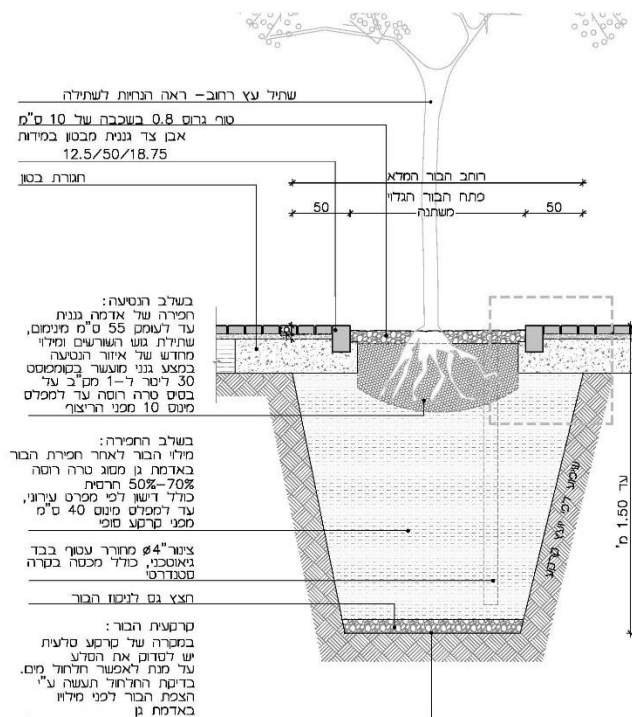
4.1.3.4 שנת 2000 תכנון תעלות נטיעה המשכיות בחנה וסע מחלף שפירים (בוצע בשנת 2010)

סביב שנת 2000 תכננו אדריכל הנוף דויד סקלי והאגרונום דני אלמליח, בתי גידול ברצועות נטיעה המשכיות, במחלף חנה וסע בשפירים. פרטים אלו היו למעשה קפיצת מדרגה בהקצאת נפח קרקע לעצים במגרשי חניה. רעיון שיפור בתי הגידול הבשיל, על פי ראיונות שעשיתי, משינוי התפיסה הסביבתי שהתפתח עם תכנון כביש חוצה ישראל.

דויד סקלי מספר: "היו לנו אז הרבה שיחות עם דני אלמליח כי עבדנו איתו ביחד גם על חוצה ישראל. המפתח להצלחת נטיעות עצים לצד חוצה ישראל היה שהקרקע תהייה קרקע שמפנקת את השורשים. שתהיה מאווררת, שתהיה לה את המוליכות החשמלית הנכונה, שיהיה לה עושר מינרלי מתאים וכן הלאה. ובהקשר הזה, הבעיה העיקרית הייתה בסוג הקרקע. באותו שלב העלה דני את הרעיון הזה של תעלות נטיעה. הוא אמר שלפי דעתו השורש יהיה די אדיש לזה שאנחנו מאלצים אותו לפריסה אורכית. הוא צריך בסה"כ את הטמפרטורה ופחות אכפת לו הקונפיגורציה של סידור השורשים. חוץ מאשר העניין של יציבות העץ. בשלב זה הבנו שאין צורך בהחלפת קרקע על פני כל השטח, אלא רק בתחום תעלות הנטיעה. אז החל דיון על מה הוא בעצם המדיום הנכון למלא בתעלות. התחלנו לדבר על תערובות שתילה ועל כל מני תוספים וכן הלאה". (סקלי ראיון 2016) שאלתי את דני אלמליח אם הוא יכול להיזכר מתי ואיך הוא הגיע להבנה כי יש צורך לספק לעצים בריצופים קשים, נפח קרקע נדיב יותר מהסטנדרט הקיים. זו תשובתו: "זה לא נעשה בצורה מחושבת, זה היה יותר עניין אינטואיטיבי. לא הלכתי ובדקתי כמה נפח אני צריך לתת לעץ, למרות שהחומרים (הבנת הנפחים הנחוצים) כבר היו מפורסמים בעולם. לא באתי מהמקום הזה של חומר אקדמי, זה היה יותר ברמה שהרגשתי וראיתי תהליך שהטריד אותי במספר מישורים. ראיתי שהעצים הגדולים נעלמים מהנוף העירוני." (אלמליח ראיון 2016)

4.1.3.5 2002 תכנית אב לנטיעות במרכז העיר ירושלים

במסמך תכנית האב לנטיעות במרכז העיר ירושלים, הוגדרו קריטריונים שונים לניהול משק העצים וביניהם תנאי נטיעה חדשים עבור עצי רחוב. בית הגידול לעץ רחוב, כולל בור נטיעה במידות 2x2 מ' ובעומק 1.5 מ'. (ראה איור 25) בכדי לשאת את משקל המדרכה בהיקף בור הנטיעה, נקבעה חגורת בטון. יש לזכור כי עקב המסלע ההררי בירושלים וסביבתה, במקרים רבים, בור הנטיעה שניתן לעץ הרחוב הינו נפח הקרקע הבלעדי לכל משך חייו של העץ. במקומות שנדרש להצר את הבור עקב תנאים מקומיים, נידרש פיצוי באורך הבור. (הלביץ 2017)



איור 25 - פרט נטיעה סטנדרטי לעץ רחוב (ירושלים 2002)
 Figure 25 - Standard Tree Planting Detail - Jerusalem

4.1.3.6 2005 "אתר ניסויים" באזור התעשייה חבל מודיעין

אדריכל הנוף יעקב אילון למד אגרונומיה באוניברסיטה העברית ואדריכלות נוף בווחנינגן (Wageningen), אוניברסיטה הולנדית ששמה דגש רב על הנדסה חקלאית וידע אגרונומי. עם חזרתו לארץ בשנת 1992, הביא עמו יעקב תובנות ושיטות חדשות לנטיעת עצי רחוב. בשנת 2005, מקבל לידי יעקב את תכנון ותחזוקת הנוף באזור התעשייה החדש של חבל מודיעין (מתחם אסם, סמוך לכביש 6). תחת ידיו, הופכים מגרשי החניה הנרחבים ושטחי הגינון

לאתר ניסויים לטיפול עצים. החל בשנת 2005, נוטע יעקב מאות עצים בתעלות נטיעה המשכיות פתוחות, מלווה את התפתחות העצים ומפתח שיטות לגיזום מכוון של עצים צעירים. (ראה איור 26) לצד מהלכים אלו, הציג יעקב לצוות המדריכים במשרד החקלאות את השיטות החדשות. על פי דבריו: "הצגתי לפני צוות מדריכים בשהם (שרות ההדרכה והמקצוע במשרד החקלאות) את הבעיות של עצי הרחוב בישראל, כולל מרחב מחייה תחתון. אמרתי שבחול עושים תעלות שתילה המשכיות עם תערובת חול" (אילון 2016).



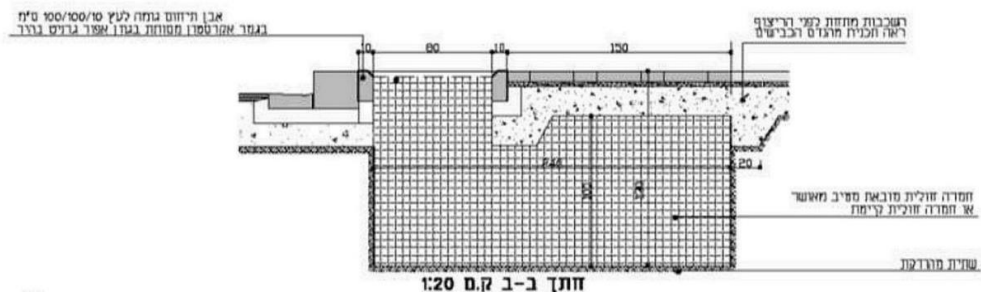
איור 26 - תעלת נטיעה המשכית, אזור התעשייה חבל מודיעין, אדריכל נוף יעקב אילון
Figure 26 - Continuous Soil Trench - Modiin Industrial Park

בהמשך לתכנון וביצוע תעלות נטיעה המשכיות לעצים באיזור התעשייה חמ"ן, ובמחלף שפירים, בוצעה תעלת נטיעה המשכית ברחוב אבן גבירול בתל אביב. תעלת נטיעה המשכית מרוצפת, ראשונה במרחב העירוני בישראל.

4.1.3.7 2007 תעלות נטיעה המשכיות ברחוב אבן גבירול

רחוב אבן גבירול בתל אביב מהווה עורק תנועה מרכזי בעיר ממנו נמתחים רחובות ראשיים ומוקדים עירוניים חשובים. בין השנים 2006-2011, עבר הרחוב מתיחת פנים ואתה שודרגו תנאי הנטיעה לעצי הרחוב. אדריכלי הנוף מוריה - סקלי מציינים, כי מטרה מרכזית בתכנון הייתה מתן העדפה מתקנת להולכי הרגל ורוכבי האופניים ברחוב וכן, יצירת מרחבים מובנים לסוגי המשתמשים השונים. התנעת תהליך השינוי האדריכלי של רחוב אבן גבירול באה עם החלטת

העירייה לשדרוג את מערכות התשתית ברחוב. דויד סקלי מספר: "אבן גבירול היה עבור עיריית ת"א פרויקט של מנהל בת"ש (מנהל בינוי ותשתיות). הייתה להם אז פתיחות אינטלקטואלית לחדשנות. כשדיברנו עם ד"ר בני מאור שהיה ראש בת"ש באותה תקופה, הוא קיבל את הרעיון של תעלות נטיעה המשכיות. הוא אמר שהוא הולך עם זה ומתחננו גם כל האנשים שלו. והם עשו כמה דברים מאד מעניינים. נלקחו בביצוע כל מני ויתורים. אבל עוד יותר מזה, הביצוע היה נורא מסובך מבחינת הקבלן. הוא לא ידע מה זה הצינור הזה, אז הוא מתעכב, ואז הוא בודק ושואל ואף אחד לא יודע להגיד לו מה התשתית הזו, אז הוא משאיר את זה. ואז שוב איזה אילוך. אני זוכר שבשלב הביצוע הייתה איזו מבוכה כזאת די גדולה ואני לא יודע כמה פשרות נלקחו תוך כדי ביצוע." (סקלי ראיון 2016) (ראה איורים 27-28)



איור 27 - תעלת נטיעה המשכית ברחוב אבן גבירול, תל אביב, חתך רוחב בפרט נטיעה, מוריה סקלי אדריכלות נוף

Figure 27 - Continuous Soil Trench Ibn Gabirol St.Tel-Aviv



איור 28 - תעלת נטיעה המשכית ברחוב אבן גבירול, תל אביב, עץ רחוב ממין מיש בונגה, 7 שנים לאחר נטיעה מוריה סקלי אדריכלות נוף

Figure 28 - Ibn Gabirol St.Tel-Aviv

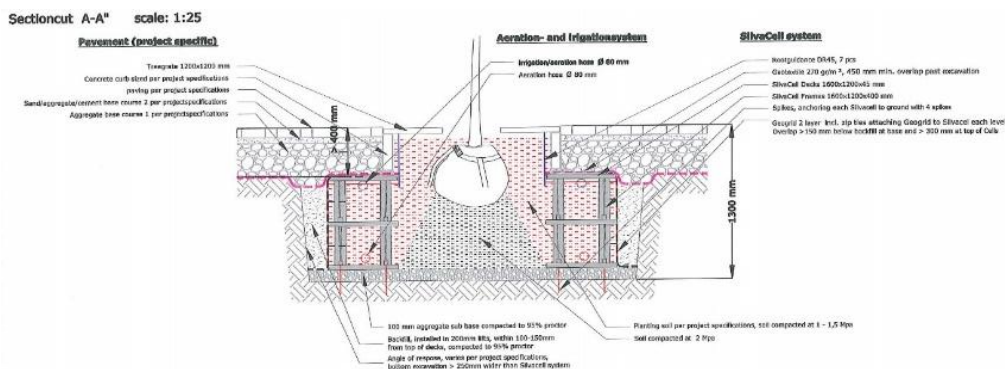
4.1.3.8 2013 מדריך עצי הרחוב בישראל

במדריך עצי הרחוב בישראל שהתפרסם על ידי משרד החקלאות בשנת 2013, ניתן למצוא ביטוי למגמה המתפתחת של תעלות נטיעה המשכיות כתחליף לבור הנטיעה האישי. בשלב זה ניתן לראות שבדרג המקצועי שאמון על מדריכי התכנון, קיימת מודעות והפנמה של הצורך בנפח קרקע מספק להצלחת עצי רחוב. במדריך מוגדרים נפחי בית הגידול הבאים: עץ קטן: 2-3 מ"ק, עץ בינוני: 4-5 מ"ק, עץ גדול: לפחות 8 מ"ק.

מצב בתי הגידול בעת כתיבת המדריך (2012) מתואר כך: "בתנאים העכשוויים בית הגידול של מרבית עצי הרחוב בישראל מוגבל לנפח בתוך פתח הנטיעה במדרכה. בהנחה שמידות הפתח הן 1.00X1.00 מטר ומזה יש להפחית את רוחב מסד הבטון של אבני הפתח, נותר הפתח במידות של כ-0.85X0.85 מטר. גם אם נניח (באופטימיות) שעומק בור הנטיעה תקין, כלומר 1 מטר, נגיע לנפח בית גידול של 0.72 מ"ק. מחשבון פשוט עולה שהתפתחותו התקינה של העץ מותנית ביכולת השורשים לצאת מחוץ לגבולות השתית והמצעים המהודקים שבוצעו סביבו. (גלון, הלר, 2013).

4.1.3.9 2016 שנת פיילוטס בפרטים חדשים

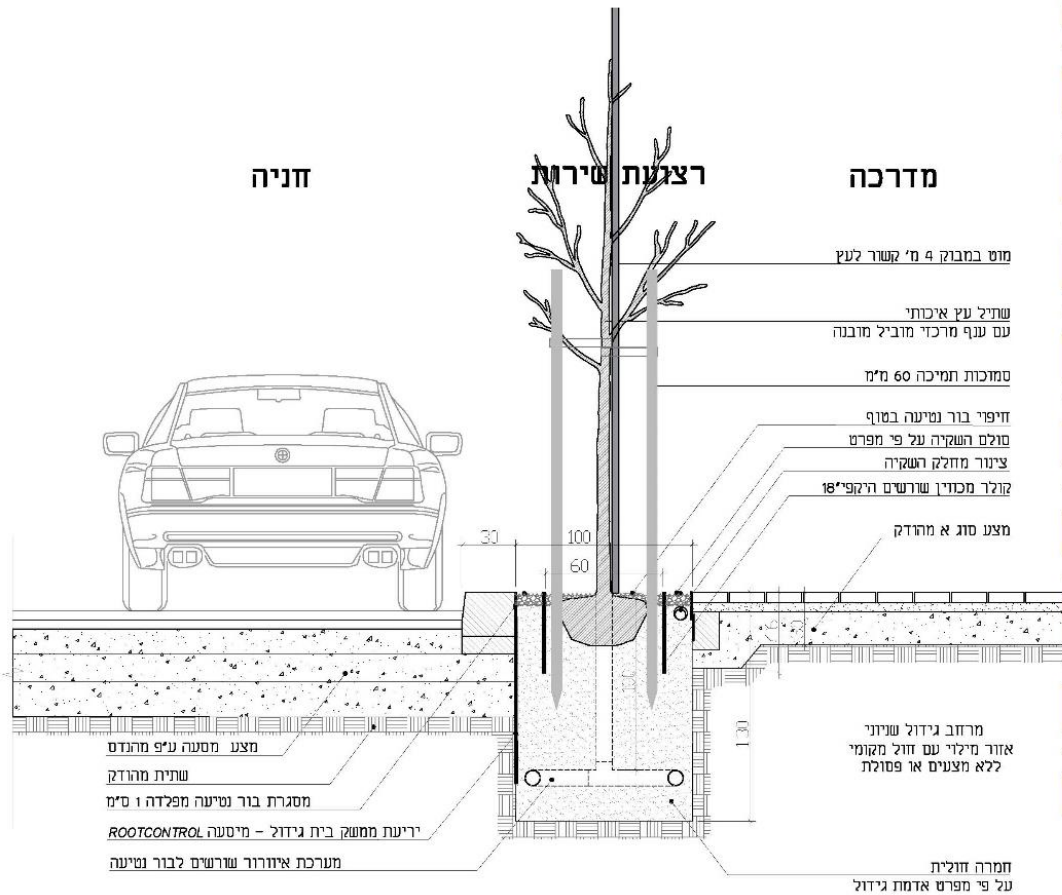
בשנת 2016 בוצעו מספר פיילוטס עם מערכות נטיעה חדשות. התייחסות לכך בהמשך.



איור 29 - חתך פרט נטיעה עם ארגזי מבנה Silva Cell, רמת הנדיב 2016
Figure 29 - Tree Planting in Silva Cell - Ramat Hanadiv

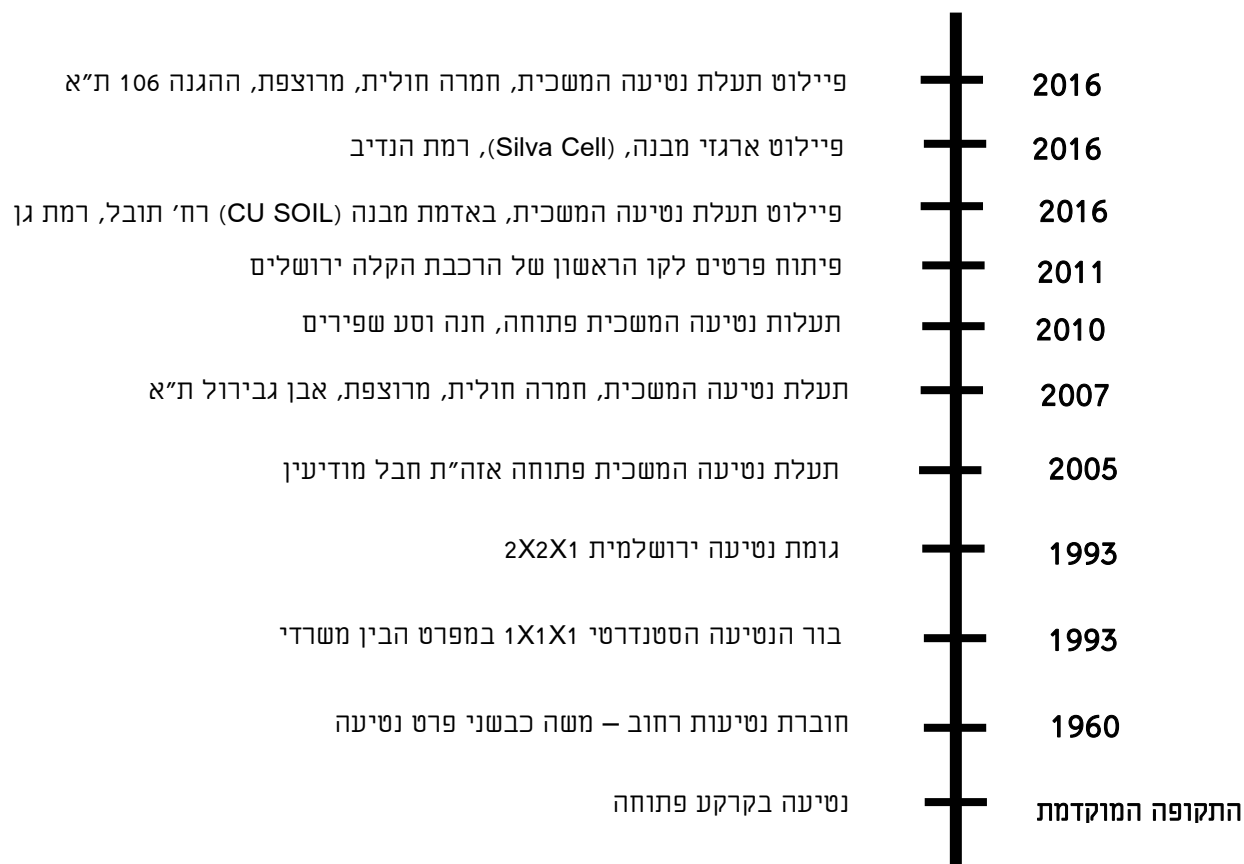


איור 30 - תעלת נטיעה המשכית עם אדמת מבנה Cu Soil, רח' תובל רמת גן 2016
 Figure 30 - CU Soil Continuous Planting Trench - Ramat Gan



איור 31 - פרט תעלת נטיעה המשכית עם חמרה חולית, פיילוט רוב ההגנה, תל אביב 2016
 יעקב אילון ושחר צור

Figure 31 - Sand based Structural Soil Trench - Tel Aviv



איור 32 - כרונולוגיה של התפתחות בתי גידול לעצי רחוב בישראל
 Figure 32 - Street Tree Plantings Methods Chronology

4.1.4 מאפייני פרופיל הרחוב והשפעתו על הצלחת עצי רחוב

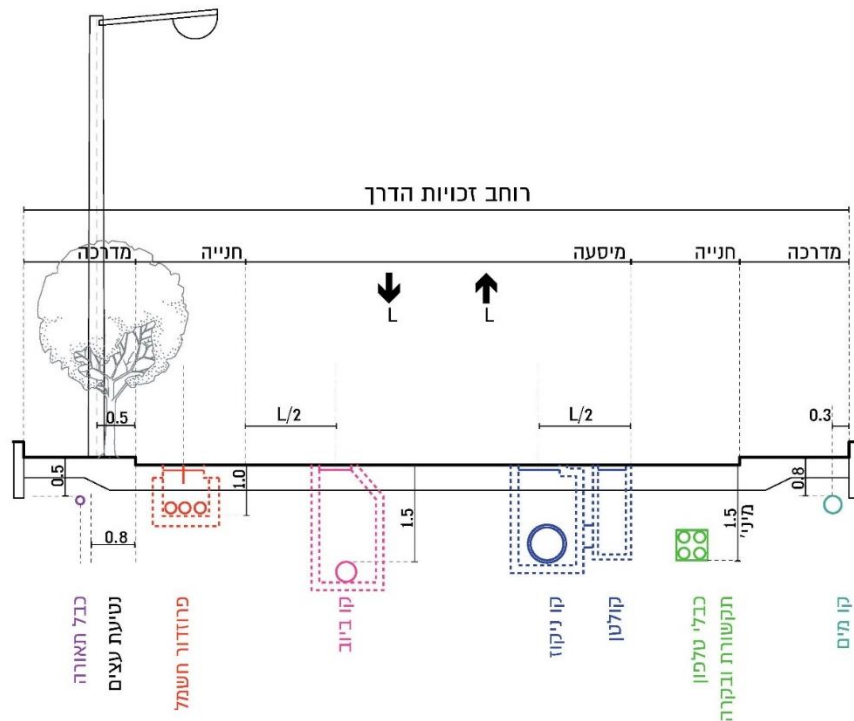
פרופיל הרחוב ותבניתו הסופית הינם מקרה פרטי ייחודי כפי שמאופיין על ידי צוות התכנון. משרד התחבורה מנחה את ציבור המתכננים לבחור מרשימה של תבניות ספציפיות לרחובות בעלי מאפיינים מוכרים. רחוב זכות הדרך נע במדרג הרחובות בין 57-14 מ'. פוטנציאל שילוב עצים בפרופיל הרחוב, גם הוא משתנה בהתאמה. ככל שגדל פרופיל הרחוב כך גדל הפוטנציאל להקצאת בית גידול עם נפח קרקע גדול יותר.

בעולם אידיאלי, סביר כי הרחוב העירוני היה מתוכנן כך שלכל עץ הייתה מוקצית אדמת גידול בנפח מספק לצמיחתו לשנים ארוכות. אולם המצב במרחב העירוני כמעט תמיד שונה. קיימים מקרים בהם אין ברחוב מרחב מחייה מספק ואז לא כדאי לנטוע עץ משום שלא מובטח לו כל

עתידי. על פי הספרות המקצועית, ברוב המקרים, על מנת שעצי רחוב יגיעו לבגרות, הם חייבים לשלוח שורשים הרחק מגזע העץ, אל מתחת לתחום המרוצף. על פי מספר חוקרים, הגישה הנכונה היא תכנון בתי גידול עם מרחב השרשה מספק למניעת קונפליקט בין שורשים ותשתיות. (Bassuk, 2004, Urban, 2008).

4.1.5 ביזור תשתיות בתת הקרקע

כפי שנכתב בתת הפרק עץ הרחוב, בפרק שדה הידע (פרק 2 עמ' 27), על מנת לגדל עץ רחוב בריא, נדרש נפח קרקע מתאים לאספקת דרישותיו הביולוגיות של העץ. בהתאם לנפח הקרקע הזמין, כך פוטנציאל ההגשמה של העץ. ואולם, לעץ תחרות קשה עם שימושים אחרים על מרחב הרחוב. אומר על כך דני אלמליח: "לרגע לא נשכח שעל העץ ומערכות השורשים לחלוק את בית הגידול עם מערך התשתיות התת קרקעיות, התוצאה כמובן, היא עצים קטנים, דלי עלווה, ללא סיכוי לממש את פוטנציאל הגודל שלהם". (אלמליח 2016)

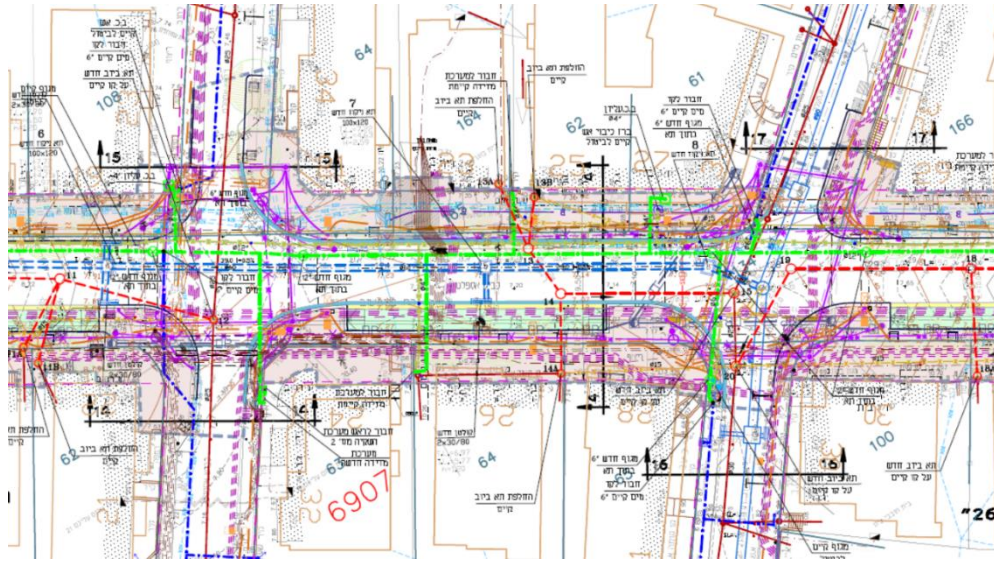


איור 33 - תשתיות עירוניות בחתך הרחוב, משרד הבינוי והשיכון

Figure 33 - Urban Street Utilities Cross-Section

הרחוב העירוני הינו מסדרון צר עם מגוון שימושים. כפועל יוצא קיימת מצוקת מרחב וקונפליקטים בין הצרכים והמשתמשים הרבים. מתוך מדריך התכנון "מרחב הרחוב" של משרד השיכון והבינוי עולה כי כפועל יוצא של מגמות לשיפור פני הרחוב במפלס הקרקע (המפלס העילי), קיימות הנחיות הנדסיות להצנעת תשתיות במפלס התת קרקעי של הרחוב.

תשתיות עירוניות הינן תחת אחריותם של מספר תאגידים. תאגיד המים, חברת חשמל, חברות הכבלים ועוד. לכל חברה קיימים סטנדרטים משלה לגבי עומק התקנת התשתית וכן לקרבה המותרת לתשתיות אחרות. בהתאם לכך, פרושות תשתיות הנדסיות לכל רוחב חתך הרחוב תוך הותרת מרחב פנוי מצומם להגדרת בית גידול תת קרקעי לעץ הרחוב (ראה איור 34-33).



איור 34 - תכנית תיאום תשתיות, רחוב בוגראשוב בתל אביב-יפו, ריבוי תשתיות בתת הקרקע
 Figure 34 - Utilities Coordination Plan, Bograshov street Tel Aviv

4.1.6 קונפליקט בין גידול עצי רחוב והנדסת תכן מבנה

בתהליך פיתוח המרחב הציבורי מחופה הקרקע בחיפויים קשים כגון בטון יצוק, אספלט וריצופים שונים. במטרה להבטיח את יציבות המשטח ובכדי למנוע שקיעות, מונחים החיפויים על שכבות של מצעים מהודקים ויריעות ייעודיות. הידוק הקרקע: מגביל חדירת חמצן, מגביל חדירת שורשים, מצמצם חלחול מים וגורע מאיכות הניקוז. מכיוון שלעץ יש פחות גישה למים וחמצן הוא מפתח פחות שורשים, עובדה הגורמת להתפתחות כללית מוגבלת של העץ. (Urban, 2008) בתהליך פיתוח הרחוב בישראל, קיימת הנחיה להידוק קרקע מקומית ומצעים לרמת צפיפות גבוהה של 95% צפיפות לפחות. (Proctor Compaction Test) (המפרט הבין משרדי התקן הנהוג על ידי קבלני הפיתוח מוגדר במפרט הכללי לעבודות בנייה הידוע גם בכינוי "הספר הכחול"). הידוק הקרקע מבוצע על ידי כלים כבדים שבאמצעות העמסה ורטט מביאים לסגירת מירב נקבוביות הקרקע. כפועל יוצא, במקרים רבים הקרקע מעבר לגבולות בור הנטיעה אינה מתאימה לפעילות השרשה של עצים ואיננה מאפשרת חדירת שורשים פיזית. רחובות העיר מחופים באספלט וריצופים קשים על מנת לאפשר תנועת כלי רכב חלקה ויעילה בתחום הכביש וכן הליכה בטוחה וניקוז מהיר של נגר ממדרכות ושבילי אופניים. בפרקטיקה ההנדסית של פיתוח רחוב, מונחים בבסיס הכביש והמדרכה, שכבות מצעים מהודקים בהתאם

לרמת השירות של הכביש. תפקידן של שכבות המצעים הוא להוות בסיס יציב ומדיום לפיזור עומסים המופעלים על שכבת החיפוי. איכות המצעים ואופן השמתם, משפיעה על עמידות הכביש ואורך חייו. על מנת להבטיח רמת ביצוע גבוהה, נקבעו במפרט הממשלתי תקנים מחייבים להידוק מצעים. דויד סקלי מספר על האופן בו התקבלו בתי הגידול החדשים ושילוב ניהול נגר בבתי הגידול בחניון שפירים. "המהנדסים קיבלו את זה בידיים פתוחות כי היה שם איזה פתרון בילד-אין של ניקוז כי הרצועות האלו לא היו מחופות אספלט". (סקלי 2016) החניון בשפירים נבנה ועד כה (2016) ניתן לראות התפתחות מרשימה של העצים באתר.

כותב בנושא זה אגרונום דני אלמליח: "המים הם האויב המאיים על משטחי הריצוף, החניונים הפתוחים, הכבישים והמדרכות ולכן התכנון ההנדסי עסוק כל העת בסילוקם מהר והלאה רחוק מבתי הגידול לעצים או מהערוגה המשלבת צמחים ועצים. כך מסולקים להם מבתי הגידול מי הגשמים ומי הנגר המצויים בשפע בעיר. גם בעיר המדברית בה מי הגשמים מצויים בצמצום". (אלמליח 2016)

4.1.7 השקיית עצי רחוב

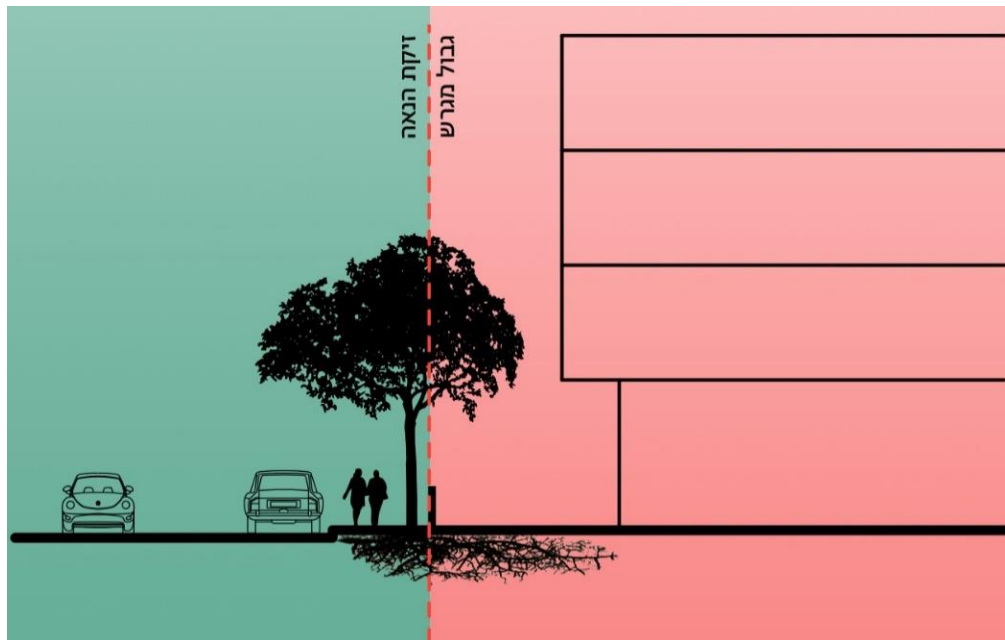
צריכת המים השנתית של עץ בוגר חסכוני במים בגודל בינוני היא כ-20-15 קוב לשנה (כ-50-60 ליטר ליום). על פי אגרונום דני אלמליח "אין די בהחדרת מי הגשמים לפרנס את צרכי העץ ויש לגבותו בהשקיה לשנים רבות, וודאי בשני העשורים הראשונים לחייו". (אלמליח 2016) כיום מושקים עצי הרחוב ברוב ערי ישראל למשך תקופה של 3-5 שנים מרגע הנטיעה. במקרים רבים מתוכננת מערכת ההשקיה באופן שאינו מאפשר את תחזוקתה מעבר לתקופה זו. לאחר מספר שנים נחנקת צנרת ההשקיה על ידי שורשי העץ, נסתמת או נקרעת. במגוון עיריות רווחת התפיסה שאם נוטעים עצים מתאימים, לאחר מספר שנים העצים יסתדרו בעצמם. לכן אין צורך לתקן את מערכות ההשקיה הבלויות מעבר לשנים הראשונות לאחר הנטיעה. תפיסה זו עומדת בקונפליקט עם עדויות רבות לעצים צעירים צמאים. בראיון עמו מספר אגרונום עיריית תל אביב חיים גבריאלי: "במגוון רחובות ניתן להבחין בעצים צעירים שסובלים מחסור במים". (גבריאלי 2016)

4.1.8 פרנסת עצי רחוב מחצרות פרטיות מעבר לתחומי המגרש

במרקם עירוני ישראלי טיפוסי, שטח הגינון בחלקות הפרטיות, נושק לרחוב ונצפה ממנו. לקיומם של צמחיה בכלל ועצים בפרט במגרש הפרטי, יש השפעה גדולה על מראה השכונה והעיר, כמו גם על אקלימן. גינות קדמיות, בחזית המגרש הפרטי, משמשות במקרים רבים להגדלת מרחב המחיה של עצי הרחוב הנטועים במרחב הציבורי. (ראה איור 35)

משיחות עם אגרונומים מובילים עולה התמונה כי במקרים רבים ניתן למצוא כי מערכת השורשים של עצי רחוב שנטועים במרחב הציבורי, מוצאים את כלכלתם בגינות הפרטיות. (אלמליח, גבריאלי, אילון, הלאור 2016). הימצאותה של אדמה גננית בשפע בגינות הקדמיות, המקבלת השקיה קבועה, לצד העובדה שמרחב המחיה המוקצה לעצי הרחוב הוא לחוץ ומצומצם, מעודדת את עצי הרחוב לשלוח שורשים מעבר לקווי המגרש וליהנות מהשפע הקיים שם.

אגרונום דני אלמליח מסביר בנושא: "מערכות השורשים והנוף בעצים אינם מכירים לצורך קיומם בזכויות הקניין והגבולות כפי שקבעו בני אנוש" (אלמליח 2016). הלחץ הנדל"ני, מצוקת החנייה באין תחבורה ציבורית, יחד עם החמדנות האנושית, הצליחו להגיע גם לפאת קרקע זו. אם בעבר נאסר לבנות חניון תת קרקעי אלא במרחק של כ-4 מטר מגבול המגרש והמדרכה, הרי שהיום אין זה נדיר למצוא תכניות הרסניות בהן קו החניון התת קרקעי נושק למדרכה הציבורית. אם וכאשר מתקיימת בנייה בתת הקרקע במגרש הפרטי עד קו 0 (גבול מגרש קידמי), פעמים רבות משמעותה פגיעה אנושה ובלתי הפיכה בעצים המצויים על שפת המדרכה במרחב הציבורי. הניסיונות למזער נזק בלתי הפיך זה לעצי הרחוב באמצעות גינת גג קטנה בחזית המגרש המוגבלת בגודלה ונפחה ושאין באפשרותה לתמוך בגידול עצים גדולים, אינו יותר מאשר מראית עין ויציאה ידי חובה, שלא לדבר על כך שלא קיימת כל תקנה המחייבת לאפשר את התפתחות השורשים של עץ הרחוב לחלק זה וכי המצב השכיח הוא שמערכת השורשים נחסמת ע"י קיר בטון העולה מעלה הישר מדופן קיר החניון. (אלמליח 2016).



איור 35 - חשיבות הגינות הפרטיות לכלכלת עצי רחוב
 Figure 35 - Tree Nourishment from Residential Front Gardens

4.2 מדיניות ואסטרטגיה בנושא יער עירוני ועצי רחוב בישראל

4.2.1 חוסר מודעות של מקבלי החלטות - פרדיגמה - עצים הם נוי בלבד

על פי ישראל גלון, נבחר הציבור, טרם הפנימו את העניין שצריך לשנות את היחס לעץ על מנת שיחיה 80 שנה. הוא מספר: "יש לי חבר, מנכ"ל עירייה, והוא אומר לי: ישראל, כל מה שאתה אומר זה פנטסטי, כל הכבוד, אבל אתה לא מבין את דרך החשיבה שלי. למה שאני אשנה עכשיו? יש בחירות בשנה הבאה, ראש העיר רוצה להיבחר שוב, מה עושים? מוציאים הרבה כסף על פרחים עונתיים ודשא. הציבור רואה שיש גינון. קוראים לזה גינון פוליטי. עוד לא הגענו למצב שראש העיר יתגאה, אני שמרתי ושיקמתי 40 עצים. איך עושים את זה? חינוך!" (גלון ראיון 2016) דבי לדר מוסיפה: "יש לי תחושה של קוצר רוח. יש דרישה שהכל יהיה מהר, מהר, הרבה פוליטיקאים מסתכלים לטווח מאוד קצר. בגינון צריך לתת את הזמן שהדברים יגדלו. יש קוצר רוח ואי הבנה איך עושים את הדברים לטווח ארוך" אולם מוסיפה לדר, כבר יש הבנה שצריך צל.

זה דווקא אני רואה בתור הבנה חיובית, וזה לא היה דבר מובן מאליו בעבר. (לדר 2017) יעקב אילון מוסיף: "במדינה שבה ההסתכלות קדימה לעוד 10 שנים נראית כמו אחרית הימים, התפתחה תרבות של נוף "אינסטנט", שדורשת תוצאות מהירות בשטח. שדרות ארוכות של דקלים, רחבות חניה עם דקלים, זיתים בגיל מופלג ומדשאות עד האופק. הדגש על הפיתוח הביא אותנו (בעידוד הלקוח), להחליף את העץ כנותן צל ומגדיר חלל, לטובת הפרגולה." (אילון 2006)

דני אלמליח מוסיף: "קיים חסם בנושא של הערכת התרומה של עצים. המקום הכי בולט הוא מגרשי החניה ולא עצי הרחוב. בחניה זה הכי פשוט אם רוצים לטעת עצים. מבחינת הנדסית, שטח פתוח, רציפות ללא תשתיות. קיים צורך משוועה וזועק להצללה בחניות, זה היה צריך להיות חוק ולא בחירה. אפילו אם נתחיל שם. הרחוב זה שאלה מורכבת יותר, זו שאלה תרבותית" (אלמליח 2016). לשאלה על אופי חלוקת המשאבים עונה דבי לדר כך: "יש אנרגיה מסוימת שמושקעת בתחום השטחים הציבוריים. האנרגיה הזאת מוגבלת. לוקחים את ה-X אנרגיה הזאת שיש לנו לצורך העניין, ועכשיו צריך לבחור מה עושים אתה. האם משקיעים אותה בשתילה של 10,000 עונתיים, או, בטיפוח וטיפול בעצים הבוגרים, בגיזומים נכונים, בתוספת עצים, בטיפול בהתנוונות עצים כשיש צורך. בסוף זו בחירה מה עושים עם אותה אנרגיה מוגבלת. לצערי, הרבה פעמים משקיעים לא מעט מאותה אנרגיה מוגבלת בדברים שהם לטווח קצר. לצורך העניין, בעונתיים, כדים, ריצוף, חלוקי נחל, דשא סינטטי, שיש להם אפקט מידי. זה עניין של להבין את סדר העדיפויות, להבין שיש לנו אנרגיה מוגבלת ויש להשתמש בה בחוכמה. (לדר ראיון 2017)

לדבריו של האגרונום דני אלמליח, תיקון 89 לחוק התכנון והבניה הביא לשינוי תפיסה מהותי בהערכת עצים אצל מקבלי החלטות, גם אם זה עדיין לא מתורגם להשקעה בעצים צעירים. כניסת סקרי העצים, הצורך בהערכה כספית של העצים בערך חליפי בנוסחה מוסכמת כתנאי

לקבלת היתר בניה וכן, חובת התשלום של כופר הכריתה, היוו את תחילתו של תהליך שינוי. (אלמליח 2016).

דפנה הלביץ מתארת את הגישה בעיריית ירושלים בתחילת שנות התשעים: "הגינן וחזות העיר היו מאד חשובים לטדי קולק והוא גיבה אותי במאה אחוז בכל הרעיונות שלי מבלי להתערב בשיקולים המקצועיים, בשונה מראשי ערים אחרים שהתערבו ברמת "הפטוניה" (דפנה הלביץ 2017). לדעתה של גבי לרר, מודעות פרנסי העיר לטיפוח היער העירוני תלויה במידה רבה ביכולותיו של האדם שעומד בראש מחלקת גנים ונוף העירונית. היא נותנת דוגמא: בכרמיאל יש מנהלת אגף גנים ונוף מאוד מקצועית ומאוד מנוסה שיש לה אמירה חזקה בעירייה. אתה צריך להבין, במערכי הכוח ברשויות, הכוח הפוליטי של מנהל מחלקת גנים ונוף, הוא שמכתיב את התפיסה שהיא הרבה פעמים מקצועית. אבל כמה כוח יש לו? וכמה ראש העיר מקשיב לו? כרמיאל היא דוגמא טובה, שיש מנהלת מחלקה מאוד מקצועית, שראש העיר מקשיב לה. הרבה פעמים ראש העיר לא מקשיב, ולפעמים לצערי מנהלי המחלקות נכנעים מראש. הם לא מביאים את האג'נדה המקצועית שלהם בצורה ברורה אל מול מקבלי ההחלטות, לעיתים נוח להם להיות ייס-מנים, הם לא רוצים לקחת סיכון, הם פוליטיקאים. אז התפיסה המקצועית לא באה לידי ביטוי". (לרר ראיון 2017)

בעיה אקוטית שיש לתת לה תשומת לב הינה תפיסה הרווחת בקרב מקבלי החלטות, כי לעצי הרחוב יש ערך אסתטי ונופי ותו לא. השערת המחקר נשענת על תפיסה זו בהסבר לתקצוב הנמוך של נטיעה ותחזוקת עצי רחוב. בעוד שבעולם המערבי ובמספר ארצות מתפתחות קיימת הבנה שעצי הרחוב הם תשתית לכל דבר ועניין, נראה כי בישראל עוד חזון למועד.

4.2.2 פער ידע מקצועי - העצים יסתדרו

ידע לגבי כשלים בתת הקרקע שגורמים לתמותת עצי רחוב, החל להתפרסם בתחילת שנות השבעים באירופה (Kopinga 1985). מחקרים שנעשו בסוף שנות השמונים והתשעים, אישרו שקיימת חשיבות לתכנון מושכל של בתי גידול לעצי רחוב עם נפח קרקע מורחב. בתחילת שנות התשעים פרסמו נינה באסוק וג'יימס אורבן, מספר מאמרים עם המלצות מפורשות ועקרונות תכנון לעצים במרחב מרוצף. (Urban & Bassuk 1991-2). היום, 2017, נראה שהידע הזה רק מתחיל את תהליך החלחול בישראל. אדריכל הנוף יעקב אילון טוען כי "אדריכלי הנוף מתכננים עצים בשיטת שגר ושכח והם שאחראים למצבם העגום של עצי הרחוב בישראל" (ראיון יעקב אילון 2016).

לפי דבריו של אדריכל הנוף אריאל ברנט, היה מקובל בדור הישן של אדריכלי הנוף, שהעץ יסתדר בעצמו. הבינו שקיים צורך בהשקיה ולכן דאגו להשקות את העץ עם מיכלית. אבל, פרט לזה האמינו שהעץ יסתדר. ברנט מוסיף: "אצלנו במישור החוף, כיוון שהאדמה הייתה טובה, אף אחד לא חשש מפעילות השורשים. זאת אומרת, עד שלא התרוממו כל המדרכות ונגרמו נזקים, אף אחד לא היה ער לעניין הנזק מהשורשים. המשיכו לטעת את הפיקוסים כעץ רחוב עד שנות ה-60.

הפיקוס היה עץ הרחוב הנפוץ ביותר במישור החוף בעיקר בנתניה, רמת גן ותל אביב. ידעו שהעץ הזה לא צריך כלום, הוא יסתדר". (ברנט ראיון 2016)

יעקב אילון כותב: "הניסיון מלמד שאדריכלים מתייחסים בתכניות שלהם לעץ רחוב, כאל אובייקט דומם שניתן להדביק אותו כרצונם בחתכים. גרוע מזה, סמלי העצים בתכניות אדריכליות אינם מייצגים עצים שקיימים במציאות ובכך יוצרים אשליה של חלוקת חלל מאוזנת. לאחר ביצוע הפרויקט מתבררת בהדרגה מציאות שונה. העצים אינם גדלים אך הנזק כבר נגרם, עם השלכות לאורך שנים רבות. (אילון 2010)

העדר מחקר בתחום, ופערי ידע, גוררים אחריהם חוסר הבנה של מקבלי החלטות והעדר משאבים מתאימים לביצוע פרטי נטיעה מתאימים. סקרנה אותי השאלה כיצד התפתחו התובנות לגבי יכולות העצים לשרוד במרחב העירוני וארחיב על כך בהמשך.

4.2.3 הכשרה מקצועית ביערנות עירונית

יערן עירוני (Urban Forester), הינו שם המקצוע האקדמי של מומחה בניהול וטיפול עצים בשטח בנוי, עם מטרה לשפר את איכות החיים של תושבי העיר. היערן העירוני, שולט בכל רזי היערנות מהתמונה הגדולה של ניהול השלד הירוק ועד הכרת השיטות הפרטיקולריות לנטיעה, טיפוח ואחזקת עצים. היערן העירוני הוא פטרונם ומגינים של העצים בסביבה העירונית ופועל להעצמת היער העירוני. תוצאות סקרים שנערכו באה"ב בנוגע להכשרה מקצועית של יערנים עירוניים, עולה המסקנה שעל יערנים לעבור הכשרה אקדמית ייעודית של לפחות שנתיים, בעוד שעל יערנים עירוניים, לקבל הכשרה אקדמית של לפחות ארבע שנים. (McPherson, Elmendorf et al. 1984, 2005) מחקר נוסף לגבי תוכן הכשרת יערנים עירוניים, מצביע על תחומי הידע הבאים כחשובים ליערן העירוני: ניהול עירוני, שיטות נטיעה, גיזום עצים, התאמת מיני עצים לסביבה עירונית, יחסי גומלין בין עצים לקרקע, הכרת תורת השלד ומבנה העצים ועוד. (Wiseman et al. 2011) מחקר שבחן תכניות אקדמיות בתחום יערנות עירונית באירופה, מציע לשלב בתכנית הלימודים תכנים להקניית יכולת ניהול כוללת של שלד עירוני ירוק, בנוסף על התמחות בעצים. אותו מחקר ממליץ כי בשל נפח הידע הנדרש ליערן העירוני, יש מקום שהמקצוע יילמד בפקולטה או מסלול עצמאי, ולא כספח לתחום אחר. (Andersen et al. 2002).

לפני מספר שנים פתחה האוניברסיטה העברית תכנית ללימודי שמירת טבע וניהול שטחים פתוחים, במסגרתה קיים מסלול התמחות קצר ביערנות. במסלול לאדריכלות נוף בטכניון, קיים קורס מרוכז בתכנון עצים במרחב העירוני. ניהול היער העירוני בערי ישראל, מופקד במחלקת גנים ונוף, או במחלקת שיפור פני העיר. (שפ"ע) נושאי המשרה הניהולית הגבוהה, הם על פי רוב מינוי פוליטי, ללא הכשרה מקצועית מתאימה. יד ימינם בנושאים מקצועיים הקשורים לעצים בעיר הוא האגרונום הראשי של העירייה. המקצוע יערן עירוני לא קיים בישראל, לא בתכניות ההכשרה ולא כמשרה ברשויות עירוניות. מחקר זה מציע כי שילוב המקצוע באקדמיה ובהמשך

לכך, שילוב יערנים עירוניים ישראלים בעיריות והפקדת ניהול היער העירוני בידיהם, יש ביכולתו לתרום משמעותית לקידום התחום.

4.2.4 הפרט הסטנדרטי במסמכי מדיניות והנחיות

בשנים באחרונות נכתבו מספר מסמכי מדיניות והנחיות, שמגדירים את המרחב שיש להקצות עבור עצי רחוב במדרכות. בתוך כך ניתן למצוא בחלק מהמסמכים, טבלאות כמותיות להקצאת נפח קרקע בהתאם לגודל העצים. מהשוואת נפחי הקרקע המומלצים בישראל עבור עץ בינוני (עד 10 מ' קוטר נוף) ניתן לראות שהנתון הממוצע נע סביב 6 מ"ק קרקע עבור עץ רחוב. (1.2 מ"ק, במפרט הבין משרדי, 5 מ"ק, במדריך עצי הרחוב, 6 מ"ק, במדריך עצמים וצמחיה, 10 מ"ק, במסמך המדיניות של הועדה המחוזית לתכנון ולבניה תל אביב משנת 2016, ו-5 מ"ק, במסמך משאב העצים העירוני של פקיד היערות). (ראה טבלה 1 בעמוד הבא). בהשוואת נפחי הקרקע המינימליים המומלצים במסמכים אלו למחקרים אמפיריים שהינם הבסיס לגרף היחס נפח קרקע - גודל עץ, שהוצג בפרק שדה הידע (פרק 2 - איור 10), נראה כי הנפחים המומלצים ביכולתם להניב עצים קטנים בלבד, ובכל אופן לא נראה שבאמצעות הקצאת נפח קרקע של 6 מ"ק, יגיעו העצים לקוטר נוף של 10 מ'. קיימת האפשרות ששורשי העצים יפרצו מעבר לבית הגידול המוקצה. אפשרות זו תלויה במידה רבה בסוג הקרקע המקומית וברמת הידוק המצעים סביב בור הנטיעה.

נפח בית גידול מינימלי לעץ רחוב כפי שמוגדר במסמכי מדיניות מקומיים

נפח עבור עץ בינוני (עד 10 מ' קוטר נוף)

שם המסמך	שער	שנת הוצאה	גוף מפרסם	נפח קרקע מינימלי בבית הגידול	הערות
המפרט הבין משרדי		2009	משרד הביטחון משרד הבינוי והשיכון משרד האוצר משרד התחבורה	1.2 מ"ק ההגדרה מציינת את ממדי בור הנטיעה 1X1X1.2	41.04.06.05 הכנת בור לנטיעת עצי רחוב
מדריך עצי הרחוב בישראל		2013	משרד החקלאות ופיתוח הכפר המשרד להגנת הסביבה	5 מ"ק	קיימת המלצה לשימוש בתעלת גידול שמספקת עד 10 מ"ק
הנחיות לתכנון רחובות בערים עצמים וצמחיה		2014	משרד התחבורה	6 מ"ק	עבור עץ בינוני
מסמך מדיניות נטיעות והגנה על עצים במרחב העירוני		2015	ועדה מחוזית ת"א	10 מ"ק	
משאב העצים העירוני החלטות		2016	פקיד היערות משרד החקלאות ופיתוח הכפר	5 מ"ק	

טבלה 1 - נפח הקרקע לגידול עץ רחוב במסמכי מדיניות מקומיים
Table 1 - Tree Planting Soil Volumes in Policy Documents

4.2.5 פער בין מדיניות והנחיות לביצוע בשטח

כפי שהצגתי לעיל, עודכנו בשנים האחרונות הנחיות לשיפור בתי הגידול לעצי הרחוב. המסמכים נגישים כולם בצורה נוחה ברשת. אף על פי כן, מראיונות, שיחות עם בעלי מקצוע וכן מסיוורים בשטח, עולה כי בשנת 2017, רובן המכריע של נטיעות עצי רחוב בשכונות חדשות, מבוצעות על פי סטנדרטים ישנים. לגבי ההנחיות במדריך עצי הרחוב, אומר ישראל גלון: "הוא נועד לשפר את המצב, אך גם כשיש מדריך קשה להגיד שמתמשים בו באופן מובנה". (גלון 2016)

נראה כי קיים פער גדול בין ההנחיות הכתובות לבין הביצוע בשטח. אומרת על כך אגרונומית דפנה הלבית: "קובעי מדיניות ומתכננים האמונים על הביצוע מודעים ובצער למציאות של קביעת מדיניות ברמת ההצהרה לנטיעות עצים מחד גיסא, והתנאים בשטח ברמה הפרטנית המערימים קשיים רבים ביישום מאידך גיסא". (הלבית 2017) נראה כי הפער בין ההנחיות לבין בתי הגידול שמבוצעים בשטח, נובע במידה רבה מהיעדר תקצוב מתאים לשיטות החדשות.

4.2.6 תקצוב הקמת בתי גידול לעצי רחוב

על פי נוהלי העבודה של משרד הבינוי והשיכון, הוצאה לפועל של נטיעת עצים במרחב העירוני עוברת דרך שלב של מכרז עבודות גינון. פירוט האלמנטים, כתב הכמויות והאומדן, מבוססים על פי רוב על פרקים 40-41 ב"מפרט הבין משרדי לעבודות בניה" בהוצאת משרד הביטחון (המפרט הבין משרדי 2009). מכיוון שפרט הנטיעה היחידי המוזכר במפרט זה הוא הפרט הסטנדרטי של 1X1 מטר, נגזר התמחור של פרט הנטיעה לעץ הרחוב בהתאם. מסקר שערכתי עם גורמים מקצועיים לגבי הקצאת משאבים לבתי גידול של עצי רחוב, עולה כי בחלק הארי של הפרויקטים לגינון ופיתוח, עלות נטיעת עץ רחוב בודד, נעה בתוך התחום של בין אלף לאלפיים שקלים. (2000-1000₪). זהו למעשה עלותו של הפרט הסטנדרטי שתואר לעיל. (פתח נטיעה כולל שתיל עץ ועבודה). אומר על כך אגרונום דני אלמליח: "ניתן למנות עשרות פרויקטים בהם השינוי בחשיבה והתקציב המשמעותי הנדרשים לבית הגידול הראוי לעצים פשוט לא נלקחו בחשבון". (אלמליח 2016)

בהתפלגות אומדן העלויות של אלמנטים נופיים המרכיבים פיתוח של אתר נתון, יש כדי ללמד על סדרי עדיפויות והגדרת חשיבות המרכיבים בנוף. נראה כי קיימת חוסר התאמה בין ההכרה הגוברת בתרומתם של העצים לעיר, לבין תקצוב הנטיעה של עצי רחוב. גרגורי מקפרסון, חוקר ב - ISA מתאר מצב דומה בארה"ב:

"There's a disconnect between what the science is telling us and the investments we're making" (Gregory McPherson, ISA, USA)

לשם השוואה עם אלמנט נוסף, מחירו של עמוד תאורת רחוב, הפשוט ביותר, נע סביב 10,000 ₪. (ראה איור 36) שאלתי את דני אלמליח אם ראוי להשקיע סכום דומה בעץ רחוב וזו תשובתו: " יש לבחון את השאלה בהקשר הרחב של תפקיד העץ לאורך כל שנותיו, טובת הציבור בריאותו ורווחתו לעומת טובת הפרט, תרומת העץ לסביבה, חלוקה הוגנת וראויה של הכספים הנגבים בבניה חדשה, איכות התכנון ועוד". (אלמליח 2016)



איור 36 - עלות עץ רחוב לעומת עלות עמוד תאורת רחוב
Figure 36 - Street Tree Planting costs

4.2.7 עיריות מעדיפות עצים קטנים

דני אלמליח טוען: "אין לי ספק שהערים מעדיפות לשמור על עצים קטנים", אלמליח מספר כי בשנת 1995 הוא שם לב לתופעה שהעצים הגדולים נעלמים מהנוף, הן העירוני והן הפתוח. "העץ הגדול הפך למשהו מאיים, למעשה כל המערכת הקטינה את העצים, כבר לא משתמשים בעצים הגדולים. קשה לטפל בהם, יש קושי מקצועי להתמודד איתם". דני מוסיף שמרכזי הגיזום לקבלנים לא מותאמים להתמודד עם גיזום עץ בגובה 25 מטר. עבור מחלקות התחזוקה של העיר זוהי סוגיה שונה לגמרי להתמודד עם שדרות פיקוסים בגובה 20 מטר, לעומת שדרות עצים בינוניים בגובה 8-10 מטר. (אלמליח ראיון 2016)

ישראל דרורי, מנהל אגף גנים ונוף בפתח תקווה, מחזק את תפיסתו של דני אלמליח. לטענתו העצים במדרכות העיר הופכים יותר ויותר קטנים. הסיבה לכך היא שהעצים הגדולים מרימים מדרכות, מלכלכים וחורגים מהמרחב הציבורי לחצרות הפרטיות. לדבריו תושבי העיר רגישים מאוד לענפי עצים שחורגים לשטחם. המחלקה המשפטית, מנחה את אגף גנים ונוף בפתח תקווה, להיזהר מחריגות. הוא מוסיף: "אנחנו מחליטים מה לשתול ואנו מתאימים את העצים לפי המרחק שיש לנו מבתי פרטיים וחצרות. גם בהיבט של אחזקה, העירייה מעדיפה עצים קטנים. אני לא אשתול פיקוסים. גם אם אתה שם עץ גדול, לאחר מכן אתה נאלץ לגזום אותו, אז מה השגת?"

דבי לרר, מתכנת נוף, יועצת ומנחת תהליכי קיימות ברשויות ועיריות, מציינת שקיים פחד ברשויות מעצים גדולים. "פחד מהרמה של ריצוף, פחד מחוטי חשמל והקושי להתמודד עם עיצוב העצים בטווח הארוך". קיימת מגמה ברורה של בחירה ב"עצים קטנים ומסודרים. שלא יעשו בעיות. עצים כגון שזיף פיסרדי, לגיסטרמיה הודית, ועוד". (לרר ראיון 2017)

דני אלמליח מוסיף: קיים קמפיין כנגד העצים הגדולים. בנושא הפיקוסים קיימת יחצנות של גיזום שלהם שבאה להתמודד עם הלכלוך של הפגות. לגבי האקליפטוסים, קיים קמפיין שמזהיר בתחום הבטיחות, סכנות שבר ונפילת ענפים גדולים. גם התושבים עצמם לא יודעים להעריך עצים

גדולים מאוד. הם רואים בעצים גדולים משהו מאיים. "ברגע שעץ גדול מאוד אתה לא יכול לשלוט באקולוגיה שלו, למשל ציפורים. אותו דבר עם חריגה לקו בנין, חוטי חשמל, כל הדברים הנלווים מגבילים בסופו של דבר את גודל העץ." (אלמליח 2016)

ישראל דרורי, ראש מלקת גנים ונוף בעיריית פתח תקווה, התייחס בראיון לממדי העצים: "מצד אחד התושבים מבקשים שנגזום את העצים הגדולים, מצד שני הם לא מוכנים להיות בלי עצים. אז קודם הם היו נקראים עצים גדולים והיו גוזמים אותם לקטנים, והיום העצים שאנחנו נוטעים הם מראש יותר קטנים מבחינה גנטית". (דרורי 2016)

אגרונום דני אלמליח מוסיף: "אני לא בטוח שמישהו עשה את החשבון הכלכלי, מהניסיון שלי במכון ויצמן, יותר זול לטפח עצים גדולים מאוד עם גיזום תקופתי של אחת למספר שנים, מאשר לרדוף אחר העצים האלו מרדף שווא, שבו כל שנה שנתיים צריך לגזום אותם בצורה מסיבית, לעצור את התנועה, בהתאם לחוק הרעש שמאפשר לעבוד רק בשעות מסוימות." (אלמליח 2016)

מתוך ראיונות אלו ואחרים שעשיתי, מצטיירת תמונה ברורה של העדפת עצי רחוב קטנים וזאת מתוך עדיפות לקריטריונים פרגמטיים של קלות תחזוקה ויכולת שליטה בעצים. זאת ועוד, ניתן ללמוד כי לשיקולים הפרגמטיים, לא תמיד קיימת לוגיקה סדורה. מדיניות העיריות בנושא ממדי העצים נובעת לרוב מרמת המקצוענות של מחלקות הגינון והשפעת דעת קהל של תושבי העיר.

להעדפת עצי רחוב קטנים או בינוניים, על פני עצים גדולים, יש משמעויות רבות. ראשית, הצגתי בפרק שדה הידע כי מחקרים מראים שלעצים גדולים מיוחסת תרומה סביבתית גדולה משל עצים קטנים (פרק 2, איור 6). שנית, במספר עיריות בעלות מדיניות אסטרטגית מתקדמת לניהול יער עירוני (מלבורן, פורטלנד וטורנטו לדוגמא), מדד מרכזי לאיכות הייעור היא רמת הכיסוי של חופת הצמרות הכללית מעל העיר (UTCC), וזאת על פני מספר העצים הנטועים ברחבי העיר. שלישית, בהיבט האדריכלי, קיימת חשיבות רבה לעצים גבוהים ורחבי נוף. בעיר איכותית מתקיימת לרוב היררכיה של גדלי רחוב. בראש היררכית הרחובות, רחוב ראשי מסחרי ברוחב 30 - 40 מטרים. ברחובות הגדולים נחוצים עצים גדולים על מנת לייצר חללים ומסדרונות עירוניים בעלי קנה מידה שמתאים לסביבה הבנויה. בהיבט בית הגידול של עצי הרחוב, לטובת תמיכה בעץ גדול, נדרש מאמץ רב יותר באספקת נפח קרקע מתאים.

4.2.8 סטנדרט שתילים במשתלות

על פי סטנדרטים הנהוגים באירופה וצפון אמריקה, מעוצבים עצי רחוב על פי פרוטוקול גיזום שמכין את העץ לתפקודו בחלל רחוב עירוני. הבדל משמעותי בין עצים אלו לעצי גן, מקבל ביטוי במבנה שלד עץ עם עץ מרכזי מוביל וביכולת להרמת נוף העץ עם גדילתו. הסטנדרט הנהוג בישראל, שונה בתכלית. מתאר זאת יעקב אילון: "משתלות עצי הנוי בישראל מייצרות מוצר מוגמר של שתילי עצי רחוב זולים עם מבנה בעייתי. העצים עם התפצלות בגובה 220 ס"מ, תוך יצירת שלד ללא ענף מוביל. בתוך כך, גורלו של העץ נחרץ להיות עם זרועות נמוכות הנפגעות על ידי משאיות ברחובות. עצים אלה ללא ענף מוביל מוגדר, אינם גדלים מספיק לגובה, מצד אחד, ולא ניתן "להעלות" את הנוף שלהם במהלך התבגרותם, מצד שני. (יעקב אילון 2016)

בעיה נוספת בתחום זה הינה השאיפה של עיריות לבחור במשתלות עצים גדולים ככל שניתן. גישה זו היא בעייתית, משום שככל שהעץ גדול יותר בזמן הנטיעה, כך תהיה תקופת ההתאוששות שלו מהטראומה של ההעסקה, ארוכה יותר. (ראה הרחבה על סטנדרט השתילים בפרק הדיון)

4.2.9 אחזקת עצי רחוב

משרד אדריכלות הנוף מוריה סקלי, בשיתוף אגרונום דני אלמליח, הינם בין המובילים, בהשמת שיטות חדשות לנטיעת עצי רחוב. (רחוב אבן גבירול, חנה וסע שפיריס) כאשר ביקשתי מדויד סקלי לשים את האצבע על הגורם המשמעותי ביותר להצלחת עצי רחוב, הוא ציין שלדעתו הקפדה על ביצוע איכותי של נטיעות ורמת התחזוקה לאחר נטיעה הם שיקבעו את גורל העץ.

כדוגמא הוא מביא את שכונת המשתלה בתל אביב. (סקלי 2016)

עוד טוען סקלי, כי ניתן לראות מגוון תוצאות ברמת הצלחת עצי הרחוב, עצי רחוב מאוד מצליחים וכאלו שכשלו. את כישלון עצי הרחוב מסביר סקלי כך: "ראשית, לדעתי המכשלה הבסיסית ביותר היא לא מכשלה בתשתיות אלא משהו שהוא הכי ישראלי בעולם זה: רמת האחזקה שהיא בעייתית והיא מביכה. שנית, אילוץ או מכשלה נוספים זהו המצאי שעומד לרשות היער הישראלי באיכות השתילים שאפשר להתבסס עליהם. אלה שני הדברים שהם לדעתי משפיעים אולי בצורה יותר מהותית מאשר טכנולוגיה כזו או אחרת של הכנת השטח לעצים". (סקלי 2016) מחזק את דבריו גם חיים גבריאל, אגרונום העיר תל אביב, בטענה כי בנושא אחזקה וטיפוח של עצים צעירים, יש מקום רב לשיפור. (גבריאל 2016)

4.2.10 שלד העצים העירוני בתהליך התכנון

בפרק שדה הידע התייחסתי לתרומתו של היער העירוני לסביבה הבנויה. יחד עם זאת, דנתי בעובדה ששילוב מערכות אקולוגיות דינמיות כמו עצים, בסביבה בנויה, רווית תשתיות ושימושים, הינו נושא מורכב שיש לתכנן בכובד ראש. ניתן לומר כי מדיניות ותכנון הם למעשה חשיבה על תכנית פעולה ובעקבותיה, בניית מנגנון שיאפשר את הוצאת החזון מן הכוח אל הפועל. בשל העובדה שתכנון מסתמך על טרנדים בהווה אך מתיימר לשרטט את העתיד, תמיד קיים הסיכון של עשיית טעויות בשל חוסר וודאות. Robert Miller, חוקר וסופר בתחום הייעור העירוני, טוען שכאשר מדובר בשלד העצים העירוני, "איננו יכולים להרשות לעצמנו לא לתכנן לטווח ארוך". (Miller 2015).

בעשור האחרון, לאור מגמות של שינויי אקלים, מתקיים דיון ער בדרכים להפיכת ערים למקיימות וכן בחוסן עירוני (resilient cities). כפועל יוצא, קיימת מגמה בעולם המערבי ליצירת מגוון רחב של מסמכי מדיניות ותכנון בתחום ייעור עירוני. ערים כגון מלבורן, וונקובר, סידיני, פורטלנד, טורונטו וניו יורק, יצרו ופרסמו בשנים האחרונות, תכניות אסטרטגיות לייעור עירוני ברמות פרוט שונות. (Sandberg et al. 2015) לדוגמה בתכנית האסטרטגית של מלבורן 2012-2032, נכתב: "במקומות בהם מתקיים תהליך פיתוח מהיר ומשאב הקרקע הפנויה קטן, קיימת חשיבות רבה לתכנון יצירתי של השלד הירוק כחלק אינטגרלי מתהליך תכנון העיר".

התכנית של מלבורן, סוקרת את משאב היער המקומי, מציפה אתגרים, מציבה סדרי עדיפויות ועקרונות תכנון וכן מפרטת דרכי ביצוע, סטנדרטים ודרכי מימון. (Melbourne, Urban Forest Strategy 2014).

בתכנון היער העירוני, אולי יותר מתחומים אחרים, יש לעודד את הקהילה המקומית לקחת חלק פעיל בתהליך התכנון (שיתוף ציבור). באופן זה ניתן יהיה לוודא שמטרות התכנית ויעדיה יקבלו רוח גבית ותמיכה מתושבים שחיים את העיר יום יום.

תכנון היער העירוני

מתכניות אסטרטגיות ליעור עירוני שבחנתי עולה, כי השלב הראשון בתהליך התכנון הוא הבנת המשאב המתוכנן. אומר על כך James Schwab חוקר ב USDA " אם אתה לא יודע איפה היית, קשה לדעת לאן אתה הולך". המודל הבסיסי לתכנון היער העירוני על פי רוברט מילר, שואל שלוש שאלות מרכזיות, בסופן תהליך של היזון חוזר. (Miller 2015) (ראה איור 37).

1. **מה יש לנו?** בשלב הראשון יש לייצר בסיס ידע. על ידע זה להקיף תיאור מהימן של מצב מצאי היער בהווה, אך עליו לכלול גם נתונים היסטוריים ומפות ישנות על מנת לאפשר למתכנן לבחון מגמות ושינויים על ידי השוואת נתונים. על בסיס הידע לכלול גם נתונים דמוגרפיים ומגמות חברתיות.
2. **מה אנו רוצים להשיג?** בפרק זה נכללות המטרות שנרצה להשיג. זוהי משימה מורכבת, משום שבדרך כלל קיימים חילוקי דעות לגבי המטרות בין קבוצות בעלי עניין ונחוצה הסכמה על מטרות משותפות.
3. **איך נשיג זאת?** כאשר הושגה הסכמה לגבי מטרות עתידיות, פורטים חזון ומטרות ליעדים ומשימות שמקבלים ביטוי בניסוח מדיניות, בתכניות, הנחיות ומפרטים. שלב זה מסתיים בחקיקה, מאושרר על יד מקבלי ההחלטות ומלווה בידוע הציבור.



איור 37 - מודל תכנון היער העירוני
Figure 37 - Urban Forest Planning Model Robert Miller

4. **היזון חוזר** - תהליך התכנון חייב לעבור הערכה רצופה כחלק מתהליך משוב. וזאת על מנת לתקן ליקויים תוך התקדמות. לדוגמה, בכדי להכריע באיזו מידה מדיניות ציבורית היא אפקטיבית, יש להעריך את תוצאותיה ובמידת הצורך לתקן. (Miller 2015)

למרות גילה הצעיר, קיימות בישראל מספר דוגמאות מעניינות של תכנון שלד עירוני ירוק. בסוף שנות השלושים התווה מתכנן הערים פטריק גדס (Patrick Geddes) את תכניתו המפורסמת, שקיבעה את מערך השדרות העירוני שמפארת את העיר תל אביב עד היום. בשנות השבעים קבע יוסף קולודני, מהנדס העיר את תכנית המתאר הרביעית של כפר סבא שכללה את הרעיון "עיר טובלת בירק", מאז ניתן למצוא מספר דוגמאות למגמות דומות בערים אחרות, אך יחד עם זאת ניתן לומר שמאז ועד היום לא תורגם הצורך בשלד ירוק עירוני להליך תכנון מובנה עם הנחיות מחייבות.

אזכור ראשון במסמכי מדיניות ותכנון של הצורך בייעור עירוני ניתן למצוא במסמך תמ"א 22 שהתקבלה בשנת 1995 (תכנית מתאר ארצית ליער וייעור). למרות שעיקרה של התכנית עוסק ביערות בשטחים הפתוחים. כותבים עורכי התמ"א במסמך המדיניות כך: תמ"א 22 הצביע בעבר על הצורך המתבקש בנטיעות וביצירת חגורות ירק סביב ישובים...גישה זו הלכה והתרחבה במגמה להקים בערים ובשוליהם יערות עירוניים."

עיקר מאמצי הייעור של קק"ל בתחום ערים מתבטא בהקמת יערות עירוניים כחלק מפארקי תוואי נחל. לדוגמה בערים: ירושלים, בית שמש, לוד, בית שאן, אופקים ובאר שבע. ברוב המקרים נתפס היער העירוני כריאה ירוקה בתוך העיר (קפלן 1999). זאת ועוד, מהתבוננות בתכניות אב גדולות ושאפתניות, כמו זו של נחל באר שבע, ניתן לראות התייחסות לתכנון צירים ירוקים לחיבור העיר והפארק. וכך נכתב במדיניות התכנית: שליחת אצבעות ירוקות לתוך המרקם העירוני הקיים... ישפרו את הזיקה בין העיר, הנחל והפארק" (תכנית האב לפיתוח נחל באר שבע 2002). בשנת 2007 התפרסמה יוזמה ציבורית של האדריכלית נעמה מליס בשם "עיר יער – התנועה הדחופה ליעור עירוני". במצגת שהפיצה התנועה לעיריות יש שלד תכנית פעולה עירונית לגיבוש תכנית נטיעות. (מליס 2007) בנוסף לכך ניתנת רשימת הנחיות בנושא נטיעות עירוניות להטמעה בהנחיות תקנון של תכניות חדשות. בשנת 2013, פורסם מדריך עצי הרחוב בישראל. המדריך, מקיף ביסודיות את כל הנושאים הקשורים בעצי רחוב, איך איננו עוסק בראיה כוללת של שלד עירוני. (גלון, הלר 2013)

נטיעות והגנה על עצים במרחב העירוני

בשנת 2015 פרסמה הוועדה המחוזית תל אביב את המסמך נטיעות והגנה על עצים במרחב העירוני. מסמך פורץ דרך שלראשונה בישראל מתווה אמות מידה מקצועיות וקווים מנחים להתייחסות תכניות מתאר עירוניות לשלד העצים העירוני. במסמך קיימת הנחיה לכלול בנספח הנופי את שלד העצים העירוני, הקיים והמתוכנן. כמו כן קיימת הנחיה להרחבת שלד זה לביטוי

קישוריות עירונית למוסדות ציבור, מרכזי תחבורה ומסחר. על פי המסמך, על תכנית המתאר לכלול הוראות לתכנון מפורט המתייחסות לשלד העצים העירוני, לשימור עצים בוגרים, נטיעות חדשות וכן הנחיות לטיפול, תחזוקה וממשקים עם תשתיות עירוניות. (נטיעות והגנה על עצים במרחב העירוני 2015)

בשנת 2016 פרסם אגף יער ואילנות במשרד החקלאות, מדריך למקבלי החלטות בשם "משאב העצים העירוני". המדריך מבוסס על תרגום של מסמך בריטי וכולל 12 עקרונות לניהול משאב העצים העירוני. בין היתר קורא מסמך זה, ל"הפעלת אסטרטגיית עצים כוללנית" המטרה לפתח ולנהל יער עירוני משגשג. (משאב העצים העירוני 2016). מחד גיסא, ניתן לומר כי ברמה הארצית מקבלת ההכרה הגוברת בתכנון סדור, ארוך טווח, של היער העירוני, ביטוי במסמכי מדיניות והנחיות תכנון. מאידך גיסא, מבדיקות שערכתי עם מחלקות גינון עירוניות ותכנון ארוך טווח, לא קיימים מסמכי תכנית אב או תכניות אסטרטגיות מקיפות לייעור עירוני. כן ניתן למצוא התייחסות חלקית לנטיעה, גיזום ותחזוקה בהנחיות מרחביות ונוהלים מקומיים. (לדוגמא, נוהל 809, נוהל טיפול בעצים הנטועים בתל אביב יפו)

5.1 שינוי פרדיגמה - העץ תשתית לכל דבר וענין

בשנת 1988 כתבה אדריכלית הנוף אילה משגב ז"ל, בעבודת המאסטר שלה "הליך תכנון משק עצי הרחוב בישובים עירוניים" כך: "...חוסר מודעות של אזרחים ואנשי ציבור לערכם הרב של העצים בעיר גורם להתייחסות מעטה בלבד באשר לגורלם. חסרונם של מדיניות תכנון ברורה לטווח ארוך ושל מערכת יעדים מוגדרת להשגת האיכויות הרצויות מהעצים, מביאים להכחדתם היומיומית." (משגב 1988).

בשנת 2017, ניתן לדבר בזהירות על שינוי מגמה חיובי באשר לרמת ההתייחסות למשאב העצים העירוני ואולם, חלק נכבד ממסקנות מחקרה של משגב, מסוף שנות השמונים, עדיין רלבנטי מאוד גם היום.

פרדיגמה היא המשקפיים דרכן אנו רואים את העולם, משקפיים אלו חשובות לנו כחלק מתהליך הפיכת מחשבה למעשה. אולם, כאשר קיים מצב שהפרדיגמה שגויה או נתפסת כבלתי ניתנת לערעור, יוביל מצב זה למסקנות שגויות ואף לפעולות מזיקות.

מחקר זה מצביע על כך כי קיימת פרדיגמה שגויה בתפיסת מהותו של יער עירוני (ראה פרק 4 עמ' 60). אדריכל הנוף ההולנדי אדריאן גיאוזא *Adriaan Geuze*, טוען כי עיר טובה מבוססת על שלושה אלמנטים מרכזיים, תשתיות עירוניות, אינטראקציה חברתית וטבע (Geuze 2007).

ברור לכל כי עיר יעילה נשענת על מערכת תשתיות איכותית. אולם המינוח "תשתית עירונית" מתייחס להגדרה הבאה: "תשתיות עיר מסורתיות משלבות פתרונות הנדסיים למערכות תחבורה, תקשורת, וחשמל, וכן מערכות מים, ביוב וניקוז, כאשר בתכנון מערכות אלו מושם דגש על חסכון, הספק ויעילות". (Ying-Yu Hung SWA, 2011) בהגדרה המקובלת, לא נכללות תשתיות ירוקות.

"Landscape Infrastructure" הינה מתודולוגיה שפותחה בעשור האחרון ומרחיבה את תחום ההגדרה של אדריכלות הנוף לעיצוב מערכת נופית, רב תפקודית הכוללת את אותן מערכות תשתיות מסורתיות אך מוסיפה עליהן את כלל הישויות הטבעיות הקיימות בעיר לכדי מערכת תשתיות עירונית אחת. (Ying-Yu Hung SWA, 2011)

נחוץ שינוי פרדיגמה, עצים הם תשתית לכל דבר וענין. ביום בו ישתכנעו מקבלי החלטות ברמה הלאומית והעירונית כי יש להתייחס לתשתית ירוקה באותה רצינות וכובד ראש כמו לתשתיות הנדסיות מסורתיות, צפוי שינוי משמעותי בסיכוי למיצוי פוטנציאל התרומה של היער העירוני לאיכות החיים של תושבי הערים בישראל. (ראה איורים 38,39)



איור 38 - נחץ שינוי פרדיגמה
Figure 38 - Paradigm Shift

מדוע לשפר בתי גידול לעצי רחוב?

3



צמצום פגיעה במבנה המיסעה
במבנה המדרכה, בריצוף ובאבני שפה
צמצום אחזקה

2



צמצום פגיעה בתשתיות
תת קרקעיות

1



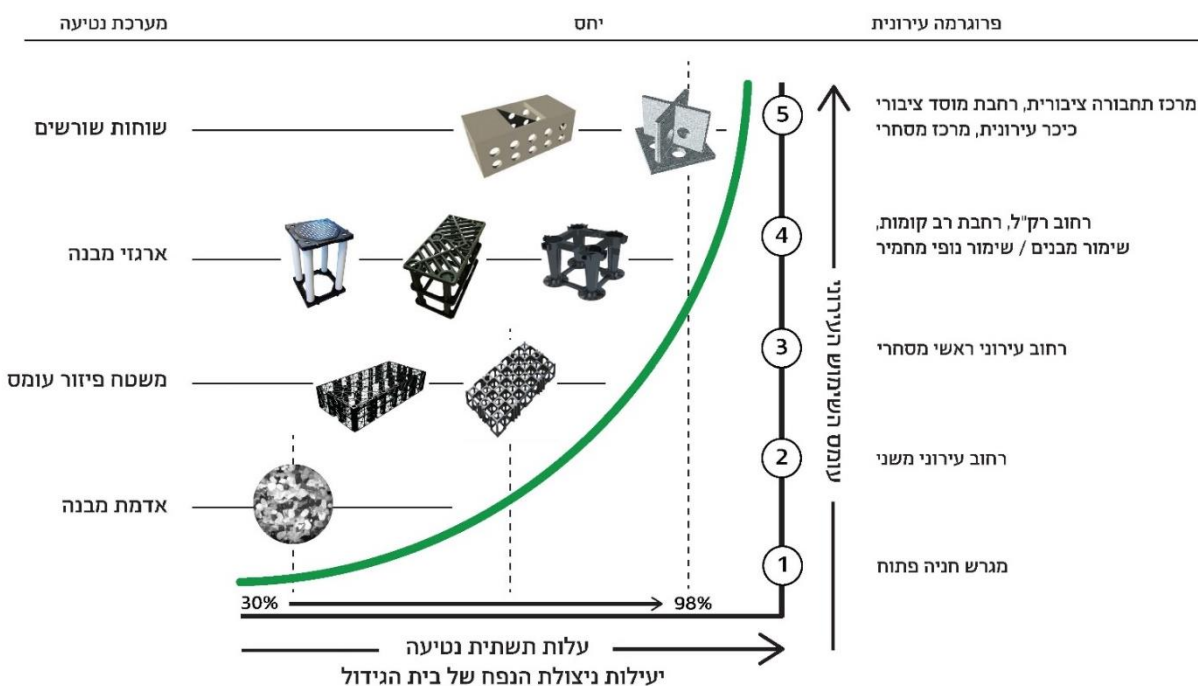
לקבלת עץ גדול, בריא,
מצליל, יפה, תורם לטביבתו

איור 39 – מדוע לשפר בתי גידול לעצי רחוב, פניה למקבלי החלטות
Figure 39 - Reasons to Improve Tree Planting Conditions

5.2 נטיעת עצים בריצוף בהתאמה לפרוגרמה עירונית

קווין לינצ' (Kevin Lynch) בספרו הקנוני משנת 1960: *The Image of the City*, מציע חלוקה לחמישה אלמנטים מרכזיים המרכיבים את העיר: *Paths, Edges, Districts, Nodes and Landmarks*. ניתן לומר שחלוקה זו מאפיינת היטב ערים מוצלחות עד ימינו, אך יש בה גם כדי להשפיע בנושא העצים. בעיר טובה מתקיימת הידרכיה שיוצרות מגוון מקומות בעלי עצימות שונה של פעילות. קיימים אזורי פעילות הומי אדם ב *Nodes and Landmarks*, קיימים רחובות מקומיים שקטים ב *Districts and Edges*, קיימים רחובות עירוניים שהם ה *Paths*. כמו כן קיימות עוד דרגות ביניים עם רמות פעילות שונות.

כפי שתיארתי בפרק 4, למערכות נטיעה שונות, תג מחיר שונה. בדרך כלל, ככל שיעילות ניצולת הנפח של בית הגידול עולה, עולה גם מחיר המערכת. לפיכך מציע מחקר זה ליצור התאמה בין רמת השימוש וחשיבותן של נקודות עירוניות, לבין איכות מערכת הנטיעה שתותקן במרחבים אלו. (ראה איור 40) ככל שזרימת הולכי הרגל, או רמת האינטנסיביות של השימוש בכיכר עירונית גדולה יותר, כך צריכה להיות גם השקעת המשאבים בתשתית נטיעה איכותית שתניב עצים גדולים יותר. לפרויקטים גדולים, משאבי תכנון וביצוע גדולים ולכן הם יוכלו לשאת ביתר קלות מערכות נטיעה יותר יקרות.

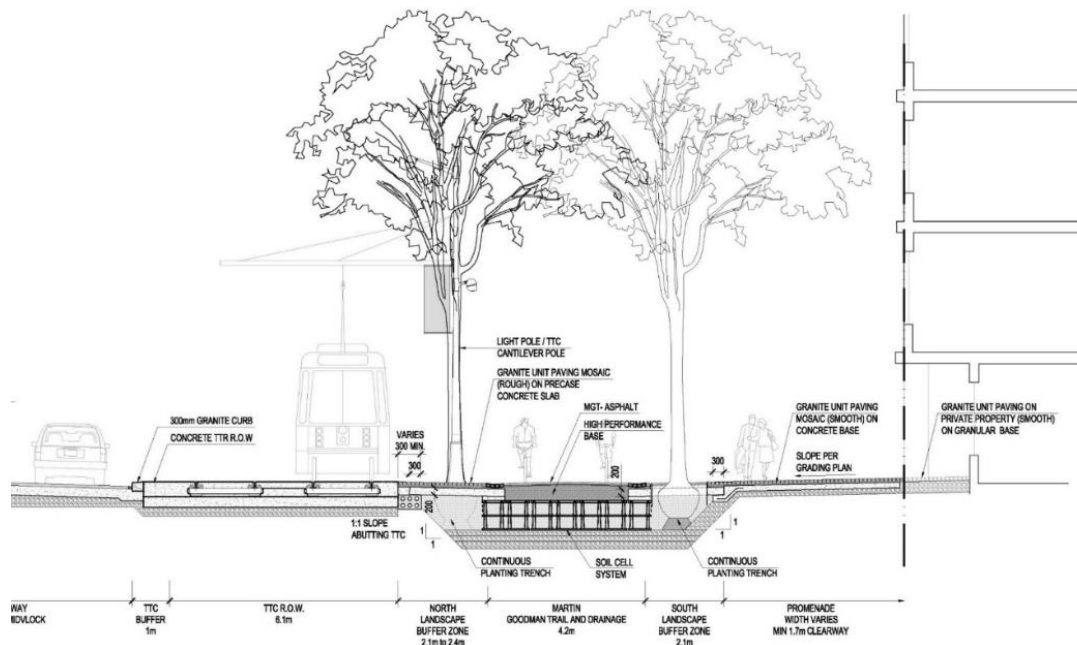


איור 40 - מערכות נטיעה לעצים בריצוף בהתאמה לפרוגרמה עירונית
Figure 40 - Tree Planting Systems in relation to Urban Programme

5.3 שילוב בתי גידול לעצים ושבילי אופניים

"בשנים האחרונות חדרה לתודעת הציבור והרשויות בעולם ובישראל המודעות לאמצעי התחבורה האישיים, כמו הליכה ברגל ורכיבה על אופניים. אמצעים אלו מהווים מרכיב חשוב במערכת התחבורה העירונית - חיזוקם ועידודם מהווים גם חלק ממדיניות התחבורה בישראל שגובשה לקראת המאה ה-21". (הנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת אופניים 2009)

על פי מסמך ההנחיות של משרד הבינוי והשיכון שהוזכר לעיל, נכלל שביל האופניים במסגרת השטח המיועד ל"זכות הדרך" ע"פ שלוש רמות הפרדה שונות: א' - ללא הפרדה מהכביש, ב' - הפרדה מזערית, באמצעות סימון בלבד, ג' - הפרדה מרבית, שהינה יצירת שביל אופניים עצמאי, המופרד פיזית מנתיבי התנועה של הרכב המנועי. כאשר מתוכנן רחוב ובו שביל אופניים עם הפרדה מרבית (דרגה ג'), קיימים מספר יתרונות לשילוב בית גידול לעצי רחוב מתחת לתשתית תחבורתית זו. (ראה איור 41) ראשית, קים צורך בהצללה של נתיב הרכיבה. במידת האפשר, סדרה כפולה של עצים. שנית, תקני העמסה לשביל אופניים אינם צריכים לעמוד בנשיאת רכב. יתרון נוסף הוא שברוב המקרים לא מותקנות תשתיות עירוניות תחת שבילי אופניים.



Queens Quay Toronto, שילוב בית גידול לעצי רחוב מתחת שביל אופניים, איור 41
 Figure 41 - Tree Planting Systems and Bicycle Lanes, Queens Quay Toronto
 West8+DTAH

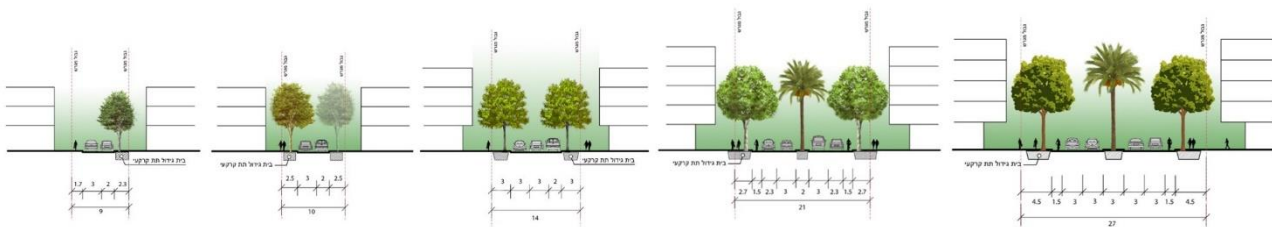
5.4 מדרג שיטות בתי גידול

ערים צריכות עצים גדולים (ראה איור 6) תרומתם לעיר גדולה לעין ערוך משל עצים קטנים. על כן יש לשאוף לנטיעת העץ הגדול ביותר שחתך הרחוב יכול לשאת. (מסמך נטיעות והגנה על עצים, וועדה מחוזית תל אביב). זאת ועוד, ערים מאופיינות בהידרכיה של מגוון ממדי רחובות. (איור 43) גם ברחובות צרים נחוצים צל עצים ועלווה ירוקה. על מנת לאפשר את שיפור מרחב המחיה של עצים במגוון חתכי רחוב ורמות תקציב, יש צורך בקטלוג פרטים ובארגז כלים מפותח עם שלל שיטות ומערכות נטיעה. ברחובות חדשים עם מדרכות רחבות, קיימת גמישות בבחירת שיטת הנטיעה ואפשרות להקטנת עלויות למשל על ידי שימוש בתעלות נטיעה פתוחות או באדמה מבנית. (ראה פרק 2 עמ' 38)



איור 42 - La Rambla, Barcelona - עצים גדולים לרחובות גדולים

Figure 42 - Large Urban trees, La Rambla, Barcelona



איור 43 – מגוון מערכות נטיעה למדרג רחובות

Figure 43 - Street Profile Size Gradient

ברחובות צרים, עם מדרכות שמאפשרות נטיעת עצים (מדרכה רחבה מ- 2.5 מ'), וכן ברחובות שעוברים התחדשות עירונית תוך שמירה על תשתיות קיימות, ידרשו מערכות נטיעה יותר יקרות שמאפשרות גמישות מורפולוגית גבוהה, לדוגמא ארגזי מבנה.

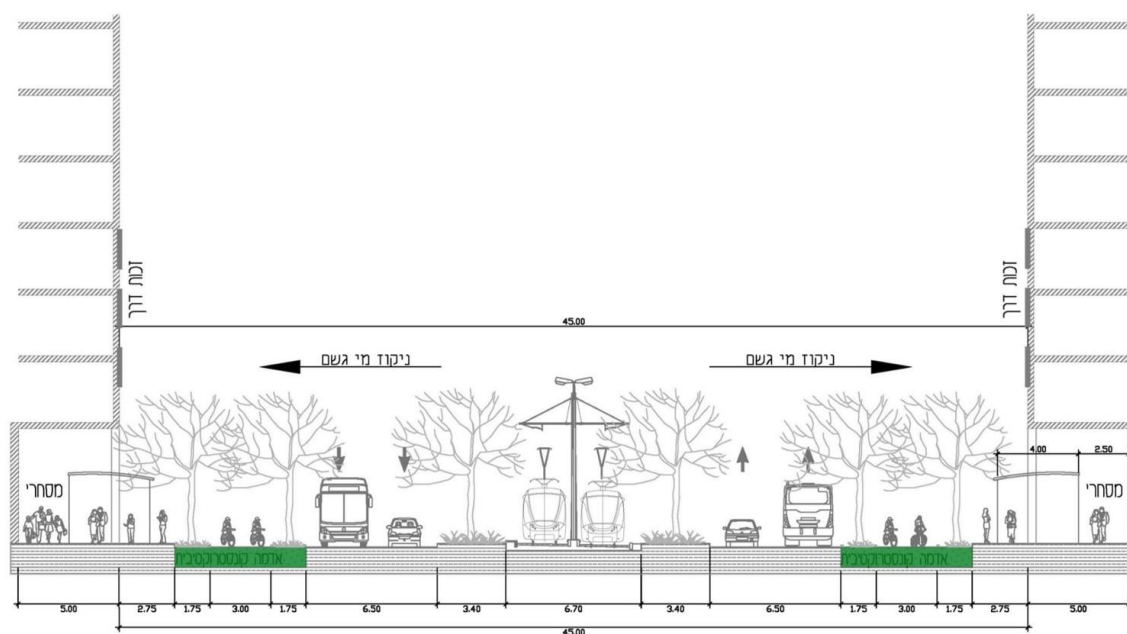
5.5 תכנון בתי גידול לעצים בשלב התב"ע

כפי שנכתב בתת הפרק עץ הרחוב על מנת לגדל עץ רחוב בריא, נדרש נפח קרקע מתאים לאספקת דרישותיו הביולוגיות של העץ. במקרים רבים נערך הדיון על שילוב בתי גידול בחתך הרחוב, בשלב מאוחר של תהליך התכנון, לאחר שמרכיבי הרחוב האחרים כבר נקבעו. במצבים כאלו כל שנותר הוא למזער נזקים ולהשיג עבור העץ את הנפח הגדול האפשרי בינות לתשתיות.

על פי הנחיות משרד השיכון מורכב תהליך התכנון משבעה שלבים (משרד השיכון תהליך התכנון): בדיקת היתכנות, הכנת תכנית אב, הכנת תדריך תכנון, הכנת תכנית שלד, הכנת תכנית בניין עיר (תב"ע), תכנית בינוי ופיתוח ותכנון מפורט לביצוע.

כיום, מוגדרים בתי הגידול לעצים בשלב המתקדם של התכנון המפורט לצד יתר פרטי הגינון, כחלק מחוברת פרטי עבודה של פיתוח הנוף. בשלב זה, שלד התכנית כבר קיים, בוצע תיאום תשתיות ותכנון התחבורה וזכות הדרך כבר נסגר.

לפיכך מציע מחקר זה, להקדים את שלב תכנון בתי הגידול לשלב התב"ע. באופן זה ניתן יהיה להוסיף את עתיד העצים למכלול השיקולים בשלב שבו עדיין תתאפשר חשיבה יצירתית על מגוון פתרונות מרחביים. תקדים חיובי שמיישם תפיסה זו ניתן לראות במסמכי התכנון של שכונת שדה דב שנמצאת בתהליך תכנון (אהרונסון אדריכלים). בחתכי הרחוב של שלב התב"ע, שולבו בתי גידול רחבים, נקיים מתשתיות תוך תיאום מלא עם גורמי ההנדסה. (ראה איור 44)

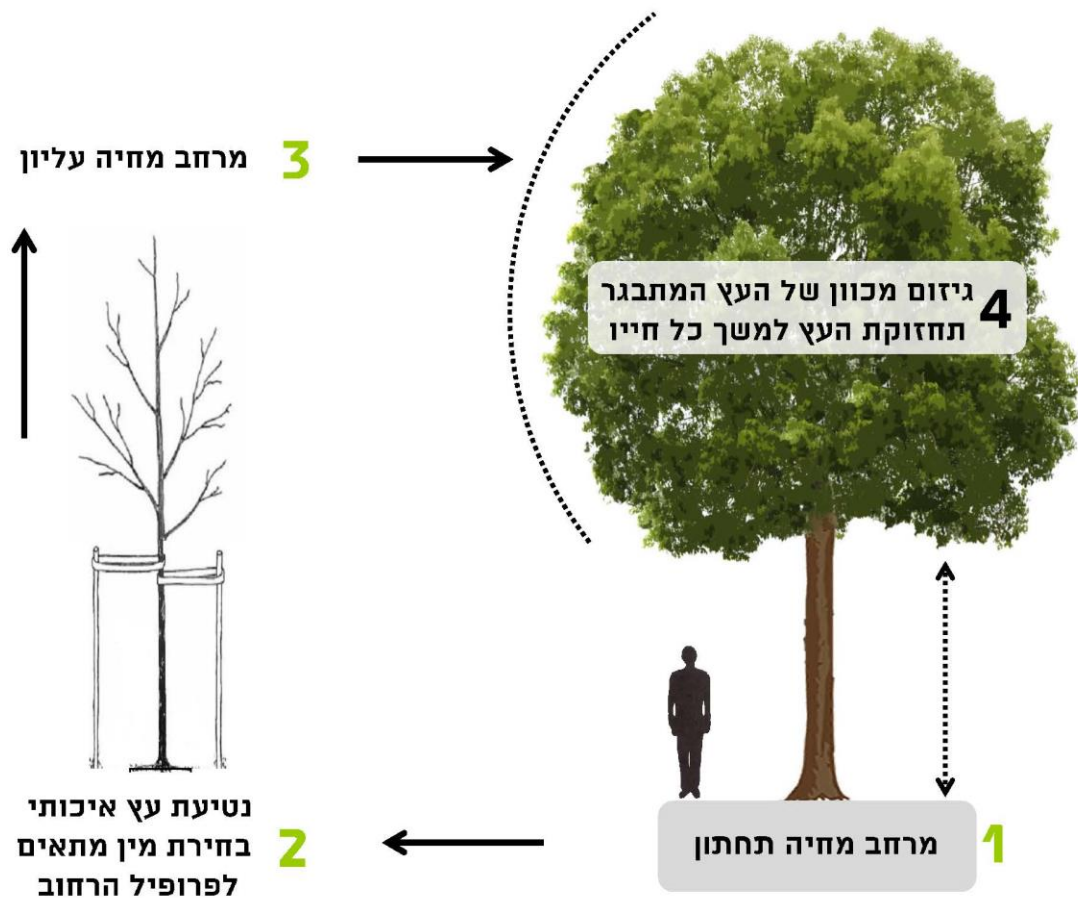


איור 44 - שילוב בתי גידול לעצים בשלב התב"ע, שדה דב, אהרונסון אדריכלי נוף

Figure 44 - Street Tree Planning in the Masterplan Phase

5.6 ארבעה תנאי יסוד להצלחת עצי רחוב

המחקר מאמץ ומרחיב מודל שפיתח אדריכל הנוף יעקב אילון בשם "עצי רחוב- ארבעה תנאי יסוד לתכנון בר קיימא" (אילון 2010). לתפיסתו של אילון, האפשרות ליצור שדרות ורחובות, שלאורכם גדלים עצים מטופחים היא "תוצאה של גישה מקצועית כוללת: תקן נכון לעצי רחוב, תכנון העצים המתאימים, נטיעתם במרחב מחייה מתאים ואחזקה מקצועית (אילון 2010). לתפיסה זו נתן אילון ביטוי דיאגרמטי בהגדרת ארבעה תנאי יסוד להצלחת עצי רחוב: 01 - מרחב המחיה התחתון, 02 - ייצור עץ איכותי, 03 - בחירת מין מתאים לשתילה ברחוב, 04 - גיזום מכוון של העץ התבגר. הגשמת ארבעת התנאים על פי אילון, תבטיח טיפוח עץ רחוב בריא ומאריך ימים.



איור 45 - תנאי יסוד להצלחת עצי רחוב מבוסס על מודל של אדריכל הנוף יעקב אילון

Figure 45 - 4 Basic Requirements for the Success of Street Trees

על בסיס הממצאים של מחקר זה, בחרתי לאמץ את המודל של יעקב אילון כבסיס תוך ליטוש והוספה של תנאים להבטחת עתידם של עצי הרחוב. (ראה איור 45) התנאי הראשון של אילון "מרחב מחייה תחתון" הינו התנאי הבסיסי ונותר במלואו במודל המשופר המוצג במחקר זה. התנאים השני והשלישי של אילון, "ייצור עץ איכותי" ו-"בחירת מין מתאים לשתילה ברחוב", אוחדו לכדי תנאי אחד שיבטיח את איכות העץ בשני ההיבטים: איכות בחירת המין בהתאם לאתר הנטיעה, לצד איכותו הפיזית של שתיל העץ כפי שטופח במשתלה (פירוט בהמשך). התנאי השלישי במודל המוצע הינו "מרחב המחיה העליון" ומטרתו היא הבטחת התנאים הדרושים לשגשוג העץ במרחב העל קרקעי. התנאי הרביעי מתבסס על התנאי האחרון של אילון: "גיזום מכוון של העץ המתבגר" ומוסיף עליו את החובה של קיום תחזקה ארוכת טווח. לפיכך התנאי הרביעי במודל המוצע: "גיזום מכוון של העץ המתבגר ותחזוקת העץ למשך כל חייו". (ראה איור 45) להלן פירוט המודל המוצע של ארבעת תנאי היסוד להצלחת עצי רחוב.

5.6.1 תנאי ראשון: הבטחת מרחב המחיה התחתון

תנאי זה מתייחס לקיבולת הקרקע ותכונות נוספות של בית הגידול התת קרקעי של עצים תחת ריצופים קשים. מרחב המחיה התת קרקעי, יתמוך בעץ לצורך התפתחותו התקינה וכלכלתו של העץ למשך כל חייו. מרחב המחיה התחתון נגזר ממידות חתך רחוב נתון ומבחירת השיטה של מערכת נטיעה. קיבולת בית הגידול היא שתתווה את פוטנציאל הגודל ושגשוג העץ. לצד זאת, נקבע גודל העץ, על פי תנאי הסביבה והגנטיקה של מין נתון. את בחירת גודל ומין העץ יש לעשות בהתאם לתנאים המיטביים שניתן להשיג במרחב המחיה התחתון. את היחס בין קיבולת הקרקע המוקצית, לגודל העץ יש לחשב בהתאם לגודלו הרצוי של העץ בראיה עתידית של שיא תפארתו.

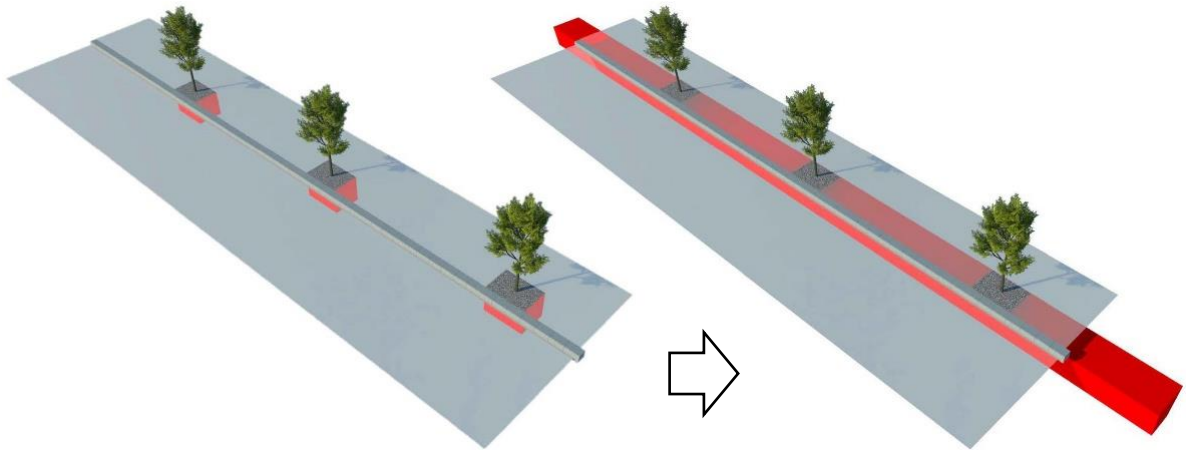
5.6.1.1 שיתוף בתי גידול

בשיטת הנטיעה הקיימת כל עץ ועץ ניטע בבור גידול אישי, זאת בניגוד לנעשה בטבע, שם גדלים העצים באדמה פתוחה. העץ הבודד בטבע אמנם נמצא בתחרות עם פרטים אחרים, אך הוא משיג לעצמו נפח אדמה מספק באמצעות שיתוף בית הגידול עם מספר עצים, כאשר שורשי עץ אחד משתרגים לתוך תחום המחיה של שורשי העץ הסמוך. עיקרון זה ניתן לחיקוי ברחוב העירוני על ידי יצירת תעלות גידול המשכיות במדרכה. בורות הנטיעה של מספר עצים מחוברים יחדיו. באופן זה חולקים עצי הרחוב מרחבי גידול. תעלות גידול (Soil Trench) ונתיבי שורש (Root Paths). הינן דרכים יעילות להגדלת נפח הקרקע הזמין להתפתחות שורשי העצים (Urban 2008).

5.6.1.2 תעלת נטיעה המשכית לעצי רחוב ברצועת העזר

תכנון רחובות בערי ישראל נעשה כיום על פי קובץ הנחיות בשם "מרחב הרחוב" של משרד השיכון שהתפרסם בשנת 2009. ההנחיות קובעות ממדים מומלצים ומזעריים של כל אחד מהמרחבים המרכיבים את הרחוב. מיקום עצי הרחוב על פי ההנחיות הוא ברצועת העזר בסמוך לשפת הרחוב וזו הגדרתה המילולית: "רצועת העזר - הרצועה לאורך הרחוב על המדרכה או לאורך המיסעה/חנייה, המיועדת להתקנה של העצמים הנייחים והתשתיות העיליות, במגמה לפנות את רצועת הולכי הרגל ממכשולים ומטרדים". (מרחב הרחוב 2009).

כיום משולבים בורות נטיעה אישיים לעצי רחוב בגבולות רצועת העזר. לאור השאיפה להגדלת קיבולת הקרקע המיועדת לשורשי העץ, קיימת האפשרות להשתמש ברצועת העזר כתעלת נטיעה המשכית. שיטה זו בוצעה בהצלחה חלקית ברחוב אבן גבירול בתל אביב בשנת 2007, ובוצעה שוב עם שיפורים, בפיילוט ברחוב ההגנה בתל אביב בשנת 2016. נטיעת עצי רחוב בתעלה המשכית ברצועת העזר, איננו פתרון אידיאלי, מכיוון שנפח הקרקע בבית הגידול ביכולתו לתמוך בעצים קטנים עד בינוניים בלבד. אולם, המעבר לשימוש בשיטה זו מהווה אבן דרך חשובה בתהליך לזניחת השימוש בפרט הסטנדרטי של 1X1 מ'. (ראה איור 46)



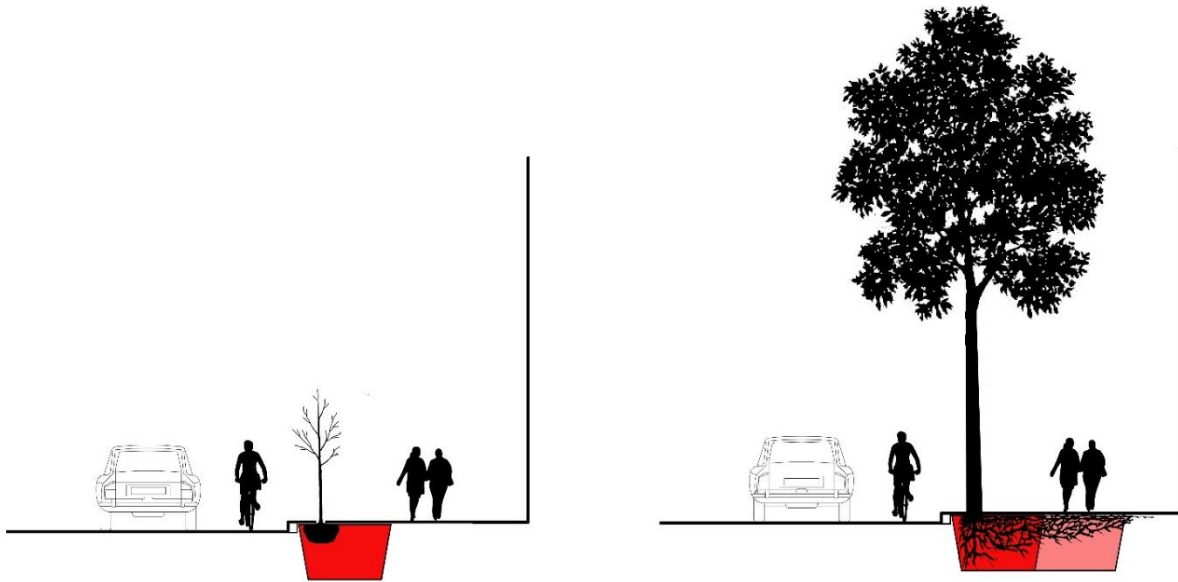
איור 46 - מעבר מבור נטיעה אישי לתעלת גידול המשכית

Figure 46 - From Tree Pit to Soil Trench

5.6.1.3 מרחב מחיה תחתון ראשוני ושניוני

לסוג ואיכות הקרקע המקומית השפעה משמעותית על אופן הגדרת מרחב המחיה התחתון. כאשר קיימת בסביבת הנטיעה קרקע טבעית בעלת תכונות שמתאימות להשרשה, ניתן להוסיפה לחישוב הקיבולת הכללית של מרחב המחיה. כך לדוגמה, באזור מישור החוף, שבו קרקעות חוליות, לעץ עומדת אפשרות לפרוץ את גבולות מרחב המחיה הראשוני ולהתפתח בקרקע מקומית. לעומת זאת, באזורים הרריים, בהם סלע האם קרוב לפני השטח ושכבות הקרקע העליונות הן רדודות,

מרחב המחייה התחתון שיוקצה על ידי המתכנן יגדיר את פוטנציאל ההשרשה הכולל של שיוקצה לעץ למשך כל חייו. (ראה איור 47) בתכנון תשתית הנטיעה חובה להתחשב בנקודה זו.



איור 47 - משמאל, מרחב מחייה תחתון ראשוני עם נטיעת העץ. מימין, חדירת שורשים למרחב מחייה שניוני

Figure 47 - Primary and Secondary Tree Rooting Space

5.6.1.4 בחירת מערכת נטיעה

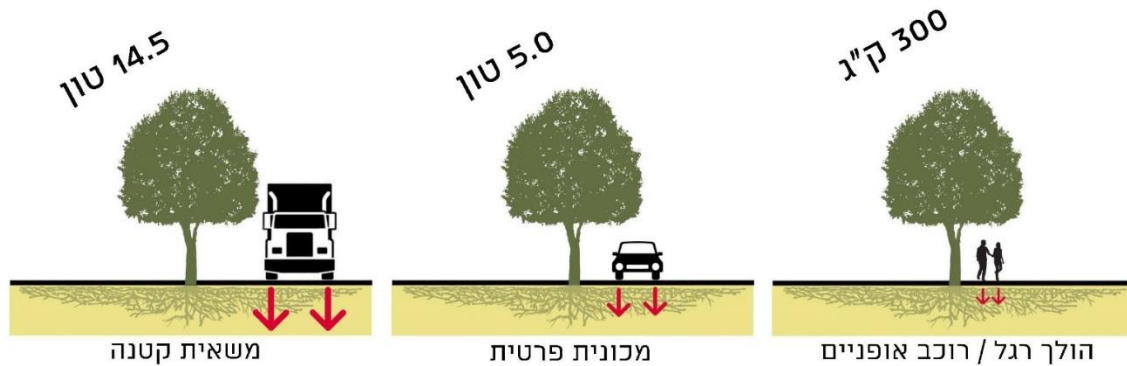
בעולם אידיאלי, ניתן היה לספק לכל עץ עירוני כמות קרקע מספקת. אולם, זוהי משימה כמעט בלתי אפשרית באזורים עירוניים צפופים. כאשר ניטעים עצים ללא הבטחת כמות קרקע מספקת, יחפשו שורשי העץ משאבים מעבר לבור הנטיעה תוך הרמת ריצופים והרס תשתיות. זאת ועוד, בתכנון עצי רחוב מקיים, יש לחזות את מהלך השורשים ולשלוט בו על ידי הקצאת בית גידול מתאים. (Urban 2008). עם תחילתו של תהליך תכנון בית הגידול, יש לבחון את האתר הנתון למציאת פתרונות מתאימים להגדרת מרחב מחייה תחתון, על פי הכלל הבא: **יש לבחור בפתרון**

הפשוט והזול ביותר, שמאפשר כמות קרקע מספקת.

לדוגמא, כאשר קיימת ברחוב אפשרות ליצירת תעלות נטיעה המשכיות פתוחות, ללא חיפוי בריצוף, יהיה זה בדרך כלל הפתרון הפשוט והזול ביותר. כמו כן ניתן לשלב בין מספר פתרונות. כפי שתואר בפרק שדה הידע, קיימות מגוון מערכות להגדרת מרחב מחייה תחתון, שנותנות מענה לקיבולת הקרקע הנחוצה לעץ מחד גיסא ועומדות בתקני העמסה מתאימים לתמיכה בריצוף מעליהן, מאידך גיסא. כחלק מהמחקר נערך סקר לבחינת זמינות מערכות אלו בישראל. טבלת נתונים של המערכות הקיימות בישראל מספקת השוואת עלות ופרמטרים נוספים כגון עיקרון השיטה, יכולת העמסה, יתרונות ומגבלות. (ראה טבלה 2).

5.6.1.5 יכולת נשיאת משקל של בתי גידול תת קרקעיים

אחת מהתכונות הבסיסיות של מערכות נטיעה תחת ריצופים קשים, היא יכולת נשיאת עומסים המופעלים על המדרכה. (ראה איור 48) על מנת למנוע שקיעות במדרכה ובמטרה לאפשר שימושים מגוונים ברחוב, קיימת דרישה הנדסית שמצעי המדרכה יהודקו לרמת צפיפות יבשה של 95%, בפיקוח מכון התקנים הישראלי. על מנת להוות תחליף למערכות מצעים בבסיס המדרכה, על מערכות הנטיעה למלא גם הן את התקנים ההנדסיים. אולם, בעיר קיימים מגוון חתכי רחוב למגוון שימושים. כך גם יכולת הנשיאה של מערכות הנטיעה.



איור 48 - יכולת נשיאת משקל של בתי גידול תת קרקעיים

Figure 48 - Planting Systems Loads Bearing

מכיוון שקיימת התאמה (חלקית) בין עלות מערכת נטיעה לחזקה, ניתנת למתכנן אפשרות לבחירת מערכת על פי סוג השימוש. במידה שאין צורך בעליית רכב כבד למדרכה, ניתן להפחית עלויות על ידי שימוש במערכת פחות חזקה. להשוואת יכולות העמסה על מערכות נטיעה, ראה טבלה 2

5.6.1.6 פתח בור הנטיעה

על פי James Urban, יש להתייחס לצוואר השורש (Root Collar) בבסיס העץ, כאל צומת קריטי בין גזע העץ לשורשים. הגדרת פתח נטיעה בממדים שאינם מתחשבים בהתעבות בסיס העץ, עשוי לפגוע בגדילה ואף להרוג את העץ. באזורים עירוניים צפופים, רוחב פתח הנטיעה מוגבל בשל הצורך במרחב מעבר להולכי הרגל. יש לשאוף להגדיל את פתח הנטיעה כמה שניתן בכדי למנוע קונפליקט בין שורשים וריצוף. בישראל ניטעים לרוב עצי הרחוב בתחום רצועת השירות. ממדי הרצועה מגבילים את רוחב תעלת הנטיעה למטר אחד. במידה ופרופיל הרחוב מאפשר זאת, יש לשאוף להרחיב את פתח הבור למינימום של 1.5X1.5 מטרים. זאת ועוד, ככל שפתח הנטיעה גדול יותר, גדלה האפשרות לקליטת מי נגר עילי מהמדרכה וכן משתפרים חילופי גזים בין מדיום הגידול לאטמוספירה. תכנון איכותי, יאפשר גמישות בגודל הפתחים ברחוב נתון. במקרים רבים, כאשר לא מגבילים את גודל פתחי הנטיעה של העצים, לגודל קבוע לפי הפתח הקטן האפשרי, ניתן לאפשר לחלק מהעצים ליהנות מפתחים יותר גדולים היכן שרוחב המדרכה מאפשר זאת.

לעיתים, הממד האורכי של פתח הנטיעה יכול להיות ארוך מהממד הרוחבי, עד כדי חיבור שני עצים עם תעלה פתוחה (Urban 2008). שימוש בסבכות חיפוי (Tree Grates), או מכסי בטון, לחיפוי פתח הנטיעה איננו מומלץ ממספר סיבות. ראשית, במקרים רבים גורמות הסבכות לנזקים פיזיים בצוואר השורש. שנית, בשימוש בסבכה מחויב המתכנן לגודל פתח קבוע ופוחתת הגמישות בתכנון להגדלת פתח הנטיעה כשזה אפשרי. זאת ועוד, מחיר סבכות הפלדה הוא בדרך כלל גבוה (לפחות 1000 ₪ ליחידה) ועדיף להשקיע כסף זה בשיפור הקרקע בבית הגידול (Bassuk 2004).

5.6.1.7 השקית עצי רחוב

באקלים החם של ישראל, אין די במי הגשמים על מנת לפרנס את עץ הרחוב. נחוצה תוספת השקיה לשנים רבות ולפחות לשני העשורים הראשונים לחייו של העץ (אלמליח 2016). כיום מקובלת השקיה בלולאות טפטוף מסביב גזע העץ (ראה איור 49). שיטה זו בעייתית משני טעמים. כפי שצוין בפרק שדה הידע, בעץ בוגר נפרשת מערכת השורשים הרחק מעבר לגזע. ולכן השקיה בבור הנטיעה איננה יעילה מעבר לשנותיו הראשונות של העץ. יתר על כן, השקיית העץ באמצעות לולאת צינור טפטוף בקרבת צוואר הגזע, עלולה לגרום למחלות, ריקבונות והתפתחות יתר של שורשים בגומת הנטיעה, מקום שם הם אינם רצויים. על מנת לפתות את השורשים למיצוי פוטנציאל בית הגידול, יש לשאוף לפיזור השקיה והרטבת מלוא נפח בית הגידול. (ראה איור 50) כאשר בית הגידול נמצא תחת ריצופים, על מערכת ההשקיה להיפרש בצורה יעילה וברת תחזוקה תחת הריצוף. על מנת לאפשר את תחזוקה יעילה של מערכת השקיה תחת ריצופים, חשוב לדאוג להתקנת שרוולים, להובלת כל הצינורות, הן של קווי ההשקיה והן של הצינורות המחלקים. בכדי למנוע סתימת שרוולים וטפטפות, על השרוולים להיות עטופים בריעות גיאוטכניות.

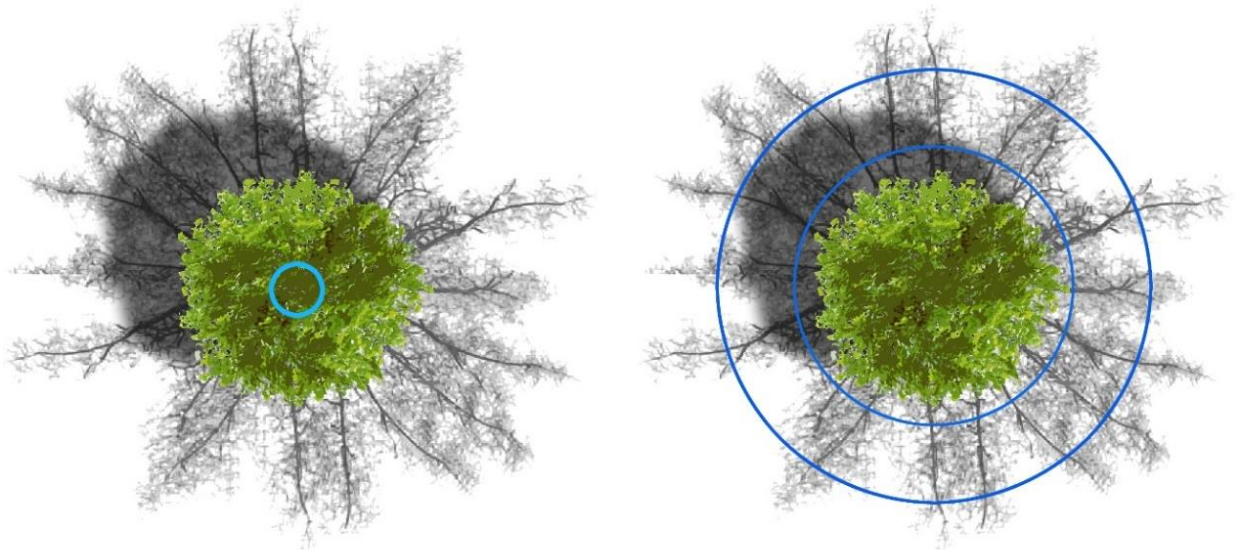
5.6.1.8 שילוב בית הגידול של עצי רחוב במערכות ניהול נגר עירוני

עצים זקוקים לקרקע בכמות מספקת על מנת לאפשר את גדילתם ושגשוגם לאורך שנים רבות וכן למיצוי פוטנציאל התרומה של העץ לסביבה העירונית. קרקע היא גם כלי מצוין להאטה, סינון ואחסון מי גשמים בסמיכות למקום נפילתם. אם בעבר היה המדד לפיו הוערך ניהול נגר עילי עירוני, איסוף מהיר וסילוק המים מהעיר, בשנים האחרונות עובר ניהול הנגר העירוני למערכות השואפות להשהיית המים ולעידוד שימוש וחלחול מקומי. (Denman, 2004) שיטות חדשות אלו שואפות להקטנת עומס המזהמים ונפחי הזרימה של מי הנגר בעיר תוך שילוב מערכות ניהול הנגר כחלק אינטגרלי מהנוף העירוני. במחקר שנערך בקליפורניה על ידי המרכז לייעור אורבני נמצאה תרומה משמעותית להשהיית מי נגר על ידי עצי רחוב (Xiao & McPherson, 2002). בשנה האחרונה הוכנסה תפיסת ניהול הנגר LID, או בכינויה "פיתוח בעצמות נמוכה" גם לישראל וניתן להבחין בניצני יישום של תפיסה זו במספר ערים. אלמנט נוסף בעל משמעות בנושא זה הינו ריצוף מנקז. בחשיבה מחודשת על מרחב המחייה התת קרקעי של עצי רחוב בישראל קיים פוטנציאל לשילוב מערכות לניהול נגר לצד שיפור נוף הרחוב.



איור 49 – השקיה בפתח בור נטיעה סטנדרטי, 80X80 ס"מ נטו

Figure 49 - Standard Tree Pit Irrigation

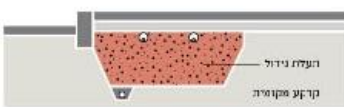

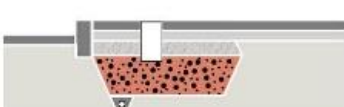

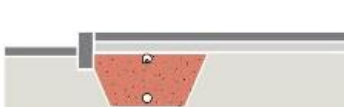

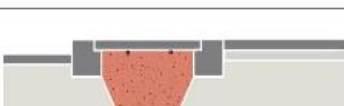



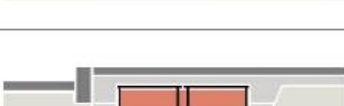







איור 50 - השקיית עצים- משמאל, השקיה בבור הנטיעה, מימין, פרישת השקיה בכל נפח בית הגידול

Figure 50 - Tree Irrigation Principles

בתי גידול תת קרקעיים לעצי רחוב

טבלת ריכוז נתונים של שיטות להגדרת בתי גידול שהינן זמינות בישראל בשנת 2016

שם שיטה	ספק / ייצרן / מפתח	איור חתך (בין שני עצים)	רכיב מרכזי	עיקרון השיטה	הרכב מצע הגידול
אדמת מבנה CU SOIL	הדר מערכות CORNELL UNIVERSITY AMEREO		 עקרון אדמת מבנה	תערובת קרקע נושאת למבנה דרך (מרכזה, מגרש חניה, מיטעה קלה) המהווה בית-גידול לשרשי עצים. תערובת אחידה, הומוגנית ומשתמרת.	כ-70% אדמות דולומיט, כ-10% סייץ חרסיתי, כ-10% חרסית, כ-9% חללי אור/מים, כ-1% חומר אורגני, 0.03% קשורן פולימרי. סוג מיון: [0] A-2-7
שיטת סטוקהולם THE STOCKHOLM SOLUTION	BJORN EMBREN ינון מהנדסים חנוך בורגר שי כץ		 אלמנט בטון לתיחום בור נטיעה	אדמת מבנה, מכוססת על רצף אנכי של אבנים בשתי שכבות עיקריות הנושאות את העומס ומיצרות חללים המלאים בקרקע ואוויר.	שברי אבן של גיר קשה בשני גדלים: סלע 15 ס"מ x 3 עד 6 ס"מ. קרקע - חול חרסיתי + חומר אורגני
תעלת נטיעה המשכית חולית	עיריית תל אביב צור-אילון		 קולר PVC להכוננת שורשים, מסגרת פלדה לתיחום בור נטיעה	SAND-BASED SUBSTRATES שיטה זו נכללת תחת הכותרת אדמת מבנה ומורכבת מתעלת נטיעה ברוחב משתנה, עם תערובת גידול מבוססת חול שאחוזתה בהירוק מלא. בנוסף, מתקנים בתעלת הגידול ובבור הנטיעה, אלמנטים לשיפור איוורור, השקיה והכוננת שורשים.	תערובת אדמת גידול שמורכבת מחמרה חולית קלה מבוקרת, בתוספת חומר אורגני בצורת קומפוסט בכמות של 5% מהנפח הכללי.
תעלת נטיעה המשכית מגושרת	איריס שליטל		 תעלת נטיעה מגושרת	תעלת שתילת רצופה, בנויה אבן שפה ואבני גן עמוקות, התומכות ארץ ריצוף כבשה. רוחב תעלה: 120 ס"מ.	קרקע מקומית בעלת כושר חדור ותאחזה למים, מאווררת, או פוריה אחרת, לא כבדה.
ארגזי מבנה "סטרטא" STRATAVAULT	הדר מערכות CITYGREEN		 ארגז מבנה STRATA	טלר טרמפולנטני נושא למבנה דרך העשויו עמודים וקורות שביניהם ממולאת ארמה כלשהיא.	כל אדמת גידול שתיבחר בהתאם לאזור ולסוג העץ.
ארגזי מבנה "סילבה" CILVA CELL	גנרון DEEPROOT		 ארגז מבנה SILVA	מטרת השיטה מחזורית להשיגה ביישון מותקן המכיל עמודי תומכים המאפשרים תמיכה רבה מעלה, ובמקביל, גם לעומסים המאפשרים תנועת מאפשרת יציאת בית גידול איכותי לעצים גדולים. בנוסף היא מספקת כלי רב עוצמה לניהול נגר עירוני על ידי לכידה, השוהה ואירוד מי גשמים.	ניתן להשתמש במגוון סוגי אדמות גידול לפי בחירת היזם ואפילו פריליט.
ארגזי מבנה "טריפארקר" TREEPARKER	גנרון GREENMAX		 ארגז מבנה TREEPARKER	מטרת השיטה מודולרית להמיכה בריצוף מרחף. המערכת עמידה לעומסים המאפשרים תנועת מאפשרת יציאת בית גידול איכותי לעצים גדולים. בנוסף היא מספקת כלי רב עוצמה לניהול נגר עירוני על ידי לכידה, השוהה ואירוד מי גשמים.	ניתן להשתמש במגוון סוגי אדמות גידול לפי בחירת היזם ואפילו פריליט.
בית גידול לעץ במצע מנותק	דני אלמליח		 ידיעת ניקוז לבטיית בית הגידול	גידול צמחים על גבי משטחים אטומים מנוחקים מקרקע טבעית ועם מערכת ניקוז.	סוף, פריליט, כבול, חומרים אי-רטיים שונים, תערובות של הנ"ל, קרקע טבעית בעומקים גדולים ביותר או מצבים מיוחדים.

טבלה 2- השוואת נתונים - בתי גידול תת קרקעיים לעצי רחוב בישראל

Table 2 - Comparison of Soil Under Pavement Systems in Israel

חלק הקרקע בבית הגידול [%]	ערכי חוזק	פתרון השקיה ואזור	עלות בפועל למזמין למ"ק בית גידול ביישומים שנעשו בארץ	יתרונות	חסרונות
99.997-100%	יכולת נבונה לנשיאת משקל על גבי המערכת. מח"ק מעבדתי (CBR) מעל 50% שיעור שחיקה עד 35% הפסדי כלייה עד 18% עונה לדרישות המפרט הכימשרדי (פרק 5)	תערובת מאווררת מאליה. טפטוף טמון בשרוולי ידרי. קולטן ירוק מותב מי נגר גשמים.	מתן: 516 ₪+ מע"מ למ"ק. ראש העין: 561 ₪+ מע"מ למ"ק חומר+עבודה+ שרוולי טפטוף טמון ידרי.	יישום פשוט, בזומה למצעים הישנים. מחיר נמוך ביחס לשיטות מאושרות אחרות לבניו ביול. ניסיון במאות פרויקטים בעולם.	חובה לפזר ולהדק בסמוך למעמד האספקה לאתר.
25-30%	יכולת נבונה לנשיאת משקל על גבי המערכת.	שכבת חצץ מאווררת נושאת. חילוף גזים והחדרת מי נגר דרך פירים. השקיה בערוגות השחילה ואפשרות להשקיה טפטוף ודרך הפירים או בטפטוף טמון. הכוונת נגר עילי לתת-הקרקע דרך הפירים.	320 ₪ למ"ק. (הערכה - טרם נוסה בארץ) [אומדן זה כולל את ארמת המבנה, מטרת התחום ופירי האיוורור. לא כולל ריצוף והשקיה]	חומרים פשוטים וזמינים. תלות נמוכה ביצרנים. עלות נמוכה יחסית.	דרשת הקפדה רבה בכיווץ ובבחינת החומרים.
97%	יכולת נמוכה לנשיאת משקל על גבי המערכת. הערכה של ערכי מח"ק מעבדתי (CBR) 10%	מערכת איוורור בור נטיעה עם שני זקופים AIRMAX 45 או שני צינור שירשורי מחורר ועטוף בריעה, לאיוורור עומק של תחת הגידול בין שני עצים. סולם השקיה משולב בבור הנטיעה, טפטוף בשרוול מחורר עטוף, לאורך כל התעלה.	רחוב ההגנה 106, תל אביב - יפו: 500 ₪ למ"ק, כולל מערכת איוורור, השקיה, והכוונת שורשים.	אפשרות שימוש בקרקע מקומית, מחיר נמוך יחסית. התאמה לרצועת שירות סטנדרטית לצד אגן שפה.	מתאים למדרכות ושכילי אופניים.
100%	יכולת נמוכה לנשיאת משקל על גבי המערכת. 900 ק"ג/מ"מ	טפטוף לאורך כל התעלה. מי נגר ממדרכה, אין הדיוק קרקע.	1800 - 1600 ₪ למ"א תעלה - 1 מ"ק בית גידול	פשוטות. טכניקות עבודה מוכרות.	החלשת מבנה דופן הכביש, לא מתאים לחיפוי רכב.
מעל 90%	לחיצה אנכית בעמודים חלולים: KPA 300 כדגם S.C-HD 400 KPA עונה לדרישות התקן האמריקאי H-20 AASHTO בעמודים מדויקים: עד 60 MPA בהתאם לסוג הרייס.	רמת אזור בהתאם לסוג הארמה. טפטוף טמון בשרוולי ידרי. קולטן ירוק מותב מי נגר גשמים.	1,500-2,500 ₪ למ"ק.	עמידות נבונה לנזוחות צד רימיים. ניתן לחלל בכל סוג של אדמה או תערובת שחילה. ניסיון במאות פרויקטים בעולם.	דרשת שתי מפולסת בעומק קבוע.
94%	42 טון/מ"ר לחיצה אנכית בעמודים חלולים: KPA 410 עונה לדרישות התקן אמריקאי H-20 AASHTO	חלל אזור אופק מעל בית הגידול מסייע לאזור בית השרשים והמגע משורשי העץ להגיע אל הריפוף. כמו כן ישנה אופייה למערכת אזורי לכל עץ מהתת בית השרשים וגם מערכת אזורי העלת הירידה. מערכת אזורי משורשי פתחי כניסת אזורי הנדלים עד פי 40 לעומת נטי צינור בקוץ מרשתי מקיים בישראל.	עבור תאים ב גובה 80-120 ס"מ 2050-1850 ₪ למ"ק אדמת ירוק, מושבת לפרויקט גדול עם 200-300 עצים כל 7 מ"ר	יש צורך בשכבת בסיס של 10 ס"מ חצץ ובשכבת חצץ עליונה של 30-10 ס"מ גובה, לפי סוג הנימור עליון והשימוש - הולכי רגל או רכבים.	
94%	42 טון/מ"ר לחיצה אנכית בעמודים חלולים: KPA 410 עונה לדרישות התקן אמריקאי H-20 AASHTO	חלל אזור אופק מעל בית הגידול מסייע לאזור בית השרשים והמגע משורשי העץ להגיע אל הריפוף. כמו כן ישנה אופייה למערכת אזורי לכל עץ מהתת בית השרשים וגם מערכת אזורי העלת הירידה. מערכת אזורי משורשי פתחי כניסת אזורי הנדלים עד פי 40 לעומת נטי צינור בקוץ מרשתי מקיים בישראל.	עבור תאים בגובה 120-150 ס"מ 1850-1550 ₪ למ"ק אדמת ירוק, מושבת לפרויקט גדול עם 200-300 עצים כל 7 מ"ר	יש צורך בשכבת בסיס של 10 ס"מ חצץ ובשכבת חצץ עליונה של 30-10 ס"מ גובה, לפי סוג הנימור עליון והשימוש - הולכי רגל או רכבים.	
90-98%	0.15-4 טון/מ"ר	יריעות ייעודיות או שכבת ארגנים לניקוז, טפטפות צפופות להשקיה, המטרה למדשאות.	1000 ₪ למ"ק, ללא עלות של נשיאת הגג.	יצירת נופך ותכסית צמחיית במקומות ומצבים בהם אין קרקע.	כוסר נשיאה של הגג, צורך בעינון, תלות גבוהה ביותר בהשקיה ותחזוקה, סיכון גבוה לנזקים במערכות האיטום. החלשת מעמד 'הירוקים' במאבק על תח הקרקע.

5.6.1.9 ניקוח בית הגידול

אחד מתפקידי הקרקע הבסיסיים הוא הנגשת המים לשורשי הצמחים. לצורך כך, על המים לנוע במהירות בקרקע בכל אירוע גשם או השקיה. חלק מהמים החוזרים לבית הגידול נאחו על ידי שכבות הקרקע העליונות. על מנת לספוח מים, על השורשים לקבל באותה העת חמצן זמין. (Urban 2008) עודף מים בבית השורשים, ביכולתו להרוג עצים מהר יותר מחוסר במים. מיני עצים שונים האחד ממשנהו ברמת הסיבולת ליובש ורטיבות בתת הקרקע. קיימים משתנים רבים שמשפיעים על איכות הניקוז של הקרקע. סוג הקרקע, רמת ההידוק שלה, אחוז החרסית. באופן עקרוני, קיימת חשיבות לדאוג שהקרקע בבית הגידול תנוקז מהר מספיק על מנת לאפשר חילופי גזים בבית השורשים, אך לא מהר מדי, על מנת לאפשר לשורשים ספיחת מים לתמיכה בעץ בין השקיות. הצורך בשיפור הניקוז של מרחב המחיה התחתון, תלוי במידה רבה בקרקע המקומית. באזור מישור החוף, בקרקעות חוליות וקלות, מתנקזת הקרקע היטב ללא הוספת אלמנטים מנקזים. המצב שונה בקרקעות כבדות או על גבי סלע אם שאיננו סדוק. קיימות שתי שיטות עיקריות לשיפור הניקוז. הראשונה עושה שימוש בצינור PVC שירשורי - מחורר, עטוף ביריעה גיאוטכנית. הצינור מונח בתחתית בית הגידול בתוך שכבת אגרגט נקי המופרד ביריעה גיאוטכנית משכבת אדמת הגידול למניעת כניסה של פרקציות דקות לחלל המנקז. צינור הניקוז מסלק עודפי מים מהקרקע לשוחה קרובה או לשטח פתוח. השיטה השנייה נקראת French drain, מערכת זאת עובדת באופן דומה לצינור שירשורי מחורר והיא למעשה תעלה חפורה בתחתית בית הגידול, מלאה באגרגט שטוף, מופרדת ביריעה גיאוטכנית משכבות אדמת הגידול. שיטה זו נסמכת לחלוטין על החללים בשכבת האגרגט.

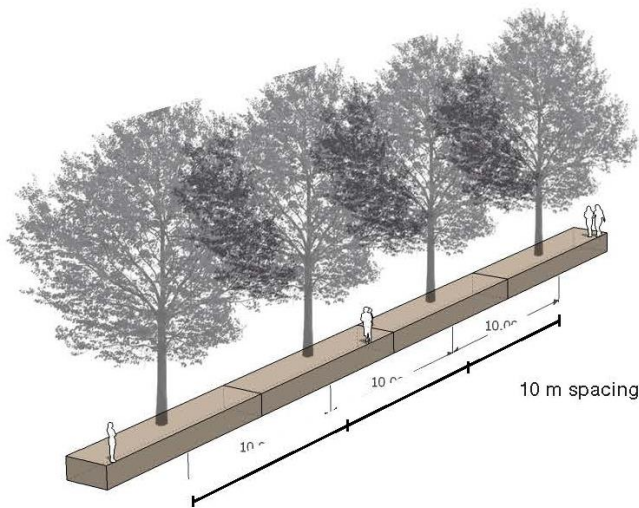
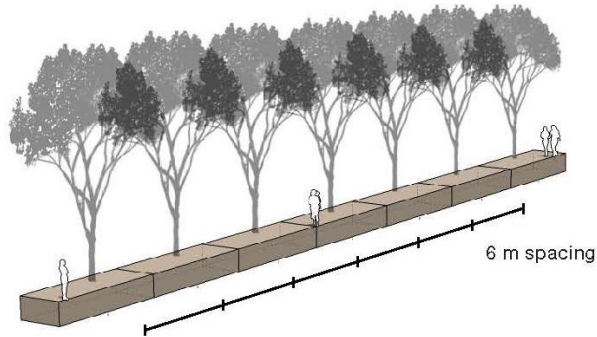
5.6.1.10 מרווחי נטיעה

מרווחי הנטיעה של עצי רחוב נקבעים על פי רוב לפי מספר מדדים כגון מין העץ, יצירת רצף צל, איחוד פני הרחוב, וכן, קיבולת הקרקע בבית השורשים. בהנחה שיעד הגודל של עצי הרחוב הינו סביב קוטר נוף של 10 מטרים (העיר זקוקה לעצים גדולים), מומלץ להקפיד על מרווחי נטיעה של 8-10 מטרים. באופן זה מקבל כל עץ בתעלת נטיעה המשכית ברוחב 1 מטר, מינימום של 10 מ"ק קרקע לפחות. זאת ועוד, עצים גדולים במרווחי נטיעה גדולים, יוצרים רצף צל המשכי ובנוסף, מפחיתים את מספר גומות הנטיעה והגזעים ברחוב וכן את נפח עבודות האחזקה (ראה איור 51).

5.6.1.11 שילוב תשתיות באזור השורשים

תקנות וסטנדרטים קיימים להפרדה בין גומות נטיעה לעצים לאזור מעבר תשתיות עירוניות, מגבילים את פוטנציאל נפח הקרקע להשרשת עצים. במקרים רבים, על מנת להשיג את נפח הקרקע הנדרש לעצי רחוב גדולים, בריאים, ומאריכי חיים, ברחובות רוויי תשתיות, יש לשלב את תשתיות הרחוב בתוך מדיום הגידול של העצים. גישה זאת קוראת לאפשר לבית הגידול של עצי רחוב להתקיים מעל תשתיות ואפילו סביבן. שילוב תשתיות בבתי הגידול, דורש הידברות, תיאום והסכמה בין הרשויות והתאגידים שנוגעים לעניין. על מנת

לממש רעיון זה על חברות התשתיות להעביר תשתיות בשרוולים בלבד ובמידת הצורך להגן על תשתיות עם אמצעים נוספים כגון יריעות, מגבילי ומכווני שורשים.



איור 51 - השפעת מרווחי נטיעה על גודל עץ הרחוב
 Figure 51 - Tree Planting Spacing to Tree Size

5.6.1.12 אזור הקרקע

פעילות שורשים בריאה דורשת חמצן לנשימה אירובית O_2 . כתוצאה מפעילות זו, פולטים השורשים תוצר לוואי בצורת פחמן דו חמצני CO_2 . על מנת לתמוך בגדילת שורשים וספיחת מינרלים תקינה, חייבת הקרקע לקיים הסעה יעילה של גזים (חילופי גזים) (Roberts 2006). הסעת הגזים בקרקע מתקיימת בדיפוזיה לאורך רצפים של נקבוביות וחללים. הידוק הקרקע הוא הגורם המרכזי להפחתת האוורור וזאת בשל שינוי מבנה הקרקע והגבלת המשכיות החללים. גורם נוסף שמגביל את אוורור בקרקעות עירוניות הוא חיפו ואטימת פני השטח. על מנת לתכנן בית גידול תת קרקעי איכותי לעצי רחוב מאריכי חיים, חובה על המתכנן להבטיח קרקע נקבובית

ומאווררת. רמת האוורור של בית הגידול משתנה בין השיטות. באדמות המבנה, מתקיימים חילופי גזים באמצעות רצף החללים בינות לאבני האגרנט העבה. בארגזי המבנה, מבוצע בית הגידול באופן שמוותיר שכבה פנויה של 10 ס"מ, בין תקרת התאים והקרע. פתח בור הנטיעה וארובות אוורור במדרכה, מסייעים לכניסת אוויר טרי לחלל התאים. קיימות בשוק מספר מערכות ייעודיות לשיפור האוורור של בור הנטיעה. עקרון הפעולה של מערכות אלו מבוסס על התקנת צינור שרשורי מחורר (בקטרים 80-110 מ"מ) לעומק בית הגידול וחיבורו לנשמים בצורת זקיפי צינורות שעולים לפני הקרקע. (ראה איור 52) הנשמים מחופים במכסה מחורר ומאפשרים חילופי גזים באופן פאסיבי בין האטמוספירה ובית הגידול. מידת היעילות של האוורור נקבעת על פי אחוז החירור של הצינורות.



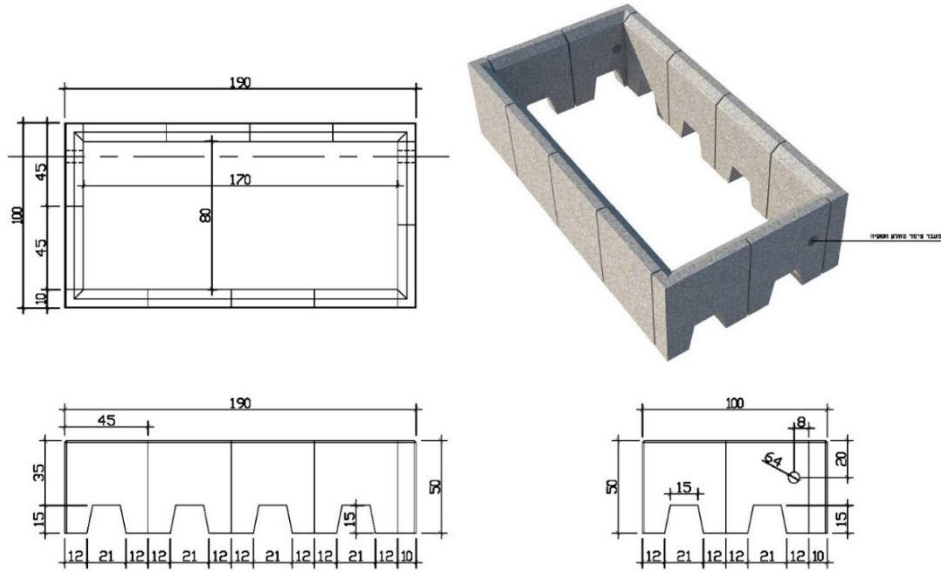
איור 52 - מערכת אוורור בור נטיעה
Figure 52 - Tree Pit Aeration System

5.6.1.13 תכולת חומר אורגני

בקרע בריאה מתקיימים חיים. מבקטריות ופטריות עד חרקים ויצורים קטנים. זוהי חברת אורגניזמים שנסמכות אחת על השנייה כמקור למזון. תפקוד מערכת זו הינו שרשרת התפרקות של חומר אורגני שמקורו בשורשי העץ. קרקעות עירוניות מאופיינות בדרך כלל במחסור בחומרים אורגניים. כאשר רמת החומר האורגני בקרקע נמוכה מ 1% מנפח הקרקע הכולל, קטנה פעילות האורגניזמים בקרקע, וכן קיימת פגיעה ביכולת החלחול של מים ובאיזון הכימי של הקרקע (Urban 2008, Roberts 2006). שיפור תכולת החומר האורגני בקרקע, הינו תהליך פשוט וזול. במטרה לספק לעצי רחוב אדמת גידול איכותית, יש לוודא שימוש בקרקע בעלת חומר אורגני ברמה של בין 4-5%. עודף חומר אורגני יכול לגרום אף הוא, במספר סוגי קרקעות, לבעיות בניקוח.

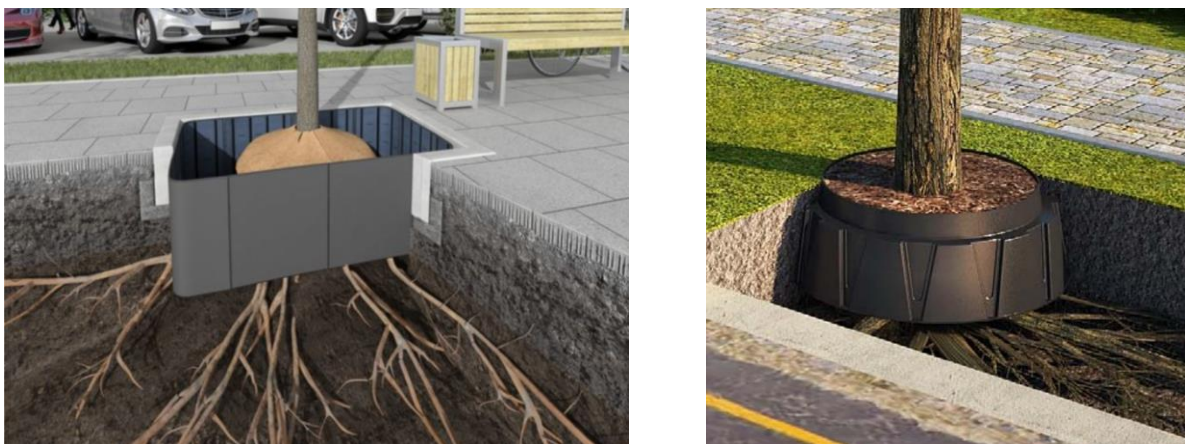
5.6.1.14 הכוונת שורשים

קולר/צווארון מכווין שורשים הינו אלמנט מכני שמטרתו הכוונת שורשי העץ לעומק מרחב המחייה והרחקת השורשים מחיפויי המדרכה. אלמנט זה חשוב על מנת למנוע פגיעה בתשתיות המדרכה ובאמצעי התיחום של בור הנטיעה, כמו גם שמירה על בריאותו של העץ בריצופים קשים. על קולר השורשים להיות בעומק של 40 ס"מ לפחות על מנת להוביל את השורשים לעומק מרחב המחייה ומתחת למצעי המדרכה. קיימים מגוון אלמנטים מחומריות שונה (בעיקר בטון ופולסטיק)



איור 53 – אבן תיחום עמוקה, אקרשטיין, יעקב אילון ושחר צור

Figure 53 - Tree Pit Deep Edge Curbs



איור 54 - צווארון/קולר מכווין שורשים

Figure 54 - Root Director

5.6.2 תנאי שני - מין עץ מתאים ושתיל עץ איכותי

תנאי זה מתייחס לעץ הרחוב עצמו ומתחלק לשני תחומים. הראשון הוא בחירת מין עץ מתאים והשני איכותו של שתיל העץ הנבחר.

5.6.2.1 בחירת מין עץ מתאים

בשנים האחרונות נפוצה אמירה כי בבחירת עצים עירוניים יש לטעת את העץ הנכון במקום הנכון. אמירה זו נובעת במידה רבה משימוש בבתי גידול מוגבלים בנפחם ומהעובדה שקיים מיעוט מיני עצים שיתאימו לתנאים אלו. עם התפתחות הידע בתחום בתי הגידול וכניסת שיטות חדשות להרחבת בתי הגידול מתחת למדרכות, באחריות המתכנן ליצור את "המקום הנכון" (הגדול האפשרי) ורק לאחר מכן להתאים את מין העץ. אפשר לתקן את חוק האצבע ולומר: **יש לטעת את מין העץ הנכון בבית הגידול המתאים**. בהנחה שבית הגידול של העץ תוכנן באופן מיטבי, אנו מגדילים את מצאי העצים שיתאים לנטיעה. על בחירת העץ להיות מבוססת על מספר קריטריונים:

5.6.2.2 התאמה כעץ רחוב

ניתן לציין כמה דרישות בסיסיות שמהוות תנאי סף לבחירת מיני עצים להיות עצי רחוב. הראשון הוא אפשרות הרמת הנוף בכדי לאפשר תנועה מתחת לנוף העץ. על העץ להיות בעל תגובה טובה לגיזומים (ראה גיזום מכוון בהמשך פרק זה). תנאי שני הוא איכות התרומה ליצירת מיקרו אקלים בחלל הרחוב. בתנאי האקלים של ישראל קיימת חשיבות לבחור מינים רחבי נוף בעלי עלווה צפופה ויכולת הצללה משמעותית.

5.6.2.3 התאמה לאזור הגידול

"יכולתו של מין עץ להתפתח למכלול מאפייניו הפיזיים בתנאי האקלים והקרקע באתר, היא תנאי יסודי בבחירת מין העץ." (גלון, הלר מדריך עצי הרחוב בישראל 2013). עצים מקומיים, עצים מאזורי אקלים דומים, או כאלו שאוקלמו במשתלה סמוכה למקום הנטיעה, יהיו בעלי סיכויים טובים יותר להצלחה ושגשוג.

5.6.2.4 התאמת צורת העץ וגודל העץ לפרופיל הרחוב

יש לבחור את מין העץ לנטיעה תוך התחשבות במידות חתך הרחוב הנדון. בבחירת מין עץ בממדים קטנים בהתאמה לרחוב, יפוספס הפוטנציאל של תרומת עץ גדול לסביבתו. בבחירת מין עץ בממדים הגדולים לפרופיל הרחוב, קיים סיכוי שהעץ יפגע בתשתיות ונוף העץ יחייב פעולות אחזקה רצופות שיגדילו את עלות האחזקה. (גלון, הלר 2013). בחירת עץ בגודל מתאים, מושפעת מנפח הקרקע שניתן להקצות לבית השורשים. בחירת זן עץ שעבר סלקציה, או עצים מריבוי וגטטיבי, תגדיל את הדמיון והאחידות בשדרת עצי רחוב.

5.6.2.5 התאמה לשימושים סמוכים

בבחירת מין מתאים חשוב להתייחס לשימושים מתוכננים בסמיכות לנטיעות. לדוגמה: אלון התבור יכול להיות עץ רחוב מצוין. אולם, בשל בלוטיו הגדולים לא מומלץ לטעת אותו בסמיכות לשביל אופניים. חופת עצים מעל אזור פרישת שולחנות של בית קפה, כדאי שתהיה מסוג עץ נשיר לטובת כניסת שמש בחורף.

5.6.2.6 התאמה לרמת האחזקה אותה מסוגלת הרשות להעניק

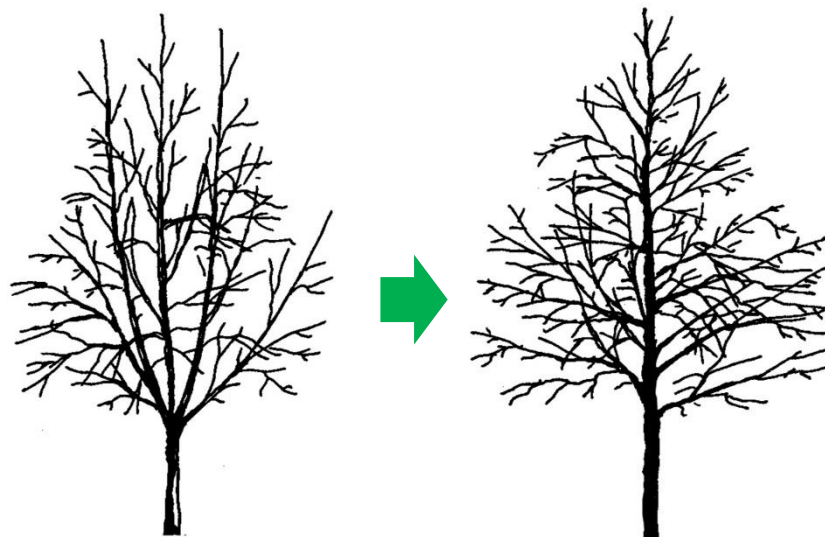
מיני עצים נבדלים ברמת התחזוקה שהם דורשים. מחד גיסא, יש לבחור עצים שדורשים מינימום תחזוקה. מאידך גיסא, על ידי העלאת רמת התחזוקה העירונית ניתן להעשיר את מבחר העצים ואת תרומתם לרחוב.

5.6.2.7 איכות שתילי עץ הרחוב

היבט שני בתוך התנאי השני (נטיעת עץ איכותי), מתייחס לאיכות שתיל העץ מבחינת טיפוח העץ הצעיר במשתלה ובניית שלד מבני מתאים על פי פרוטוקול הגיזום של עץ רחוב. הצלחת עץ הרחוב תלויה במידה רבה באיכות שתיל העץ שמגיע מהמשתלה. משתלות עצי הנוי בישראל מייצרות כיום שתילי עצים שאינם עומדים בסטנדרט הנדרש. העצים לרוב לא עברו סלקציה, והם אינם מורכבים. זאת ועוד, רוב השתילים שבמצאי הם בעלי מבנה שלד בעייתי. רובם הגדול של העצים במשתלות הם בעלי התפצלות ענפים מרכזית בגובה 220 ס"מ, תוך יצירת שלד עץ ללא ענף מוביל. מבנה שלד זה גורם למצב שענפיו התחתונים של העץ המתבגר ברחוב הם בעלי זרועות נמוכות החשופות לפגיעת רכבים גבוהים. עצים אלה ללא ענף מוביל מוגדר, אינם גדלים מספיק לגובה, מצד אחד, ולא ניתן "להעלות" את הנוף שלהם במהלך התבגרותם, מצד שני. (אילון 2010)

אדריכל הנוף יעקב אילון מציע תקן שתילים חדש לעצי רחוב. עץ לפי התקן החדש יהיה עץ בעל שלד מאוזן וחזק. (ראה איור 55) העץ יהיה בעל גמישות מבנית שתאפשר "להעלות" את הנוף שלו במהלך התפתחותו ברחוב, גם ללא מיומנות רבה. על פי אילון, במשך השנים יתפתח עץ עם גזע נקי וישר שניתן לגזום עד לגובה מעבר חופשי של משאיות, מחד גיסא, ויהיה בעל נוף מאוזן, מאידך גיסא. (אילון 2010)

בשירות ההדרכה והמקצוע במשרד החקלאות, עודכנו לאחרונה הסטנדרטים לעיצוב עצים במשתלות. על מנת להשיג שתיל עץ איכותי (בן שחר 2016), אולם נראה שבכדי להוציא את הסטנדרטים החדשים מן הכוח אל הפועל, קיים הצורך להגדיל את הקצאת המשאבים לקניית עצי רחוב וכן את הביקוש לשתילים איכותיים.



איור 55 - תקן שתילים חדש, מעבר לענף מרכזי מוביל מובנה כבסיס לשלד עץ רחוב

Figure 55 - New Seedlings Tree Training standard



איור 56 - עצים מעוצבים על פי התקן החדש, אדריכל נוף יעקב אילון

Figure 56 - Trees Shaped According to the new Standard

5.6.3 תנאי שלישי - מרחב המחיה העליון

תנאי זה מתייחס למרחב המחיה העל קרקעי של העץ.

5.6.3.1 זכויות שמש

לצורך מחייתו מבצע העץ פוטוסינתזה, תהליך זה דורש אור בכמות ניכרת. בניינים גבוהים או צמרות עצים, מגבילים לעיתים את רמות השמש הישירה להן העץ זקוק לצורך גדילה. (ראה איור 57)

רק מינים מעטים מסוגלים להתפתח ברמות אור נמוכות. כאשר רמת האור נמוכה, העץ מגיב עם צימוח של פחות עלים ופריחה, מתבצעת פחות פוטוסינתזה. כפועל יוצא, קטנים מאגרי המוטמעים לשימוש העץ בעת עקה. (Roberts 2006) עם זאת עצים יודעים לנצל גם החזרי קרינה מבניינים ואור שמש שאיננו ישיר (diffused light). כאשר מתכננים עצי רחוב, יש לנסות ולאמוד את כמות האור הישיר וכן את האור המוחזר אליו יחשפו העצים. בחירת מין העץ, חשוב שתעשה בהתאם לרמות חשיפה אלו. באתרים בעלי רמות אור חלשות כגון "קניון" בין מגדלים, כדאי להשתמש בעצים שיודעים להתפתח היטב ברמות קרינת שמש נמוכות וכן במיני קליימקס (תצורת שיא) שביכולתם לגדול מתחת לחופת עצים קיימת.



איור 57 - זכויות שמש לעצים בעיר, איור James Urban

Figure 57 – Urban Trees Solar Access

5.6.3.2 יחסי הגומלין עם תשתיות עיליות

למרות שניתן למצוא הרבה דוגמאות לכבלי חשמל שעוברים בתוך נוף עצים, החיבור בין כבלי תשתית עיליים לעצים, איננו מומלץ. חשוב לזכור כי בראייה ארוכת טווח, הגיוני יותר להטמין את כבלי החשמל באדמה מאשר להתאים את העצים לקיומם של כבלי חשמל. עם זאת כאשר קיים קונפליקט בין צמרות עצים לקווי מתח, נוקטת חברת החשמל בפעולות המועילות לה חולות עבורה, ואינה לוקחת בחשבון את הנזק שנגרם לעצים. במקרים של תכנון נטיעות חדשות ברחוב בו קיימים קווי חשמל (קורה לעיתים בחידוש רחובות קיימים) ראוי לתכנן את הנטיעה באופן שיבטיח את מרחב המחיה העליון של העץ. עצים בעלי מבנה דליל וענפים פתוחים בזווית רחבה, יוכלו להתמודד באופן מיטבי עם קווי חשמל (Urban 2008). לעומתם, עצים בעלי ענף מוביל מרכזי דומיננטי, יהיו קשים לעיצוב וסביר שיגרם קונפליקט בינם לתשתיות עיליות.

5.6.3.3 נוף גבוה

עצים מתפקדים היטב בחלל הרחוב כאשר הם מעוצבים לקיום נוף גבוה. לעצי רחוב עם נוף גבוה מספר יתרונות:

- נוף העץ איננו נפגע מכלי תחבורה גבוהים (משאיות ואוטובוסים).
- ביכולתו של העץ לספק הצללה גם מעל מסעות.
- נוף העץ איננו מסתיר את חזיתות הבניינים במפלס הקרקע ומאפשר קיום חזית מסחרית עם פעילות שוקקת של בתי קפה וחנויות תחת צמרות.
- נוף גבוה מאפשר מעבר רוח, זרימת וסחרור אויר שמפנים מהרחוב את זיהום האוויר. בכדי להשיג יתרונות אלו יש לעצב את עצי הרחוב לקבלת שלד איכותי ונוף גבוה, כך שענפיהם התחתונים של העצים יהיו במינימום גובה של 4.5 מטרים מעל פני הרחוב. (אילון 2016) (ראה איור 58)

5.6.3.4 הגנה פיזית

לעיתים נחוצה הגנה פיזית על הגזע באמצעות מגן עץ. בעיקר ברחובות וכיכרות עם תנועה ערה של הולכי רגל. בעבר היה מקובל להתקין מגינים גבוהים מפלדה לכל עצי הרחוב. בשנים האחרונות פחת השימוש בהם, הן עקב עלותו הגבוהה של המגן והן בשל העובדה שבמקרים רבים גורם המגן נזק לצוואר הגזע של העץ המתבגר. באופן עקרוני, אם פתח הנטיעה גדול מספיק, אין צורך במגן. כדאי להשתמש במגינים במקומות בהם עצים צעירים חשופים לנזק פיזי כגון חצרות של מוסדות חינוך ורחבות הומות מפעילות. גם במקרה זה, יש להסיר את המגינים לאחר התפתחות העץ. גדרות ומעקות נמוכים (Toe rail) יכולים להוות תחליף למגינים באזורים צפופים עם סכנה לפגיעה פיזית בעצים.



איור 58 - עיצוב עצי רחוב עם נוף גבוה, למעבר תחבורה וסחרור זיהום אויר

Figure 58 - Tree Shaped with High Crown Clearance

5.6.4 תנאי רביעי - גיזום מכוון של העץ המתבגר ותחזוקת העץ לאורך כל חייו

על מנת להשיג עץ רחוב איכותי, יש להמשיך ולבצע גיזום מכוון שיבטיח מבנה שלד מאוזן וגובה נוף מספק על פי פרוטוקול אחזקה בהתאם למין ולמיקום העץ ברחוב. יש לוודא השקיה קבועה בעונות היבשות וכן תחזוקה רציפה, שתבטיח תפקוד סדיר של מערכות השקיה, אוורור וניקוז לאורך שנים.

מיד עם סיום הנטיעה מתחילה התקופה הקריטית ביותר עבור עץ רחוב מבחינת תחזוקה. בין שנה ועד חמש שנים מרגע הנטיעה, נחוצה השגחה תכופה על מנת לעזור לעץ להשתקם מהעתקתו לאתר הנטיעה. תחזוקה עיקרית בתקופה זו כוללת בקרה על ההשקיה וגיזום מכוון. יובש בבית השורשים, או השקיית יתר עלולים להיות קטלניים עבור העץ. בישראל, לאחר סיום ביצוע הפרוייקט על ידי קבלן גינון, נמסר הפרוייקט לידי מחלקות גינון עירוניות ומאותו שלב נגמרה אחריות המתכנן. בארצות הברית, אחראי המתכנן גם על הכנת מסמך של תכנית התחזוקה. מחקר זה מציע אפשרות לאמץ שיטה זו. על המתכננים להיות משתתפים פעילים בתהליך תחזוקה ארוך טווח של עצים כאשר שלב תכנון עצי הרחוב הוא השלב הראשון בתכנית התחזוקה.

5.7 ממצאי המחקר וכיוונים למחקר עתידי

להלן סיכום תמציתי של התובנות שעלו מהעבודה ותרומתן האפשרית לכיווני מחקר עתידיים:

- 1. עצי רחוב הם מרכיב מהותי באקולוגיה העירונית**
המחקר מדגיש את חשיבותם של עצי הרחוב בתוך מערכת האקולוגיה העירונית, הרבה מעבר לחלקם היחסי המצומצם (מבחינה כמותית) במערכת זו. הצלחת עצי רחוב, כך אטען, תביא לשיפור מהותי של המרחב העירוני.
- 2. האבולוציה של בתי גידול במרחב העירוני בישראל**
המחקר מתחקה אחר השלבים השונים בפרקטיקה של נטיעת עצי הרחוב בישראל ובוחר איך השפיעה התפתחות אבולוציונית זו על הסטנדרטיים המשמשים כיום לנטיעת עצי רחוב.
- 3. חסמים ומגבלות לשגשוג עצי רחוב בישראל**
המחקר מזהה שורה של מגבלות וחסמים העשויים להשפיע באופן שלילי על התפתחות דור העתיד של עצי רחוב בערי ישראל. החסמים המרכזיים הינם תקצוב חסר להקמה ותחזוקת עצי רחוב, תכנון לקוי של בתי גידול לעצים בריצופים קשים וכן ביזור תשתיות עירוניות בתת הקרקע באופן שאינו מותיר מקום להתפתחות שורשים.
- 4. תפיסה של עצי רחוב כקישוט**
המחקר מראה שלעיתים קרובות עצים בעיר נתפסים בקרב הדרג המקצועי בעירויות כקישוט בלבד ולא כגורם משפר איכות סביבה וחיים. בנוסף, נראה שקיימת העדפה ברורה לעצים קטנים ומסודרים. יתכן כי תפיסה זו היא שמביאה להקצאת משאבים מוגבלים לטיפול היער העירוני.
- 5. העדר תכניות אסטרטגיות לייעור עירוני**
המחקר מצביע על העדרן של תכניות אב, מסמכי מדיניות ו/או תכניות אסטרטגיות ארוכות-טווח לייעור עירוני בישראל.
- 6. שילוב עצי רחוב בתהליך התכנון המוקדם**
המחקר מצביע על כך ששילוב עצי הרחוב נכנס להליכי התכנון בשלב מאוחר מדי ולפיכך מגביל את האפשרות ליצירת תנאים אופטימליים לגדילת עצי רחוב ולמיצוי הפוטנציאל של היער העירוני.
- 7. ניתוח השוואתי של מערכות נטיעה לעצי רחוב**
המחקר בוחן מערכות נטיעה ייעודיות לשיפור מרחב המחיה של עצי רחוב בישראל. הנגשת מערכות אלו, שחלקן טרם נוסו בארץ, תתרום לקידום הידע והפרקטיקה של נטיעת עצי רחוב בישראל.

8. תנאי יסוד להצלחת עצי רחוב

המחקר מציע 4 תנאי יסוד להצלחת עצי רחוב בישראל וטוען כי הצלחה זו תהיה תוצאה של גישה מקצועית כוללנית: הבטחת מרחב מחייה תת קרקעי מתאים, שתיל עץ איכותי ממין מתאים, מרחב מחייה עליון מתאים וכן גיזום ואחזקה מקצועית למשך כל חיי העץ.

9. פיתוח של פרטי נטיעה

במהלך המחקר פותח (ובוצע בשטח) פרט נטיעה משופר המתבסס על הדגם של תעלת נטיעה המשכית לעצי רחוב (רחוב ההגנה 106 בתל אביב, קיץ 2016).

מחקר עתידי

עבודה זו מצביעה על העדר כמעט מוחלט של מחקר בתחום יערנות עירונית בישראל. יתכן שהחסר במחקר ובידע הוא הגורם המרכזי להזנחה ולמשאבים המוגבלים המוקצים לייעור העירוני בישראל על ידי משרדי ממשלה ורשויות עירוניות. קיימים מספר כיוונים למחקר המשך שירחיב ויעמיק את המחקר הנוכחי:

1. מיפוי של כיסוי צמרות עירוני (UTCC) בערי ישראל.

ניתן לשער שקיימת שחיקה מהותית בכיסוי הצמרות העירוני בישראל, עקב פיתוח מהיר, העדר הגנה מספקת על עצים בוגרים, חוסר הצלחה של עצים צעירים והעדר מוטיבציה מוסדית ועירונית המקדמת ייעור. מיפוי עדכני באמצעים מתאימים כגון LIDAR, יאשש או יזים השערה זו, וכפועל יוצא יביא לגיבוש אסטרטגיה מתאימה.

2. ניתוח השוואתי של פרויקטי פיילוט בשיטות נטיעה חדשות. בשנה האחרונה (2016)

בוצעו מספר פרויקטי פיילוט תוך שימוש במערכות נטיעה מתקדמות. נדרש מחקר המשך שיעקוב אחר התפתחות העצים במערכות השונות.

3. ניצול כספי כופר כריתה בהעצמת היער העירוני. יש להעריך את מידת היעילות של

כספי כופר הכריתה כפיצוי על עצים שנכרתו. בנוסף, ניתן לבחון דרכים קיימות לשימוש בכספי הכופר ולהציע דרכים חדשות לניצול מיטבי של הכסף בדרך שתעצים את הייעור העירוני.

4. ניתוח כלכלי של תרומת העצים בערי ישראל.

מחקר כמותי שינתח את תרומת היער העירוני במדדים כלכליים עשוי לחולל שינוי תפיסה אצל מקבלי ההחלטות.

המחקר מצביע על חשיבות הייעור העירוני ומתווה דרכי פעולה להעצמת היער העירוני באמצעות תכנון וניהול.

שאלות המחקר עוסקות בזיהוי הגורמים המגדירים את מרחב המחיה של עצי הרחוב בישראל, ובמיוחד איכות מרחב המחיה התת-קרקעי שזוהה כגורם מגביל מרכזי בשגשוג עצי הרחוב. במהלך המחקר התחוויר שהתנאים הפיסיים של העץ, היינו בית הגידול התת-קרקעי והעל-קרקעי, הם רק פן אחד בתמונה השלמה אליהם מצטרפים גורמים נוספים המשפיעים על הצלחת עצי הרחוב.

- **אסטרטגיה ומדיניות** - המחקר מצביע על הצורך בהכנת מסמך תכנית אב או תכנית אסטרטגית לייעור עירוני ברמת רשויות מקומיות, כפי שנהוג בערים רבות בחו"ל. מסמכים אלו יכללו סקירת מצב קיים של משאב היער העירוני, יפרטו חזון, מטרות ויעדים של היער העירוני בתחומי הרשות וכן, אמצעים להקמה, ניהול ותחזוקה של שלד עירוני ירוק.

- **מצאי במשתלות** - הצלחת עץ הרחוב תלויה במידה רבה באיכות שתילי העצים שמגיעים מהמשתלה. משתלות עצי הנוי בישראל מייצרות כיום שתילי עצים שאינם עומדים בסטנדרט הנדרש. העצים לרוב לא עברו סלקציה, הם אינם מורכבים והם בעלי מבנה שלד בעייתי שגורם לתפקוד לקוי עם התבגרות העץ. יצירת סטנדרט שתילים חדש לעצי רחוב, הקצאת משאבים כלכליים למימון טיפוח השתילים וליווי מקצועי של משתלות עצי הנוי בתהליך השתפרות זה, הם תנאים הכרחיים להצלחה של עצי רחוב בערים.

- **אחזקה ארוכת טווח** - עצים בסביבה בנויה ומרוצפת זקוקים להשגחה וטיפול לאורך כל חייהם. לא די במרחב מחיה תומך ובשתיל עץ איכותי, אם אלה אינם מלווים בתחזוקה טובה. דרוש שינוי מודעות של מקבלי החלטות והגדלת התקציבים לתחזוקת עצים בוגרים בעיר. דרושה הכנת פרוטוקול מפורט לתחזוקה ארוכת טווח של עצים, שדרוג טכנולוגיות תחזוקה כמו גם שיפור באיכות העבודה הקבלנית סביב עצים והפיקוח העירוני על עבודה זו.

משרד החקלאות, אגרונומים, אדריכלי נוף ובעלי ענין פתוחים היום יותר מתמיד לידע ולכלים חדשים שיביאו לשגשוג עצים במרחב העירוני. ביטוי לכך ניתן לראות בחוברות הדרכה, בימי עיון, בסיוורים ובעניין הציבורי. אולם קיים פער ניכר בין התעוררות השיח המקצועי לבין הטמעת הידע בתכנון האסטרטגי, בהקצאת משאבים וכן בעיגון הידע בסטנדרטים מבוצעים.

שאלת המחקר "מהם המאפיינים הפיסיים, הגורמים והסיבות המגדירים כיום את מרחב המחיה של עצי רחוב בישראל" נולדה מתוך רצון לשיפור איכות החיים העירונית. למחקר אופי תיאורטי ויישומי מובהק ותוצאותיו ישמשו כבסיס לתכנון וניהול עתידי של נטיעת עצים בערי ישראל.

5.9 ביבליוגרפיה

1. אשכנזי, ע., (2016) משאב העצים העירוני, מדריך למקבלי החלטות, פקיד היערות, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.
2. שקדי, א., (2003) מילים המנסות לגעת - מחקר איכותני, תיאוריה ויישום תל-אביב: רמות. עמ' 27.
3. שלסקי, ש, ואלפרט ב, (2007) דרכים בכתיבת מחקר איכותני: מפירוק המציאות להבניתה כטקסט, תל-אביב: מכון מופ"ת.
4. גלון, י. הלר, א. (2013), בית הגידול של עץ הרחוב, מדריך עצי הרחוב בישראל, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.
5. גולדפינגר, ד. (2009), מפרט כללי לפיתוח נופי, פרק 40,41, הוועדה הבין-משרדית לסטנדרטיזציה של מסמכי החוזה לבנייה ולמחשובים. משרד הביטחון.
6. כרמון, נ. שמיר, א. (2007) תר"מ – תכנון רגיש למים, שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי, המרכז לחקר העיר והאזור, הטכניון, חיפה.
7. הולצמן-גזית, י. ארץ, עיר, צומח: הסדרי המשפט בתחום ההגנה על עצים במרחב העירוני, המשפט, כרך כא, עמ' 11, דצמבר 2015
8. משגב, א. עמיר, ש., (1988), תהליך תכנון משק עצי הרחוב בישובים עירוניים, הטכניון, חיפה.
9. פוצ'טר, ע', סערוני ה', יעקב י', לונקה א' וביתן א', (2002), השימוש בצמחייה ככלי לשיפור האיכות האקלימית באזורים מטרופוליניים בהדגמת תל אביב, מחקרים בגיאוגרפיה של ארץ ישראל, ט"ז, 362-377.
10. פוצ'טר, י. יעקב, ל. שעשוע-בר, ש. כהן, י. טנאי, פ. בר קותיאל (2012) מיתון עומס חום בערים מדברית באמצעות צמחים בארבע כמקרה בוחן, אקולוגיה וסביבה, גיליון 3 (1), ע"מ 33-42.
11. קפלן, מ., (1999), תמ"א 22 - תכנית מתאר ארצית ליער ויעור, מסמך מדניות, קק"ל, עמ' 40, 91.
12. שעשוע - בר, ל. הופמן, מ., (2002) "תרומת הייעור האורבני לשיפור אקלים העיר", עיתון יער - כתב עת ליער חורש וסביבה, גיליון 2, עמ' 52-63.
13. ראיונות עומק עם אדריכלי נוף ואגרונומים, דויד סקלי, דני אלמליח, יעקב אילון, חיים גבריאלי, יצחק הלאור, ישראל גלון, ישראל דרורי, דבי לדר.
14. נוהל 809, (2016) נוהל טיפול בעצים הנטועים בתל אביב-יפו, עיריית תל אביב יפו.

15. Alberti, M., Marzluff, J.M. (2004). Ecological resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems* 7, 241-265.
16. Andersen, Frode, Cecil C. Konijnendijk, and Thomas B. Randrup. (2002) "Higher education on urban forestry in Europe: an overview." *Forestry* 75.5, 501-511.
17. Bakker, B. (1995) "De stadsuitleg van 1610 en het ideaal van *de 'volcomen stadt'*: Meesterplan of mythe?" In: *Jaarboek Amstelodamum* 87, 71-96.
18. Bassuk, N. Grabosky, J. Trowbridge, P. (2005). "Using CU-Structural Soil in the Urban Environment." Cornell University Urban Horticulture Institute.
19. Bolund, P. Hunhammar, S. (1999), Ecosystem services in urban areas, *Ecological Economics* 29, Elsevier, 293–301.
20. Brown, C.N. and Pershall, R.T. (1982), *Urban Forestry from a Forest Management Perspective*. Portland: USDA Forest Service.
21. Byrne, J. Roy, S. Pickering, C. (2012), A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones, *Urban Forestry & Urban Greening*, Elsevier 11, 351– 363.
22. Blunt, S. M. (2008). Trees and pavements - Are they compatible? *Arboriculture Journal: International Journal of Urban Forestry*, 31, 73–80.
23. Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P., vandenBelt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(15), 253–260.
24. Craul, P.J. (1992). *Urban Soil in Landscape Design*. John Wiley and Sons, New York, NY.
25. Chadwick, L.C. 1971. "3000 years of arboriculture - past, present and future", *Arborist news* 36(6):73-78.
26. De Groot, J. Fay, N. Dujesiefken, D and Berker, N., (2016) *Trees – a Lifespan Approach: Contributions to arboriculture from European practitioners, Roads for Nature*.
27. Denman, E. (2003), An investigation of the potential to use street trees and designed soils to treat urban storm water, *Treenet Proceedings of the 4th National Street Tree Symposium*.
28. Dye, C. (2008), Health and urban living. *Science* 319, 766–769.
29. Duepeltmann, S. 2009. *Creating Order with Nature: Transatlantic Transfer of Ideas in Park System Planning in Twentieth-Century Washington D.C., Chicago, Berlin and Rome*, *Planning Perspectives* vol. 24 no. 2/2009.

30. Erell, E., D. Pearlmutter, and T. J. Williamson. 2011. *Urban Microclimate: Designing the Spaces between Buildings*. 1 ed. London; Washington, DC: Earthscan.
31. Ford, R. (1995) *Independence Day*, Vintage Books, New York.
32. Francis, M. (2001). A case study method for landscape architecture. *Landscape Journal*, 20(1), p.16.
33. Geuze, A., (2007) *Mosaics west 8*, Princeton Architectural Press, P. 15-17.
34. Gillner S, Juliane Vogt, Andreas Tharang, Sebastian Dettmann, Andreas Roloff, (2015) Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites, *Landscape and Urban Planning* 143, 33–42.
35. Givoni B. (1991). Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. *Atmospheric Environment*. 25B/3: 289-299.
36. Golafshani, N. (2003). Understanding reliability and validity in qualitative research. *The qualitative report*, 8(4), 597-606. pp. 600-604.
37. Gómez, B., E., Barton, D., N. (2013), *Classifying and valuing ecosystem services for urban planning*, *Ecological Economics* 86, Elsevier, 235–245.
38. Grabosky, J., N. Bassuk, L. Irwin, and H. van Es. (1998). Pilot study of structural soil materials in pavement profiles. In Watson, G. (Ed.) *The Landscape Below Ground II*. International Society of Arboriculture, Champaign, IL.
39. Grey, G.W. and Deneke, F.J. (1992), *Urban Forestry*, 2nd edition. Florida: Krieger Publishing Company.
40. Harrison, R, P. (1992) *Forests: The Shadow of Civilization*, Chicago: University of Chicago Press.
41. Jones O., 2008, *The Urban Ecosystem*, *Advances in urban ecology: integrating humans and ecological processes in urban ecosystems*. New York: Springer.
42. Jones, O., (2014). (Urban) Places of Trees: Affective Embodiment, Politics, Identity, and Materiality. In *Urban Forests, Trees, and Greenspace: A Political ecology perspective*.
43. Jorgensen, E. (1974). *Towards an urban forestry concept*, Oxford and Aberdeen, UK
44. Jacqueline W.T. Lu, et al., "Biological, social, and urban design factors affecting young street tree mortality in New York City," *Cities and the Environment* 3 (2010).
45. Kim, Gunwoo, Patrick A. Miller, and David J. Nowak. (2015), "Assessing urban vacant land ecosystem services: Urban vacant land as green infrastructure in the City of Roanoke, Virginia." *Urban Forestry & Urban Greening* 14.3: 519-526.

46. Kopel, D. (2015), *Spectroscopy as a Diagnostic Tool for Urban Soil, Water Air Soil Pollute* 226: 233, Springer.
47. Kopinga, J. (1985) "Research on street tree planting practices in the Netherlands." Research Institute for Forestry and Landscape Planning 'De Dorschkamp' Wageningen, The Netherlands.
48. Kowarik, I. N. G. O. (1990) "Some responses of flora and vegetation to urbanization in Central Europe." *Urban ecology: plants and plant communities in urban environments* 45-74.
49. Kuo, F. (2003), *Social Aspects of Urban Forestry: the Role of Arboriculture in a Healthy Social Ecology*, *Journal of Arboriculture* 29(3):148-155.
50. Lara A. Roman and Frederick N. Scatena, (2011) "Street tree survival rates: Meta-analysis of previous studies and application to a field survey in Philadelphia, PA, USA," *Urban Forestry & Urban Greening* 10, no. 4: 269-274.
51. Lindsey, P. & Bassuk, N. (1991), Specifying soil volumes to meet the water needs of mature urban street trees and trees in containers. *Journal of Arboriculture* 17, No. 6, 141-149.
52. Lynch, K. 1981, *A Theory of Good City Form*, Cambridge: MIT Press.
53. Lu, J. W. T., Svendsen, E. S., Campbell, L. K., Greenfield, J., Braden, J., King, K. L., et al. 2010. Biological, social, and urban design factors affecting young street tree mortality in New York City. *Cities and the Environment*, 3, 1–15.
54. McDonnell M.J., Pickett S.T.A., Groffman P., Bohlen P., Pouyat R.V., Zipperer W.C., Parmelee R.W., Carreiro M.M. and Medley K. (1997) Ecosystem processes along an urban-to-rural gradient. *Urban Ecosystems* 1: 21-36.
55. McHarg, I. L., & Mumford, L. (1969). *Design with nature* (pp. 7-17). New York: American Museum of Natural History.
56. McPherson, E.G. (1984). Employer perspectives on arboriculture education. *J. Arboric.* 10(5):137–142.
57. Moll, G., (1989). The state of our urban forest. *American Forests*. 95(11/12):61–64.
58. Murphy, E., Dingwall, R., Greatbatch, D., Parker, S., & Watson, P. (1998). Qualitative research methods in health technology assessment: a review of the literature. *Health technology assessment (Winchester, England)*, 2 (16), p. 132-133.
59. Nowak, D.J., 1994a. Air pollution removal by Chicago's urban forest. In: McPherson, Rowntree, R.A. (Eds.), *Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. Gen. Tech. Rep., NE-186. U.S. Department of

- Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Radnor PA, pp. 63–81.
60. Nowak, D.J, Eric J. Greenfield, (2012) "Tree and impervious cover change in U.S. cities," *Urban Forestry & Urban Greening* 11, no 1, 21-30.
 61. Pan, Yude; Birdsey, Richard A.; Phillips, Oliver L.; Jackson, Robert B. (2013). "The Structure, Distribution, and Biomass of the World's Forests". *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 44(1): 593-622.
 62. Pickett, Steward TA, et al. (2001) "Urban ecological systems: Linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas 1." *Annual review of ecology and systematics* 32.1,127-157.
 63. Profous, G.V. 1992. "Trees and Urban Forestry in Beijing, China.". *J. Arboriculture*, 18(3): 145-153.
 64. Rees, William, and Mathis Wackernagel. (2008) "Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability." *Urban Ecology*. Springer US, 537-555.
 65. Richards, N. (1983). *Urban Forestry: Street tree management*, in NYFO, pp. 8-9.
 66. Roberts, J. (2006), *Tree Roots in the Built Environment*, TSO, UK.
 67. Rowntree, R. A. 1998, "Urban Forest Ecology: Conceptual Point of Departure", *Journal of Arboriculture* 24(2): 62-71.
 68. Schwab, J, 2009, *Planning the Urban Forest Toronto 2004, Our Common Grounds, parks and recreation strategic plan*, city of Toronto.
 69. Shashua-Bar, L. Hoffman, ME (2004) "Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees" *Building and Environment* 39 (9), 1087-1099.
 70. Shashua-Bar L, Pearlmutter D and Erell E. (2011) The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology* 31(10): 1498-1506
 71. Shigo, A. (1989) *A new Tree Biology*, Shigo and Trees Associates, USA.
 72. Shigo, A.L. 1985. Compartmentalization of decay in trees. *Scientific American* 252(4): 96-103.
 73. Sijmons, D. (2002) *Architecture + Nature = Landscape*. Architectura & Natura Press. Amsterdam.
 74. Skiera, B., and Moll, G., "The sad state of city trees," *American Forests* (1992): 61-64.
 75. Smardon, R. C., (1988), "Perception and aesthetics of the urban environment: Review of the role of vegetation." *Landscape and Urban Planning* 15.1 :85-106.

76. Smiley, E. T. (2006), Comparison of Structural and Noncompacted Soils for Trees Surrounded by Pavement, *Arboriculture & Urban Forestry*, 32(4).
77. Sogunro, O. A. (2002). Selecting a quantitative or qualitative research methodology: An experience. *Educational Research*.
78. Spirn, Anne. (2014), *Ecological Urbanism: A frame work for the design of resilient cities*. *The Ecological Design and Planning Reader*, Springer, pp 557-571.
79. Spirn, Anne (1998), *The Language of Landscape*, New Haven: Yale University Press.
80. Strauss, A., & Corbin, J. (1994). Grounded theory methodology. *Handbook of qualitative research*, 17, 273-285.
81. Sudipto, R. Byrne, J. Pickering, C. (2012), A systematic quantitative review of urban tree benefits, *Urban Forestry & Urban Greening* 11, 351-363.
82. Sunyer, J., Basagaña, X., Belmonte, J., Antó, M., (2002). Effect of nitrogen dioxide and ozone on the risk of dying in patients with severe asthma. *Thorax* 57, 687–693.
83. Tal, A. (2013), *All the Trees of the Forest*. Yale University Press. New Haven, CT. 368.
84. Trowbridge, P., Bassuk, N. (2004), *Trees in the Urban Landscape: Site Assessment, Design, and Installation*, Wiley.
85. UN (United Nations), (2010), *World Urbanization Prospects: The 2009 Revision*. UN Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York.
86. UN (United Nations), (2011), *Teeb - The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Ecosystem Services in Urban Management*, United Nations Environment Program, Geneva.
87. Urban, J. (1992). "Bringing Order to the Technical Dysfunction within the Urban Forest." *Journal of Arboriculture*, 18(2), 85-90.
88. Urban, J. (2008), *Up By Roots: Healthy Soils and Trees in the Built Environment*. International Society of Arboriculture, Champaign, Illinois.
89. Vitousek, P. M., et al. (1997) "Human domination of Earth's ecosystems." *Science* 277.5325: 494-499.
90. Wiseman, P. Eric, et al. (2011) "A syllabus-based review of collegiate arboriculture course content in the United States." *Arboriculture Urban Forest*, 37 51-59.
91. Xiao, Q., (2002), Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. *Urban Ecosystems* 6, 291–302.
92. Yu Hung, Y. (2011) *Landscape Infrastructure: Case Studies by SWA*, Birkhauser, Basel.

infrastructure of urban engineering, water, sewage, and electricity. Therefore, a fundamental shift in perception is needed: trees are not ornamentation, but part and parcel of a city's infrastructure, in every respect. Accordingly, government offices must promote urban forestry through research funding and by allocating financial support and resources to towns, with a view to encouraging the cultivation of urban forests.

Another area that is sadly lacking is vocational training. Israel still has no academic program for training urban foresters. Indeed, the very subject of trees in an urban context is not taught in universities which further exacerbates Israel's professional knowledge gap in relation to other countries, as evident in the inadequate design of trees in its urban realm.

The present study reveals that in the urban planning system in Israel there is as yet no requirement for a masterplan or strategic plan for urban forestry. In fact, there is not a single authority in Israel that has a general strategic plan for managing urban tree resources. Such a plan would provide a vision and a long-term strategic and planning direction with regard to education about, and the design, planting, protection and cultivation of mature trees. In addition, it would provide goals for increasing urban tree cover, and formulate ways of managing its attendant resources. The present study underlines the critical importance of such a plan, and supports the demand for its introduction.

In summary, this study highlights the importance of urban forestry, and offers a new approach and creative means of enhancing the urban forest. It is both theoretical and practical in its approach, and its findings can lay the groundwork for future planning and management of tree planting in Israeli towns and cities.

*

In the specific area of street tree planting, the present study has identified four basic conditions that play a major part in determining the success of trees in hard surface areas. Fulfilling these four conditions can ensure the health and longevity of street trees:

The first condition is the below-ground rooting space—namely, the capacity of the soil available to the trees to ensure its proper development and sustenance throughout its lifespan. A second important factor is the method used to support the pavement surrounding the tree, to ensure that the soil has adequate ventilation, irrigation and drainage. A further issue is the reciprocal relationship between the tree's root system and the street infrastructure.

The second condition concerns the tree sapling itself, in two respects. One is the type of tree chosen to suit the street profile, its allocated planting space, and the level of maintenance that the local authority is capable of providing the tree in future. The second concerns the quality of the sapling in terms of its cultivation at the nursery and the construction of a suitable tree structure in line with current street tree pruning instructions.

The third condition concerns to the tree's above-ground habitat namely, the space taken up by the tree on the street, its positioning in the sidewalk, its interaction with high-level urban infrastructure, its relationship to lot lines, and its solar access to ensure its proper growth.

The fourth condition concerns the design of the sapling and the maintenance of the tree throughout its life. To achieve a high-quality street tree, it must undergo regular prescribed pruning to ensure a balanced tree structure and sufficient crown clearance, coupled with an appropriate maintenance protocol given the tree's species and location on the street. This includes ensuring that it is regularly watered during the dry seasons, and that its irrigation, ventilation and drainage systems are properly maintained over the years.

Israel is a young country, and so, too, its urban forestry. The present study highlights the fact that Israel lags significantly behind leading countries in this field with regard to policy, strategy and planning of urban forests, and that a paradigm shift is needed if this situation is to improve.

In the wider context of urban forestry in Israel, the present study also offers a range of insights with regard to policy, strategy and planning. In particular, it points to the fact that government entities and local authorities still view trees as ornaments. Despite their potentially profound contribution to the urban environment, the urban forest i.e., the city's green infrastructure is allocated only a fraction of the budgets given to the gray

space for urban ecology, including street trees. Besides the growing global trend of bringing back pedestrians to the street and increasing the use of public transport, great importance has been placed on designing streets as climate-mitigating corridors. In this regard, trees and street trees in particular are key to achieving this goal.

The importance of street trees far exceeds their relative proportion of the total urban forest. Their location at key points in the urban landscape, between the public and the private realm, and between the street and other land uses, underscores their value and role. Nonetheless, of all elements of the urban forest, street trees are also the ones that are most adversely impacted by the urban environment. Unlike trees in gardens, parks or private yards, street trees are at the front line of the municipal scene, and bear the brunt of its air pollution, environmental pressures and multiple uses.

City streets need large trees: first, because they are biologically vastly more capable than small trees of providing the aforementioned environmental benefits. Moreover, just as a city should preferably consist of a variety of street sections, avenues and promenades of different scales, the urban green environment should boast a variety of tree sizes. On a commercial street or major avenue one should have large trees that create space with their imposing presence.

The positive contribution of trees to cities has been examined and proven in many studies. New knowledge in the field of urban forestry has led to the development of a range of technologies and methods for creating living space for trees and dense urban environments, while also raising awareness, prompting policy papers and growing investment of resources.

In the present study, it is apparent that Israel falls significantly behind other parts of the world in its design, planting and long-term maintenance of street trees, in terms of allocation of resources, current practices and awareness of decision-makers of the importance of the subject. Improper management, planning and implementation of trees in the city can bring about a gradual but significant degradation of the urban forest in general, and of street trees in particular. Accordingly, it is worth noting a number of key findings of research in two areas: one is the definition of criteria for improving the practice of street tree planting, and the conditions for ensuring the thriving of the tree itself; the other concerns the general issue of urban forestry in Israel, which offers a host of insights at the level of policy, strategy and planning.

Abstract

I grew up on a kibbutz among trees, and I love the city. In many ways, the city is the supreme embodiment of human living environment. The fusion of forest, people, and city into a single urban ecology, is the optimal expression of the union between wild nature and a healthy, vibrant human culture.

Landscape architects play an important role in spearheading the process of improving the quality of urban life and trees are one of the most important elements in this regard. As landscape architects, we bear a great responsibility for the quality of the planning and implementation of tree planting. The landscape architect, who is entrusted with the green structure of a given area, decides what kind of tree is planted, and how. Appropriate matching of trees to location, and an informed specification of a tree's surroundings, determines whether it will prosper or not through its lifespan. To a large degree, is through the use of trees that the landscape architect is responsible for improving the quality of the entire urban space.

Ever since their first appearance on earth, trees have been hugely influential in shaping the planet's ecology and living conditions. They have been of particular importance to the evolution of mankind and the development of civilizations and communities. It is generally believed that civilization developed mainly in the city, and that trees have existed in it since time immemorial. Indeed, researchers have found that some of the world's ancient civilizations ancient Egypt, Persia, Greece, China and Rome made sure to maintain wooded areas within their cities, by creating gardens and woodland near places of worship and planting trees around their homes, for various reasons.

Today, studies have shown that trees offer a range of benefits and functions as a key component of urban ecology. The ecological services that trees provide the built environment have been empirically proven to be of critical importance to its inhabitants. As a result, increasing resources have been invested in recent decades in researching and cultivating urban forests throughout the world.

Throughout history, since the founding of the first cities, the street has been a key element of its structure. Streets are the arteries of life of the city, and an expression of local identity. The street space is a linear public one, and a platform for various human activities, cultural and recreational purposes, traffic and transportation, urban infrastructure, and as a planting

Tables

Table 1 - Tree Planting Soil Volumes in Policy Documents	65
Table 2 - Soil under Pavement Systems Comparison	86-87

Illustrations

Figure 1 - Toronto Central Waterfront vision	5
Figure 2 - Temperature Curve above an Urban area	13
Figure 3 - the Urban Forest Components	16
Figure 4 - Tree Benefits in Urban Environments	17
Figure 5 - "View down a Dutch Canal" by Jan van der Heyden	21
Figure 6 - Tree size to environmental benefits ratio	23
Figure 7 - Tree Roots extend out from the Trunk	25
Figure 8 - Tree Roots Morphology	26
Figure 9 - Tree Roots in Children Literature	26
Figure 10 - Ratio of tree size to soil volume	27
Figure 11 - Forest VS Urban Soil Components Volumes	29
Figure 12 - Street Tree Planting Systems	31
Figure 13 - Structural Soil Diagram	32
Figure 14 - Cross-section of typical Tree Installation into CU Soil	33
Figure 15 - Cross-section of typical Tree Installation with the Stockholm Planting Method	34
Figure 16 - Pressure Distributing Plates	35
Figure 17 - Root Cells	36
Figure 18 - Silva Cells	36
Figure 19 - HP Tree Box	37
Figure 20 - Pavement Bridge System	38
Figure 21 - Root Paths Element	38
Figure 22 - Tree Planting Continuous Soil Trench	39
Figure 23 - Limited Street Tree pit	47
Figure 24 - Standard Tree Planting Detail - Tel Aviv	50
Figure 25 - Standard Tree Planting Detail - Jerusalem	51
Figure 26 - Continuous Soil Trench - Modiin Industrial Park	52
Figure 27 - Continuous Soil Trench Ibn Gabirol St.Tel-Aviv	53
Figure 28 - Ibn Gabirol St.Tel-Aviv	53
Figure 29 - Tree Planting in Silva Cell - Ramat Hanadiv	54
Figure 30 - CU Soil Continuous Planting Trench - Ramat Gan	55

Figure 31 - Sand based Structural Soil Trench - Tel Aviv	55
Figure 32 - Street Tree Plantings Methods Chronology	56
Figure 33 - Urban Street Utilities Cross-Section	57
Figure 34 - Utilities Coordination Plan, Bograshov street Tel Aviv	58
Figure 35 - Tree Nourishment from Front Garden	60
Figure 36 - Street Tree Planting Costs	67
Figure 37 - Urban Forest Planning Model	70
Figure 38 - Paradigm Shift	74
Figure 39 - Reasons to Improve Tree Planting Conditions	74
Figure 40 - Tree Planting Systems in relation to Urban Programme	75
Figure 41 - Tree Planting Systems and Bicycle Lanes	76
Figure 42 - La Rambla - Barcelona	77
Figure 43 - Street Profile Size Gradient	77
Figure 44 - Street Tree Planning in the Masterplan Phase	78
Figure 45 - 4 Basic requirements for the success of street trees	79
Figure 46 - From Tree pit to Soil Trench	81
Figure 47 - Primary and Secondary Tree Rooting Space	82
Figure 48 - Planting Systems Loads Bearing	83
Figure 49 - Standard Tree Pit	85
Figure 50 - Tree Irrigation Principles	85
Figure 51 - Tree Planting Spacing to Tree Size	89
Figure 52 - Tree Pit Aeration System	90
Figure 53 - Tree Pit Curbs	91
Figure 54 - Root Director	91
Figure 55 - New Tree Seedlings Training standard	94
Figure 56 - Trees Shaped According to the new Standard	94
Figure 57 - Trees Solar Access	95
Figure 58 - Tree Shaped with High Clearance	97

Table of contents

Abstract	1
List of Abbreviations	2
Chapter 1 - Introduction	3
Chapter 2 - Theoretical Background	5
2.1 Urban Ecology	6
2.2 The Urban Forest	15
2.3 The Street Tree	21
2.4 Street Tree Planting Improvements	30
Chapter 3 - Methodology	40
3.1 Literature review	40
3.2 Individual Depth Interviews	41
3.3 Case studies	43
Chapter 4 - Findings	44
4.1 Street Tree Planting Space in Israel	44
4.2 Urban Forest Strategy and Policy	61
Chapter 5 - Discussion	73
Research Contribution	98
Epilogue	100
Bibliography	102

The Research Thesis was done under the supervision of Assoc. Professor Nurit Lisovski in the Faculty of Architecture and Town-planning / Program of Landscape Architecture.

Financial Aid

The generous financial support of Irwin and Joan Jacobs Fellowship and the Technion - Israel Institute of Technology, is gratefully acknowledged. Additional financial support, also gratefully acknowledged, was provided by the Faculty of Architecture and Town-planning, Technion - Israel Institute of Technology.

Acknowledgment

I would first like to thank my thesis advisor, Nurit Lisovski, for her support in me and the importance of my research, she steered me in the right direction.

I would also like to thank landscape architect Jacov Eilon for sharing with me his rich experience in planning and training trees.

I would like to acknowledge: Israel Galon, Yitzhak Helor, Danny Elmaliach, David Sekely, Haim Gavriel, Hanoach Burger, Dafna Helvitz, Jan Willem de Groot, Werner Hendriks and Anton Decker, for sharing with me their knowledge and for the fruitful discussion of the research topics.

I would like to thank Michal Wollner and Shaked Gil, for their help in transcription, analysis and illustrations.

Finally, I must express my very profound gratitude to my wife Hagar Zur and to my family for providing me with unfailing support and continuous encouragement throughout my study.

TREES' HABITAT IN THE ISRAELI URBAN ENVIRONMENT

Research Thesis in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Landscape Architecture

Shachar Zur

Submitted to the Senate of the Technion - Israel Institute of Technology
Sh'vat, 5777 Haifa, February 2017

TREES' HABITAT IN THE ISRAELI URBAN ENVIRONMENT

Shachar Zur