



תכנון רגיש למים (ת"ר"מ) בכבישים בינעירוניים בישראל

ליעד מרקוס

אביטל גזית

נעמי כרמון



אוקטובר 2014

תכנון רגיש למים (ת"ר"מ) בכבישים בינעירוניים בישראל

העצמת תועלות אקולוגיות וחברתיות

באמצעות שימוש בנגר הכבישים

נעמי כרמון³

אביטל גזית²

ליעד מרקוס¹

¹ אדריכלית נוף וסביבה, רעננה

² המחלקה לזואולוגיה, הפקולטה למדעי החיים ובית הספר ללימודי סביבה ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל-אביב

³ הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים והמרכז לחקר העיר והאזור, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

ייעוץ למחקר

ד"ר אינג' אלכסנדר קורן, א.א. הנדסה ותכנון מדרונות בע"מ - ייעוץ הנדסי הידרולוגי
דפנה הלבץ - ייעוץ אגרונומי ותחזוקת צמחיה לאורך כבישים

חוקרים ואנשי מקצוע שסייעו באיסוף ידע ומידע למחקר

אדר' נוף איציק אבולעפיה, אדר' נוף אבינועם אבנון, ד"ר גיורא אלון, ד"ר רם אלמוג, דני אלמליח, ד"ר אסנת ארנון, עמיר אשד, ד"ר מני בן-חור, אדר' נוף תמר דראל פוספלד, אדר' אלישע האוסמן, יואב הדר, מהנדס אריק ויינשטיין, ד"ר ירון זינגר, ד"ר מרסלו חואניקו, מהנדס ראובן לב און, פרופ' יונתן לרון, אדר' נוף עופר מור, פרופ' אורי מרינוב, מהנדס עופר סלעי, מהנדס אברהם ענבל, ד"ר דוד פרגמנט, ד"ר רון פרומקין, פרופ' ערן פרידלר, מרק פרל, מהנדסת אלונה קאופמן, מהנדס ירון קוניצ'ר, ד"ר אבנר קסלר, מהנדס קובי קרני, מהנדסת גבי רוזן, פרופ' אליסה רוזנברג, מהנדס ערן רושו, דותן רותם, אדר' נוף ליאב שלם, מהנדס איל שלו, אביעד שר שלום.

פרסום זה מבוסס על מחקר שהוגש כעבודת גמר לקראת תואר "מוסמך אוניברסיטה" של אדר'

נוף ליעד מרקוס, בהנחיית פרופ' אביטל גזית ופרופ' נעמי כרמון, במסגרת בית הספר ללימודי

הסביבה ע"ש פורטר באוניברסיטת תל אביב. המחקר בוצע בשיתוף עם המרכז לחקר העיר

והאזור בטכניון – מכון טכנולוגי לישראל.

Water Sensitive Design (WSD) of Interurban Highways Corridors in Israel Using Road Runoff for Enhancement of Ecological and Social Benefits

Liad Markus¹

Avital Gasith²

Naomi Carmon³

¹ Landscape Architect and Environmental Consultant, Raanana

² Department of Zoology, Faculty of Life Science and The Porter School of Environmental Studies, Tel Aviv University

³ Faculty of Architecture and Town Planning, Center for Urban and Regional Studies, Technion -Israel Ins. of Technology

כל הזכויות שמורות למחברים ליעד מרקוס, אביטל גזית ונעמי כרמון © 2014
Copyright © 2014 By the authors Liad Markus, Avital Gasith, Naomi Carmon
אין להעתיק, לצלם או לשכפל כל חלק מדו"ח זה ללא רשות בכתב ומראש מבעלי הזכויות.

דו"ח זה משקף את דעות המחברים והמלצותיהם; בית הספר ללימודי הסביבה ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל אביב וכן המרכז לחקר העיר והאזור ומוסד הטכניון למחקר ופיתוח בע"מ אינם אחראים לדיוק הנתונים המופיעים בדו"ח ולמסקנותיו. אימוץ ההמלצות מחייב בקרה אד-הוק של כל מצב לגופו. למען הסר ספק, מודגש בזאת כי חברי הסגל ו/או בית הספר ללימודי הסביבה ע"ש פורטר ו/או אוניברסיטת תל אביב ו/או הטכניון ו/או מוסד הטכניון למחקר ופיתוח בע"מ לא יהיו אחראים לכל נזק לרכוש ו/או לגוף ו/או להוצאה ו/או להפסד מכל מין וסוג אשר יגרמו או עלולים להיגרם לכם או למי מטעמכם עקב חוות דעת זאת או דו"ח זה, או בהקשר אליהם.

תוכן עניינים

1	תקציר המחקר ונוהליו
4	פרק 1 רקע מדעי-מקצועי
4	1.1 אקולוגיה של כבישים
4	1.1.1 השפעות סביבתיות של כבישים
5	1.1.2 התפתחות האקולוגיה של כבישים: הכביש כמערכת טכנו-אקולוגית
6	1.1.3 הקשר בין נגר מכבישים לבין שירותי המערכת האקולוגית
6	1.1.3.1 שירותי המערכת האקולוגית
9	1.1.3.2 נגר ותועלותיו במונחים של שירותי המערכת האקולוגית
16	1.2 ניהול נגר כבישים
16	1.2.1 גישות חדשניות לניהול נגר כבישים במדינות מפותחות
20	1.2.2 חוקים ותקנות להגנה על "מים מקבלים"
22	1.3 ניהול נגר וניקוז בישראל
23	1.3.1 חוקים ותקנות רלוונטיים בישראל
25	1.3.2 תר"מ - תכנון רגיש למים בישראל
27	1.3.3 הסוגיה של איכות המים מנגר הכבישים בישראל
29	1.3.4 תכנון מתקדם ורגיש למים בכבישים בינעירוניים בישראל
33	פרק 2 "ארגז כלים" למתכנן לקידום מטרות אקולוגיות וחברתיות
33	2.1 גישה לתכנון רגיש למים (תר"מ) של מסדרונות כבישים בינעירוניים
33	ניצול הזדמנויות
35	הגדרת "מגרש המשחקים"
37	2.2 מטרות לתכנון מערכת טכנו-אקולוגית לניהול נגר במסדרונות כבישים בינעירוניים
37	2.3 עקרונות לתכנון המערכת הטכנו-אקולוגית לניהול נגר הכבישים
40	2.4 אמצעים לתכנון המערכת הטכנו-אקולוגית לניהול נגר הכבישים
61	פרק 3 מקרה בוחן - הצעת תכנון והערכה לקטע מכביש 9
61	3.1 רקע ותאור הסביבה
64	3.2 חלופה א': הכביש הקיים (תכנון וביצוע על ידי חברת "דרך ארץ")
70	3.3 חלופה ב': תכנון מוקדם להרחבת הכביש (תכנון על ידי חברת "נתיבי ישראל")
73	3.4 חלופה ג': תכנון מוצע להרחבת הכביש על פי תובנות המחקר
77	3.5 השוואה בין החלופות התכנוניות
79	פרק 4 דיון ומסקנות
80	מסקנות
82	רשימת מקורות
92	נספח 1 עקרונות הקמת בריכת חורף מלאכותית
97	נספח 2 בדיקת ישימות שילוב בריכת חורף במערכת לניהול נגר כבישים בינעירוניים - מקרה בוחן

תקציר המחקר ונוהלי

ייחודה של עבודה זו הינו בבניית גשר בין-תחומי, המחבר בין ידע אקולוגי לבין מעשה תכנוני והנדסי, בהקשר של תכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים וניהול הנגר הזורם בס.

לכבישים תפקיד חשוב בהתפתחות ההיסטוריה האנושית, הפצת תרבויות (הדס, 1976) ותמיכה בפעילות חיונית לתפקודה של חברה מודרנית (Brown, 2003). חשיבותם של הכבישים עבור פיתוחה של מדינת ישראל היתה המניע להחלטת הממשלה לקדם את תכנית "נתיבי ישראל" - תכנית תחבורה לקירוב הפריפריה למרכז הארץ. התכנית כוללת הקמת כבישים לאורכה ולרוחבה של הארץ, מקריית שמונה ונהריה בצפון עד אילת בדרום, בהיקף תקציבי חסר תקדים עד לשנת 2020 (החלטת ממשלה 1421, 2010). ככל שתוספת הכבישים החדשים והרחבת הכבישים הקיימים הכרחית עבור החברה בישראל וכלכלתה, הכבישים צפויים להגביר השפעות סביבתיות שליליות על השטחים הפתוחים שבתוכם הם חולפים (Dolan et.al., 2006).

נגר הנוצר על פני הכבישים נחשב כגורם מזיק לכביש ולסביבתו וכמקור לזיהום ה"מים המקבלים" אליהם הוא מגיע בסוף נתיב זרימתו (Forman & Alexander, 1998). הוא גם נחשב כגורם המסכן את בטיחות הנסיעה ולכן, מתכנני הכבישים נדרשים להציע פתרונות לסילוק מהיר ויעיל שלו (החברה הלאומית לדרכים, 2008), תוך צמצום נזקים לסביבה הסמוכה (e.g.: Environment Agency & Highway Agency, 2009). באזור אקלים ים תיכוני המים הם משאב במחסור, אשר קיימת לגביו תחרות עזה, שגם בעידן התפלה לא צפויה להיעלם. מי הגשמים חיוניים לתפקודן של מערכות אקולוגיות טבעיות. מאידך נגר הכבישים אינו מוכר כמשאב שניתן לנצלו. הגדלת היקף השטחים הסלולים והאטומים לחלחול גשם צפויה להגביר עוד יותר את כמויות נגר הכבישים, לצמצם את אספקת המים לטבע ולהחרף את הבעיה הסביבתית (שמיר וכרמון, 2007). קיומה של הבעיה הסביבתית יוצר אתגר מקצועי - להפוך את הנגר ממטרד למשאב ולנצלו להפקת תועלות. כפי שעולה ממכתב מרשות המים למתכנן הועדה לתשתיות לאומיות (הות"ל) מאוגוסט 2010, קיימת הכרה בכך שנגר הכבישים הוא בעל פוטנציאל לשימוש ולכן נדרש לתת פתרונות תכנוניים לניצולו המיטבי כמשאב.

עבודה זו בוחנת את האפשרויות לניצול נגר הכבישים, לאחר סילוקו מפני הכביש, כמשאב למטרות שיקום סביבת הכביש, מנקודת מבט של נוף, אקולוגיה וחברה, ומציעה כלים ליישום תכנון רגיש למים (תר"מ) בכבישים בינעירוניים.

מחקר זה צמח מתוך שילוב בין שתי גישות מדעיות-מקצועיות: האחת - גישת תכנון רגיש למים - תר"מ (Carmon & Shamir, 2010), לפיה שילוב שיקולי מים בתכנון מרחבי ונופי, כולל שיקולים הנוגעים לנגר כבישים, מאפשר הפחתת נזקים סביבתיים יחד עם הפקת תועלות אקולוגיות וחברתיות; והשנייה - "אקולוגיה של כבישים" (Forman et.al., 2003), העוסקת בשיקום רצועות הקרקע שבתחום זכות הדרך של כבישים בינעירוניים, בעבור השבת תפקודים אקולוגיים שנפגעו עקב פעולות הפיתוח. המחקר משלב בין הגישות ומציע ליישמן במקרים בהם ניתן לנצל הזדמנויות ליצירת מערכת טכנו-אקולוגית (Lugo & Gucinski, 2000) לניהול נגר הכבישים,

הכוללת מרכיבים טכניים ומרכיבים טבעיים. במערכת זו נוצרים יחסי גומלין בין הטכני לטבעי, המבוססים על הנגר וזרימתו ותורמים להעצמתן של תועלות אקולוגיות וחברתיות מגוונות.

מטרות המחקר ונהליו

הנחת המחקר היא שבהינתן הזדמנויות מתאימות ליצירת מערכות טכנו-אקולוגיות, ניתן לנצל נגר מכבישים בינעירוניים להפקת תועלות אקולוגיות וחברתיות. הזדמנויות אלה יש לזהות כבר בשלבי התכנון הראשוניים, בעת גיבוש התפיסה התכנונית לכביש.

בהתאמה לגישת תר"מ, היעד הכולל של המחקר הוא לקדם פיתוח בר-קיימא של מסדרונות כבישים בינעירוניים, באמצעות ניצול הזדמנויות המאפשרות להפוך נגר כבישים ממטרד למשאב, היינו, לנצלו עבור תועלות לאדם ולסביבה. לפיכך, המטרות הביצועיות של המחקר היו:

- א. זיהוי תועלות במונחים של שירותי המערכת האקולוגית, אשר ניתן להפיק מתכנון מערכת טכנו-אקולוגית לניהול נגר כבישים בינעירוניים;
- ב. פיתוח גישה וכלים ("ארגז כלים") לתכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים, תכנון משולב של נוף, אקולוגיה וניהול נגר, להעצמת תועלות אקולוגיות וחברתיות.
- ג. זיהוי אמצעים מיטביים (Best Management Practices) לניהול נגר, להפקת תועלות אקולוגיות וחברתיות מנגר כבישים בינעירוניים;
- ד. הדגמה של יישום עקרונות התכנון והאמצעים לניהול נגר במקרה בוחן - קטע נבחר בכביש בינעירוני;
- ה. הצעה של שיטה להערכה משווה של חלופות תכנוניות והדגמתה, באמצעות הערכה של שלוש חלופות תכנוניות למקרה הבוחן.

בבסיס המחקר עומדת סקירת ספרות מדעית ומקצועית, המתייחסת לאקולוגיה של כבישים ולניהול נגר, במיוחד נגר מכבישים. הסקירה כוללת פרסומים שהציגו והעריכו גישות חדשניות לניהול "ירוק" של נגר כבישים: בארה"ב - (LID) Low Impact Development; באוסטרליה - Sustainable Urban - (WSUSD) Water Sensitive Urban Drainage System; באנגליה - (SUDS) Drainage System (SUDS) ובישראל - (WSP) Water-Sensitive Planning, כמו גם פרסומים של רשויות תחבורתיות בעולם ובישראל. נוהל המחקר כלל גם התייעצויות עם מומחים בתחומי הנדסת כבישים, הידרולוגיה ואגרונומיה; איסוף מידע על מצבים רלוונטיים בישראל באמצעות סיורי שטח, ניתוח ובחינה של מפרטים ופרטים טכניים לביצוע של כבישים בפרויקטים המקודמים היום. כל אלה, כולל סקירת הספרות, שימשו עבור השגת שלוש המטרות הראשונות דלעיל.

המטרה הרביעית, הדגמת היישום של עקרונות התכנון ואמצעי התכנון, שנכללו ב"ארגז הכלים" המוצע, מומשה באמצעות בדיקה וגיבוש הצעה תכנונית עבור מקרה בוחן של קטע קצר מכביש 9, בין מחלף בקה-ג'ת בכביש 6 לבין צומת חביבה (9/581). המטרה החמישית, הערכה משווה של חלופות, הודגמה באמצעות מתן ציוני הערכה לכל אחת משלוש חלופות תכנוניות לקטע הכביש שנבחר: א. חלופת מצב קיים (שבוצע על ידי חברת "דרך ארץ" בשנת 2004); ב. חלופה של תכנון

מוקדם להרחבת הכביש על ידי חברת "נתיבי ישראל" (פברואר 2013); ג. חלופת תכנון, על בסיס התכנון המוקדם של הרחבת כביש 9 על ידי חברת "נתיבי ישראל" (חלופה ב'), אשר בה יושם צורת "ארגז כלים" ייעודי לניהול נגר שמוצע במחקר. כל חלופה קיבלה תשעה ציוני הערכה, בהתאמה למידת המימוש של כל אחד מתשעת העקרונות התכנוניים שהמחקר מציע לאמצם (להלן).

"ארגז כלים" למתכנן לניהול נגר כבישים ולקידום מטרות אקולוגיות וחברתיות

באמצעות הספרות הרלבנטית זוהו תועלות אשר ניתן להפיקן מתכנון מערכת טכנו-אקולוגית לניהול נגר כבישים בינעירוניים. תועלות אלה בוטאו במונחים של שירותי המערכת האקולוגית ותורגמו למטרות תכנוניות משולבות, כלהלן: שירותי ויסות - שימור קרקע באמצעות מניעת ארוזיה וסחף קרקע, ושיפור איכות המים; שירותי אספקה - אספקת מים למגוון צרכנים במערכות אקולוגיות, וביניהם צמחיה וגופי "מים מקבלים" (בריכת חורף, נחל טבעי, מי התהום); שירותי תמיכה - הנגר ושירותיו תומכים במגוון ביולוגי; שירותי תרבות משלושה סוגים - אסתטיקה ואיכויות חזותיות-נופיות, פנאי ונופש, חינוך וידע.

"ארגז הכלים" שמציע המחקר, לקידום השגתן של המטרות שנמנו לעיל, מהווה תוצר מרכזי של מחקר זה והוא כולל סדרה של תשעה עקרונות תכנוניים: א. זיהוי וניצול הזדמנויות לבניית מערכות טכנו-אקולוגיות התורמות לקידום שירותי המערכת האקולוגית; ב. מיתון והשהייה של זרימת נגר; ג. שימוש במשאבים טבעיים מקומיים, ביוטיים ואביוטיים (לדוגמה: צמחיה, קרקע ואבנים); ד. הגברת מורכבות מבנית (structural complexity); ה. שמירה על רצף פיזי ליצירת קישוריות; ו. יצירת ערכים מוספים חברתיים; ז. שימוש באמצעים רב-תכליתיים (מרובי מטרות); ח. התאמת האמצעים לנתונים המיוחדים לאתר; ט. חתירה לאיזון בין עלויות להקמת מערכת לניהול נגר ותחזוקתה לבין התועלות המופקות ממנה.

ליישום תשעת עקרונות התכנון מציע המחקר שלושה עשר אמצעים, בליווי דוגמאות. אלה יכולים להיחשב כאמצעים מיטביים (Best Management Practices) לאחר שנמצאו מתאימים לניהול נגר במסדרונות כבישים בינעירוניים, ליישום מספר רב של עקרונות ולהשגת מגוון מטרות.

התפיסה שמציע המחקר תואמת את מדיניות רשות המים, החותרת לשיפור וטיוב איכות המים במקורות המים הטבעיים ולהקצאת מים לטבע. המסקנה העיקרית של המחקר היא שנגר הזורם בתחום זכות הדרך של כבישים בינעירוניים ניתן לניצול להפקת תועלות אקולוגיות וחברתיות. כלי התכנון המוצעים במחקר יכולים לסייע בתרגום תובנות אקולוגיות וחברתיות לתכנון פיזי; ליצירת שפה משותפת ובסיס לשיתוף פעולה לקידום תכנון משולב רב תחומי לניהול נגר - הנדסת כבישים וקרקע, סביבה ואקולוגיה, תכנון עירוני ואזורי, ניהול משאבי מים וניקוז, אדריכלות נוף ונושאי חברה. תכנון משולב רב-תחומי הינו מעקרונות היסוד בגישת תר"מ.

הגישה המוצעת במחקר זה, לניצול הזדמנויות במסגרת תכנון מסדרונות כבישים בין עירוניים, עדיין לא נבחנה בפועל. מומלץ לבחון אותה ובד בבד להשלים פיתוחו של "ארגז כלים" ישראלי, הכולל היבטים הנדסיים והיבטים כלכליים, לצורך הכללתם בשיקולי עלות-תועלת בתכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים.

פרק 1

רקע מדעי-מקצועי

1.1 אקולוגיה של כבישים

1.1.1 השפעות סביבתיות של כבישים

כבישים בינעירוניים מהירים נמשכים לאורך עשרות ומאות ק"מ וחוצים מגוון רחב של יחידות נוף (Dolan et.al., 2006). מתוך 18,566 ק"מ כבישים קיימים בישראל (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2012), 6000 ק"מ הם כבישים בינעירוניים שבאחזקת חברת נתיבי ישראל (חברת נתיבי ישראל, 2013א), אליהם נוסף כביש בינעירוני מהיר "כביש חוצה ישראל", שאורכו 183 ק"מ והוא חולף בשטחים הפתוחים שבין מחלף מאחז בדרום למחלף עין תות בצפון (חברת כביש חוצה ישראל, 2010). בימים אלה, מבוצעות עבודות להארכתו של כביש חוצה ישראל דרומה, עד לצומת שוקת, וצפונה עד למחלף סומך (חברת כביש חוצה ישראל, 2013), נסללים כבישים חדשים (לדוגמא, כביש 9 בין כביש 4 למחלף בקה-גית באורך של כ-13 ק"מ) ומבוצעות עבודות להרחבת כבישים קיימים ברחבי הארץ, לדוגמא, כביש 1 משער הגיא עד לכניסה לירושלים, באורך של כ-17 ק"מ (חברת נתיבי ישראל, 2014).

כבישים מהווים תשתית חיונית לפעילות כלכלית (משרד התחבורה, 2006), לתמיכה בשירותים חברתיים ולשמירה על איכות החיים המודרניים, אך נתפסים כבעלי השפעה שלילית על הסביבה וכגורמים לפגיעה במערכות אקולוגיות ובשירותיהן (Dolan et.al., 2006). Forman et.al. (2003) כוללים בהשפעות השליליות: הפרה של בתי גידול ופגיעה במגוון הביולוגי; דלדול הצמחיה הטבעית והשתלטות מינים המאפיינים סביבות מופרות; הפצת פסולת ומזהמים שמקורם בפעולות אחזקת הכביש והגינון, בחומרים הנישאים ברוח ממשאיות תובלה ובשטיפת מזהמים מפני הכביש; קיטוע של מסדרונות אקולוגיים המקשרים בין בתי גידול ואוכלוסיות, המפריע לשטף הגנטי בין אוכלוסיות ועצירה של תהליכי אכלוס מחדש; זיהום אוויר ומים, אור, רעש ורעידות שמחוללת תנועת כלי הרכב, הגורמים להתרחקות בע"ח מסביבות הכביש ולשינויים בהתנהגותם.

עבודה זו מתמקדת בנגר הזורם על פני מסעת כביש בינעירוני (שטח האספלט הסלול). נגר הכבישים נוצר כאשר גשם היורד על פני משטח האספלט והקרקע המהודקת של מבנה הכביש אינו מחלחל, וכאשר עוצמת הגשם עולה על כושר החידור של הקרקע שעל פני מדרונות הכביש והתעלות (בן צבי, 2008). הנגר נחשב כגורם לסיכון בטיחותי מאחר שבכביש רטוב קטן החיכוך שבין הצמיג לכביש ועולה סכנת ההחלקה לרכב. בשל כך נדרשים מתכנני הכביש לתכנן את המערכת לניקוז הכביש לפינוי מהיר ויעיל של המים, מתחום הכביש אל הסביבה הסמוכה ואל מערכות ניקוז אזוריות בסביבתו (החברה הלאומית לדרכים, 2008).

נגר הכבישים נחשב גם כגורם לנזקים סביבתיים, הנגרמים כתוצאה מהצפות, זיהום קרקעות וזיהום של גופי המים המקבלים - גופי מים עיליים (לדוגמא: נחלים, אגמים, בתי גידול לחים)

e.g.: Forman & Alexander, 1998;) (לדוגמא: מי תהום) Austroads, 2003; NCHRP,2006; AASHTO, 2007; Environment Agency & Highway Agency, 2009; HIGHWAY AGENCY, 2009). ההשלכות הסביבתיות השליליות של נגר הכבישים נגרמות בשל שטיפת המזהמים המצטברים על הכביש ובכלל זה, שמנים ודלקים הזולגים מכלי רכב, חלקיקים מבלייה של כלי רכב, ומשחק צמיגים. בין הזיהומים הנ"ל מצויים מתכות כבדות (בייחוד: עופרת, אבץ, נחושת, כרום, קדמיום, אלומיניום, מנגן, ברזל), PAH's ונוטריינטים. מזהמים אלה לרוב מתפזרים בתעלות הניקוז שוקעים ונספגים בקרקע (Formnan & Alexander, 1998; van Bohemen, 2004). שריכוזים גבוהים של מתכות כבדות נמצאים על פי רוב במרחק של כ-5-8 מ' מהמיסעה ועופרת עד 25 מ'. חומרים מזהמים נוספים הם חומרי בנייה ומליטה, פסולת המושלכת לצידי כבישים, חומרים מעבודות לתחזוקת גינון - חומרי דישון, הדברה וקוטלי עשבים (Austroads, 2003; NCHRP, 2006). ריכוז המזהמים בנגר הכבישים, הנוצר בראשית תקופת הגשמים, גבוה מזה שבהמשך מהלך התקופה (First Flush Effect) (Asaf et.al., 2004). ככל שעולה נפח תנועת הרכבים בכביש גדלה כמות המזהמים הנשטפים ממנו (Austroads, 2003; NCHRP,2006).

הקמת מבנה הכביש כרוכה בשינוי מבנה הקרקע ופגיעה ביציבותה על ידי עבודות עפר כמו חציבה, חפירה ומילוי (וולף ורבהון, 2008). כאשר הקרקע בלתי יציבה וחשופה, טיפות הגשם הניתכות על פניה מפרות את שכבת פני הקרקע העליונים והנגר גורם להגברת הסעת חלקיקי הקרקע, לסחף (וולף ורבהון, 2008; Forman et.al., 2003) ולעיתים אף לגלישות קרקע והסעתה מתחום רצועת הכביש אל הסביבה הסמוכה. זרימות נגר בעלות עצמה מוגברת, המנותבות מתחום הכביש אל השטחים הסמוכים לו, גורמות לעיתים לשטפוונות ולנוזקי הצפות (Forman & Alexander, 1998; Forman et.al., 2003; Environment Agency & Highway Agency, 2009). בין הגורמים המשפיעים על עצמת הנגר ותופעות הלואי הסביבתיות הם מאפייני מבנה הכביש כמו הגיאומטריה של הכביש, אורך המדרונות ושיפועיהם, וכן, סוג הקרקע, תכסית הצמחיה (Formnan & Alexander, 1998), המורפולוגיה הטבעית של המרחב בו מוקם הכביש וסוגי בתי הגידול הקיימים לאורכו (Forman et.al., 2003).

מתוך הבנה שלמרות הבעיות הסביבתיות, כבישים הם כורח חיוני שלא ניתן לוותר עליו, עולה גישה חדשנית המכונה "אקולוגיה של כבישים" (Road Ecology). על פי גישה זו, פיתוח כבישים יוצר הזדמנות לתוספת תועלות אקולוגיות וחברתיות, מעבר למזעור ההשפעות הסביבתיות השליליות מהם (Forman et.al, 2003; Sipes &Sipes, 2013).

1.1.2 התפתחות האקולוגיה של כבישים: כמערכת טכנו-אקולוגית

אקולוגיה של כבישים (Road Ecology) היא גישה מדעית העוסקת באינטראקציה שבין מערכות כבישים טכנולוגיות (מעשה-ידי-אדם) לבין מערכות אקולוגיות שבסביבתם, למציאת איזון לתועלתן המשותפת (Forman et.al, 2003). המערכת הטבעית ומערכת הכבישים שזורות זו בזו,

והן בעלות השפעה הדדית. לפיכך, הטמעת תובנות אקולוגיות בתכנון כבישים ועבודה סימביוטית עם הטבע, יכולה להוביל למזעור ההשפעות הסביבתיות השליליות, ולהביא לשחזור איכויות ותפקודים של יחידות הנוף על מרכיביהן הטבעיים והתרבותיים (Ndubisi, 2002; Mitch & Jorgensen, 2003; van Bohemen, 2004). השגת יעדים אלה מחייבת שילוב בין תהליכים ודפוסים של מערכות טבעיות, בקנה המידה הקטן של בית הגידול, לבין מערכת תחבורתית הנדסית-טכנולוגית, שקצב התהליכים בה מהיר ובקנה מידה גדול (van Bohemen, 2002).

Lugo & Gucinski (2000) מכנים את המערכת המשולבת מערכת טכנו-אקולוגית (techno-ecosystem; Haber, 1990), הכוללת מרכיב טכני - כביש מעשה ידי אדם, בתוך הנוף הטבעי. ככזה, מרחב הכביש וסביבתו הסמוכה הם בעלי מורכבות פיזית ותפקודית המקיימים מגוון בתי גידול, והחשופים לגורמים סביבתיים מחוללי שינויים (כדוגמת אקלים). רצועת הקרקע הסמוכה לכביש בתחום זכות הדרך¹ (Right of Way), (Huijser & Forman & Alexander, 1998; Clevenger, 2006) היא חלק מהמערכת הטכנו-אקולוגית של הכביש ויכולה לשמש כמסדרון תנועה לחי וצומח (conduit), כאזור חיץ (buffer) מהשפעות סביבתיות שליליות, לקיים תהליכי שטף של חילוף והיווצרות יחסי גומלין עם הסביבה הטבעית הסמוכה. החוקרים אף מרחיקים וטוענים כי בהינתן הזדמנות להתפתחות בתי גידול טבעיים בתחום זכות הדרך, הם יכולים לתפקד כמערכת מקור (source), ממנה מתפשטים המינים לשטחים אחרים בהם חברות החי והצומח מופרות (אחירון-פרומקין, 2012; Lugo & Gucinski, 2000).

עידוד תפקודים אקולוגיים המתקיימים במערכת הטכנו-אקולוגית, יוצר הזדמנות להיווצרות תהליכי שיקום טבעיים של סביבת הכביש (Dolan et.al., 2006), שניתן לנצלה גם עבור אספקה של שירותי המערכת האקולוגית עבור מגוון צרכנים במרחב (van Bohemen, 2004).

1.1.3 הקשר בין נגר מכבישים לבין שירותי המערכת האקולוגית

1.1.3.1 שירותי המערכת האקולוגית

המושג "שירותי המערכת האקולוגית" מתאר את השירותים והטובין, אשר מערכות אקולוגיות מספקות לאדם, באופן ישיר ובאופן עקיף, ואשר רווחתו תלויה בהן: מזון וחומרי גלם, קיומם של תפקודים תומכי-חיים (כמו מחזור חומרים והתחדשות משאבים) ותועלות רוחניות ותרבותיות שהאדם שואב מהמערכת הטבעית (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). תובנה זו מביע אפלטון כבר בשנת 400 לפסה"נ, שמתאר את אובדן התפקודים החיוניים של הטבע, כתוצאה מפגיעה ביער שופע, שהיו בו קרקעות עשירות נחלים ומעינות, ששימש כאזור מרעה וסיפק מזון לדבורים. היער הפך לשטח בור וביצות לאחר כריתה מאסיבית של העצים. הוא משתמש בדימוי

¹ זכות הדרך - הרצועה הפיזית המיועדת לפיתוח הכביש ורצועות הקרקע המקבילות לו וגובלות בו, הכוללות את מדרונות הכביש, המפרדה והמדרונות הנגדיים לכביש, עד קצה השטח שתחת אחריות הרשות האמונה על הכבישים (Forman & Alexander, 1998; Huijser & Clevenger, 2006).

של אדם חולה, שכל האדמה השמנה והרכה נשטפה ממנו והותירה שלד של פני קרקע צחיחים וחשופים (Daily, 1997).

Huitric, Walker, Moberg, et.al. (2009) סוקרים את ההתפתחות ההיסטורית של התפיסה בעת המודרנית. הם מזכירים שלושה כותבים מרכזיים משלהי שנות ה-40 של המאה ה-20, חברים בתנועת Conservation movement בארה"ב: Fairfield Osborn - Our Plundered Planet (1948), Aldo Leopold - The Land Ethic (1949) ו- William Vogt - Road to Survival (1948). כותבים אלה מעוררים את ההכרה בצורך בשימור הטבע, לאור התנהלות האדם והצמיחה הכלכלית, הגורמות לדלדול משאבי הטבע עליהם נסמך האדם למלא את צרכיו הקיומיים. כך טוען Leopold (1940) ששינויים מעשי ידי אדם, כמו הגדלת תפוקת מזון מקרקע פורייה באמצעות הוספת חומרי דישון, הם בעלי השפעות מקיפות בהרבה מכפי שניתן להבין. בתורתו "מוסר האדמה" הוא מציע להרחיב את מושג גבולות הקהילה כך, שיכללו גם קרקע, מים, צמחים ובעלי-חיים (האדמה), ולשנות את תפקידו של גזע האדם, מכובש קהילת האדמה לחבר ולאזרח מן השורה בה.

פרסומים משנות ה-60 וה-70 למאה ה-20 עוסקים בבעיות סביבתיות שנגרמו כתוצאה מאובדן שירותי המערכות הטבעיות והשלכותיהן, ביחד עם כישלונות בניסיונות למציאת תחליפים טכנולוגיים לשירותים הטבעיים (Huitric, Walker, Moberg, et.al, 2009). לדוגמה, Ehrlich & Holdren (1971) מתייחסים ליכולת הנשיאה של כדור הארץ וטוענים שהתפוצצות האוכלוסין הצפויה, עלולה לגרום לניצול תועלתני ובזבזני של משאביו. הם מתריעים על הבערות והעדר הידע הדרוש למציאת דרכים לפתרון המשבר ועל העדר היכולת לקבל החלטות.

באמצע שנות ה-90, במסגרת פעילות בינלאומית בנושאים כמו המגוון הביולוגי (Convention on Biological Diversity (CDB), המאבק בתופעת המדבור (Convention on Combat Desertification (CCD) ומשבר האקלים (Panel on Climate Change (IPCC)), עולה ההבנה שלמרות ההתפתחות במדעי האקולוגיה והכלכלה, קיים צורך בכלים מדעיים לביצוע הערכה אינטגרטיבית, הקושרת בין הנושאים הנ"ל והמהווה בסיס לקבלת החלטות (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

הבנה זו מהווה את הבסיס המדעי לפרויקט המילניום להערכת המערכות האקולוגיות (Millennium Ecosystem Assessment) שנערך על ידי האו"ם בין השנים 2003-2005 וכלל עבודות של 2,000 מדענים מרחבי העולם. פרסום דו"ח Millennium Ecosystem Assessment (2005) הופך את תפיסת "שירותי המערכת האקולוגית" לזרם חשיבה מרכזי, הקושר בין מערכות אקולוגיות ובריאות הסביבה לרווחת האדם, ומבסס את היסודות המדעיים לפעולות הנדרשות לחיזוק שימור המערכות האקולוגיות וקידום שימוש מקיים בן (de Groot et.al., 2010). הדו"ח (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) מחלק את שירותי המערכת האקולוגית לארבע קטגוריות:

א. שירותי אספקה (Provisioning Services) - מוצרים המתקבלים ישירות מהטבע כמו מזון, מים, חומרי גלם ;

ב. שירותי ויסות (Regulating Services) - תרומה המתקבלת מויסות תהליכים טבעיים כמו קיבוע פחמן, פירוק פסולת ורעלים, טיהור מים ואויר ושמירה מפני דלדול קרקעות ;

ג. שירותי תמיכה (Supporting Services) - תהליכים היוצרים את הדרוש לקיומן של כל המערכות האקולוגיות ביניהם שמירה וחיזוק המגוון הביולוגי ;

ד. שירותי תרבות (Cultural Services) - תועלות שאינן גשמיות, התורמות לשיפור פעילויות פנאי נפש ותהליכים רוחניים כמו אמנות ותרבות, חינוך ומדע, אסתטיקה ומורשת.

ממצאי דו"ח Millennium Ecosystem Assessment (2005) מעלים, שהשימוש בשירותי המערכת האקולוגית על ידי האדם הולך ומתרחב ככל שגדלה אוכלוסיית העולם. הפיתוח המואץ שהתרחש ב-50 השנים שקדמו להכנת הדו"ח, גרם לדרדור של המערכות האקולוגיות ולירידה ברמת השירותים שהן מספקות (לדוגמא: ירידה בכמות המים והמזון ובאוויר באיכות ראויה). למרות שלכאורה בשנים אלה חלה עלייה ברווחת האדם והפיתוח הכלכלי (בעיקר בעולם המערבי), נמצא כי 60% מהשירותים שנבחנו בהערכת המילניום נפגעו, בשל שימוש בלתי מקיים במערכת האקולוגית. פגיעה זו גרמה, בין היתר, להפיכתן של אוכלוסיות באזורים כמו אפריקה, אסיה ואמריקה הלטינית לעניות ולגידול בשיעורי התמותה במדינות אלה.

מאז Millennium Ecosystem Assessment (2005) נערכים ברחבי העולם ניסיונות לקדם מסגרת ברורה ומשולבת, ליישום מעשי שלה בתהליכי קבלת החלטות וקביעת מדיניות ברמה העולמית והלאומית וברמה המקומית (Ranganathan et.al., 2008). מסגרת זו כוללת ניסיון להערכה כמותית וכלכלית של השירותים שמספקת המערכת האקולוגית, מיפוי תפקודיה המשתנים לאורך זמן ובמרחב והגדרת סף יכולת הנשיאה שלה (De groot et. al., 2010; UNEP-). (WCMC, 2011).

de Groot et.al. (2010) מציעים מסגרת תפיסתית, לפיה יש להבחין בין שירותי המערכת האקולוגית (מזון, מים נקיים, חומרי גלם, אנרגיה), לבין תועלות - השימוש עצמו בטובין (תזונה, שתייה, הנאה, בריאות). שירותי המערכת האקולוגית מסופקים על ידי התפקודים של המערכת האקולוגית, הנתמכים בתהליכים ביו-פיסיקאליים, שהם למעשה שירותי התמיכה (האבקה, מחזור מים ונוטריינטים, ייצור). על בסיס מסגרת תפיסתית זו הם מציעים שני סוגים של אינדיקטורים המספקים הערכה לפי ביצוע (ex-ante), של השפעת תהליכי הפיתוח על יכולת יחידות הנוף לספק את הטובין והשירותים: 1. אינדיקטורים המשמשים לתיאור מצב המערכת (State indicator) - אילו תהליכים או מרכיבים במערכת מספקים את השירות ובאיזו מידה; 2. אינדיקטורים לתיאור תפקוד המערכת האקולוגית (Performance indicator) ולהערכה של היקף השימוש שניתן לעשות בשירותיה באופן מקיים. לדוגמא: שירות - ויסות; תפקוד - הגנה מפני ארוזיה; תהליך - אחיזת הקרקע על ידי צמחיה וביטוח; אינדיקטור למצב המערכת - היקף תכסית שורשי הצמחיה; אינדיקטור תפקודי - כמות הקרקע שנשמרה או כמות סחופת שנתפסה.

דוגמא נוספת: שירות - תרבות; תפקוד - אתרים לפעילויות נופש ותיירות; תהליך - היקף השימוש באתרי טבע מעניינים ואטרקטיביים; אינדיקטור למצב המערכת - שטח כולל של טבע בעל ערך עבור שימושי נופש ותיירות; אינדיקטור למצב המערכת - כמות משתמשים בהתאמה ליכולת הנשיאה של האתר.

1.1.3.2 נגר ותועלותיו במונחים של שירותי המערכת האקולוגית

המערכת האקולוגית מספקת שירותים הידרולוגיים מגוונים. Braunman et. al. (2007) מצביעים על כך שזרימת נגר במערכת האקולוגית מחוללת תהליכים המשפיעים על כמות המים ואיכותם, ביחד עם תהליכים שמובילים לאספקת שירותים הידרולוגיים של המערכת האקולוגית: שירותי אספקה - של מים באיכות טובה למגוון צרכנים; שירותי ויסות - שיפור איכות המים ומניעת נזקי סחף והצפות; שירותי תרבות הידרולוגיים - גופי מים להשראה רוחנית, ערך אסתטי, לשימושים של פנאי ונופש; ושירותי תמיכה למערכות אקולוגיות יבשתיות כגון השקיית הצמחיה ויצירת בתי גידול אקוטיים. בהסתמך על Braunman et. al. (2007) ניתן לטעון שתכנון מערכת הניקוז של הכביש כמערכת טכנו-אקולוגית, בדומה למערכות הידרולוגיות טבעיות, ובכלל זה שימוש במשאבים טבעיים ביוטיים ואביוטיים ושילוב הנגר במחזור ההידרולוגי (אקו-הידרולוגיה) (דש"א, 2011; Dolan et.al., 2006), עשוי לתרום להפקת תועלות למגוון שירותים של המערכת האקולוגית (van Bohemen, 2004).

בהתבסס על הספרות המקצועית, ניתן לזהות ולפרט שבעה סוגים של שירותים של המערכת האקולוגית ושל תועלות, אשר ניתן להפיק מתכנון כביש בינעירוני כמערכת טכנו-אקולוגית. זיהוי השירותים והתועלות יכול לסייע להבנת ההשלכות הצפויות מתכנון הפיתוח, כמות התועלות ואיכותן (Ranganathan et.al., 2008), ולספק למתכננים את המידע הדרוש להגדרת מטרות תכנוניות (Dolan et.al., 2006).

א. שימור קרקע - מניעת ארוזיה וסחף קרקע

הקרקע היא משאב חיוני ובסיסי להתפתחות מערכת אקולוגית. שימור הקרקע, שמירה על פוריותה ומניעת סחף הינם מן התועלות המוגדרות כשירותי הויסות של המערכת האקולוגית (de Groot et.al., 2010). ניתן לקדם שימור הקרקע באמצעות תהליכים של ביסוס צמחיה, מיתון זרימות הנגר והפחתת האנרגיה שבזרימתו (משרד החקלאות ופיתוח הכפר, 2013).

פעולות פיתוח כבישים הכוללות חציבה, חפירה ומילוי, גורמות להפרת מבנה הקרקע הטבעית והתכסית שעליה (וולף ורבהון, 2008). טיפות הגשם, הניתכות על פני קרקע הנותרת חשופה, ביחד עם זרימת נגר עילי ורוח, מגבירים תהליכים של סחף קרקע והסעת חלקיקיה (וולף ורבהון, 2008; Forman et.al., 2003). על פי וולף ורבהון (2008) שיעור היווצרות הנגר ועוצמת הסחיפה של הקרקע הם פונקציה של אופי אירוע הגשם (כמות, עצמה ומשך), סוג הקרקע ותכונותיה הפיסיקליות, שיפועיה והתכסית שעל פניה. סוג הקרקע ורגישותה להיווצרות סחף נקבעים על פי פרמטרים שזוהו על ידי חוקרים מתחום מכניקת הקרקע: הידוק וצפיפות, נקבוביות, גודל גרגר, נזילות, פלסטיות, וכן, תכולת רטיבות הקרקע ושיעור החידור שלה. לדוגמא: שיעור חידור של

קרקע גרגרית או שמכילה כמות גדולה של אבן גדול מזה של קרקע חרסיתית הומוגנית בעלת גודל גרגר קטן; שיעור חידור של קרקע רוויה קטן מזה של קרקע שאינה רוויה; אדמה קלה בעלת גרגרים גדולים (לדוגמא: חול), סחיפה יותר מאדמה חרסיתית בעלת גרגרים דקים היוצרים תלכידים (צדקה וויינשטיין, 2008).

כמות הנגר הנוצר, מהירויות זרימתו ועוצמת ההשפעות הפיסיקליות של התכת טיפות הגשם על פני הקרקע מושפעים גם ממורכבות התכסית שעל פני הקרקע (Forman et.al., 2003). צמחיה מגוונת של עצים, מעוצים (שיחים), עשבונניים, ששורשיהם בעלי אופי צימוח שונה (ממערכת שורשים רדודה ועד צמחים מעמיקי שורש) (קורן ואלמליח, 2001), תורמת להקטנת הפרדות חלקיקי קרקע (Keim & Skaugset, 2003), למניעת הוצרות קרום קרקע בלתי חדיר ולהגברת החלחול. כצרכנית מים היא מקטינה את כמויות המים הזורמים הלאה מן המערכת. חופת הצמחיה מגנה מפני התאיידות מהירה של המים מפני קרקע חשופים (Braunman et. al., 2007). מרכיבים אביוטיים כמו אבנים וסלעים, מגבירים את "חספוס" הקרקע, ותורמים למיתון עצמת הזרימה של המים באמצעות שיכוך האנרגיה שבזרימתם, ולהגברת חדירות הקרקע (Forman et.al., 2003).

מרכיב נוסף המשפיע על מידת שימור הקרקע ועצמת סחיפתה, הוא שיפוע של מדרונות ושל אפיקי זרימה, כמו תעלת ניקוז. מים הזורמים בשיפוע תלול הם בעלי ספיקה גבוהה (שילוב של אנרגיה ומהירות זרימה) ומסוגלים לגרוף כמויות גדולות של קרקע, הן בתחתית האפיק והן בדפנותיו (וולף ורבהון, 2008). שיפוע מדרונות של 1:2 (1 אנכי; 2 אופקי) נחשב לשיפוע תלול, שלעיתים נדרש לייצבו באמצעים הנדסיים קשיחים כמו מסלעות, ארגזי אבן (גביונים) או רשתות פלסטיק לשריון קרקע (Dolan et.al., 2006). מדרונות בעלי שיפוע מתון של 1:4 - 1:5 ומתון יותר, יציבים יותר ורגישים פחות להיווצרות סחף קרקע (Dolan et.al., 2006; Sipes & Sipes, 2013).

ג. שיפור איכות המים

נגר הכבישים נחשב כאיום משמעותי לאיכות מימיהם של מים מקבלים, בהיותו גורם להסעת המזהמים מפני הכביש אליהם וכגורם לפגיעה במערכות הביולוגיות שבהם (Forman & e.g., Alexander, 1998). איכות המים מנגר הכבישים היא פונקציה של ריכוז כימיקלים, נוטריינטים וסדימנטים, המשתנה בהתאם לעונות השנה, לכמות הגשמים, משטר המשקעים, ולריכוזי המזהמים שזרמו אליהם (Braunman et. al., 2007); מידע נוסף בנושא איכות המים מנגר הכבישים ר' להלן גם בסעיפים 1.2.1 ו-1.3.3.

טיפול במים לתועלת של מים באיכות משופרת, משירותי הויסות של המערכת האקולוגית, הוא תוצר של תהליכים טבעיים, של השהייה ושיקוע, סינון מזהמים ופירוק חומר אורגני, המתקיימים בעת זרימת נגר הכבישים דרך קרקע, אבנים וצמחיה (Mitch & Jorgensen, 2003; van Bohemen & van de Laak, 2003; Dolan et.al., 2006). מערכת שורשים מפותחת של צמחים מסוימים, ביחד עם מיקרואורגניזמים, יוצרת טרנספורמציה ביוכימית של נוטריינטים, חנקות וזרחנים, לטיהור המים (Braunman et. al., 2007). מערכת זו מתפקדת כפילטר ורצועת חיץ

כלפי אזורים טבעיים, ומביאה לצמצום הסעת סדימנטים, פסולת וחומרים מזהמים אל מים מקבלים אליהם זורם הנגר, ומגנה עליהם (Mitch & Jorgensen, 2003; van Bohemen & van de Laak, 2003; Dolan et al., 2006). במחקרים שבוצעו באוסטרליה נמצא כי קיימת יעילות של 98% בהסרת מוצקים מרחפים, כאשר הנגר זורם דרך מדרונות מגוננים. פחות ידוע על הסרה של חלקיקים מסיסים (Austroads, 2003).

ג. אספקת מים למגוון צרכנים

מתכנני הכביש נדרשים לתכנן את מערכת הניקוז של הכביש לסילוק מהיר ויעיל של הנגר הנוצר על פני כבישים, מתחום מסדרון הכביש אל הסביבה הסמוכה ואל מערכות ניקוז אזוריות בסביבתו (החברה הלאומית לדרכים, 2008). ויסות זרימת נגר הכבישים אל רצועות הקרקע שלצידו הכביש, במקום סילוקו המהיר והיעיל מתחום מסדרון הכביש וטיפול בו (ר' לעיל סעיף ב'), מאפשר אספקת המים לתועלתם של מגוון צרכנים במרחב הכביש: להשקיה של הצמחיה, למילוי גופי המים המקבלים (כגון: בריכת חורף, נחל טבעי) ולחלחול מי הגשם אל תת הקרקע ואל מי התהום (Dolan et al., 2006; Braunman et al., 2007; שמיר וכרמון, 2007).

אספקת המים לצרכנים כנ"ל היא תוצר של תהליכי מיתון הזרימה, השהייה מקומית של המים והגברת החלחול לקרקע. כתמי צמחיה ונשורת עלים וענפים תורמים להגברת תהליכים של מיתון, השהייה וחלחול (Wilcox, Breshears & Turin, 2003). שורשי הצמחיה כצרכני מים מגבירים את רמת הרוויה של הקרקע ומגדילים את כמות המים המחלחלים לתוכה. שורשים, תולעים, קיני נמלים וחרקים מסייעים בהגברת נקבוביות הקרקע ויצירת חללים בה ובכך להגברת החלחול (Ludwig et al., 2005).

ד. תמיכה במגוון ביולוגי²

מערכות אקולוגיות הן יחידות נוף בעלות אפיון פיזי, כימי וביולוגי. המשתנים האביוטיים ותנאי הסביבה מוגדרים כבתי גידול המקיימים אוכלוסיות חי וצומח. העושר הביולוגי הוא במידה רבה ביטוי לעושר גומחות החיים (niches) שמספקים מרכיבי המערכת האקולוגית (שוסטר וכהן, 2005). ככל שהמערכת האקולוגית מורכבת יותר, העושר הביולוגי בה צפוי להיות גדול יותר (Costanza, Norton & Haskell, 1992). הישרדות אוכלוסיות תלויה במידה רבה ביכולתם של פרטים לנוע בין כתמי בתי גידול המתאימים להם, ולקיים בהם את מגוון הפעילויות השונות הדרושות לקיומם ולרבייתם לאורך זמן (Fahrig & Merriam, 1985). חסימת תנועתם במרחב, למשל בשל סלילת כביש, מקטינה את יכולתם של בעלי חיים למלא צרכיהם הביולוגיים והם הופכים פגיעים יותר. הגברת החסימה עלולה אף להביא עד לאובדן אוכלוסיות מקומיות (אחירון-פרומקין 2012).

² מגוון ביולוגי (Biodiversity) - מונח המבטא את עושר החיים על פני כדור הארץ בכל רמות הארגון הביולוגיות - המגוון הגנטי בתוך כל מין, עושר המינים ועושר המערכות האקולוגיות ואת יחסי הגומלין המורכבים, בין המינים לבין עצמם ובין לבין הסביבה (Swingland, 2001).

Huijser & Clevenger (2006) טוענים שרצועות הקרקע בתחום זכות הדרך של הכביש יכולות לתרום לשימור המגוון הביולוגי, בייחוד עבור בע"ח וצמחים המצויים בהן לאורך כל מחזור חייהם. רצועות הקרקע, לאורך זכות הדרך ובתחומה, משמשות כמסדרון נדידה בין בתי גידול, וכבית גידול למיני בע"ח וצמחים מסוימים, בשל תנאים נוחים של לחות מנגר הכביש והשתנות תנאי טמפרטורה. בהקשר של האחרון אפשר לציין כדוגמא את מחקרם של Martinez & Wool (2006) שמצאו כי הצימוח של עצי אלה אטלנטית, שבתחום רצועות השטח שלצידי כבישים (כבישים 886, 889 בגליל המזרחי וכביש 38 לאורך המדרונות המערביים של הרי יהודה), היה באופן משמעותי טוב יותר (אורך וקוטר ענפים, מספר עלים על הענפים, אורך ענפים מרכזיים ומספר ענפים צדדיים) מאשר של עצי האלה האטלנטית שנמצאו במרחק של 100 ויותר מכבישים באזורים אלה. השפעת נגר הכבישים בולטת במיוחד בישראל לאורך מדרונות כבישים בדרום הארץ, בהם הצמחיה מגיבה בצורה דרמטית (א. גזית, מידע בע"פ). לאורך רצועות הקרקע, שבתחום זכות הדרך של כבישים, נוצרת אף הזדמנות לשמירתם של מינים ייחודיים שנחקרו בשל פעולות פיתוח או חקלאות, ומצאו בתחום זכות הדרך מקום מפלט (אחירון-פרומקין, 2012). על פי Huijser & Clevenger (2006) מידת היווצרות התפקודים האקולוגיים הנ"ל נקבעת על ידי מספר גורמים, ביניהם רוחב רצועת הדרך, פעולות התחזוקה בתחום זכות הדרך, מיני בעלי החיים והצומח ביחידות הנוף בהן עובר הכביש, טווח התנועה הטבעי של אותם בע"ח, סוגי בתי הגידול שביחידות הנוף הסמוכות לדרך. למידת המורכבות המבנית הנוצרת משילוב מיני צמחיה שונים, השפעה מהותית על תפקוד רצועת הכביש כמסדרון תפוצה. לדוגמא: רצועת עצים המשולבות ביחידות נוף המאופיינות בצומח עשבוני עשויה לשמש כמחסות לתנועת בעלי כנף וחרקים.

תפיסה זו מתבססת על מחקרים קודמים שבחנו את התפקוד האקולוגי של שולי כבישים עבור מינים שונים של בעלי חיים וצמחים. המורכבות המבנית-פיזית של שולי הכביש (מגוון צומח - עצים, שיחים, עשבוניים ומרכיבים אביוטיים) היוותה חלק מהפרמטרים בבחינה. מחקר שנערך בהולנד (Vermeulen & Opdam, 1995) הראה כי שולי כבישים יכולים לשמש כמסדרון הפצה עבור פרוקי רגליים. על פי תוצאות המחקר, בכבישים אשר רצועות השטח לאורכם רחבות מספיק (כ-20-30 מ') ובן במגוון צומח עשיר, ימצא פיזור נרחב של פרוקי רגליים והן תשמנה כאלמנט המקשר בין בתי גידול מקוטעים. מחקר אחר, שנערך באנגליה (Bellmy et.al., 2000) העריך את חשיבות שולי כבישים והמאפיינים המבניים שלהם (מרכיבי הצומח והמרכיבים האביוטיים) עבור מכרסמים קטנים. המחקר העלה כי קיימת פעילות מכרסמים לצידי הכביש וקיים יחס ישר בין מידת המורכבות של צומח עשבוני גבוה בשולי הכבישים, לבין עושר וכמות מיני המכרסמים הנמצאים בסביבה זו. מחקר שנערך בפינלנד (Tikka, Högmander & Koski, 2001) הראה כי שולי כבישים, כתשתיות לינאריות, משמשים כמסדרונות תפוצה לצמחים עשבוניים; וכי כתוצאה מפיתוח והתמעטות האזורים הנחשבים כבתי גידול טבעיים עבור מיני צומח אלו, יכולתם להתרבות לאורך צידי כבישים (בהם תנאים נוחים של אספקת מי נגר הכביש) חיונית לשימור מגוון מיני הצומח.

במחקר שנערך בישראל (אלרון, 2007) נמצאו עדויות לכך שהקרפדה הירוקה מנצלת כל גוף מים זמין לרבייה, ובכלל זאת תעלות ניקוז של כבישים ושוליות קטנות המנותקות מגופי מים גדולים.

במקרים רבים משך קיום מקוויי מים אלה קצר יחסית והם הופכים למלכודת אקולוגית³ עבור מאכלסי מים. אלרון (2007) מציע שכחלק ממשק שמירת הטבע של דו-חיים יש לשפר וליצור מקווי מים עונתיים ייעודיים כולל העמקה של גופי מים לצידי כבישים, שעלולים להוות מלכודת אקולוגית.

שילוב תובנות אקולוגיות בתכנון מערכת טכנו-אקולוגית לניהול הנגר וניקוז, מזמנת הזדמנות לחיזוק המגוון הביולוגי ולמזעור השפעות הקיטוע שיוצר הכביש (Sipes & Sipe, 2013), באמצעות הגברת המורכבות המבנית לצידי הכביש, יצירת רצף מחסות ופסיפס ותוספת בתי גידול ייחודיים (Huijser & Clevenger, 2006; Dolan et.al., 2006). תעלות הניקוז של הכביש יכולות לשמש כתוואי אורכי לתנועת מינים שונים, אקוטיים ויבשתיים, בייחוד כאשר מובילות אל בתי גידול לחים טבעיים כמו נחלים (Simon & Travis, 2011). מעבירי המים יכולים לתפקד גם כמעבר לזרימת מים וגם כמעבר חופשי לבע"ח בין בתי גידול שמשני צידי הכביש. בהינתן אפשרות לבע"ח לחצות את הכביש לרוחבו, הכביש הופך "חדיר יותר" עבורם, במקום שיגרום לקיטוע של המרחב בו הוקם (van Bohemen, 2004; Forman et.al., 2003; אחירון-פרומקין 2012). מבנים אלה מתאימים בעיקר למעבר טווח מסוים של בע"ח, לרוב יהיו אלה מכרסמים, חרקים, דו חיים או זוחלים. תפקוד מעברים אלה עבור תנועת בעלי חיים יבשתיים מתגבר, כאשר לאורך הכביש משולבים מגוון סוגים וגדלים של מעבירי מים באופן תדיר, וכאשר משולבים בס מרכיבים המותאמים לצרכיהם כגון תוספת דרגש הליכה מוגבה, מפתח בגודל מתאים, שילוב מצע של חומר טבעי (צמחיה או אבן) וכאשר נשמרים מחסות בפתחו ולאורכו של המעבר (Clevenger, 2001; Chruzc & Gunson).

שילוב אמצעים פיזיים במערכת לניהול נגר, הבנויים ממשאבים ביוטיים ואביוטיים של צומח קרקע ואבנים, כגון תעלות עשב, בריכות ואגנים למיניהם, מגביר את המורכבות המבנית של השטחים לצידי הכביש ויוצר תנאים מגוונים של מיקרו אקלים ולחות הנדרשים לקיומם של צמחים ובעלי חיים שונים (Dolan et.al., 2006). בריכות השהיה המוזנות בנגר הכבישים יכולות לשמש כמקור מי שתייה לבע"ח ולהוות תוספת של גוף מים מקבלים, כאשר מתפתח בן בית גידול ייחודי אקוטי כמו בריכת חורף, כל עוד נשמרת איכות טובה של מים ומשך קיום המים מתאים להשלמת מחזור חיים ביולוגי (אחירון-פרומקין, 2012; גזית, 1978).

ה. אסתטיקה ואיכויות חזותיות-נופיות

מקור המילה "אסתטיקה" הוא במונח יווני שמשמעו "תפיסה". המרכיבים הקלאסיים של אסתטיקה הם אמת, הרמוניה, איזון, פרופורציות, קומפוזיציה, מגוון וסדר (Porteous, 1996). בספרו "אסתטיקה סביבתית" Porteous (1996) מגדיר איכויות אסתטיות על פי שלוש פרדיגמות: א. איכויות תרבותיות - הנוף כמבטא תרבות, סגנון חיים וערכים לרבות אוסף

³ מקווה מים כמלכודת אקולוגית - מקווה מים שקיימים בו תנאים בלתי מספקים להשלמת מחזור החיים של מאכלסי המים, ולמרות זאת בעלי חיים בוחרים להתרבות בו ולא במקווה מים זמין אחר המתאים להם (בשל אי יכולת להבחין בהתאמת בית הגידול). כתוצאה מכך אין גיוס צעירים לאוכלוסיה והאוכלוסייה נפגעת (א. גזית, מידע בע"פ)

העדויות על פעילות האדם; ב. איכות חזותיות (ויזואליות) של הנוף הנשקף למשתמשי הכביש ולצופים אליו מן הסביבה, כפי שנתפסת בחושו של האדם: צלילים, צבעים, טקסטורות, ריחות ג. איכויות נופיות - תפיסת הנוף והבנה שלו באמצעות הסממנים השולטים במרחב (Porteous, 1996), בין אם מרכיבים גלויים, כגון צמחיה, מסלע, ובין אם הרמזים שמספק הנוף הנגלה, לגבי עושר המגוון הביולוגי (de Groot et al., 2010). לדוגמא, שילוב כתמי שיחים מפוזרים בצידי הכביש מרמז על פוטנציאל של איכלוס של מגוון מיני בע"ח; אזור בו נשמרו עצים ותיקים מהווה פוטנציאל לקינון ציפורים (Forman et al., 2003). (Forman et al., 2003) מכנים זאת "קריאות של צידי הדרך" (reading the roadside). גישה זו מתחזקת בתיאוריה של אפלטון (Habitat Theory), אותה מציג Porteous (1996), לפיה לאדם רגישות לטבע מתוך מניעים של הישרדות. האדם חווה הנאה וסיפוק מהנוף, כל עוד הסביבה נתפסת בעיניו כבעלת יכולת לספק את צרכיו הביולוגיים כבית גידול - מקום למסתור ולרבייה, אפשרות לתצפית (Porteous, 1996). ככל שהנוף נתפס כטבעי יותר ומשרה תחושה של פתיחות ולא של איום, ערכו האסתטיים והחזותיים גבוהים יותר (de Groot et al., 2010). לטענתו, מורכבות (complexity) היא המפתח להערכה של היחס שבין מגוון מרכיבי הנוף לרמת האיכויות האסתטיות-ויזואליות.

van Bohemen (2002) טוען שהדרך להטמיע איכויות אסתטיות בתכנון כבישים היא באמצעות שילוב חשיבה אומנותית - מקור ידע אינטואיטיבי, יצירתי-אינטלקטואלי, כגורם שמתוודך בין תהליכי עיצוב הכביש ומתקניו לתהליכים הטבעיים, התורם להבנה של יחסי הגומלין המתקיימים בין תרבות לטבע. הלכה למעשה, יחידות הנוף מורכבות מפסיפס של תבניות בעלות מאפיינים משתנים והעשייה האומנותית יכולה לתרום להגברת הנראות שלהן ומובנותן, להדגיש חשיבותן, ופיין ופרטים ייחודיים בן.

על פי Sipes & Sipes (2013), גישתן של רשויות תחבורתיות בארה"ב היא שהאיכות הנופית-אסתטית-חזותית של נוף צידי כבישים תחשב גבוהה יותר, ככל שהכביש משתלב בסביבתו בצורה טובה יותר. לשם ביצוע ההערכה נדרש המתכנן לערוך ניתוח של מאפייני מרחב הכביש ויחידות הנוף בהן עובר; לבחון את אגני הנצפות - חשיפת הכביש לסביבתו וחשיפת משתמשי הכביש לסביבה; לזהות ערכים תרבותיים מקומיים; ולהציע חלופות תכנוניות לשימור משאבים אלה או למזער ההשפעות השליליות עליהם, על ידי תנויות הכביש מתוך רגישות למורפולוגיה ותצורות הקרקע ובאמצעות שימוש בחומרי גמר, צבעים וטקסטורות מקומיים.

בשנת 1991 יזם הממשל הפדרלי בארה"ב תכנית לשימור "כבישים נופיים" (Scenic Byways), המוגדרים ככבישים שלאורכם איכויות גבוהות של נוף, תרבות, טבע, היסטוריה, ארכיאולוגיה או נוף. מטרת פעולה זו להוביל לשימור הערכים לאורך הכבישים הייחודיים, וליצור שיתופי פעולה ותחושת גאווה מקומית (Sipes & Sipes, 2013). Brown (2003) מציג עבודה שנערכה במסגרת תכנית זו באלסקה, בה נעשה ניסיון לזהות כבישים שניתן לכוונתם "כבישים נופיים". באמצעות סקר התבקשו תושבים להצביע על סממנים במרחב מסדרון הכביש שהם בעלי ערך מהותי מעצם קיומם, אשר יחשבו כייחודיים, שלא ניתן להחליפם או כמייצגים באופן מהותי את מאפייני האזור. לשם כך נקבעו מספר אינדיקטורים: איכויות נופיות - נוף הכביש הוא בעל מאפיינים

ייחודיים בלתי נשכחים; איכויות לנופש - קיומן של הזדמנויות לפעילויות נופש (כגון טיילות או ביקור באתרי תיירות); איכויות טבעיות - מרחב הכביש נשלט על ידי סממנים טבעיים או אקולוגיים (נוף הררי, יערות, נחל, גופי מים טבעיים); איכויות היסטוריות - הדרך חוצה נופים המייצגים מורשת העבר; איכויות ארכיאולוגיות - הדרך חוצה נופים שבהם עדות גלויה לפעילות היסטורית או פרה-היסטורית של האדם (עתיקות); איכויות תרבותיות - הדרך חוצה נופים שמכילים ביטוי מובחן וייחודי של חיי הקהילה, מנהגיה או אורח חיים מסורתי (Brown, 2003).

בהתייחס למערכת לניהול הנגר בכבישים ניתן לטעון שגוף מים, המשתלב היטב בסביבת הכביש, בעל עיצוב אומנותי החשוף לציבור, תורם להעצמת האיכויות האסתטיות-חזותיות של נוף הכביש (Echols, 2007). המים נתפסים כאלמנט טבעי המתקשר לתחושות הבסיסיות ביותר של הישרדות, המשרה השפעה מרגיעה על תחושותיו של האדם (Ulrich, 1999). עיצוב מרכיבי המערכת כקומפוזיציה של צורות, צבעים ורחשים, מגביר באופן משמעותי את העושר החזותי והאסתטי של הנוף ואת העניין בו. דוגמאות לכך: תכנון בריכות כנקודות מוקד בנוף; יצירת ניגודיות בין נוף טבעי לנוף מעשה ידי אדם ובין סביבה המאפיינת בתי גידול אקוטיים ליחידות נוף יבשתיות; יצירת פיתולים בתוואי זרימת המים; שילוב סכרונים לנפילת מים מגבהים שונים, לחיזוק קולות פכפוך המים בזרימתם (Echols, 2007). הערך המוסף של המערכת גובר כאשר מתאפשרת נגישות אליה ביחד עם אספקה של מידע המכוון להגברת מודעות הציבור (Echols & Pennypacker, 2008), כפי שיפורט להלן.

ו. פנאי ונופש

תחום זכות הדרך של כבישים בינעירוניים מגיע לעיתים לרוחב של עשרות מטרים, ולרוב כולל גם דרכים משניות, המשרתות את המשתמשים השונים בסביבת הכביש: דרכי גישה של חקלאים לחלקותיהם, דרכי שירות לתחזוקת הכביש, לעיתים גם טיילת להולכי רגל או שבילי אופניים. דרכים אלה יכולות לאפשר נגישות אל מוקדי ביקור שונים, המצויים בסביבת הכביש (לרבות משאבים תרבותיים שנשמרו במסגרת פיתוח הכביש), לחזק את הקשר בין מוקדי ביקור ולהגביר את התפקוד של המרחב עבור מגוון משתמשים ולא רק עבור הנוסעים בכביש (Sipes & Sipes, 2013; גרינשטיין ד. מתוך תערוכה 'קווים בנוף - בין אמנות לאדריכלות נוף' בויצ"ו חיפה, 2012). ערכם של שירותי התרבות של פנאי ונופש בסביבת הכביש גבוה ביותר, כאשר קיימת נגישות אל מוקדים בסביבתו, ומתקיימת פעילות של נופשים במוקדים אלה (de Groot et al., 2010).

ניתן לתת לכך מספר דוגמאות: חניון קק"ל אתא-טורק הממוקם על כביש 4 בסמוך למושב צרופה, משמש גם כאזור לפיקניק, וגם כאזור למפגש ויציאה לרכיבת אופניים ולמטיילים באזור הכרמל (נ. כרמון, א. גזית, מידע בע"פ); בחציית "שביל ישראל" את רצועת כביש חוצה ישראל משולב מעבר תחת הכביש להולכי רגל ורכב; לאורך הדרכים החקלאיות שבתחום רצועת כביש כביש חוצה ישראל הוכשר מסלול לאופניים הכולל מקומות עצירה ומנוחה; במקומות בהם כביש חוצה ישראל חולף בגשר מעל רצועות נחלים, שולבו דרכי שירות וטיילות. במרחב נחל תנינים שבאזור רמת מנשה, בתחום רצועת הכביש שולבו מקומות ישיבה לפיקניק (ת. דראל-פוספלד וד. הלבץ, מידע בע"פ).

על פי Sipes & Sipes (2013) ו- Echols & Pennypacker (2008), מערכת שזורמים בה מים יכולה לספק שירותי פנאי ונופש באם מתקיימים גם תנאים המושכים אליה מבקרים ונוצרת עימה אינטראקציה, כגון של עניין, תחושת מרגוע ואפילו הזדמנות לנגיעה במים. לשם כך נדרש לתכנן את המערכת כמוקד המושך מטיילים, בשילוב שביל המוביל אליה ממערכת שבילים קיימת במרחב; בתוספת נקודות תצפית על מרכיבים שונים של המערכת ושילוב מקומות ישיבה מוצלים הפונים אליה. יש לזכור שהתאמת אתר לביקור קהל מחייבת נקיטת אמצעי זהירות לבטיחותם של המשתמשים, במיוחד בהיבטים של פעילות בקרבת כביש בינעירוני מהיר וקרבה לגוף מים.

ז. חינוך ולימוד

שיקום המכוון לשחזור מערכות טבעיות במרחב שלצידי הכביש יכול לשמש גם כמעבדת שדה למחקר מדעי ולספק הזדמנויות ללימוד (de Groot et. al., 2002). לדוגמא: שילוב נקודות תצפית על פרפרים (פרומקין, 2009), ציפורים שחזרו לשכון במרחב הכביש, פריחה אביבית (ת. דראל פוספלד וד. הלבץ, מידע בע"פ); שרידי מבנים שנבנו לאורכן דרכים קדומות, הנחשפים לעתים במסגרת פיתוח דרכים, המזמנים הזדמנות ללמוד על ההיסטוריה האנושית (Dolan et.al., 2006), ביקור בבריכת חורף (בית גידול בסכנת הכחדה בישראל) (א. גזית, מידע בע"פ).

הפקת ערך מוסף של לימוד וחינוך דורש שילוב אמצעי הסברה כגון שילוט פשוט ונהיר המשלב גרפיקה וסיורים מודרכים באתר (Echols, 2007; Echols & Pennypacker, 2008). בדרך זו ניתן להגביר את מודעות הציבור, לנושאים הקשורים בנגר הכביש והתהליכים האקולוגיים הקשורים אליו, ולתנך לחשיבה מקיימת. נושאים לדוגמא: חשיבות משאב המים והזדמנויות לנצל נגר מכבישים עבור תועלות שונות; הסבר על כל אחד מהמרכיבים במערכת ותפקודיו; הכרות עם בית גידול של בריכת החורף וצמחיית בתי גידול אקוטיים (Echols & Pennypacker, 2008; Sipes & Sipes, 2013).

1.2 ניהול נגר כבישים

1.2.1 גישות חדשניות לניהול נגר כבישים במדינות מפותחות

פרק זה מציג את הגישות החדשניות לניהול נגר שמובילות ארה"ב, אוסטרליה, ניו זילנד, ובריטניה ומתמקד בשימושי הגישות הללו בניהול נגר מכבישים. הגישה החדשנית בישראל, המכונה "תכנון רגיש למים" (תר"מ), מוצגת בהמשך בסעיף 1.3 ניהול נגר וניקוז בישראל.

שמירה על גופי ה"מים המקבלים" ועל בתי הגידול שבם, היא הדאגה הסביבתית העיקרית ביחס לנגר שמקורו באזורי פיתוח עירוני ומכבישים, במדינות ארצות הברית, אוסטרליה, ניו זילנד ובריטניה (אנגליה, סקוטלנד, צפון ויילס ואירלנד). רשויות תחבורתיות במדינות אלה, נדרשות לפעול על פי מדיניות סביבתית לאומית להגנה על גופי המים (העיליים והתת-קרקעיים), המספקים שירותים לאדם כגון דגה, מי שתייה ואתרים לפעילות נופש, מפני שטיפת מזהמים מכבישים אליהם ונזקי הצפות, הנגרמות כתוצאה מהגדלת היקף השטחים האטומים והגדלת

e.g.: Austroads, 2003; NCHRP,2006; AASHTO, 2007;)
(Environment Agency & Highway Agency, 2009; Highway Agency, 2009

על פי Opher & Fridler (2010), נגר הכבישים הוא מקור לזיהום שאינו נקודתי, המכיל מזהמים רעילים כמו מתכות כבדות ותרבות פחמן פוליאורומטיות (PAHs). מקורם של המזהמים בבלייה של הכביש ומתקניו (חלודה, חלקיקי בטון ואספלט), בלייה של כלי הרכב (לדוגמה: חלודה בתחתית הרכב, שחיקה של משטחי הבלמים, אבק ובוץ הנשטפים מפני הרכב בעת נסיעה על כביש רטוב), חלקיקים דקים משחיקת צמיגים, דליפות ונזילות דלק, שמנים הידראוליים, חומרי סיכה, נוזלי קירור. ריכוזי המזהמים הם פונקציה של גורמים רבים וביניהם: נפחי התנועה בכביש, ומאפייני סופות הגשם, משכן ותדירותן. סוגי המזהמים העיקריים שמזכירים בהקשר של נגר הכבישים הם: א. מתכות כבדות ובעיקר - נחושת (Cu), ברזל (Fe), עופרת (Pb), אבץ (Zn) (ישנם דיווחים של ירידה משמעותית בריכוזי העופרת בעקבות המעבר לשימוש בדלק נטול עופרת) אך גם אחרים, בריכוזים נמוכים יותר כמו אלומיניום (Al), מנגן (Mn), כרום (Cr), קדמיום (Cd) וניקל (Ni); ב. חומרים אורגניים, ובעיקר, תרכובות פחמן פוליאורומטיות (PAHs), שנחשבות כרעילות במיוחד ומקורן בדליפות שמנים ותוצרי בערה של דלק; ג. מוצקים מרחפים (Suspended Solids (SS)), הנחשבים כמקור הזיהום המשמעותי ביותר ביחס לנגר הכבישים, כיוון שסופחים אליהם את החלקיקים קטנים של מזהמים (ביניהם תרכובות הפחמן הפוליאורומטיות והמתכות הכבדות) ומסיעים אותם אל גופי המים המקבלים.

במסגרת מדיניותן הסביבתית, פותחו במדינות הנ"ל גישות חדשניות לניהול "ירוק" של נגר על קרקעי המכונות: בארה"ב LID - Low Impact Development (Washington State DOT,) WSUSD - Water באוסטרליה (2011; San Francisco Water Power Sewer, 2010 Austroads, 2003; Melbourne Water, 2005;) Sensitive Urban Drainage System (Queensland Government Department of Transport and Main Roads, 2010) בבריטניה SUDS - Sustainable Urban Drainage System (Duffy et. al., 2008). הגישות החדשניות הללו התפתחו במקביל בכמה מדינות, כולל בישראל בראשית שנות ה-90 למאה ה-20 (ר' להלן סעיף 1.3.2). הן התמקדו בשנים הראשונות בנגר עירוני. התייחסות לנגר מכבישים ראשיים, כולל בינעירוניים, מופיעה ברוב המדינות רק באמצע העשור הראשון למאה ה-21, לאחר התבססות הכללים העיקריים של LID, SUDS, WSUDS ותר"מ (נ. כרמון, מידע בע"פ).

גישות אלה מחייבות את המתכננים להשתמש במגוון אמצעים הנחשבים כמיטביים Best Management Practices (BMP's), המיועדים לטפל במים, לשפר איכותם ולמנוע הצפות ונזקיהן (e.g., Melbourne Water, 2005; AZDOT, 2012). האמצעים המוצעים בגישות אלה, כמו תעלות עשב, תעלות עשב רחבות, בריכות שהייה רטובות או יבשות, בנויים בעיקר ממשאבים מקומיים טבעיים, ביוטיים ואביוטיים (צמחיה, קרקע ואבן). הם בעלי מופע אסתטי, התורם לנוף והם מספקים בית גידול לבעלי חיים ולצמחיה (Dolan et.al., 2006).

הגישות החדשות הללו מוטמעות כחלק אינטגרלי מהנחיות לתכנון הניקוז במדינות אלה. להלן מוצגות דוגמאות מהנחיות שפורסמו בשנות ה-2000 לניהול נגר מכבישים במדינות מפותחות:

ארה"ב - המכון למחקר תחבורתי National Cooperative Highway Research Program (NCHRP, 2006) פרסם דו"ח המציע מתודולוגיה לשילוב אמצעים מגישת LID, במערכת לניהול נגר וניקוזו לאורך מסדרונות כבישים, לצורך מזעור מפגעים סביבתיים. בהנחיות שבדו"ח ישנה הבחנה בין כבישים עירוניים - בהם מערכת הניקוז בנויה בעיקר מצינורות תת קרקעיים, לבין כבישים בינעירוניים, שנחשבים למערכות בקנה מידה גדול יותר, אשר מערכת הניקוז שלהם היא מערכת של תעלות פתוחות, המתוכננות לסילוק מים גם מפני הכביש וגם לתיעול נגר עילי משטחים תורמים שמחוץ לזכות הדרך. על פי הדו"ח ניתן לאמץ את גישת LID גם בכבישים בינעירוניים מהירים.

המדריך לתכנון הידרולוגי של (FHWA) Federal Highway Administration (2009), מנחה לשלב אמצעים לשיפור איכות מימיו של נגר הכבישים, ביחד עם מתקני הניקוז המקובלים (אבני שפה, תעלות בטון, קולטני כביש, מגלשים). המדריך כולל גם קריטריונים הנדסיים ליישום ומפרט את הפרמטרים הנדרשים להחלטה על שילוב כל אחד מן אמצעים לטיפול באיכות המים - תנאים פיזיים של האתר ומקום זמין, שטח אגן הניקוז של הנגר המטופל ונפח המים, הגדרה של סוגי המזהמים בהם נדרש לטפל וריכוזים צפויים שלהם. בין האמצעים הנדונים במדריך נכללים בריכות השהייה רטובות או יבשות, אגנים ותעלות לחלחול, אמצעי סינון (באמצעות שכבות קרקע או חול), תעלות עשב רחבות, סכרונים ופתרונות לייצוב הקרקע.

אוסטרליה - בשנת 2005 הוציאה רשות המים שבמלבורן, ויקטוריה, מדריך תכנון WSUDS (Melbourne Water, 2005) Engineering Procedure, בו הנחיות לשילוב מגוון אמצעים מיטביים (BMP's) לניהול הנגר והניקוז. המדריך כולל את הגדרת התפקודים של כל אמצעי למזעור השפעות סביבתיות שליליות, פרוצדורה הנדסית ליישום, דוגמאות, רשימת תיוג לתכנון, ביצוע ותחזוקה ועקרונות לתכנון נופי ובחירת הצמחיה המתאימה. אמצעים מתוך WSUDS ועקרונות לתכנונם בכבישים בינעירוניים הוטמעו לאחרונה בהנחיות לתכנון הניקוז של רשות התחבורה האוסטרלית Austroads (2013), המחייבות את כלל רשויות התחבורה באוסטרליה, ניו זילנד וטסמניה. בהנחיות נכללת דרישה מהמתכנן, לשלב בתכנון מערכת הניקוז אמצעים מתאימים לשימור איכותן של מערכות הידרולוגיות טבעיות, למניעת פגיעה באיכות ובכמות המים שבגופי מים טבעיים, לשימוש באמצעים המיועדים לשיפור איכות מים שמקורם בנגר כבישים ולמניעת נזקי הצפות. כמו כן מפורטים בהנחיות האמצעים המתאימים לעמידה בדרישות אלה, כמו תעלות עשב, תעלות עשב רחבות, מלכודות פסולת, אגני השהייה וחלחול, סכרונים ופתרונות לשימור קרקע באמצעות משאבים טבעיים ביוטיים (צמחיה) ואביוטיים (לדוגמא: סלעים, אבנים, גביונים). בנוסף, כוללות ההנחיות שיקולים לתכנון מתקני ניקוז קונווציונאליים, שיאפשרו לעמוד בדרישות הני"ל. לדוגמא, כדי להקטין נזקי סחף מוצע למתכנן לשלב מספר מעבירי מים קטנים במקום מעביר מים גדול המרכז את זרימת הנגר, ובמוצא מעבירי המים, לשלב אגן השהייה. כמו במדריך לתכנון הידרולוגי של (FHWA) Federal Highway Administration

(2009) מארה"ב, בהנחיות של Austroads מפורטים קריטריונים הנדסיים ומפרטים טכניים- הנדסיים ליישום.

ניו זילנד - מטרתן של הנחיות רשות התחבורה בניו זילנד NZ Transport Agency (2010), לסייע למתכנני כבישים בבחירת האמצעים המתאימים לצמצום השפעות שליליות מנגר הכבישים (הצפות, זיהום) על הסביבה המקבלת (נחלים, קרקע ומי תהום, חופים ואגמים), תוך שמירה על יציבות מתקני הניקוז דרכם זורם הנגר. על פי ההנחיות, תכנון מערכת לניהול נגר צריך להתבסס על נתונים של כמות המים ואיכותם, על התאמה למערכות האקולוגיות המקבלות ועל תפיסות מתקדמות לניהול נגר ותכנון הידרולוגי. בחירת האמצעים נעשית משיקולים של מיקום מתאים, סוג הקרקע ותכונותיה, שיפועים, אגן הניקוז, מי התהום ושיקולים כלכליים. בהנחיות מתואר אף המכניזם של סילוק מזהמים באמצעות כל אחד מהאמצעים: בריכות השהייה, אחו לח, מערכות סינון, חלחול והחדרה ותעלות עשב; והן מספקות פרטים, קריטריונים פיזיים ומפרטים טכניים הנדסיים ליישום כל אחד מהאמצעים.

בריטניה - הכרך העוסק בתכנון הנדסי-גיאוטכני וניקוז של Highway Agency (2006), כולל פרקים המתמקדים בתכנון מערכת ניקוז המכונה Vegetated Drainage System, כאמצעי לטיפול בנגר לפני הגיעו למים מקבלים, כתרומה לשמירה על הטבע ולתוספת ערך נופי. מבחינת תפקודים ניקוזיים, מערכת זו יכולה להחליף את המערכת הקונוונציונאלית בשטחים שלצידו הכביש. אמצעים לשילוב במערכת זו - תעלות עשב רחבות, תעלות עשב, אגני חלחול, אחו-לח, בריכות השהייה ודגשים לשילוב ביניהם ליצירת מערכת היברידי. המדריך כולל מפרטים טכניים ופרטים ליישום, כולל קריטריונים הנדסיים הידרולוגיים, הידראוליים וגיאוטכניים, הנחיות לתחזוקה; וקושר בין סוגי המזהמים בהם נדרש לטפל לבין האמצעי המתאים והמים המקבלים. מוגדרים בו שלושה עקרונות יסוד לתכנון מערכת ניקוז של כבישים מהירים: א. סילוק מהיר של נגר לשמירה על הבטיחות; ב. ניקוז תת קרקעי יעיל לשמירה על יציבות מבנה הכביש לאורך זמן; ג. מזעור ההשפעה השלילית של נגר הכבישים על הסביבה המקבלת.

ניתן לסכם מספר עקרונות מרכזיים לבחירת האמצעים והיישום שלהם, כפי שעולים ממדריכי התכנון השונים: א. מעל לכל, הכביש צריך להיות בטיחותי למשתמשים בו. המתכננים צריכים להבטיח שנגר מסולק בצורה יעילה מפני המיסעה, על ידי הכללת שיקולים הנדסיים מתאימים בתכנון הניקוז ובחירת האמצעים (Austroads, 2013); ב. נדרשת התאמה לכבישים בינעירוניים, מבחינת רמת התחזוקה וסוגי המזהמים בהם נדרש לטפל (Highway Agency, 2006); ג. בחירת האמצעים צריכה לנבוע מתוך גישה משולבת המכוונת לתפקודים מגוונים, לדוגמא: שחזור בתי גידול אקוטיים ביחד עם ייצוב מדרונות ויצירת מופע אסטתי (NCHRP, 2006); ד. יעילות מערכת גוברת כאשר מתוכננת כשרשרת מטפלת (Austroads, 2003); ה. הפתרונות צריכים להיות מותאמים לתנאים הפיזיים המקומיים של סוג הכביש ורוחבו, כמויות הנגר הזורם במערכת, סוג הקרקע, מורפולוגיה של השטח ותנאי האקלים (NCHRP, 2006); ו. אמצעים אלה אינם מיועדים לטפל בהיקף זיהום משמעותי ואקוטי, הנגרם למשל מהתהפכות משאית המובילה חומרים מסוכנים (Highway Agency, 2009; NCHRP, 2006); ז. האמצעים צריכים להיות

משולבים כחלק אינטגרלי מתכנון מערכת הניקוז של הכביש והשיקום הנופי, בשיתוף עם המתכננים הסביבתיים בפרויקט בשלב מוקדם ככל הניתן (Highway Agency, 2006; (Aoustroads, 2003).

יש לציין כי בהנחיות הנסקרות בעבודה זו, לא נמצא קשר בין סוג אמצעי לבין אזור האקלים לו מתאים. מכך ניתן להסיק כי השיטה העקרונית היא דומה ובעלת יעילות דומה באזורי אקלים שונים, וכי ניתן לשלב את האמצעים המוצעים בגישות אלה לאורך כבישים בישראל תוך התאמה לתנאי האקלים המקומיים.

1.2.2 חוקים ותקנות להגנה על "מים מקבלים"

הצורך לקדם פתרונות לבעיות הסביבתיות, המיוחסות לנגר שמקורו באזורי פיתוח עירוני ומכבישים, נובע ממדיניות מתקדמת, המעוגנת בחקיקה מתאימה במדינות הנ"ל. להלן מוצגות דוגמאות לחקיקה סביבתית מקומית מתקדמת באותן מדינות.

ארצות הברית

הסוכנות להגנת הסביבה בארה"ב (United States Environmental Protection Agency) רואה בהזרמה ישירה של נגר בלתי מטופל, ממתקני הניקוז הקונבנציונאליים לגופי מים מקבלים ולסביבה, כגורם להידרדרותן של מערכות אקולוגיות יבשתיות ואקוטיות (NCHRP, 2006). בפרסום של רשות התחבורה הפדראלית בארה"ב (Federal Highway Administration) (2009) מופיעה סקירה של המדיניות הסביבתית ובה הדרישה להגנה על המערכות האקולוגיות, המתבטאת בעיקר בשני החוקים הפדראליים: החוק למדיניות סביבתית (ארה"ב) The National Environmental Policy Act of 1969 (NEPA), המגדיר דרישה למניעת הפגיעה בסביבה ובביוספירה, לקדם את רווחת בני האדם ולהגביר ההגנה על המערכות האקולוגיות והמשאבים הטבעיים; והחוק העוסק בשמירה על איכות המים Federal Water Pollution Control Act Amendments of 1972 המכונה גם The Clean Water Act (CWA). בחוק זה שלושה סעיפים עיקריים המתייחסים לנושא נגר הכבישים: תיקון לסעיף 402 לחוק CWA, משנת 1987 (Section 402(p) קובע, כי נגר שמקורו באזורים בנויים ובכלל זאת כבישים, נחשב למקור של זיהום סביבתי. הזרמתו אל מים מקבלים שמחוץ לתחום זכות הדרך דורשת עמידה בתקני איכות מים הקבועים בחוק. בהתאם לכך, על פי סעיף 401 לחוק (Section 401) נדרשות רשויות התחבורתיות במדינות השונות (Departments of Transportation) לקבל מהסוכנות להגנת הסביבה היתר מתאים להזרמת נגר הנוצר בתחום הכבישים אל המים המקבלים (US EPA , 2012a). סעיף 404 (Section 401) ל- CWA אוסר על שפיכה לא מורשית של חומרי חפירה ומילוי, אל גופי מים טבעיים בזמן ביצוע עבודות להקמה או הרחבה של כבישים למעט שפיכה מבוקרת בתנאים מסוימים (US EPA , 2012b).

בהתאם למדיניות זו מורות ההנחיות, כי בתכנון מערכת הניקוז, יש לשאוף להפרעה מינימאלית למשטר הניקוז הקיים ולא לגרום להצפות ולארוזיה (Federal Highway Administration, 2009; NYSDOT, 2011). כאשר בעבודות לפיתוח כבישים לא ניתן להימנע מחדירה לתחום שטחי הצפה טבעיים של גופי מים נדרש לתכנן את העבודות באופן המכוון למזעור נזקי הצפות, ושמירה על האיכויות הטבעיות והתועלתיות של האזור (AZDOT, 2012).

בנוסף על החקיקה העיקרית הנזכרת לעיל, הדרישה לשמירה על איכות המים ומזעור השפעות שליליות של נגר כבישים על האקולוגיה מעוגנת בחקיקה עניפה, פדראלית ומקומית, אשר רשויות התחבורה נדרשות לעמוד בה על פי העניין והמיקום. לדוגמא: חוק המתייחס לאיכות מי השתייה (The Safe Water Drinking Act of 1974) דורש תאום עם הסוכנות להגנת הסביבה בעת הזרמת נגר מכבישים לגופי "מים המקבלים" (במיוחד לאקוויפר), וכולל דרישה שיובטחו מקורות מימון מתוך הפרויקט לנקיטת פעולות מתקנות באם נגרם להם נזק; חוק לשמירה על איכות משאבי הטבע בסביבות אקוויטיות ומניעת פגיעה בדגה (The Fish and Wildlife Act of 1956), חוקים העוסקים בשמירה על הסביבה החופית ואיכות המים המוזרמים לים (the Migratory Game-Fish Act and the Fish and Wildlife Coordination Act Coastal Zone Management Act of 1972 & The Coastal Zone Act Reauthorization Amendments of 1990); חוקים לשמירה על הסביבה והאקולוגיה כגון החוק לשמירה על מינים בסכנה הכחדה (The Endangered Species Act (ESA)).

אוסטרליה וניו זילנד

המדיניות באוסטרליה ובניו זילנד, כפי שעולה מהנחיות התכנון של Austroads (2003), כוללת דרישה לשמירה על הסביבה ועל גופי המים הטבעיים המקבלים את נגר הכבישים. מדיניות זו באה לידי ביטוי בשני חוקים עיקריים: Water Pollution Act 1984 & Roads ACT, 1999, הדומים במהותם לאלה שבארה"ב. הטמעת החקיקה הראשית בהנחיות תכנון ניקוז הכבישים של המדינות השונות, משתנה בהיקף ובהעמקה.

בהנחיות רשויות התחבורה בטרטוריה הצפונית, דרום אוסטרליה וטסמניה מופיעות אמירות כלליות בלבד, כגון דרישה לצמצום ההפרעה לסביבה, לשמירה על המים המקבלים במצבם הטבעי ולשימוש באמצעים למניעת ארוזיה בשלבי הביצוע וההקמה. רשות הכבישים של ניו סאות' וילס מפרטת מעט יותר את מטרותיה לתכנון הניקוז וניהול הנגר, וכוללת בהנחיותיה דרישות כלליות כמו זיהוי רגישותם של גופי "המים המקבלים" בשלב התכנון, שילוב פתרונות תכנוניים למניעת שינויים בדפוסי ניקוז טבעיים ואמצעים הנחשבים כמיטביים (BMP's) עבור מזעור ההשפעות השליליות של נגר מכבישים על הסביבה, לרבות בשלב התפעול והתחזוקה (Austroads, 2003).

רשות התחבורה של קווינסלנד Queensland Government Department of Transport and Main Roads (2010) פועלת על פי מספר חוקים סביבתיים מקומיים. העיקריים שבהם: חוק השמירה על הסביבה Environment Protection Act 1994 וחוק המים Water Act 2000.

הנחיות לתכנון הניקוז שמפרסמת בשנת 2010, מהוות צעד משמעותי לשמירה על הסביבה והאקולוגיה. פירוט האמצעים המיטביים (BMP's) לניהול וטיפול בנגר מוטמע באופן אינטגרלי בהנחיות ההנדסיות לתכנון מערכת הניקוז.

רשות התחבורה של ויקטוריה VicRoads (2003) רואה בהגנה על נחלים כמרכיב מפתח במדיניות לשמירה על הסביבה, הנובעת מדרישות החוק Environment Protection Act 1970. סעיף 38 ל Transport Act 1983 וחוק המים Water Act 1989 בויקטוריה, מוטלת האחריות על רשות התחבורה למנוע הפרות סביבתיות ונזקי הצפות באזורים סמוכים. מזעור פליטת הסדימנטים הינו בעדיפות עליונה בעת שלבי הביצוע, בשלב התחזוקה והתפעול מושם הדגש על שימוש יעיל בנתיבי המים ומניעת הסעת מזהמים מן הכביש אל הסביבה (Aoustrroads, 2003).

בריטניה

בשנת 2009 נחתם מסמך הבנות לשיתוף פעולה להפחתת השפעות שליליות של פיתוח כבישים על סביבות מימיות, בין הסוכנות להגנת הסביבה Environmental Agency לבין רשות התחבורה בממלכה המאוחדת Highway Agency (המאגדת גם את הרשויות התחבורתיות של ווילס, צפון אירלנד וסקוטלנד). מטרתו של מסמך ההבנות להבטיח את מחויבות הרשויות התחבורתיות לעמוד בדרישות סטטוטוריות להגנה על סביבות מימיות, בדגש על איכות המים ומניעת הצפות והגנה של אגני ניקוז (Environment Agency & Highway Agency, 2009). החקיקה הסביבתית העיקרית, המוזכרת במסמך המדיניות (Environment Agency & Highway Agency, 2009) כוללת את חוק המים Water Act 2003 - המסדיר השימוש במים והשמירה על מקורות המים; The Water Environment Regulations 2003 (Water Framework Directive-WFD) - המגדיר את הסוכנות להגנת הסביבה כרשות הממונה; The Water Resources Act 1991 - חוק העוסק בהגנה על גופי המים מפני הצפות וזיהום; Environmental Permitting Regulations 2010 - העוסק בהיתרי הזרמה והגנה על מי תהום; Land Drainage Act 1991 - להגנה מפני הצפות של נתיבי מים ושטחי הצפה טבעיים. רשות התחבורה Highway Agency, נדרשת לפעול על פי הרגולציה ה"ל", ומנחה את המתכננים לשלב שיקולים של מזעור השפעות שליליות של כבישים על סביבות מימיות, בבחינת חלופות להתוויית כבישים ובבחירת החלופה המתאימה (Highway Agency, 2006).

1.3 ניהול נגר וניקוז בישראל

בהשוואה למדינות מפותחות, נותרה מדינת ישראל מאחור בתחומים רבים של מדיניות סביבתית, ביניהם גם בניהול "ירוק" של נגר. אמנם, גישת תר"מ (תכנון רגיש למים) פותחה בטכניון בשנות התשעים למאה ה-20, במקביל להתפתחותן של גישות LID בארה"ב ובקנדה, WSUDS באוסטרליה, ו-SUDS בבריטניה (שמיר וכרמון, 2007), אך התחיקה הישראלית בנושא עדיין בפיגור (לסטר וחובי, 2010). למרות זאת, סימני התקדמות משמעותיים נראים בשנים האחרונות בתחום השילוב בין תכנון מרחבי (עירוני ואזורי) לבין ניהול נגר, וזאת, בצורת תמ"א 4/ב'34

לאיגום והחדרה (2007), תמ"א 3/ב34 נחלים וניקוז (2006), ראשית חשיבה על שירותי המערכת האקולוגית ושימור מגוון המינים במשרד להגנת הסביבה (דש"א, 2011), וגם התחשבות בשיקולים סביבתיים ואקולוגיים בהכנת תכנית לדרכים, תכניות אזוריות ותכניות עירוניות (נ. אנגיל מידע מהרצאה בסדנת "נחלים וניקוז", אוקטובר 2013). דוגמא נוספת להתקדמות החשיבה הוא מסמך המדיניות שפרסמה רשות המים (2012) - תכנית אב ארצית ארוכת טווח למשק המים בישראל, המבטאת את גישת תר"מ בהיבט של תפיסת הנגר כמשאב ולא רק כמטרד, ודרישה לניצול כל מקורות המים העיליים לשימושים השונים. גם מדיניות זו עדיין אינה מעוגנת בחקיקה.

1.3.1 חוקים ותקנות רלוונטיים בישראל

חוק המים

חוק המים התשי"ט-1959, בדרישתו לשמירה על גופי המים, דומה במהותו למדיניות של שמירה על הסביבה והגנה על גופי מים מקבלים שבארה"ב, בריטניה ואוסטרליה. סעיף 1 לחוק המים התשי"ט-1959, קובע כי כל מקורות המים בארץ הם "קניין הציבור" ו"מיועדים לצרכי תושביה ולפיתוח הארץ". סעיף 2 בחוק מגדיר את מקורות המים ככל זרמי המים ומקווייהם "בין אם עיליים ובין תחתיים... לרבות מי ניקוז". "מובילי מים פתוחים" ו"תעלות ניקוז" מוגדרים אף הם כמקורות מים בסעיף 20א בחוק. בין מטרות המים "שמירה ושיקום של ערכי טבע ונוף... לרבות נחלים ובתי גידול לחים" (סעיף 6). בהתאם, מי שברשותו מתקן להובלת מים חייב לנקוט בכל האמצעים הסבירים למנוע זיהום מים ולהימנע מדלדולו של כל מקור מים (סעיף 9 בחוק). כלי תחבורה מוגדרים בחוק המים כגורמי זיהום (סעיף 20א).

החוק מסמיך את רשות המים ואת השר להגנת הסביבה להתקין תקנות, הקובעות תנאים והוראות ל"הסדרת תנועה ושהייה של כלי תחבורה והשימוש בהם, על פני מקורות מים או בקרבתם" (סעיף 20ד). דוגמא לתקנות כאלה הן - תקנות המים (מניעת זיהום מים) (מתכות ומזהמים אחרים) התשס"א - 2000 (רשומות, 2000), תקנות בריאות העם (איכותם התברואית של מי שתיה ומתקני מי שתיה), התשע"ג - 2013, תקנות בריאות העם (תקני איכות מי קולחין וכללים לטיהור שפכים), התש"ע - 2010. עם זאת, התקנות הקיימות עוסקות רובן ככולן בשמירה על איכות המים המשמשים לשתיה, להשקייה ומים המוזרמים לנחלים ולים, מפני זהום של שפכים שמקורם בתעשייה, בטיהור קולחים ובמפעלים מזהמים כמו תחנות תדלוק. תקני איכות מי השתיה כוללים דרישות מחמירות לחיטוי המים ומגדירים ערכים מותרים לחומרים כגון פלואוריד, מיקרוביולוגיה, חומרי חיטוי ואסבסט - חומרים שאינם מוזכרים כלל במחקרים שנערכו בישראל ביחס לנגר הכבישים (ר' להלן סעיף 1.3.3). לא מצאתי תקנים שכוללים הגדרת ערכי סף של ריכוז המזהמים, המותר במים המוזרמים לטבע (שאינו נחל) ואשר מקורם בנגר הכבישים. כמו כן, לא מצאתי בחקיקה ובתקנותיה אזכור לדרישות הדומות לסעיפים 401,402,404 בחוק CWA האמריקאי (ר' לעיל סעיף 1.2.2): א. לניטור איכות מימיו של נגר הכבישים, המנותב אל נחלים ובתי גידול אקוויים אחרים, או דרישה לנקיטת אמצעים מתאימים לשיפור איכות המים; ב. מניעת סחף קרקע מתחום הכביש אל בתי גידול אלה; ג. מנגנון פיזיו ("המזהם משלם") כדוגמת איגום משאבים כלכליים למקרים שנוצרה נפגעה במים מקבלים ונדרש לנקוט פעולות לשיקום (סעיף 404 לחוק CWA; ר' לעיל סעיף 1.2.2).

חוק הניקוז והגנה בפני שטפונות

בחוק הניקוז והגנה בפני שטפונות התשי"ח-1957, מוגדר ניקוז כ"כל פעולה שמטרתה...להוביל או להרחיק מים עיליים או אחרים המזיקים או עלולים להזיק לחקלאות...לפיתוח הארץ או לקיום שירותים סדירים במדינה, לרבות...הגנה בפני שטפונות ומניעתם" (סעיף 1 בחוק). אנו למדים מכאן, כי לפי החוק התקף במדינת ישראל שנגר מוגדר כ"מים מזיקים" (נ. כרמון, מידע בע"פ).

החל מסוף המאה ה-20 נערכו ניסיונות רבים להציע ניסוחים חדשים לחוק הניקוז המיושן. הוכנו טיוטות אחדות (לדוגמא, רשומות, 2008) אך החוק עדיין לא שונה (נ. כרמון, מידע בע"פ). בהחלטתה מיום 9.5.10, מטילה הממשלה על משרד החקלאות ופיתוח הכפר להפיץ תזכיר חוק לתיקון חוק הניקוז והגנה מפני שטפונות, התשי"ח-1957. תיקון 7 המוצע לחוק (דש"א, 2011) מהותו, בשינוי מתפיסה של ניקוז לתפיסה של ניהול נגר, לצורך "ניצול יעיל של מי הנגר לשימוש משק המים, הקטנת מפגעי ניקוז ושמירה על ערכי הטבע והנוף של עורקים וסביבתם" (דש"א 2011, טרום תזכיר החוק, סעיף 2(ב) (1) ס"ק 1; ובקביעת כללים לביצוע פעולות ניהול נגר וניקוז (דש"א, 2011), כפי שמציעים שמיר וכרמון (2007) בגישת תר"מ.

תמ"א 334' תכנית המתאר הארצית המשולבת למשק המים

מדיניות התכנון הלאומית, בהקשר של שימור וניצול מיטבי של מי נגר עילי, באה לידי ביטוי בעיקר בחלקיה של תכנית המתאר הארצית המשולבת למשק המים - תמ"א 334/ב'4 (2007) לאיגום והחדרה ותמ"א 334/ב'3 (2006) נחלים וניקוז. מטרותיה של תמ"א 334/ב'4 ליצור מסגרת תכנונית לאיגום מים, החדרה, העשרה והגנה על מי תהום באמצעות שימור מי הנגר העילי וניצולם המיטבי בתכנון הפיתוח מעל אזורי האקוויפר. הוראותיה קובעות, כי בתכנון הפיתוח מעל אזורי האקוויפר, יש להשאיר 15% שטחים חדירים למים בתוך המגרש לקליטת נגר עילי בתחומיו. לא מצאנו אזכור לנגר הכבישים בהוראות התכנית. יתרה מכך, הקריטריון התכנוני שמגדירה התכנית אינו תואם לקריטריונים ההנדסיים בתכנון כבישים, המתבססים על מדדים של ספיקות תכן בהסתברות משתנה (לפי העניין ומבנה הכביש), מהירויות זרימה, סוג הקרקע ותכונותיה (החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ, 2008). מטרותיה של תמ"א 334/ב'3 הן להבטיח המשך תפקודיהם האקולוגיים והניקוזיים של רצועות נחלים, אך לא מצאנו בתכנית זו התייחסות להשלכות אפשריות של הזרמת נגר מכבישים אל הנחלים.

נוהל פר"ת (פרויקטים תחבורתיים)

נוהל פר"ת הוא נוהל משותף למשרד התחבורה ומשרד האוצר, המשמש לבחינת כדאיות כלכלית של פרויקטים תחבורתיים בשלב הייזום שלהם (משרד התחבורה, 2006). ההערכה המתבצעת על פי הנוהל, כוללת גם פרמטרים סביבתיים המתייחסים להשפעות סביבתיות של כבישים, אולם רק בתחומים של רעש וזיהום אוויר. עבור פגיעה בשטחים הפתוחים והפגיעה הנופית נדרש על פי הנוהל לערוך הערכה איכותנית בלבד. נושא נגר הכבישים אינו מוזכר בנוהל.

1.3.2 תר"מ - תכנון רגיש למים בישראל

תכנון רגיש למים הינו שדה מחקר ופרקטיקה מקצועית, המשלבים תכנון עירוני ואזורי, כולל אדריכלות נוף, עם ניהול משאבי מים. פיתוח תר"מ החל בטכניון באמצע שנות ה-90 למאה ה-20 על ידי פרופ' נעמי כרמון (תכנון אזורי ועירוני) ופרופ' אורי שמיר (ניהול משאבי מים), בשיתוף עם עמיתים וסטודנטים, במקביל להתפתחויות ברוח דומה בארה"ב (LID), בריטניה (SUDS) ואוסטרליה (WSUDS) (כרמון ושמיר, 1997).

ישראל של שנות התשעים ראתה עצמה כנתונה במצוקת מים וחיפשה דרכים להעשרת מקורות המים שלה (הכנסת, 2002). באותו זמן, הפיתוח העירוני הנמרץ לאורך הים התיכון הלך וכיסה בהגדרה את הקרקעות במישור החוף ב"שלמת בטון ואספלט", ובכך האיץ את זרימות הנגר הגורם נזקים, מונע העשרה של אקוויפר החוף וזיהם את מימיו. תחזית דמוגרפית של גידול מהיר באוכלוסייה היושבת על פני מישור החוף, שנערכה במסגרת תכנית האב "ישראל 2020" (מזור וחוב', 1996), העלתה לסדר היום את משמעות הפיתוח הזה מבחינת משאבי המים של המדינה (כרמון ושמיר, 1997, פרק 3). בתגובה לכך, נולדו מחקרי תר"מ ואימצו כבסיס את ההנחה שמי הגשם הזורמים על הקרקע, בצורת נגר, הינם משאב עם פוטנציאל להעשרת מקורות המים ולהפקת תועלות נוספות, לא רק מטרד שראוי לסלקו במהירות האפשרית מן האזור המיושב (Carmon, Shamir & Meiron-Pistiner, 1997). זאת, בניגוד להגדרת נגר על קרקע בחוק הניקוז והגנה בפני שטפונות התשי"ח-1957 ובניגוד למה שנהוג ללמד את מהנדסי הניקוז בטכניון ובמקומות אחרים (נ. כרמון, מידע בע"פ).

נקודת המוצא למחקרי תר"מ היתה ששיקולי מים לא יוכלו להכתיב פעולות פיתוח ובנייה, אך שילוב שיקולי מים בתכנון העירוני והאזורי, החל משלב התכנון הראשוני, יכול לאפשר בנייה משופרת, שגורמת לפחות נזק ויוצרת תועלות משמעותיות. במשך שנים אחדות, הדגש על מחקרי תר"מ (כרמון ושמיר, 1997; בורמיל, שמיר וכרמון, 2003; כץ וחוב', 2001) הושם על:

- שינוי הפרדיגמה המקצועית - מעבר מניקוז שמשמעו סילוק הנגר, לפיתוחן של גישות ופרקטיקות לניהול נגר שמכוונות להפקת תועלות ממנו, מבלי להתעלם מניקוז הפוטנציאליים;
- מיקוד בעיכוב זרימת הנגר והחדרתו לקרקע, לשם העשרת האקוויפר במים מאיכות מספיק טובה;
- מיקוד המחקר ומסקנותיו ברמות המיקרו (מגרש הבנייה היחיד) והמזן (שכונה עירונית).

בעקבות הפצה מכוונת של מחקרי תר"מ ומסקנותיהם, החלו להתרחש שינויים בקרב בעלי המקצוע הרלוונטיים בישראל. ביטויים לכך נמצא בקבלה של הפרדיגמה לניהול נגר, כפי שהדבר מתבטא בניסוח של תמ"א 34 ב' (ר' לעיל), שאימצה את המושג וחלק ממשמעויותיו הפרקטיות, בפרסומים של משרד הבינוי והשיכון (לדוגמא: משרד הבינוי והשיכון, 2004), וגם בדיונים ובעבודה השוטפת של ועדות התכנון, של אדריכלי הנוף ושל לא מעט מראשי רשויות הניקוז (שמיר וכרמון, 2007). חוק שיחליף את חוק הניקוז המיושן ויעסוק הניהול נגר במובנו התר"מי נמצא בשלבי חקיקה (ר' לעיל סעיף 1.3.1).

מתוך המידע שמפרסמת רשות המים (2013) עולה, שבשנות האלפיים עובר משק המים בישראל מהפך. חמישה מפעלי התפלה גדולים, שיהיו מחוברים למערכת ההולכה הארצית, צפויים לספק בשנת 2014 מים מותפלים, בשיעור של כ-75% מצריכת המים הביתית. במקביל, מתרחבים גם מפעלי טיהור הקולחים. מתוך כ-530 מיליון מ"ק שפכים שמיוצרים במדינת ישראל מדי שנה, כ-450 מיליון מ"ק עוברים טיפול (כ-85%) ומתוכם שיעור השבת הקולחין לשימוש חקלאי עומד על כ-75%. הישגים אלה ייחודיים בקנה מידה בינלאומי ומציבים את משק המים במצב חדש. לאחר שנים רבות של הזנחת היבטים סביבתיים ושאיבה עודפת ממאגרי מי התהום ומן הנחלים, מדובר כיום על השבה הדרגתית של מים לטבע.

במקביל לשינויים בחברה הישראלית ובמשק המים בישראל, התפתחה והשתנתה גישת תר"מ (שמיר וכרמון, 2007; Carmon & Shamir, 2010), התפתחות שיעקר ביטוייה:

- שינוי במדרג המטרות של תר"מ - גם בעבר נכללו בתר"מ מטרות של איכות הסביבה ושיקום נחלים, אך לאחרונה, המטרות המקבלות עדיפות בתכנון תר"מ הן שיפור איכותה של הסביבה הבנויה והנופית והגנה על מערכות אקולוגיות-אקווטיות בנחלים, אגמים ומקווי מים אחרים. כמובן שאלה אינן מסירות מסדר היום את המטרות של שיפור איכות המים ותוספת למשאבי המים, ואת המטרות הסביבתיות של הקטנת סיכוני הצפות ונזקיהן ושל שימור קרקע.

- הרחבת התחום המחקרי - עיסוק לא רק ברמת המיקרו והמזו אלא גם ברמת המקרו, היינו: התייחסות לכלל אגן ההיקוות, בדגש על שיקום נחלים בתוך הערים ומחוצה להן; עיסוק לא רק הנגר, אלא בכל הנוגע לשילובים בין מים להתיישבות בני אדם, כולל פיתוח מקורות מים "בלתי קונוונציונליים" כמו קציר נגר, מים אפורים וגם חסכון במים; ובעתיד: "טיפול ירוק" לא רק בניקוז אלא גם בביוב ודרכי טיהורו.

בהרצאותיה האחרונות (2013), מציגה כרמון אחד מן התוצרים העיקריים של מחקרי תר"מ: סדרה של שלושה עקרונות לפיתוח בר-קיימא, שאמנם פותחו תוך כדי העיסוק בתר"מ, אך הם אמורים להיות מתאימים גם כעקרונות מובילים לכל פיתוח בר-קיימא, פיתוח מגורים בני-קיימא, תחבורה בת-קיימא וכיוצ"ב, ולכל רמות התכנון, מקרו, מזו ומיקרו. העקרונות הם:

1. חתימה לסינרגיה בהשגת מטרות סביבתיות, חברתיות וכלכליות - תכנון משולב להשגת שלושת סוגי המטרות מועיל ויעיל מתכנון לקידום כל סוג בנפרד; תכנון משולב מחייב תאום סינרגי בעבודת בעלי מקצועות שונים, המשתפים פעולה מראשיתו של פרויקט הפיתוח, במקום לעבוד בטור, זה אחר זה.

2. תכנון ופיתוח מותאמים לטבע, במיוחד למבנה ההידרו-גיאוגרפי של השטח - התאמה לטבע ולמערכת ההידרו-גיאוגרפי של האתר מאפשרת הקטנה ניכרת של נזקים והגברת החוסן (resilience) המקומי. צמצום (mitigation) במקור בהקשר לניהול נגר וניקוז, היינו: במעלה הנחל, לפני שהשיטפון מגיע לאזור מיושב, מומלץ להקים אגני השהייה והחדרה, רצוי קטנים ומבוזרים (מלכודות נגר); הסתגלות או התאמה (adaptation) של התכנון במורד למהלך הצפוי של השטפונות, תוך דגש על אמצעים לפיצול הזרימה ומיתון עצמתה ועל ניהול פשטי

הצפה; במידת האפשר מניעת בנייה בפשטי הצפה ובליית ברירה הכנות מראש לפינוי תושבים בעת שטפון משמעותי. גם ברמה השכונתית יש ערך רב לתכנון מותאם לאפיקי זרימה טבעיים, כמו שמלמדת עבודתה של חדד (2007).

3. בחירת אמצעים רב תכליתיים, שכל אחד מהם משרת מגוון מטרות - לדוגמא: פארק עירוני, במיוחד אם משולב בו אגן מים (קבוע או זמני), תורם לאסתטיקה העירונית ולאוויר הנקי, משרת אוכלוסיות מגוונות, ובו בזמן אם חובר כראוי לנתיבי זרימה, יכול לשמש למיתון זרימות הנגר, לטיהורו ולהחדרתו.

גישת תר"מ ומטרותיו והעקרונות הנ"ל של פיתוח בר קיימא, במיוחד הראשון והשלישי, הינם המקור ממנו צמח מחקר זה, העוסק בתכנון תר"מי של הנוף, משולב בניהול הנגר, במסדרונותיהם של כבישים בינעירוניים.

1.3.3 הסוגיה של איכות המים מנגר הכבישים בישראל

הדעות לגבי איכות המים של נגר כבישים חלוקות. גישתן של מדינות המפותחות (סעיף 1.2), הינה שהמים שמקורם בנגר הכבישים נחשבים כבעלי איכות ירודה שלעיתים רמות הזיהום בס גבוהות. מאידך, עדויות ממחקר שנערך באשדוד בשנים 2002-2003 ועסק בנגר שמקורו באזורי פיתוח עירוניים הראו, שאיכות המים הירודה מאפיינת בדרך כלל רק את שטיפת הנגר הראשונה (first flush) (Asaf et al., 2004). בהתאם הראה המחקר כי קיימת שונות גדולה בתכולת המזהמים במים שנדגמו באירוע הגשם הראשון ובאלו שנדגמו באירועי גשם בהמשך עונת הגשמים. הנגר הראשוני בראשית עונת הגשם - השטיפה הראשונה (First Flush), מזוהם ומלוח יותר ונמצאו בו ערכים גבוהים של ריכוזי מוצקים מרחפים, סדימנטים ותרכובות אורגניות; באזורי תעשייה יותר מאשר באזורי מגורים. דגימות נגר שנאספו בהמשך הסופה הראו ירידה בריכוזי המזהמים והצביעו על כך שהמים באיכות טובה. מסקנת החוקרים בעבודה זו היא שהתרכובות האורגניות מוצאן כפי הנראה במי ביוב עירוניים, ושמי הנגר שמקורם מאזורי מגורים והכבישים בס, הם פוטנציאל שאין להתעלם ממנו ושראו למצוא לו שימושים ראויים לניצול, אם ישירות או באמצעות החדרה לתת הקרקע.

במסגרת הקמת כביש חוצה ישראל באזור ראש העין, נערך בשנת 2000 סקר על ידי חואניקו ופרידלר (2000), עבור המשרד להגנת הסביבה, להערכת זיהום פוטנציאלי ממי הנגר הזורמים מן הכביש והשפעתם על מעיינות ראש העין ונחל הירקון. בדומה לתוצאות המחקר שנערך באשדוד, טענו הכותבים שהנגר העילי הנוצר באירוע הגשם הראשון שאחרי הקיץ (first flush), הוא בעל פוטנציאל הזיהום הגבוה ביותר, בשל ריכוזים גבוהים צפויים של מתכות כבדות, PAHs, שמנים מינראליים, חומרים אורגניים נדיפים, חומרי הדברה ומוצקים מרחפים, ויש לטפל בו כדי למנוע זיהום של מקורות המים. בנוסף טענו, שריכוזי המזהמים גבוהים יותר בדקות הראשונות להיווצרות הנגר בכל אירוע גשם, והריכוזים מתחילים לרדת באופן הדרגתי לאחר 15-20 דקות הראשונות מתחילת אירוע הגשם. לעומת זאת, דו"ח שהוציאה חברת כביש חוצה ישראל עשר שנים לאחר מכן (Pacific Water Resources Inc., 2010) הראה שלמרות העלייה המשמעותית בכמות כלי הרכב החולפים בכביש 6 (מעל ל-100,000 כלי רכב ביום), ועלייה של יותר מ-50% באבק

המצטבר על פני הכביש, ערכיהם של שבעה מזהמים שנבדקו במים הזורמים בתעלות ניקוז הכביש (מוצקים מרחפים, כרום, אבץ, עופרת, נחושת, חנקן וזרחן) קטנה מהסף הנדרש בתקנות בריאות העם (איכותם התברואית של מי שתיה ומתקני מי שתיה). הדו"ח מציין כי ההתאמה לתקנות אלה נבחרה בהעדר תקן מתאים לאיכות מים הזורמים אל הטבע.

עבודה אחרת שנערכה במסגרת הקמת כביש חוצה ישראל קטע 18 (מחלף עירון עד מחלף עין תות) בחנה אפשרות של זיהום אפיקי הנחלים החוצים את הכביש על ידי תשטיפי הכביש (גזית ומילשטיין, 2011). במסגרת עבודה זו נערך סקר לאחר שנת הפעלה ראשונה של הכביש. השערת החוקרים היתה שלאחר פתיחת הכביש לתנועה ישטפו ממנו מזהמים ויתנקזו לנחלים במורד הכביש, יספחו לחלקיקים וישקעו בערוץ. החוקרים ציפו שתתרחש עלייה בריכוז מתכות כבדות נבחרות (נחושת, ניקל, אבץ, עופרת וקדמיום) בקרקע שבאפיקי הנחלים וברקמות הצומח שמתפתח בה. בניגוד לצפוי החוקרים מצאו שלפחות לאחר שנה אין עדות לתרומת מזהמים באפיקי הנחלים, אך אין לשלול מראש שתוצאה דומה תמצא בהכרח לאחר מספר שנים. עם זאת, הסקר של חברת כביש חוצה ישראל המצוין לעיל, לא הראה זיהום משמעותי לאחר 10 שנים.

עדות לכאורה על אי התאמתו של נגר כבישים לקיום מאכלסי מים מוצגת במחקר של Dorchin & Shanas (2010) שהשתמשו בקרפדות ירוקות כביו-אינדיקטורים. טענתם היתה שתשטיפי כבישים (נגר הנשטף מכבישים ראשיים) הינם בעלי פוטנציאל רעילות למערכות ביולוגיות. במחקר שערכו בשנים 2005-2006 הם מצאו שהתשטיפים שאספו מכביש 4 (בקטע מחלף מורשה- מחלף גהה) ומכביש 70 (בקטע בין צומת זכרון יעקב-בת שלמה), באמצע עונת הגשמים, פגעו באופן כרוני בקצב הגידול וההתפתחות של הקרפדות וגרמו לעיוותים מורפולוגיים בפרטים המטופלים בהשוואה לפרטים שבביקורת. לעומתם, התשטיפים העונתיים הראשוניים שנאספו הראו השפעה חיובית על הקרפדות. הם מסבירים זאת בכך שהתשטיפים הראשוניים הכילו חומר אורגאני בכמות רבה שכנראה מנע את הפגיעה בקרפדות. חומר אורגאני זה סיפק לראשנים תוספת מזון, שנוצל לגידול ולהתפתחות וסייע להתמודדות עם עקת המתכות הכבדות. ממצאים אלה מעידים לדעתם, על סיכון ממשי לפגיעה באוכלוסיות של חסרי חוליות רגישים במקווי מים סמוכים לכבישים ראשיים.

עדות לכאורה נוגדת מדווחת במחקר של אלרון (2007). במחקרו חושף אלרון ראשני קרפדה ירוקה לתשטיפי כביש מרוכזים, שמקורם במגרש חנייה במשרדי הרישוי בחולון. בתום חשיפה של 96 שעות לא אובחנה השפעה שלילית על הראשנים שבניסוי. ממצאי המחקר הצביעו על כך שריכוזי תרכובות החנקן הנמצאות במקווי המים העונתיים אינן מהוות גורם מגביל אקוטי להתפתחות ראשני הקרפדה הירוקה ושהשכיחות המירבית לעיוותים גופניים אינה שונה משיעור השכיחות הטבעית. עוד עולה מן המחקר שבאתר בחולון נמצאו בסדימנט ריכוזים נמוכים של מספר תרכובות PAH's שאינם יכולים להשפיע על שרידות הראשונים. ראוי לציין שמחקרם של Dorchin & Shanas (2010) ואלרון (2007) היו שונים במשך החשיפה (הראשון חשיפה כרונית והשני חשיפה אקוטית). להערכתנו, הממצא המשמעותי ביותר הוא העדויות מהמתרחש בשטח ולא בניסוי מעבדה. תצפיות במשך 40 שנה בתעלות שבצידי כבישים לא הצביעו על פגיעה בחסרי חוליות ודו-חיים, שהתקיימו בגופי מים אלה (א. גזית, מידע בע"פ).

1.3.4 תכנון מתקדם ורגיש למים בכבישים בינעירוניים בישראל

כביש חוצה ישראל (כביש 6) ממחלף תות (כביש 70) בצפון ועד למחלף מאחז בדרום (כביש 40 באזור בית קמה), הוקם מתוקף תכנית מתאר ארצית משולבת לבניה, לפיתוח ולקליטת עליה - תמ"א 31/א' דרכים (משרד הפנים, 2013). הסיכון לפגיעה נרחבת בשטחים הפתוחים והתנגדות הגופים הסביבתיים להקמת הכביש בסוף שנות ה-90 למאה הקודמת, הובילו לשילוב מטרות שעניינן שמירה על הסביבה בהוראות התכנית: "לקבוע הוראות לעניין שמירת השטחים הפתוחים, משאבי טבע וערכי נוף ושטחים שיישאו בטבעם, זאת על מנת למנוע פגיעה בערכים אלה עקב פיתוח מואץ" (משרד הפנים, 2013; תמ"א 31/א'; "לייעד את הדרך כדרך נופית ולמנוע מפגעי נוף ומפגעים סביבתיים אחרים שיווצרו עקב סלילתה ושימושה של הדרך על פי תכנית זו, ולטפל בשיקומם של מפגעים אלה"; ודרישה לשקול שיקולים סביבתיים בתכנון, "במקומות ובתנאים שיימצא כי ניתן להגביר את ההשלכות החיוביות של הדרך" (לדוגמא: משרד הפנים, 2013; תמ"א 31/א' 17/ פרק י"ב סעיף א').

במענה להוראות התכנית, תוכנן הכביש מתוך חזון של יצירת "שדרה ירוקה" לאורכה של המדינה ועל פי עקרונות שיקום נופי-אקולוגי, שעיקרם הוא שימוש במשאבי הקרקע והצומח המקומיים לצרכי השבת יחידות הנוף הטבעיות הקיימות, בתחום זכות הדרך של הכביש (ת. דראל-פוספלד וד. הלבץ, מידע בע"פ). קנה המידה הגדול של פרויקט כביש חוצה ישראל (פיזי וכלכלי) הווה הזדמנות ליישם לראשונה בישראל את תפיסת האקולוגיה של כבישים, ובכך להיחשב כ"פורץ דרך" בקידום תפיסה זו.

במהלך השנים מאז הוקם הכביש, נערכו עבודות שונות שעניינן ניטור היבטים סביבתיים ואקולוגיים הקשורים לכביש. ביניהן:

- ניסיונות שדה להנבטת זרעי הצמחייה המקומית מאיסוף זרעים מהטבע (עשבוניים, שיחים ועצים) וריבוי וגטטיבי שלהם (ת. דראל-פוספלד וד. הלבץ, מידע בע"פ);
- פיתוח פתרונות של שילוב צמחיה עשבונית (שתילונים ומרבדים) עבור צרכים הנדסיים והעיצוב הנופי (ת. דראל-פוספלד וד. הלבץ, מידע בע"פ);
- מפרט הנחיות לתכנון הגנה בפני ארוזיה באמצעים "ירוקים" לקטעים 19,20 (קורן ואלמליח, 2002);
- ניטור תשטיפי כבישים בקטע 18 דו"ח שלב א' אביב 2006 (גזית והרשקוביץ, 2007) ודו"ח מסכם שלב ב' לאחר שנת הפעלה ראשונה של הכביש (גזית ומילשטיין, 2011);
- ניטור לבדיקת תפקוד מעברי בעלי חיים בקטע 18 (פרומקין ואחירון-פרומקין, 2007);
- ניטור צומח טבעי לבדיקת הצלחת השיקום שבוצע בראייה נופית-אקולוגית בכביש 6 קטע 18 (פרומקין, 2008; פרומקין, 2009; פרומקין, 2010);
- מחקר הבוחן את איכות מי שטפונות מכביש חוצה ישראל (Pacific Water Resources, Inc., 2010; ר' לעיל סעיף 1.3.3);
- ניסוי לבחינת פתרונות "ירוקים" למניעת ארוזיה וקציר נגר בכביש 6 קטע 21 (במקטע הדרומי) (לרון וחובי, 2011).

חברת "נתיבי ישראל" (לשעבר מעצ ולאחר מכן "החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ") פירסמה בספטמבר 2013 הנחיות לתכנון נופי ואדריכלי של כבישים בינעירוניים (חברת נתיבי ישראל, 2013ב). הנחיות אלה מרכזות לכדי משנה סדורה את הידע התכנוני הנופי, שנצבר במסגרת הקמת כבישים בישראל בשנים האחרונות ומאז שהוקם כביש חוצה ישראל. ההנחיות כוללות דרישה לשלב מידע אקולוגי לגבי יחידות הנוף בן עובר הכביש, כבר משלב התכנון הראשוני של הפרויקט, והמתכנן נדרש להגדיר עקרונות תכנוניים לשימור ערכי טבע, שיקום יחידות הנוף והתפקודים האקולוגיים והתרבותיים, ביניהם סחף קרקע והשתלבות הכביש בנוף.

בהנחיות נעשה שימוש במונח "ניהול הנגר וניקוז" (עמ' 83 בהנחיות) ונכללת בן דרישה לשלב "עקרונות של תכנון פיתוח בר קיימא לניצול מרבי של הנגר, לצרכי מרחב הכביש". הטיפול בנגר אמור לשרת מספר מטרות: יצירת נישות אקולוגיות והעשרת מגוון המינים; החדרה של הנגר לתת הקרקע; השהיית נגר (מוזכרים אמצעים כמו לימנים וסחרונים) בעבור סינון מזהמים, שימור מערכות טבעיות ושילוב בתי גידול לחים בפרויקט; והטייה של נגר הכבישים אל שטחי הגינון לצמצום צריכת ההשקייה, באמצעות שילוב מתקנים לפיזור המים על פני מדרונות (רצועות אבן או רצועות יבלית קוסט קרוס 1). הנחיות חדשות אלה עדיין אינן מוטמעות בהנחיות לתכנון הניקוז של חברת נתיבי ישראל (החברה הלאומית לדרכים, 2008).

מתודולוגיה לתכנון ולביצוע השיקום הנופי של מסדרונות כבישים בישראל

מתוך הפרסומים המקצועיים, התכנוניות והמפרטים הטכניים, של חברת כביש חוצה ישראל וחברת "נתיבי ישראל", שנאספו לצורך הכנת המחקר הנוכחי, מוצגת מתודולוגיה לתכנון, ביצוע ותחזוקה של כבישים בינעירוניים, שמוטמעות בה תובנות אקולוגיות, בעיקר לאורך כביש חוצה ישראל (כביש 6), אך גם לאורך כבישים אחדים של חברת "נתיבי ישראל".

בשלב התכנון הראשוני של הכביש נערך ניתוח להגדרת יחידות הנוף הקיימות וערכי הטבע והנוף המצויים בן. ניתוח זה משמש להגדרה של שטחים בעלי ערכים אקולוגיים משתנים שנדרש לשמר ולמנוע פגיעה בהם ולסווג הקרקע הטבעית על פי מקורותיה: שטחי בתה, טרשים, יער, חורש, נחלים וכן, שטחים חקלאיים ומטעים (חברת נתיבי ישראל, 2013ב).

בעת הכניסה לעבודות העפר להקמת הכביש מגודרים השטחים בהם קיימת מערכת אקולוגית מפותחת, לצורך שמירה עליהם לכל אורך תקופת העבודות ומתוך כוונה ששטחים אלה יהוו מערכת מקור לשטחי השיקום (פרומקין, 2010). בתחום השטח הנדרש להקמת הכביש מבוצע חישוב של שכבת הקרקע העליונה (אחירון-פרומקין, 2012). הקרקע שנחשפת, נשמרת לכל אורך תקופת העבודות. בתומן, משמשת לחיפוי מדרונות הכביש ושטחים מופרים ומהווה בסיס לשתילה ולשיקום יחידות הנוף, תוך התאמה של סוג הקרקע ליחידת הנוף שמבקשים לשחזר. עומק מינימאלי של 40 ס"מ של שכבת חיפוי הקרקע נמצא כיוצר תנאים מיטביים לשמירה על הלחות בקרקע לקליטת הצמחיה ולהתבססותה. במהלך ביצוע הכביש נלמד כי אדמה המכילה אחוז אבניות גבוה מסייעת בשיפור מאזן האוויר והמים בקרקע, המהווים תנאי הכרחי להתפתחות תקינה של הצמחים, משפרת חלחול מי הגשמים לקרקע, ביחד עם מניעת חירוף וסחף שלה (ת. דראל-פוספלד וד. הלבץ, מידע בע"פ).

תכולת הזרעים שבקרקע העליונה מהווה את חברת החלוץ המתפתחת בעונת הגשמים ושומרת על יציבות הקרקע ומניעת הסחף. כאשר משתמשים בקרקע ענייה בזרעים, דוגמת קרקע מעומק, נדרש להגן עליה על ידי שימוש בצמחיה למיתון זרימות הנגר על גבי המדרונות ולייצוב סוללות המילוי של הכביש. יכולה להיות זו שתילה (בהזזה בין שורות השתילים - "סגולי"), זריעה של צמחיה עשבונית רב שנתית בצפיפות מתאימה או שימוש במרבדי עשב מסוג יבלית קוסט קרוס 1 (קורן ואלמליח, 2002).

מומלץ שבחירת הצמחיה המשמשת לשיקום הנופי ואופן ביצוע השתילה ייעשו על פי הכללים הבאים (ת. דראל-פוספלד וד. הלבץ, מידע בע"פ; חברת נתיבי ישראל, 2013):

- א. התאמה בין חברות צומח והמוצא שלהן לבין מאפיינים גיאולוגיים, תכונות הקרקע ותנאי האקלים. בחירת צמחיה מקומית, המותאמת לתנאים אקלימיים של קיץ ארוך ויבש מאפשרת הפסקת השקיה שנים ספורות לאחר השתילה (לרוב 3-4 שנים);
- ב. התאמת הצמחיה לתפקוד של אחיזת קרקע מופרת ומניעת חתירה במדרונות, לרבות בהיבט קצב התפתחות הצמחיה;
- ג. בחירת הצמחיה על פי המופע הרצוי עבור כל יחידת נוף שמבקשים לשחזר לצורך השתלבות בנוף והשתנות מופעים לאורך עונות השנה ולאורך השנים;
- ד. יצירת שילובי צמחיה מגוונים הכוללים רב-שכבתיות של עצים, שיחים, בני שיח, עשבוניים רב שנתיים וחד שנתיים, דגניים ורחבי עלים, גיאופיטים. גוון זה מאפשר שתילה של צמחים מעוצים במרווחים גדולים ובכמויות קטנות יחסית ליחידת שטח וכתוצאה גם לחסכון בכמויות המים הנדרשות להשקייתם;
- ה. ביצוע שתילת עשבוניים בתקופה המתאימה לניצול מי הגשמים לקליטתם והתבססותם, התורם אף הוא לחסכון בהשקייה.

לאורך כביש 6 ניתן לזהות פתרונות של מתקני ניקוז הבנויים ממשאבים טבעיים, בדומה לאלה המוצעים בגישות החדשניות לניהול נגר (ר' לעיל סעיף 1.2.1) ובגישת תר"מ (שמיר וכרמון, 2007). בין האמצעים הזרמת נגר הכבישים ישירות אל פני מדרונות מגוננים, ללא אבני שפה ומגלשים; שילוב מפרדה רחבה המקבלת נגר ישירות מהכביש ומתפקדת כתעלת עשב רחבה, תעלות עשב ותעלות עפר; שימוש במרבדי עשבוניים מסוג יבלית קוסט קרוס 1 כתכנית לתעלות ולמגלשים ועבור ייצוב מדרונות בהם קיים סיכון גבוה לחתירה; שילוב רצועות אבן וסלעים פזורים (ת. דראל-פוספלד וד. הלבץ, מידע בע"פ). יתרונם של פתרונות אלה הוא בעלות הביצוע הנמוכה יחסית לבטון ובהגדלת היקף השיקום הנופי היכן שניתן (ד. הלבץ, מידע בע"פ).

תחזוקת השיקום הנופי

לתחזוקה תפקיד חשוב בהיווצרות התפקודים האקולוגיים ברצועות הקרקע שלצידי הכביש וקיום תהליכי סוקצסיה (succession) לאורך זמן - חדירת צמחיה טבעית והתבססותה בתחום זכות הדרך של הכביש. על פי ד. הלבץ (מידע בע"פ) נדרשת התאמה של ממשק התחזוקה לתוצאות הרצויות המתקבלות עם התבגרות הצמחיה - ניטור המינים החודרים ומניעת התפתחות מיני צומח שאינם רצויים והתבססותם, זיהוי ועידוד תהליכים טבעיים המתרחשים

בשטח המשוקם. התחזוקה מתבצעת על ידי כיסוח של צמחיה לא רצויה לפני הפצת הזרעים והדברה בררנית בקוטלי מגע, שאינם שאריתיים בקרקע ושאינם פוגעים בשרשרת המזון בטבע. בשטחים שהוגדרו כבעלי רגישות גבוהה, לדוגמא בקטע הכביש שנמצא בתחום המרחב הביוספרי של מועצה אזורית מגידו (מנחל אלונה עד מחלף עין תות) חל איסור על הדברת עשביה וניהול מבוצע באמצעות כיסוח וניכוש ידני. באזור בו קיימים גיאופיטים לא מתבצע כיסוח. צמחים רצויים כגון חוטמית זיפנית, אין מכסחים לפני הבשלת הזרעים ופיזורם. כאשר הצמחייה המקומית מתבססת ומתקבל שטח בכיסוי מלא, מצטמצמת חדירה של צמחיה לא רצויה וניהול העשביה מתבצע במוקדים מוגדרים באמצעות כיסוח בלבד (לרוב לאחר 3-5 שנים ממועד השתילה). כדי להבטיח את תפקוד תקין ויעיל של תעלות ניקוז שבוצעו כתעלות עשב, מבוצע כיסוח של העשבים בתחילת החורף. בסוף החורף-תחילת האביב נותנים לצמחיה להתפתח ולפרוח עד התייבשותה בתקופת הקיץ ואחר מכן מתבצע כיסוח נוסף שלה צמחיה.

פרק 2

"ארגז כלים" למתכנן לקידום מטרות אקולוגיות וחברתיות

בפרק זה מוצע "ארגז כלים" לתכנון, שפותח במסגרת המחקר והוא מהווה תוצר מרכזי של מחקר זה. כלי התכנון המוצעים כאן פותחו על בסיס מקורות הידע שפורטו בהקדמה לעבודה זו (מטרות ב'ג').

פרק "ארגז הכלים" פותח בתיאור כללי של גישה תכנונית תר"מית בהקשר של מסדרונות כבישים בינעירוניים. בהמשכו מוצגים מטרות לתכנון, עקרונות התכנון והאמצעים המיטביים (BMP's) המוצעים למימוש "ארגז הכלים".

2.1 גישה לתכנון רגיש למים (תר"מ) של מסדרונות כבישים בינעירוניים

גישה תר"מית משמעה גישה לתכנון השואפת להשיא מטרות מגוונות באופן סימולטני וסינרגטי. המטרה התר"מית שהוצבה למחקר זה, העוסק בתכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים, הינה הקטנת ההשפעות המזיקות של סלילת כבישים על איכות הסביבה והגברת תועלות אקולוגיות, חברתיות וכלכליות, באמצעות שילוב מושכל של שיקולי מים בתכנון מסדרונות כבישים.

שילוב שיקולי מים בתכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים, ושימוש בנגר הכבישים להפקת תועלות אקולוגיות וחברתיות, מתאפשר במקרים שמזמנים הזדמנויות מתאימות שניתן לנצלן לשילוב מערכת טכנו-אקולוגית לניהול הנגר (ר' לעיל סעיף 1.1.2), בתחום "מגרש המשחקים" (ר' להלן). המערכת הטכנו-אקולוגית מורכבת ממשאבים טבעיים, ביוטיים ואביוטיים, ומתוכננת על פי עקרונות תכנוניים, המשלבים תובנות אקולוגיות.

יישום הגישה דורש שיתוף פעולה רב תחומי: תכנון כבישים, אדריכלות נוף, ביולוגיה, אקולוגיה, הידרולוגיה ותכנון סביבתי, שיתוף שדרוש מן השלבים הראשונים של התכנון.

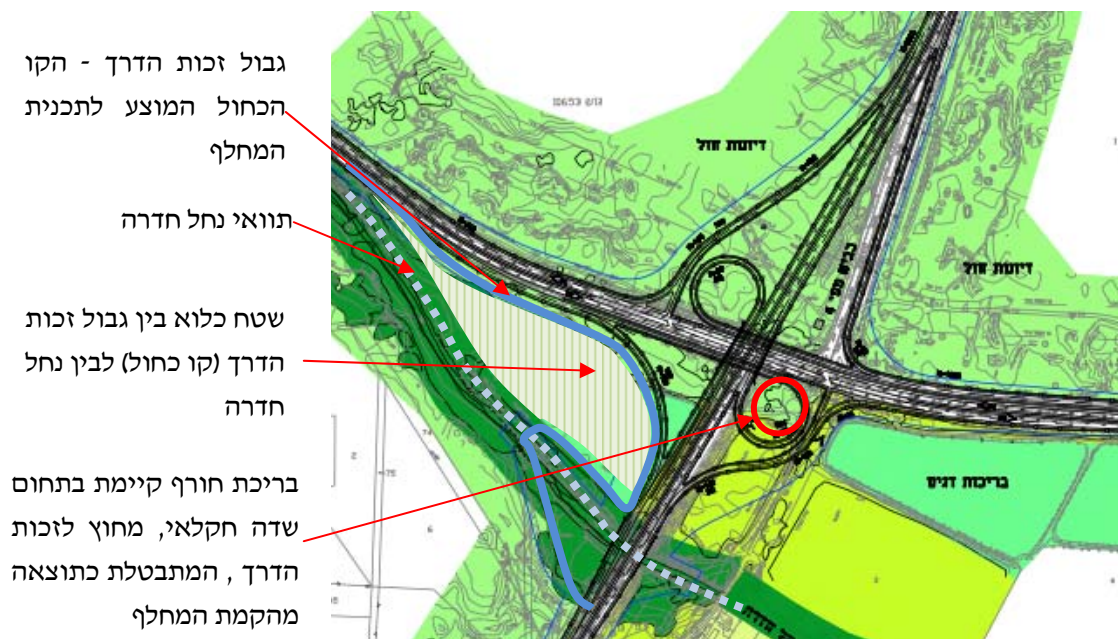
ניצול הזדמנויות

"ניצול הזדמנויות" במונחי המחקר הנוכחי, משמעו זיהוי אתרים שבהם אפשר לתכנן ולבנות מערכות טכנו-אקולוגיות לניהול נגר ולהפיק מגוון שירותים של המערכת האקולוגית. ניתן להציע מספר דוגמאות לתנאים היוצרים הזדמנות:

א. שימושי קרקע סמוכים ואפשרויות לשיתוף פעולה - במקרים בהם בשטחים הסמוכים לכביש נגרמים נזקים כתוצאה מהצפות (הן מאגן ניקוז והן מנגר שמקורו בכביש), או שקיימים שטחים השייכים לציבור וחלות עליהם מגבלות בנייה (כגון רצועות תשתית של קוי דלק, רצועות חשמל ודרכי גישה אליהן), קיימת הזדמנות לבחינה של שיתוף פעולה עם בעלי העניין, לשילוב פתרונות לתועלת משותפת. לדוגמא, מצד דרום מזרח של צומת נחל חדרה (כביש 4/65), בה מתוכנן מחלף נחל חדרה (איור 1), קיים שדה חקלאי שהוצף. בשיתוף פעולה עם החקלאי בוצעו עבודות עפר להגבהת שולי השדה למניעת הצפתו וחפירה ליצירת בריכת חורף. פתרון זה אינו פוגע

בחקלאי, ומסייע בסילוק המים מזכות הדרך ולשמירה על שלמות מבנה הכביש, ללא צורך בהפקעת השטח או הליך סטטוטורי (א. גזית, מידע בע"פ; לוי, 2006)

ב. זמינות מקרקעין - הימצאות שטח זמין לתכנון בתחום הסטטוטורי של זכות הדרך ובתחום שטח שהופקע לצרכי הכביש. דוגמאות עקרוניות: זכות הדרך רחבה והכביש אינו תופס את כל רוחב הרצועה; קטע כביש מבוטל, מפורק ומותר שטח פנוי; שטח כלוא בין הכביש לבין שימושי קרקע שכנים. דוגמאות בפועל בכבישי ישראל: קטע כביש 60 במחלף שוקת שבוטל, במסגרת תכנון קטע 21 של כביש 6 (תמ"א 31/א/21; 2; משרד הפנים, 2013), יצר הזדמנות לטפל במרחב נחל סנסנה כיחידת נוף של נחל, באמצעות מיתון מדרונות הנחל, תוספת פיתול ושיקום צמחיה אופיינית. מדרום מערב למחלף המתוכנן של נחל חדרה (כביש 4 עם כביש 65; איור 1), בשטח שבין שדה חקלאי לנחל חדרה, ניתן לבחון תוספת בריכת חורף במקום זו שתוארה בסעיף א' לעיל, המתבטלת כתוצאה מהקמת המחלף. זיהוי הזדמנויות מעין אלה וניצולן דורש הטמעת תובנות אקולוגיות בשלב המוקדם של הכנת התכנית הסטטוטורית לדרך והחלטה על גבול התכנית.



איור 1: מחלף נחל חדרה המתוכנן (כביש 65/4)
(מקור: משרד יעד אדריכלים עבור חברת "נתיבי ישראל", 2009)

ג. מוקדים קיימים במרחב לטיילות וסיירות - המצאות מוקדי ביקור או רצף שבילים באזור בו מתוכנן הכביש (שבילי אופניים וסוסים, שביל ישראל, אתרים ארכיאולוגיים והיסטוריים, נחלים, שמורות טבע, יערות קק"ל וחניוני דרך), ושימוש בם על ידי נופשים, מזמנת הזדמנות לחיזוק המרחב עבור פעילויות אלה. דוגמאות לכך: חניון קק"ל אתא-טורק ממוקם על כביש 4 בסמוך למושב צרופה, משמש לפיקניק ומוקד יציאה לרכיבת אופניים ולמטיילים באזור הכרמל. שטח פנוי שנותר בין הכביש לחניון והנגישות אליו, יכולים להוות הזדמנות לשילוב מרכיבים נוספים המבוססים על הנגר מן הכביש כמו בריכת חורף (א. גזית, מידע בע"פ; נ. כרמון וא. קסלר, מידע בע"פ).

ד. הימצאותו של גוף מים טבעי בקרבת הכביש - במקרים רבים חולפים כבישים בסמוך לגופי מים טבעיים או מעליהם, כגון נחלים ובריכות חורף. על פי רוב נחלים הסמוכים לכביש יתפקדו "כמים המקבלים" (receiving waters) של נגר הכבישים. בעת ביצוע העבודות להקמת הכביש או הרחבת כביש קיים, נחלים עלולים להינזק כתוצאה מסחף קרקע, תוספת נגר הכבישים אליהם או הסטה או ביטון של תוואי הנחל. בעקבות עבודות הפיתוח בריכות חורף עלולות להיפגע, בשל חסימת זרימות נגר משטחים פתוחים המזינים אותן. ישנם מקרים בהם שטח בריכת החורף נדרש עבור ביצוע הכביש והיא נעלמת. לדוגמא, בכביש 9 (ר' להלן פרק 3) ובמחלף נחל חדרה (איור 1). במקרים כגון אלה, נוצרת הזדמנות לחשיבה שונה על תכנון הכביש, כגון שינוי ההתוויה של הכביש כדי לשמר את בתי הגידול הלחים ולחזק את התפקודים האקולוגיים שבם, שילוב אמצעים מתאימים לשיפור איכות המים הזורמים לגוף המים ושמקורם בנגר הכבישים, ולמיתון זרימות לצורך שימור הקרקע ומניעת סחף קרקע אל בתי הגידול הלחים.

ה. שימוש באמצעים "ירוקים" (ממשאבים טבעיים) במקום מתקני ניקוז מבטון - הזדמנות מקומית נוצרת כאשר הקריטריונים ההידרולוגיים וההנדסיים לתכנון מאפשרים שימוש במתקני ניקוז, הבנוי ממשאבים טבעיים במקום מתקן בטון. לדוגמא, בכביש תפן-כרמיאל בוצע דיפון תעלות הניקוז במזרונ "רנו" (מזרונ אבן, ראה להלן סעיף 2.4 ה' איור 15), שהיווה בסיס להתפתחות שיחים ועשבונים וזאת במקום לבצע תעלת מדופנת בטון.

הגדרת "מגרש המשחקים"

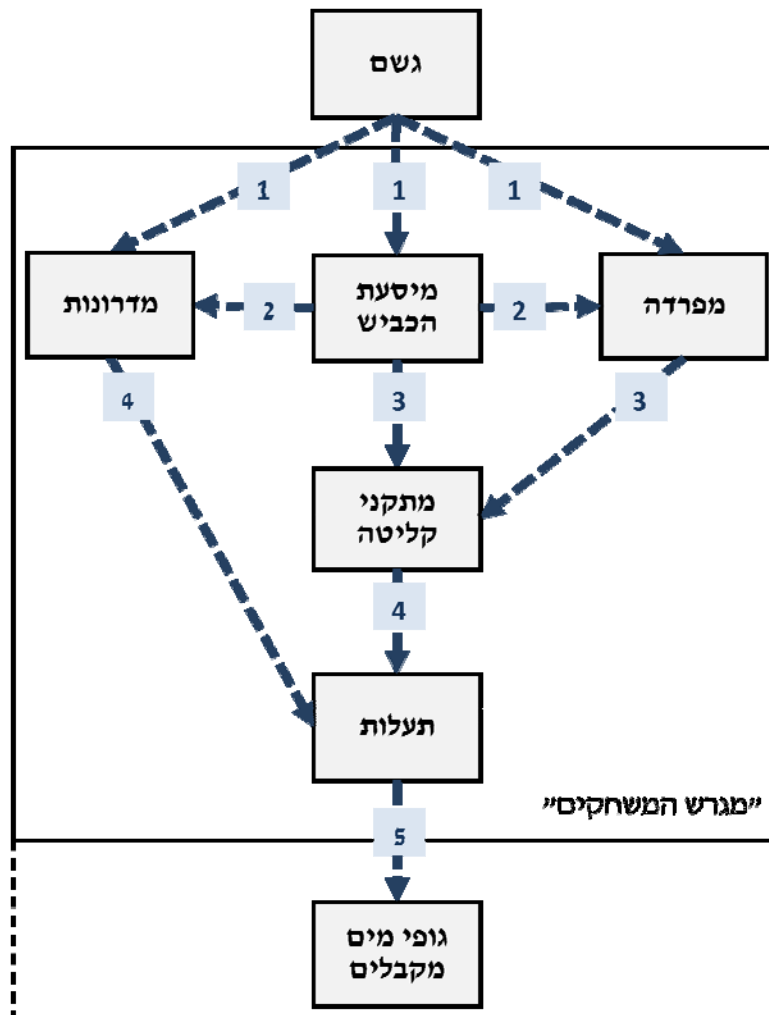
עיסוק בתכנון מערכת טכנו-אקולוגית לניהול נגר כבישים בכבישים בינעירוניים, דורש הגדרה ברורה של מרכיבי המערכת. איור 2 מתאר את מרכיבי המערכת ו"גלגולי" זרימת הנגר בה, מעת ירידת הגשם והיווצרות נגר הכבישים ועד להגיעו למים המקבלים. מרכיבים אלה מהווים את "מגרש המשחקים", בו ניתן להגביר הפקתן של תועלות אקולוגיות וחברתיות. בכל אחד ממרכיבי המערכת מומלץ לזהות הזדמנות לשילוב אמצעים הנחשבים מיטביים (BMP's) לניהול נגר הכבישים.

מרכיבי "מגרש המשחקים" (איור 2) ותאור תהליך זרימת נגר הכבישים בו

גשם יורד על הכביש, על מיסעת הכביש, המפרדה ועל המדרונות (1). **מיסעת הכביש** היא שטח האספלט המיועד לתנועת כלי הרכב, והיא נסללת על פני מבנה הכביש המורכב ממילוי של שכבות קרקע מהודקות, הבנויות בשיפוע היורד ממיסעת הכביש אל פני השטח הטבעי ומהוות את **מדרונות הכביש**. שטח המיסעה אינו מאפשר חלחול המים והגשם היורד הופך לנגר עילי, הזורם אל המדרונות ואל **המפרדה** (2). כאשר משולבות אבני שפה לאורך מיסעה, המונעות זרימה ישירה של נגר הכבישים אל המדרונות, הנגר נאסף אל **מתקני קליטה** שלאורכה. יכולים אלה להיות קולטני צד כמו מגלשים או שוחות הממוקמות בתחום האספלט של המיסעה (3). השיקול לגבי הצורך במתקני קליטה ומיקומם תלוי בעיקר בקריטריונים תכנוניים הנדסיים-הידרולוגיים ובטיחותיים. **מגלשים** מבוצעים לקליטת הנגר ממיסעת הכביש כאשר יש צורך בהגנה על מדרון סוללת הכביש מפני סחף קרקע ולא ניתן להזרים נגר ישירות אל פני המדרון. הם נמצאים בשולי הכביש, קולטים את המים מהמיסעה ומתעלים אותם כתעלה פתוחה על פני המדרון, אל תעלות

הכביש. **המפרדה** היא רצועת שטח הכלואה בין מסלולי הכביש. הנגר הנוצר במפרדה זורם לאורכה, נקלט במתקני קליטה- שוחות שטח בתחומה (3), ומהם זורם דרך צינורות אל **התעלות** (4).

נגר הנוצר על פני המדרונות זורם ישירות אל **תעלות** הניקוז, שהן שקעים אורכיים לאורך צידי הכביש (4). התעלות מובילות את המים בגרביטציה לאורך צידי הכביש עד לניקוזם אל מים מקבלים. גוף **מים מקבלים** יכול להיות תעלה אזורית, או נחל, או אגם, או ים או מי תהום, בתוך או מחוץ לזכות הדרך של הכביש (5). במחקר זה מועלית אפשרות של הכללת גוף "מים מקבלים" בתוך "מגרש המשחקים". אפשרות זו מתייחסת למקרים בהם הנגר מנותב אל גוף מים שנמצא בתחום זכות הדרך של מסדרון הכביש, או שישנה הזדמנות להכלילו או להקימו בפרויקט כדי למזער את ההשפעות המזיקות של סלילת הכביש עליו. לדוגמא, נחל טבעי המושפע מסלילת הכביש או תוספת אגן השחייה שמשך קיום המים בו מתאים לתפקוד כבית גידול אקוטי (למשל בריכת חורף).



איור 2: סכמת "מגרש המשחקים": תאור של "גלגולי" נגר כבישים מהכביש ועד לגופי "מים מקבלים". יכול גוף "מים מקבלים" להיות בתוך "מגרש המשחקים" או מחוצה לו.

2.2 מטרות לתכנון מערכת טכנו-אקולוגית לניהול נגר במסדרונות כבישים

בינעירוניים

שילוב תובנות אקולוגיות בתכנון המערכת לניהול נגר של מסדרונות כבישים בינעירוניים דורש הצבת מטרות תכנוניות מתאימות. בסעיף 1.1.3 לעיל תוארו שירותי המערכת האקולוגית בכלל, ובפרט התועלות האקולוגיות והחברתיות שניתן להשיא מניהול נגר בכבישים בינעירוניים. מסעיף זה נגזרות מטרות התכנון המשולב כלהלן:

- א. שימור הקרקע (שירותי ויסות) - מניעת סחף קרקע ושמירה על פוריות הקרקע, כמשאב חיוני ובסיסי להתפתחות מערכת אקולוגית.
- ב. שיפור איכות המים (שירותי ויסות) - עידוד היווצרותם של תהליכים טבעיים לטיפול במים ולשיפור איכותם, של השהייה ושיקוע, סינון מזהמים ופירוק חומר אורגני, כתוצר של זרימת נגר הכבישים דרך קרקע, אבנים וצמחיה.
- ג. ניצול הנגר לתועלת צרכנים שונים (שירותי אספקה) - אספקת המים מנגר הכבישים לתועלתם של מגוון צרכנים במערכות אקולוגיות שבמרחב הכביש (צרכנים כדוגמת צמחיה וגופי "מים מקבלים" - בריכת חורף, נחל טבעי, מי התהום).
- ד. תמיכה במגוון ביולוגי (שירותי תמיכה) - תכנון מסדרון הכביש כמערכת טכנו-אקולוגית בה מתקיימים תפקודים ותהליכים אקולוגיים, המסייעים לחיזוק המגוון הביולוגי ולמזעור השפעות הקיטוע שיוצר הכביש.
- ה. תרומה לאסתטיקה ואיכויות חזותיות-נופיות (שירותי תרבות) - הגברת האיכויות החזותיות (ויזואליות) של יחידות הנוף בתחום זכות הדרך של הכביש, הנשקפות למשתמשי הכביש ולצופים אליו מן הסביבה.
- ו. תרומה לפעילויות פנאי ונופש (שירותי תרבות) - תוספת מוקדי ביקור ויצירת קישוריות בתחום זכות הדרך אליהם ואל אתרי טיילות אחרים במרחב.
- ז. תוספת ערכים לימודיים וחינוכיים (שירותי תרבות) - שילוב תכנים ואמצעי הסברה, הקשורים בנגר הכביש והתהליכים האקולוגיים הקשורים אליו, עבור ידע וחינוך לחשיבה מקיימת.

ברשימת המטרות נכללו רק תועלות שניתן לקדם במסדרון הכביש באמצעות שימוש בנגר שמקורו במיסעת הכביש ובתחום זכות הדרך. מטרה נוספת בגישת תר"מ - ויסות שטפונות (משירותי הויסות) אינה נכללת ברשימת המטרות לעיל, מאחר שהמחקר אינו עוסק בפתרונות שיאפשרו המשך נסיעה בכביש גם בעת סופות גדולות ונדירות ובפתרונות להגנה מפני נגר שמקורו באגני היקוות גדולים במרחב בו מוקם הכביש (א. קורן, מידע בע"פ).

2.3 עקרונות לתכנון המערכת הטכנו-אקולוגית לניהול נגר הכבישים

כדי לקדם השגתן של המטרות שנמנו לעיל מוצעת סדרה של תשעה עקרונות תכנוניים. תנאי להצלחת יישום העקרונות הללו הוא שיתוף פעולה רב-דיסציפלינארי, החל מהשלב הראשון של

התכנון. בנוסף, אילוצים של בטיחות הנסיעה בכביש וסילוק מהיר של הנגר מפני מסעה מהווים הנחת יסוד בתכנון מסדרון הכביש על פי עקרונות אלה.

א. זיהוי וניצול הזדמנויות לבניית מערכות טכנו-אקולוגיות התורמות לקידום שירותי המערכת האקולוגית - מטרתו של עקרון זה היא לזהות הזדמנויות מתאימות שניתן לנצלן (ר' סעיף 2.1 לעיל), כדי לקדם חשיבה על יישום גישת תר"מ ושילוב מערכת טכנו-אקולוגית לניהול הנגר, להשגת תועלות אקולוגיות וחברתיות, בכל פרויקט של תכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים, ובכך לקדם פיתוח בר קיימא שלהם.

ב. מיתון והשהייה של זרימת נגר - המטרה העיקרית שמשרת עיקרון תכנוני זה הוא שימור הקרקע, מאחר שזרימה מהירה של נגר גורמת לסחף קרקע. בעקרון זה ישנה גם תועלת לטיהור מי הנגר, כי הזרימה האיטית ובמיוחד ההשהייה מאפשרת לחלק מן המזהמים לשקוע או להיספח לקרקע, ולא להמשיך עם הנגר במורד הזרימה בדרכו אל המים המקבלים. תועלת נוספת היא למטרה של תמיכה במגוון הביולוגי, כיוון שבהשהייה מתגברת הלחות בחללים הנוצרים בקרקע, בין הצמחים ובין האבנים. עקרון זה תורם לתועלת נוספת של אספקת מים לצרכנים שונים, לרבות על ידי קיומם של תהליכי חלחול לקרקע.

ג. שימוש במשאבים טבעיים מקומיים, ביוטיים ואביוטיים (צמחיה, קרקע ואבנים) - עקרון זה משרת בעיקר את המטרה של תמיכה במגוון הביולוגי, מאחר ששימוש במשאבים טבעיים מקומיים מאפשר לשחזר ולשקם את יחידות הנוף הטבעיות שניזוקו מהקמת הכביש ומפעולות פיתוח קודמות, ולהשיב תפקודים אקולוגיים לחיזוק המגוון הביולוגי. זרימת נגר הכבישים דרך אמצעים המורכבים ממשאבים טבעיים מחוללת תהליכים מגוונים (פיסיקליים, כימיים וביולוגיים), המשפרים את התפקוד האקולוגי, בכלל זה שימור הקרקע, שיפור איכות המים. בנוסף לכך הם תורמים לחיזוק שירותי התרבות.

ד. הגברת מורכבות מבנית (structural complexity) - עקרון זה, של יצירת מערכת הכוללת מבנים מורכבים, תורם למטרות של שימור הקרקע, טיהור המים ולתמיכה במגוון הביולוגי. זאת מאחר שיצירת ביטויים שונים של מורכבות מבנית מובילה להגברת כמות ה"גלגולים" שעובר הנגר במערכת, למיתון זרימת המים ולהשהייה שלהם בחללים הנוצרים בין אבנים ובין תלכידי הקרקע, בכל אחד ממרכיבי המערכת. מבנים מורכבים יוצרים רצף של מחסות המשמשים לתנועת בעלי חיים ובסיס לקיומם של יחסי גומלין שונים, לרבייה ולהתפתחות הצמחיה ולתהליכים טבעיים של סוקצסיה (succession; לדוגמא, איור 16). במחסות לבעלי חיים, קטנה החשיפה לטורפים ולתנאים קיצוניים של מזג האוויר ומתקיימים בהם תנאים משתנים של אור, לחות וטמפרטורה (אמיתי וסימון, 1985). הגברת המורכבות יכולה להתבטא בשני אופנים: א. המורכבות המבנית של כל מרכיב במערכת. למשל, תעלת גביונים משולבת בצומח מעוצה או תעלת עשב עם סכרונים; ב. מורכבות מערכתית - ריבוי אמצעים מגוונים לאורך רצף של מרכיבים במערכת דרכם זורם הנגר, ליצירת "שרשרת של אמצעים", לדוגמא מגלשי עשב המובילים את המים אל תעלות עשב עם סכרונים ומהן אל אגן השהייה. כאשר מידת מורכבות התכסית הביוטית והאביוטית נגזרת מתפיסת העיצוב הנופי של מסדרון הכביש יש בה גם תרומה לאיכויות אסתטיות-נופיות.

ה. שמירה על רצף פיזי ליצירת קישוריות - עקרון זה משרת את המטרה של תמיכה במגוון הביולוגי. שמירה על הרצף הפיזי למעבר בעלי חיים לאורך רצועת מסדרון הכביש, על פני מדרונות הכביש ובכל השטח שבתחום זכות הדרך, מאפשרת קישוריות בין בתי גידול. החשיבות של המעבר לאורך הכביש, לאורך התעלות והמדרונות, בולטת במיוחד כאשר השטחים הסמוכים לכביש מופרים או שקיימות חסימות למעבר בעלי חיים כגון גדרות או מבנים פיזיים אחרים. כאשר המערכת מתוכננת כמוקד ביקור המקושר אל מערכת שבילי טיול או דרכים חקלאיות במרחב הכביש, עקרון זה משרת גם את המטרה של עידוד פעילויות פנאי ונופש.

ו. יצירת ערכים מוספים חברתיים - תכנון מסדרון כביש מתוך עקרון של יצירת ערכים מוספים חברתיים משרת את המטרה של תרומה לחברה. ערך מוסף חברתי יכול להיות בהיבטים של איכויות אסתטיות, עידוד פעילויות פנאי ונופש ושילוב תכנים חינוכיים-לימודיים בנושאים של שמירת הסביבה וקיימות. שילוב אמצעים המיועדים להגברת תועלות חברתיות חייב לקחת בחשבון היבטים בטיחותיים להגנה על המבקרים.

ז. שימוש באמצעים רב תכליתיים (מרובי מטרות) - על פי עקרון זה כל אחד מן האמצעים המשולבים במערכת הטכנו-אקולוגית תורם להפקתן של מגוון תועלות. בחירת האמצעים צריכה לנבוע מתוך גישה משולבת המכוונת לתפקודים מגוונים. לדוגמא, שילוב אגן השהייה עונתי רטוב, כמו בריכת חורף, משמש להעצמתן של כלל התועלות האקולוגיות והחברתיות.

ח. התאמת האמצעים לנתונים המיוחדים לאתר - הן הבחירה של האמצעים לשילוב במערכת לניהול הנגר והן ההחלטה על שילובים ביניהם, צריכות להיעשות בהתאמה למאפיינים ההידרו-גיאוגרפיים של האתר, לתנאים הסטטוטוריים וגם לתנאי הסביבה החברתית הספציפית לאתר המתוכנן (site specific). בין אלה נכללים מאפייני הקרקע – חדירותה ותכונותיה האחרות, נתוני האקלים – משקעים, התאדות ונתוני סופות אופייניות וקיצוניות, הגיאומורפולוגיה של השטח, משאבי האתר הטבעיים (ביוטיים ואביוטיים), מאפייני אגן הניקוז וכמויות הנגר ההיסטוריות באזור, גודל רצועות הקרקע הזמינות בתחום זכות הדרך של הכביש, היישובים והאוכלוסייה באזור הכביש וכיו"ב. בחירת האמצעים צריכה להתאים גם לפעולות התחזוקה, הנהוגות לאורך כבישים מן הסוג הרלבנטי, תדירותן ואופן ביצוען.

ט. חתימה לאיזון בין עלויות של הקמת מערכת לניהול נגר ותחזוקתה לתועלות המופקות ממנה - פיתוח בר קיימא כולל שיקולי עלויות כלכליות לצד שיקולי תועלות חברתיות וסביבתיות. יש לבחון את העלויות הכלכליות הנוספות אל מול שיקולי הערך הנוסף של התרומה האקולוגית והחברתית, בכלל זה שירותים שלא ניתן להם ערך כלכלי מובהק. עלויות הביצוע של המערכת לניהול הנגר נקבעות בעיקר על פי עלות חומרי הגלם המשמשים לביצוע מרכיבי המערכת לניהול הנגר, הובלתם ומשך הביצוע. שימוש במשאבי האתר המקומיים הטבעיים יכול לאפשר הוזלת עלויות הביצוע של הכביש, בייחוד אל מול חלופה של שימוש בחומרים מובאים כמו בטון (לדוגמא, עלות תעלה בחיפוי מרבדי עשב פחותה מחיפוי התעלה בבטון). היקף שימוש במשאבים אביוטיים מקומיים כמו אבנים וקרקע תלוי בהימצאותם באתר, זמינותם, כמותם והתאמתם (ר' סעיף ד' לעיל). ייבוא ושינוע משאבים טבעיים ממקורות שאינם בתחום

זכות הדרך של הכביש כרוכה בתוספת עלויות כלכליות וסביבתיות. גם לנושא זמינות הקרקע (ר' סעיף 2.1 לעיל) השפעה על עלות הביצוע.

עלות האחזקה נגזרת ממשך פעולות התחזוקה (לדוגמא, ימי עבודה), תדירות (לדוגמא, פעמיים בשנה), שיטות ביצוע התחזוקה והכלים הנדרשים (לדוגמא: כיסוח מרבדי עשב, גיזום שיחים החוסמים מתקני ניקוז, פינוי משקעים וסחף באמצעים מכאניים), כח האדם ומיומנותו (מספר אנשי התחזוקה, פועלים ומפקחים). כאשר מרכיבי המערכת מבוצעים מחומרים מקומיים והתחזוקה מכוונת לעידוד תהליכים אקולוגיים טבעיים (ר' סעיף 1.3.4 לעיל) ניתן להוזיל את עלויותיה וגם תועלתיה גוברות. לדוגמא, שימוש בצמחיה מקומית מאפשרת להתבסס על משטר הגשמים המקומיים להתפתחותה ולהימנע מהשקיה קבועה.

2.4 אמצעים לתכנון המערכת הטכנו-אקולוגית לניהול נגר הכבישים

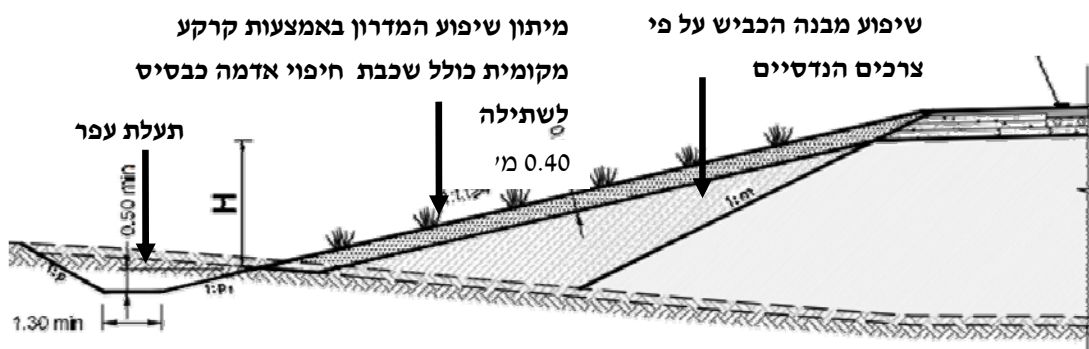
בהסתמך על הפרסומים המדעיים והמקצועיים שהוזכרו בפרק הראשון (e.g. Austroads, 2003; Melbourne Water, 2005; Clean Water Services, 2009; Austroads, 2013) התייעצויות עם מומחים והסוירים שהתקיימו לצורך המחקר, מוצעת סדרה של אמצעים בתור Best Management Practices (BMP's). אמצעים אלה נמצאו מתאימים ליישום עקרונות התכנון בכבישים בינעירוניים ולשילוב במרכיבי המערכת הטכנו-אקולוגית לניהול נגר ("מגרש המשחקים"; ר' לעיל סעיף 2.1). האמצעים צריכים להיות משולבים כחלק אינטגרלי מתכנון מערכת הניקוז של הכביש והשיקום הנופי, בשיתוף עם המתכננים הסביבתיים בפרויקט בשלב מוקדם ככל הניתן (Highway Agency, 2006; Austroads, 2003).

האמצעים הנכללים ב"ארגז הכלים" הינם דוגמאות שניתן להוסיף עליהן. יש לסייג ולומר שאמצעים אלה אינם מיועדים לטפל בזיהום אקוטי ובעל היקף משמעותי, הנגרם למשל מהתהפכות משאית המובילה חומרים מסוכנים (Highway Agency, 2009; NCHRP, 2006).

א. שימוש במשאב הקרקע המקומית - בכל השטחים המופרים כתוצאה מהקמת הכביש ועל גבי מדרונות הכביש, מבוצע חיפוי באדמה. מקור האדמה צריך להיות בשכבת הקרקע העליונה המקומית, שנחשפת ונאספת בשלב הכניסה לעבודות, מכל השטחים המיועדים לכביש ולמתקניו (אדמת חיפוי). הקרקע נשמרת למשך כל תקופת ביצוע הכביש בערמות, הסמוכות ככל הניתן לשטח ממנו נחשפה. קרקע זו נחשבת כמתאימה ביותר לשתילה של הצמחיה המקומית ולהתפתחותה, ולרוב היא מכילה זרעים של צמחיה מקומית המהווה את חברת החלוץ (אחירון-פרומקין, 2012) ותורמת לשימור הקרקע.

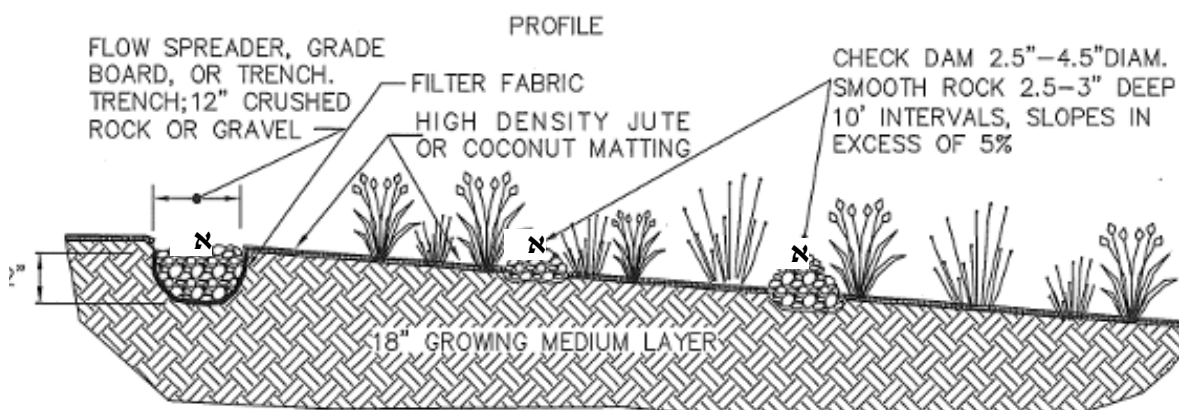
לעיתים אפשר לשמור גם אדמה מקומית שנחפרת מעומק של יותר מ-1.0 מ' מפני השטח. הקרקע מעומק ענייה בזרעים, ונדרש להגן עליה מפני סחף על ידי שימוש באמצעים "לחיספוס" פני הקרקע למיתון זרימות הנגר. מאידך, לאדמה שמעומק הקרקע יש יתרון של סיכון מופחת של נוכחות זרעים של מינים זרים. בעיה של חדירת מינים זרים, ביניהם מינים פולשים, עלולה להיווצר גם בהבאת קרקע ממקור שמחוץ לשטח האתר, או משימוש בקרקע שמקורה באזורים מופרים בתחום הקמת הכביש (דופור-דרור, 2010).

ב. מיתון שיפועי מדרונות - ככל ששיפוע המדרון מתון יותר, עצמת זרימת הנגר ומהירות זרימתו על פני המדרון מתונות יותר. ככל שהזרימה מתונה, הסיכון להיווצרות סחף קרקע קטן והמדרון יציב יותר. שיפוע מדרון ביחס 1:2 (1 אנכי 2 אופקי) - 1:3 נחשב לרוב כ"ברירת מחדל" בתכנון הסוללה ההנדסית שהיא מבנה הכביש. שיפוע 1:2 נחשב תלול עבור תועלת של שימור קרקע, מיתון והשהייה של זרימת הנגר. השיפוע המומלץ הוא 1:4 ומתון יותר, למעט במקרים בהם סוללת כביש אינה גבוהה מ-2.5-3.0 מ' וזרימת המים אינה מספיקה לקבל תאוצה (א. קורן, מידע בע"פ). מיתון שיפועי המדרון יכול להתבצע באמצעות קרקע מקומית המתאימה לצרכי השיקום הנופי (איור 3). שימוש בקרקע כבדה (כמו חרסית) יכול לסייע לאיטום מסוים של פני מבנה הכביש, למנוע מהמים (לדוגמא: מתעלה) לחלחל אל תוך סוללת הכביש ולמנוע כשל ביציבותה. החלטה על מידת מיתון המדרון, תלויה ברוחב זכות הדרך ובזמינות משאב קרקע מתאימה; ובהתאמה למורפולוגיה האופיינית למרחב והאפשרות לשילוב מסדרון הכביש בסביבה (לדוגמא, מיתון מדרון להשתלבות בשטח מישורי).



איור 3: סכמה של מיתון שיפועי מדרון סוללת הכביש (חברת נתיבי ישראל, 2008)

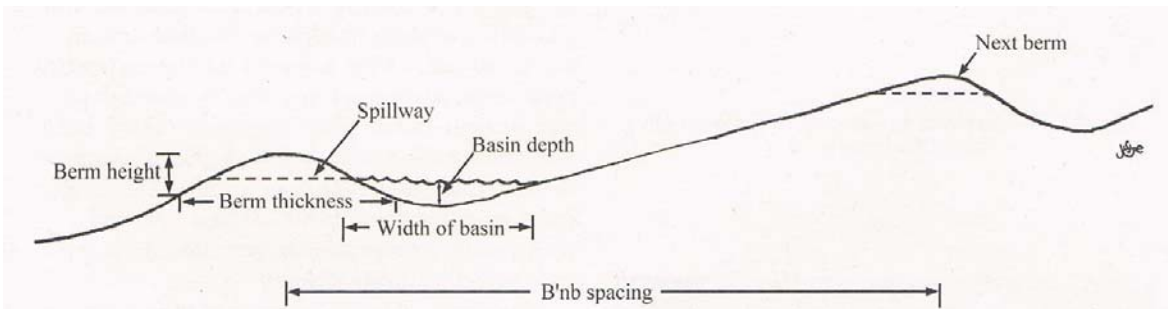
ג. "חספוס" פני רצועות הקרקע והמדרונות באמצעים אביוטיים - כיסוי פני הקרקע באמצעות משאבים אביוטיים ויצירת "מכשולים" לזרימת המים מסייע להגביר המורכבות המבנית, למתן זרימת הנגר על פני הקרקע והמדרונות, לפזר את המים באופן אחיד על פני הקרקע, להגביר השהייה מקומית שלהם וליצור תנאים משתנים לנישות אקולוגיות. דוגמא להגברת "חספוס" פני הקרקע: רצועות אבנים (גל אבנים) המונחות לאורך קו הגובה של המדרון (איור 4) וסהרונים (Berm & Basin) (איורים 5-7).



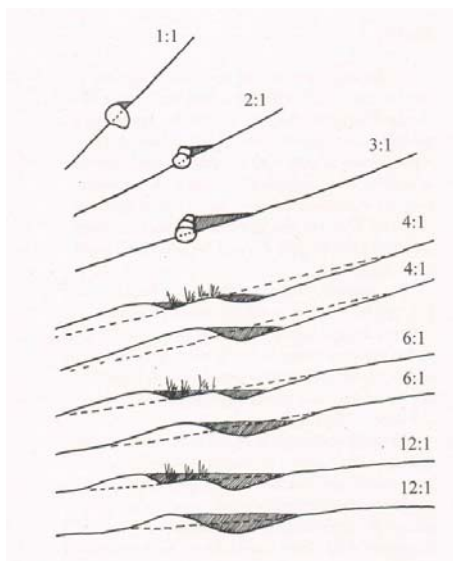
איור 4: רצועות שברי אבן (גל אבנים) (א) לאורך קו הגובה של המדרון (Clean Water)

(Services, 2009 p.101)

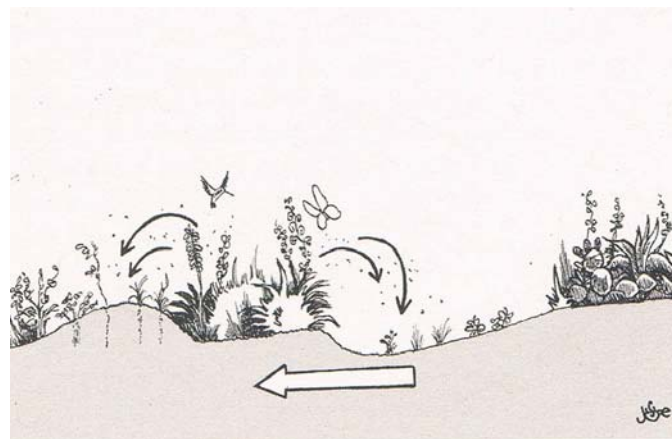
סהרונים (Berm & Basin) הם רצועות של שקעים אורכיים לצד סוללות עפר מוגבהות, הקוטעות ו"מחפסות" את פני המדרון (איורים 5-7). מלבד אדמה, ניתן לבנות את הסהרונים גם ממשאבים טבעיים אחרים כגון גזעי עצים או אגד ענפים המעוגנים לקרקע ומיוצבים באמצעות מוטות עץ או רצועות גלי האבנים. הסהרונים מבוצעים במקביל לקוי הגובה ומעוצבים בשיפועים מתונים. היחס המומלץ בין עומק השקע לרוחב תחתית הסוללה הוא 1:4. שיפועי דופן התעלה צריכים להיות מתונים מ 3:1. בסהרון מתקיימים תהליכים של פיזור נגר על פני מדרונות למניעת ריכוז זרימה של מים, ביחד עם השהייה והגברת החלחול. בהשהיית המים בשקעים נוצרים תנאים נוחים של לחות להתפתחות צמחיה. ניתן למצוא שימוש נרחב באמצעי זה למטרות קציר נגר ביערות קק"ל שבאזורים יבשים ומדבריים (Saffriel et.al., 2011).



איור 5: חתך עקרוני של מבנה סהרון (Lancaster, 2010 p.74)



איור 7: חתך לתכנון סהרונים בהתאם לשיפוע המדרון (Lancaster, 2010 p.67)



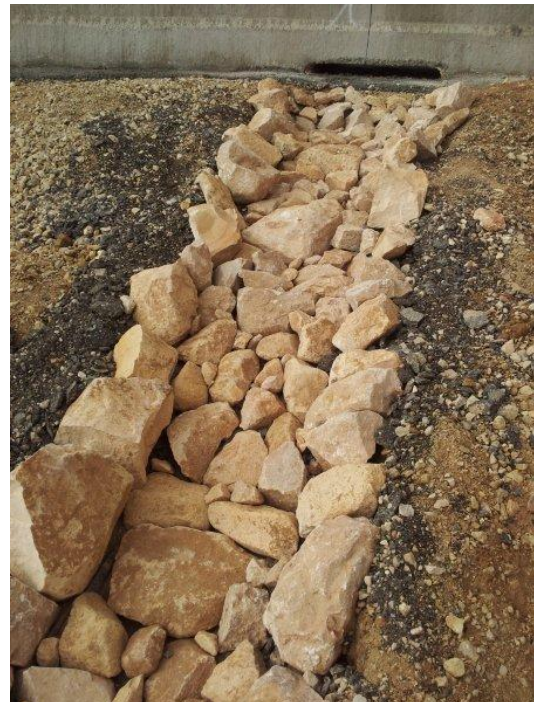
איור 6: חתך עקרוני של סהרון המציג התפתחות צמחיה בשקעים בהם נקווים מים (Lancaster, 2010 p. 69)

"חספוס" פני הקרקע ניתן להשיג גם באמצעות סלעים פזורים על פני המדרון או שימוש בקרקע בעלת תכולת אבניות גבוהה בה מגוון גדלים של אבנים (איור 8). ההחלטה על שילוב אבנים, גדליהן והיקף השימוש במרכיב אביוטי זה, תלויה במשאבי האבן הקיימים באתר. כדי להשתמש באבנים יש לאסוף אותן לפני ביצוע העבודות להקמת הכביש, מכל השטחים המשמשים לביצועו, ולשמור אותן לאורך כל תקופת העבודות.



איור 8: שימוש בקרקע אבנית לחספוס המדרון בכביש 6 קטע 18 (צילום: ע. מור, 2008)

אמצעי נוסף ל"חספוס" פני המדרון הם מגלשים הבנויים מאבנים (איור 9) או מילוי שקעים בשברי אבן (French drain; איור 10). אלה מוצעים כתחליף למגלשי הבטון שדרך כלל מתוכננים לאורך כבישים בישראל. מגלשים אלה יכולים לשמש גם כאלמנט נופי, להגברת האיכויות האסתטיות של סביבת הכביש. לעיתים מגלש האבן נבנה כמילוי לחירוץ שנוצר על פני שטח המדרונות (א. שליו, מידע בע"פ).



איור 9: מגלש מאבנים מונחות, בוצע על גבי מדרון שבגב מעקה בטון בכביש 40, בין מחנה נתן לצומת הנגב (צילום: א. שלו, 2012).



איור 10 : מגלש מרצועת שברי אבן בשקע (French drain) (MoDOT, 2013a)

ד. "חספוס" פני הקרקע במשאבים ביוטיים (צמחיה) - התועלות המתקבלות מ"חספוס" פני הקרקע בשימוש במשאבים אביוטיים טבעיים בלבד מוגבלות. התועלות תגברנה ככל שישולבו משאבים ביוטיים של צמחיה וככל שתכנון הצמחיה יכוון ליצירת מורכבות מבנית על פני השטח. מורכבות זו ניתן להשיג באמצעות תכסית מלאה של צמחיה מקומית, בשילובים מגוונים ורב שכבתיים של סוגי צמחיה (עצים, שיחים, בני שיח, עשבונים רב שנתיים וחד שנתיים, דגניים ורחבי עלים, גיאופיטים) (איור 11), מערכת שורשים מגוונת (רדודה ושטוחה ועד צמחים מעמיקי שורש) ובחירת שיטות שתילה המתאימות לתפקודים האקולוגיים אותם מבקשים לעודד (שיטות ביצוע לדוגמא: מרבדי עשב, שתילת דגניים כשתילונים, פיזור שיחים, מרווחי שתילה, זריעה, זריעה בהתזה (הידרוסידינג) עם או בלי סיבים) (ר' לעיל סעיף 1.3.4). ניתן לתכנן את הצמחיה באופן המכוון להגברת המורכבות בתהליכים טבעיים (סוקצסיה).

שימוש בצמחיה המקומית מאפשר לשחזר את יחידות הנוף הטבעיות ולהתבסס על מים שמקורם בגשם להשקייתה ולא נדרשת השקיית עזר, או שניתן להפסיק להשקות את הצמחיה מקץ תקופת ההתבססות (3-4 שנים) (ד. הליץ, מידע בע"פ).

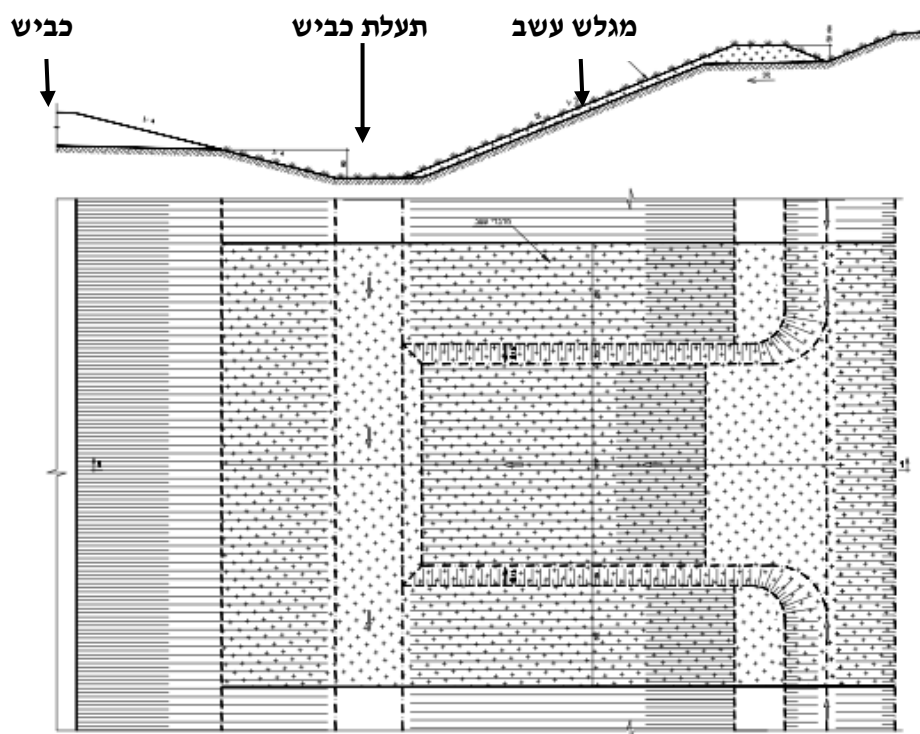


איור 11: תכסית מלאה של צומח מקומי מגוון על פני המדרון בשילוב סלעים לצד כביש חוצה ישראל צפונית למנהרת חדיד (צילום: ליעד מרקוס, אפריל 2012)

דרך נוספת ל"חספוס" פני המדרון באמצעים ביוטיים היא שימוש במגלשים המבוצעים ממרבדי עשבוניים (איורים 12, 13).



איור 12: מגלש ממרבדי עשב (יבלית קוסט קרוס 1) בכביש חוצה ישראל (צילום: ק. קרני, 2011)



איור 13 : מגלש ממרבדי עשב (יבליית קוסט קרוס 1) - פרט הנדסי לביצוע (מקור : פרטי ניקוז טיפוסיים של חברת כביש חוצה ישראל, 2008)

ה. מיתון שיפועים ו"חספוס" פני השטח בתעלות ניקוז - ככל ששיפועי גדות התעלות והשיפוע האורכי בתוואי הזרימה בתעלה מתונים יותר, כל מתמתנת זרימת הנגר, גובר פיזור המים במקום ריכוזם, ומושגים השהייה מקומית ומידה מסוימת של חלחול. ניתן ל"חספס" את פני שטח התעלה באמצעות משאבים ביוטיים ואביוטיים בחתך הזרימה שלה. לצורך שילוב משאבים טבעיים בחתך התעלה ו"חספוס" מוצע לתכנן את התעלות לטווח מהירויות זרימה : $2.5 \geq V \geq 4$ מ"שני; ובשיפוע אורכי בטווח שיפועים של $0.5\% \leq L \leq 2.5\%$ (א. קורן, מידע בע"פ). כאשר מהירות זרימת המים היא גבוהה מהטווח המוצע ניתן להוסיף אמצעים למיתון מהירויות הזרימה (כמו סכרונים, ר' להלן סעיף ו') כדי להגיע לטווח. ישנם מצבים בהם מהירות הזרימה והשיפוע האורכי בתעלה נמוכים מן הטווח ולא קיימת אפשרות לשיפור, במקרים כאלה נדרשים אמצעים הנדסיים קשיחים (כמו בטון). כדי למנוע מצב בו עומדים מים על פני השטח ניתן לשלב בתחתית התעלה מצע נקבובי כמו שברי אבן, כניקוז תחתית המים הנכלאים בין האבנים שבתחתית התעלה מסייעים גם במיתון זרימת המים על פני חתך התעלה (א. קורן, מידע בע"פ). לדוגמא, תעלת עשב רחבה (swale) (איור 14) היא תעלת ניקוז פתוחה ומגוננת (לרוב עשבוניים אך גם שיחים), המתוכננת כשקע רחב ורדוד, בעל שיפועים מתונים. הצמחייה מתוכננת לכיסוי מלא של כל חתך התעלה וצורתה הגיאומטרית היא פרבולית או טרפזואידית. שיפועי מדרונות הצד אינם תלולים מ: 1:4-1:3. החלטה על שיפועי הצד צריכה להתחשב גם בשיקולים של התאמה לפעולות תחזוקת התעלה. רוחב תחתית התעלה המינימאלי הוא 2 מ'. במקומות בהם שיפוע התעלה האורכי מתון מאוד, וקיים חשש להיקוות מים, ניתן לשלב בתחתית התעלה אמצעי להגברת החלחול, כגון שברי אבן. על פי

ההנחיות האוסטרליות (Austroads, 2003) תעלה זו נחשבת כאמצעי אפקטיבי לטיפול בנגר הכבישים. הצמחייה והעשבונים לאורך התעלה מתפקדים כפילטר המסוגל להפחית את ריכוז החלקיקים המוצקים. התבססות צמחיה צפופה לאורך תחתית התעלה מגבירה את יעילותה בלכידת מוצקים מרחפים ופסולת. כמו כן היא תומכת בתפקוד התעלה כמעבר לבעלי חיים.



איור 14 : תעלת עשב רחבה (swale) אליה זורם הנגר ישירות מן הכביש (Austroads, 2003 p.14)

ניתן להשתמש בעקרונות העיצוביים של תעלת עשב רחבה גם בתכנון מפרדה רחבה בין מסלולי הכביש. הזרמת נגר הכבישים ישירות אל המפרדה מאפשר למדרונותיה לתפקד כרצועות סינון (ר' להלן סעיף ז' איורים 22,23). מעבר לכך למפרדה רחבה מגוננת ערך נופי-אסתטי ותרומה לשילוב מופע הכביש במרחב. היא מתפקדת גם כאזור מפלט זמני לבעלי חיים שנקלעו לתחום הכביש ובכך מפחיתה את השפעות הקיטוע של הכביש על סביבתו.

דוגמאות נוספות ל"חספוס" פני התעלה הן תעלות כביש מדופנות באמצעות מזרוני "רנו" או מזרוני גביונים ותעלות עשב. מזרוני "רנו" ומזרוני גביונים הם שברי אבן מחציבה או אבני לקט הכלואים ברשת פלדה. עובי המזרון משתנה בין 20-60 ס"מ והוא משמש לדיפון פני התעלה (צדקה וגריניס, 2008; שטרית, 2008). תעלות אלה מאפשרות התפתחות צמחיה מגוונת (איורים 15, 16).



איור 15 : תעלה מדופנת במזרוני "רנו" שהתפתחה בה צמחיה מגוונת (כביש 854 תפן כרמיאל; צילום : ל. מרקוס, ינואר 2013)



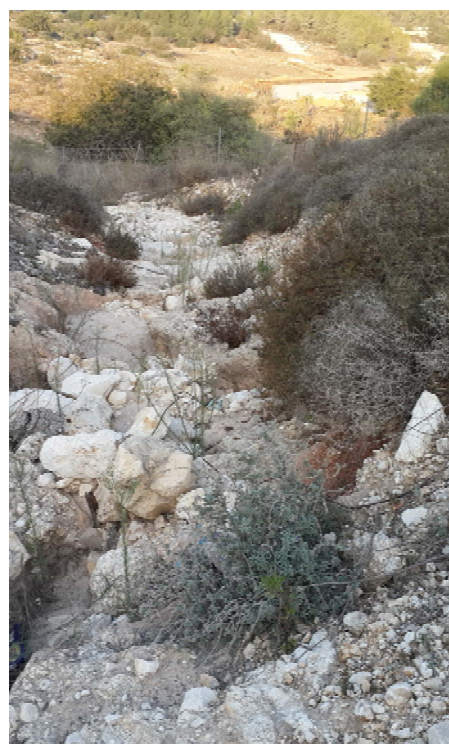
איור 16 : תעלת מרבדי עשב (יבלית קוסט קרוס 1; בכביש 6 אזור כביש 411 חולדה) שהתבססו בה באופן טבעי זקנן שעיר, חוטמית זיפנית, שברק, סביון אביבי ובקיה (ד. הלביץ, מידע בע"פ; צילום : ל. מרקוס, אפריל 2012)

גם ללא צמחיה תעלת עפר "מחוספסת" יחסית לתעלת בטון (איור 17) ומתקיימים בה תהליכים דומים לאלה שבדוגמאות האחרות, גם אם במידה פחותה.



איור 17: תעלת עפר בכביש 6 באזור גבעת כח (צילום: ל. מרקוס, אפריל 2012)

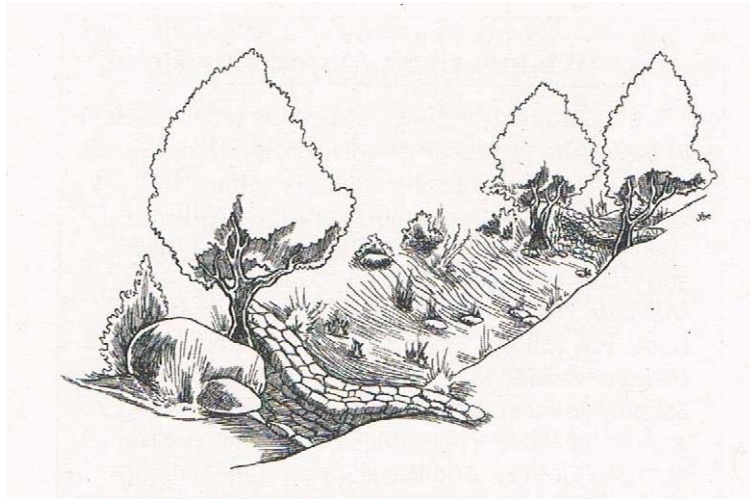
כאשר עובר הכביש באזור סלעי ותעלותיו חצובות בסלע, גם אם הסלע אינו הומוגני, מומלץ לבחון אפשרות להשאיר את פני הסלע חשופים. בחללים הנוצרים בין חלקי הסלע יכולה להתבסס צמחיה (איור 18). במקרה של פני סלע הומוגניים מומלץ לשקול "חספוס" פני הסלע ליצירת גומחות בהם נתפסים קרקע וזרעים.



איור 18: תעלת כביש חצובה בסלע ובה תשתית אבנית מקומית (כביש 6, מול הישוב חריש; צילום: ל. מרקוס, נובמבר 2013)

1. שילוב מתקנים למיתון זרימת הנגר בתעלות - לצורך התאמת השיפוע האורכי ומהירויות הזרימה המתוכננים בתעלות לטווח הנדרש לשילוב אמצעים ממשאבים טבעיים (ר' סעיף ה' לעיל), ניתן לשלב בתעלות מתקנים ייעודיים לכך כמו סכרונים (check dams). מיתון ספיקות גבוהות באמצעות מתקנים אלה יכול לסייע במניעת חירוף וסחף הקרקע מדפנות התעלה, לתרום להגדלת כמות המים הזמינים להשקיית עצים ושיחים (מכונה גם "קציר נגר") (Lancaster, 2010; איור 19), ולהגביר תהליכים נוספים של סינון מזהמים, ספיגת הלחות בקרקע וחלחול מים לתת הקרקע.

סכרון הוא מחסום נמוך וחדיר למים אשר ממוקם בתוך התעלות בניצב לכוון זרימת המים. הסכרונים לרוב בנויים משברי אבן או סלעים כגל אבנים מונחות (איור 20), או כקיר בנוי (איור 21), אם כי שימוש באלמנט של קיר מבונה-סימטרי אינו עונה על העיקרון של שימוש באמצעים טבעיים ליצירת מערכת טבעית. סכרונים יכולים לתפקד גם כמעבר אירי לחציית שביל מטיילים וכרצף מחסות לבעלי חיים לאורך התעלה.



איור 19 : סכמה של מתקן לקציר נגר באמצעות סכרון באפיק זרימה המאפשר השהייה מקומית של המים (Lancaster, 2010; p.232)



איור 20 : סכרונים הבנויים כגל אבנים בתעלת עשב רחבה (MoDOT, 2013b)



איור 21: סכרונים בנויים כקירות נמוכים (Sipes & Sipes, 2013)

ז. הפניית ישירה של הנגר אל שטחי הגיבון - בתנאים בהם הנגר הנוצר על פני המיסעה זורם ישירות אל צידי הכביש (ללא מתקני קליטה), מדרון מגוון או אל מפרדה מגוננת רחבה (איור 22), אלו יכולים לתפקד כרצועת סינון (filter strip) לחלקיקי מזהמים שבנגר והמים משמשים להשקיה של הצמחיה. התרומה המתקבלת לשיפור איכות המים היא סיבה נוספת לחשיבות תכנון של מפרדות רחבות. הזרמת המים ישירות אל המדרון אפשרית כאשר השיפוע האורכי של הכביש 1% ומתון יותר. שיפוע כ"ל אפשרי בדרך כלל בכביש העובר באזור מישורי ושמיסעת הכביש מתוכננת עם שיפוע צידי בלבד, או כאשר השיפוע האורכי מתון מן השיפוע הצידי. בשיפוע אורכי תלול יותר מהשיפוע הצידי קיימת סכנה להיווצרות זרימה מרוכזת ויצירת נזקי ארוזיה במקום ריכוז המים. במקרים אלה משולבים מגלשים לקליטה של הנגר (ר' סעיף ג' לעיל; א. קורן, מידע בע"פ).

כאשר יש צורך באמצעים למניעת חרוץ הקרקע בראש המדרון המקבל את הנגר (לאורך רצועת המפגש בין האספלט לקרקע בשוליים), ניתן לשלב רצועות מרבדי עשבונים (איור 23) או רצועות אבנים. אמצעי זה מסייע לפזר את נגר מהכביש באופן אחיד על פני המדרון, ומשמש גם כפתרון למניעת מדרגה בין שולי האספלט למדרון כאמצעי להגברת בטיחות הנסיעה בכביש (ק. קרני, מידע בע"פ).



איור 22: דוגמא למפרדה רחבה אליה זורמים מים ישירות מן המיסעה (כביש 6; צילום: ת. דראל-פוספלד, 2009)



איור 23: שילוב רצועות מרבדי עשב (יבלית קוסט קרוס 1) לאורך שולי מיסעת כביש 6. בהמשך למרבדים מכוסה המפרדה הרחבה בצמחיה שיחנית (צילום: ד. הלבץ, 2011)

ח. תכנון מרכיבי המערכת לניהול נגר כמעברים (passages) לתנועת בעלי חיים - אמצעי תיעול פתוחים, כדוגמת התעלות המופיעות בסעיף ה' לעיל, יכולים לשמש גם כמעבר עבור בעלי חיים לאורכו של הכביש. ניתן לתכנן את מעברי המים כך שימשו גם כמעברים לבעלי חיים (כתלות בנתונים הידרולוגיים ובהתאמה לאוכלוסיות במרחב), ולאפשר חצייה בטוחה מצד אחד של הכביש לצידו האחר. לשם כך נדרש לבחון פתרונות כגון תוספת מחסות בסביבת מעביר ניקוז, שילוב צמחיה בפתחי המעביר, פתח אור ואויר בראש מעביר המים, דרגש לתנועת בע"ח יבשתיים למעבר בעת זרימת מים במעביר וחיפוי רצפת מעביר המים בחומרים טבעיים (אחירון-פרומקין, 2012).

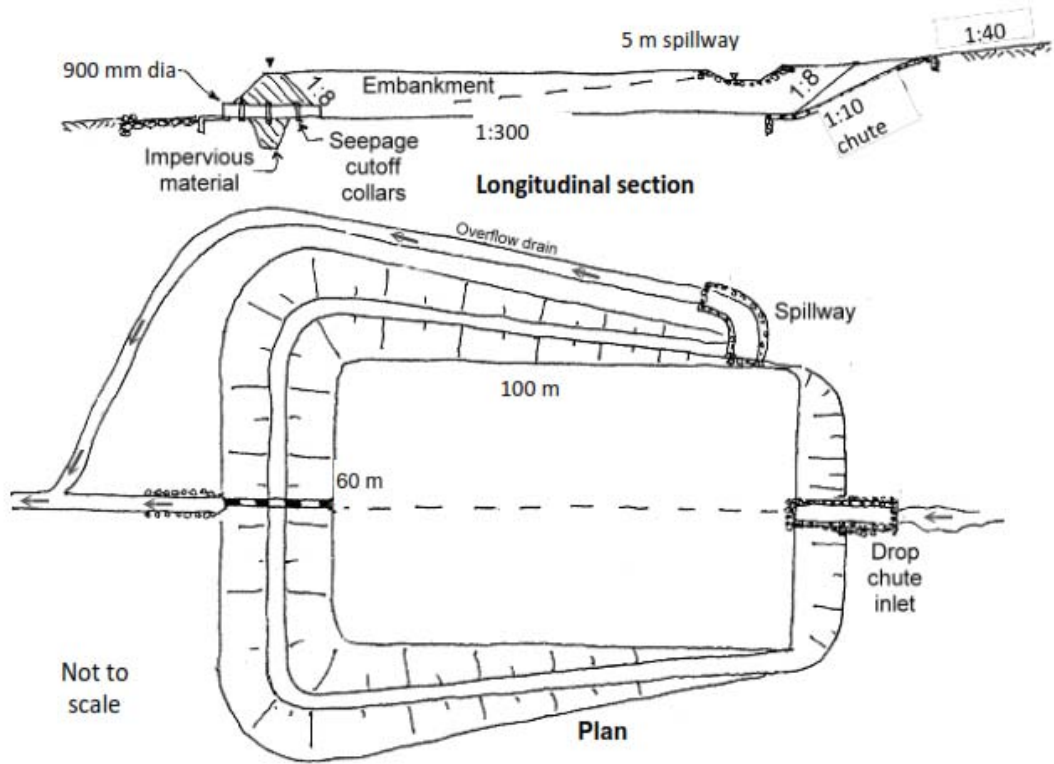
ט. שילוב אגני השהייה - אגן השהייה הוא שקע מלאכותי דמוי בריכה או תעלה, הקולט את הנגר ממערכת הניקוז, ומאט את מהירות זרימתו. כתוצאה מכך מתקיימים שני תהליכים עיקריים: שיקוע מזהמים ושחרור הדרגתי של עודף הנגר אל מורד ערוץ הזרימה, שגם מונע נזקי הצפות (Flood Water Relief). אמצעי זה מוכר גם כבריכות מאזנות (balancing ponds; בריכות לעיכוב והשהייה של המים detention/retention ponds or basin; או אגני שיקוע sedimentation basin). אגנים אלה נחשבים כאמצעי אפקטיבי לשיפור איכות מי הנגר לפני שהם מגיעים ל"מים מקבלים".

תצורת האגן ותפקודיו נקבעים על פי גודל השטח הזמין, סוג הקרקע והמטרות לשמן מוקם. האגן לרוב ממוקם במורד המערכת, אך ניתן למקמו גם בקרבת הכביש לקבלת השטיפה הראשונה של הנגר מפני הכביש בתחילת עונת הגשמים. אגן השהייה הוא בעל ערך אסתטי גבוה, היוצר נוף אטרקטיבי שמעשיר את המרחב ויכול לשמש מוקד עבור פעילויות פנאי ונופש.

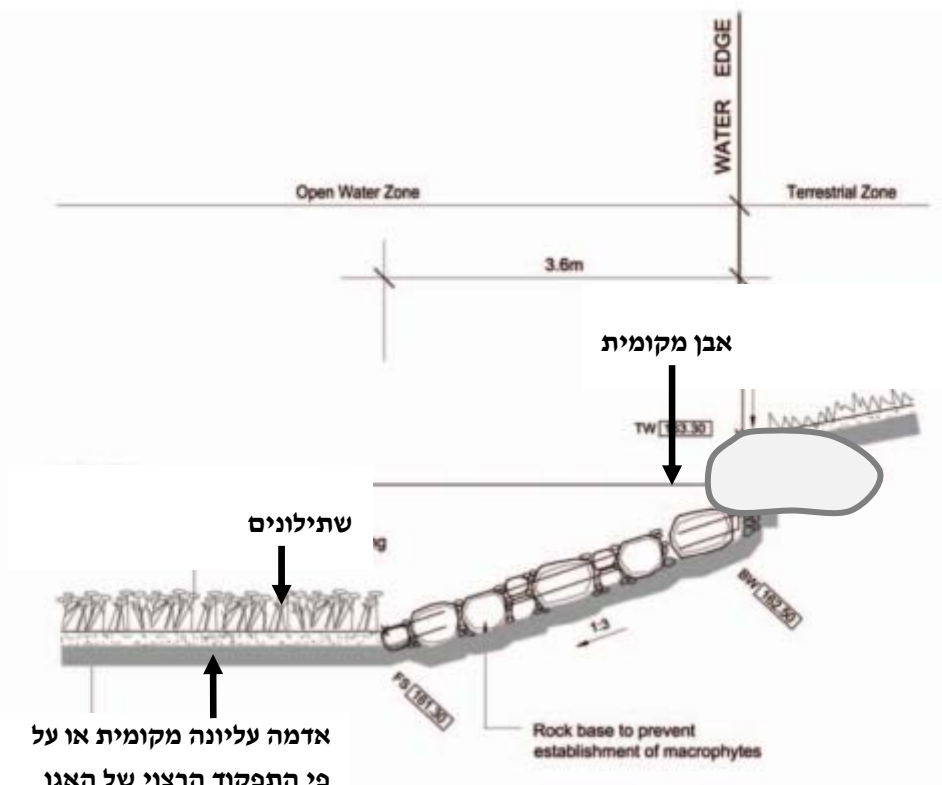
קיימים אגני השהייה יבשים ורטובים. אגני השהייה יבשים מתוכננים לריקון לאחר כל אירוע גשם, בתהליך של גרביטציה או חלחול, ולהישאר יבשים למשך התקופות שבין פרקי גשם. המים מושהים בהם לתקופת זמן קצרה (בדרך כלל 24-48 שעות), במהלכה שוקעים חלקיקים גסים, וקיימת אפשרות לשקיעה של מתכות כבדות הספוחות לסדימנטים. סילוק חלקיקים דקים אפשרי רק בעת זרימות איטיות מאוד.

המבנה של אגן השהייה יבש כולל מתקן כניסה - צינור או תעלה; נקז לריקון מלא של תחתית האגן; ומגלש לעודפי מים במקרים של אירועי גשם קיצוניים (איור 24). ניתן לעצב את האגן כבית גידול בו נשמרת הלחות על ידי שימוש בקרקע כבדה בעלת תאחיזת מים טובה. ניתן להעצים את שמירת הלחות על ידי פיזור של שברי אבן על הקרקעית. שכבת אבן זו מאפשרת גם נביטה והתפתחות צמחיה. שמירת הלחות תורמת לחיזוק המגוון הביולוגי, במיוחד לאחר תום תקופת הגשמים (לדוגמא, חברי חוליות החיים מתחת לאבן; אמיתי וסימון, 1985).

גדות האגן צריכות להיות יציבות ועמידות לזרימות מים חזקות ולכן מומלץ לבצע בחומרים קשיחים (דוגמת אבן טבעית מקומית; איור 25). מומלץ לבצע את האגן ממשאבים טבעיים-מקומיים כמו אדמה חרסיתית, משטחי סלע, שברי אבן וצמחיה. אם יש כוונה להעצים את החלחול, יש לעשות שימוש בקרקע קלה.



איור 24 : סכמה של אגן השהייה יבש (סכמה מתוך : Austroads, 2013 p.138)



איור 25 : סכמה של ייצוב דופן אגן השהייה יבש באמצעות אבנים מקומיות (סכמה מתוך : Melbourne Water, 2005 p.32)

תכנון משך שהיית המים צריך להביא לאיזון בין התועלות לבין היווצרות מפגעים כמו קינון יתושים, הצטברות פסולת, שמנים וזוהמה, התפשטות צמחיה בלתי רצויה, פריחת אצות והיווצרות מלכודת אקולוגית (ר' לעיל סעיף 1.1.3.2 ד') עבור בעלי חיים אקוויטיים. עיצוב האגן צריך להתאים לצורכי תחזוקה תדירה, סילוק הצטברות סחופת והחזרה לתפקוד מלא. יש לקחת בחשבון שהתחזוקה מפרה את בתי הגידול שהתבססו בהם.

אגני השהייה רטובים הם אגנים המתמלאים ומקיימים מים בדרך כלל לאורך כל השנה. אגנים אלה יכולים לפקד כמערכת "אגנים ירוקים" (Austroads, ; constructed wetland) (2003) ולשפר את איכות המים. אגנים אלה אינם מתאימים לישראל משום שזמינות המים מוגבלת לחודשי החורף והאביב בלבד וקיום צמחיה ומערכת בקטריאלית פעילה (ביופילם) מחייבת תוספת מים בעונה היבשה. במקום מערכת זו מוצע במחקר לשלב מערכת אגן השהייה רטוב טבעי - בריכת חורף (ר' להלן סעיף י').

י. שילוב אגן השהייה עונתי רטוב - בריכת חורף ולימנים - בתכנון מסדרון כביש ומערכת לניהול הנגר מוצע לנצל הזדמנויות מתאימות לשילוב בית גידול עונתי, שמקבל נגר גשמים ומקיימו כל תקופת הגשמים ותקופה מסוימת לאחר הפסקת הגשמים. גוף מים זה משמש בית גידול חשוב לעושר גדול של מאכלסי מים מן החי והצומח, בכלל זה מינים אנדמיים ומינים בסכנת הכחדה (גזית, 1978 ; 1983). בעבר היו בריכות חורף נפוצות בכל אזורי הארץ. פעולות הפיתוח ותפיסת השטחים על ידי עיור וחקלאות ברחבי הארץ גרמו לשינויים באגני הניקוז הטבעיים, שהזינו את הבריכות ולהתייבשות מרבית הבריכות, אשר מוגדרות כיום כבית גידול בסכנת הכחדה (גזית, 1978).

הדעות לגבי התאמת נגר כבישים לבריכות חורף מצויות במחלוקת. יש הטוענים שאיכות המים טובה או לפחות אינה פוגעת בחלק ממאכלסי בריכת החורף (Asaf et.al., 2004 ; ארון, 2007). מעבר לכך יש הטוענים שאין עדות לפגיעה במאכלסי בריכת החורף כדוגמת דו-חיים. בהקשר זה טוען א. גזית (מידע בע"פ) שבמשך 40 שנות תצפית בבריכות חורף החשופות לנגר כבישים, וכן בתעלות שלצידי כבישים, לא נצפו פגיעות ביצורים אלה. מאידך, במבחן ביולוגי שבוצע על ידי Dorchin & Shanas (2010) נצפתה פגיעה בראשני הקרפדה הירוקה, אך ראוי לזכור שבניסוי מעבדתי, בו היצורים חשופים לריכוזים גבוהים, לא מן הנמנע שתתגלנה פגיעות ביצורים. בטבע מקווי המים נשטפים על ידי הגשמים ולכן ריכוז המזהמים בהם פוחת במשך החורף. מעבר לכך, בניסוי שערך ארון (2007), בו נחשפו ראשני קרפדה ירוקה לתשטיפי כביש שנאספו ברחבת מכוניות במשרד הרישוי בחולון, לא נצפתה כל השפעה שלילית על ראשנים אלה בחשיפה למשך 96 שעות. אי לכך, בעבודה הנוכחית אומצה ההנחה שמי נגר הכבישים, גם אם אינם בעלי איכות הדומה למים טבעיים, יכולים לאפשר קיום והתפתחות של נציגים אופייניים לבריכות חורף. מסיבה זו שולבה הקמת בריכת חורף במסגרת ניצול נגר כבישים בינעירוניים להעצמת תועלות אקולוגיות וכפועל יוצא גם תועלות חברתיות.

ההחלטה על תכנון אגן כבריכת חורף דורשת התייחסות למגוון שיקולים: תנאי אקלים, כגון כמות הגשם ופיזורו העונתי, קצב האידוי והדיות, הרכב הקרקע ואיבוד מים בחלחול, כמות

נגר משטח תורם שניתן לנצלו (שלם, 2013). משך קיום המים (hydro-period) בבריכה צריך לאפשר השלמת מחזורי החיים הקצרים של מאכלסיה הייחודיים, משבועות אצל סרטנים וחרקים ועד ארבעה חודשים אצל דו חיים. התייבשות הבריכה לפני שהושלם מחזור החיים בה הופכת אותה למלכודת אקולוגית (א. גזית, מידע בע"פ).

על פי גזית וחובי' (2004) וגזית (2014; נספח 1) בריכה בשטח מינימאלי של 1.5 עד 2 דונם מתוכננת כראוי, תוכל לקיים את תקופת המים הנדרשת, בהנחה שהקרקע בעלת אחוז גבוה של חרסית. דרישה נוספת היא שבכל עת יהיו בבריכה אזור רדוד ואזור עמוק, זאת משום שיצורים רבים פועלים במים הרדודים החמימים יותר (לדוג' ראשני דו-חיים) והאזור העמוק מביטיח קיום מים בבריכה למשך תקופה ארוכה. תנאים אלו יכולים להתקבל בחפירת אגן בעל שיפוע מתון, למשל כ- 2.5% (25 ס"מ עומק לכל 10 מטר אורך). האזור העמוק בבריכה צריך להיות לפחות מטר וחצי. מומלץ שהשטח הרדוד (הדרגתי) יהווה כ- 80% משטח הבריכה (איור 26). מאחר שמדובר בנגר כבישים, שכמותו יכולה לעלות על יכולת הקיבול של הבריכה, יש לתכנן מגלש (על בסיס אבן טבעית) לעודפי הנגר (Overflow) אל תעלת ניקוז או אל מוצא אחר.



איור 26: חתך סכמתי של בריכת חורף (סכמה מתוך: גזית, 2014).

בריכות חורף מתפקדות הן כאגן השחייה ושיקוע והן כבית גידול התומך במגוון ביולוגי חשוב. בהקשר האחרון ניתן לזרז את התבססות חברת החי והצומח על ידי העברה של קרקע יבשה מבריכה ותיקה המכילה ביצי קיימא⁴ של סרטנים אופייניים וייחודיים לבריכות החורף. כמו כן ניתן להעתיק צמחיה אופיינית וייחודית לבריכות אלה, אם כי צמחי מים מתפתחים בבריכות חורף גם באופן טבעי, באמצעות תפוצה של זרעים ע"י עופות המים. פעולות העברה והעתיקה חייבות להתבצע בתאום ובאישור רט"ג (גזית וחובי', 2004). מידע נוסף לגבי עקרונות להקמת בריכות חורף מלאכותיות מופיע בנספח 1 לעבודה זו.

⁴ ביצי קיימא - מינים המתקיימים בבריכת החורף חייבים להתמודד עם תקופת היובש. חלקם (סרטנים) עושים זאת באמצעות ביצים מיוחדות המכונות "ביצי קיימא", העמידות ליובש ובוקעות לאחר הרטבה במי גשמים (גזית, 1983)

מיקום הבריכה בשטח כלוא בין כבישים או בלולאת מחלף עלול לגרום לדריסתם של דו-חיים בעת הנדידה אל ומחוץ לבריכת החורף. בסמיכות לכביש מומלץ לשלב אמצעי חסימה המונע נדידת בעלי החיים הצעירים לכוון הכביש. יכולה להיות זו גדר צפופה בגובה 30-40 ס"מ, גם כחלק מהגידור ההיקפי שנהוג להציב לאורך גבול זכות הדרך של כבישים. (א. גזית, מידע בע"פ).

בית גידול של בריכת חורף אינו דורש תחזוקה ועלות הביצוע שלה אינה עולה על זו של עבודות עפר ושתילה במסגרת השיקום הנופי.

טיפוס אחר של אגן השהייה עונתי רטוב (איגום זמני) הם הלימנים המוכרים בדרום הארץ. לימן (איור 27) הוא אגן השהייה המשמש לאיגום מי גשם ("קציר נגר") עבור מגוון תועלות ולתמיכה בהתפתחות צמחיה בעיקר באזורים צחיחים ובכך אינו שונה עקרונית מבריכת חורף (גזית, 1983). על פי ברנשטיין (2011) הלימן בנוי כשקע וסכר מלאכותי מסוללת עפר או כטרסה וממוקם במורד תוואי זרימה של אגן ניקוז. בקרקעיתו ניתן לנטוע חורשה ומתפתחת בו תכסית עשבייה. באחד מצידי הסכר מותקן מברץ, פתח שחרור עודפי נגר, אשר קובע את גובה המים הנאגרים בלימן. קק"ל מיישמת שיטה זו בנגב לאיסוף נגר מזרימה שטפונית בתוך ערוץ אכזב, למניעת סחף קרקע במורד הערוץ ולהעשרת מי תהום. מעבר לכך, הלימנים משמשים כחניונים למטיילים ומספקים צל לעדרים והרועים באזור.



איור 27: לימן בנגב (צילום: נירה צדוק, ארכיון הצילומים של קק"ל

(<http://www.kkl.org.il/environment>)

יא. שחזור יחידות נוף טבעיות והגברת איכויות אסתטיות - שימוש במשאבים ביוטיים ואביוטיים להקמת מערכת לניהול נגר מאפשר לשחזר את יחידות הנוף הטבעיות ותפקודיהן האקולוגיים והחברתיים, בתחום זכות הדרך של הכביש ובסביבתו. לדוגמא, העשרת יחידות הנוף של כביש העובר ביחידת נוף של שדות חקלאיים, באמצעות קבוצות שיחים, סלעים ועצים שנעלמו עקב

העיבוד החקלאי, תורם לחיזוק המגוון הביולוגי. עיצוב אדריכלי ייחודי של מרכיבי המערכת הטכנו-אקולוגית לניהול הנגר מגביר את האיכויות האסתטיות ואת העניין שיוצרת. לדוגמא, רצף של אגנים שמחברות אותן תעלות מפותלות המדמות תוואי זרימת נגר עילי בטבע. זאת, בהינתן הזדמנות מתאימה וייתכנות בהיבט של תחזוקה.

יב. יצירת מוקדי עניין לעידוד פעילות מטיילים - כאשר מסדרון הכביש חולף באזור שמתקיימות בו פעילויות טיילות ותיירות ניתן לנצל את נגר הכבישים ליצירת מופע מים וטבע כדוגמת כתם פריחה ייחודי וכן מינים אטרקטיביים כגון סחלב הביצות, אירוס הביצות, באזורים שבהם צמחים אלה הם צומח מקומי; וכתוספת מוקד ביקור, לעידוד ולחיזוק פעילות מטיילים במרחב. המוקד המתוכנן יהיה מקושר למוקדי העניין הקיימים במרחב, הגישה אליו תהיה חלק ממערך השבילים והדרכים באזור. ניתן להעצים את הקישוריות על ידי תוספת שביל טיול להולכי רגל (איור 28) ושביל אופניים. מומלץ כי ישולבו במוקד תנאים המתאימים לשהיית מטיילים במקום, כמו מקום ישיבה מוצל, ספסלים ושולחנות פיקניק (איור 29). בתכנון מוקד המושך אליו מטיילים, חובה לשלב אמצעים מתאימים לשמירה על בטיחותם מפני נפילה או טביעה (איורים 30, 31) או למניעת גישה לתחום מיסעת הכביש (כמו גידור).



איור 28: מבקרים מטיילים בבריכת החורף שבפארק הקהילתי הכפר הירוק. ברקע כביש 20 (צילום: א. גזית, ינואר 2013)



איור 29 : חניון למטיילים בנחל תנינים, בתחום זכות הדרך של כביש חוצה ישראל (צילום : ל. מרקוס, פברואר 2010)

יג. שילוב תכנים לימודיים וחינוכיים באתר המתוכנן - באתר המתוכנן כמוקד לטיילות ניתן לשלב מגוון תכנים בעלי ערך חינוכי (לדוגמא בריכת החורף, ר' סעיף י' לעיל) שניתן ללמוד מהם על שמירת הטבע, על הסביבה ועל קיימות. לשם כך מומלץ לשלב אמצעים להסברה ולהדרכה כמו שילוט (איור 31) והדרכה אנושית באתר (איור 32), על מרכיבי המערכת ותפקודם, דילמות, אילוצים.



איור 30 : גדר נמוכה שלט "סכנת טביעה" בבריכת החורף בפארק הקהילתי הכפר הירוק. ברקע כביש 20 "נתיבי איילון" (צילום : א. גזית, ינואר 2013)



איור 31 : שלט הדרכה ושלט אזהרה מפני סכנת טביעה בבִּירְכַת חוֹרֹף שבפארק הקהילתי בכפר הירוק (צילום : א. גזית, ינואר 2013)



איור 32 : מימין לשולחן תלמידי הכפר הירוק מסבירים לציבור המבקרים על מאכלסי בִּירְכַת חוֹרֹף (צילום : א. גזית, ינואר 2013)

פרק 3

מקרה בוחן - הצעת תכנון והערכה לקטע מכביש 9

מטרותיו של פרק זה הן להדגים את השימוש ב"ארגז הכלים" המוצע (פרק 2) ולהציע ולהדגים שיטה להערכה משווה של חלופות לתכנון מסדרונות כבישים.

הדגמת השימוש ב"ארגז הכלים" בוצעה במקרה בוחן, שהינו קטע קצר מכביש 9. שיטת ההערכה המשווה תודגם בשלוש חלופות תכנוניות לקטע כביש זה: א. חלופת מצב קיים (הכביש שבוצע על ידי חברת "דרך ארץ" בשנת 2004); ב. חלופה של תכנון מוקדם להרחבת הכביש על ידי חברת נתיבי ישראל (פברואר 2013); ג. חלופת תכנון מוצע של מערכת לניהול נגר על פי תובנות המחקר.

לצורך השוואה בין החלופות התכנוניות השונות שבמקרה הבוחן בקטע מכביש 9, מוצעת שיטת הערכה באמצעות מתן ציונים (Scoring) שבין 0-5 על בסיס רמת היישום של כל אחד מעקרונות התכנון המוצעים במחקר הנוכחי (ר' לעיל סעיף 2.3) בכל אחת מן החלופות. הציון אמור להינתן על פי חוות דעתם של מעריכים מומחים השופטים את מידת היישום של עקרונות התכנון: (0) העדר יישום; (1) יישום מזערי ועד (5) ליישום מירבי. ההנחה היא שכלל שעקרונות התכנון מיושמים ובמידה רבה יותר, גוברות התועלות האקולוגיות והחברתיות.

0	1	2	3	4	5
העדר יישום	מזערי	סביר	טוב	טוב מאוד	יישום מירבי

במקרה שלהלן ההערכה בוצעה על ידי לצורך הדגמה בלבד. מומלץ לבצע את ההערכה על ידי צוות מומחים הכולל הנדסת כבישים וקרקע, סביבה ואקולוגיה, תכנון עירוני ואזורי, ניהול משאבי מים וניקוז, אדריכלות נוף ואף אנשי מקצוע שעניינם חברה.

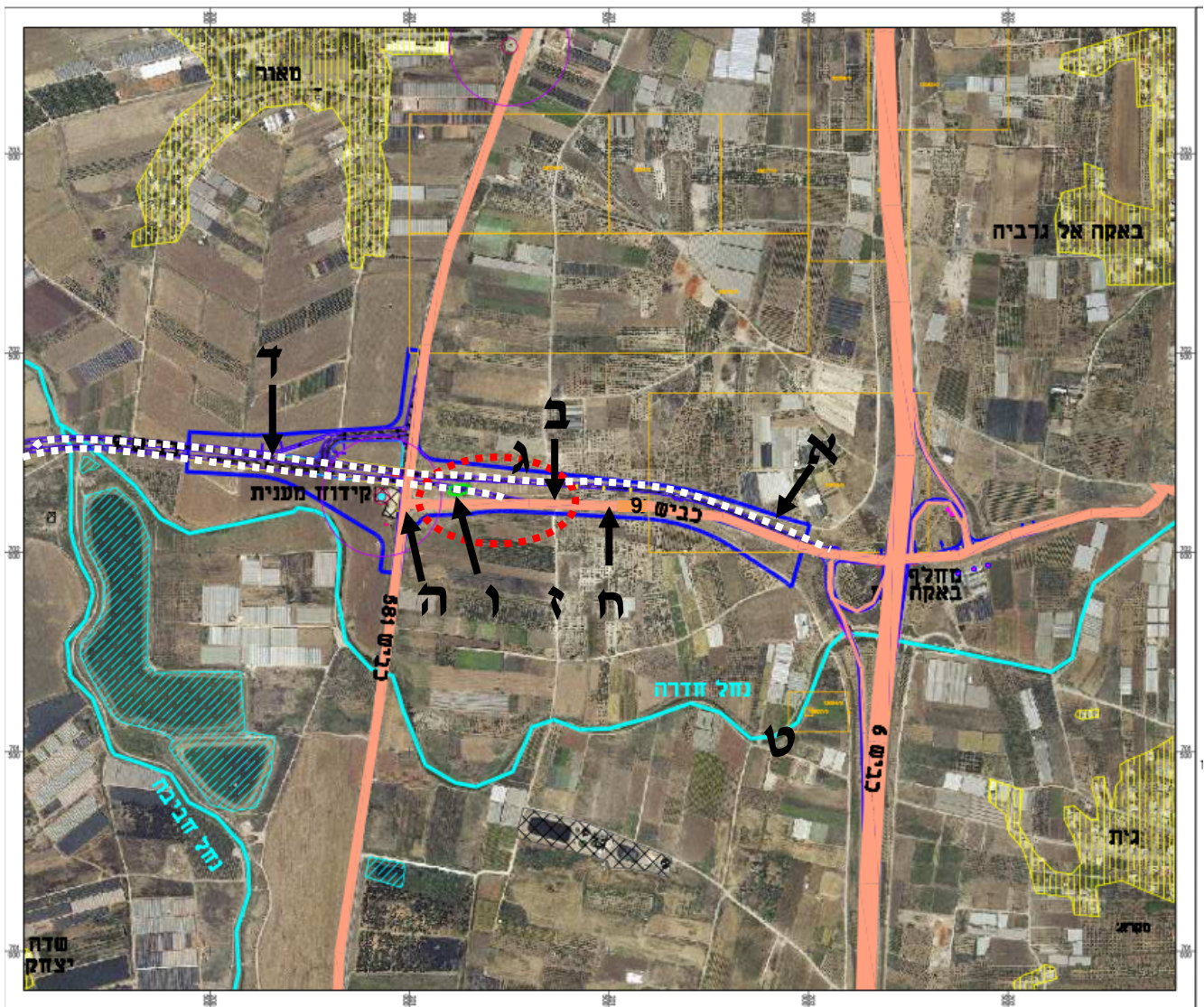
3.1 רקע ותאור הסביבה

קטע כביש 9 שנבחר למחקר ממוקם בעמק חפר, אזור השרון, בתחום שבין מחלף באקה-גית על כביש 6 ועד לצומת להבות חביבה שבמפגש כביש 9 עם כביש 581. הכביש הוקם בשנת 2004 כזרוע מערבית של מחלף באקה-גית שבכביש חוצה ישראל, מתוקף תמ"א 31/א / 17 (תכנית מתאר ארצית משולבת לבנייה, לפיתוח ולקליטת עלייה - דרכים, להבות חביבה עד דרך 65) שאושרה בשנת 1998 ושינוי 1 לתכנית משנת 2004. הוראות התכנית מציינות דרישה לשקול שיקולים סביבתיים בעת תכנון הכביש ובעת ביצועו, כדי "להגביר את ההשלכות החיוביות של הדרך ולמזער את הפגיעות ממנה" (תמ"א 31/א/17-דרכים, עמ' 9; משרד הפנים, 2013). מתוך קטע הכביש הנ"ל, נבחר במקרה בוחן המקטע שבין המעבר החקלאי הקיים לצומת חביבה, מפגש כבישים 9/581 (איור 33).

כביש 9 עובר במרחב מישורי, המשמש כיום לחקלאות. קיימות בו שלוש יחידות נוף מובחנות: נוף מטעים (בעיקר עצי זית) ממזרח לכביש 581, נוף שדות פתוחים ממערב לכביש 581 ותוואי נחל חדרה. הקרקע בעיקרה היא אלוביאלית (הראל וניר, 1985), חרסיתית, דקת גרגר (גודל גרגר כ-61

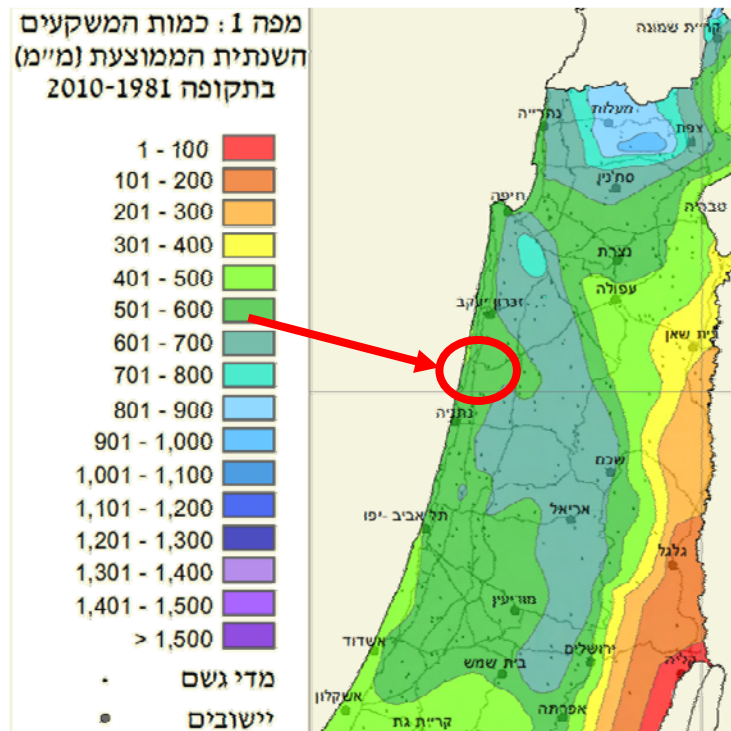
0.075), בעלת כושר ספיחת מים טוב, פלסטיות גבוהה (מתגבשת לרגבים קשים וחזקים לאחר ייבוש באוויר) ונחשבת לקרקע אטומה, מאחר שחלחול המים בין גרגריה איטי (צדקה ווינשטיין, 2008). חברות הצומח הטבעי, האופייני לאזור זה של החורש הים תיכוני של מישור החוף (הראל וניר, 1985), הן חברת החרוב וחברת אלון התבור (הלר ולבנה, 1982), איתן ניתן למנות גם את השיזף המצוי, אלת המסטיק וקידה שעירה (הלר ולבנה, 1982; שמידע ודרום, 1992). ניתן להזכיר מינים בולטים נוספים כמו שיזף השיח, קדד גדול פרי, שברק קוצני, עשבוניים כמו חטמית זיפנית, פרג אגסני ופרג סורי וגיאופיטים כמו כלנית מצויה ונורית אסיה (הלר ולבנה, 1982).

כמות המשקעים השנתית הממוצעת באזור זה היא 500-600 מ"מ גשם בשנה (איור 34).



איור 33 : תרשים סביבה ומיקום קטע כביש 9 שנבחר כמקרה הבוחן (מקור : דו"ח סביבתי, חברת "גיאופרוספקט" עבור חברת "נתיבי ישראל", יולי 2012)

מקרא : א - גבול התכנית (קו חול); ב- מיקום מעבר חקלאי; ג - קטע הכביש במקרה הבוחן (מוקף קו מקווקו אדום); ד - תוואי כביש 9 המתוכנן (קווקו לבן); ה- צומת חביבה; ו- בית גידול לח קיים (עיגול ירוק); ז- דרכים חקלאיות (קו לבן רציף); ח- כביש קיים (כתום); ט- נחל חדרה ונחל חביבה (קו טורקיז).
הערה : פירוט נוסף של מרכיבים מרכזיים, לאורך הכביש בקטע מקרה הבוחן, מוצגים באיורים 35-41)



איור 34 : כמות משקעים שנתית ממוצעת (מ"מ) בתקופה 1981-2010 בקטע מקרה הבוחן (מקור: מפות משקעים, השירות המטאורולוגי הישראלי

(<http://www.ims.gov.il/IMS/CLIMATE/ClimaticAtlas/RainMaps.htm>)

בשנת 2013 החלה חברת נתיבי ישראל בביצוע הרחבה של הכביש לדרך דו-מסלולית דו-נתיבית, הכוללת בין היתר תוספת סוללה מצפון וביטול חלק מהכביש הקיים. בתוך כך זיהינו **הזדמנות** שניתן לנצלה (עקרון א', סעיף 2.3) לשילוב מערכת טכנו-אקולוגית לניהול הנגר. הזדמנות זו נובעת משילוב מספר גורמים :

- א. ביטול חלק מהכביש הקיים בתחום מקרה הבוחן (איור 33, סימון באות ג') משאיר שטח פנוי וזמין מבחינה תכנונית, קניינית וסטטוטורית - שטח שבתחום זכות הדרך, אשר הופקע בעבר לצרכי הקמת הכביש ושאינו נדרש להרחבה עתידית של המחלף;
- ב. שמירה על מפרדה רחבה בין מסלולי הכביש המתוכנן וקיומם של שטחים לצדי הכביש ובתחום זכות הדרך, שהיקפם מאפשר לשחזר את יחידות הנוף שאפיינו בעבר את מישור החוף באזור השרון ושנעלמו כמעט כליל בשל הפעילות החקלאית במרחב;
- ג. מיקום מסדרון הכביש בלב רשת דרכים חקלאיות (איור 33, סימון באות ז') אשר משמשות גם כשבילי טיול ומאפשרות נגישות אל מוקד משיכה - נחל חדרה (איור 33, סימון באות ט), אשר נשמר בקטע זה בתוואי הטבעי והמפותל.
- ד. סמיכות קטע הכביש ליישובים מאור ושדה יצחק, שתושביהם יכולים להפיק ערך מוסף, באם יתוכנן מסדרון הכביש מתוך גישה התורמת להגברה של תועלות חברתיות.

3.2 חלופה א': הכביש הקיים⁵ (תכנון וביצוע על ידי חברת "דרך ארץ")

תוואי הכביש יורד בשיפוע מערבה, ממחלף באקה-ג'ית לכוון צומת חביבה במפגש עם כביש 581, על גבי סוללת עפר מלאכותית (כביש במילוי; איור 35).



איור 35: מבט אל קטע כביש 9 שנבחר למקרה הבוחן מכוון מערב למזרח. ניתן להבחין בשיפוע הכביש היורד ממזרח למערב (צילום: א. גזית, 2012)

שיפועי מדרונות הכביש נעים בין 1:2 ל-1:3 והם מחופים באדמה החרסיתית המקומית. "חספוס" פני המדרון הדרומי וייצובו בוצע על ידי פריסת רשת מחומר פלסטי ("גיאאו-ווב") ותכסית צמחיה עשבונית מלאה. ניתן להתרשם (איור 36) כי רשת הגיאאו-ווב המשמשת לייצוב המדרון, מעכבת התפתחות העשבוניים שעל פני המדרון, ושחלק מהאדמה שכיסתה אותו נגרפה.

הנגר הנוצר על מיסעת הכביש אינו זורם ישירות אל המדרונות אלא נקלט בחלקו במגלשים ובחלקו בקולטנים (ר' לעיל "מגרש המשחקים" בסעיף 2.1; איור 37), הממוקמים על פני מיסעת הכביש.

⁵ ניתוח קטע הכביש הקיים מתבסס על סיור באתר עם ד"ר אינג' אלכסנדר קורן ופרופ' אביטל גזית בתאריך 11.12.12 והשלמת מידע בעל פה מדפנה הלבין, מנהלת השיקום הנופי בחברת "דרך ארץ".



איור 36 : רשת "גאו-ווב" (geo-web) לייצוב המדרון הדרומי שנגרפה ממנה הקרקע (צילום : א. גזית, 2012)



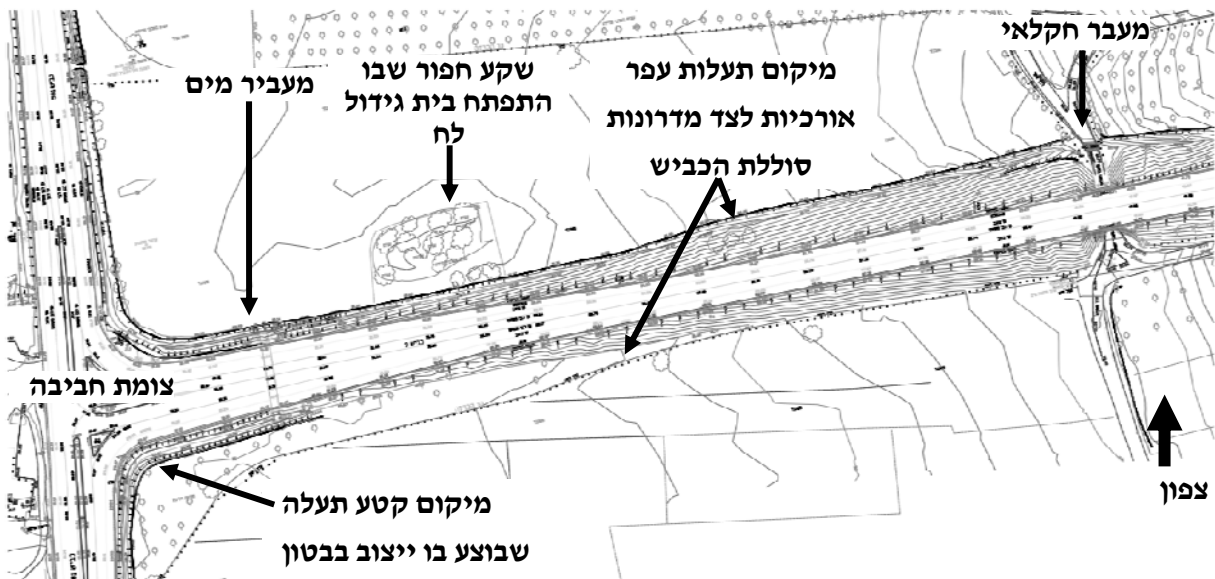
איור 37 : קולטנים (ללא כיסוי רשת המגן) עם אבן שפה הממוקמים לאורך מיסעת הכביש (צילום : א. גזית, 2012)

ממתקני הקליטה זורם נגר הכבישים אל תעלות עפר אורכיות (איורים 38, 39), המזרימות את המים בכוון כללי מזרח-מערב אל נחל חדרה. קיימת ייתכנות למתון זרימות והשהייה מקומית של נגר הנוצר וזורם על גבי המדרונות המגוננים ובתעלות העפר.



איור 38 : תעלת ניקוז (עפר) לאורך המדרון הצפוני של כביש 9 ובית הגידול הלח בקטע מקרה הבוחן (צילום : א. גזית, 2012)

שני מעברים תחתיים חוצים את הכביש לרוחבו (בכוון כללי צפון-דרום) : מעביר מים הממוקם קרוב לצומת, בנוי משני צינורות בקוטר של 120 ס"מ (איורים 39, 40), ומעבר חקלאי (איור 39, 41) המיועד לשמירה על רצף מערכת הדרכים החקלאיות באזור. סביר להניח שמעביר המים והמעבר החקלאי משמשים גם למעבר בעלי חיים.



איור 39 : סכמה של קטע מכביש 9 שבמקרה הבוחן חלופה א'. בית הגידול הלח מוצג באיור 39 (מקור : נתיבי ישראל ; מדידה של הכביש הקיים חלופה א', 2012)



איור 40 : מעביר המים העובר מתחת לכביש 9 בקטע המבחן, הבנוי משני צינורות בקוטר של 120 ס"מ (צילום : א. גזית, 2012)



איור 41 : דרך חקלאית לצד הכביש המובילה למעבר החקלאי שמתחת לכביש (בצד שמאל), מבט מהכביש (צילום : א. גזית, 2012)

במורד תעלת העפר שמדרום לכביש, במוצא מעביר המים לצד צומת חביבה, בוצע ייצוב בבטון (איורים 39, 42). דיפון קצה התעלה גרם לכך, שבעת אירועי גשם נקווים בתעלה מים, העומדים לזמן קצר ובשל כך התעלה הופכת למלכודת אקולוגית (ר' לעיל סעיף 1.1.3.2 ד').



איור 42 : ראשני קרפדה ירוקה בקצה התעלה שדופן בבטון וגרם להצטברות מים העומדים לזמן קצר. התעלה הפכה למלכודת אקולוגית (צילום : א. גזית, 2012 ; ר' לעיל סעיף 1.1.3.2 ד')

השיקום הנופי תוכנן על פי תפיסה של השתלבות בנוף החקלאי של גידולי השדה. לשם כך נשתלה חיטה ושולבו עצים בודדים (חרוב, שיזף ורימון). על פני המדרונות הסמוכים למעבר החקלאי נשתלו גפנים ושתילונים ("פלגים") של עשבוניים ממשפחת הדגניים, מסוג שעורת הבולבוסין. השקיית הצמחיה הופסקה לאחר התבססות הצמחיה והיא מתקיימת היום על מי גשמים בלבד.

במסגרת הקמת הכביש נחפר בור (בור "שאיילה") מצפון לצומת 9/581, ממנו נלקחה קרקע לצרכי הקמת הכביש, והוחלט להשאירו כבריכת חורף (איור 33 ; בית הגידול הלח מסומן באות ו'). על פי דו"ח סביבתי של חברת "גיאופרוספקט", שהוכן במסגרת התכנון המוקדם של הכביש (עבור חברת "נתיבי ישראל", יולי 2012), מי גשמים נקווים בבור בעונת הגשמים והתפתחה בו צמחיה המאפיינת סביבות לחות, דוגמת עצי אשל, קנה, שנית ושיח אברהם. צמחים אלה הגיעו באופן טבעי, התבססו והתפתחו במקום. לא נערכה בדיקה באשר לקיומם של מיני בעלי חיים מאכלסי שלולית חורף. למרות ייחודו של בית הגידול הלח, לא שולבו אמצעים להנגשתו למבקרים.

בטבלה 1 נבחן באיזו מידה העקרונות התכנוניים, המוצעים במחקר הנוכחי, באים לידי ביטוי בחלופה א'.

טבלה 1: חלופה א' - מצב קיים: תיאור האמצעים שננקטו וציון יחסי לרמת היישום של עקרונות התכנון המוצעים במחקר הנוכחי

מס'	עקרון תכנוני (סעיף 3.3)	אמצעים תכנוניים (תכנון חלופה א')	ציון
א.	זיהוי וניצול הזדמנויות לבניית מערכות טכנו-אקולוגיות התורמות לקידום שירותי המערכת האקולוגית	בוצע מעבר חקלאי כחלק מתפיסה של שמירה על קישוריות במרחב (סעיף 2.1 ג'); בור שאילה הושאר להתפתחות בית גידול לח עונתי (סעיף 2.1 ד') אך ללא נגישות אליו; תעלות הכביש בוצעו כתעלות עפר (סעיף 2.1 סעיף ה'). הנגר הזורם בן אינו מגיע אליהן דרך המדרונות המגוננים.	3
ב.	מיתון והשהייה של זרימת נגר	שולבו תעלות עפר וצמחיה על גבי המדרונות התורמים למידה מסוימת של מיתון והשהייה.	2
ג.	שימוש במשאבים טבעיים מקומיים, ביוטיים ואביוטיים	החיפוי העליון בוצע בקרקע חרסיתית מקומית ונעשה שימוש בצמחיה מקומית על גבי המדרונות. לאורך הכביש שולבו תעלות עפר. שאר מרכיבי המערכת (סעיף 2.1 "מגרש המשחקים") בוצעו בבטון. על המדרונות נפרסה רשת פלסטיק.	4
ד.	הגברת מורכבות מבנית	לא הועצמה מורכבות מבנית, למעט זו המתקבלת בסוקצסיה טבעית של צומח חד שנתי באביב וצמחיה שהתפתחה בבית הגידול הלח.	1
ה.	שמירה על רצף פיזי ליצירת קישוריות	נוצרה אפשרות לקישוריות באמצעות תעלות העפר שלאורך הכביש; הובטחה חצייה בטוחה מצד אחד של הכביש לצידו השני באמצעות מעביר מים ומעבר חקלאי, אך במעברים אלה לא תוכננו מחסות לבעלי חיים.	3
ו.	יצירת ערכים מוספים חברתיים	מזעור הפגיעה הויזואלית של הכביש על הסביבה באמצעות הצמחיה, אך סוללת הכביש חריגה בנוף המישורי; שילוב מעבר חקלאי התומך בפעילות מטיילים ומסייע לשמור על הקשר בין הישובים בסביבה אל נחל חדרה; ללא נגישות לבית הגידול הלח וללא תרומה לחינוך ולימוד.	2
ז.	שימוש באמצעים רב תכליתיים	רק מעט מן האמצעים מרובי מטרות - שימוש בצמחיה ובתעלות עפר לתכלית מגוונות של שימור קרקע, איכויות חזותיות ושמירה על קישוריות.	2
ח.	התאמת האמצעים לנתונים המיוחדים לאתר	ר' לעיל סעיף ג'	4
ט.	חתירה לאיזון בין עלויות של הקמת מערכת לניהול נגר ותחזוקתה לתועלות המופקות ממנה	עלות ביצוע גבוהה יחסית לחלופות שממשאבים טבעיים כתוצאה משימוש במגלשי בטון עם אבני שפה, ייצוב מדרונות ברשת גאו-ווב, צינורות וקולטני בטון. נדרשת תחזוקה מינימאלית של הסדרת שיפועים בתעלות עפר וכיסוח עשבייה לפחות פעם בשנה. לא נדרשת תוספת השקיעה לאחר התבססות הצמחיה.	3

3.3 חלופה ב': תכנון מוקדם להרחבת הכביש (תכנון על ידי חברת "נתיבי ישראל")⁶

התכנון המוקדם של הרחבת הכביש על ידי חברת "נתיבי ישראל" (חלופה ב'; איור 43) לדרך דו-מסלולית ודו-נתיבית כולל תוספת סוללה חדשה מצפון לסוללה הקיימת, עבור מסלול נסיעה בכוון כללי מזרח-מערב (איור 33 סימון די). בין המסלולים מתוכננת מפרדה רחבה מגוננת ברובחב 30-3 מ'. הסוללה החדשה תכסה ותבטל את בית הגידול הלח, שנוצר בעת הקמת הכביש בחלופה א'. מדרונות הכביש הצפוניים והמפרדה מתוכננים בטווח שיפועים שבין 1:2 ל-3:1. מדרונות הכביש הדרומיים מתוכננים על פי הצרכים ההנדסיים בשיפוע של 1:2. על פני המדרונות ובשטחים שיופרו במהלך העבודות מתוכנן חיפוי של קרקע חרסיתית שמקורה בחישוף עליון.

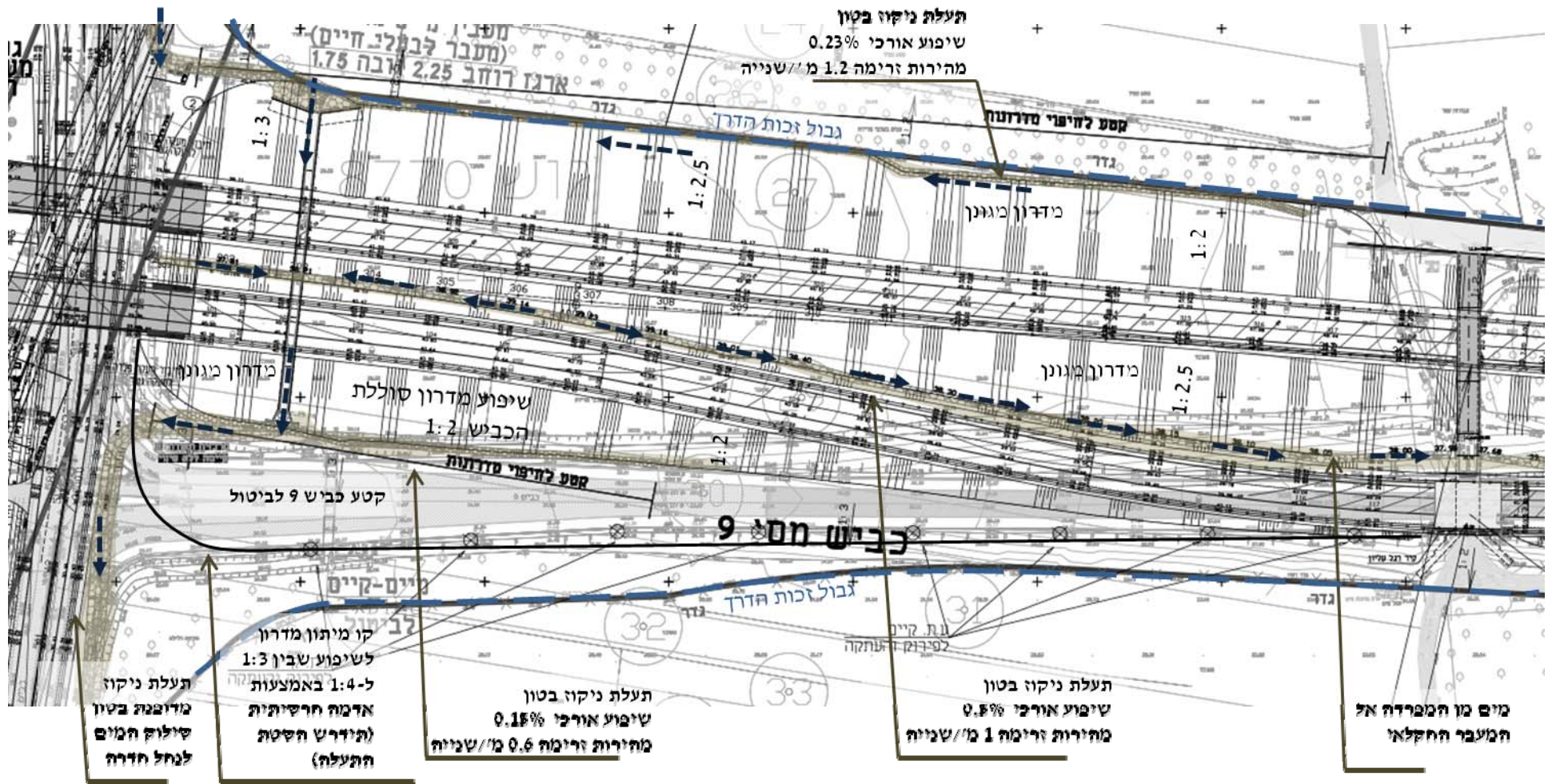
חלקו הדרום-מערבי של הכביש הקיים (מעט מערבה אחרי המעבר החקלאי) יפורק ויותר שטח יחסית נרחב בתחום זכות הדרך, שיאפשר למתן שיפוע המדרון עד ל-3:1-4:1 באמצעות תוספת של קרקע חרסיתית מקומית. כמות הקרקע מחישוף עליון בתחום הפרויקט, הנדרשת גם לצורך מיתון המדרון וגם לשיקום שטחים מופרים כפי הנראה לא תספיק, ולכן הוצע לנצל הזדמנות להשתמש בעודפי קרקע שמקורם בעבודות להרחבת כביש 6 הסמוך (בקטע שבין מחלף באקה-ג'ת לבין מחלף ניצני עוז). עבודות אלה תתבצענה במקביל לביצוע הרחבת כביש 9 והקרקע העודפת מכביש 6 מתאימה, שכן היא בעלת אותם מאפיינים פיזיים וצומחת בה צמחיה אופיינית לאזור.

"חספוס" המדרונות מתוכנן באמצעים ביוטיים - תכסית צמחיה מלאה ומגוונת, חלקה מקומית, הכוללת שתילת עצי זית בתוספת ברושים בודדים, ותכסית צמחיה עשבונית בשילוב גיאופיטים ופרחי בר. מצד דרום מערב, כלפי נחל חדרה, מתוכננת שתילת עשבוניים (כמו נשרן הדוחן, זקנון), בשילוב כתמים של צמחיית נחלים ועצי חרוב, שיזף ותות בודדים על גבי מדרונות הכביש.

מלבד מדרונות הכביש המגוננים שאר מרכיבי מערכת הניקוז יבוצעו מבטון. נגר מן המיסעה ייקלט במתקני קליטה מבטון שלאורך הכביש ומהם יזרום אל תעלות הכביש, המתוכננות כתעלות טרפזיות מחופות בבטון, ומהן ינותבו המים בתעלות מדופנות בטון אל נחל חדרה (כיווני הזרימה מתוארים באיור 43 באמצעות חיצים). הסיבה לדיפון בטון בתעלות היא השיפוע האורכי המתון שלהן (מפרדה כ-0.5%; תעלה דרומית 0.23%; תעלה צפונית 0.15%) וטווח מהירויות זרימה מתוכנן של 0.6-1.2 מ/שנייה, הגורמים לחשש מפני חלחול המים אל סוללת הכביש. חלק מהנגר שיוותר במפרדה יזרום אל המעבר החקלאי, שמתוכנן לתפקד גם כמעביר מים.

תוספת סוללת כביש מחייבת הארכת המעבר החקלאי ומעביר המים הקיימים. הארכה זו תאפשר שמירה על רצף התנועה מצפון לדרום עבור חקלאים, מטיילים ובעלי חיים. המעברים התחתיים הללו מתוכננים עם רצפת בטון ללא שילוב משאבים טבעיים או מחסות לבעלי חיים בכניסה אליהם.

⁶ התייחסותי לתכנית הכביש ומערכת הניקוז על בסיס מידע משלב התכנון המוקדם (פברואר 2013) שהתקבל מהנהלת הפרויקט חברת א. ספיבק, מתכנתת הכביש אינג' ג. רוזן ומתכנן הניקוז אינג' א. ויינשטיין מחברת נ.ו.א.ג. (עבור חברת "נתיבי ישראל").



איור 43: סכמה של קטע מכביש 9 בקטע שבמקרה הבוחן חלופה ב' (מקור: משרד גבי רוזן עבור חברת נתיבי ישראל, פברואר 2013)

בטבלה 2 נבחן באיזו מידה התכנון המוצע להרחבת הכביש על ידי חברת "נתיבי ישראל" (חלופה ב') תואם לעקרונות התכנוניים המוצעים במחקר הנוכחי.

טבלה 2: חלופה ב' - תכנון מוקדם להרחבת הכביש על ידי חברת "נתיבי ישראל": תיאור האמצעים שנקטו וציון יחסי לרמת היישום של עקרונות התכנון המוצעים במחקר הנוכחי

מס'	עקרון תכנוני (סעיף 3.3)	אמצעים תכנוניים (תכנון חלופה ב')	ציון
א.	זיהוי וניצול הזדמנויות לבניית מערכות טכנו-אקולוגיות התורמות לקידום שירותי המערכת האקולוגית	תוכנן מיתון המדרון הדרומי (סעיף 2.1 ב') לצורך הגברת שימור קרקע ולהשתלבות ויזואלית של סוללת הכביש בנוף העמק. לא זוהו או נוצלו הזדמנויות נוספות ליצירת מערכת טכנו-אקולוגית.	1
ב.	מיתון והשהייה של זרימת נגר	תוכנן מיתון מסוים של שיפועי המדרונות ו"חספוס" של פני הקרקע במדרונות באמצעות כיסוי צמחיה מגוונת.	2
ג.	שימוש במשאבים טבעיים מקומיים, ביוטיים ואביוטיים	החיפוי העליון על פני המדרונות מתוכנן בקרקע חרסיתית מקומית בשילוב עם צמחיה, שבחלקה מקומית. ללא שימוש במשאבים טבעיים בשאר מרכיבי המערכת.	1
ד.	הגברת מורכבות מבנית	העצמת המורכבות המבנית מתוכננת באמצעות צמחיה מגוונת על פני המדרונות בלבד. נגר הכביש אינו זורם דרכה	1
ה.	שמירה על רצף פיזי ליצירת קישוריות	השמירה על הקישוריות תתאפשר באמצעות הארכת מעביר המים והמעבר החקלאי, שיאפשרו חצייה בטוחה מצד אחד של הכביש לצידו השני, אך במעברים אלה לא תוכננו מחסות לבעלי חיים.	3
ו.	יצירת ערכים מוספים חברתיים	השיקום הנופי של הכביש מתוכנן למזעור הפגיעה הויזואלית של הכביש על הסביבה. תכנון הארכת המעבר החקלאי יסייע לתמיכה בפעילות מטיילים ולשמירת הקשר בין הישובים בסביבה אל נחל חדרה. לא תוכננו אמצעים בעלי תרומה לחינוך וידע.	2
ז.	שימוש באמצעים רב תכליתיים	תכנון המדרונות בלבד הכולל צמחיה מגוונת ומיתון שיפועים, מכוון לתכלית של שימור קרקע, ואיכויות חזותיות.	2
ח.	התאמת האמצעים לנתונים המיוחדים לאתר	ר' לעיל סעיף ג'	5
ט.	חתירה לאיזון בין עלויות של הקמת מערכת לניהול נגר ותחזוקתה לתועלות המופקות ממנה	עלות הביצוע הכוללת בנייה של תעלות בטון, מגלשי בטון עם אבני שפה, קולטנים וצינורות בנויים, נחשבת גבוהה יחסית לחלופה של שימוש באמצעים ממשאבים טבעיים. עלות זו אינה תורמת להגברת התועלות האקולוגיות והחברתיות. כמו כן צפויה עלות נוספת של ייבוא קרקע לצורך מיתון מדרונות; עלות התחזוקה צפויה להיות נמוכה בשל השימוש במתקנים מבטון ושימוש בצמחיה מקומית שאינה דורשת תוספת השקיה לאחר התבססות.	3

3.4 חלופה ג': תכנון מוצע להרחבת הכביש על פי תובנות המחקר⁷

חלופה ג' הינה הצעה לשימוש ב"ארגז כלים" ייעודי לניהול נגר (ר' לעיל פרק 2). חלופה זו מתבססת על התכנון העקרוני המוקדם של הרחבת כביש 9 על ידי חברת "נתבי ישראל" (חלופה ב'), הצעת התכנון (איורים 44-46) היא לנצל את ההזדמנויות הקיימות (ר' לעיל סעיף 2.1) ולהוסיף במרכיבי המערכת, שבתחום "מגרש המשחקים" (ר' לעיל סעיף 2.1), אמצעים להגברת תועלות אקולוגיות וחברתיות. אמצעים אלה בנויים ממשאבים טבעיים, שהם רב תכליתיים ובעלי מורכבות מבנית. האמצעים הנוספים ששולבו בתכנון המערכת המוצעת בחלופה ג' הינם:

- א. "חספוס" המדרונות באמצעות סלעים והחלפת מגלשי בטון במגלשי עשב (איורים 12, 13) או מגלשים משברי אבן (איור 9), בנוסף על הצמחיה המגוונת שמתוכננת על ידי חברת "נתבי ישראל" (חלופה ב').
- ב. "חספוס" התעלות בתוואי זרימת הנגר על-ידי תכנון תעלת עשב רחבה מדרום (איור 14) ותעלת עשב מצפון (איור 16), בהן משולבים סכרוני אבן הבנויים כגל אבנים (איור 20). בנוסף, מוצע לשלב בתחתית המגלשים שברי אבנים להגברת ה"חספוס". על מנת לשלב את האמצעים הנ"ל בתעלות, מוצע לשנות את גבהי הקרקע בתחתית המדרונות שבחלופה ב', ולהתאים את השיפוע האורכי של התעלות שבתחתיתם לטווח הנדרש לשילובם (ר' לעיל סעיף 2.4 ה').
- ג. הגבהה של הגדה הדרומית של תעלת העשב הרחבה ויצירת סוללת עפר (איור 46), בכדי לאפשר ניצול מיטבי של הנגר בתחום מסדרון הכביש, למנוע זרימתו מהתעלה אל השדה הסמוך ולנתב אותו אל מערכת אגני השהייה (ר' להלן סעיף ד').
- ד. שילוב מערכת אגנים בשטח שמתפנה כתוצאה מפירוק קטע הכביש בצד הדרום מערבי - שילוב אגן השהייה יבש לשיקוע מזהמים (סעיף 2.4 ט') ממנו יזרמו המים בגרביטציה אל אגן השהייה רטוב שיתוכן כבריכת חורף (ר' לעיל סעיף 2.4 י'; סעיף ה' להלן). אגן השהייה היבש ידופן באבנים ויתוכן לריקון בתוך 48 שעות, כדי למנוע היווצרות מלכודת אקולוגית (ר' לעיל סעיף 1.1.3.2 ד').
- ה. תוספת אגן השהייה רטוב - בריכת חורף (ר' לעיל סעיף 2.4 י'). מוצע לתכנן את בריכת החורף כמוקד ביקור המעשיר את חווית הטיול באזור באמצעות שביל מוצל בצל עצים, שיבנה על גבי סוללת העפר שתוארה בסעיף ג' לעיל. שביל המטיילים ילווה את תוואי זרימת המים וישולב עם תוכן חינוכי בצורת שלטי הסברה על מרכיבי המערכת ותפקודם (איור 31). בהמשך לשביל הגישה, בצד אחד של בריכת החורף, ניתן להציב ספסלים ומקום לתצפית (איור 29). מתקנים אלה יוכלו לשרת גם פעילות של סיורים מודרכים (איור 32). הזמנת הציבור לבקר בבריכת חורף הסמוכה לכביש בינעירוני מחייבת לשלב אמצעי בטיחות למניעת טביעה (איור 30) ולמניעת גישה אל הכביש בהתאם להנחיית גורם מקצועי מתאים.
- ו. תוספת מעביר מים צינורי תחת כביש 581 (במורד קטע המבחן; איור 44) להזרמת עודפי מים מבריכת החורף אל נחל חדרה, שיתוכן כמעבר בעלי חיים שיאפשר קישוריות בין בריכת החורף לבין הנחל.

⁷ גיבוש ההצעה למערכת טכנו-אקולוגית לניהול הנגר במחקר הנוכחי, נערך בסיוע ד"ר אינג' אלכסנדר קורן.

ז. תוספת מעביר מים לצד המעבר החקלאי (איור 44) שיקלוט נגר מהמפרדה (מכוון מעלה סוללת הכביש במחלף באקה-ג'ית), בעבור מניעת זרימת מים אל תוך המעבר החקלאי, וכפתרון העשוי להבטיח תפקודו של המעבר החקלאי למעבר מטיילים בכל ימות השנה. מעביר מים זה ניתן לבצע בשיטה של דחיקה תחת הכביש הקיים, כדי להימנע מהפרעה לתנועה ופגיעה במבנה כביש.

ח. מוצע לשלב שברי אבן וצמחיה בכניסה וביציאה של מעבירי המים, בתוספת דרגש לתנועת בע"ח יבשתיים בעת זרימת מים דרך המעביר (איור 45) לצורך חיזוק תפקודם כמעברי בע"ח.

בהשוואה לתכנון בחלופות א' ו-ב', התכנון בחלופה ג' מנצל באופן מיטבי את נגר הכבישים לתועלות אקולוגיות וחברתיות. לחלופה ג' עלויות כלכליות נוספות של ייבוא קרקע לצורך מיתון מדרונות ושל סלעים ואבנים שאינם נמצאים באופן טבעי באזור, שילוט הסברה, אמצעי בטיחות ותוספת מעביר מים בשיטת דחיקה. בנוסף, צפוי שתידרשנה פעולות תחזוקה של כיסוח עשבייה בתעלות בתדירות של פעם-פעמיים בשנה. אחת למספר שנים ייתכן ויידרש פירוק הסכרונים לצורך ניקוי משקעים והצבתם מחדש, ובדומה באגן ההשהייה היבש.

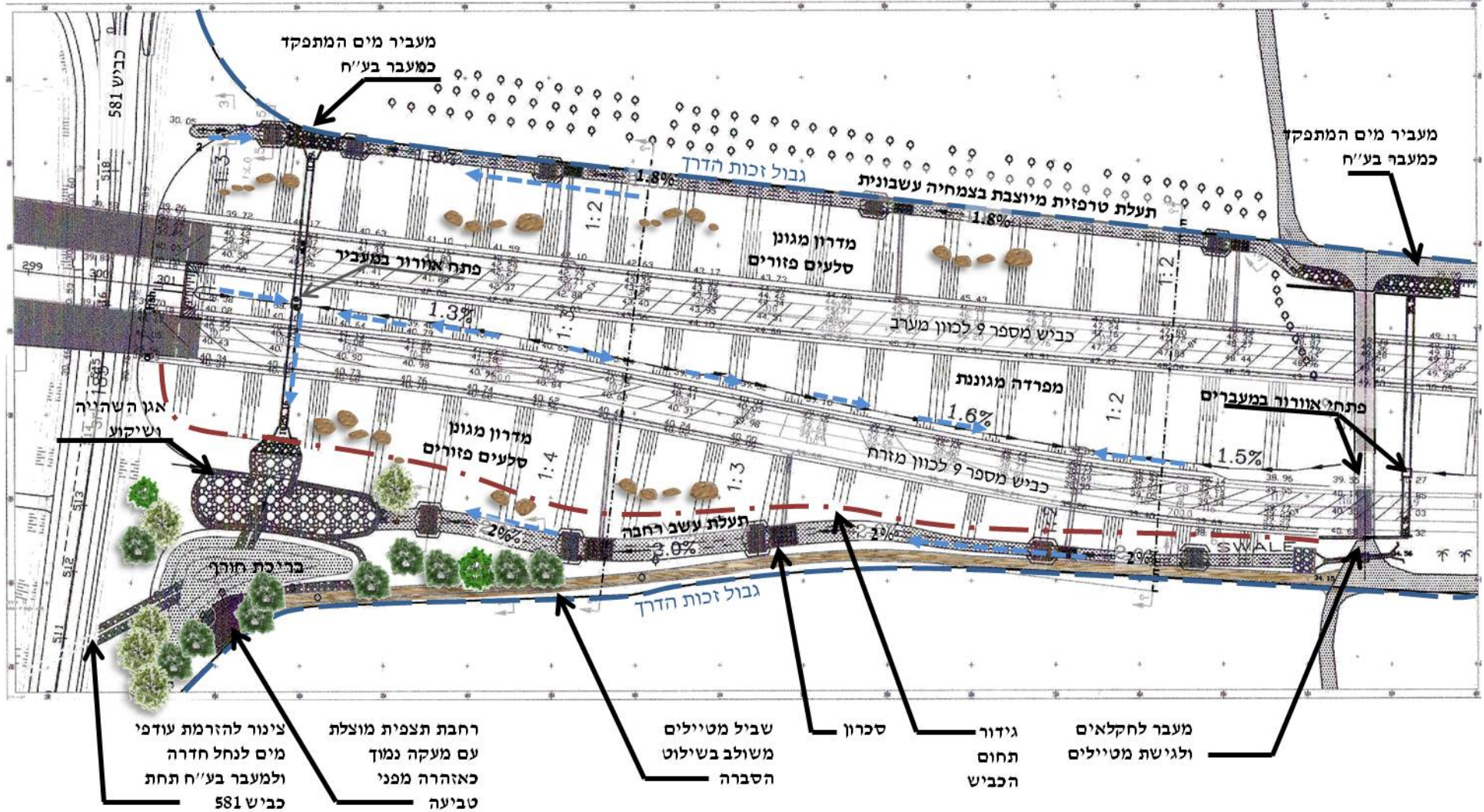
ההצעה לשלב אגן השהייה רטוב של בריכת חורף (ר' לעיל סעיף 3.4 ה') מחייבת בחינה של כמויות המים הצפויות להזין אותה מהשטח התורם ולהבטיח שמשך קיום המים בה רציף, לפחות ארבעה חודשים, כדי לעמוד בדרישות מאכלסי המים (ר' לעיל סעיף 2.4 י').

במסגרת מקרה הבוחן נערכה בחינה ראשונית של זמינות מי נגר לבריכת חורף. הבריכה המוצעת ממוקמת במורד קטע המבחן בצד הדרומי על חשבון קטע הכביש שמתבטל (איור 43). שטח בריכת החורף המתוכננת במקרה הבוחן הוא 1500 מ"ר ועומקה משתנה בהדרגה בין 0-1.5 מ' (איור 26). לצורך הדגמת החישוב נלקחה בריכה שהעומק הממוצע בה הוא 1 מ', ולכן נפחה 1500 מ"ק. גודל הבריכה שנבחר הינו הגודל המינימאלי עבור בריכת חורף כפי שהוגדר על ידי גזית וחוב' (2004) ומתאים לקנה המידה של השטח הזמין עבור הקמתה.

בחישוב כמויות המים שינותבו אל בריכת החורף נבחנת אפשרות שתרומת הכביש בלבד תספק את כמות המים הדרושה (מיסעת האספלט עליה נוצר נגר הכבישים). ההנחה היא שאיבודי המים מהכביש בחלחול זניחים. אמנם, לא כל כמות נגר הכבישים זמינה עבור בריכת החורף, שכן הגברת מורכבות המערכת לניהול הנגר והגברת מיתון והשהייה של הנגר הזורם בה צפויים להקטין את כמות המים הזמינים לבריכת החורף. למרות זאת, חישוב כמות המים המגיעה לבריכה הוא שמרני שכן כל תרומה מאגן הניקוז, מעבר לנגר הכבישים, תשפר את מאזן המים בבריכה.

אורך קטע הכביש היורד בשיפוע אחיד ממזרח למערב, לכוון שטח הבריכה, הוא כ- 500 מ'. רוחב מיסעה (משטח האספלט ושוליו המהודקים) בשני נתיבים הוא 26 מ' ולכן השטח ממנו נאספים מי הגשמים הוא כ- 13,000 מ"ר. כמות הנגר הנוצר על פני המיסעה חושב כמכפלת השטח התורם בכמות הגשם באזור.

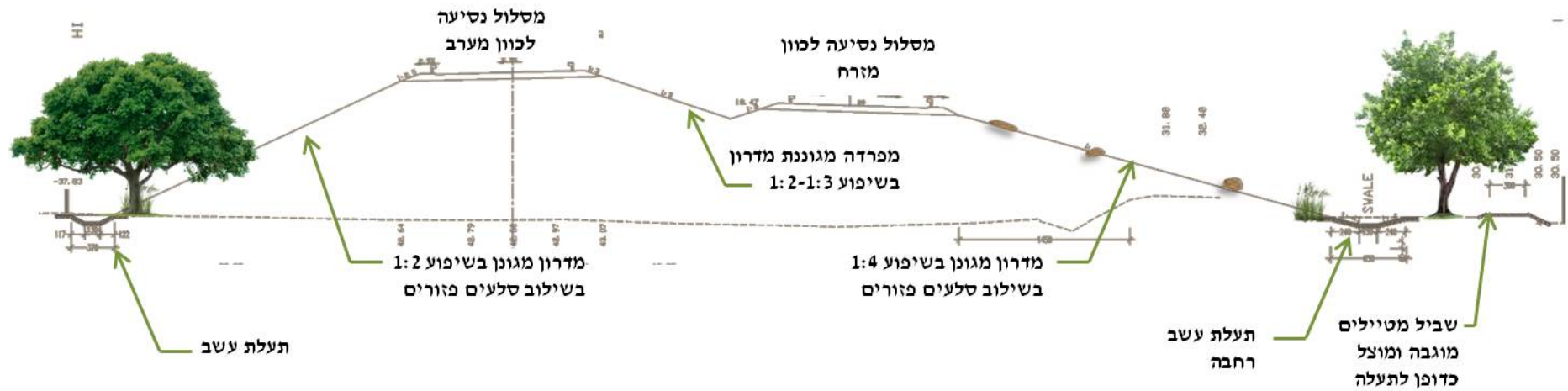
המידע לגבי כמויות הגשם בחודשי החורף התקבל מן השירות ההידרולוגי, האגף לשימור קרקע במשרד החקלאות. דוגמא לחישוב שבוצע עבור מקרה הבוחן מפורטת בנספח 2.



איור 44 : סכמה של חלופה ג' (מקרה הבוחן) בו מוצגת מערכת מוצעת לניהול נגר על פי תובנות המחקר (בסיוע אינג' אלכסנדר קורן, א.א. מדרונות והנדסה בע"מ)



איור 45 : מעביר מים המתוכנן כמעבר לבע"ח (Trocmé, 2006)



איור 46 : סכמה של התכנון המוצע בקטע כביש 9 חלופה ג' - חתך לרוחב

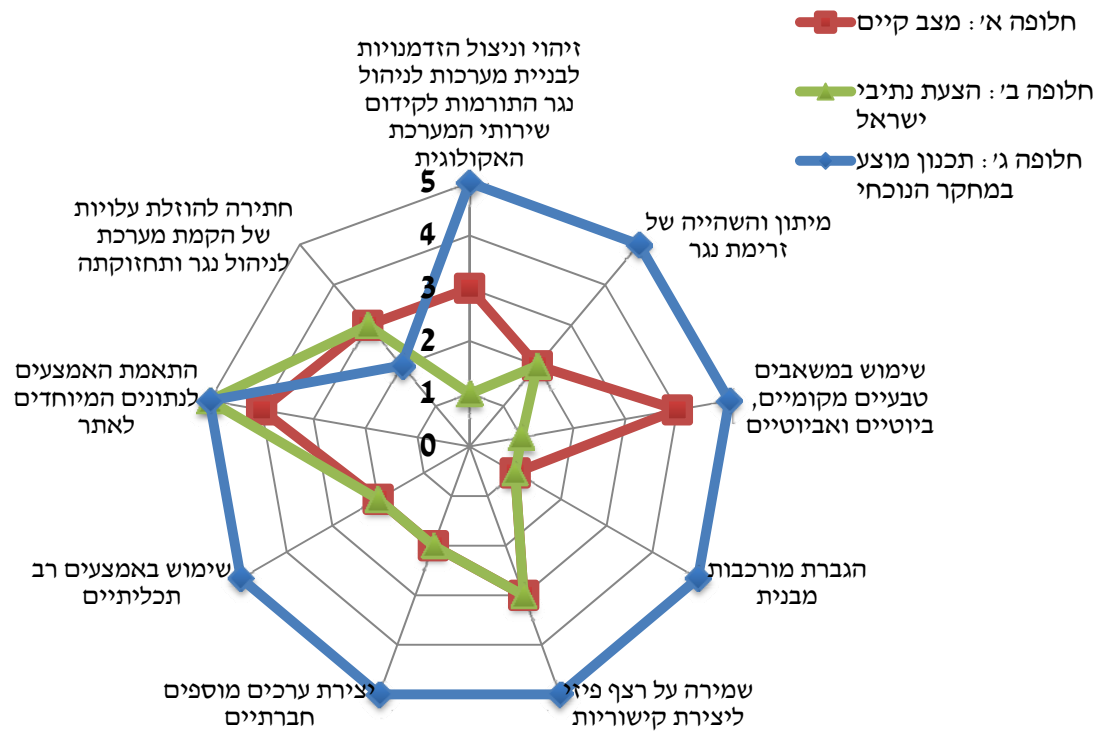
3.5 השוואה בין החלופות התכנוניות

הערכה משווה, של הציונים היחסיים על בסיס רמת היישום לשלוש חלופות התכנון, מוצגת בטבלה 3. ההסברים לציונים הוצגו לעיל. יש לציין כי ההערכה כאן נועדה לצורך הדגמה בלבד. בהתאם לגישה המוצעת במחקר הנוכחי (ר' לעיל סעיף 2.1) נדרש לבצע את ההערכה על ידי צוות רב-תחומי של מתכננים-מומחים.

טבלה 3: הערכה משווה של חלופות תכנוניות (א', ב', ג') של מקרה הבוחן בקטע כביש 9

מס'	עקרון תכנוני מתוך "ארגז הכלים"	חלופה א': מצב קיים	חלופה ב': הצעת נתיבי ישראל	חלופה ג': תכנון מוצע במחקר הנוכחי
א.	זיהוי וניצול הזדמנויות לבניית מערכות לניהול נגר התורמות לקידום שירותי המערכת האקולוגית	3	1	5
ב.	מיתון והשהייה של זרימת נגר	2	2	5
ג.	שימוש במשאבים טבעיים מקומיים, ביוטיים ואביוטיים	4	1	5
ד.	הגברת מורכבות מבנית	1	1	5
ה.	שמירה על רצף פיזי ליצירת קישוריות	3	3	5
ו.	יצירת ערכים מוספים חברתיים	2	2	5
ז.	שימוש באמצעים רב תכליתיים	2	2	5
ח.	התאמת האמצעים לנתונים המיוחדים לאתר	4	5	5
ט.	חתירה לאיזון בין עלויות של הקמת מערכת לניהול נגר ותחזוקתה לתועלות המופקות ממנה	3	3	2

על מנת להקל את השוואת הציונים של החלופות מוצע שימוש ב"דיאגרמת רשת קורי העכביש" (Spider web Diagram) (איור 47). אימצנו דרך תצוגה זו מעבודה שנעשתה בהקשר של ערים מקיימות באירופה (Reference Framework for European Sustainable Cities, 2012). על פי פרסום זה לדיאגרמת "רשת קורי העכביש" מספר יתרונות: א. מאפשרת הצגה אינטגרטיבית של משתנים רבים ושל מגוון השיקולים והעקרונות התכנוניים במבט אחד; ב. מתאימה לייצוג מידע רב מימדי - של חלופות שונות לאותה תכנית או הערכות שונות המתקבלות ממומחים בתחומי תכנון שונים לאותה חלופה, מאפשרת לזהות פערים בגישות מקצועיות ואף פערי ידע עבורם נדרש המשך בחינה; ג. ממחישה את מכלול השיקולים והפשרות (tradeoff) כאשר נדרשת העדפת שיקול תכנוני אחד על פני אחר. בכך יוצרת דיאגרמה זו סינרגיה של המידע כרקע לקבלת החלטות.



איור 47: הצגת תוצאות ההערכה המשווה בין החלופות התכנוניות באמצעות דיאגרמת "רשת קורי העכבישי"

בהשוואה בין חלופה א' (מצב קיים) לבין חלופה ב' (תכנון על ידי "נתיבי ישראל") ניתן לראות שביחס לעקרונות של שימוש במשאבים טבעיים וזיהוי וניצול הזדמנויות, מקבלת האחרונה ציונים נמוכים יותר. זאת מכיוון שבחלופה זו מתוכננת הרחבת הכביש ומצמצמת את השטחים הפתוחים שבתחום זכות הדרך של הכביש. ניתן להניח שבשל השטח המצומצם שצפוי להישאר והדרישה להתאים את התכנון לדרישות הקיימות לתכנון הניקוז (החברה הלאומית לדרכים, 2008) בוטלו תעלות העפר ובמקומן תוכננו תעלות בטון, ולא ניתן היה לנצל ההזדמנויות שזוהו במחקר הנוכחי (ר' סעיף 3.1 לעיל).

ביחס לעקרון של מיתון והשהייה של זרימת נגר, קיבלו חלופות א' וב' הערכה דומה. בחלופה א' בשל זרימת נגר הכביש אל תעלות עפר ובחלופה ב' בשל מיתון המדרונות. למרות זאת, לחלופה א' יתרון אקולוגי של שיפור איכות המים הנעדר בחלופה ב', שבה לא מתוכננת הזרמת נגר הכביש ישירות מן המסעה אל המדרונות.

מאחר ובחלופה ג' שולבו מירב האמצעים שב"ארגז הכלים" והיא תוכננה בהתאמה לעקרונות התכנוניים, המשמשים כאן בסיס להערכה, אין זה מפתיע שהיא בעלת ההערכה הגבוהה ביותר. לחלופה זו מחיר כלכלי של עלויות גבוהות יותר בביצוע ובפעולות התחזוקה, כאשר המרכיב העיקרי המייקר את עלויות הביצוע הינו כפי הנראה תוספת מעביר מים. ללא מרכיב זה ניתן להניח שחלופה ג' לא תהיה יקרה משמעותית מחלופות א' וב', שכן בחלופה זו גדלה אמנם עלות התחזוקה אך ביצוע מרכיבי המערכת ממשאבים טבעיים נמוכה מעלות השימוש בבטון. בנוסף, יש לבחון את העלויות הכלכליות הנוספות אל מול שיקולי הערך המוסף של התרומה האקולוגית והחברתית, בכלל זה שירותים שלא ניתן להם ערך כלכלי מובהק (ר' סעיף 1.1.3 לעיל).

פרק 4

דיון ומסקנות

ייחודה של עבודה זו הינו בבניית גשר בין-תחומי, המתבר בין ידע אקולוגי לבין מעשה תכנוני והנדסי, בהקשר של תכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים וניהול הנגר הזורם במ.

הרעיונות המוצעים במחקר, שלפיהם נגר הכבישים יכול לשמש לעיצוב הנוף ולעידוד תפקודים אקולוגיים במסדרונות כבישים (e.g., van Bohemen, 2004), וכמשאב בלתי נדלה לקיומן של בריכות חורף (אלרון, 2007), אינם רעיונות חדשים. אולם כדי להצדיק את השימוש במ ישראל יש להתייחס תחילה לסוגיית איכות הנגר מכבישים והתאמתה לשימושים כמו בריכת חורף. מחקרים רבים מחו"ל הצביעו על זיהומים במי נגר, אולם חוקרים של איכות מי נגר בישראל (Asaf et.al., 2004; אלרון, 2007; גזית ומילשטיין, 2011) לא מצאו שאיכותם נמוכה ופוגעת במאכלסי בריכות חורף. אמנם מחקרים שנעשים בתנאי מעבדה מראים לעיתים מזומנות תוצאות שונות מתצפיות בשדה; זאת משום שבניסוי מעבדתי היצורים החיים חשופים לריכוזים קבועים שעלולים לפגוע במ, בעוד שבטבע נשטפים מקווי המים על ידי הגשמים ולכן ריכוז המזהמים פוחת. אחד מן החתומים על מסמך זה, אביטל גזית, שהוא זואולוג ומומחה באקולוגיה אקוויטית, עורך בעצמו מזה ארבעים שנה (!) תצפיות בבעלי חיים בתעלות שלצידי כבישים ובבריכות חורף שנגר כבישים מגיע אליהן; על סמך תצפיות אלה (מידע בעל-פה) ניתן להסיק שאפשר להזרים מי נגר אל בריכות חורף, ללא חשש לבריאותם של דו-חיים ובעלי חיים אחרים. ככל הנראה, גם הזרמה ישירה לא תזיק, אך בשמה של זהירות מפליגה, המחקר מציע הזרמת נגר לבריכת חורף לאחר שהתגלגל דרך אמצעים ביוטיים ואביוטיים, התורמים למיתון הזרימה ולטיהור חלקי של הנגר, לפני הגיעו אל "המים המקבלים".

התרומה המרכזית של המחקר מתבטאת בשילוב בין דיסציפלינות וגישות מקצועיות שונות ובתרגומן לשפת המעשה, ובמילים אחרות: בתרגום תובנות אקולוגיות לעקרונות תכנוניים ישימים. "ארגז הכלים" המוצע במחקר הנוכחי מתבסס על תובנות אקולוגיות, נופיות וחברתיות. חשוב לציין שהמטרות והעקרונות שהמחקר מציע לאמצם נראים מתאימים לקידום השגתן של תועלות סביבתיות וחברתיות לא רק בתכנון מסדרונות כבישים בין עירוניים, אלא בתכנון שטחים פתוחים באשר הם.

לצורך הגדרת המטרות התכנוניות ועקרונות התכנון, מוצע במחקר הנוכחי לקשור בין גישת האקולוגיה של כבישים לבין תפיסת שירותי המערכת האקולוגית, ולהשתמש בתפיסת שירותי המערכת האקולוגית כפלטפורמה לתרגום תובנות אקולוגיות לעקרונות תכנוניים ישימים. הטרמינולוגיה המוצעת במחקר עשויה לסייע בבניית גשר בין שני תחומים שונים במהותם, אקולוגיה ותכנון, וליצור שפה משותפת ובסיס לשיתוף פעולה, לקידום תכנון משולב רב-תחומי לניהול נגר. תכנון משולב רב-תחומי מהווה את אחד מעקרונות היסוד בגישת תר"מ: חתירה לסינרגיה בהשגת מטרות סביבתיות, חברתיות וכלכליות. בכך המחקר תורם גם להרחבה של גישת תר"מ (Carmon & Shamir, 2010) שעסקה עד כה בתכנון עירוני ואזורי, לתחום התכנון של מסדרונות כבישים בינעירוניים.

בשנים האחרונות חלה התקדמות מסוימת בחשיבה על ניהול נגר בתכנון כבישים בינעירוניים בישראל. התקדמות זו בולטת בעיקר בתכנון ובביצוע של כביש חוצה ישראל, לאורכו ניתן למצוא אמצעים ממשאבים ביוטיים ואביוטיים כחלק ממערכת הניקוז (ר' לעיל בסעיף 2.4). יתר על כן, בהנחיות החדשות לתכנון נופי ואדריכלי של חברת "נתיבי ישראל" (2013) קיימת אמירה לגבי "ניהול הנגר" במקום ניקוז. אלא, שהאמצעים ששולבו לאורך כביש חוצה ישראל אינם מעוגנים בקריטריונים מוסכמים לתכנון, המחייבים את כלל מתכנני הניקוז; והאמירה שבהנחיות חברת "נתיבי ישראל" (2013) אינה מגובה במפרטים טכניים לתכנון ולביצוע (החברה הלאומית לדרכים, 2008).

דוגמאות לקריטריונים הנדסיים ולמפרטים טכניים לתכנון ולביצוע, ניתן למצוא בהנחיות לתכנון של רשויות תחברותיות במדינות המפותחות (ר' לעיל סעיף 1.2.1). הרשויות התחברותיות במדינות אלה פיתחו את הנחיות התכנון על בסיס הגישות החדשניות לניהול נגר (e.g.: LID, SUDS, WSUDS; ר' לעיל סעיף 1.2.1) ומתוך צורך לעמוד בדרישות מדיניות סביבתית המעוגנת בחקיקה (ר' לעיל סעיף 1.2.2). הנחיות אלה כוללות מפרטים טכניים ופרטים טיפוסיים לביצוע של אמצעים מיטביים לניהול נגר. לכל אמצעי מוגדרים המאפיינים הפיזיים שלו, ספיקות מכסימליות, הסתברות תכן ומהירויות זרימה.

תרומה נוספת של המחקר היא הצעת שיטה להשוואה בין חלופות תכנוניות בשלב התכנון המוקדם. שיטה זו יכולה לשמש עבור השוואה בין חלופות בתסקיר השפעה על הסביבה, ובכך לכלול בה קריטריונים לניהול מושכל של נגר לטובת תועלות אקולוגיות וחברתיות. במקרה הבוחן (פרק 3) בוצעה הערכה למידת יישום העקרונות המוצעים במחקר זה לניהול נגר, ומידת העצמתם של שירותי המערכת האקולוגית בכל אחת מן החלופות. הערכה זו, הראתה שיפור בתוצאות ביחס ישר לתוספת אמצעים לניהול נגר. כדי לקבל תוצאות מיטביות הערכה זו צריכה להתבצע על ידי צוות מתכננים-מומחים.

מסקנות

☒ ברוב המקרים, התייחסות המתכננים לנגר הכבישים היא כמטרד שיש למנוע. המחקר הנוכחי מדגיש את התועלות האקולוגיות והחברתיות שניתן להפיק מניצולו המושכל. ישראל נמצאת באזור אקלים ים תיכוני שבו המים הם משאב במחסור וקיימת תחרות על המים בין המשתמשים השונים בם, שגם בעידן התפלה לא צפויה להיעלם. מי הגשמים חיוניים לתפקודן של מערכות אקולוגיות טבעיות, ולכן ראוי לשמור עליהם, לייעל את השימוש בהם ולצמצם את אובדנם לים.

☒ המחקר מורה שמסדרונות כבישים, המתוכננים כמערכות טכנו-אקולוגיות, הינם בעלי פוטנציאל להפקת תועלות אקולוגיות וחברתיות, ומראה גם שהנגר הזורם בתחום זכות הדרך של כבישים בינעירוניים ניתן לניצול להפקת תועלות אלה. כדי לממש תועלות אלה, חיוני ששיקולי מים, תובנות אקולוגיות, שיקולים של תרומה לחברה וזיהוי הזדמנויות למימוש תועלות ייכללו כבר בשלב התכנון הראשוני, שישתתף בו צוות תכנון רב-תחומי של בעלי מקצוע בתחומי הנדסת כבישים וקרקע, סביבה ואקולוגיה, תכנון עירוני ואזורי, ניהול משאבי

מים וניקוז ואדריכלות נוף. בצוות התכנון ראוי שישולבו גם אנשי מקצוע שעניינם חברה, כפי שמציעים לדוגמא van Bohemen (2002) ו-Brown (2003).

☒ כלי התכנון המוצעים במחקר יכולים לסייע בתרגום תובנות אקולוגיות וחברתיות לתכנון פיזי, לשמש כבסיס להגדרת מטרות לשימושי מים בתכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים ולתרום לקידום פיתוח בר-קיימא שלהם. המטרות והעקרונות יכולים לשמש כבסיס לקריטריונים להשוואה בין חלופות תכנוניות, בהקשר של יעדים לניצול מושכל של נגר הכבישים (לדוגמא בעת הכנת תסקיר השפעה על הסביבה). בכך, יקודם יישום גישת תר"מ בתכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים.

☒ תכנון המכוון לניצול מושכל של נגר הכבישים ולהזרמתו דרך מערכת טכנו-אקולוגית לניהול נגר תואם למדיניות רשות המים לשיפור וטיוב איכות המים במקורות המים הטבעיים ולהקצאת מים לטבע (רשות המים, 2012).

המלצות להמשך מחקר

המלצת המחקר היא להשלים פיתוחו של "ארגז הכלים" ישראלי שבו ישולבו הנחיות דומות לאלה שפרסמו רשויות תחבורתיות במדינות ארה"ב, אנגליה, אוסטרליה וניו זילנד (פרק 1.2.1), אשר תותאמנה לתנאי האקלים באזורי הארץ השונים. על מנת לפתח את "ארגז הכלים" על פי התובנות המוצעות במחקר זה נדרש המשך מחקר בתחומים מגוונים להשלמת נתונים כמותיים, למדידה ולמיפוי תפקודיה של המערכת האקולוגית, כולל השתנותם לאורך זמן ובמרחב, כמפורט להלן:

א. מחקר להשלמת היבטים הנדסיים והנחיות הנדסיות ב"ארגז הכלים", שיהווה בסיס לגיבוש מפרטים טכניים ופרטים טיפוסיים לביצוע של אמצעים לניהול נגר;

ב. ברור נוסף של איכות המים מנגר הכבישים בישראל וניטור איכותו לאורך זמן, ליצירת מסד נתונים עבור הגדרת ערכי סף לתקינה, העוסקת בהזרמתם לטבע ולהגדרת פתרונות שנחשבים מיטביים (BMP's), על פי יעילות הטיפול שלהם במזהמים שונים;

ג. פיתוח שיטה להערכה השוואתית, שתבטא את מגוון השיקולים של תחומי התכנון השונים ושתוצאותיה מצביעות על מגמות של שיפור או הרעה בתכנון של פרויקט ביחס לאספקת שירותי המערכת האקולוגית, הצפויים מחלופות תכנוניות של מסדרונות כבישים בינעירוניים; בהקשר זה קיים צורך בפיתוח אינדיקטורים שיצביעו על מידת השיפור או ההרעה במצב המערכת האקולוגית (e.g., TEEB, 2010; UNEP-WCMC, 2011).

ד. מחקר לבחינת ההיבטים הכלכליים הנגזרים מתכנון מסדרונות כבישים על פי גישת תר"מ והכללתם במסגרת נוהל להערכה כלכלית של פרויקטים תחבורתיים (משרד התחבורה, 2006; פר"ת). לדוגמא: זיהוי הפרמטרים למדידת עלות-תועלת מיישום גישת שירותי המערכת האקולוגית בתכנון מסדרונות כבישים; ביצוע הערכה כלכלית של השפעות זרימת נגר כבישים אל סביבות טבעיות ואל מים מקבלים; אמדן העלויות הישירות והעקיפות, הצפויות משינוי שירותי המערכת האקולוגית והתפקודים האקולוגיים.

רשימת מקורות

- אחירון-פרומקין, ת. (2012). קיטוע בתי גידול על ידי תשתיות תחבורה-מדריך לאיתור קונפליקטים ולתכנון פתרונות. אור יהודה: החברה הלאומית לדרכים (259 עמ').
- אלרון, א. (2007). דעיכת אוכלוסיות דן-חיים: מקרה הקרפד הירוקה (*Bufo viridis*) תהליכים והיבטים ביולוגיים אקולוגיים. עבודת גמר לקראת תואר דוקטור לפילוסופיה, אוניברסיטת תל אביב (בהנחיית פרופ' אביטל גזית וד"ר שריג גפני).
- אמיתי, פ., סימון, ד. (1985). החי מתחת לאבן, עולם קטן ואפלולי שגגו אבן וגבולו אור. עם עובד (134 עמ').
- בורמיל, ש., שמיר, א., כרמון, נ. (2003). נגר עירוני בשכונות מגורים. המרכז לחקר עיר ואזור. חיפה (120 עמ').
- בן צבי, א. (2008). הידרולוגיה. בתוך: בן צבי, א., שחף, נ., צדקה, א. (עורכים). נחלים וניקוז. רשות ניקוז שקמה בשור והמכללה האקדמית סמי שמעון: עמ' 49-70.
- ברנשטיין, א. (עורכת) (2011). הלימנים בנגב, מסמך מדיניות. קרן קיימת לישראל (139 עמ').
- גזית, א. (1978). המים כסביבה חיים ושוליות החורף. מהדורה ניסויית. המכון לחקר שמירת הטבע, הפקולטה למדעי החיים אוניברסיטת תל אביב.
- גזית, א. (1983). החי במקווי המים העונתיים. בתוך: אלון, ע. (עורך ראשי). החי והצומח של ארץ-ישראל, אנציקלופדיה שימושית מאוירת. כרך 4 החיים במים. משרד הבטחון - ההוצאה לאור והחברה להגנת הטבע: עמ' 293-297.
- גזית, א. (2014). עקרונות הקמת בריכות חורף מלאכותיות. המעבדה לאקולוגיה אקוואטית, המחלקה לזואולוגיה, הפקולטה למדעי החיים, אוניברסיטת תל אביב (5 עמודים).
- גזית, א., גפני, ש., אלרון, ד., הרשקוביץ, י. (2004). ממשק חפרית מצויה (*Pleobates syriacus*) במישור החוף המרכזי והדרומי. הקמת בריכות חורף מלאכותיות. מסמך עבור רשות הטבע והגנים. (4 עמ').
- גזית, א., הרשקוביץ, י. (2007). ניטור תשטיפי כבישים בקטע 18 כביש חוצה ישראל, דו"ח ניטור שלב א' אביב 2006, רמות רקע של מתכות ברקמות צמחים וסדימנט ו"בריאות" הנחלים.
<http://www.hozeisrael.co.il/template/default.asp?PageId=157&catId=42&maincat=5>
- גזית א., מילשטיין, ד. (2011). ניטור מתכות בערוצי נחלים החוצים את קטע 18 בכביש 6, דו"ח מסכם שלב ב' - לאחר שנת הפעלה ראשונה של הכביש. מוגש לחברת כביש חוצה ישראל.
- דופור-דרור, ז. מ. (2010). הצמחים הפולשים בישראל. העמותה לעידוד וקידום שמירת הטבע במזרח התיכון (ע"ר). ירושלים (139 עמ').
- דש"א (2011). השוואה ראשונית של טרום תזכיר חוק- תיקון לחוק הניקוז, להמלצות מחקר מדיניות בנושא מתווה לניהול סביבתי של הנגר העילי בנחלי ישראל.
<http://www.deshe.org.il/?CategoryID=225&ArticleID=351>
- נוסח תזכיר החוק: http://www.deshe.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/TromTazkirHok.pdf
- הדס, מ. (1976). רומא הקיסרית. בתוך: י. נדבה (עורך). התקופות הגדולות בהיסטוריה של התרבויות. לייף טיים מהדורה עברית וספריית מעריב (199 עמ').
- החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ (2008). קובץ הנחיות לתכנון ניקוז. מהדורה ראשונה אוגוסט 2008.
http://iroads.co.il/sites/default/files/hnkhyvt_tknvn_nyqvz.doc
- החלטת ממשלה 1421 (2010).
<http://www.vpmo.gov.il/About/GovernmentDecision/Pages/govdec1421.aspx>

הכנסת (2002). דו"ח ועדת חקירה פרלמנטרית בנושא משק המים.
http://www.knesset.gov.il/committees/heb/docs/vaadat_chakira_mayim.htm#fn16
הלר, ד., לבנה, מ. (עורכים) (1982). צמחים בעלי פרחים א'. בתוך: אלון, ע. (עורך ראשי), החי והצומח של ארץ-
ישראל, אנציקלופדיה שימושית מאוירת. משרד הבטחון - ההוצאה לאור והחברה להגנת הטבע. כרך 10
(295 עמ').

הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2012). שנתון סטטיסטי לישראל 2012 מספר 63 פרק 24, לוח 1.
[http://www.cbs.gov.il/reader/?MIval=shnaton%2Fshnatonh_new.htm&CYear=2012&Vol=63
&sa=%E4%EE%F9%EA&CSubject=24](http://www.cbs.gov.il/reader/?MIval=shnaton%2Fshnatonh_new.htm&CYear=2012&Vol=63&sa=%E4%EE%F9%EA&CSubject=24)
הראל, מ., ניר, ד. (1985). גיאוגרפיה של ארץ ישראל - פיסית, כלכלית, ישובית וחבלית. המחלקה לגיאוגרפיה,
האוניברסיטה העברית בירושלים ואוניברסיטת תל אביב. עם עובד (455 עמ').

וולף, י., רבהון, צ. (2008). שימור קרקע. בתוך: בן צבי, א., שחף, נ., צדקה, א. (עורכים). נחלים וניקוז. רשות ניקוז
שקמה בשור והמכללה האקדמית סמי שמעון: עמ' 247-264.

חדד, ח. (2007). נגר כמשאב בפיתוח הנוף העירוני. עבודה לתואר שני. הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים,
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל. חיפה. (בהנחיית טל אלון-מוזס ונעמי כרמון).
חוק המים התשי"ט-1959
חוק הניקוז והגנה בפני שטפונות התשי"ח-1957

חברת נתיבי ישראל (2008). פרטים סטנדרטיים, גיאומטריה, חתך טיפוס של כביש דו סטרי.
[http://iroads.co.il/he/content/%D7%A4%D7%A8%D7%98%D7%99%D7%9D-
%D7%A1%D7%98%D7%A0%D7%93%D7%A8%D7%98%D7%99%D7%99%D7%9D](http://iroads.co.il/he/content/%D7%A4%D7%A8%D7%98%D7%99%D7%9D-%D7%A1%D7%98%D7%A0%D7%93%D7%A8%D7%98%D7%99%D7%99%D7%9D)
חברת כביש חוצה ישראל (2010). מפות ומסלולים.
[http://www.kvish6.co.il/mapandroute.aspx?Id=0&SubId=0&ThreadId=15&ThreadParent=4&
PageId=15](http://www.kvish6.co.il/mapandroute.aspx?Id=0&SubId=0&ThreadId=15&ThreadParent=4&PageId=15)

חברת כביש חוצה ישראל (2013). מצב הפרויקט. עדכונים שוטפים.
<http://www.hozeisrael.co.il/template/default.asp?PageId=1&catId=1&maincat=1>
חברת נתיבי ישראל (2013א). נכסי החברה.
[http://iroads.co.il/he/content/%D7%A0%D7%9B%D7%A1%D7%99-
%D7%94%D7%97%D7%91%D7%A8%D7%94](http://iroads.co.il/he/content/%D7%A0%D7%9B%D7%A1%D7%99-%D7%94%D7%97%D7%91%D7%A8%D7%94)
חברת נתיבי ישראל (2013ב). הנחיות לתכנון נופי ואדריכלי.
http://iroads.co.il/sites/default/files/dvkh_hnkhyvt_nvpyvt_-_mhdvrh_svpyt_sptmbr_2013.pdf
חברת נתיבי ישראל (2014). פרויקטים בביצוע.
[http://iroads.co.il/content/%D7%A4%D7%A8%D7%95%D7%99%D7%A7%D7%98%D7%99
%D7%9D-%D7%91%D7%91%D7%99%D7%A6%D7%95%D7%A2](http://iroads.co.il/content/%D7%A4%D7%A8%D7%95%D7%99%D7%A7%D7%98%D7%99%D7%9D-%D7%91%D7%91%D7%99%D7%A6%D7%95%D7%A2)
חואניקו, מ., ופרידלר, ע. (2000). סקר זיהום מקורות מים מכבישים - דו"ח סופי מוגש למשרד לאיכות הסביבה
אגף מים ונחלים. המשרד להגנת הסביבה.
[http://old.sviva.gov.il/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWhat=object
&&enDispWho=index_pirsumim%5E1140&enZone=pirsum_veHotsaa_laor&enVersion=0](http://old.sviva.gov.il/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWhat=object&&enDispWho=index_pirsumim%5E1140&enZone=pirsum_veHotsaa_laor&enVersion=0)

כרמון, נ., שמיר, א. (בהשתתפות ר. ארמון, ד. גולדמן, ש. כץ ול. קרונברט) (1997). תכנון עירוני רגיש למים: הגנה על אקוויפר החוף הישראלי. המרכז לחקר עיר ואזור, הטכניון- מכון טכנולוגי לישראל. חיפה (227 עמ')

כץ, ש., בורמיל, ש., כרמון, נ., שמיר, א. (2001). תכנון עירוני רגיש למים: החדרת גשם למי תהום באמצעות עיצוב חצרות - ספר עזר לאדריכלים ואדריכלי נוף, מתכננים סביבתיים ומהנדסי ניקוז. המרכז לחקר עיר ואזור ומכון גרנד למחקר המים. חיפה (160 עמ').

לוי, ש. (2006). בתי גידול חלופיים לדו-חיים בסביבות מושפעות אדם במישור החוף של ישראל. עבודת גמר לקראת תואר מוסמך אוניברסיטה, אוניברסיטת תל אביב (בהנחיית פרופ' אביטל גזית)

לרון, י., מנינגר, ד., ירון, א., לסקה, ד. (2011). ניסוי מניעת ארוזיה כביש 6 דרומי קטע 21 - דו"ח ביניים. חברת כביש חוצה ישראל.

<http://www.hozeisrael.co.il/template/default.asp?PageId=263&catId=64&maincat=5>

לסטר, ר., אלמוג, ר., ליבני, ד., רוזנטל, מ. (2010). בחינה והתאמה של בנייה משמרת מים בשיטת ה-LID בתנאי הארץ. מחקר מס' 4500288969 דו"ח סופי. משרד התשתיות, רשות המים, אגף המחקרים.

מזור, א. וחובי (1996). ישראל 2020: תכנית אב לישראל לשנות האלפיים. הטכניון, הפקולטה לארכיטקטורה ובנייה ערים. חיפה.

משרד הבינוי והשיכון (2004). מדריך לתכנון ובניה משמרת נגר עילי.

http://www.moch.gov.il/tichnun/madrichey_tichnun/Pages/madrich_tichnun.aspx?ListID=700f8355-0e48-4364-8481-df22ff96fb44&WebId=fe384cf7-21cd-49eb-8bbb-71ed64f47de0&ItemID=95

משרד החקלאות ופיתוח הכפר (2013). מדריך שימור קרקע.

<http://www.moag.gov.il/NR/exeres/9B5D2560-A73E-4CAD-B351-3CDDDB3EC4E24,frameless.htm?NRMODE=Published>

משרד הפנים (2013). מינהל התכנון- תכניות מתאר ארציות, מחוזיות ומקומיות.

<http://www.moin.gov.il/OfficeUnits/PlanningAdministration/masterplan/Pages/default.aspx>

משרד התחבורה (2006). נוהל פרי"ת - הנחיות לבדיקת כדאיות פרויקטים תחבורתיים.

http://he.mot.gov.il/index.php?option=com_content&view=article&id=1603:np2006-a&catid=108:pub-memshal-c&Itemid=153

פרומקין, ר. (2008). ניטור צומח בכביש 6, קטע 18, אביב 2007-2008. דו"ח מסכם. חברת כביש חוצה ישראל.

<http://www.hozeisrael.co.il/template/default.asp?PageId=161&catId=46&maincat=5>

פרומקין, ר. (2009). ניטור צומח בכביש 6, קטע 18, אביב 2009. חברת כביש חוצה ישראל.

<http://www.hozeisrael.co.il/template/default.asp?PageId=161&catId=46&maincat=5>

פרומקין, ר. (2010). ניטור צומח בכביש 6, קטע 18, אביב 2010 דו"ח מסכם. חברת כביש חוצה ישראל.

<http://www.hozeisrael.co.il/template/default.asp?PageId=161&catId=46&maincat=5>

פרומקין, ר., אחירון- פרומקין, ת. (2007). ניטור לבדיקת התפקוד והיעילות של מעברים לבעלי חיים בחלקו הצפוני של קטע 18 בכביש 6, דו"ח מסכם שלב א'. חברת כביש חוצה ישראל.

http://www.hozeisrael.co.il/download/files/pdf/18_בעלי_חיים_ב_קטע_18.pdf

צדקה, א., גריניס, ל. (2008). הנדסת מבנים. בתוך: בן צבי, א., שחף, נ., צדקה, א. (עורכים). נחלים וניקוז. רשות ניקוז שקמה בשור והמכללה האקדמית סמי שמעון: עמ' 247-264.

צדקה, א., וינשטיין, א. (2008). מכניקת קרקע. בתוך: בן צבי, א., שחף, נ., צדקה, א. (עורכים). נחלים וניקוז. רשות ניקוז שקמה בשור והמכללה האקדמית סמי שמעון: עמ' 145-174.

קורן א., אלמליח, ד. (2002). קטעים 19-20 הגנה בפני ארוזיה (סחף) הנחיות כלליות לתכנון (טיוטא של מפרט טכני לעיון. חברת כביש חוצה ישראל (לא פורסם).

רשומות (2000). קובץ התקנות: תקנות המים (מניעת זיהום מים) (מתכות ומזהמים אחרים) התשס"א - 2000, 2 בנובמבר 2000. גיליון 6064: 62-68. http://www.nevo.co.il/Law_word/law06/tak-6064.pdf

רשומות (2008). הצעות חוק: הצעת חוק ההסדרים במשק המדינה (תיקוני חקיקה להשגת יעדי התקציב והמדיניות הכלכלית לשנת הכספים 2009) התשס"ט - 2008, פרק ב': מים, תיקון חוק הניקוז והגנה בפני שטפונות. 29 באוקטובר 2008. גיליון 411: 40. <http://www.justice.gov.il/NR/rdonlyres/4BB4D830-1150-4BEC-AAE1-5D5AE751EAD/12048/411.pdf>

רשות המים (2012). תכנית אב ארצית ארוכת טווח למשק המים, חלק א - מסמך מדיניות, מהדורה 4. רשות המים <http://www.water.gov.il/Hebrew/Planning-and-Development/Planning/MasterPlan/DocLib4/PolicyDocument-final-2012.pdf>

רשות המים (2013). תכנון ופתוח. <http://www.water.gov.il/Hebrew/Planning-and-Development/Pages/default.aspx>

שוסטר, א., כהן, ד. (2005). אקולוגיה, יחידה 6: חברות ביולוגיות ומערכות אקולוגיות. רעננה: האוניברסיטה הפתוחה (178 עמ').

שטרית, נ. (2008). תחזוקה. בתוך: בן צבי, א., שחף, נ., צדקה, א. (עורכים). נחלים וניקוז. רשות ניקוז שקמה בשור והמכללה האקדמית סמי שמעון: עמ' 265-272.

שלם, ל. (2013). שיקום שטחים חקלאיים לא מנוצלים ע"י השבת המגוון הביולוגי של צומח השרון ומאכלסי בריכת חורף, במסגרת פארק טבע קהילתי-הכפר הירוק. חיבור הוגש כעבודת גמר לתואר מוסמך אוניברסיטה, אוניברסיטת תל אביב (בהנחיית אביטל גזית ויובל ספיר).

שמידע, א., דרום, ד. (1992). מדרוך העצים והשיחים בישראל. הוצאת כתר. ירושלים (328 עמ').

שמיר, א., כרמון, נ., בהשתתפות קסלר, א. (2007). תר"מ - תכנון רגיש למים: שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי. המרכז לחקר עיר ואזור ומכון גרנד למחקר המים. חיפה. (282 עמ')

תמ"א 3/ב'34 (2006). תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים, נחלים וניקוז, הוראות התכנית.

תמ"א 4/ב'34 (2007). תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים, איגום מים עיליים, החדרה, העשרה והגנה על מי תהום, הוראות התכנית.

תקנות בריאות העם (תקני איכות מי קולחין וכללים לטיהור שפכים), התש"ע - 2010.

תקנות בריאות העם (איכותם התברואית של מי שתיה ומתקני מי שתיה), התשע"ג - 2013.

AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials) (2007). Highway Drainage Guidelines. 4th edition
https://bookstore.transportation.org/item_details.aspx?id=1747

Asaf, L., Nativ, R., Shain, D., Hassan, M., Geyer, S. (2004). Controls on the Chemical and Isotopic Compositions of Urban Stormwater in a Semiarid Zone. Journal of Hydrology, 294 (4): 270-293

- Austrroads (2003). Guidelines for Treatment of Stormwater Runoff from the Road Infrastructure. Austrroads Publication No. AP-R232/03, Sydney Australia.
<https://www.onlinepublications.austrroads.com.au/items/AP-R232-03>
- Austrroads (2013). Guide to Road Design Part 5: Drainage - General and Hydrology Considerations & Guide to Road Design Part 5B: Drainage - Open Channels, Culverts and Floodways. Austrroads Ltd. Sydney, Australia.
<https://www.onlinepublications.austrroads.com.au/items/AGRD05-13>
- AZDOT (Arizona department of transportation) (2012). Roadway design guidelines-Chapter 600 highway drainage design. <http://www.azdot.gov/docs/business/roadway-design-guidelines.pdf?sfvrsn=0>
- Bellmy, P.E., Shore, R.F., Ardeshir, D., Treweek, J.R., Sparks, T.H. (2000). Road Verges as Habitat for Small Mammals in Britain. *Mammals Review*, 30 (2):131-139
- Brauman, K.A., Daily, G.C., Duarte, T.K., Mooney, H.A. (2007). The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annual Review of Environment and Resources*, 32: 67–98
- Brown, G. (2003). A Method for Assessing Highway Qualities to Integrate Values in Highway Planning. *Journal of Transport Geography*, 11: 271-283.
- Carmon, N., Shamir, U., Meiron-Pistiner, S. (1997). Water-Sensitive Urban Planning: Protecting Groundwater. *Journal of Environmental Planning and Management*, 40 (4): 413-434.
- Carmon, N., Shamir, U. (2010). Water Sensitive Planning (WSP): Integrating Water Consideration into Urban and Regional Planning. *Water and Environment Journal*, 24 (3): 181-191.
- Clean Water Services (2009). Low Impact Development Approaches (LIDA) Handbook, Clean Water Services -Tualatin Basin Natural Resources Coordinating Committee's public education and outreach committee. Oregon, U.S.A
<http://www.cleanwaterservices.org/Content/Documents/Permit/LIDA%20Handbook.pdf>
- Clevenger, A.P., Chruszcz, B., Gunson, K. (2001). Drainage Culverts as Habitat Linkage and Factor Affecting Passage by Mammals. *Journal of Applied Ecology*, 38: 1340-1349.
- Costanza, R., Norton, B.G., Haskell, B.D. (Ed.) (1992). *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*. Island Press, U.S.A. (281 p.).
- Daily, G.C. (1997). Introduction: What Are Ecosystem Services?. In: Daily, G. C. (Ed.) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, U.S.A: 1-10.
- de Groot, R.S., Wilson, M. A., Boumans, R.M.J. (2002). A Typology for the Classification, Description and Valuation of Ecosystem Functions, Goods and Services. Special issue: The Dynamics and Value of Ecosystem Services: Integrating Economic and Ecological Perspectives. *Ecological Economics*, 41: 393–408.

- de Groot, R.S., Alkemade, L., Braat, L., Hein, L. Willemen, L. (2010). Challenges in Integrating the Concept of Ecosystem Services and Values in landscape planning, management and decision making. *Ecological complexity*, 7: 260-272.
- Dolan, L.M.J., van Bohemen, H., Whelan, P., Akbar, K.F., O'malley, V., O'leary, G., Keizer, P.J. (2006). Chapter 13: Towards the Sustainable Development of Modern Road Ecosystems. In: Davenport, J. & Davenport, J.L.(Eds.), *The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment*. Springer. The Netherland: 275-33.
- Dorchin, A., Shanas, U. (2010). Assessment of Pollution in Road Runoff a Bufo Viridis Biological Assay. *Environmental Pollution*, 158: 3626-3633.
- Duffy A., Jefferues, C., Waddell, G., Shanks, G., Blackwood, D., Watkins, A. A, (2008). Cost Comparison of Traditional Drainage and SUDS in Scotland. *Water Science and Technology*, 5 (9): 1451-1459.
- Echols, S. (2007). Artful Rainwater Design in the Urban Landscape. *Journal of Green Building*, 2 (4): 101-122.
- Echols, S. & Pennypacker, E. (2008). From Stormwater Management to Artful Rainwater Design. *Landscape Journal*, 27: 268-290.
- Environment Agency & Highway Agency (2009). Memorandum of Understanding between the Environment Agency & Highway Agency, Annex 1- Water Environments.
<http://www.highways.gov.uk/our-road-network/environment/environmental-topics/drainage-and-water/>
- Ehrlich, P.R. & Holdren, J.P. (1971). Impact of Population Growth. *Science*, 171(3977): 1212-1217.
- Federal Highway Administration (FHWA) (2009). Urban Drainage Design Manual. Hydraulic Engineering Circular No. 22, 3rd edition publication No. FHWA-NHU-10-009
<http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/10009/10009.pdf>
- Fahring, L., Merriam, G. (1985). Habitat Patch Connectivity and Population Survival. *Ecology*, 66 (6): 1762-1768.
- Forman, R.T.T., Alexander, L.E. (1998). Roads and Their Major Ecological Effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 207-231.
- Forman, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J.A., Clevenger, A.P., Cutshall, C.D., Dale, V.H., Fahring, L., France, R., Goldman, C.R, Heanue, K., Jones, J.A., Swanson, F.J., Turrentine, T., Winter, T.C. (2003). *Road Ecology- Science and Solutions* .Island Press, Washington D.C. (481 pages).

- Haber, W. (1990). Using Landscape Ecology in Planning and Management. In: Zonneveld, I.S., Forman, R.T.T. (Eds.), *Changing Landscapes: An Ecological Perspective*. Springer, New York, NY :217-232.
- Highway Agency (HA) (2006). *Vegetative Treatment Systems for Highway Runoff, Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 4 Geotechnics and Drainage, Section 2 Drainage, part 1 HA 103/06* <http://www.dft.gov.uk/ha/standards/dmr/vol4/section2.htm>
- Highway Agency (HA) (2009). *Road Drainage and the Water Environment, Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 11 Environmental Assessment, section 3 Environmental Assessment Techniques, part 10.* <http://www.dft.gov.uk/ha/standards/dmr/vol11/section3.htm>
- Huijser, M.P., Clevenger, A.P., (2006). Chapter 11: Habitat and Corridor Function of Right-of-Way. In: Davenport, J. & Davenport, J.L. (Eds.). *The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment*. Springer. The Netherland: 233-254.
- Huitric, M. (Ed.) (2009). *Biodiversity, Ecosystem Services and Resilience, Governance for a Future with Global Changes*. Background report for the scientific workshop on Biodiversity, ecosystem services and governance –targets beyond 2010. Sweden. http://www.unep.org/roe/Portals/139/documents/BiodiveConf/Other/Biodiv_Ecosyste_Services_Resilience.pdf
- Keim, R.F., Skaugset, A.E. (2003). Modeling Effects of Forest Canopies on Slope Stability. *Hydrological Processes Scientific Briefing*,17: 1457–1467.
- Leopold A. (1940) *A Sand County Almanac and Sketches Here and There*. Oxford University Press, U.S.A. (299 pages).
- Lugo, A.E., Gucinski, H. (2000). Function, Effect and Management of forest roads. *Forest Ecology and Management*, 133: 249-262.
- Lancaster, B. (2010). *Rainwater Harvesting For Dryland and Beyond, Vol. 2 Harvesting Earthworks Water*, 2ND edition. Rainsource Press. Tucson, Arizona (404 pages).
- Ludwig ,J.A., Wilcox, B.P., Breshears , D.D., Tomgway, D. J., Imeson, A.C.(2005). Vegetation Patches and Runoff–Erosion as Interacting Ecohydrological Processes in Semiarid Landscapes. *Ecology*, 86 (2): 288–297.
- Martinez, J.J. & Wool, D. (2006). Sampling Bias in Roadsides: The Case of Galling Aphids on Pistacia Trees. *Biodiversity and Conservation*, 15 (7): 2109-2121.
- Melbourne Water (2005). *WSUDS Engineering Procedure: Stormwater*. Csiro Publishing Australia (304 pages) <http://www.publish.csiro.au/pid/4974.htm>
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Island Press, Washington, DC. <http://www.unep.org/maweb/en/Index.aspx>

- Mitch, W.J. & Jorgensen S.E. (2003). Ecological engineering: A field Whose Time Has Come. *Ecological Engineering*, 20 : 363–377.
- MoDOT (Missouri Department of Transportation) (2013a). Land Disturbance Training. MoDOT Design Environmental & Historic Preservation Section (presentation). Texas, U.S.A. http://www.modot.org/business/contractor_resources/documents/MoDOTLandDisturbanceTraining2013.pdf
- MoDOT (Missouri Department of Transportation) (2013b). Engineering Policy Guide, Category: 800 Road side Development, Category: 806.8 Storm Water Pollution Prevention Plan (SWPPP). Texas, U.S.A. http://epg.modot.org/index.php?title=806.8_Storm_Water_Pollution_Prevention_Plan_%28SWPPP%29#806.8.4.4.3_Ditch_Checks
- NCHRP (National cooperation Highway Research Program) (2002). Synthesis 302, Mitigation of ecological impacts -A synthesis of highway Practice. Transportation Research Board (TRB), National Academy Press, Washington. D.C. http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_302.pdf
- NCHRP (National cooperation Highway Research Program) (2006). Report 565, Evaluation of Best Management Practices for Highway Runoff Control. Transportation Research Board (TRB), National Academy Press, Washington. D.C. http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_565.pdf
- Ndubisi, F. (2002). Ecological Planning: a Historical and Comparative Synthesis. The John Hopkins University Press, U.S.A (286 pages)
- NYSDOT (New York State Department of Transportation) (2011). Highway Design Manual - Chapter 8 Highway Drainage. rev. 61. https://www.dot.ny.gov/divisions/engineering/design/dqab/hdm/hdm-repository/chapt_08.pdf
<https://www.dot.ny.gov/divisions/engineering/design/dqab/hdm/chapter-8>
https://www.dot.ny.gov/divisions/engineering/design/dqab/hdm/hdm-repository/chapt_08b.pdf
- NZ Transport Agency (2010). Stormwater Treatment Standard for State Highway Infrastructure.. Wellington, New Zeland. <http://www.nzta.govt.nz/resources/stormwater-management/docs/201005-nzta-stormwater-standard.pdf>
- Opher, T., Fridler E. (2010). Factors Affecting Highway Runoff Quality. *Urban Water Journal*, 7 (3): 155-172
- Pacific Water Resources, Inc. (2010). Cross Israel Highway Stormwater Quality Study - Final Phase VI Report. Cross Israel Highway. <http://www.hozeisrael.co.il/download/files/3.pdf>

- Porteous, J.D. (1996). *Environmental Aesthetics: Ideas, Politics and Planning*. Routledge, New York and Canada (290 pages)
- Queensland Government Department of Transport and Main Roads (2010). *Road Drainage Manual - A Guide to the Planning, Design, Operation and Maintenance of Road Drainage Infrastructure*, 2nd Edition. <http://www.tmr.qld.gov.au/business-industry/Technical-standards-publications/Road-drainage-manual.aspx>
- Ranganathan, j., Bennet, K., Raudsepp-Hearne, C., Lucas, N., Irwin, F., Zurek, M., Ash, N., West, P (2008). Mlot, C.(Ed.) *Ecosystem Services, A Guide for Decision Makers*. World Resources Institute (WRI). <http://www.wri.org/publication/ecosystem-services>
- Reference Framework for European Sustainable Cities (2012). *A Toolkit for the Integrated Approach, User's Guide, Evaluation Tool: Check the Integrated Approach (CIA)* <http://app.rfsc.eu/?thsh=44&ha=121&hhid=5>
- San Francisco Water Power Sewer (2010). *Stormwater Design Guidelines*. <http://sfwater.org/index.aspx?page=446>
- Safriel, N.U., Berliner, P., Novoplansky, A., Laronne, J.B., Karnieli, A., Moshe, I., Kharabsheh, A., Mohammed, A.G., Kusek, G.(2011). *Soil Erosion-Desertification and Middle East Anthroscape*. In: Kapur, S., Eswaran, H., Blum, W.E.H. (Eds.) *Sustainable Land Management - Learning from the Past for the Future*. Springer, Berlin, Germany : 57-123.
- Simon, T.N., Travis, J. (2011). *The contribution of man-made ditches to the regional stream biodiversity of the new river watershed in the Florida panhandle*. *Hydrobiologia*, 661(1): 163-177.
- Sipes, J.L. & Sipes, M.L. (2013). *Creating Green Roadways, Integrating Cultural, Natural and Visual Resources into Transportation*. Center for Resource Economics. Island Press. U.S.A (281 pages).
- Swingland, I.R. (2001). *Biodiversity, Definition of*. In: *Encyclopedia of Biodiversity*. Academic Press, 1: 377-389.
- TEEB (2010). *The Economics of Ecosystem and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusion and Recommendation of TEEB*. <http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Reports/Synthesis%20report/TEEB%20Synthesis%20Report%202010.pdf>
- Trocme, M. (2006). *Habitat Fragmentation due to Linear Transportation Infrastructure: An overview of mitigation measures in Switzerland*. 6th Swiss Transport Research Conference, Conference Paper STRC. Monte Verita Ascona Switzerland. http://www.thepep.org/ClearingHouse/docfiles/Trocme_fragmentation%20switzerland.pdf

- Tikka, P.M., Högmander, H., Koski, P.S. (2001) Road and Railway Verges Serve as Dispersal Corridors for Grassland Plants. *Landscape Ecology*, 16: 659–666.
- Ulrich, S.R. (1999). Effect of Gardens on Health Outcomes: Theory and Research. In: Cooper Marcus, C., and Barnes, M. (Eds.) *Healing Gardens: Therapeutic Benefits and Design*. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A: 27-86.
- UNEP-WCMC (2011). *Developing Ecosystem Services Indicators: Experience and Lessons Learned from Sub-Global Assessment and Other Initiatives*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CDB) Technical Series No. 58, Montreal, Canada.
<http://www.bipindicators.net/LinkClick.aspx?fileticket=QxjjDuqt2Qk%3d&tabid=155>
- US EPA (United States Environmental Protection Agency) (2012a). Clean Water Act, Section 401 Certification, <http://water.epa.gov/lawsregs/guidance/wetlands/sec401.cfm>
- US EPA (United States Environmental Protection Agency) (2012b). Clean Water Act, Section 404, <http://water.epa.gov/lawsregs/guidance/wetlands/sec404.cfm>
- van Bohemen, H.D. (2002). *Infrastructure, Ecology & Art*. *Landscape and Urban Planning*, 59:187-201.
- van Bohemen, H.D. (2004). *Ecological Engineering and Civil Engineering works*. Doctoral Thesis, TU Delft, The Netherlands.
- van Bohemen, H.D. & van de Laak, J.W.H. (2003). The Influence of Road Infrastructure and Traffic on Soil, Water, and Air Quality. *Environmental Management*, 31 (1): 50–68.
- Vermeulena H.J.W., Opdam, P.F.M.(1995). Effectiveness of Roadside Verges as Dispersal Corridors for Small Ground-Dwelling Animals: A Simulation Study. *Landscape and Urban Planning* , 31: 233-248.
- VicRoads (2003). *VicRoads Road Design Guidelines, Part 7 - Drainage Design*. Rev. 1.8. Victoria, Australia.
[http://www.vicroads.vic.gov.au/Home/Moreinfoandservices/RoadManagementAndDesign/DesignStandardsManualsNotes/RoadDesign/RoadDesignGuideline\(RDG\)Part7DrainageDesign.htm](http://www.vicroads.vic.gov.au/Home/Moreinfoandservices/RoadManagementAndDesign/DesignStandardsManualsNotes/RoadDesign/RoadDesignGuideline(RDG)Part7DrainageDesign.htm)
- Washington State DOT (Department of Transportation) (2011). *Highway Runoff Manual*.
<http://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/m31-16.htm>
- Wilcox, B.P., Breshears, D.D. & Turin, H.J. (2003). Hydraulic Conductivity in a Pinon-Juniper Woodland: Influence of Vegetation. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 1243-1249.



Prof. Avital Gasith
Aquatic Ecology Laboratory
The Zoology Department
George S. Wise Faculty of Life Sciences

פרופ' אביטל גזית
המעבדה לאקולוגיה אקוואטית
המחלקה לזואולוגיה
הפקולטה למדעי החיים ע"ש ג'ורג' ס. וויז

Tuesday, October 07, 2014

יום שלישי י"ג תשרי תשע"ה

נספח 1

עקרונות הקמת בריכת חורף מלאכותית

אביטל גזית

(אוקטובר, 2013; עדכון אפריל 2014)

בריכות חורף (שלוליות חורף) הם גופי מים המקיימים מים עונתית, בעונת הגשמים וזמן מה לאחריה. הם מתמלאות מנגר גשמים בלבד ומתייבשות בהדרגה לאחר תום עונת הגשמים. קיום המצבים הניגודיים של תקופה לחה ותקופה יבשה יוצר בית גידול ייחודי באופיו ובמאכלסיו (חי וצומח). בית גידול זה אופייני לאזורי אקלים ים תיכוני בהם יש שפע יחסי של מים בחורף והעדר גשמים בקיץ. בעבר היו בריכות החורף נפוצות בישראל ואף שמשו כבריכות בהם השתמשו הרועים שנדדו עם העדרים. הפתוח וצמצום השטחים הפתוחים גרם להעלמות מרבית הבריכות. בשנים האחרונות יש מאמץ ע"י הגופים האמונים על שמירת הטבע, האקדמיה ופעילות אזרחים להשיב עטרה ליושנה ולהקים בריכות חורף שייתמכו בשמירת המגוון הביולוגי הייחודי המתקיים רק בגופי מים ייחודיים אלו.

המסמך התמציתי שלהלן נועד להציג עקרונות להקמת בריכת חורף עבור אזרחים המתעניינים בנושא ורוצים לסייע במאמץ לשמירה על המגוון הביולוגי של בריכות חורף. על בריכות חורף ניתן ללמוד מידע בסיסי בפרסום באנציקלופדיה של החי והצומח בארץ ישראל, כרך 4, עמ' 293-296.

בטרם נתחיל במלאכה יש לזכור שמדובר בבית גידול בסכנת הכחדה ושבין מאכלסי בריכות חורף יש מינים מוגנים האסורים באסוף והעתקה ללא אישור רשמי של רשות הטבע והגנים.

Prof. Avital Gasith
Aquatic Ecology Laboratory
The Zoology Department
George S. Wise Faculty of Life Sciences

פרופ' אביטל גזית
המעבדה לאקולוגיה אקוואטית
המחלקה לזואולוגיה
הפקולטה למדעי החיים ע"ש ג'ורג' ס. וויז

אופי השטח: השטח בו תוקם הבריכה אמור להיות שקע קרקע בו יכולים להיקוות מי נגר גשמים. כלומר, מדובר בקרקע חרסיתית שאינה מחלחלת. רצוי לאתר מקום שנגר גשמים ניקוה בו באופן טבעי ולשפר את משך קיום המים בבריכה ע"י חפירה והעמקת המקום. בהקשר זה ראוי לזכור שמשך קיום המים המינימאלי הנדרש הוא 4 – 5 חודשים לפחות (התקופה הנדרשת להשלמת גלגול של דו-חיים). מאידך חייבים להקפיד שהבריכה לא תקיים מים כל השנה, כלומר תתייבש בקיץ.

מימדי הבריכה וצורתה: רצוי שהשטח האוגם מים יהיה לפחות חצי דונם (500 מ"ר). ככל ששטח המים גדול יותר כך גדלה האפשרות של התפתחות מגוון גדול יותר של חי צומח בבריכה. מאחר ותפקודה של הבריכה ומאכלסיה תלוי גם בשטח שמסביבה נדרש לאתר שטח בלתי מופר גדול יותר. כמות הגשם היורדת על פני אגן הבריכה אינה מספקת למילויה ואף לא לקיומה למשך מספר חודשים. לכן הבריכה חייבת לקבל תוספת נגר עילי מאגן ניקוז בלתי מופר. לעיתים ניתן להסתייע בתעלות ניקוז של נגר גשמים להולכת מים אל הבריכה. במקרה זה יש לדאוג גם לאפשרות של גלישה של עודפי מים.

לצורת הבריכה אין חשיבות עקרונית אך ככל שהיקף הבריכה מפותל יותר, כך גדל אורך האזור "החופי" ומתקיימים תנאים מגוונים יותר המועדפים על מינים שונים. הבריכה נחפרת כך שבכל מפלס מים יהיה בה אזור רדוד ואזור עמוק. מאכלסי בריכה רבים מעדיפים לשהות באזורים הרדודים (חמימים מעט יותר ולרוב עשירים יותר במזון, למשל אצות שמתפתחות על הקרקעית); אחרים זקוקים למים עמוקים יותר. לצורך זה נחפר האזור העמוק של הבריכה (כ 1.5 – 2 מ') במרחק של כשליש מהגדה מצד אחד של הבריכה (כשני שלישי מהגדה השנייה). באזור הראשון דופן הבריכה תלולה ובשני מתונה (ראה

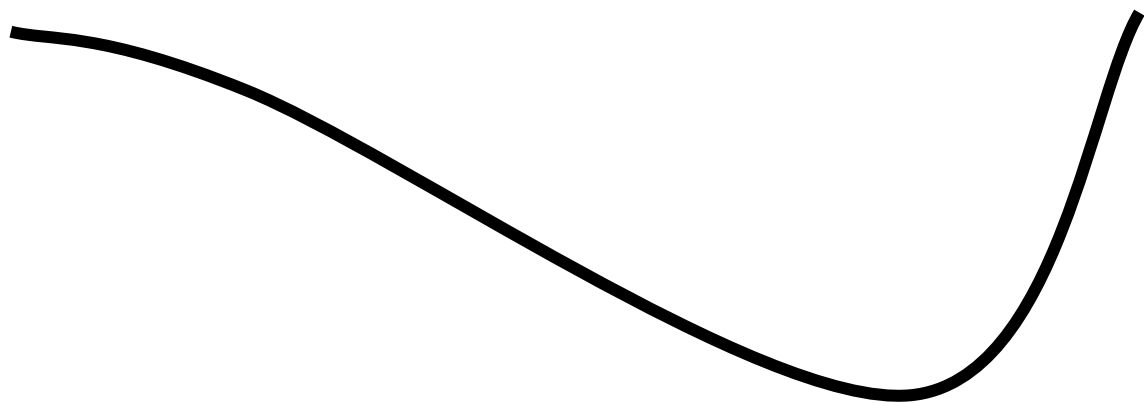
Prof. Avital Gasith

Aquatic Ecology Laboratory
The Zoology Department
George S. Wise Faculty of Life Sciences

פרופ' אביטל גזית

המעבדה לאקולוגיה אקוואטית
המחלקה לזואולוגיה
הפקולטה למדעי החיים ע"ש ג'ורג' ס. וויז

חתך בריכה לדוגמה). מומלץ להרחיב את השוליים המתונים וליצור מרחב רדוד שבו יעמדו מים תקופה מסוימת ותישמר לחות למשך זמן ארוך יותר, כך מתקיימים תנאים המאפשרים התפתחות של צמחי אחר (מיני גומאים למשל).



הערה חשובה: מאחר ומדובר בבריכה מעשה ידי אדם ומאחר ובבריכה יהיו מים עמוקים, האחריות הבטיחותית היא על מקימי הבריכה. לפיכך מומלץ ביותר להתייעץ עם מומחה בטיחות. בכל מקרה מתחייבת הקמה של גדר סביב שטח הבריכה והקפדה על שילוט הולם (סכנת טביעה). אפשר ללמוד מניסיון אחרים (למשל בבריכת החורף בפארק הטבע הקהילתי הכפר הירוק).

גיוון מבנה הבריכה: בבריכות שגודלן מספר דונמים, אפשר להקים באזור מסוים (לא במרכז) אי שלא יוצף ויוכל להוסיף מקום מפלט לצמחים ובעלי חיים (ראו דוגמא בבריכת החורף בפארק הטבע הקהילתי הכפר הירוק או בבריכת החורף החדשה הסמוכה לבית הספר נתן אלתרמן - "טיכונט" שבאזור המכללות בת"א).

אכלוס הבריכה: בשנה הראשונה לקיום הבריכה אין לאכלסה במיני חי וצומח. ראשית חשוב לבחון האם הבריכה מקיימת מים למשך זמן של 4-5 חודשים

Prof. Avital Gasith

Aquatic Ecology Laboratory
The Zoology Department
George S. Wise Faculty of Life Sciences

פרופ' אביטל גזית

המעבדה לאקולוגיה אקוואטית
המחלקה לזואולוגיה
הפקולטה למדעי החיים ע"ש ג'ורג' ס. וויז

לפחות (במידה ולא, יש לבצע התיקונים הנדרשים בתקופה היבשה). מעבר לכך, במרבית בריכות החורף המלאכותיות יש אכלוס טבעי בעיקר ע"י נדידה של דו-חיים והעברה של סרטנים כביצי קיימא באמצעות עופות המבקרים בבריכה. העתקה של חי וצומח לבריכה החדשה חייבת התייעצות ואישור של נציג רשות הטבע והגנים. זאת משום שכאמור חלק מהמינים הם מינים מוגנים האסורים באסוף; יש חשיבות על שמירת האפיון הגנטי המקומי ולאחרונה נוספה מגבלה של מחלות שהתגלו בבריכות מסוימות ולכן אין להעתיק מהן חומר כל שהוא.

העתקת בעלי חיים וצמחים יכולה להיות ע"י "חומר חי" או ביצי קיימא וזרעים (בחי וצומח, בהתאמה). במקרה של ביצי קיימא, הדרך הטובה ביותר היא איסוף של שכבת פני קרקע עליונה מבריכה ותיקה ועשירה (כמחצית הדלי) ופיזור הקרקע בבריכה החפורה. מומלץ לאסוף הקרקע ולפזרה לפני הגשמים (ספטמבר). כל העתקה (איסוף והעברה) חייבת בתיעוד ברישום ורצוי בליווי תיעוד מצולם של בריכת המקור ובריכת היעד. תיעוד זה מומלץ להעביר לנציג רשות הטבע והגנים (עימו חייבים כאמור להתייעץ בטרם תבוצע ההעתקה).

יש חשיבות לקבלת יעוץ מקצועי מה רצוי להעתיק וממה רצוי להימנע. בהקשר האחרון ראוי לשים לב למשל שלמרות שהצמח אגמון ימי אופייני לגופי מים זמניים הוא אינו רצוי בבריכות חורף מלאכותיות, במיוחד קטנות, שכן הוא משתלט ומכסה תוך זמן קצר את כל שטח הרדוד ופוגע בעושר החי והצומח. קשה מאד לסלק צמח זה מבריכות בהן התבסס.

Prof. Avital Gasith

Aquatic Ecology Laboratory
The Zoology Department
George S. Wise Faculty of Life Sciences

פרופ' אביטל גזית

המעבדה לאקולוגיה אקוואטית
המחלקה לזואולוגיה
הפקולטה למדעי החיים ע"ש ג'ורג' ס. וויז

השטח סביב הבריכה: השטח היבשתי סביב הבריכה חשוב ממספר סיבות: הוא נדרש לפעילות דו-חיים ולכן מומלץ להוסיף בו מחסות כדוגמת קבוצות סלעים וערימות גזעי עצים מתחתם יוכלו להסתתר הבוגרים המתקרבים לבריכה בעונת הרבייה והצעירים לאחר השלמת הגלגול. מומלץ מאד לשמור על אזור מסוים (כשליש מהשטח) כאזור מוגן אסור במעבר אדם. לצורך זה יש צורך בשילוט ורצוי אף גידור או אמצעי אחר שימנע נגישות אדם. אזור זה אמור לתפקד כאזור מפלט לבעלי חיים.

מומלץ לנצל ההזדמנות של הקמת בריכת החורף ולשקם את השטח מסביבה (במידה ונדרש) ע"י סילוק צמחייה זרה וזריעה ושתיילה של צמחייה מקומית (אפשר ללמוד מניסיון שהצטבר לאחרונה בהקשר זה).

לסיכום: מסמך זה אינו ממצה ונועד לסייע בלבד למי שיש לו מעט ידע בנושא וניזקק לסיוע מקצועי. אין תחליף להתייעצות עם אנשי מקצוע בתחום וכמו במקרים אחרים, גם במקרה זה "הנשמע" חייב להקדים את "הנעשה".

מסמך זה מתעדכן על פי הצורך.



בהצלחה,

אביטל גזית

נספח 2

בדיקת ישימות שילוב בריכת חורף

במערכת לניהול נגר כבישים בינעירוניים - מקרה בוחן

ההצעה לשלב אגן השהייה רטוב של בריכת חורף (סעיף 3.4 ה') מחייבת בחינה של כמויות המים הצפויות להזין אותה מהשטח התורם ולהבטיח שמשך קיום המים בה רציף, לפחות ארבעה חודשים, כדי לעמוד בדרישות מאכלסי המים (ר' לעיל סעיף 2.4 י').

במסגרת מקרה הבוחן נערכה בחינה ראשונית של זמינות מי נגר לבריכת חורף. הבריכה המוצעת ממוקמת במורד קטע המבחן בצד הדרומי על חשבון קטע הכביש שמתבטל (איור 43). שטח בריכת החורף המתוכננת במקרה הבוחן הוא 1500 מ"ר ועומקה משתנה בהדרגה בין 0-1.5 מ' (איור 26). לצורך הדגמת החישוב נלקחה בריכה שהעומק הממוצע בה הוא 1 מ', ולכן נפחה 1500 מ"ק. גודל הבריכה שנבחר הינו הגודל המינימאלי עבור בריכת חורף כפי שהוגדר על ידי גזית וחוב' (2004) ומתאים לקנה המידה של השטח הזמין עבור הקמתה.

בחישוב כמויות המים שינותבו אל בריכת החורף נבחנת אפשרות שתרומת הכביש בלבד תספק את כמות המים הדרושה (מיסעת האספלט עליה נוצר נגר הכבישים). ההנחה היא שאיבודי המים מהכביש בחלחול זניחים. אמנם, לא כל כמות נגר הכבישים זמינה עבור בריכת החורף, שכן הגברת מורכבות המערכת לניהול הנגר והגברת מיתון והשהייה של הנגר הזורם בה צפויים להקטין את כמות המים הזמינים לבריכת החורף. למרות זאת, חישוב כמות המים המגיעה לבריכה הוא שמרני שכן כל תרומה מאגן הניקוז, מעבר לנגר הכבישים, תשפר את מאזן המים בבריכה.

אורך קטע הכביש היורד בשיפוע אחיד ממזרח למערב, לכוון שטח הבריכה, הוא כ- 500 מ'. רוחב מיסעה (משטח האספלט ושוליו המהודקים) בשני נתיבים הוא 26 מ' ולכן השטח ממנו נאספים מי הגשמים הוא כ- 13,000 מ"ר. כמות הנגר הנוצר על פני המיסעה חושב כמכפלת השטח התורם בכמות הגשם באזור.

נתוני הגשם התקבלו מהתחנה המטאורולוגית "מאור" של השירות ההידרולוגי, האגף לשימור קרקע במשרד החקלאות ופיתוח הכפר⁸, הממוקמת בשטחים החקלאיים של הישוב מאור במרחק של כ- 2-3 ק"מ מצפון-מערב לקטע הכביש שנבחר למקרה הבוחן. המידע שהתקבל עבור מחקר זה כולל נתוני גשם והתאדות יומיים שנמדדו מאז שנת 2001, מהם ניתן ללמוד על פיזור ימי הגשם בכל חודש, משך תקופת הגשמים ומשך תקופות היובש בין פרקי הגשם.

בנוסף, נדרש לוודא כי איבודי המים בהתאידות אינם גורמים להתייבשות הבריכה במשך התקופות שבין פרקי הגשם. נתוני ההתאדות שהתקבלו מתחנת "מאור" מבוסס על נוסחת פנמן-מנטיס וכוללים זיות מצומח ולכן מספקים מידע לגבי שיעור האווו-טרנספירציה (איבוד

⁸ הנתונים שנמדדו בתחנת "מאור" התקבלו ממרק פרל מהשירות ההידרולוגי, האגף לשימור קרקע וניקוז במשרד החקלאות ופיתוח הכפר.

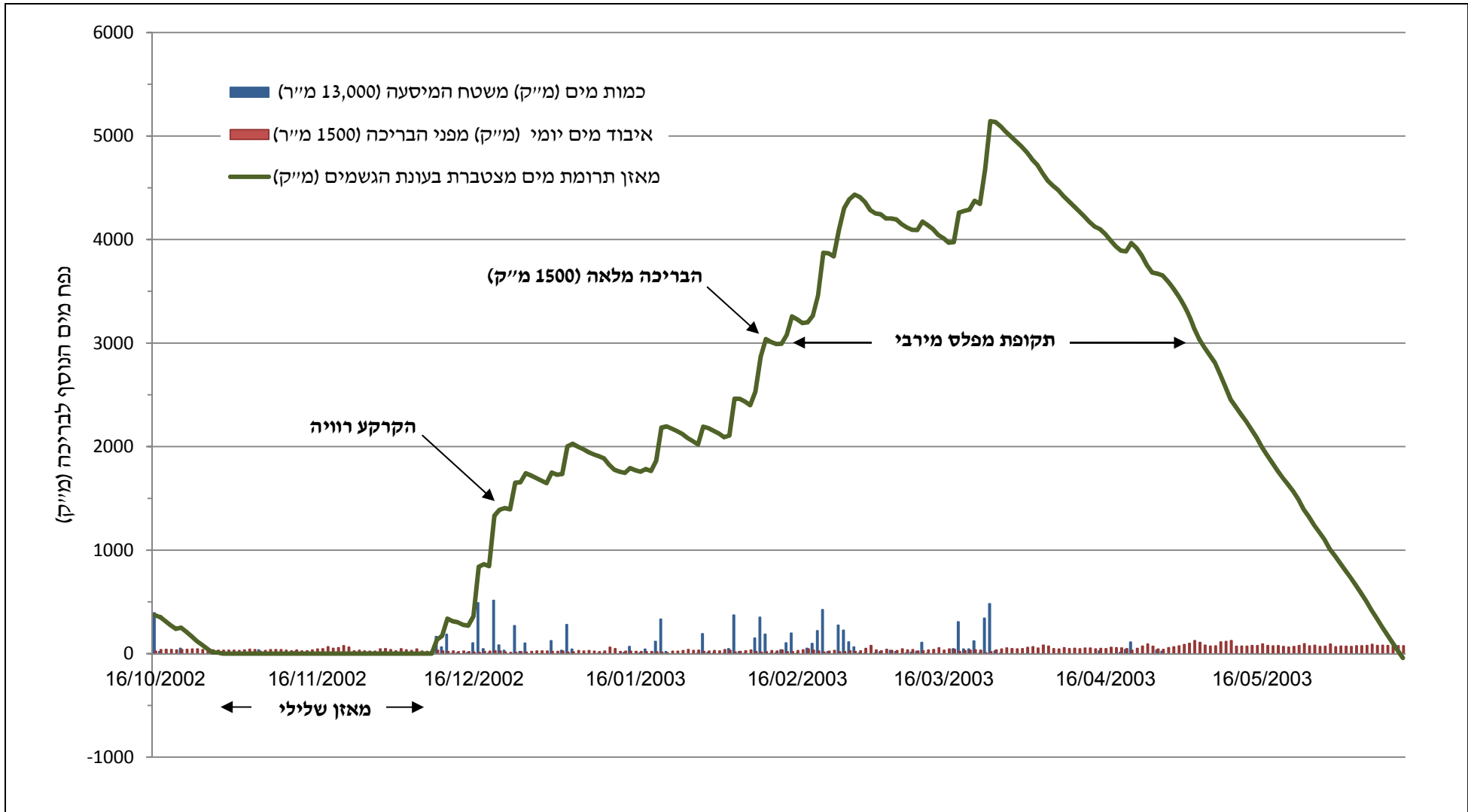
בהתאדות + טרנספירציה מצמחים). בהעדר נתונים של התאדות בלבד השתמשתי בנתונים הני"ל. חישוב איבוד מים לפי הנתונים הללו גדול מזה שעל ידי התאדות בלבד, ולכן יש לראות בערכים אלה כהערכה מירבית.

באזור הבריכה יש לקחת בחשבון איבוד נגר בחלחול עד שהקרקע רוויה. הקרקע החרסיתית המצויה באזור נחשבת כקרקע אטומה לחלחול (צדקה ווינשטיין, 2008). בתכנון כבישים כאשר מעורב צוות מתכננים משולב של תחומי ההנדסה והנוף, מומלץ לבחון באמצעות מעבדת שדה את תכונות הקרקע המקומית ואת אחוז החרסית בה על מנת לקבל נתוני אמת של מקדם החלחול והמוליכות ההידראולית של הקרקע (צדקה ווינשטיין, 2008). במידה וכמות החרסית בקרקע נמוכה יהיה צורך לקחת בחשבון איבודי מים בחלחול.

לצורך הדגמה של בדיקת כמויות המים מנגר הכבישים שצפויות להזין את בריכת החורף השתמשתי בנתוני גשם ואוּפּו-טרנספירציה יומיים מתקופת חורף 2002-2003 (איור 48; טבלה 4). במחקר הנוכחי הנחתי שהבריכה מתחילה להתמלא לאחר הרווית החרסית בפרק הגשם המשמעותי הראשון (גדול מ-100 מ"מ). הנגר שלאחר פרק הגשם המשמעותי הראשון יתחיל במילוי הבריכה. בעונה זו אירוע הגשם המשמעותי הראשון של עונת הגשמים התרחש בין 9 לדצמבר לבין ה-20 לדצמבר.

אם נניח שהתרומה היא מהכביש בלבד, הבריכה תגיע למפלס מירבי כאשר יזרום אליה נגר בנפח של 1500 מ"ק (תרומת הנגר לאחר ניכוי איבוד באוּפּו-טרנספירציה). על פי הנחה זו הבריכה התמלאה בתחילת חודש פברואר ונשארה במפלס המירבי עד תחילת חודש מאי. הנחה זו כאמור, שמרנית, שכן נגר נוסף צפוי להיכנס לבריכה מאגן הניקוז של סביבת הכביש ולכן ניתן לצפות שהבריכה תתמלא קודם לכן. עודפי מים לנפח הבריכה בהמשך תקופת הגשמים, לאחר מילוי הבריכה, היו זורמים אל נחל חדרה.

מתחילת חודש מאי מפלס הבריכה מתחיל לרדת והבריכה צפויה להתייבש בתחילת חודש יוני. קיום המים בבריכה יתמשך מחודש ינואר ועד התייבשות הבריכה בחודש יוני, כלומר, מעל 4 חודשים כנדרש (ר' לעיל סעיף 2.4 י').



איור 48 : השתנות יומית של נפח המים הנתרם משטח מיסעת הכביש באירועי גשם ואיבוד מים באוּפּו-טרנספירציה בחורף אוקטובר 2002 - מאי 2003

טבלה 4 : נתוני גשם (a) ואווו-טרנספירציה (b) יומיים בקטע מקרה הבוחן מחורף אוקטובר 2002 - מאי 2003 (תחנת "מאור"), נגר מחושב משטח מיסעת הכביש (c), חישוב איבוד המין באווו-טרנספירציה מפני שטח הבריכה (d) וכתוצאה מאזן תרומת מים מצטברת בעונת הגשמים (e) ומצב מילוי הבריכה (f)

מקרא: (-) הבריכה ריקה; (Δ) תרומה לרווית הקרקע; (\uparrow) תרומה למילוי הבריכה; (\bullet) הבריכה מלאה עם אפשרות לגלישת עודפים; (\downarrow) מפלס הבריכה יורד.

תאריך	a כמות גשם יומית (מ"מ)	b איבוד מים יומי (מ"מ)	c כמות מים (מ"ק) משטח מיסעה 13,000 (מ"ר) axc	d איבוד מים יומי (מ"ק) מפני הבריכה 1500 (מ"ר) bxd	e מאזן תרומת מים מצטברת בעונת הגשמים (מ"ק)	f מצב מילוי הבריכה 1500 (מ"ק)
16/10/2002	30.3	2	394	23	371	-
17/10/2002	1.5	3	20	38	353	-
18/10/2002	0	3	0	41	313	-
19/10/2002	0	3	0	39	274	-
20/10/2002	0	2	0	35	239	-
21/10/2002	3.9	3	51	39	251	-
22/10/2002	0	3	0	41	211	-
23/10/2002	0	3	0	44	167	-
24/10/2002	0	3	0	45	122	-
25/10/2002	0	3	0	38	85	-
26/10/2002	0	3	0	38	47	-
27/10/2002	0	2	0	36	11	-
28/10/2002	0	2	0	32	מאזן שלילי	-
29/10/2002	0	2	0	32	מאזן שלילי	-
30/10/2002	0.3	2	4	33	מאזן שלילי	-
31/10/2002	0.1	2	1	33	מאזן שלילי	-
01/11/2002	0	2	0	30	מאזן שלילי	-
02/11/2002	0	2	0	35	מאזן שלילי	-
03/11/2002	0	3	0	42	מאזן שלילי	-
04/11/2002	0	3	0	38	מאזן שלילי	-
05/11/2002	2.8	2	36	23	מאזן שלילי	-
06/11/2002	0.1	2	1	30	מאזן שלילי	-
07/11/2002	0	3	0	38	מאזן שלילי	-
08/11/2002	0	3	0	38	מאזן שלילי	-

f מצב מילוי הבריכה 1500 (מ"ק)	e מאזן תרומת מים מצטברת בעונת הגשמים (מ"ק)	d איבוד מים יומי (מ"ק) מפני הבריכה 1500 מ"ר) bxd	c כמות מים (מ"ק) משטח מיסעה 13,000 מ"ר) axc	b איבוד מים יומי (מ"מ)	a כמות גשם יומית (מ"מ)	תאריך
-	מאזן שלילי	38	5	3	0.4	09/11/2002
-	מאזן שלילי	33	1	2	0.1	10/11/2002
-	מאזן שלילי	27	0	2	0	11/11/2002
-	מאזן שלילי	35	21	2	1.6	12/11/2002
-	מאזן שלילי	26	0	2	0	13/11/2002
-	מאזן שלילי	27	0	2	0	14/11/2002
-	מאזן שלילי	35	0	2	0	15/11/2002
-	מאזן שלילי	44	0	3	0	16/11/2002
-	מאזן שלילי	47	0	3	0	17/11/2002
-	מאזן שלילי	66	0	4	0	18/11/2002
-	מאזן שלילי	51	0	3	0	19/11/2002
-	מאזן שלילי	57	0	4	0	20/11/2002
-	מאזן שלילי	77	0	5	0	21/11/2002
-	מאזן שלילי	63	0	4	0	22/11/2002
-	מאזן שלילי	26	0	2	0	23/11/2002
-	מאזן שלילי	33	13	2	1	24/11/2002
-	מאזן שלילי	26	0	2	0	25/11/2002
-	מאזן שלילי	23	0	2	0	26/11/2002
-	מאזן שלילי	23	0	2	0	27/11/2002
-	מאזן שלילי	45	0	3	0	28/11/2002
-	מאזן שלילי	48	16	3	1.2	29/11/2002
-	מאזן שלילי	38	0	3	0	30/11/2002
-	מאזן שלילי	27	0	2	0	01/12/2002
-	מאזן שלילי	47	0	3	0	02/12/2002
-	מאזן שלילי	36	0	2	0	03/12/2002
-	מאזן שלילי	30	0	2	0	04/12/2002
-	מאזן שלילי	44	0	3	0	05/12/2002
-	מאזן שלילי	24	0	2	0	06/12/2002
-	מאזן שלילי	21	0	1	0	07/12/2002
-	מאזן שלילי	21	0	1	0	08/12/2002

f מצב מילוי הבריכה 1500) (מ"ק)	e מאזן תרומת מים מצטברת בעונת הגשמים (מ"ק)	d איבוד מים יומי (מ"ק) מפני הבריכה 1500) מ"ר) bxd	c כמות מים (מ"ק) משטח מיסעה 13,000) מ"ר) axc	b איבוד מים יומי (מ"מ)	a כמות גשם יומית (מ"מ)	תאריך
Δ	134	32	165	2	12.7	09/12/2002
Δ	172	26	64	2	4.9	10/12/2002
Δ	338	20	186	1	14.3	11/12/2002
Δ	314	26	1	2	0.1	12/12/2002
Δ	303	18	7	1	0.5	13/12/2002
Δ	279	24	0	2	0	14/12/2002
Δ	271	18	10	1	0.8	15/12/2002
Δ	360	14	103	1	7.9	16/12/2002
Δ	840	12	491	1	37.8	17/12/2002
Δ	864	21	46	1	3.5	18/12/2002
Δ	845	23	4	2	0.3	19/12/2002
Δ	1332	27	514	2	39.5	20/12/2002
↑	1390	24	82	2	6.3	21/12/2002
↑	1406	15	31	1	2.4	22/12/2002
↑	1394	12	0	1	0	23/12/2002
↑	1652	12	270	1	20.8	24/12/2002
↑	1655	17	20	1	1.5	25/12/2002
↑	1743	14	101	1	7.8	26/12/2002
↑	1722	21	0	1	0	27/12/2002
↑	1697	26	0	2	0	28/12/2002
↑	1671	26	0	2	0	29/12/2002
↑	1647	24	0	2	0	30/12/2002
↑	1750	21	124	1	9.5	31/12/2002
↑	1729	21	0	1	0	01/01/2003
↑	1736	24	31	2	2.4	02/01/2003
↑	2002	14	280	1	21.5	03/01/2003
↑	2028	17	43	1	3.3	04/01/2003
↑	2000	29	0	2	0	05/01/2003
↑	1976	24	0	2	0	06/01/2003
↑	1947	29	0	2	0	07/01/2003

f מצב מילוי הבריכה 1500) (מ"ק)	e מאזן תרומת מים מצטברת בעונת הגשמים (מ"ק)	d איבוד מים יומי (מ"ק) מפני הבריכה 1500) מ"ר) bxd	c כמות מים (מ"ק) משטח מיסעה 13,000) מ"ר) axc	b איבוד מים יומי (מ"מ)	a כמות גשם יומית (מ"מ)	תאריך
↑	1925	23	0	2	0	08/01/2003
↑	1908	18	1	1	0.1	09/01/2003
↑	1886	24	1	2	0.1	10/01/2003
↑	1824	62	0	4	0	11/01/2003
↑	1776	48	0	3	0	12/01/2003
↑	1757	20	0	1	0	13/01/2003
↑	1746	23	12	2	0.9	14/01/2003
↑	1792	23	69	2	5.3	15/01/2003
↑	1771	21	0	1	0	16/01/2003
↑	1758	20	7	1	0.5	17/01/2003
↑	1783	18	43	1	3.3	18/01/2003
↑	1764	20	0	1	0	19/01/2003
↑	1864	17	117	1	9	20/01/2003
↑	2183	14	333	1	25.6	21/01/2003
↑	2195	8	20	1	1.5	22/01/2003
↑	2173	23	0	2	0	23/01/2003
↑	2150	23	0	2	0	24/01/2003
↑	2122	29	0	2	0	25/01/2003
↑	2083	39	0	3	0	26/01/2003
↑	2053	30	0	2	0	27/01/2003
↑	2021	33	1	2	0.1	28/01/2003
↑	2193	21	192	1	14.8	29/01/2003
↑	2179	24	10	2	0.8	30/01/2003
↑	2152	29	1	2	0.1	31/01/2003
↑	2126	26	0	2	0	01/02/2003
↑	2090	38	1	3	0.1	02/02/2003
↑	2107	32	48	2	3.7	03/02/2003
↑	2463	15	372	1	28.6	04/02/2003
↑	2461	21	18	1	1.4	05/02/2003
↑	2435	27	1	2	0.1	06/02/2003

f מצב מילוי הבריכה 1500 (מ"ק)	e מאזן תרומת מים מצטברת בעונת הגשמים (מ"ק)	d איבוד מים יומי (מ"ק) מפני הבריכה 1500 מ"ר) bxd	c כמות מים (מ"ק) משטח מיסעה 13,000) מ"ר) axc	b איבוד מים יומי (מ"מ)	a כמות גשם יומית (מ"מ)	תאריך
↑	2400	35	0	2	0	07/02/2003
↑	2530	20	150	1	11.5	08/02/2003
↑	2868	14	351	1	27	09/02/2003
●	3039	17	187	1	14.4	10/02/2003
●	3011	29	1	2	0.1	11/02/2003
●	2991	24	4	2	0.3	12/02/2003
●	2993	35	36	2	2.8	13/02/2003
●	3078	18	103	1	7.9	14/02/2003
●	3258	18	198	1	15.2	15/02/2003
●	3230	29	1	2	0.1	16/02/2003
●	3194	36	0	2	0	17/02/2003
●	3200	45	51	3	3.9	18/02/2003
●	3265	33	98	2	7.5	19/02/2003
●	3460	26	221	2	17	20/02/2003
●	3872	14	425	1	32.7	21/02/2003
●	3867	23	18	2	1.4	22/02/2003
●	3837	30	0	2	0	23/02/2003
●	4095	17	274	1	21.1	24/02/2003
●	4303	18	226	1	17.4	25/02/2003
●	4389	27	113	2	8.7	26/02/2003
●	4434	20	64	1	4.9	27/02/2003
●	4411	27	4	2	0.3	28/02/2003
●	4362	50	1	3	0.1	01/03/2003
●	4284	78	0	5	0	02/03/2003
●	4252	35	3	2	0.2	03/03/2003
●	4244	27	18	2	1.4	04/03/2003
●	4203	41	0	3	0	05/03/2003
●	4203	30	30	2	2.3	06/03/2003
●	4194	29	20	2	1.5	07/03/2003
●	4149	45	0	3	0	08/03/2003
●	4118	35	4	2	0.3	09/03/2003
●	4094	38	13	3	1	10/03/2003
●	4092	24	22	2	1.7	11/03/2003
●	4173	27	108	2	8.3	12/03/2003
●	4140	35	1	2	0.1	13/03/2003
●	4101	39	0	3	0	14/03/2003
●	4045	56	0	4	0	15/03/2003
●	4014	32	0	2	0	16/03/2003
●	3970	44	0	3	0	17/03/2003

f מצב מילוי הבריכה 1500) (מ"ק)	e מאזן תרומת מים מצטברת בעונת הגשמים (מ"ק)	d איבוד מים יומי (מ"ק) מפני הבריכה 1500) מ"ר) bxd	c כמות מים (מ"ק) משטח מיסעה 13,000) מ"ר) axc	b איבוד מים יומי (מ"מ)	a כמות גשם יומית (מ"מ)	תאריך
●	3975	42	47	3	3.6	18/03/2003
●	4261	21	307	1	23.6	19/03/2003
●	4277	29	44	2	3.4	20/03/2003
●	4289	32	44	2	3.4	21/03/2003
●	4375	36	122	2	9.4	22/03/2003
●	4344	33	1	2	0.1	23/03/2003
●	4678	8	342	1	26.3	24/03/2003
●	5144	17	482	1	37.1	25/03/2003
●	5135	35	26	2	2	26/03/2003
●	5093	44	1	3	0.1	27/03/2003
●	5039	54	0	4	0	28/03/2003
●	4991	48	0	3	0	29/03/2003
●	4946	45	0	3	0	30/03/2003
●	4898	48	0	3	0	31/03/2003
●	4840	59	0	4	0	01/04/2003
●	4774	66	0	4	0	02/04/2003
●	4721	53	0	4	0	03/04/2003
●	4640	81	0	5	0	04/04/2003
●	4568	72	0	5	0	05/04/2003
●	4520	48	0	3	0	06/04/2003
●	4477	44	0	3	0	07/04/2003
●	4420	57	0	4	0	08/04/2003
●	4372	48	0	3	0	09/04/2003
●	4321	51	0	3	0	10/04/2003
●	4274	47	0	3	0	11/04/2003
●	4222	53	0	4	0	12/04/2003
●	4169	53	0	4	0	13/04/2003
●	4124	45	0	3	0	14/04/2003
●	4101	50	26	3	2	15/04/2003
●	4053	48	0	3	0	16/04/2003
●	3993	60	0	4	0	17/04/2003
●	3936	57	0	4	0	18/04/2003
●	3893	54	12	4	0.9	19/04/2003
●	3886	48	40	3	3.1	20/04/2003
●	3966	32	112	2	8.6	21/04/2003
●	3917	50	0	3	0	22/04/2003
●	3845	72	0	5	0	23/04/2003
●	3752	93	0	6	0	24/04/2003
●	3681	71	0	5	0	25/04/2003
●	3671	44	34	3	2.6	26/04/2003

f מצב מילוי הבריכה 1500) (מ"ק)	e מאזן תרומת מים מצטברת בעונת הגשמים (מ"ק)	d איבוד מים יומי (מ"ק) מפני הבריכה 1500) מ"ר) bxd	c כמות מים (מ"ק) משטח מיסעה 13,000) מ"ר) axc	b איבוד מים יומי (מ"מ)	a כמות גשם יומית (מ"מ)	תאריך
●	3653	41	22	3	1.7	27/04/2003
●	3596	57	0	4	0	28/04/2003
●	3531	65	0	4	0	29/04/2003
●	3458	74	0	5	0	30/04/2003
●	3371	87	0	6	0	01/05/2003
●	3272	99	0	7	0	02/05/2003
●	3146	126	0	8	0	03/05/2003
●	3038	108	0	7	0	04/05/2003
●	2957	81	0	5	0	05/05/2003
●	2885	72	0	5	0	06/05/2003
●	2811	74	0	5	0	07/05/2003
↓	2699	113	0	8	0	08/05/2003
↓	2582	117	0	8	0	09/05/2003
↓	2456	126	0	8	0	10/05/2003
↓	2385	71	0	5	0	11/05/2003
↓	2313	72	0	5	0	12/05/2003
↓	2243	71	0	5	0	13/05/2003
↓	2165	78	0	5	0	14/05/2003
↓	2088	77	0	5	0	15/05/2003
↓	1995	93	0	6	0	16/05/2003
↓	1917	78	0	5	0	17/05/2003
↓	1844	74	0	5	0	18/05/2003
↓	1767	77	0	5	0	19/05/2003
↓	1698	69	0	5	0	20/05/2003
↓	1635	63	0	4	0	21/05/2003
↓	1568	68	0	5	0	22/05/2003
↓	1490	78	0	5	0	23/05/2003
↓	1395	95	0	6	0	24/05/2003
↓	1322	74	0	5	0	25/05/2003
↓	1242	80	0	5	0	26/05/2003
↓	1173	69	0	5	0	27/05/2003
↓	1103	71	0	5	0	28/05/2003

f מצב מילוי הבריכה 1500) (מ"ק)	e מאזן תרומת מים מצטברת בעונת הגשמים (מ"ק)	d איבוד מים יומי (מ"ק) מפני הבריכה 1500) (מ"ר) bxd	c כמות מים (מ"ק) משטח מיסעה 13,000) (מ"ר) axc	b איבוד מים יומי (מ"מ)	a כמות גשם יומית (מ"מ)	תאריך
↓	1011	92	0	6	0	29/05/2003
↓	945	66	0	5	0	30/05/2003
↓	873	72	0	5	0	31/05/2003
↓	803	71	0	5	0	01/06/2003
↓	735	68	0	5	0	02/06/2003
↓	660	75	0	5	0	03/06/2003
↓	585	75	0	5	0	04/06/2003
↓	507	78	0	5	0	05/06/2003
↓	419	89	0	6	0	06/06/2003
↓	341	78	0	5	0	07/06/2003
↓	261	80	0	5	0	08/06/2003
↓	183	78	0	5	0	09/06/2003
↓	108	75	0	5	0	10/06/2003
↓	33	75	0	5	0	11/06/2003
↓	-42	75	0	5	0	12/06/2003