

Arnon Goren, Msc. Civil Engineer

Kibbutz Maabarot, 40230, Israel. Tel: 972-52-370-0170 Fax: 972-4630-8359
e-mail: agoren12@barak.net.il

מתקני טיהור לתשטיפי כבישים סקר, מחקר והמלצות למתקנים

**מוגש לחברת אסיף אסטרטגיות בע"מ
עבור מע"צ**

על ידי ארנון גורן

עזרה באיסוף מקורות ועריכה: נועה אבנט

אוגוסט 2008



תוכן העניינים

עמ' 3	.....	1. תקציר המחקר
עמ' 4	.....	2. מטרת המחקר
עמ' 4	.....	3. שאלות המחקר
עמ' 5	.....	4. סקירת מקורות מישראל ומהעולם
עמ' 5	.....	4.1 מי התשטיפים מהכבישים וזיהום מי התהום ומקוי המים
עמ' 12	.....	4.2 מתקנים לטיהור מזהמים ממי הנגר של כבישים
עמ' 12	.....	4.2.1 מתקני חלחול (Infiltration practices)
עמ' 17	.....	4.2.2 מתקני סינון (Filtration practices)
עמ' 26	.....	4.2.3 עיכוב, אצירה והחזקה (Detention/retention practices)
עמ' 32	.....	4.2.4 התאדות
עמ' 33	.....	4.2.5 מתקנים נוספים (Other practices)
עמ' 36	.....	4.3 יתרונות, חסרונות ועלויות המתקנים השונים
עמ' 41	.....	4.4 בחירת המתקן המתאים
עמ' 43	.....	4.5 מניעת יתושים במתקנים
עמ' 45	.....	5. הצעות והמלצות למתקנים בכבישי ישראל - ארנון גורן
עמ' 45	.....	5.1 מבוא
עמ' 45	.....	5.2 מידע כללי על מתקנים
עמ' 46	.....	5.3 הגדרות יסוד לתכנון המתקנים
עמ' 48	.....	5.4 מתקנים הנדסיים-הידראוליים
עמ' 48	.....	5.4.1 מתקן קבלת מי נגד עילי
עמ' 50	.....	5.5 מתקנים לטיפול במי נגר של כבישים – המלצות
עמ' 50	.....	5.5.1 בריכת השהיה עם אגן ירוק
עמ' 53	.....	5.5.2 בריכת השהיה וסינון חול
עמ' 55	.....	5.5.3 בריכת חלחול
עמ' 57	.....	5.5.4 סינון בתעלות הניקוז של הכביש
עמ' 59	.....	5.5.5 בריכות טבעיות משודרגות
עמ' 60	.....	5.6 יתרונות, חסרונות ואיכות הטיפול - טבלת השוואה בין המתקנים
עמ' 61	.....	5.7 סיכום אומדן עלויות למטר אורך - טבלת השוואה בין המתקנים
עמ' 62	.....	6. רשימת מושגים
עמ' 63	.....	7. ביבליוגרפיה
עמ' 64	.....	8. נספח
עמ' 64	.....	8.1 מפות משקעים
עמ' 65	.....	8.2 מפות משקעים
עמ' 65	.....	8.3 מס' כלי רכב לק"מ כביש

1. תקציר המחקר

מטרה

איתור מתקנים הנדסיים-הידראוליים שישולבו במערכת הדרכים ויטפלו בצורה יעילה במי התשטיפים, וכך ימנעו סחיפת המזהמים הנשטפים מהכביש על ידי הנגר אל רשת הניקוז והנחלים וזיהום מקורות המים. המערכות הכלולות במחקר זה הן:

- ❖ מיסעה (Pavement) ושולי הכביש (Shoulders)
- ❖ מערכת הניקוז (Drainage system) של הכביש
- ❖ מערכת הטיפול להרחקת מזהמים
- ❖ מוצא מערכת הניקוז אל ערוצי המים הטבעיים

שיטות

איתור מתקנים בעולם על ידי סקירת מאמרים באינטרנט. בחירת המתקנים המתאימים ביותר לתנאי הארץ ותמחורם.

תוצאות

סקירת המתקנים בתמקדה בארה"ב, אנגליה, קנדה, אוסטרליה, ניו-זילנד וישראל. בעולם יש עשייה רבה בתחום איכות הסביבה ויש התייחסות רחבה למי התשטיפים של הכבישים והטיפול בהם. סקירת המאמרים מספקת ניתוח המתקנים והתאמה לסוגי אתרי הכביש השונים. המתקנים העיקריים:

❖ מתקני חלחול (Infiltration practices)

- אגני חלחול (Infiltration basins)
- תעלות חלחול (Infiltration trenches)
- מדרכות מחוררות (Pervious porous pavements)
- מתקני תעלות פתוחות עם צמחים (Vegetated open channel practices)
- תעלות דשא (Grass channels) – צמחיה צפופה
- אגנים יבשים (Dry swales) – סינון על ידי צמחי פני השטח

❖ סינון (Filtration practices):

סוגי מסננים (Filtering practices)

- מסנן חול על פני השטח (Surface sand filter)
- מסנן חול מתחת לאדמה (Underground sand filter)
- מסנן אורגני (Organic filter)
- מסנן חול קטן (Pocket sand filter)
- שטחי סילוק מזהמים באמצעים ביולוגיים (Bioretention areas)

מתקני סינון (Filtering Practices)

- אגני סינון ומסנני חול (Filtration basins and sand filters)
- יחידות סינון דרך חומרים (Media filtration units)
- מערכות לסילוק ביולוגי (Bioretention)

❖ עיכוב, אצירה והחזקה (Detention/retention practices)

- בריכות עיכוב ובריכות מקורות (Detention ponds and vaults)
- בריכות החזקה (Retention ponds)
- ❖ בריכות עיכוב מושהה (Micropool extended detention ponds)
- ❖ בריכות רטובות (Wet ponds)
- ❖ בריכות רטובות – עיכוב מושהה (Wet extended detention ponds)
- ❖ מערכת רב-בריכתית (Multiple pond systems) ומתקנים נוספים.

לאחר בחינה של המתקנים השונים והנתונים הגיאוגרפיים בישראל, ביחד עם נפח תנועת כלי הרכב על הכבישים באזורים הנדונים, אנו ממליצים על שלושה פתרונות עיקריים:

1. בריכת השהיה עם אגן ירוק בזרימה עילית
2. סינון בתעלות הניקוז של הכביש
3. בריכות חלחול
4. בריכת אגירה וסינון לספיקות גבוהות
5. בריכות טבעיות

מסקנות

1. יש קשר ישיר בין כמות התנועה על הכביש לבין רמת הזיהום של התשטיפים.
2. יש קשר בין רמת זיהום התשטיפים וסיכונים לזיהום מי התהום.
3. מבחינה טכנית קיימים אמצעים לניטרול הסיכון על ידי הרחקת מזהמים ממי התשטיפים. ראוי לציין שהמחקרים השונים לא הראו חד משמעית על הרחקה ראויה של מזהמים הנמצאים במצב מומס במים בעיקר מתכות.
4. עלות הקמת מתקני הרחקת מזהמים, יחסית לסך עלויות הקמת הכביש הנה שולית.
5. שינויי האקלים בישראל ב-20 השנים האחרונות מצביעים על קיטון במשקעים השנתיים והגדלת נפח של סערות גשם בודדות, מגדילים את הסיכון לשטיפת מזהמים מהכבישים.

2. מטרת המחקר

מטרת המחקר היא לאתר מתקנים הנדסיים – הידראוליים (BMP) שישולבו במערכת הדרכים, יהוו מוקדים לאיסוף וטיפול במי התשטיפים, וכך מניעה של סחיפת המזהמים אל רשת הניקוז והנחלים וזיהום מקורות המים. בחירת המתקנים היעילים והכלכליים ביותר תשמש אמצעי עזר בידי מתכנני הכבישים כחלק ממערכת ההגנה על משאבי המים בישראל.

המערכות המוצעות יהיו בהגדרתן מערכות אקסטנסיוביות, אקולוגיות וברות קיימא המתוכננות כך שעלויות התחזוקה השנתיות יהיו מינימליות ואפקטיביות.

שיטות הטיפול יתייחסו לתאי האקלים העיקריים הקיימים בישראל, מתוך הדגשה על אזור המרכז עקב היותו דומיננטי מבחינת כמות ושטחי הכבישים ומספר המכוניות המשתמשות בהם.

3. שאלות המחקר

הצעות למתקנים לטיפול במים למי הנגר מהכבישים המכילים חומרים מזהמים:

- ❖ סוגי המתקנים
- ❖ מספר המתקנים
- ❖ מיקום המתקנים
- ❖ עלות המתקנים

4. סקירת מקורות מידע מישראל ומהעולם

4.1 מי התשטיפים מהכבישים וזיהום מי התהום ומקווי המים

4.1.1 סוגי המזהמים מהפסולת

העולם המודרני הביא עמו קידמה והתפתחות טכנולוגית אך יחד אתן גם כמויות גדולות של פסולת אותה מייצרים בני האדם. פסולת זו, מוצקה ונוזלית, אינה נעלמת - היא מגיעה אל מי התהום ומקווי המים השונים. ישנם 4 סוגי זיהום:

1. מתכות כבדות וחומרים כימיים רעילים שמקורם בעיקר בשפכים תעשייתיים ובמזבלות פסולת מוצקה.
 2. דשנים (תרכובות מכילות חנקן, אשלגן וזרחן), חומרי הדברה והפרשות בעלי חיים שמקורם בעיבוד חקלאי.
 3. חומרים אורגניים גורמי מחלות כמו חיידקים שמקורם בשפכים.
 4. דליפות דלק.
- איכות המים נפגעת גם כתוצאה מהמלחת מי התהום עקב שאיבת יתר מהבארות והשקיה במי קולחין מטוהרים העשירים בעודפי מלחים (1).

4.1.2 השפעת מזהמי המים השונים על האדם ובעלי החיים

- למעשה, כל זיהומי המים מזיקים לבריאות האדם ובעלי החיים. יתכן והנזק לא מיידי, אך הזיהומים מהווים סיכון עם החשיפה לאורך זמן. מזהמים שונים משפיעים בצורות שונות:
- ❖ מתכות כבדות מתהליכים תעשייתיים מצטברות באגמים ובנחלים. הן רעילות לבעלי החיים שנמצאים במים, דגים ורכיכות ולבני אדם שאוכלים אותם.
 - ❖ פסולת תעשייתית מכילה לעתים קרובות תרכובות רעילות ההורסות את בריאות בעלי החיים הנמצאים במים ובריאות מי שאוכל אותם. חלק מהפסולת הזאת היא בעלת השפעה מתונה אך חלק יכול לגרום למוות על ידי שגורם לדיכוי החיסון, כשלון התרבותי והרעלה קשה.
 - ❖ מזהמים מיקרוביאליים עלולים לגרום למחלות מדבקות ופוגעים בבעלי החיים הנמצאים במים ובעלי החיים היבשתיים דרך מי השתיה. מים מזוהמים על ידי חיידקים מהווים בעיה מרכזית עם מחלות כמו כולרע וטיפוס, ומהווים גורם מספר אחד בתמותת תינוקות.
 - ❖ חומר אורגני וחומרי תזונה מגדילים את כמות האצות האארוביות ומרוקנים את החמצן מהמים. זה גורם להחנקות הדגים ושאר דיירי המים.
 - ❖ חלקיקי גפרית מהגשם החומצי יכולים להרע לבעלי החיים הימיים בנחלים ובאגמים ולגרום מוות.
 - ❖ חלקיקים מורחפים במים הנקיים מורידים את איכות מי השתיה לבני האדם ולבעלי החיים במים. החלקיקים מפחיתים את השמש החודרת למים וזה פוגע בתהליכים הפוטוסינתטיים וגידול הצמחים והמיקרואורגניזמים שבמים (2).

מי שתייה

מים המשמשים לשתייה חייבים להיות נקיים ממיקרואורגניזמים הגורמים למחלות, וכן מחומרים כימיים ברמות העלולות להזיק לבריאות או לגרום לפגיעה אסתטית במים.

4.1.3 החורף בישראל

כמות הגשמים באזור ישראל וירדן הולכת ופוחתת ככל שנעים מזרחה ודרומה. למעשה, 70% משטח האזור מוגדר כמדבר, ויורדים בו 50 עד 200 מ"מ גשם בממוצע בשנה. בשאר השטח יורדים בין 300 ל-750 מ"מ בשנה, ורק על רכסי ההרים בצפון מערב האזור יורדים יותר גשמים (3).

העונה הגשומה

בחלקו המרכזי של החורף, בין מחצית נובמבר למחצית מרץ, יורדים בדרך כלל בין שמונים לתשעים וחמישה אחוז מגשמי העונה הגשומה.

ניתן לחלק את חלקו המרכזי של החורף לשלושה חלקי משנה. בראשון – מחצית נובמבר עד מחצית דצמבר, עיקר הגשמים יורד במישור החוף וכמותם פוחתת ככל שמתקדמים מזרחה – בשל השפעת הים החם. בחלקו המרכזי: בין מחצית דצמבר למחצית פברואר, הגשמים – כאשר הם יורדים – מרובים בכל האזורים שמצפון לקו באר שבע – ערד. בחלקו האחרון – בין מחצית פברואר למחצית מרץ, הגשמים מרובים בעיקר בהרים ובפנים הארץ.

בחלקה האחרון של העונה הגשומה – בין מחצית מרץ למחצית מאי, מרובים בדרך כלל השקעים השרביים. אלה נשברים בדרך כלל עם ירידה בטמפרטורות ומעט מאוד גשם – אם בכלל.

גם ב"תקופות הגשומות", יש לא מעט ימים בלי גשם. בעונת גשם יש בירושלים בממוצע בסביבות שישים ימי גשם (לעומת קרוב לשבעים בגליל, וכארבעים בנגב). כאשר חלק ניכר מתוכם (בדרך כלל כמחצית ומעלה) הם ימי גשם

עלובים של פחות מחמישה מ"מ. כלומר, גם בתקופה גשומה במרכז העונה הגשומה, חלק ניכר מהימים לא יכלול גשם כלל, או לא יכלול גשם משמעותי. בנוסף, חלק מימי הגשם המשמעותיים (למעלה מחמישה מ"מ), יקבלו לעיתים את כלל המשקעים בתוך שעות ספורות (4).
ראה נספח.

4.1.4 הכביש כמקור לזיהום המים

גורמים המשפיעים על זיהום תשטיפי הכביש בארה"ב

לנפח התנועה יש השפעה על איכות התשטיפ. גם לעיצוב הדרך, לאזור שמסביב, לאקלים ולתאונות. לדרכים עירוניות עם יותר מ-30,000 כלי רכב ליום עלול להיות תשטיפ של פי 2-5 יותר מזהמים מדרכים כפריות!! (שם עמ' 3). לחומר ממנו הכביש בנוי (אספלט או בטון) יש השפעה מעטה על איכות התשטיפ. לשימושי האדמה המקיפה את הכביש ישנה השלכה רבה יותר על מאפייני התשטיפ של פני שטח הכביש. גם למערכת האיסוף יש השפעה. לעוצמת הסערה יש ההשפעה הגדולה ביותר על החלקיקים המזהמים אשר נקשרים לחומר החלקיקי כי תנועת החומר החלקיקי גדולה יותר.

טבלה מסכמת של הזיהומים ומקורם (שם עמ' 5):

מקור	מזהם	
התבלות מדרכות, כלי רכב, פעילויות תחזוקה, אטמוספירה	חלקיקים	שיקוע
אטמוספירה ודשנים	חנקן וזרחן	יסודות הזנה
דלק והתבלות צמיגים	עופרת	מתכות כבדות
התבלות צמיגים, שמן מנוע וחומרי סיכה	אבץ	
חלודה משלדת כלי רכב ורכיבים עשויי פלדה בכביש	ברזל	
צלחות מתכת, חלקי מנוע, קוטלי חרקים וקוטלי פטריות	נחושת	
התבלות צמיגים וקוטלי חרקים	קדמיום	
צלחות מתכת וחלקי מנוע	כרום	
דלקים, שמני סיכה, צלחות מתכת, אספלט	ניקל	
חלקי מנוע	מנגן	
דליפות דלק, נוזלים הידראוליים ואספלט	נפט	פחמימנים
נזילות, טיפולים ותאונות	שמן	

In urbanized areas, the greater the amount of impervious surfaces, such as roads, driveways, parking lots and buildings, and the amount of human activity will tend to accumulate greater contaminants or potential pollutants. However, these pollutants may be channeled directly into storm sewer systems. In less built-up areas, permeable surfaces act to filter out pollutants. Some pollutants may reach surface and ground waters through infiltration. The fate of and magnitude of pollutants found in highway runoff are site specific and are affected by the volume of traffic, design of the roadway, surrounding land use, climate and accidental spills. Traffic volume would seem to be an important factor for predicting runoff quality. Prior to storm events, roadways with average daily traffic (ADT) greater than 30,000 vehicles may produce runoff with two to five times the runoff pollutant levels found in that from rural highways. However, this highway runoff may not directly impact receiving streams. This is true for both ADT and the number of vehicles during a storm. Naturally occurring surface winds and vehicular caused turbulence remove significant amounts of particulate matter and other pollutants from road surfaces. These wind effects, therefore, lessen the impact traffic volumes has on runoff loadings to streams.

A stronger correlation of potential runoff impacts exists with storm characteristics. Storm events can be characterized by the number of dry days preceding the storm event, the intensity of the storm and the elapsed time of the total storm event. Of these three characteristics, storm intensity is the most critical, since many of the pollutants attach themselves to particulate matter (or sediment). The more intense the storm, the greater the movement of particulate matter. Pollutants showing a strong correlation with particulates include heavy metals, organic compounds, total organic carbon and bacteria. Long duration storms typically lower pollutant concentrations due to increased stormwater volumes. However, the overall loading of pollutants (total mass transported) is generally greater with these storms than with smaller but more intense storms. In general both types of storms, have higher concentrations of pollutants that are contained in the initial stages of runoff. This loading effect is often referred to as the "first flush". Highway surface types (asphalt or concrete) seem to have minimal effect on the runoff quality. Several studies have suggested that the land uses surrounding

the highway facility have a far greater impact on the characteristics of the stormwater runoff from highway surfaces. Furthermore, the type of stormwater collection systems associated with a highway (i.e., storm sewer, grassy swale, etc.) plays a significant role in stormwater runoff quality and its impact on receiving streams.

Table 2 - Typical Pollutants Found in Runoff from Roads and Highways* (5)

POLLUTANT	SOURCE
Particulates	Pavement wear, vehicles, the atmosphere and maintenance activities, snow/ice abrasiveness and sediment disturbance
Rubber	Tire wear
Asbestos	Clutch and brake lining wear (No mineral asbestos has been identified in runoff, however, some break-down products of asbestos have been measured)
Nitrogen and Phosphorus	Atmosphere, roadside fertilizer application and sediments
Lead	Leaded gasoline from auto exhaust, tire wear, lubricating oil and grease, bearing wear and atmospheric fallout
Zinc	Tire wear, motor oil and grease
Iron	Auto body rust, steel highway structures such as bridges and guardrails and moving engine parts
Copper	Metal plating, bearing and bushing wear, moving engine parts, brake lining wear, fungicides and insecticides
Cadmium	Tire wear and insecticide application
Chromium	Metal plating, moving engine parts and brake lining wear
Nickel	Diesel fuel and gasoline, lubricating oil, metal plating, bushing wear, brake lining wear and asphalt paving

יש לפעול לפיתוח ויישום מנגנוני פיקוח ובקרה על זיהום מדרכים לצורך הפחתת ריכוזים ונפחים של מזהמים ממערכות כבישים קיימות. מובן כי על האמצעים הננקטים לקחת בחשבון את המקור לנגר, את המיקום שלהם ואת האקלים באזור.

אופן הצטברות המזהמים במי הנגר

נגר שמקורו בפני השטח של כבישים עשוי להכיל מזהמים אשר הצטברו לאורך זמן, במיוחד לאחר עונת היובש. מזהמים שמקורם בכלי הרכב הנוסעים על הכביש או מזהמים שקשורים בסלילת הכביש ותחזוקתו נשטפים מהכבישים וצידי הדרכים כאשר יורד גשם. מי הגשם הזורמים אוספים אבק, מתכות, שמן שטפוף מכלי רכב, חומרי הדברה, חומרי דישון ופסולת שנזרקה מרכבים כמו שקיות פלסטיק, בדלי סיגריות ועוד. הרכב הנגר מושפע משילוב מספר גורמים, ביניהם: עומס תחבורתי בכביש, כמות המשקעים ואופיים, החומרים מהם נבנה הכביש ואופי כלי הרכב הנעים עליו.

פירוט כמותי של מזהמי הכביש בארה"ב

(הערה: במחקרים אחדים נחקרו אמנם שטחים עירוניים אך לדעתנו נושא זיהום התשטיפים ומקורות הזיהום דומים לנעשה בשטח בין-עירוני. א.ג.).

- ❖ כמות החלקיקים המיוצרים בכביש באזורים העירוניים: 13,500 מ"ג / מ² / יום. מתוכם: 44-49% באים מציפוי המדרכה, 28-31% מציפוי הצמיג, 15% מחלקי מנוע ושאר המכונות, 6% מחומרי פליטה, 3% מהאטמוספירה.
- ❖ הגורם הראשוני לצבירת חלקיקי נפט בתשטיפים באזורי תנועה אינטנסיבית הוא דרגת החשיפה לתנועת כלי רכב מנועיים (משך החשיפה יחד עם נפח התנועה).
- ❖ כבישים נוטים לצבור חומר חלקיקי מצידי הדרכים, מלחים וחול, ממכונות מלוכלכות, מאבק מרפידת המעצור, מהשקעה מהאוויר ומפירוק פני השטח. מוצקים בגודל 2-8 מיקרון היו הכי הרבה והם נשטפו במהירות מהמדרכה עם השטף הראשון.
- ❖ החלקיקים שבתשטיפ מהווים נשאים לחומרים מזהמים הנדבקים לפני השטח שלהם.
- ❖ מסת מתכות כבדות קשורה לשכבה המחוספסת של פני שטח הכביש. אנליזה של עופרת, נחושת, קדמיום ואבץ שנעשתה לשאריות שלג, מראה שיותר מ-50% נקשרו לחלקיקים גדולים מ- 250 מיקרון ויותר מ-80% היו קשורים לחלקיקים גדולים מ-50 מיקרון.

- ❖ המתכות האופייניות לנגר עירוני: עופרת, אלומיניום וברזל. עופרת נקשרת בצורה ניכרת לתשטיף של דרך ראשית. בו נמצאו גם אבץ, קדמיום ונחושת.
- ❖ בסקר על איכות התשטיפים שנעשה בקליפורניה ב-100 כבישים נמצא קשר בין ריכוזי רוב המזהמים לנפח התנועה.
- ❖ יותר מ-30% של ארסן, קדמיום, כרום, נחושת, ניקל, כסף ואבץ נמצאו בצורה מסיסה. הטבע המסיס של מתכות אלו גורם להן לתנועתיות גבוהה וספיגה ביולוגית. לא מספיק לעצור את שטף המים, לסלק את המשקעים ולהפחית את העכירות – זה לא יסלק את המזהמים המסיסים.
- ❖ מחקרים הראו ריכוזים אופייניים זהים של מתכות במקומות שונים בעולם.
- ❖ ההשפעה על המים
- ❖ ההשפעות הייחודיות של תשטיפי הכביש והגשר על מערכות המים האקולוגיות ספציפיות הן לאתר המדובר והן לאירוע התשטיף. באופן כללי, מזהמי תשטיף יכולים להשפיע על איכות המים הן ברעילות מיידית והן בצבירה הדרגתית.
- ❖ תופעות לוואי סביבתיות פוטנציאליות הקשורות במרכיבים ספציפיים כוללות:
- ❖ מוצקים מורחפים מעלים את העכירות, מעבירים מזהמים אחרים הספוחים לפני שטח החלקיקים ומפחיתים את קיבולת אחסון התשטיפים בבריכות ובאגמים.
- ❖ מתכות כבדות הן רעילות למינים רבים הגדלים במים ויכולות להצטבר ברקמות של דגים ולהוות איום על בריאות האדם.
- ❖ חומרי מזון מורידים את איכות המים על ידי עידוד צמיחת אצות ועשבי מים. עליה מהירה של אלה עלולה להפחית את החמצן ולגרום למות הדגים.
- ❖ BOD (Biochemical Oxygen Demand) צריכת חמצן ביולוגית (צח"ב) מפחית את החמצן המומס כתוצאה מתהליכים ביולוגיים המפרקים את המרכיבים האורגניים בתשטיף. (תוצאה-פחות חמצן).
- ❖ הידרוקרבוני ארומטיים פוליציקליים (PAHs) כוללים חומרים שנמצאים בתוצרי נפט והם קרצינוגניים. הם מסוכנים אם מזהמים מי שתייה. הם בדרך כלל לא מסוכנים לאדם כשנמצאים בנחל או אגם כי הם נוטים להדבק לחלקים השוקעים פחות מאשר להיות מסיסים במים.

כלי רכב מנועיים מייצרים מזהמי תשטיפים על ידי פליטה והרבה (ריבוע) של חומרי פליטה ממכוניות, על ידי שחרור של חלקיקים נוזליים ומוצקים תוך כדי נסיעה ובלימה. במחקר המצוטט, נמצא שמתוך 13,500 המ"ג של חלקיקים שיוצרו למטר מרובע של פני שטח הכביש ליום, 44-49% באו מציפוי המדרכה, 28-31% מציפוי הצמיג, 15% מהמנוע ושאר חלקי המכונית. 6% מהחלקיקים יוצרו מחומרי פליטה ברי השקעה ו- 3% מהאטמוספירה (8).

Motor vehicles generate runoff pollutants through emission and deposition of automobile exhaust and through discharges of both fluids and solid particles while traveling and braking. In a study of traffic-generated particulates in Cincinnati (where the average daily traffic load is 150,000 vehicles), Sansalone and Buchberger (1997) found that of the 13,500 mg of particulates per square meter of road surface generated per day, 44 to 49 percent originated from pavement wear, 28 to 31 percent from tire wear, and 15 percent from engine and brake pad wear. The study also found that 6 percent of particulates were deposited from settleable exhaust and 3 percent from atmospheric deposition.

נמדדו חלקיקי נפט. בקניונים היה הריכוז הגבוה ביותר. כמו כן נמדד הריכוז במגרשי חניה לכל היום, רחובות ותחנות דלק. הערכה של השימוש בקרקע ושטחי הסיפוח של הידרוקרבוני הציעה שהגורם הראשוני בצבירת חלקיקי נפט בתשטיפים משטחים המשמשים לתנועה באופן אינטנסיבי, היא דרגת החשיפה לתנועת הרכב (שילוב של משך החשיפה לכלי רכב עם מנועים בפעולה ונפח התנועה).

A study by Shepp (1996) examined generation of petroleum hydrocarbons in urban runoff from four land uses: all-day parking lots, streets, gas stations, and convenience stores. Shepp found that convenience stores had the highest hydrocarbon concentration (see Figure 7.1). Evaluation of the land uses and their respective catchment areas suggested that the degree of automotive exposure (a combination of duration of exposure to vehicles with engines running and volume of traffic) is the primary factor in the generation of petroleum hydrocarbons in runoff from automotive-intensive land uses.

כבישים נוטים לצבור חומר חלקיקי מצידי הדרכים, מלחים וחול, מכוניות מלוכלכות, אבק מרפידת המעצור, שקיעה מהאוויר ופירוק פני השטח. החוקרים המצוטטים מצאו ששיעור הצטברות חלקיקים היה גדול משמעותית במורדות היורדים של הכביש מאשר במדרון העולה, ותפוצת החלקיקים במדרון היורד היתה באופן עקבי יותר מחוספסת בכל השטח הנמדד לעומת מידת תפוצת החלקיקים במדרון העולה ובמדרכה. מוצקים בגודל 2-8 μm היו במספרים הכי גבוהים ונשטפו במהירות מהמדרכה עם השטף הראשון. קצב הזרימה הצידי על המדרכה ומשכה, שלטו על הכמות והגודל של המוצקים שעברו. (שם עמ' 7-2).

Roads tend to accumulate particulate matter from roadsides, salting and sanding, dirty cars, brake pad dust, aerial deposition, and surface deterioration.

They found that accumulation of particulate matter was significantly greater along the downslope of the highway than along the upslope and that particle size distributions (PSDs) along the downslope were consistently coarser across the entire size gradation than the upslope and pavement PSDs (Sansalone and Tribouillard, 1999). Solids in the 2 to 8 μm range generated the largest counts and were rapidly washed from the pavement in a "first flush" effect (Sansalone et al., 1998). Lateral pavement sheet flow rate and duration controlled the yield and size of transported solids; particle transport was mass-limited during extended, high-intensity events, but was flow-limited during intermittent, low-intensity events with high traffic (Sansalone et al., 1998).

כאשר החלקיקים מועברים לתשטיף הם תורמים לרמות הגבוהות של סך המוצקים המרחפים ומהווים נשאים למזהמים הנדבקים לפני השטח שלהם. לכן יש חשיבות לפני שטח החלקיקים הקשור לגודל החלקיקים. יש פירוט מספרי של גודל החלקיקים.

These particles, when transported in runoff to receiving waters, contribute to high levels of total suspended solids and turbidity and act as carriers for pollutants that adhere to their surfaces. Because of this adsorption phenomenon, surface area can be an important determinant in pollutant loading from highways. A relationship exists between particle size and surface area.

מתכות כבדות והקשר לחלקיקים בכביש

משום שפני השטח מכילים את השכבה המחוספסת יותר, מסת מתכות כבדות קשורה גם כן לשכבה זו, אנליזה של עופרת, נחושת, קדמיום ואבץ שנעשתה לשאריות שלג, מראה שיותר מ-50% נקשרו לחלקיקים גדולים מ-250 μm יותר מ-80% היו קשורים לחלקיקים גדולים מ-50 μm (שם עמ' 7-3).

Because total surface area is predominantly associated with the coarser fraction, heavy metal mass (adhered to particle surfaces) is also strongly associated with this fraction (Cristina et al., 2000). Cumulative analyses for lead, copper, cadmium, and zinc in snow residuals indicated that more than 50 percent of these heavy metals (by mass) was associated with particles greater than 250 μm , and more than 80 percent was associated with particles greater than 50 μm (Sansalone and Glenn, unpublished).

פירוט המתכות האופייניות לנגר עירוני: עופרת, אלומיניום וברזל. עופרת נקשרת בצורה ניכרת לתשטיף של דרך ראשית. בו גם נמצאו אבץ, קדמיום ונחושת.

בסקר על איכות התשטיפים שנעשה בקליפורניה ב-100 כבישים נמצא קשר בין ריכוזי רוב המזהמים לנפח התנועה. יותר מ-30% של ארסן, קדמיום, כרום, נחושת, ניקל, כסף ואבץ נמצאו בצורה מסיסה.

החלוקה של המתכות הכבדות בין החלק המסיס לחלק המשוקע במוצקי הכלוך מעלה שאלות חשובות עבור מנהלי אזורי הניקוז לגבי הטיפול במי השטף. כי כנראה לא מספיק לעצור את שטף המים, לסלק את המשקעים ולהפחית את העכירות – זה לא יסלק את המזהמים המסיסים.

מחקר חדש מראה שריכוזים ממוצעים באירוע, של אבץ, קדמיום ונחושת מומסים יכולים לחרוג מסטנדרטים של איכות פני שטח המים ולהציג השפעת "שטף ראשון" אותה לא ניתן למתן על ידי השקעה. בנוסף, הטבע המסיס של מתכות אלו גורם להן לתנועתיות גבוהה וספיגה ביולוגית.

The partitioning of heavy metals between the particulate-bound and dissolved fractions raises important questions for watershed managers regarding storm water treatment. It was previously thought that metals were associated with particulates and that removing sediment and reducing turbidity would address these pollutants. However, new research indicates that event mean concentrations of dissolved zinc, cadmium, and copper can exceed surface water quality discharge standards and can exhibit a "first flush" effect that cannot be mitigated by settling. In addition, the dissolved nature of these metals makes them highly mobile and bioavailable.

מתכות נוספות שנמצאו בתשטיף כביש. ומה המקור. אמנם יש נטיה לראות את המתכות כאופייניות למקום אך מחקרים הראו ריכוזים אופייניים זהים במקומות שונים בעולם (שם עמ' 7-4).

Table 7.1: Primary sources of highway runoff pollutants (Adapted from NCHRP, 1999)

Pollutants	Primary Source
Particulates	Pavement wear and vehicle maintenance
Lead, cadmium, copper	Tire wear, lubricating oil and grease, bearing wear
Nitrogen, phosphorus	Roadside fertilizer application
Chromium, copper, nickel, cadmium	Metal plating, moving engine parts, brake lining wear
Chloride, sulfates	Deicing salts
PCBs, pesticides	PCB catalyst in synthetic tires, spraying highway rights-of-way
Cyanide	Anti-cake compound used to keep deicing salt granular
Petroleum, ethylene glycol	Spills and leaks of motor lubricants, antifreeze, hydraulic fluids

מקורות המזהמים של הכבישים נחלקים ל-3 קטגוריות: תנועת כלי הרכב, שלג וקרח שנמסו ומכילים חומרים ממיסי שלג וחומרים כימיים המשמשים לטיפול בצמחיה שבצידי הכביש (מידע זה רלבנטי רק שולית לישראל).

Runoff from the construction, operation, and maintenance of highways and bridges can adversely affect vegetation, surface waters, and wetlands with a variety of pollutants, including sediments, heavy metals, hydrocarbons, and toxic substances. Runoff issues associated with construction of highways and bridges are addressed in Management Measure 8—Construction Site Erosion, Sediment, and Chemical Control. Although the runoff constituents and concentration levels vary with highway type and location, the sources of highway runoff pollutants fall into three basic categories: vehicle traffic, snowmelt and ice-melt containing deicing chemicals, and chemicals used to manage roadside vegetation.

מהירות ההשפעה על איכות המים

ההשפעות הייחודיות של תשטיפי הכביש והגשר על מערכות המים האקולוגיות ספציפיות הן לאתר המדובר והן לאירוע התשטיפי. באופן כללי, מזהמי תשטיפי יכולים להשפיע על איכות המים הן ברעילות מיידית והן בצבירה הדרגתית.

תופעות לוואי סביבתיות פוטנציאליות הקשורות במרכיבים ספציפיים:

- ❖ מוצקים מרחפים מעלים את העכירות, מעבירים מזהמים אחרים הספוחים לפני שטח החלקיקים ומפחיתים את קיבולת אחסון התשטיפים בבריכות ובאגמים.
- ❖ מתכות כבדות הן רעילות למינים רבים הגדלים במים ויכולות להצטבר ברקמות של דגים ולהוות איום על בריאות האדם.
- ❖ חומרי מזון מורידים את איכות המים על ידי עידוד צמיחת אצות ועשבי מים. עליה מהירה של אלה עלולה להפחית את החמצן ולגרום למות הדגים.
- ❖ BOD (Biochemical Oxygen Demand) מפחית את החמצן המומס כתוצאה מתהליכים ביולוגיים המפרקים את המרכיבים האורגניים בתשטיפי. (תוצאה-פחות חמצן).
- ❖ הידרוקרבוניס ארומטיים פוליציקליים (PAHs) כוללים חומרים שנמצאים בתוצרי נפט והם קרצינוגניים. הם מסוכנים אם מזהמים מי שתייה. הם בדרך כלל לא מסוכנים לאדם כשנמצאים בנחל או אגם כי הם נוטים להדבק לחלקים השוקעים פחות מאשר להיות מסיסים במים.

The specific impacts of highway and bridge runoff on aquatic ecosystems are both site-specific and runoff event-specific. In general, highway pollutants can affect water quality through either acute toxicity or gradual accumulation. Potential adverse environmental effects associated with specific constituents include the following:

- ❖ Suspended solids increase turbidity, transport other pollutants adhered to particle surfaces, and reduce runoff storage capacity in ponds and lakes.
- ❖ Heavy metals are toxic to many aquatic organisms and can bioaccumulate in fish tissues, thus posing potential health risks to humans.

- ❖ Nutrients degrade water quality by stimulating the growth of algae and aquatic weeds. Rapid increases in these populations can then deplete oxygen levels to the extent that fish and other aerobic organisms die off.
- ❖ Biochemical oxygen demand (BOD) reduces dissolved oxygen levels as a result of the biological processes that break down organic constituents in runoff.
- ❖ PAHs include compounds such as benzo(a)pyrene that are found in petroleum products and are carcinogenic. These compounds can pose risks to human health if drinking water or fish become contaminated with them. PAHs in streams and lakes usually do not pose a health risk for people because they tend to adhere to sediment particles rather than dissolve in water. As a result, the risk of drinking water degradation is low (Van Metre et al., 2000). Aquatic invertebrates were impacted in the previously identified study from Austin, Texas (Hayward et al., 2002).

עומס של חומרי מזון מכבישים מהווה סכנה כאשר נמצאים במעלה הזרם של מאגר מים או שפך הנחל. רוב הזיהום נצבר על המדרכות.

מקור של תיקון הכביש זהו מרכיבים ניידים מחומרים של בניית ותיקון הכביש. בתכנת IMPACT שלהם יש נתונים מפורטים של בדיקות מעבדה של חומרים של בניה, מחזור ופסולת.

A research team at Oregon State University, under the National Cooperative Highway Research Program (NCHRP, 2000) identified potentially mobile constituents from highway construction and repair materials and measured their potential impact on surface and ground waters. The materials tested were conventional, recycled, and waste materials; and excluded constituents originating from construction processes, vehicle operation, maintenance operations, and atmospheric deposition (8).

זיהום שמקורו באספלט

מאמר מ - 2004 בו מפורטים מזהמים שיש בכבישי אספלט. דרום קרולינה ארה"ב. במאמר בדקו את ההשפעות של החומרים המזהמים של התשטיפים על גוף החסילון.

המזהמים בכביש הם **הידרוקרבוניס ארומטיים פוליציקליים (PAHs)** שאחראיים לחלק גדול של הרעילות הנצפית. גם ה - PAHs הפטרוגניים וגם הפירוגניים נמצאו בתשטיפ ומקורם מאספלט מפני שטח הכביש, מדליפות שמן ומשרידיים מחומרי כלי הרכב. הריכוז בנגר כבישים יכול להיות גבוה. חומרים רעילים נוספים הם ניטרארומטיים ומתכות. ישנה טבלה של כל המזהמים עם ציון המרחק מהכביש בו נמדדו (עמ' 3 (715) (9).

A number of potentially toxic substances are associated with highway runoff with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) responsible for much of observed toxicity. Both petrogenic and pyrogenic PAHs are found in this runoff with sources including asphalt road surfaces, tire wear, oil leaks and vehicle exhaust.

PAHs concentrations in highway runoff can be as high as 4 lg/L. In addition to PAHs, there are other potentially toxic compounds found in road runoff, including nitroaromatics and a number of metals (9).

נגר עילי בישראל

יחסי גשם-נגר: כ-70% מכמות מי הגשם בישראל מתאדה לאטמוספירה, כ-25% מחלחלת אל מי התהום, ורק כ-5% זורמת על פני השטח ונאספת אל ערוצי הנחלים.

רוב מי הגשם מתאדים לאטמוספירה. רק אחרי סופת גשם גדולה יש הצטברות מים על פני הקרקע שלא מספיקים להתאדות או לחלחל. מים אלו זורמים בנחלים ובערוצים (6).

זיהום המים מנגר הגשם על הכבישים

בארץ כמו בעולם עולה המודעות לסכנה של זיהום מי התהום כתוצאה מהמזהמים הנשטפים מהכביש. בארה"ב המודעות, הידע והעשייה קיימים מזה מספר שנים. להלן ציטוט של דו"ח שהוגש לקונגרס האמריקאי: מי גשמים היוורדים בכבישים (בין היתר) הופכים לאחד מגורמי הזיהום העיקריים של מקורות המים. הדו"ח מציין כי המים מכילים חיידקים גורמי מחלות, מתכות כבדות וחומרים כימיים רעילים ביותר.

המים יכולים לגרום לסיכון מידי כשהם מכילים כמויות גדולות של חומרים רעילים. לצדם, קיימים כנראה גם סיכונים ארוכי טווח, כתוצאה מחלחול של כמויות מזהמים קטנות אל מי התהום. הדו"ח מציין כי ההשלכות הבריאותיות ארוכות הטווח של מזהמים אלה אינן ברורות. כמו כן, לא ברור מהי השפעתה של תערובת הכוללת כמה סוגי מזהמים.

באזור ראש העין, בסמוך לקטע של כביש חוצה ישראל, קיימת מערכת של קידוחי מי תהום המספקת חלק ניכר ממי השתייה של גוש דן. פעילים לשימור הסביבה והידרולוגים חוששים שמי גשמים הזורמים על פני הקרקע (מי נגר), יאספו בדרכם למאגרי מי התהום שמנים ודלקים המצטברים בכביש, וכן מתכות כבדות הנפלטות מכלי רכב. מומחים טוענים כי הקרקע שמעל מי התהום עלולה לאפשר חדירה מהירה של גורמי זיהום.

לפי התוכנית של חברת כביש חוצה ישראל, תופעל בקטע של כמה קילומטרים לאורך הכביש באזור ראש העין מערכת מיוחדת של איסוף ושאיבת חלקיקים זעירים של זיהום שיצטברו על הכביש ויזרמו לעבר תעלות ניקוז. בקצות תעלות הניקוז יאגרו מי גשמים המכילים זיהום ומהן יזרמו המים לנחלים. כמו כן קיימת אפשרות להקמת מאגר, אך טרם נקבע לאן יפזרו המים ממנו. החשש הוא שנפח המאגר לא יוכל להכיל את כמויות המים המזוהמים, שיגלשו ויזהמו את מי התהום (7).

4.2 מתקנים לטיהור מזהמים ממי הנגר של כבישים

סוגי המתקנים (10)

מתקנים מבניים לפיקוח על נגר עירוני נשענים על מספר מנגנונים בסיסיים:

- ❖ חלחול
- ❖ סינון
- ❖ עצירה/שימור/החזקה/אחיזה/עיכוב
- ❖ התנדפות

5.2.2 Management Measure Selection

5.2.3 General Categories of Urban Runoff Control

Structural practices to control urban runoff rely on several basic mechanisms:

- ❖ Infiltration
- ❖ Filtration
- ❖ Detention/retention
- ❖ Evaporation

4.2.1 מתקני חלחול (Infiltration practices)

- ❖ המתקנים צריכים לקלוט את נפח התשטיפ ולהעבירו דרך שכבת אדמה למערכת המים בתוך האדמה.
- ❖ תהליך זה:
- ❖ מפחית את סך הנפח של התשטיפ שמשחרר מהאתר שהוא בתורו מפחית את שיאי הזרימה בתעלות המים.
- ❖ מסנן החוצה את המשקעים ושאר המזהמים על ידי תהליכים כימיים, פיזיקליים וביולוגיים שונים כשמי התשטיפ עוברים דרך קרקעית מבנה החלחול ולתוך האדמה שמתחת.
- ❖ מגדיל את מאגרי המים התת קרקעיים על ידי טעינה מחדש של האקוויפר.

5.2.3.1 Infiltration practices

Infiltration facilities are designed to capture a treatment volume of runoff and percolate it through surface soils into the ground water system. This process:

- ❖ Reduces the total volume of runoff discharged from the site, which, in turn, decreases
- ❖ peak flows in storm sewers and downstream waters;
- ❖ Filters out sediment and other pollutants by various chemical, physical, and biological processes as runoff water moves through the bottom of the infiltration structure and into the underlying soil; and
- ❖ Augments ground water reserves by facilitating aquifer recharge. Groundwater recharge is vital to maintain stream and wetland hydrology. During dry weather, ground water recharge helps to assure baseflow necessary for survival of biota in wetlands and streams.

מערכות on-line ו-off-line

מערכות online המקבלות את כל המים מהאזור.

מערכות off-line מקבלות מים שעברו שינוי - לצורך טיפול בהם. מערכת זו מונעת מ-TSS ומזהמים אחרים מלחלחל (שם עמ' 5-10).

Treatment effectiveness depends on whether the facility is sited on-line or off-line, and on the sizing criteria used to design the facilities. Online systems receive all of the runoff from an area. Off-line practices receive diverted runoff for treatment and isolate it from the remaining fraction of runoff, which must still be controlled to prevent flooding. Off-line infiltration practices prevent all of the TSS and other pollutants contained in the volume of runoff infiltrated from exiting the site. Thus, the total annual load reduction depends on how much of the annual volume of runoff is diverted to the infiltration structure. On-line infiltration practices, on the other hand, have lower treatment effectiveness, averaging approximately 75 percent removal of TSS (WMI, 1997b).

סוגי מתקני חלחול

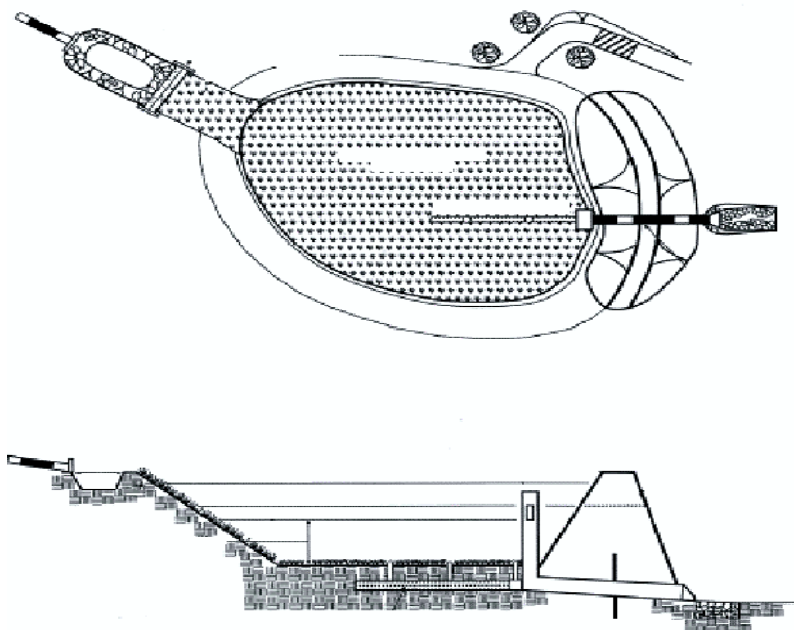
אגני חלחול (Infiltration basins)

סכירת מים על ידי חפירה או יצירת מדרגה או סכרים קטנים. יש לאגנים קרקעית שטוחה ללא יציאה ותפקידם לאצור זמנית את מי התשטיפים מאזורי הניקוז הסמוכים (2-50 אקרים (5-125 דונם) תלוי בתנאי הסביבה). התשטיפים מחלחלים בהדרגה דרך הקרקעית והצדדים של האגן, האידיאלי הוא תוך 72 שעות, כדי לשמור על תנאים ארוכי-נלהבטיח את קבלת תשטיפים מהסערה הבאה. אגני חלחול משמשים לעתים קרובות כמערכות off-line כדי לטפל בשטף הראשון או שחרור ברמת שיא של 2 שנות סערה (peak discharges of the two-year storm). המפתח להצלחה הוא שמירת האדמה בתחתית ובצדדים ללא גושים כדי לשמר את יכולת החלחול וזה לא קל לביצוע. כדי למנוע הווצרות משקע באגן יש לטפל בתשטיפ, לפני כניסתו לאגן, על ידי פסי סינון צמחיים, אגני אחסון מיוחדים לכידת המשקע לפני שהם מצטברים במתקן הטיפול (forebay) או טכניקות נוספות. יש לשתול ולתחזק באגן דשא או צמחים אחרים. אם חורי האדמה נעשים גושיים, יש לחספס את קרקעית האגן או להחליפה כדי לשמר את יכולת החלחול.

5.3.1.1 Infiltration basins

Infiltration basins (Figure 5.1) are impoundments created by excavation or creation of berms or small dams. They are typically flat-bottomed with no outlet and are designed to temporarily store runoff generated from adjacent drainage areas (from 2 to 50 acres, depending on local conditions). Runoff gradually infiltrates through the bed and sides of the basin, ideally within 72 hours, to maintain aerobic conditions and ensure that the basin is ready to receive runoff from the next storm. Infiltration basins are often used as an off-line system for treating the first flush of runoff flows or the peak discharges of the two-year storm.

The key to successful operation is keeping the soils on the floor and side slopes of the basin unclogged to maintain the rate of percolation. This is usually much easier said than done. For example, Schueler (1992) reported infiltration basin failure rates ranging from 60 to 100 percent in the mid-Atlantic region. To help keep sediment out of the basin, incoming runoff should be pretreated using vegetated filter strips, a settling forebay, or other techniques. Grasses or other vegetation should also be planted and maintained in the basin. If soil pores become clogged, the basin bottom should be roughened or replaced to restore percolation rates.



Schematic of an infiltration basin (MDE, 2000).

תעלות חלחול (Infiltration trenches)

תעלות חלחול הן תעלות חפורות שטוחות (בעומק 2-10 feet: 0.61 – 3.05 מטר) עם אדמה חדירה יחסית שמולאה באבנים ליצירת מאגר תת קרקעי. ניתן לכסות את פני שטח התעלה בסבכה או להיות מכוסים באבנים, סלילי עפר, חול או אזור מכוסה דשא עם כניסה בפני השטח. התשטיפ שמוטה לתוך התעלה מחלחל בהדרגה מתחת לפני האדמה ולמעשה לתוך מי הקרקעית.

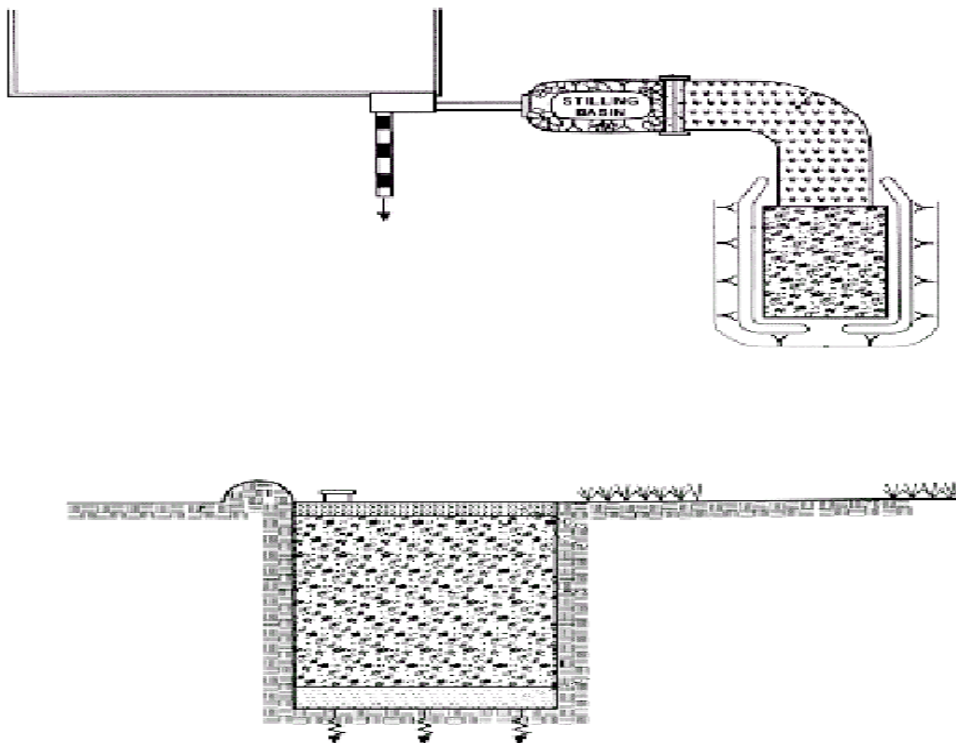
ניתן להשתמש בתעלות במקומות קטנים ויחידניים או לטיפול רב-אתרי (multi-site runoff treatment). יש לשים מתקנים לטיפול מוקדם, כמו פסי סינון צמחיים כדי לסלק את המשקע ולהפחית את היווצרות הגושים בנקבוביות הקרקע. היות והן יותר יקרות ממערכות של בריכות, במונחים של עלות לנפח תשטיפ מטופל, תעלות חלחול הכי מתאימות לשטחי ניקוז של למטה מ- 5-10 אקרים (2 - 4.5 קילומטר מרובע) או היכן שאי אפשר להשתמש בתעלות. וריאציות בעיצוב תעלות חלחול: בארות יבשות שהם בורות לפיקוח על כמויות מים קטנות (כמו מגגות) ותעלות אקספילטרציה (exfiltration) – תעלות חלחול שמאחסנות מי תשטיפים בצינור מחורר או מחורץ דרכו מתרחש החלחול החוצה לתוך חצץ או אריג שמסביב. באר יבשה אופיינית כוללת מכיל צינור מחורר בקוטר 3-4 (0.9 – 1.2 feet מטר) שמונתן בצורה אופקית בתוך שכבות של אדמת חול או חצץ. שמים סלע מסביב בסיס הבאר.

5.3.1.2 Infiltration trenches

Infiltration trenches (Figure 5.2) are shallow (2- to 10-feet deep) excavated ditches with relatively permeable soils that have been backfilled with stone to form an underground reservoir.

The trench surface can be covered with a grating or can consist of stone, gabion, sand, or a grasscovered area with a surface inlet. Runoff diverted into the trench gradually infiltrates into the subsoil and, eventually, into the ground water. Trenches can be used on small, individual sites or for multi-site runoff treatment. Pretreatment controls such as vegetated filter strips should be incorporated into the design to remove sediment and reduce clogging of soil pores. More expensive than pond systems in terms of cost per volume of runoff treated, infiltration trenches are best-suited for drainage areas of less than 5 to 10 acres, or where ponds cannot be used.

Variations in the design of infiltration trenches include dry wells, which are pits designed to control small volumes of runoff (such as rooftop runoff) and exfiltration trenches. A typical dry well design includes a perforated pipe 3 to 4 feet in diameter that is installed vertically in deposits of gravelly/sandy soil. Rock is then backfilled around the base of the well. An exfiltration trench is an infiltration trench that stores runoff water in a perforated or slotted pipe and percolates it out into a surrounding gravel envelope and filter fabric.



Schematic of an infiltration trench (MDE, 2000).

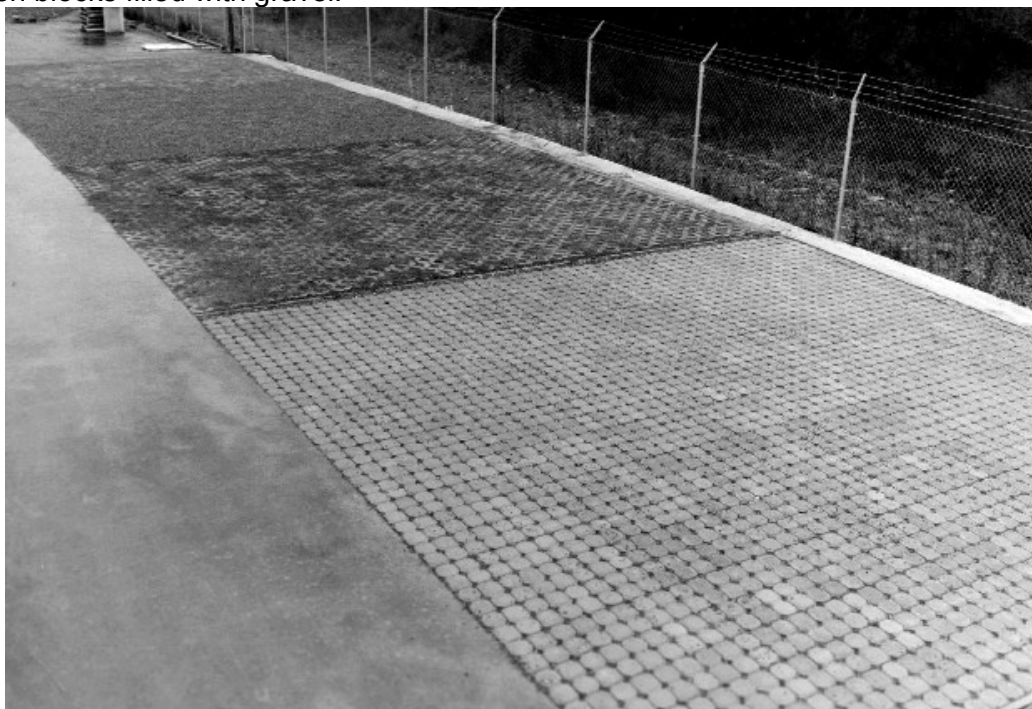
5.3.1.3 Pervious or porous pavements

Pervious pavement has the approximate strength characteristics of traditional pavement but allows rainfall and runoff to percolate through it. The key to the design of these pavements is the elimination of most of the fine aggregate found in conventional paving materials. There are two types of pervious pavement, porous asphalt and pervious concrete (WMI, 1997b). Porous asphalt has coarse aggregate held together in the asphalt with sufficient interconnected voids to yield high permeability. Pervious concrete, in contrast, is a discontinuous mixture of Portland cement, coarse aggregate, admixtures, and water that also yields interconnected voids for the passage of air and water. Underlying the pervious pavement are a filter layer, a stone reservoir, and a filter fabric. Stored runoff gradually drains out of the stone reservoir into the subsoil. Figure 5.3 shows several types of porous pavement. More information about pervious pavement can be found at http://www.gcpa.org/pervious_concrete_pavement.htm (Georgia Concrete & Products Association, 2003).

Modular pavement consists of individual blocks made of pervious material such as sand, gravel, or sod interspersed with strong structural material such as concrete. The blocks are typically placed on a sand or gravel base and designed to provide a load-bearing surface that is adequate to support personal vehicles, while allowing infiltration of surface water into the underlying soils. They usually are used in low-volume traffic areas such as overflow parking lots and lightly used access roads. An alternative to pervious and modular pavement for parking areas is a geotextile material installed as a framework to provide structural strength. Filled with sand and sodded, it provides a completely grassed parking area.

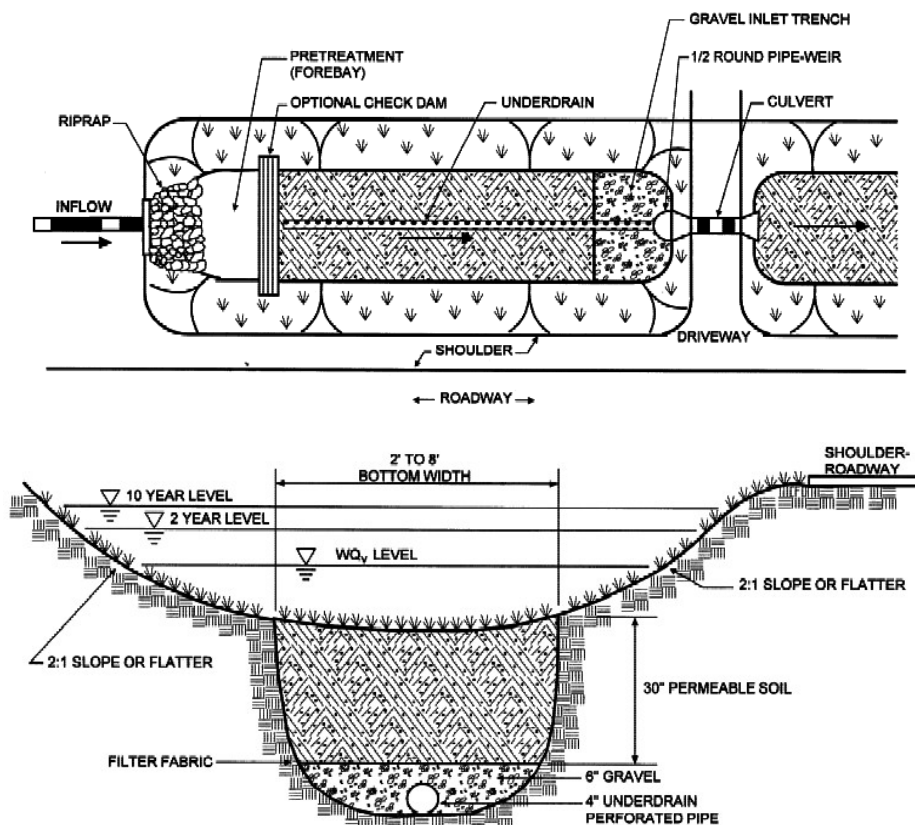
סוגי מרצפות שנבדקו

- ❖ A flexible plastic grid system with virtually no impervious area, filled with sand and planted with grass;
- ❖ An equivalent plastic grid, filled with gravel;
- ❖ A concrete block lattice with approximately 60 percent impervious coverage, filled with soil and planted with grass
- ❖ Small concrete blocks with approximately 90 percent impervious coverage, with the spaces between blocks filled with gravel.



❖ מתקני תעלות פתוחות עם צמחים (Vegetated open channel practices)

❖ תעלות דשא (Grass channels) – צמחיה צפופה.



Schematic of a grass channel (Claytor and Schueler, 1996)

❖ אגנים יבשים (Dry swales) – סינון על ידי צמחי פני השטח.

5.3.2 Vegetated Open Channel Practices

Vegetated open channels are explicitly designed to capture and treat runoff through infiltration, filtration, or temporary storage.

A vegetated swale is an infiltration practice that usually functions as a runoff conveyance channel and a filtration practice. It is lined with grass or another erosion-resistant plant species that serves to reduce flow velocity and allow runoff to infiltrate into ground water. The vegetation or turf also prevents erosion, filters sediment, and provides some nutrient uptake benefits. These practices are also known as biofiltration swales. Check dams are often used to reduce flow velocity. When used, sediment that collects behind check dams should be removed regularly.

Two types of channels are typically used in residential landscapes:

- ❖ Grass channels. These have dense vegetation, a wide bottom, and gentle slopes (Figure 5.4). Usually they are intended to detain flows for 10 to 20 minutes, allowing sediments to filter out.
- ❖ Dry swales. As with grass channels, runoff flows into the channel and is subsequently filtered by surface vegetation (Figure 5.5). From there, runoff moves downward through a bed of sandy loam soil and is collected by an underdrain pipe system. The treated water is delivered to a receiving water or another structural control. Dry swales are used in large-lot, single-family developments and on campus-type office or industrial sites. They are applicable in all areas where dense vegetative cover can be maintained. Because of a limited ability to control runoff from large storms, they are often combined with other structural practices. They should not be used in areas where flow rates exceed 1.5 feet per second unless additional erosion control measures, such as turf reinforcement mats, are used.

In a research study conducted by J.F. Sabourin and Associates (1999), two grass swale/perforated pipe systems and one conventional curb-and-gutter system were compared. Flow monitoring results indicate that much less water reached the outlet of the perforated pipe systems than the conventional system. Peak flows and total runoff volumes from the outlet of the perforated pipe/grass swale system were 2 to 6 percent of those of the conventional system, and total runoff volumes were 6 to 30 percent of conventional system volumes. Water quality

monitoring results indicate that for most elements, concentrations measured in the perforated pipes were the same or lower than in the conventional system. Chloride concentrations were found to be higher in the perforated pipe system, most likely from the use of road salt. However, a loading analysis indicated that the perforated pipes released significantly fewer pollutants than the conventional system.

J.F. Sabourin and Associates concluded that infiltration capacities of grass swales are optimum when they allow for proper drainage and hold enough moisture for sustaining grass and plant life. Exfiltration tests indicated that runoff volumes can be reduced by 40 to 60 percent by grass swales and perforated pipe drainage systems. With a direct connection, peak outflows can be 45 percent of the inflow.

4.2.2 מתקני סינון (Filtration practices)

מבוא

המתקנים מסננים חלקיקים מהתשטיפ. המצע הכי נפוץ – חול אך גם כבול משולב עם חול וקומפוסט עליים. מתקן כזה מאחסן כמות נוזלים מוגבלת לכן מוצמדים אליו מתקנים נוספים לשליטה על הכמות. רוב טכניקות הסינון מצריכות אזור אחסון בפתח כניסת המים, לפני המתקן, או מטהר, לסילוק חלקיקי תשטיפ גדולים יותר ומניעת יצירת גושים במצע הפילטר. סינון ביולוגי משתמש בצמחים ואדמות מטופלות לטיפול בתשטיפים מאזורים אטומים. הטיפול: סינון, חלחול, ספיחה, חילוף יוני וספיגה של המזהמים על ידי הגורמים הביולוגיים.

5.2.3.2 Filtration practices

Filtration practices are so named because they filter particulate matter from runoff. The most common filtering medium is sand, but other materials, including peat/sand combinations and leaf compost material, have been used. Filtration systems provide only limited flood storage; therefore, they are most often implemented in conjunction with other types of quantity control management practices. Most filtration techniques require a forebay or clarifier to remove larger particles in runoff from clogging the filter media.

Biofiltration refers to practices that use vegetation and amended soils to retain and treat runoff from impervious areas. Treatment is through filtration, infiltration, adsorption, ion exchange, and biological uptake of pollutants.

מתקנים לסינון (Filtering practices)

מתקני סינון תופסים ומאחסנים זמנית תשטיפים ומעבירים אותם דרך מצע חול, חומר אורגני, אדמה או מצע אחר. התשטיפים המסוננים נאספים ומוחזרים למערכת ההובלה מניחים להם לחלחל לאדמה. עיצובים אחדים לדוגמה:

- ❖ מסנן חול על פני השטח (Surface sand filter)
- ❖ מסנן חול מתחת לאדמה (Underground sand filter)
- ❖ מסנן אורגני (Organic filter)
- ❖ מסנן חול קטן (Pocket sand filter)
- ❖ מערכות לסילוק ביולוגי על ידי בריכת השהיה (Bioretention areas).

5.3.3 Filtering Practices

Filtering practices capture and temporarily store runoff and pass it through a filter bed of sand, organic matter, soil, or other media. Filtered runoff may be collected and returned to the conveyance system, or allowed to exfiltrate into the soil. Design variants include

- ❖ Surface sand filter
- ❖ Underground sand filter
- ❖ Organic filter
- ❖ Pocket sand filter
- ❖ Bioretention areas.

מתקני סינון (Filtering Practices) - פירוט

אגני סינון ומסנני חול (Filtration basins and sand filters)

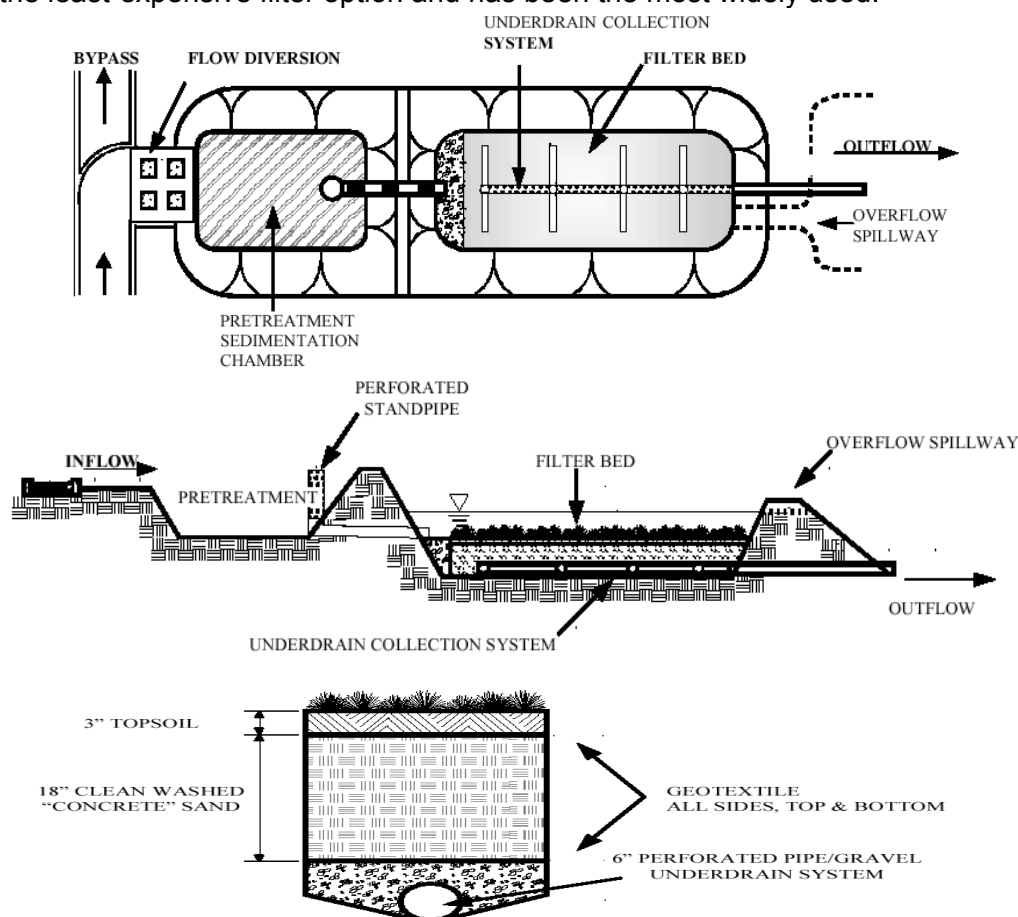
סוגים:

1. מסנן חול על פני השטח (Surface sand filter)
2. מסנן חול מתחת לאדמה (Underground sand filter)
3. מתקן סינון היקפי (Perimeter sand filter)
4. מסנן מחומר אורגני (Organic media filter)
5. טיפול על ידי סדרה של מערכת חדרים (Multi-chambered treatment train)
6. מסנני מים פתוחים עם זרימה לאדמה (Exfiltration/partial exfiltration)

1. מסנן חול על פני השטח (Surface sand filter)

זהו עיצוב של מסנן על-קרקעי. גם מצע הסינון וגם התאים של החלקיקים הם מעל פני האדמה. זהו מתקן off-line – רק מים איכותיים מכוונים אליו. מסנן חול על פני השטח הוא אופציה מסנן הזולה ביותר ונמצאת בשימוש הנרחב ביותר. תמונה להלן:

Surface sand filter. The surface sand filter (Figure 5.6) is an aboveground filter design. Both the filter bed and the sediment chamber are aboveground. The surface sand filter is designed as an off-line practice; only the water quality volume is directed to the filter. The surface sand filter is the least-expensive filter option and has been the most widely used.



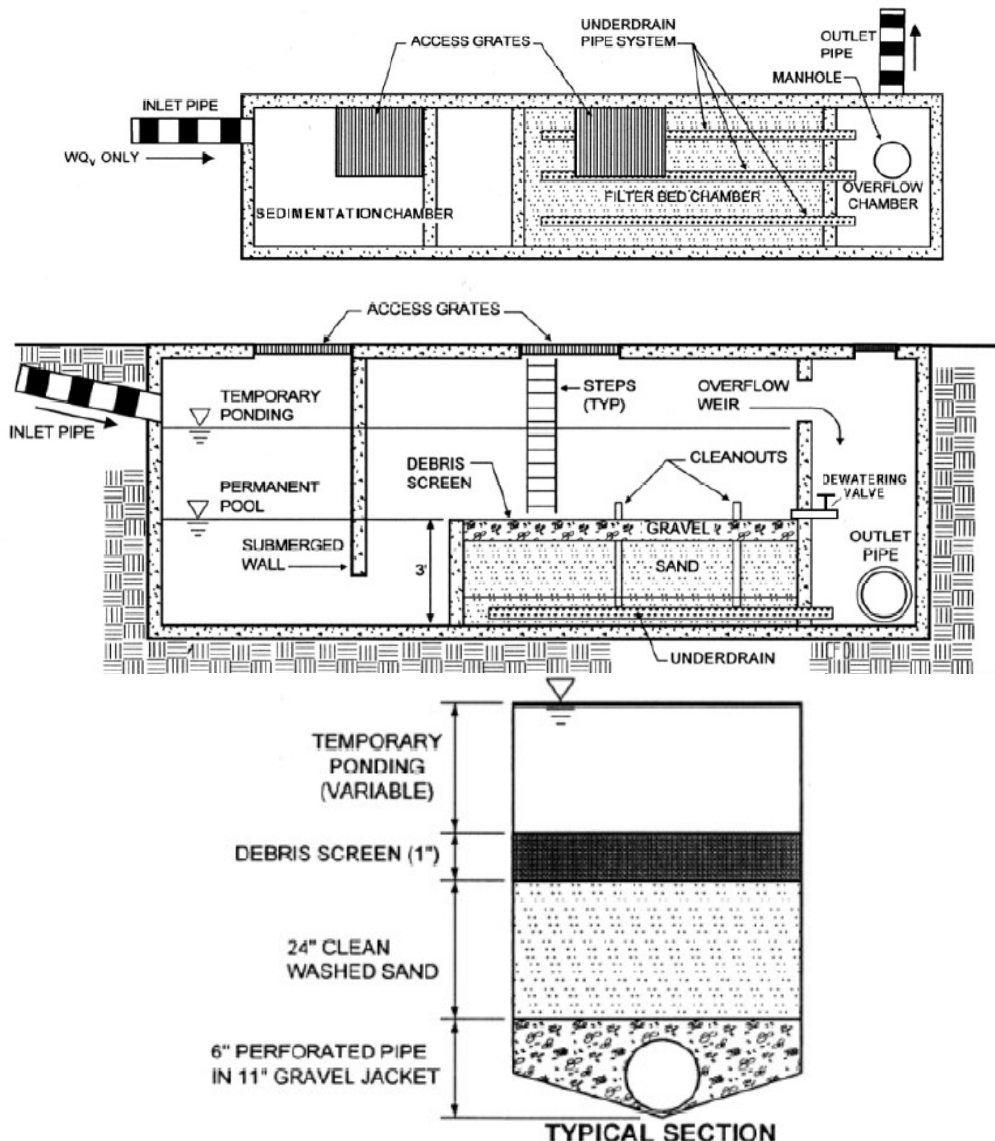
Schematic of a surface sand filter (MDE, 2000).

2. מסנן חול תת קרקעי (Underground sand filter)

זוהי מודיפיקציה של מסנן חול פני השטח ובה כל חלקי המסנן נמצאים מתחת לפני האדמה. גם זה מערכת off-line. המקבלת רק זרמים מסעורות גשם קטנות. זוהי מערכת יקרה לעיצוב אך תופסת שטח קטן מאד. תמונה להלן.

Underground sand filter. The underground sand filter (Figure 5.7) is a modification of the surface sand filter, where all of the filter components are underground. Like the surface sand filter, this practice is an off-line system that receives only flows from small rainstorms.

Underground sand filters are expensive to construct but consume very little space.

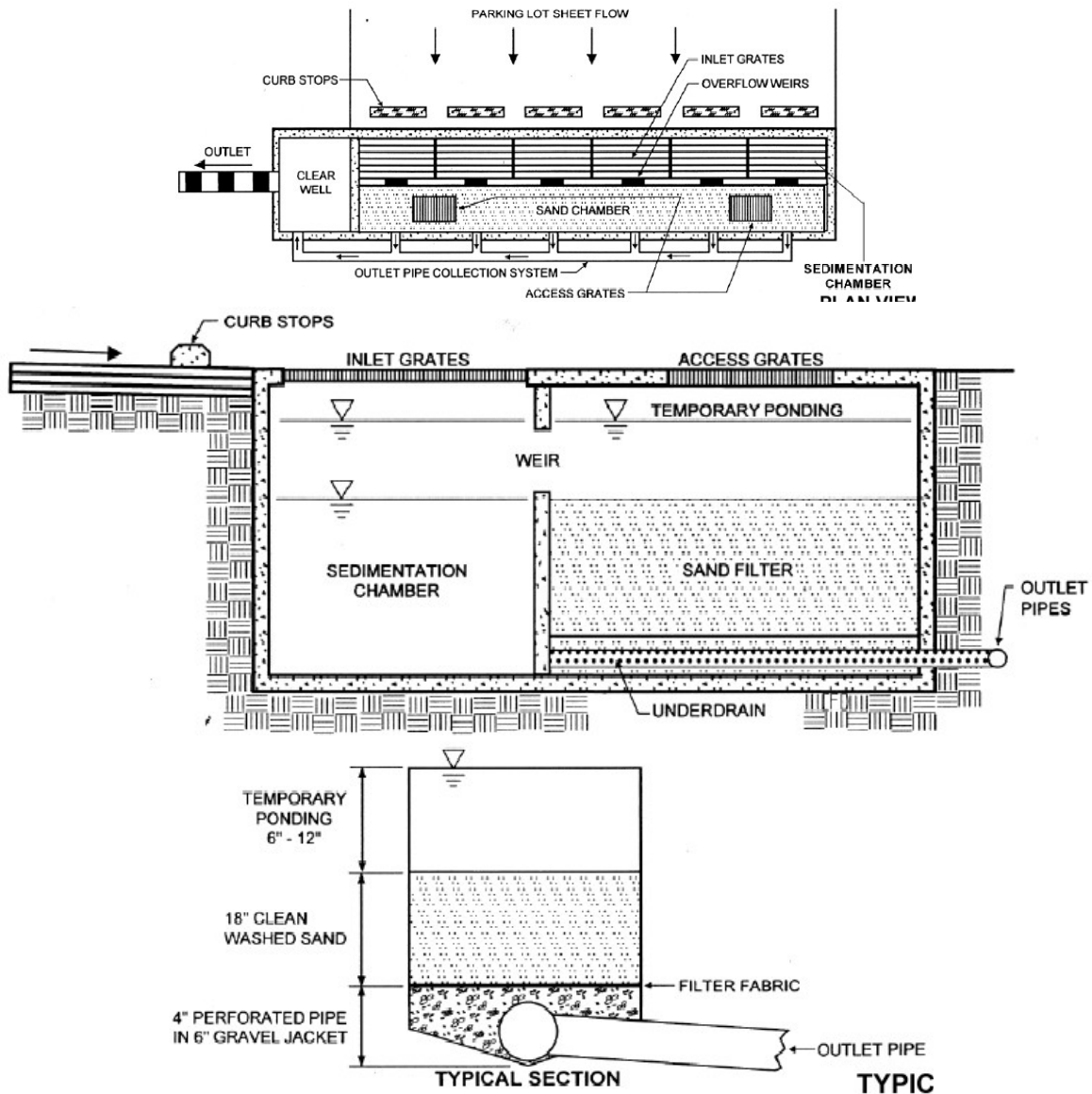


Schematic of an underground sand filter (MDE, 2000).

3. מתקן סינון היקפי (Perimeter sand filter)

המתקן כולל אלמנטים בסיסיים של תא חלקיקים ומצע מסנן אך פה מים נכנשים למערכת דרך סבכות. זוהי אופצית הסינון היחידה שהיא on-line. המים נכנשים למערכת אך חדר עם מעבר כפול מונע הצפת המערכת. יתרון גדול אחד הוא שהמערכת דורשת ראש הידראולי קטן וכך אופציה טובה בשטחים עם low relief.

Perimeter sand filter. The perimeter sand filter (Figure 5.8) also includes the basic design elements of a sediment chamber and a filter bed. In this design, however, flow enters the system through grates, usually at the edge of a parking lot. The perimeter sand filter is the only filtering option that is on-line; all flow enters the system, but a bypass to an overflow chamber prevents system flooding. One major advantage of the perimeter sand filter design is that it requires little hydraulic head and thus is a good option in areas of low relief.

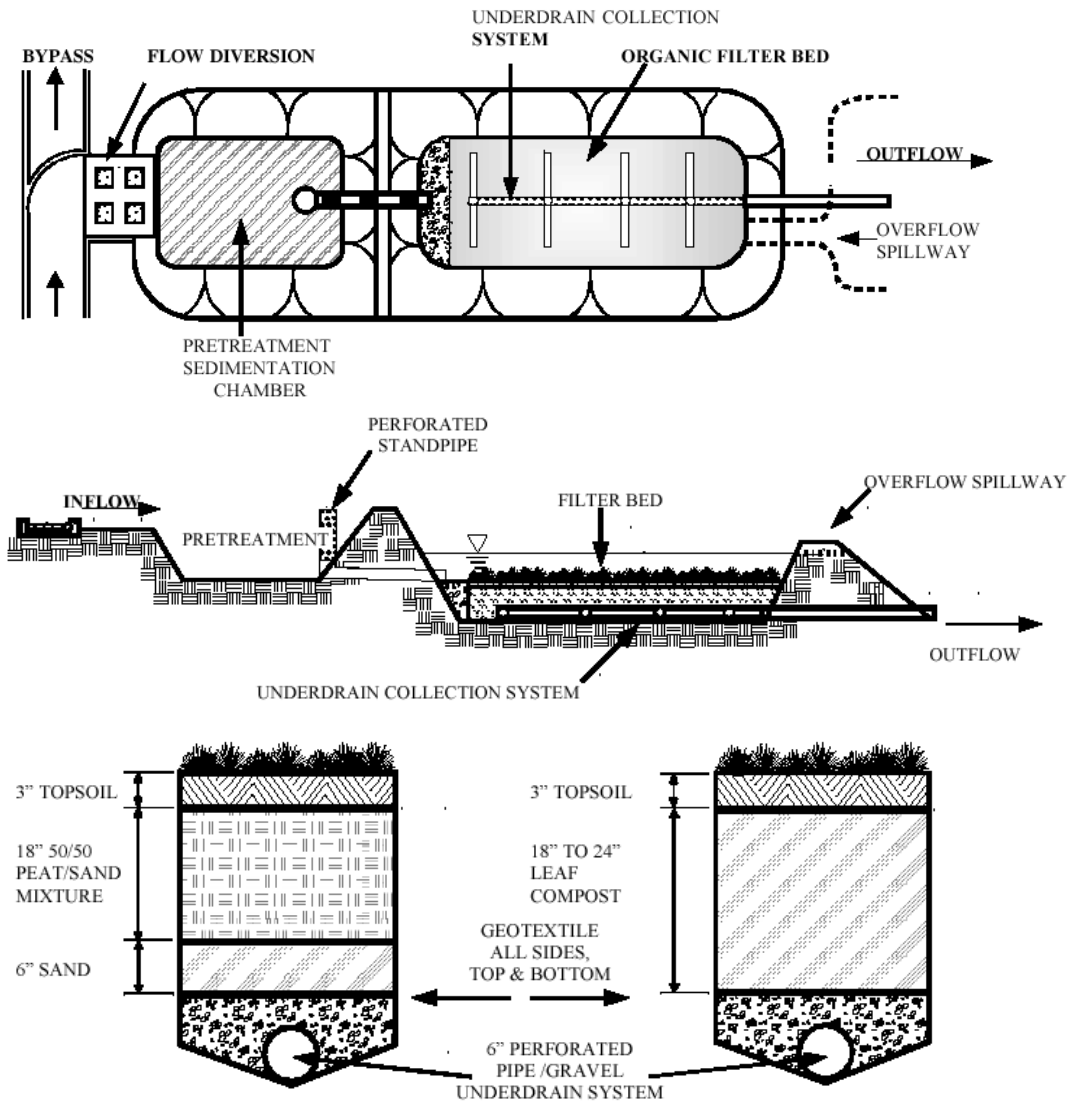


Schematic of a perimeter sand filter (MDE, 2000).

4. מסן מחומר אורגני (Organic media filter)

כמו מסנני שטח אך החול מוחלף או מוסף למיום אחר. שתי דוגמאות הן כבול וחול ומערכת סינון על ידי קומפוסט. ישנה הערכה שמערכות אלו יסלקו מזהמים יותר מהר בגלל נפח חילוף קטיונים גדול יותר של החומר האורגני.

Organic media filter. Organic media filters (Figure 5.9) are essentially the same as surface filters, with the sand replaced with or supplemented by another medium. Two examples are the peat/sand filter (Galli, 1990) and the compost filter system. It is assumed that these systems will provide enhanced pollutant removal for many compounds because of the increased cation exchange capacity achieved by increasing organic matter content.



Schematic of an organic media filter (MDE, 2000).

5. טיפול על ידי סדרה של מערכת חדרים (Multi-chambered treatment train)

"מסנן חול דה-לוקס" – מערכת תת קרקעית בעלת שלושה חדרים. התשטיפ נכנס לחדר הראשון שם יש סינון, לכידת החלקיקים הגדולים ושחרור חומרים נדיפים מאד. בחדר השני מתיישבים החלקיקים העדינים ויש עוד פינוי של תרכובות נדיפות והידרוקרבונים תוך שימוש בבועות דיפוזיה. החדר השלישי מספק סינון חול וכבול להפחתת שאר המזהמים. ראש המסנן מכוסה בבד סינון שמפזר את נפח המים ומונע זרימה בתעלה. זהו מהמפנה מזהמים ברמות טובות אך הוא יקר ונוסה רק באופן ניסיוני.

Multi-chambered treatment train. The multi-chambered treatment train (Figure 5.10) is essentially a "deluxe sand filter" (Robertson et al., 1995). This underground system consists of three chambers. Runoff enters into the first chamber where screening occurs, trapping large sediments and releasing highly volatile materials. The second chamber provides settling of fine sediments and further removal of volatile compounds and floatable hydrocarbons through the use of fine bubble diffusers and sorbent pads. The final chamber provides filtration by using a sand and peat mixed medium for reduction of the remaining pollutants. The top of the filter is covered by a filter fabric that evenly distributes the water volume and prevents channelization. Although this practice can achieve very high pollutant removal rates, it might be prohibitively expensive in many areas. It has been implemented only on an experimental basis.

6. מסנני מים פתוחים עם זרימה לאדמה (Exfiltration/partial exfiltration)

כל או חלק ממערכת הניקוז התת-קרקעית מוחלפים בקרקעית פתוחה המאפשרת חלחול למי התהום.

Exfiltration/partial exfiltration. In exfiltration designs, all or part of the underdrain system is replaced with an open bottom that allows infiltration to the ground water. When the underdrain is present, it is used as an overflow device in case the filter becomes clogged. These designs are best applied in the same soils where infiltration practices are used.

7. יחידות סינון דרך חומרים (Media filtration units) – יחידות סינון פסיביות לכליאת המזהמים מהתשטיפים. החומרים ששמים בתעלות הם חול או כבול, שברי חצץ או קומפוסט עלים.

5.3.3.2 Media filtration units

Similar to wastewater treatment technology, passive filtration units can be used to capture pollutants from runoff. Media filtration practices commonly use trenches filled with sand or peat.

Other media, including types of crushed rock and composted leaves, can also be used. A basin collects the runoff and gradually routes discharge through cartridges filled with filter media. An emergency bypass prevents system flooding during large rainstorms. According to the Unified Sewerage Agency of Washington County in Oregon (WEF, 1998), composted leaf media trap particulates, adsorb organic chemicals, and remove 90 percent of solids, 85 percent of oil and grease, and 82 to 98 percent of heavy metals through cation exchange from leaf decomposition.

Similar types of systems with various filter media are available commercially.

5.3.3.1 Filtration basins and sand filters

Filtration basins are impoundments lined with a filter medium such as sand or gravel. Runoff drains through the filter medium and through perforated pipes into the subsoil. Detention time is typically four to six hours. Sediment-trapping structures are often used to prevent premature clogging of the filter medium (NVPDC, 1980; Schueler et al., 1992).

Sand filters are usually two-chambered practices: the first is a settling chamber and the second is a filter bed filled with sand or another filtering medium. As runoff flows into the first chamber, large particles settle out and finer particles and other pollutants are removed as runoff flows through the filtering medium. There are several modifications of the basic sand filter design, including the surface sand filter, underground sand filter, perimeter sand filter, organic media filter, and multi-chambered treatment train (Robertson et al., 1995). All of these filtering practices operate on the same basic principle. Modifications to the traditional surface sand filter were made primarily to fit sand filters into more challenging site designs (e.g., underground and perimeter filters) or to improve pollutant removal (e.g., organic media filter). The following are design variations for sand filtration devices:

(1) Surface sand filter. The surface sand filter (Figure 5.6) is an aboveground filter design. Both the filter bed and the sediment chamber are aboveground. The surface sand filter is designed as an off-line practice; only the water quality volume is directed to the filter. The surface sand filter is the least-expensive filter option and has been the most widely used.

(2) Underground sand filter. The underground sand filter (Figure 5.7) is a modification of the surface sand filter, where all of the filter components are underground. Like the surface sand filter, this practice is an off-line system that receives only flows from small rainstorms.

Underground sand filters are expensive to construct but consume very little space. They are well-suited to highly urbanized areas, and often included in groups of practices known as “ultra-urban BMPs.”

(3) Perimeter sand filter. The perimeter sand filter (Figure 5.8) also includes the basic design elements of a sediment chamber and a filter bed. In this design, however, flow enters the system through grates, usually at the edge of a parking lot. The perimeter sand filter is the only filtering option that is on-line; all flow enters the system, but a bypass to an overflow chamber prevents system flooding. One major advantage of the perimeter sand filter design is that it requires little hydraulic head and thus is a good option in areas of low relief.

(4) Organic media filter. Organic media filters (Figure 5.9) are essentially the same as surface filters, with the sand replaced with or supplemented by another medium. Two examples are the peat/sand filter (Galli, 1990) and the compost filter system. It is assumed that these systems will provide enhanced pollutant removal for many compounds because of the increased cation exchange capacity achieved by increasing organic matter content.

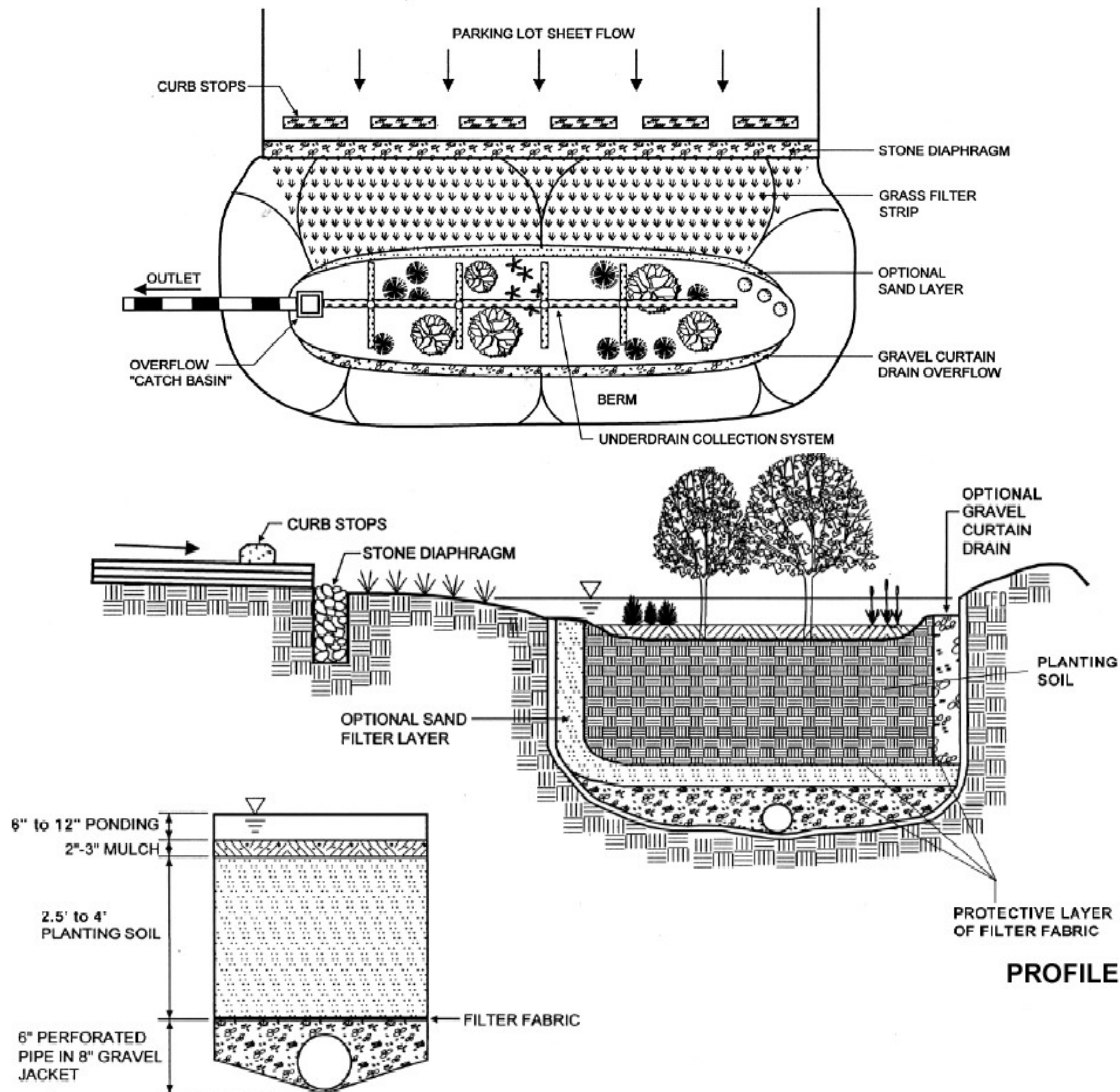
(5) Multi-chambered treatment train. The multi-chambered treatment train (Figure 5.10) is essentially a “deluxe sand filter” (Robertson et al., 1995). This underground system consists of three chambers. Runoff enters into the first chamber where screening occurs, trapping large sediments and releasing highly volatile materials. The second chamber provides settling of fine sediments and further removal of volatile compounds and floatable hydrocarbons through the use of fine bubble diffusers and

sorbent pads. The final chamber provides filtration by using a sand and peat mixed medium for reduction of the remaining pollutants.

The top of the filter is covered by a filter fabric that evenly distributes the water volume and prevents channelization. Although this practice can achieve very high pollutant removal rates, it might be prohibitively expensive in many areas. It has been implemented only on an experimental basis.

(6) Exfiltration/partial exfiltration. In exfiltration designs, all or part of the underdrain system is replaced with an open bottom that allows infiltration to the ground water. When the underdrain is present, it is used as an overflow device in case the filter becomes clogged. These designs are best applied in the same soils where infiltration practices are used.

מערכות לסילוק ביולוגי על ידי בריכת השהיה (Bioretention)



Schematic of a bioretention system (MDE, 2000).

5.3.3.3 Bioretention systems

Bioretention systems (Figure 5.11 and Figure 5.12) are suitable to treat runoff on sites where there is adequate soil infiltration capacity and where the runoff volumes that are not infiltrated do not present a safety or flooding hazard. Typical applications for bioretention include parking areas with or without curbs, traffic islands, and swales or depressed areas that receive runoff from impervious areas.

Bioretention system designs are very flexible, can be adapted to a wide range of commercial, industrial, and residential settings, and can be linked in series or combined with structural devices to provide the necessary level of treatment depending on expected runoff volumes and pollutant loading. A common technique is to use bioretention areas to pre-treat sheet flow before it is channelized or collected in an inlet structure.

Bioretention should not be used in areas:

- With mature trees;
- With slopes greater than 20 percent;

- With a water table within 6 feet of the land surface;
- With easily erodible soils;
- Below outfalls;
- Where concentrated flows are discharged; or
- Where excavation or cutting will occur.

To determine the appropriate design of the bioretention area with respect to the amount of runoff it receives, Prince George's County, Maryland, Department of Environmental Resources (1993), suggests a design based on a four-day maximum ponding period (appropriate for the Mid-Atlantic region). This four-day period is based on hydrologic, horticultural, and maintenance constraints such as plant tolerance of flooded conditions and mosquito-breeding concerns. Other considerations include infiltration rates for the root zone, sand layer, and in-situ material.

There is some flexibility with respect to size, shape, and placement of vegetation within the bioretention area. Other elements that should be incorporated into the design of the bioretention system include curb openings, a ponding area suitable to handle runoff from larger storms, amended planting soil that provides the desired infiltration rate, and an under-layer sand or gravel bed or underground perforated pipe that facilitates infiltration.

Regular maintenance, including soil pH testing, mulching and repairing eroded areas, inspecting vegetation, ensuring that runoff is infiltrating as designed, and checking for damage caused by large storms, will help to ensure the longevity of bioretention areas. More information about the design, operation, and maintenance of bioretention systems can be found in Coffman and Winogradoff (1999) or Prince George's County, Maryland, Department of Environmental Resources (1993).

As for the performance of bioretention areas, in one research study, simulated runoff was pumped continuously into an area of 5.3 m² in six bioretention cells, and effluent samples were collected from the perforated drainpipes underlying the bioretention media. All six bioretention facilities showed greater than 99 percent removal efficiency for oil and grease. Total lead removal efficiency decreased when the TSS level in the effluent increased because lead was adsorbed onto the surface of the solids. TSS removal ranged from 72 to 99 percent, and lead removal rates ranged from 80 to 100 percent. For total phosphorus, the removal efficiency was found to be highly variable, ranging from 37 to 99 percent. Nitrate-nitrogen and ammonium-nitrogen removal efficiencies ranged from 2 to 7 percent and 5 to 49 percent, respectively.

Overall, the bioretention cells contributed significantly to water quality improvement (Hsieh and Davis, 2003).

The developer of Somerset Community, a typical suburban development in Prince George's County, Maryland, incorporated bioretention areas into each lot to control runoff quantity and quality. The bioretention areas eliminated the need for a wet pond, allowed the development of six extra lots, and resulted in a cost savings of more than \$4,000 per lot. Somerset residents have enthusiastically accepted their bioretention areas, are actively maintaining them, and have lodged few complaints. Safety issues and mosquitoes have not been a problem (Daniels, 1995, and Curry and Wynkoop, 1995). The Inglewood Demonstration Project in Largo, Maryland, involved retrofitting an existing parking facility with bioretention areas and comparing the pollutant removal efficiency of a bioretention cell in a laboratory setting to that of a comparable facility constructed in a parking lot. This study showed the feasibility of retrofitting an existing parking facility and demonstrated the consistency of laboratory and field pollutant removal performance. Results showed that the runoff temperature was lowered 12 degrees Celsius, lead levels were lowered 79 percent, zinc levels were lowered 78 percent, and numerous other pollutant levels were also considerably reduced. The retrofit cost \$4,500 to construct, while usual methods would have cost \$15,000 to \$20,000 and involved fewer environmental benefits and higher maintenance costs. Also, bioretention areas offer the ancillary benefit of aesthetic enhancement. It is interesting to note that a drought occurred after the installation of the plants, and although many of the other plants in the parking lot died or experienced severe drought stress, those in the bioretention facility survived because of the retained water supply (USEPA, 2000a) (10).

קומפוסט. שרולי סינון קומפוסט הנם מתקני השקעת חלקיקים יעילים. פינוי של 70% TSS עם יכולת לכידת מזהמים.
 International Erosion Control Association – 2008
 שרולי סינון של קומפוסט (Compost filter socks) נמצאים בשימוש נרחב. ככל ששטח הפנים גדול יותר יכולת אגירת המשקעים עולה בגלל העיצוב הצינורי.
 בתנאי מעבדה שרולי קומפוסט של 12 ו- 18in הראו 70% יעילות פינוי TSS מתשטיף והפחתת עכירות (turbidity) ב-74 ו- 84% בהתאמה.

אם מתאימים את מצע הקומפוסט לשטף גבוה, בדרך כלל הזרימה דרכו עולה במידה בה מופחתים המשקעים המורחפים והערבול. על ידי הוספת פולימרים אניוניים (כמו PAM או polysaccharide biopolymer) ניתן להפחית את עכירות השטף מ-21% עד 90% ו-88% בהתאמה ולהגדיל את יכולת הפינוי (removal) של TSS מ-58% ל-90% ו-88% בהתאמה. ניתן להוסיף פולימר שקושר מזהמים מסיסים כמו זרחן פעיל מומס - עליה בפינוי מ-6% ל-93% במעבדה.

המחקר הנדון מראה ששרוולי סינון עם קומפוסט הם מתקן השקעה יעיל ועל ידי הוספת חומרים חדשים לשרוול הקומפוסט מתרחבים הביצועים מעבר לבקרה על התשטיף בלבד - ליכולת לכידה של מזהמי מטרר מסיסים של תשטיף הגשם, כמו הידרוקרבונים של נפט וזרחן (11).

Compost filter socks are generally used to control sediment on construction sites or land disturbing activities. Higher sediment removal efficiencies of compost filter socks, relative to silt fence, have been attributed to its larger surface area and sediment storage capacity, due to its tubular construction. Compost has been used widely to bioremediate polluted soils. By adding new materials to the compost filter media within the sock, these innovative sediment control devices may be used for storm water pollutant removal applications beyond sediment. Under laboratory test conditions, similar to test methods designed to evaluate silt fence (ATSM D-5141), results from 12 in and 18 in compost filter socks show TSS removal efficiency of runoff of 70% and a turbidity reduction of 74 and 84%, respectively. When compost filter media is specified and designed for high runoff flow conditions, generally, flow through rates are increased at the expense of suspended solids and turbidity reduction. By adding anionic polymers to the compost filter media, such as PAM or a polysaccharide biopolymer, turbidity reduction of runoff can increase from 21% to 90 and 77%, respectively; and TSS removal efficiency can improve from 58% to 90 and 88%, respectively. Additionally, polymers can be added to the filter media to remove hard to capture soluble pollutants, such as dissolved reactive phosphorus. By adding a polymer to the filter media that can adsorb soluble P, test results show that removal efficiencies from storm water runoff can increase from 6% to 93%. Based on 45 samples of compost filter media tested for physical characteristics and runoff pollution control performance, the mean hydraulic flow through rate was 24 gpm/linear ft, mean total solids removal was 92%, mean suspended solids removal was 30%, mean turbidity reduction was 24%, and mean motor oil removal rate was 89%. It should be noted that not all of these compost filter media met federal specifications (AASHTO, USEPA) for particle size distribution. Based on preliminary correlations, particle size distribution of filter media is the best indicator of hydraulic flow through rate and pollutant removal efficiency, although bulk density of the filter media may be used if particle sizes are unknown, and void space of the filter media may be used to predict flow through rate but not pollutant removal efficiency. The greater the hydraulic flow through rate of a filter media, generally the lower the pollutant removal efficiency.

Results from this study indicate that compost filter socks are an effective sediment control device and by adding new materials to the filter sock its applications expand beyond only sediment control to storm runoff filtration capable of capturing target soluble pollutants, such as petroleum hydrocarbons and phosphorus. These practices should be considered to improve receiving water quality and in watersheds where there is a potential for pollution from sediment or soluble pollutants. (11)

4.2.3 עיכוב , אצירה והחזקה (Detention/retention practices)

מתקני עיכוב הנגר מסלקים מזהמים על ידי כליאה זמנית של התשטיפ וזה מאפשר לחומר החלקיקי לשקוע לפני השחרור לפני המים. בריכות יבשות לעיכוב התשטיפ הן דוגמה לכך. שיאי השטף מופחתים על ידי תעלות ניקוז ומתקנים שמקבלים את המים שעוכבו.

מתקני החזקה ושמירת התשטיפ נועדו לאחסן את התשטיפ שבהמשך יוצא או מתנדף. שיאי השטף מופחתים על ידי תעלות. דוגמה לכך הן בריכות לטיפול בתשטיפ. הבריכות יכולות להיות מעוצבות לקבלת הזרם מתעלות הניקוז off-line. גם מתקני עיכוב וגם החזקה יכולים לעשות שימוש בספיגה ביולוגית לסילוק המזהמים.

אגנים ירוקים מובנים הם מערכות הנדסיות שעוצבו כדי לספק שיפור איכותי של המים עד לדרגת תפקוד של אגן מים טבעי, לטפל ולהכיל את הזיהומים של מי התשטיפים ולהפחית את עומס המזהמים מהמים של פני השטח. היכן שניתן, יש לשים אגנים ירוקים מובנים ואגני אצירה, כדי להקטין עד למינימום את ההשפעה על הסביבה. אך לא במקומות של בריכות ואגנים טבעיים כי שם זה יפגע בתפקוד ובאיזון הטבעיים.

מהו אגן ירוק

האגן הירוק" מהווה חלופה טבעית, יעילה וזולה לטיהור שפכים גולמיים וקולחים מזהמים. בעולם הרחב היא מוכרת ומקובלת בקרב העוסקים בטיהור מים ובאיכות הסביבה. בישראל, למרות יתרונותיה האקלימיים והאחרים, לא נעשה כמעט דבר ליישום השיטה. Constructed Wetlands - טיפול במים באמצעות תהליכים טבעיים בסביבה רוויית מים ועתירת צמחייה, אשר נוצרה באורח מלאכותי. תצפיות שיטתיות ארוכות שנים הראו, כי מעבר שפכים דרך גופי-מים טבעיים רדודים (wetlands), המשופעים בצמחייה ובפעילות ביולוגית אחרת, הקטין בצורה משמעותית את ריכוז המזהמים בשפכים. זאת, הודות לשילוב של מספר תהליכים טבעיים, ובהם: פירוק ביולוגי של חומרים אורגניים, קליטת חומרים מזהמים על-ידי צמחי הביצה, שיקוע, ספיחה, סינון ותהליכים כימיים נוספים. תהליכים אלה, המביאים לכליאת חלק מהמזהמים, ולנידוף של אחרים (לאחר שהתפרקו לחומרים בלתי-מזיקים), מתבססים על משאבי אנרגיה וסביבה טבעיים: שמש, רוח, קרקע, צמחים ובעלי-חיים עיליים ומיקרו אורגניזמים (13).

5.2.3.3 Detention/retention practices

Runoff *detention* facilities provide pollutant removal by temporarily capturing runoff and allowing particulate matter to settle prior to release to surface waters. Dry detention runoff management ponds are one type of detention facility. Peak flows are reduced in drainage systems/receiving waters downstream of detention facilities.

Runoff *retention* facilities are used to capture runoff, which is subsequently withdrawn or evaporated. Therefore, peak flows and total flow volume can be reduced in downstream drainage systems/receiving waters. Wet runoff management ponds are one type of retention facility. These retention facilities can be designed to accept flow from receiving streams/drainage systems offline.

Both detention and retention facilities can use biological uptake as a mechanism for pollutant removal. Runoff management ponds can be designed to control the peak discharge rates, thereby reducing excessive flooding and downstream erosion in reaches of the drainage system/receiving stream immediately downstream. At some point downstream, however, runoff flow that is not retained will increase the volume of total flow, thereby increasing the risk of flooding and erosion if the receiving stream at that point does not have a stable channel and riparian area or floodplain.

Constructed wetlands are engineered systems designed to employ the water quality improvement functions of natural wetlands to treat and contain surface water runoff pollution and decrease pollutant loadings to surface waters. They can be designed with extended detention to control runoff peak flow and volume. Where site-specific conditions allow, constructed wetlands and retention basins should be located to minimize the impact on the surrounding areas (e.g., in upland areas of the watershed). Ponds, constructed wetlands, and other structural management practices degrade the functions of natural buffer areas and natural wetlands, and they may also interrupt surface water and ground water flow when soils are disturbed for installation.

Therefore, the placement of structural management practices in natural buffers and natural wetlands should be avoided where possible.

בריכות עיכוב ובריכות מקורות (Detention ponds and vaults)

בריכות החזקה (Retention ponds)

- א. בריכות עיכוב מושהה (Micropool extended detention ponds)
- ב. בריכות רטובות (Wet ponds)
- ג. בריכות רטובות – עיכוב מושהה (Wet extended detention ponds)
- ד. מערכת רב-בריכותית (Multiple pond systems)

אגנים ירוקים מובנים (Constructed wetlands or Reed Beds) עם המרכיבים הנוחים הבאים:

- א. אזורי אחסון בפתח כניסת המים למתקן ללכידת המשקעים (Sediment forebays)
- ב. סכר הסטה (Diversion weir)
- ג. יציאה (Outlet)
- ד. אזור תנועה (Transition zone)
- ד. צמחיה (Vegetation)

5.3.4 Detention and Retention Practices

5.3.4.1 Detention ponds and vaults

These practices temporarily detain runoff to ensure that the postdevelopment peak discharge rate is equal to the predevelopment rate for the desired design storm (e.g. two-, 10-, or 25-year). These practices may also be used to provide temporary extended detention to protect downstream channels from erosion (e.g., 24-hour extended detention for a one-year storm).

Extended detention (ED) ponds (Figure 5.13) are an example of this type of facility. ED ponds temporarily detain a portion of urban runoff for up to 24 hours after a storm, using a fixed orifice to regulate outflow at a specified rate and allowing solids and associated pollutants time to settle out. ED ponds are normally dry between storm events and do not have any permanent standing water. These basins are typically composed of two stages: an upper stage, which remains dry except after larger storms, and a lower stage, which is designed for typical storms. Enhanced ED ponds are equipped with plunge pools or forebays near the inlet, a micropool at the outlet, and an adjustable reverse-sloped pipe as the ED control device (NVPDC, 1980; Schueler et al., 1992).

Most ED ponds use a riser with an anti-vortex trash rack on top to control large floating solids. Detention tanks and vaults are underground structures used to control peak runoff flows. They are usually constructed out of concrete (vaults) or corrugated metal pipe (tanks). Underground detention can also be achieved by retrofitting the over-capacity storm drain pipes with baffles.

The baffles allow water to be stored in the pipes so it can be released at a slower rate.

Pretreatment structures such as water quality inlets and sand filters can be used to treat runoff and remove trash and debris.

These systems are primarily applicable where space is limited and there are no other practical alternatives. Concrete vaults are relatively expensive and are often used to control small flows where system replacement costs are high. Corrugated metal pipe systems are less expensive and are often used to control larger volumes of runoff in parking lots, adjacent to rights-of-way, and in medians. These systems should be located where maintenance can be conducted with minimal disturbance.

Underground detention structures provide runoff quantity control but do not provide significant water quality control without modifications. Corrugated metal pipe systems can work in conjunction with infiltration to provide additional runoff treatment. This is accomplished by adding perforations to the pipe to allow it to store the water until it can be released into the soil (FHWA, no date).

5.3.4.2 Retention ponds

These practices use a permanent pool, extended detention basin, or shallow marsh to remove pollutants and can include:

- ❖ Micropool extended detention ponds
- ❖ Wet ponds
- ❖ Wet extended detention ponds
- ❖ Multiple pond systems.

Ponds (Figure 5.14) are basins designed to maintain a permanent pool of water and temporarily store runoff (ED wet pond), which is released at a controlled rate. Ponds allow particulates to settle and can provide biological uptake of pollutants such as nitrogen or phosphorus. Enhanced designs include a forebay to trap incoming sediment where it can easily be removed. Often, a fringe wetland is installed around the perimeter of the pond to increase the habitat, aesthetic, and pollutant removal values of the facility. An outlet riser, sometimes combined with an anti-vortex trash device, is a common design modification. The design of wet ponds should account for the infiltration of ground water when the wet pond intercepts the water table. Table 5.5 presents several design considerations for ponds.

Used in combination with on-site and nonstructural practices, regional ponds are an important component of a runoff management program. The costs and benefits of regional, or off-site, practices compared to on-site practices should be considered as part of a comprehensive management program. For example, regional ponds can be located to treat runoff from existing development, and will result in overall net reductions on pollutant loads for the watershed (Fairfax County Environmental Coordinating Committee, 2002). Regional facilities can incorporate more advanced treatment technologies than on-site facilities (Maupin and Wagner, 2003). They can also provide community recreation and wildlife benefits, reduce peak and total flow, and be easier to maintain than dispersed controls. The City of Fairfax, Virginia, found that maintenance costs for a regional pond were about one-sixth those of on-site ponds (Fairfax County Environmental Coordinating Committee, 2002). Maintenance responsibilities and liability for regional runoff facilities belong to the municipality (Maupin and Wagner, 2003).

A study of 43 wadeable streams in Austin, Texas, showed that several indicators of stream health (ephemeroptera -plecoptera-trichoptera (EPT) richness and percent EPT abundance) were higher in streams with storm water ponds protecting 60 to 95 percent of their catchments than in streams with no storm water controls (Maxted and Scoggins, 2004). This trend was only significant in fully developed watersheds (having greater than 40 percent impervious cover). In watersheds with less than 40 percent impervious cover, storm water ponds had no significant impact on EPT richness or percent EPT abundance. The researchers attributed the lack of effects of storm water ponds to urban development in the reference watersheds and to the nature of the biological index used to gauge stream health, which was not tailored to the specific environmental conditions of the Austin area.

Research has shown that storm water ponds can increase property values. A survey in Columbia, Maryland, found that 75 percent of homeowners felt that permanent bodies of water such as storm water ponds added to real estate values. Seventy-three percent were willing to pay more for property located in a neighborhood with storm water control basins designed to enhance fish or wildlife uses (Adams et al., 1984; Tourbier and Westmacott, 1992; USEPA, 1995). Residents of a Champaign-Urbana, Illinois, neighborhood with storm water ponds stated that lots adjacent to a wet pond were worth an average of 21.9 percent more than comparable non-adjacent lots in the same subdivision. The same survey revealed that 82 percent would in the future be willing to pay a premium for a lot adjacent to a wet pond (Emmerling-DiNovo, 1995). In Alexandria, Virginia, condominiums alongside a 14-acre runoff detention pond sold for \$7,500 more than comparable units not adjacent to the pond (USEPA, 1995).

Regional ponds do not, however, provide protection in contributing drainage systems, including upstream tributaries. These can experience damage from increased peak flow and flow volume. In addition, placement of regional ponds in low-lying areas may harm natural wetlands, and the ponds may create safety and liability issues. Siting ponds or other structural management practices within natural buffer areas and wetlands degrades their functions and may interrupt surface water and ground water flow when soils are disturbed for installation.

5.3.4.3 Constructed wetlands

Constructed wetlands (Figure 5.15) are engineered systems designed to treat runoff. They are typically designed to provide some of the functions of natural wetlands, e.g., wildlife habitat, in addition to controlling runoff volumes and pollutant loadings. There are many variations of constructed wetlands, such as shallow wetlands, extended detention wetlands, pond/wetland systems, and small isolated "pocket" wetlands. Constructed wetlands may contain some or all of the following elements: shallow vegetated areas, permanent pools, sediment forebays, transition areas, and weirs. Designs are intended to slow flow through the wetlands and provide maximum contact with wetland vegetation.

It should be noted, however, that constructed wetlands rarely replicate the functions of natural wetlands and should not be used for compensatory mitigation of natural wetlands and buffers. Furthermore, constructed wetlands should be designed to receive periodic maintenance to ensure the wetland continues to function as designed.

Constructed wetlands are feasible at most sites and drainage areas where there is enough rainfall and/or snowmelt to maintain a permanent pool. In areas with highly permeable soils, other impermeable barriers, such as synthetic liners or clay, sometimes can be used to maintain enough water or moisture to support the wetland. Constructed wetlands should be located contiguous to existing wetlands wherever possible, unless there is concern about contaminants that may pose a

threat to wildlife. Although it is technically feasible to construct a wetland on a small site (less than 1 acre), alternative control strategies should be considered when land constraints are present.

Constructed wetland systems can take several forms, including wet ponds with a wetland fringe, swale/ditch wetland depressions, and large-scale constructed wetlands used as mitigation wetlands or treatment wetlands. The choice of wetland designs depends on watershed characteristics, spatial and geomorphic constraints, runoff treatment requirements, and community and environmental factors. These considerations are outlined in Table 5.5.

In the San Diego Creek Watershed in southern California, constructed wetlands are being used as a regional runoff control technique. This approach, called the Natural Treatment System (NTS) Plan, is part of a watershed-wide management effort to meet total maximum daily load (TMDL) requirements for the San Diego Creek, which is impaired by sediment, nutrients, pathogens, heavy metals, and pesticides. The results of water quality modeling that accounted for the combined effects of the 44 planned facilities indicated that the TMDL for total nitrogen in base flows would be achieved, total phosphorus targets would be met in all but the wettest years and the fecal coliform target would be met in the dry season. While the NTS Plan is not meant to meet the TMDL for sediment, it will capture 1,900 tons annually, and the wetlands are estimated to remove 18 percent of the total zinc and 11 percent of the total copper and lead in runoff (Strecker et al., 2003).

Wetlands and other runoff control systems should not be sited in areas where they disrupt or significantly alter the predevelopment hydrology unless restoration objectives apply. When designing the wetland, a variety of physical characteristics should be used to promote multiple wildlife and habitat functions. For example, an irregular shape increases the perimeter of the system and provides a greater variety of microhabitats along the shoreline. Also, an irregular shoreline can extend the perimeter of a constructed wetland by 10 to 20 percent with no increase in land requirements. Shallow-water wetlands do not contain a large volume of water per surface area as would a typical wet pond. In general, the wetland should have a shallow slope with a permanent pool in the middle. To enable growth of emergent vegetation, static water depths should not exceed 2 to 3 feet. Depths greater than 2 to 3 feet are conducive to the growth of submerged aquatic vegetation. The use of deeper water (>3 feet) in an area that is easily accessible for small children should be discouraged. No area of the pond should have a depth greater than four feet.

In general, 50 percent of the pond should have depths less than one foot, 30 percent should be 1 foot to 2 feet deep, and 20 percent should be 2 to 4 feet deep. Greater depths are allowable for the inflow forebay and around the outlet structure.

The Maryland Department of the Environment (2000) requires that the first inch of runoff from the site must be controlled and released over a 24-hour period to provide water quality treatment, while peak discharge control of the two- and 10-year storms must be provided for water quantity control. Local requirements should be used when designing the treatment capacity of a constructed wetland. Other factors such as steep slopes may necessitate deeper ponds to obtain adequate runoff control.

Individual soil analyses should be done during the site design phase to determine if a clay or plastic liner is needed to maintain a wetland environment. Wetland vegetation cannot usually survive unless a base flow is available to provide a permanent pool to keep plants wet. Rapid infiltration will remove this needed pool. If a liner is needed, it should have at least 1 foot of clean fill material placed on top of it for wetland plant growth (the fill material will also reduce the potential for puncture).

An island placed in the wetland can extend the length of the flow path that runoff must travel to traverse the pond. This increased flow path enhances the pollution removal function of the constructed wetland. The highest elevation of the island should be above that reachable by storage of the first inch of runoff. Islands in wetlands may attract geese, which can be undesirable in some urban settings, but there are ways to minimize habitat for geese in a constructed wetland. Because most runoff management ponds are fairly small compared with a natural marsh system, they do not provide the long glide path preferred by geese for landing and takeoff. Planting woody vegetation or allowing areas around the pond to grow without mowing also tends to discourage goose residency.

The following are typical elements of a constructed wetland:

(1) *Sediment forebays*. It is important that sediment forebays be placed at all locations where runoff enters the wetland. A forebay is designed for vehicle access to facilitate sediment removal while preventing disturbance of substrate that could disrupt wetland functions. The forebay should constitute approximately 10 percent of the total basin volume and should have a maximum depth of 4 feet. Where there are multiple inlets to the constructed wetland, the total volume of all the forebays should be 10 percent of the basin volume, with individual inlet forebays sized with respect to the percentage of contributing flow they receive. The use of stone riprap in the forebay will reduce the velocity of flow into the wetland portion of the basin and minimize resuspension of deposited

sediments. An access to the forebay should be provided for cleanout equipment. An area adjacent to the constructed wetland should be set aside for disposal of the sediments that become trapped and are removed during periodic maintenance.

The cleanout frequency of sediment forebays depends on the sediment load entering the constructed wetland. Each forebay should be inspected annually to ensure cleanout is being conducted as needed. Once the forebay has been filled to approximately 50 percent of its total volume (every 10 to 15 years), sediment should be removed, placed in an appropriate upland location, and stabilized. Costs for sediment forebay maintenance, including periodic inspection and cleaning, should be budgeted as a long-term operating expense if this practice is selected.

(2) *Diversion weir.* Diversion weirs may be needed for designs where the entire runoff volume is not directed to the constructed wetland. This diverted fraction of the runoff is often routed to collection systems or inlets. The amount of rainfall that may be diverted will vary according to local requirements and design objectives.

(3) *Outlet.* As is the case with all ponds having a normal pool of water, algae can clog outlets with small orifices that are needed for extended detention. A below-surface withdrawal structure may reduce or eliminate this problem.

(4) *Transition zone.* The maximum slope of the transition zone on wetland side slopes should be no greater than 10:1 (horizontal:vertical) and should extend at least 20 feet from the design pool of the constructed wetland. This area will be temporarily flooded whenever runoff is temporarily detained. Planting trees in the transition zone enhances nutrient uptake; the shading reduces temperature increases common in open water areas; and the trees provide habitat for wildlife. The transition zone should be mowed no more than once a year in late fall. Optimally, to promote the growth of woody vegetation, the transition area should not be mowed at all unless the pond is an embankment pond, in which case it should be mowed annually to prevent woody vegetation on the embankment.

(5) *Vegetation.* Placement of organic soils on the bottom of the pond will provide faster growth of planted or volunteer vegetation. Constructed wetlands should initially be planted with emergent plants and woody shrubs, and the wetlands should be allowed to succeed to a system dominated by woody shrubs and trees. The emergent wetland plants that are chosen should have tops that rise above the normal pool level.

It is important to consult local ecologists/plant specialists to choose suitable wetland species and to design a landscaping plan with appropriate vegetation density and spacing. Local specialists can also provide information regarding the optimal time to plant vegetation and help to design a maintenance schedule based on vegetation requirements. Native species should be used where feasible because they are well-adapted to local conditions. The USDA has a database (see <http://www.plants.usda.gov/>) of invasive and noxious species, which should be avoided.

The following specifications are provided as an example and apply to the Mid-Atlantic region (MDE, 2000):

— At least two aggressive species should be planted in the constructed wetland; their purpose is to rapidly spread to other unplanted areas of the wetland. In addition, at least three secondary species should be planted to increase the diversity, wildlife values, and appearance of the wetland. Ideally, plantings should include a mix of perennial and annual species.

— Plants should cover approximately 30 percent of shallow areas, with particular attention paid to areas adjacent to the shoreline. Plants should be spaced 2 to 3 feet apart, and the same species of plants should be planted in a single area to avoid interspecies competition.

— Species that are not recommended for any use in a constructed wetland are *Phragmites australis* (common reed), *Lythrum salicaria* (purple loosestrife), and *Phalaris arundinacea* (reed canary grass). Periodic inspections are important to ensure that exotic or other pest species do not dominate the plant community. In certain situations where there is an initial invasion of an aggressive, undesirable species, selective removal of the plants might be warranted, especially if the plant community that was introduced has not had time to adequately establish itself.

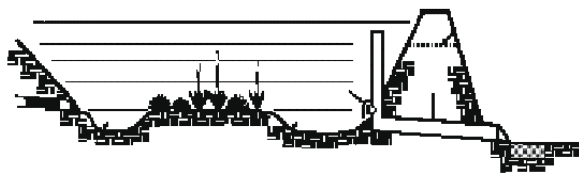
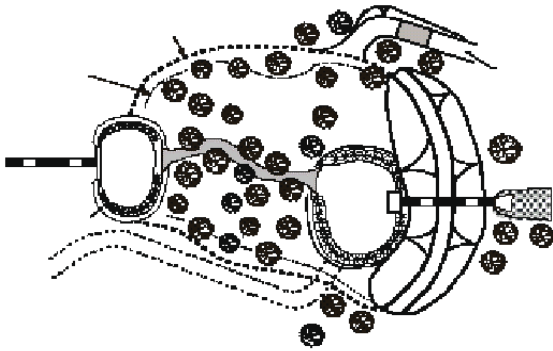
— Depending on site conditions, planting *Typha latifolia* (cattail) may or may not be recommended. Despite the fact that it is considered an exotic species, cattail will eventually dominate the wetland community. Additionally, cattail is an excellent plant for water treatment from a filtration and sedimentation standpoint.

— Planting will be more successful if the water level can be drawn down immediately prior to planting. This drawdown will leave the soils saturated, a condition necessary for the plants, and will improve visibility, especially when a number of people are involved in planting. The potential for damaging previously planted vegetation is reduced if the plants are clearly visible. Upon completion

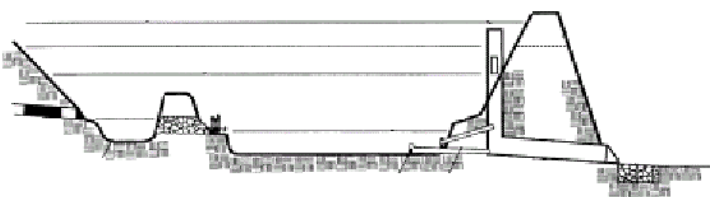
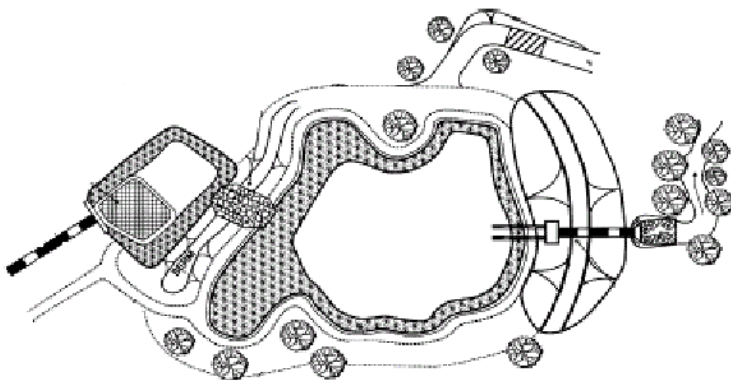
of planting, the outlet structure drain valve should be closed so either storm or base flow can reestablish the normal pool elevation.

— Harvesting wetland plants is only appropriate in areas such as the southern United States where plant growth is the most important mechanism for nutrient uptake. Harvesting is not needed where microbial activity is the dominant pollutant removal mechanism.

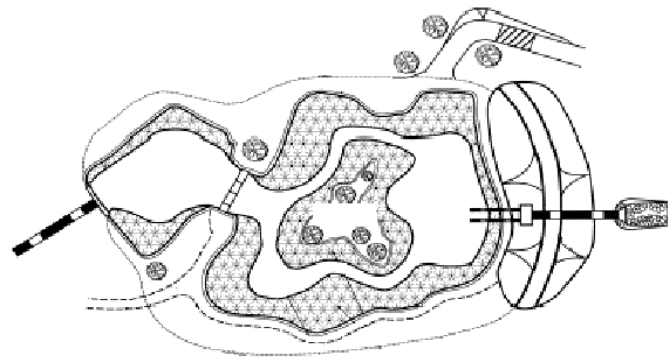
Like wet ponds, wetlands can increase adjacent property values. One study in Boulder, Colorado, found that lots located alongside a constructed wetland sold for up to a 30 percent premium over lots with no water view (USEPA, 1995). In Wichita, Kansas, a developer enhanced existing wetlands rather than filling them, and the waterfront lots sell for a premium of up to 150 percent of comparable lots (USEPA, 1995).



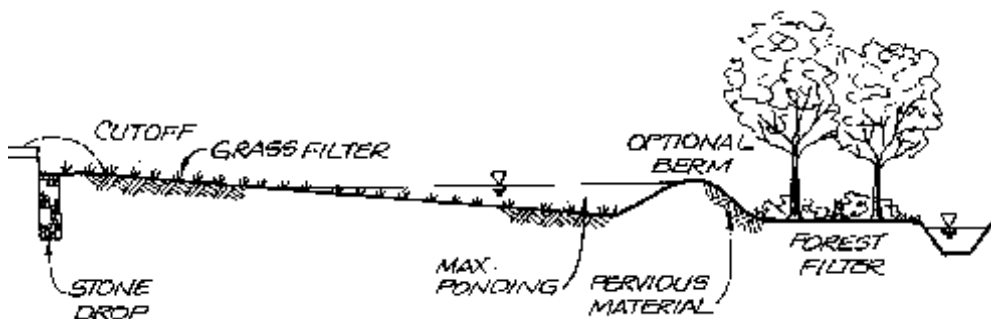
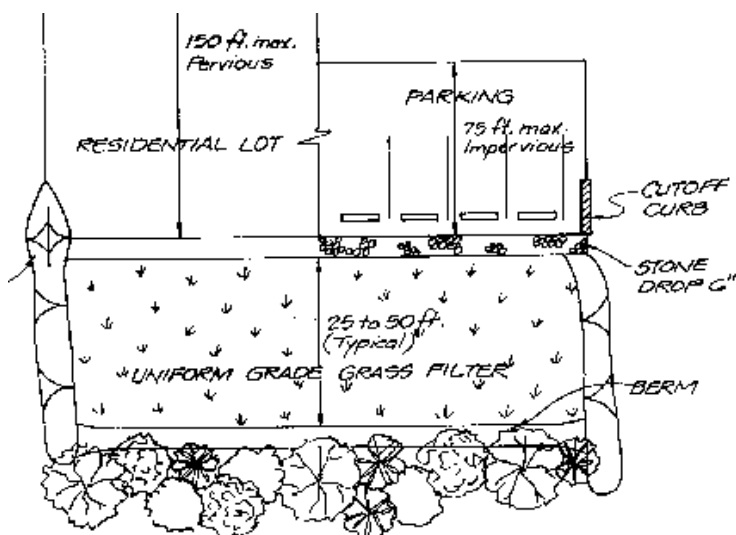
Schematic of a dry extended detention pond (MDE, 2000).



Schematic of a wet pond (MDE, 2000).



Schematic of a shallow wetland (MDE, 2000).



Schematic of a vegetated filter strip (Clayton and Schueler, 1996).

4.2.4 התאדות

התשטיפים מהמתקנים השונים של עיכוב, אצירה והחזקה יכולים גם להתאדות. להתאדות מבריכות, אגנים, רחובות וגגות יש חשיבות במקומות עם אקלים חם.

5.2.3.4 Evaporation practices

Runoff detention and retention facilities and other practices that temporarily store runoff can also evaporate it. Evaporation from runoff detention and retention areas such as rooftops, streets, basins, and ponds can be an important mechanism for runoff management in warm, dry climates.

4.2.5 מתקנים נוספים (Other practices)

תעלות לשיפור איכות המים (Water quality inlets)

Inlet - A bay or cove along a river, sea or lake coast line A stream or bay leading inland. A narrow passage between two bodies of land.

מתקנים הידרודינמיים (Hydrodynamic devices)

תאי ויסות זרם ("Baffle boxes")

אגני תפיסה (Catch basin inserts)

רצועות סינון צמחיות (Vegetated filter strips) – העיצובים הבאים הכרחיים:

- ❖ בראש השיפוע יש לשים כיסוי של חצץ בגודל אפונה לסינון המים בטרם יכנסו למתקן
- ❖ בקצה השיפוע יש לשים מדרגה של חול חדיר או חצץ שיוצר אזור רדוד על הקרקעית
- ❖ אורך תעלת הסינון הצמחית צריך להיות לפחות 25 (7.62 feet) מטר) כדי לתת טיפול מים איכותי
- ❖ הצמחים צריכים להיות עמידים בשטפי מים גדולים ותקופות הן יבשה והן רטובה
- ❖ לשיפוע צריך להיות קצה עליון שטוח לכדי לעודד זרימה במהירות נמוכה (sheet flow) ולמנוע סחף

אחסון מי הרחוב (Street surface storage)

כמו גג (On-lot storage (a series of practices that are designed to contain runoff from individual lots

וחניה

נוגדי זיהום חיידקי (Microbial disinfection)

5.3.5 Other Practices

Other practices used to control urban runoff have not been studied as extensively as those above but have been used with varying degrees of success. They include:

- ❖ Water quality inlets
- ❖ Hydrodynamic devices
- ❖ "Baffle boxes"
- ❖ Catch basin inserts
- ❖ Vegetated filter strips
- ❖ Street surface storage
- ❖ On-lot storage
- ❖ Microbial disinfection

In some cases, these practices are used for pretreatment or are part of an overall runoff management system, which is sometimes referred to as a "treatment train." For example, water quality inlets, catch basin inserts, and vegetated filter strips installed upslope of a wet pond or filtration practice will help remove a portion of the pollutants present in runoff before it enters the pond or filtration practice. These other practices in the treatment train improve runoff quality and can help extend the longevity of the filtration practice and wet pond.

...

Vegetated filter strips

Vegetated filter strips (VFSs) (Figure 5.16) are areas of land with vegetative cover that are designed to accept runoff as overland sheet flow from upstream development. Dense vegetative cover facilitates sediment attenuation and pollutant removal. Unlike grassed swales, vegetated filter strips are effective only for overland sheet flow and provide little treatment for concentrated flows. Grading and level spreaders can be used to create a uniformly sloping area that distributes the runoff evenly across the filter strip (Dillaha et al., 1989). Vegetated filter strips are often used as pretreatment for other structural practices, such as infiltration basins and infiltration trenches.

Typically, VFSs are used to treat very small drainage areas. The limiting design factor, however, is not the drainage area the practice treats but the length of flow leading to it. As runoff flows over the ground surface, it changes from sheet flow to concentrated flow. Rather than moving uniformly over

the surface, the concentrated flow forms rivulets that are slightly deeper and cover less area than the sheet flow. When flow concentrates, it moves too rapidly to be effectively treated by a grassed filter strip.

VFSs should be designed on slopes between 2 and 6 percent. Steeper slopes encourage the formation of concentrated flow. Except in the case of very sandy or gravelly soil, runoff ponds on the surface on slopes flatter than 2 percent, creating potential mosquito-breeding habitat.

Filter strips should not be used on soils with high clay content because they require infiltration for proper treatment. Very poor soils that cannot sustain a grass cover crop are also a limiting factor. Filter strips should be separated from the ground water by 2 to 4 feet to prevent contamination and to ensure that they do not remain wet between storms.

The design of VFSs is straightforward because they are not much more than a grassed slope.

However, the following design features are critical to ensure that the filter strip provides some minimum amount of water quality treatment:

- ❖ A pea gravel diaphragm or stone drop should be used at the top of the slope. The pea gravel diaphragm (a small trench running along the top of the filter strip) serves two purposes. First, it acts as a pretreatment device, settling out sediment particles before they reach the practice. Second, it acts as a level spreader, maintaining sheet flow as runoff flows over the filter strip.
- ❖ The filter strip should be designed with a pervious berm of sand and gravel at the toe of the slope. This feature provides an area for shallow ponding at the bottom of the filter strip. Runoff ponds behind the berm and gradually flows through outlet pipes in the berm. The volume ponded behind the berm should be equal to the water quality volume. The water quality volume is the amount of runoff that will be treated for pollutant removal in the practice. Typical water quality volumes are the runoff from a 1-inch storm or ½-inch of runoff over the entire drainage area to the practice.
- ❖ The filter strip should have a length of at least 25 feet to provide water quality treatment.
- ❖ Vegetation must be able to withstand relatively high velocity flows and both wet and dry periods.
- ❖ The slope should have a flat top and toe to encourage sheet flow and prevent erosion.

רצועות סינון צמחיות - מחקרים

רצועות סינון צמחיות – מחקר – 2005 – ארה"ב – תוצאות פעולתן, מה משפיע על פעולתן.

פסי סינון צמחיים (Vegetative filter strips (VFS)) משמשים למתן את פגיעת תשטיפי הגשם. הגורמים הפיזיקליים המשפיעים על ביצועי פסי הסינון: תכונות המזהמים, הרכב וצפיפות הצמחים, תכונות הקרקע והמימדים של פס הסינון. במחקר זה נאספו נתונים על חומרי המשקע מפסי סינון צמחיים ניסיוניים המטפלים בתשטיפי הכבישים במזרח קרוליינה הצפונית. נתוני שטח שמשו לבדוק את עיצוב הקונספט של הטיפול בשורת פסי סינון צמחיים (VFS treatment train), ולתת תוקף למודל הדמיה, להערכה של השפעת גורמים פיזיקליים אלו על פינוי המשקע כפונקציה של אורך פס הסינון. המסקנה: פס הסינון הצמחי הניסיוני היה יעיל בסילוק יותר מ-85% מסך תרחיפי המשקע (total suspended sediment-TSS).

תוצאות ההדמיה תומכות בנתוני תצפיות שפסי סינון באורך של 10 מטר או יותר יכולים להחזיק את רוב החלקיקים הגדולים ($8\mu\text{m}$) שמגיעים בתשטיפי.

ההדמיה מצביעה גם על כך שהאיבוד בחלחול אחראי באופן נרחב להחזקה של חלקיקי משקע קטנים ($>8\mu\text{m}$) (חלקיקי משקע קטנים מחלחלים?). מוליכות ומרכיבי מים בסיסיים לא משפיעים כמעט על פינוי TSS. כיסוי הצמחים ובמיוחד צפיפות הצמחים הוא גורם נוסף המשפיע על ביצועי פס הסינון (12).

Structural best management practices (BMPs) are often used to mitigate the impact of storm water runoff on receiving waters. Vegetative filter strips (VFS) are an example of a structural BMP that has been used to treat storm water and highway runoff. Physical factors affecting the performance of VFS include pollutant characteristics, vegetation composition and density, soil properties, and the physical dimensions of the filter strip. In this study, field-suspended sediment data were collected from an experimental VFS treating highway runoff in eastern North Carolina. Field data were used to test the design concepts of the VFS treatment train and to validate a simulation model for evaluating the impact of these physical factors on sediment removal as a function of filter strip length. It was concluded that the experimental filter strip was effective in removing more than 85% of the incoming total suspended sediment (TSS). Simulation results support field observations that a 10-m or longer filter strip can retain most of the medium and large particles ($> 8 \mu\text{m}$) transported in runoff. Simulations also indicate infiltration loss is largely responsible for the retention of small-size sediment particles ($< 8 \mu\text{m}$). Saturated hydraulic conductivity and initial water contents have little effects on TSS removal. The condition of vegetative coverage, in particular vegetation density, is another factor affecting the performance of filter strip(12).

רצועות סינון צמחיות – מה משפיע – 2004 . לאורך של רצועת הסינון יש השפעה עד גבול מסוים.
בשנים האחרונות יכולת הפינוי של משקעים מתשטיף על ידי פסי סינון צמחיים (Vegetative filter strips (VFS)) נחקרה רבות.

מאמינים שהצמחים מגבירים את החלחול ומפחיתים את המערבולות וכך מזרזים את ריבוץ המשקע. במחקר הנדון, נעשו נסיונות שדה כדי לבחון את יעילות הצמחים בפסי הסינון בפניו המשקעים מתשטיפים בשטחים חקלאיים. השתמשו ב- 20 מסננים באורכים, שיפועים וכיסויים צמחיים שונים לטיפול בתנאים מלאכותיים של תשטיף עם ריכוז ממוצע של 2700 מ"ג/ליטר. האורכים היו 2, 5, 15 מטר והשיפוע 2.3% – 5% ו- 3 סוגי צמחים. 3 פסים אחרים עם אדמה חשופה שמשו בקורת. תוצאות הניסוי הראו שהיעילות הממוצעת של לכידת המשקעים של כל המסננים היתה 84% כשהטווח הוא: 64% לאורך פילטר של 2 מטר עד 98% בשיפוע של 15 מטר וזאת בהשוואה ל-15% בלבד בביקורת.

נמצא שלאורך המסנן יש השפעה קובעת המשפיעה על ריבוץ המשקע ב- VFS עד 10 מטר. העלאת האורך ל- 15 מטר לא שיפרה את יעילות לכידת המשקעים בתנאי המחקר הנוכחי. לקצב הגעת הזרם ולאחוז הכיסוי הצמחי של הקרקע היתה השפעה שניונית על ריבוץ המשקע ב- (VFS 14).

The impact of vegetated filter strips (VFS) on sediment removal from runoff has been studied extensively in recent years. Vegetation is believed to increase water infiltration and decrease water turbulence thus enhancing sediment deposition within filter media. In the study reported here, field experiments have been conducted to examine the efficiency of vegetated filter strips for sediment removal from cropland runoff. Twenty filters with varying length, slope and vegetated cover were used under simulated runoff conditions with an average sediment concentration of 2700 mg/L. The filters were 2, 5, 10 and 15 m long with a slope of 2-3 and 5% and three types of vegetation. Three other strips with bare soil were used as a control. The experimental results showed that the average sediment trapping efficiency of all filters was 84% and ranging from 68% in a 2-m filter to as high as 98% in a 15-m long filter compared with only 25% for the control. The length of filter has been found to be the predominant factor affecting sediment deposition in VFS up to 10 m. Increasing filter length to 15 m did not improve sediment trapping efficiency under the present experimental conditions. The rate of incoming flow and vegetation cover percentage has a secondary effect on sediment deposition in VFS. Copyright © 2004 John Wiley & Sons, Ltd.

מתקנים מקנדה

קנדה. מתקנים צמחיים: פסי סינון וגומות דשא. יש שרטוט יפה של המתקן הממוקם על יד בתים. יש טבלת מחירים. ישנן הוראות מפורטות להתקנה ולתחזוקה (15).

Vegetation is often employed as part of a BMP system to slow runoff and help stormwater infiltrate the soil and settle particulates before entering another treatment device. Two frequently used vegetative measures, filter strips and grassed swales, are described below.

Grassed swales are shallow earthen channels covered with a dense growth of a hardy grass. In a residential setting, swales look like an extension of a front lawn, and can be used as alternatives to curb and gutter stormwater systems. This method is again usually used to provide pre-treatment before runoff is discharged to treatment systems, providing initial water quality improvements. Swales provide some reduction in stormwater pollution by filtering sediment and other matter. They also slow runoff and reduce peak flows.

4.3 יתרונות, חסרונות ועלויות המתקנים השונים (10)

טבלת יתרונות, חסרונות ומחיר השוואתי של כל מתקן

Advantages and disadvantages of management practices (MDE, 2000).

Practice	Advantages	Disadvantages	Comparative Cost
Runoff control ponds			
Wet pond	<ul style="list-style-type: none"> - Can provide peak flow control — Can serve large developments; most cost-effective for larger, more intensively developed sites — Enhances aesthetics and provides recreational benefits — Little ground water discharge — Permanent pool in wet ponds helps to prevent scour and resuspension of sediments — Provides moderate to high removal of both particulate and soluble urban runoff pollutants 	<ul style="list-style-type: none"> — Not economical for drainage area less than 10 acres — Potential safety hazards if not properly maintained — If not adequately maintained, can be an eyesore, breed mosquitoes, and create undesirable odors — Requires considerable space, which limits use in densely urbanized areas with expensive land and high property values — Not suitable for hydrologic soil groups "A" and "B" (USDANRCS classification) unless a liner is used — With possible thermal discharge and oxygen depletion, may severely impact downstream aquatic life — Hydrologic damage to stream channels and aquatic habitat is possible due to flow volume. 	Moderate to high compared to conventional runoff detention
Infiltration practices			
Infiltration basin	<ul style="list-style-type: none"> Provides ground water recharge — Can serve large developments — High removal capability for particulate pollutants and moderate removal for soluble pollutants — When basin works, it can replicate predevelopment hydrology more closely than other BMP options — Basins provide more habitat value than other infiltration systems 	<ul style="list-style-type: none"> — -Possible risk of contaminating ground water — Only feasible where soil is permeable and there is sufficient depth to bedrock and water table — Fairly high failure rate — If not adequately maintained, can be an eyesore, breed mosquitoes, and create undesirable odors — Regular maintenance activities cannot prevent rapid clogging of infiltration basin 	Construction cost moderate but rehabilitation cost high
Infiltration trench	<ul style="list-style-type: none"> Provides ground water recharge — Can serve small drainage areas — Can fit into medians, perimeters, and other unused areas of a development site — Helps replicate predevelopment hydrology, increases dry weather baseflow, and reduces bankfull flooding frequency 	<ul style="list-style-type: none"> — Possible risk of contaminating ground water — Only feasible where soil is permeable and there is sufficient depth to bedrock and water table — Since not as visible as other BMPs, less likely to be maintained by residents — Requires significant maintenance 	Cost-effective on smaller sites — Rehabilitation costs can be considerable
Concrete grid pavement	<ul style="list-style-type: none"> Can provide peak flow control — Provides ground water recharge — Provides water quality control without additional consumption of land 	<ul style="list-style-type: none"> — Requires regular maintenance — Not suitable for areas with high traffic volume — Possible risk of contaminating ground water — Only feasible where soil is permeable, there is sufficient depth to bedrock and water table, and there are gentle slopes 	Information not available
Filtering practices			
Filtration basin	<ul style="list-style-type: none"> Ability to accommodate mediumsize development (3–80 acres) — Flexibility to provide or not provide ground water recharge — Can provide peak volume control 	<ul style="list-style-type: none"> — Requires pretreatment of runoff through sedimentation to prevent filter media from premature clogging 	Information not available
Bioretention	<ul style="list-style-type: none"> — Provides ground water recharge 		
Open channel practices			
Grassed swale	<ul style="list-style-type: none"> — Requires minimal land area 	<ul style="list-style-type: none"> — Low pollutant removal rates 	Low compared

Practice	Advantages	Disadvantages	Comparative Cost
	<ul style="list-style-type: none"> — Can be used as part of the runoff conveyance system to provide pretreatment — Can provide sufficient runoff control to replace curb and gutter in single-family residential subdivisions and on highway medians — Economical 	<ul style="list-style-type: none"> — Leaching from culverts and fertilized lawns may actually increase the presence of trace metals and nutrients 	to curb and gutter
Structural management practices that do not consistently remove 80% TSS			
Vegetated filter strips	<ul style="list-style-type: none"> — Low maintenance requirements — Can be used as part of the runoff conveyance system to provide pretreatment — Can effectively reduce particulate pollutant levels in areas where runoff velocity is low to moderate — Provides excellent urban wildlife habitat — Economical 	<ul style="list-style-type: none"> — Often concentrates water, which significantly reduces effectiveness — Ability to remove soluble pollutants highly variable — Limited feasibility in highly urbanized areas where runoff velocities are high and flow is concentrated — Requires periodic repair, regrading, and sediment removal to prevent channelization 	Low
Water quality inlet Catch basins with sand filter	<ul style="list-style-type: none"> — Provide high removal efficiencies of particulates — Require minimal land area — Flexibility to retrofit existing small drainage areas — Higher removal of nutrient as compared to catch basins and oil/grit separator 	<ul style="list-style-type: none"> — Not feasible for drainage areas greater than 5 acres — Only feasible for areas that are stabilized and highly impervious — Not effective as water quality control for intense storms 	Information not available
Water quality inlet Oil/grit separator	<ul style="list-style-type: none"> — Captures coarse-grained sediments and some hydrocarbons — Requires minimal land area — Flexibility to retrofit existing small drainage areas and applicable to most urban areas — Shows some capacity to trap trash, debris, and other floatables — Can be adapted to all regions of the country 	<ul style="list-style-type: none"> — Captures coarse-grained sediments and some hydrocarbons — Requires minimal land area — Flexibility to retrofit existing small drainage areas and applicable to most urban areas — Shows some capacity to trap trash, debris, and other floatables — Can be adapted to all regions of the country 	High, compared to trenches and sand filters
Extended detention dry pond with micropool	<ul style="list-style-type: none"> — Can provide peak flow control — Possible to provide good particulate removal — Can serve large development — Requires less capital cost and land area when compared to wet pond — Does not generally release water or anoxic water downstream — Provides excellent protection for downstream channel erosion — Can create valuable wetland and meadow habitat when properly landscaped 	<ul style="list-style-type: none"> — Removal rates for soluble pollutants are quite low — Not economical for drainage area less than 10 acres — If not adequately maintained, can be an eyesore, breed mosquitoes, and create undesirable odors 	Lowest cost alternative in size range

Regional, site-specific, and maintenance considerations for management practices (USEPA, 1993; Caraco and Claytor, 1997; Schueler, in press)

Management Practice and Specifications	Cold Climate Restrictions (Caraco and Claytor, 1997)	Arid and Semi-Arid Regional Restrictions (Schueler, in press)
<p><i>Size of drainage area:</i> Moderate to large <i>Site requirements:</i> Deep, permeable soils <i>Maintenance burdens:</i> High <i>Longevity:</i> Low</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Avoid areas with permafrost — Monitor ground water for chlorides — Do not infiltrate road/parking lot snowmelt if chlorides are a concern — Increase percolation requirements — Use 20 foot minimum setback between road subgrade and practice 	<ul style="list-style-type: none"> — No recharge in hotspot areas — Do not treat pervious areas — Use multiple pretreatment — Soil limitations exist in arid areas
<p>Infiltration trenches <i>Size of drainage area:</i> Moderate <i>Site requirements:</i> Deep, permeable soils <i>Maintenance burdens:</i> High <i>Longevity:</i> Low</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Avoid areas with permafrost — Monitor ground water for chlorides — Do not infiltrate road/parking lot snowmelt if chlorides are a concern — Increase percolation requirements — Use 20-foot minimum setback between road subgrade and practice 	<ul style="list-style-type: none"> — No recharge in hotspot areas — Do not treat pervious areas — Use multiple pretreatment — Soil limitations exist in arid areas
<p>Vegetated filter strips <i>Size of drainage area:</i> Small <i>Site requirements:</i> Low-density areas with low slopes <i>Maintenance burdens:</i> Low <i>Longevity:</i> Low if poorly maintained</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Small setback may be required between filter strips and roads when frost heave is a concern — Avoid areas with permafrost — Use cold- and salt-tolerant vegetation — Plowed snow can be stored in-practice 	<ul style="list-style-type: none"> — Use drought-tolerant vegetation
<p>Grassed swales <i>Size of drainage area:</i> Small <i>Site requirements:</i> Low-density areas with <15% slope <i>Maintenance burdens:</i> Low <i>Longevity:</i> High if maintained</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Avoid areas with permafrost — Use cold- and salt-tolerant vegetation — Plowed snow can be stored in the practice — Increase underdrain pipe diameter and size of gravel bed — Provide ice-free culverts — Ensure soil bed is highly permeable 	<ul style="list-style-type: none"> — Not recommended for pollutant removal in arid areas — Of limited use in semi-arid areas — Ensure adequate erosion protection of channels
<p>Porous pavement <i>Size of drainage area:</i> Small <i>Site requirements:</i> Deep permeable soils, low slopes, and restricted traffic <i>Maintenance burdens:</i> Moderate to high <i>Longevity:</i> Low</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Only use on non-sanded surfaces — Pavement may be damaged by snow plows — Maintenance is essential 	
<p>Filtration basins and sand filters <i>Size of drainage area:</i> Widely applicable <i>Site requirements:</i> Widely applicable <i>Maintenance burdens:</i> Moderate <i>Longevity:</i> Low to moderate</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Reduced treatment effectiveness during cold season — Underground filters only effective if placed below the frost line — Peat/compost media ineffective during winter and may become impervious if frozen 	<ul style="list-style-type: none"> — Preferred in both arid and semi-arid areas. Arid area filters require greater pretreatment
<p>Bioretention</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Reduced treatment effectiveness during cold season — Pretreatment should be used to prevent “choking” of vegetation 	
<p>Water quality inlets</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Few restrictions 	

Management Practice and Specifications	Cold Climate Restrictions (Caraco and Claytor, 1997)	Arid and Semi-Arid Regional Restrictions (Schueler, in press)
<i>Size of drainage area:</i> Small <i>Site requirements:</i> Impervious catchments <i>Maintenance burdens:</i> Cleaned twice a year <i>Longevity:</i> High		
Extended detention dry ponds <i>Size of drainage area:</i> Moderate to large <i>Site requirements:</i> Deep soils <i>Maintenance burdens:</i> Dry ponds have relatively high burdens <i>Longevity:</i> High	— Protect inlet/outlet pipes — Use large-diameter (> 8 in) gravel in underdrain of outfall protection — Consider seasonal operation — Provide ice storage volume — Cold-tolerant vegetation	— Preferred in arid climates and acceptable in semiarid climates
Wet ponds <i>Size of drainage area:</i> Moderate to large <i>Site requirements:</i> Deep soils <i>Maintenance burdens:</i> Low <i>Longevity:</i> High	— Protect inlet/outlet pipes — Use large-diameter (> 8 in) gravel in underdrain of outfall protection — Consider seasonal operation — Provide ice storage volume — Cold-tolerant vegetation	— Not recommended in arid areas and of limited use in semiarid areas
Wetlands <i>Size of drainage area:</i> Moderate to large <i>Site requirements:</i> Poorly drained soils, space may be limiting <i>Maintenance burdens:</i> Annual harvesting of vegetation <i>Longevity:</i> High	— Protect inlet/outlet pipes — Use large-diameter (> 8 in) gravel in underdrain of outfall protection — Consider seasonal operation — Provide ice storage volume — Cold-tolerant vegetation	— Not recommended in arid areas and of limited use in semiarid areas

טבלה המפרטת את יעילות מתקני הטיפול בתשטיפים

Effectiveness of management practices for runoff control (adapted from Caraco and Winer, 2000).

Runoff Treatment or Control Practice Category or Type	Median Pollutant Removal (Percent)							
	No. of studies	TSS	TP	OP	TN	NOx	Cu	Zn
Quality Control Pond	3	3	19	N/A	5	9	10	5
Dry Extended Detention Pond	6	61	20	N/A	31	-2	29	29
Dry Ponds	9	47	19	N/A	25	3.5	26	26
Wet Extended Detention Pond	14	80	55	69	35	63	44	69
Multiple-Pond System	1	91	76	N/A	N/A	87	N/A	N/A
Wet Pond	28	79	49	39	32	36	58	65
Wet Ponds	43	80	51	65	33	43	57	66
Shallow Marsh	20	83	43	66	26	73	33	42
Extended Detention Wetland	4	69	39	59	56	35	N/A	-74
Pond/Wetland System	10	71	56	37	19	40	58	56
Submerged Gravel Wetland	2	83	64	14	19	81	21	55
Wetlands	36	76	49	48	30	67	40	44
Organic Filter	7	88	61	30	41	-15	66	89
Perimeter Sand Filter	3	79	41	68	47	-53	25	69
Surface Sand Filter	7	87	59	N/A	31.5	-13	49	80
Vertical Sand Filter	2	58	45	21	15	-87	32	56
Bioretention	1	N/A	65	N/A	49	16	97	95
Filtering Practices ^a	18	86	59	57	38	-14	49	88
Infiltration Trench	3	100	42	100	42	82	N/A	N/A
Porous Pavement	3	95	65	10	83	N/A	N/A	99
Ditches ^b	9	31	-16	N/A	-9	24	14	0
Grass Channel	3	68	29	32	N/A	-25	42	45
Dry Swale	4	93	83	70	92	90	70	86
Wet Swale	2	74	28	-31	40	31	11	33
Open Channel Practices	9	81	34	1.0	84	31	51	71
Oil-Grit Separator	1	-8	-41	40	N/A	47	-11	17

Shaded rows show data for groups of practices (i.e., dry ponds include quality control ponds and dry extended detention ponds).

Numbers in italics are based on fewer than five data points.

^a Excludes vertical sand filters

^b Refers to open channel practices not designed for water quality.

TSS=total suspended solids, TP=total phosphorus, OP=ortho-phosphorus, TN=total nitrogen,

NOx=nitrate and nitrite nitrogen, Cu=copper,

Zn=zinc.

טבלת מחירים של מתקנים נבחרים - 1997

Costs of selected management practices (Claytor and Schueler, 1996; Brown and Schueler, 1997).

Management Practice	Construction Costs ^a	Useful Life (years)	Total Annual Costs
<i>Infiltration basin^b</i>			
Average	\$0.55/ft ³ storage	25 ^c	–
Report range	\$0.22–\$1.31/ft ³	–	\$0.03–\$0.05/ft ³
Probable range	\$0.44–\$0.76/ft ³	–	–
<i>Infiltration trench^b</i>			
Average	\$4.36/ft ³ storage	10 ^c	–
Report range	\$0.98–\$10.04/ft ³	–	\$0.03–\$0.10/ft ³
Probable range	\$2.73–\$8.18/ft ³	–	–
<i>Infiltration practices^d</i>			
Average	\$2.99/ft ³ storage	–	–
Report range	\$2.13–4.27/ft ³ storage	–	–
<i>Vegetated swales^b</i>			
Established from seed			
Average	\$7.09/linear ft	50 ^e	\$1.09/linear ft
Report range	\$4.91–\$9.27/linear ft	–	–
Established from sod			
Average	\$21.82/linear ft	50 ^e	\$2.18/linear ft
Report range	\$8.73–\$54.56/linear ft	–	–
<i>Porous pavement^b</i>			
Average	\$1.64/ft ²	10 ^f	\$0.16/ft ²
Report range	\$1.09–\$2.18/ft ²	–	–
<i>Concrete grid pavement^b</i>			
Average	\$1.09/ft ²	20	\$0.05/ft ²
Report range	\$1.09–\$2.18/ft ²	–	–
<i>Filtration basins^b</i>			
Average (probable)	\$5.46/ft ³ storage	25 ^g	–
Report range	\$1.09–12.00/ft ³	–	\$0.11–\$0.87/ft ³
Probable range	\$2.18–9.82/ft ³	–	–
<i>Bioretention practices^d</i>			
Average	\$6.83/ft ³ storage	–	–
<i>Filtration practices^d</i>			
Average	\$2.63/ft ³ storage	–	–
Range	\$2.13–6.40/ft ³ storage	–	–
<i>Water quality inlet^{b,h}</i>			
Average	\$2,182 each	50	\$164 each
Report range	\$1,200–3,273 each	–	–
Probable range	–	–	–
<i>Water quality inlet with sand filter^{b,h}</i>			
Average (probable)	\$10,900/drainage acre	50	\$764/drainage acre
<i>Oil/grit separator^{b,h}</i>			
Average	\$19,640/drainage acre	50	\$1,091/drainage acre
Report range	\$16,370–\$21,820/drainage acre	–	–
<i>Stabilization with ground cover^{b,h}</i>			
From existing vegetation			
Average	\$0	50	Natural: \$109/acre
Report range	–	–	Managed: \$873/acre
From seed			
Average	\$436/acre	50	Natural: \$131/acre
Report range	\$218–\$1,091/acre	–	Managed: \$900/acre
From seed and mulch			
Average	\$1,637/acre	50	Natural: \$218/acre
Report range	\$872–\$3,819/acre	–	Managed: \$982/acre

Management Practice	Construction Costs ^a	Useful Life (years)	Total Annual Costs
From sod			
Average	\$12,330/acre	50	Natural: \$764/acre
Report range	\$4,910–\$52,375/acre	–	Managed: \$1,528/acre
<i>Ext. Detention Dry Pond^{b,h}</i>			
Average	\$0.55/ft ³ storage	50	–
Report range	\$0.05–\$3.49/ft ³	–	\$0.008–\$0.33/ft ³
Probable range	\$0.10–\$5.46/ft ³	–	–
<i>Wet Pond and Extended Detention Wet Pond^b</i>			
Average	\$0.55/ft ³ storage	50	\$0.009–\$0.08/ft ³
Storage vol. < 1 million ft ³	\$0.05–\$1.09/ft ³	–	–
Average	\$0.55–\$1.09/ft ³	–	–
Report range	\$0.27/ft ³ storage	50	–
Probable range	\$0.05–\$0.55/ft ³	–	\$0.009–\$0.08/ft ³
Storage vol. > 1 million ft ³	\$0.11–\$0.55/ft ³	–	–
Average (probable)			
Report range (probable)			
Probable range			

^a Costs updated using the Bureau of Labor Statistics Inflation Calculator.

^b Claytor and Schueler, 1996.

^c References indicate the useful life for infiltration basins and infiltration trenches at 25-50 and 10-15 years, respectively. Because of the high failure rate, infiltration basins are assumed to have a useful life span of 25 years and infiltration trenches are assumed to have a useful life span of 10 years.

^d Brown and Schueler, 1997.

^e Useful life is assumed to equal the life of the project, assumed to be 50 years.

^f No information was available for porous pavement. It is assumed to be similar to infiltration trenches.

^g No information was available for filtration basins. It was assumed to be similar to infiltration basins.

^h These practices do not meet the 80 percent TSS removal, thus it is recommended that they be used with other management practices in a treatment train.

4.4 בחירת המתקן המתאים

בחירת מתקן מבני יכולה להתבסס גם על שיקולים שאינם יעילות סילוק המזהמים. במגוון מקומות ניתן להשתמש באמצעי פיקוח של כיסוי פני השטח על ידי צמחים. זהו אמצעי זול יחסית לבניה ואין צורך בתחזוקה קפדנית. כאשר האתר אינו מתאים לאמצעי הפיקוח הצמחי, הפיקוח המבני הבא שיש לשקול הוא בריכות רטובות. הבניה של אמצעי זה תלויה בשטח הזמין לבריכה ובתכונות הקרקע. למתקני חלחול יש פוטנציאל טיפולי טוב אך יש אילוצי דרישות לגבי האתר, הבניה והתחזוקה (5. ראה עמ' 11).

STRUCTURAL CONTROL MEASURES EVALUATION

The selection of a structural control measure may be based on considerations other than pollution removal efficiency. Vegetative surface controls can be used in a variety of settings, have relatively lower construction costs and have less rigorous maintenance requirements. When a site is not suitable for vegetative controls, the next structural control measure to be considered would be wet ponds. The utilization of this measure is dependent upon land area availability for a pond and the soil characteristics. Infiltration facilities have a good treatment potential but are constrained by site, construction and maintenance requirements. The expected performance of various structural control measures is presented in Table 4. Operation levels and pollutant removal percentages are based on field studies, laboratory analysis, computer modeling and other theoretical considerations.

טבלה 4 בעמ' 15 מביאה את דרגות סילוק המזהמים על ידי כל מתקן. דרגות הסילוק מסומלות על ידי אותיות לפי המפתח בהמשך:

טבלת השוואה של סילוק מזהמים על ידי מתקני בקרה מבניים

Table 4 - Comparative Pollutant Removal of Control Structure Designs**

Control Measure	Pollutant removal **						
	Total suspended solids	Total Phosphorous	Total Nitrogen	Oxygen O ₂ Demand	Metals	Bacteria	Overall Capability
Extended Detention Pond							
Design 1	B	D	D	D	C	***	Moderate
Design 2	A	C	D	C	B	***	Moderate
Design 3	A	B	D	C	B	***	High
Wet Pond							
Design 4	B	C	D	D	D	***	Moderate
Design 5	B	C	D	D	B	***	Moderate
Design 6	A	B	C	C	B	***	High
Infiltration Trench							
Design 7	B	C	C	B	B	B	Moderate
Design 8	A	C	C	B	B	B	High
Design 9	A	B	B	A	A	A	High
Infiltration Basin							
Design 7	B	C	C	B	B	B	Moderate
Design 8	A	C	C	B	A	B	High
Design 9	A	B	B	A	A	A	High
Vegetated Filter Strip							
Design 10	D	E	E	E	D	***	Low
Design 11	A	C	C	B	A	***	Moderate
Grassed Swale							
Design 12	E	E	E	E	E	***	Low
Design 13	D	D	D	D	E	***	Low
Sand Filter							
Design 14	B	D	D	B	C	B	Moderate
Grassed Swale							
Design 15	A	B	C	A	B	A	High

** Pollutant Removal Key -
A) 60 to 80 percent removal
B) 40 to 60 percent removal
C) 20 to 40 percent removal
D) 0 to 20 percent removal
E) 0 to 20 percent removal
*** - Insufficient Knowledge

Design Key

Extended Detention Pond Design

- 1: First flush runoff volume (i.e., 0.5 inches runoff per impervious acre) detained for 6-12 hours.
- 2: Runoff volume produced by 1-inch rainfall detained 24 hours.
- 3: Same as Design 2, but with shallow marsh in bottom stage.

Wet Pond Design

- 4: Permanent pool equal to 0.5 inch storage per impervious acre.
- 5: Permanent pool equal to 2.5 x mean storm runoff.
- 6: Permanent pool equal to 4.0 x mean storm runoff; approximately 2 weeks retention.

Infiltration Trench and Infiltration Basin Design

- 7: Facility percolates first flush into underlying subsoil; 0.5 inches runoff per impervious acre.
- 8: Facility percolates 1.0 inches runoff into underlying subsoil per impervious acre.
- 9: Facility percolates all runoff into underlying subsoil up to the 2 year design storm.

Vegetated Filter Strip Design

- 10: 20 foot wide turf strip.
- 11: 100 foot wide forested strip with level spreader.

Grassed Swale Design

- 12: High slope with no check dams.
- 13: Low gradient swales with check dams.

Sand Filter Design

- 14: 0.5 inches of runoff storage per watershed acre with pretreatment detention.

Peat-Sand Filter Design

15: 0.5 inches of storage and percolation into underlying subsoil per impervious acre.

מסקנה: כדי לטפל ביעילות בתשטיפי כביש יש להכניס מתקנים לטיפול מיטבי (BMPs) כבר בשלב מוקדם של התכנון. גורמים קריטיים שיש להתחשב בהם בתהליך הכללי של תכנון הכביש והתובלה הם סוג המתקן המוצע לכביש, תנאי קו פרשת המים במקום, תכונות הקרקע, שימושי הקרקע שמסביב, תדירות גשמי הסערה ומאפייני הנחלים המקבילים את התשטיפים. מתקני התחזוקה לפיקוח על התשטיפים צריכים להיות פרקטיים, מתאימים לאתר ותואמים את חישובי העלות-תועלת.

במידה ויהיה תכנון מניעתי מוקדם של הכביש על ידי הרשויות האחראיות, ההשפעות המזיקות של תשטיפי הכביש יופחתו בצורה משמעותית או יעלמו כמעט לחלוטין. לכן, שיקולי איכות מים צריכים לקחת חלק חשוב בפעולות של תכנון (ארוך טווח של תחבורה ושל שימושי קרקע (11), שם עמ' 17)

CONCLUSIONS

In order to effectively treat highway runoff, BMPs need to be incorporated early in the highway planning and design process. Such design factors, as the type of proposed highway facility, local watershed conditions, soil characteristics, surrounding land use, storm frequency, and receiving stream characteristics are all critically important design factors that need to be incorporated in the overall transportation planning process. Management practices to control runoff need to be practical, suitable for the site and cost-effective.

If proactive highway planning and design is initiated by the responsible transportation agency, the deleterious effects of highway runoff can be significantly reduced, if not totally eliminated. Therefore, water quality considerations should play a role in long range transportation planning and land use planning activities.

הגדרת סוגי המזהמים

Excess fertilizers, herbicides and insecticides from agricultural and residential areas.

- Oil, grease and toxic chemicals from urban runoff and energy production.
- Sediment from improperly managed construction sites, crop and forest lands and eroding stream banks.
- Salt from irrigation practices and acid drainage from abandoned mines
- Bacteria and nutrients from livestock, pet wastes and faulty septic systems.
- Atmospheric deposition of airborne particulates.
- Household cleaners, used engine oil and fertilizers and pesticides resulting from improper household management.
- Chemicals, debris, fertilizers, automotive oils and

מסקנת עורך הסקר: מניתוח טבלת התוצאות מסתבר ש – Vegetated filter strips שהם למעשה אגנים ירוקים בתעלות Subsurface flow מסלקים מתכות ומן הסתם נכללות גם מתכות כבדות, ברמה הגבוהה ביותר (A).

Grassed Swales שהם למעשה אגנים ירוקים עם מוצפים Surface water constructed wetlands נותנים את הרחקת המזהמים הכללית הטובה ביותר "ציונים A או – B" פרט להרחקת ניטראטים וזאת מחוסר הספקה של חמצן וחומר אורגני פריק.

בתנאי האקלים בישראל עונת הגשמים מעשית אינה אורכת יותר מ-4 חודשים ומצטיינת ב-3-4 ימי סערות גשם שביניהם עד כשבועיים שלושה ללא משקעים.

בתנאים אלו, עקב ההתאיידות, והספיגה בקרקע מחלחלת משטח המים שנמצא מעל הצמחיה והמצע יעלם תוך מספר ימים, תקופה שאיננה מספיק ארוכה להתפתחות מצע בקטריאלי אפקטיבי להרחקת מזהמים יעילה.

4.5 מניעת יתושים במתקנים

מה יש לעשות כדי להמנע מיתושים במתקנים יתושים עלולים להעביר מחלות. שני שלבי הגידול של היתושים המתקיימים במים, הביצה והזחל, יכולים להתקיים במתקני המים העומדים. אחת האפשרויות היא לוחמה ביולוגית, על ידי Mosquito fish , dragonfly nymphs דגי גמבוזיה וכו'. גם פטריות ופרוטוזואה, נמטודות וכו'. יש לדאוג שברכות שאינן מהסוג הרטוב יתייבשו תוך 72 שעות אחרי השטף וכך היתושים לא יספיקו להטיל ביצים.

Managing Structural Controls to Reduce Mosquito-Breeding Habitat

This is a public health concern because mosquitoes are known vectors for disease-causing arboviruses such as malaria, yellow fever, dengue fever, St. Louis encephalitis, and West Nile virus, to name a few. The relationship between storm water management and mosquito breeding exists

because the presence of standing and sometimes stagnant water facilitates the two aquatic stages of a mosquito's life cycle—the egg and larval stages.

...

Biological control can be achieved using various predators such as dragonfly nymphs and predacious mosquitoes (Rose, 2001). Mosquito fish are the most commonly used agents for biological control because they are easily reared, although they also feed on non-target species.

Other types of organisms that might be used for mosquito control include several fish types other than *Gambusia*, as well as fungi, protozoans, nematodes, and predacious copepods.

There are steps that a storm water manager can take to reduce the likelihood that mosquitoes will breed in storm water management facilities. From a design standpoint, most management practices other than wet retention ponds are intended to drain within 72 hours. This is a safe drainage time because mosquitoes need at least that long for their aquatic life stages. Additionally, Metzger et al. (2002) found that several design features of storm water management practices contributed to vector production, including the use of sumps, catch basins, or spreader troughs that did not drain completely; the use of loose riprap that could hold small amounts of water; pumps or motors designed to "automatically" drain water from structures; and effluent pipes with discharge orifices prone to clogging because of their small diameter.

5. הצעות והמלצות למתקנים בכבישי ישראל - ארנון גורן

5.1 מבוא

המידע שהובא בסקר המקורות הנו רחב ביותר ומטרתו העיקרית היו לראות מה נעשה בתחום זה בעולם בכלל ובישראל בפרט ולבחון את ההתאמה של המחקרים השונים שנעשו בארצות שונות לאקלים ולגיאוגרפיה המקומיים. התנאים האקלימיים הם מן הסתם הדומיננטיים ביותר בתכנון של מערכות טיפול אקסטנסיביות מהסוג הנדון בעבודה זו. בישראל הנמצאת באזור ים תיכוני האופייני לחלקו הדרומי של האגן, כמויות המשקעים השנתיות מתפזרות לאורך עונה קצרה יחסית של כ- 4 חודשים וזאת לעומת פיזור משקעים דומים על תקופות ארוכות יותר באירופה המערבית ובצפון ארה"ב ותוספת גשמי קיץ. הטיפול האקסטנסיבי מכתוב מערכת של "אגירה וטיפול" שבה זמני השהייה יהיו קצרים יחסית דבר המתאים למערכות סינון פיזי שבהן הערך המוסף הביולוגי יהיה נמוך יחסית. ברור כי בעבודה מסוג זה יש לבסס את ההשקעות המוצעות על הערכות של "עלות- תועלת". הערכות אלו הינן מימד נוסף לשיקולי בחירת המתקנים וזאת בהנחה א-פריורי שכדאי להשקיע בהרחקת מזהמים ממי הנגר העילי לשם השבחת משאבי המים של המדינה. יתר על כן, במסגרת ביצוע פרויקטים מסוג זה, ניתן לבחון מחדש את האפשרות של השבת אזורי ביצה מיובשים למתקני שירות לכבישים. הנחה זו נמצאת היא חלק מהנחות סביבתיות הכוללות למשל את התקנה, הקיימת מזה 25 שנה, אשר מבטיחה המשכיות קיום הנחלים הארץ על ידי הזרמת כ- 25 מיליון מטר קוב של מים שפירים לשנה אל הנחלים.

5.2 מידע כללי על מתקנים

סינון (Filtration)

המתקנים המופיעים במחקרים השונים מבוססים על הרחקת מזהמים על ידי סינון דרך מצע בו מתקיימים מספר תהליכים "מיקרו" בו זמניים הכוללים: הדבקה, התלכדות, קפילריות, שיקוע ועוד. במידה ויש זרימת מים מתמשכת, יש לצפות להתפתחות מערכת ביולוגית אירובית או אנארובית "הלוכדת" את החומרים המומסים. משטר המשקעים הקיים בישראל אזור אקלימי יבש למחצה, מורכב מסופות גשם אינטנסיביות הנמשכות כ- 2-3 ימים ולאחריהם מספר שבועות ללא משקעים. התקופות הרטובות הקצרות יחסית אינן מספקות פרק זמן סביר להתפתחות בקטריאלית עשירה דיה היכולה לקלוט מזהמים מהתשטיפים. לעומת זאת, תקופת היובש היחסי תעצור את הפיתוח הביולוגי כמעט לחלוטין, או לפחות לרמה בה יכולת ההשפעה על ריכוז המזהמים בתשטיפים תהיה שולית ביותר. לאור הנחה זו יש להתמקד במתקנים בהם תהיה רמת סינון גבוהה יחסית כגורם עיקרי בהרחקת מזהמים. מניסיונו במתקני אגנים הירוקים, שיטת זרימה תת-מצעית, מסתבר שהרחקת המזהמים עם הזרמת השפכים דרך המצע יכולה להגיע לכ- 70% מההרחקה לאחר מספר שבועות כאשר יש כבר פיתוח של צמחיה, שורשים ומערכת הרחקת מזהמים ביולוגית ברמה אירובית או אנארובית. יש כיום מידע עיקרי המבליט את הקשר בין עומס הידראולי ואחוזי הרחקת מזהמים ולכן יש לשאוף לתכנון מערכת בעלת שטח פנים גדול המאפשרת הרחקת מזהמים מירבית. מחקרים שנערכו ע"י EPA¹ ו-TVA² בארה"ב והועדה האירופאית למרבדי קנים (Reed beds) ממליצים על עומסים הידראוליים של כ- 3-5 ס"מ ליום. עומס זה הינו נמוך ע"מ לספק הרחקה סבירה של מזהמים בערכים של כ- 60% - 80% ע"פ המחקרים. משטחי הסינון הנדרשים לקריטריון של כ- 4 ס"מ עומס הידראולי וסופת גשם יומית של כ- 25 מ"מ על "יחידת כביש" דורשים שטח סינון של כ- 7,500 מ"ר. במידה ומתקיים ויסות זרימות של כ- 6-7 ימים, השטח הנדרש לסינון יגיע לכ- 1,100 מ"ר בלבד. במקרה כזה תידרש בריכת ויסות בנפח של כ- 300 מ"ק, הניתנת להקמה במסגרת שטח "הכרזת הכביש".

השפעת הצמחיה

בריכות אלו מיועדות לקלוט את כל כמויות מי הנגר על בסיס עונתי ולאגום לתקופה שתידרש להחדירם לקרקע. בתחתית הבריכה יש שכבה של מצע מחלחל כגון חצץ פוליה או גזם. מחקרים הראו שתרומת שורשי הצמחיה להרחקת מזהמים הינה שולית ביותר ואינה עולה על 30% מכמות הרחקה כללית בתהליכי סינון פיזיים וביולוגיים. במסגרת מחקר זה לא יפורטו סוגי צמחים אף כי ברור שבחירתם חייבת להיות בהתאם לאופי של המתקנים המהווים בית גידול רטוב בחורף ויבש בקיץ, בתנאים טבעיים.

¹ Environmental protecting Agency
² Tennessee Valley Authorities

שמנים ושומנים

יש ציפיה שריכוז שמנים סינתטיים מסוגים שונים, במי הנגר יהיה יחסית נמוך. במחקרים השונים מזכירים את הנושא אולם אין המלצות למתקנים מיוחדים ללכידת השמן (Grease trap).

התנדפות והתאידות

לפי הפרסומים מקובל שערך ההתנדפות של מים באגנים ירוקים עם צמחיה יכול להגיע לכ-80% מ"התנדפות בגיגית". (ראה רפרנס 18 א-ג).

לצורך עבודה זו, התנדפות בגיגית תהיה 1750 מ"מ לשנה. מאחר וכמות ההתנדפות בחורף היומית נעה בין 3-8 מ"מ, מוערך שכמות ההתנדפות תהיה כ- 5.5 מ"מ ביום.

5.3 הגדרות יסוד לתכנון המתקנים

הגדרת "יחידת כביש"

נתונים הנדסיים של "יחידת כביש" אליו מתייחסת עבודה זו: הכביש הוא בעל 2 מסלולים (two lanes) בכל כוון, ברוחב כולל של 7.0 מ' אספלט ועוד פסי שוליים של 2 מ' בצידו הפנימי של הכביש, ופס שוליים של 3.0 מ' בצידו החיצוני של הכביש (דוגמת כביש 6) ובסה"כ רוחב השטח המנוקז של הכביש יהיה 12 מטר. בין 2 הכבישים בכוונים נוגדים תהיה מחיצת מיגון או תעלת ניקוז כמו בכביש 6.

השיפוע (gradient) האורכי של הכביש יהיה בין 0.5% ל- 3.0%. השיפוע הצידי (cross fall or superelevation) יהיה 2%.

לצורך העניין יש להתעלם משיפועים טבעיים גדולים יותר בעקומות וזאת מאחר ומספר הדוגמאות של תכנון כזה הנו זניח.

השיפוע של השוליים ללא אספלט יהיה של 3% ורוחבם יהיה 3 מטר בצד החיצוני ו- 2 מטר בצד הפנימי. המבנה של פני האספלט יהיו כמקובל בישראל.

אורך "יחידת הכביש" יהיה 1000 מטר, כלומר שטח הכביש כולל השוליים יהיה 1,200 מ².

אנו מניחים שזמן שהיית מי הנגר על פני הכביש הנו קצר ביותר והגעת הזרם לתעלת הניקוז הנו לכל עניין ודבר מיידי. שטח יחידת כביש לצורך חישוב מי נגר יהיה 12,000 מ². תחום הכביש כולל בתוכו את האזור המוכרז של הכביש על פי התקנות.

הגדרות למשקעים

תא השטח עליו מתבססת עבודה זו יהיה אזור המרכז של ישראל אשר בו מוערך כי כמות הרכב/ק"מ היא הגבוהה ביותר בישראל. ידוע שבישראל העומס על הכבישים הוא פי כ- 2.5 גבוה מהעומסים הממוצעים בעולם המערבי. אין בידינו מידע מדוייק על כמות הרכב/ק"מ והיחס ליחידת כביש במחקר זה, אי לכך אין ביכולתנו לכמת את תרומת המזהמים. לצורך חישוב גודלי המתקנים השתמשנו בפרמטרים המקובלים בתעשיית טיהור השפכים בה ריכוז הפרמטרים הנו גבוה בהרבה מתשטיפי מי הכבישים ((19) וראה גם נספח 8.3).

אזור זה יוגבל בצפון בכביש עכו – צפת (כביש מספר 85) בדרום קו גדרה בית שמש ובמזרח בכביש מס' 6. כמות המשקעים הממוצעת בתא שטח זה היא 550 מ"מ בשנה.

כמות המשקעים היומית שתשמש כבסיס לאומדן כמות מי הנגר העילי מהכבישים תתבסס על פרסומים של השירות ההידרולוגי המתייחס לעונת תשנ"ו 1995 – 1996:

טבלת מספר ימי הגשם בהם ירדה כמות משקעים מעל למספר המצוין

שם המקום	כמות הגשם	עין החורש	בית דגן
עונתי (annual)	50 מ"מ	1	1
	25 מ"מ	4	6
	10 מ"מ	20	15
	1.0 מ"מ	49	49
	0.1 מ"מ	63	63
ספטמבר - נובמבר	50 מ"מ	0	0
	25 מ"מ	0	1
	10 מ"מ	3	4
	1.0 מ"מ	9	8
	0.1 מ"מ	10	9
דצמבר - פברואר	50 מ"מ	1	1
	25 מ"מ	2	3
	10 מ"מ	11	8
	1.0 מ"מ	26	26
	0.1 מ"מ	34	35
מרץ - מאי	50 מ"מ	0	0
	25 מ"מ	2	2
	10 מ"מ	6	4
	1.0 מ"מ	14	15
	0.1 מ"מ	19	19

בהסתברות סטטיסטית רב שנתית המתקרבת למוצע הארצי חלוקת המשקעים היא בהתאם לטבלה הבאה:

טבלת משקעים

משקעים	% סטטיסטי
עד 5 מ"מ ליום	50%
עד 10 מ"מ ליום	30%
עד 25 מ"מ ליום	12%
עד 50 מ"מ ליום	5%
יותר מ-50 מ"מ ליום	3%
סה"כ	100%

הנחה בסיסית היא שמשקעים של פחות מ- 5 מ"מ ליום תורמים כמות שולית לזרימה במערכת הניקוז. מכאן שיש לצפות שכחצי מכמות המשקעים השנתית תגיע למערכת הניקוז.

טבלת ספיקה יומית של הנגר העילי מכביש ושוליים בשטח של 12,000 מ"ר

משקעים	תרומת נגר עילי ממוצעת
עד 5 מ"מ ליום	ערך זניח
עד 10 מ"מ ליום	120 מ"ק ליום
עד 25 מ"מ ליום	300 מ"ק ליום
עד 50 מ"מ ליום	600 מ"ק ליום
יותר מ-50 מ"מ ליום	ראה הערה

הערות:

1. כמות משקעים של מעל 50 מ"מ ליום היא בשכיחות נמוכה וסבירותה הממוצעת פחות מפעם בשנה. ידועות שנים בהן היו סערות גשם חזקות ביותר עם כמות משקעים שהגיעה עד 120 מ"מ ליום ואף יותר. כמויות חריגות אלה אינן יכולות לשמש לצורך התכנון.
2. בכמות משקעים כזו תהיה רמה גבוהה מאד של מיהול המזהמים אשר כמותם המוחלטת לא תהיה פרופורציונית לכמות המשקעים ולכן הסיכון לזיהום משארי המים אינו עולה.
3. תכנון למצבים כאלה אינו כלכלי בהערכה של "עלות-תועלת".
4. לצורך עבודה זו תוגדר כמות משקעים של מעל 50 מ"מ ליום ככמות שסבירותה הסטטיסטית היא 1 ל-10 שנים. ואילו כמות משקעים מעל 100 מ"מ ליום תוגדר בסבירות סטטיסטית של מעל 1 ל-50 שנה.
5. ביום משקעים "תקני" מוערך שכמות המשקעים היא 25 מ"מ. כמות זו תהיה בסיס לחישובי כמויות מי הנגר העילי וגודל המתקנים.

הגדרת "מצע":

המצע בעבודה זו הינו חומר גרנולרי שתפקידו להרחיק מזהמים על ידי סינון המים, פיזית וביולוגית, וכבסיס לשורשי הצמחיה.

מצע חצץ: חצץ מחצבה מאבן דולומיט בגודל משתנה שבין 12 מ"מ (עדש) ועד 40 מ"מ (בוקסר).
מצע קומפוסט: חומר אורגני שעבר תהליך קומפוסטציה הכולל לא יותר מ- 20% במשקל חומר דק העובר נפה של 6 מ"מ.

מצע גזם (Pulverized bark): מוצר של ריסוק מכני של עצים וענפים בגודל שאינו עולה על 10 ס"מ, הכולל לא יותר מ- 20% במשקל חומר דק העובר נפה של 6 מ"מ.

הגדרת מזהמים

המזהמים העיקריים שנמצאו על פי המחקרים בתשטיפי כבישים כוללים: כלל מוצקים מרחפים (TSS), זרחן כללי (TP), חנקן כללי (TN), חנקן (NOx), נחושת (Cu), אבץ (Zn).
המתקנים ההנדסיים המומלצים יתוכננו על פי הפרמטרים המקובלים בפרסומים (ראה סעיף 5.2 הערות 1,2) ולכן יעילותם הצפויה לטיפול בתשטיפים על ידי הרחקה ממוצעת של מזהמים (Median pollutant removal), תהיה בדומה לטבלה המופיעה בסעיף 4.3 (Ref 10).

5.4 מתקנים הנדסיים-הידראוליים

5.4.1 מתקן קבלת מי נגר עילי

מתקן קבלת מי הנגר העילי ימוקם במוצא תעלת הניקוז וישמש לבקרת זרימות מי התשטיפים מתעלת הניקוז אל מתקן הטיפול או אל מערכת הזרימה האזורית.

מיקום המתקן יהיה בדרך כלל במוצא המבוקר של מי הנגר או בסמוך לו. יתכן שמקרים מסוימים, כאשר אורך הכביש בין מוצאי המים הנו ארוך במיוחד, יתוכנן מוצא נוסף.

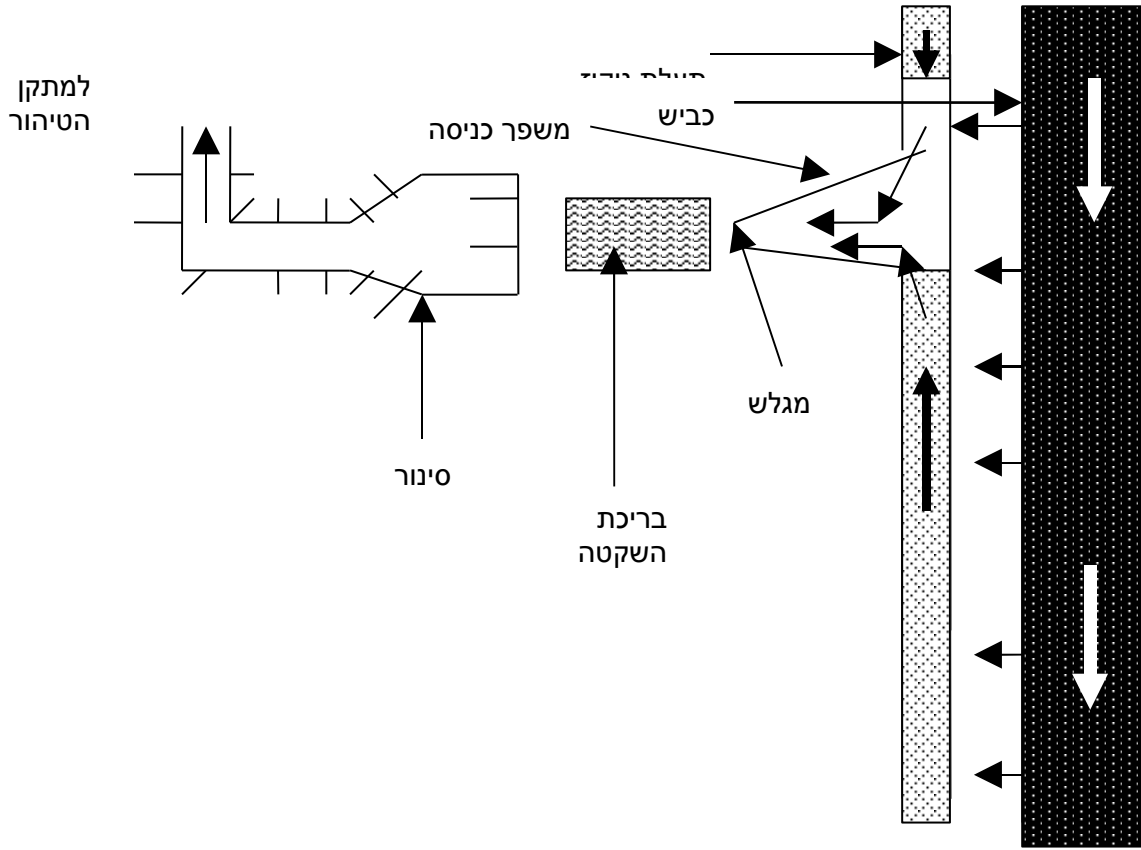
תפקידו של מתקן זה הוא לווסת את מהירות זרימת המים מהתעלה ולהעבירם אל מערכות הטיפול על ידי שבירת אנרגיית הזרימה, ולשקע אבן וחול כדי למנוע את סתימת מתקן הטיפול על ידי סחף.

המתקן יהיה בנוי מבטון ויובחנו בו חלקים שלי: משפך קבלת המים, מגלש (weir), בריכת השקטה (stilling pond), סינור (apron) ותעלה או צינור להזנת מתקני הטיפול (conveying channel).

תחזוקת המתקן תתמקד בריקון שנתי של החול והאבנים בבריכת השיקוע ובחינה ויזואלית.

מידות המתקן יקבעו בשטח על פי נתוני שטח הכביש המנוקז ועל פי ספיקת מי הנגר הצפויה. במקרים בהם יש סיכונים אקולוגיים או הידרולוגיים של מזהמים הנשפכים לכביש עקב תאונות, יתוכנן המתקן בהתאם.

מתקן הנדסי-הידראולי לקבלת מי הנגר העילי (Runoff water inlet)



נתונים טכניים

לשדרוג מוצא קיים	חפירה בשטח
על ידי כנפיים מבטון באורך 2 מ', גובה עד 1.50 מ' עם רגל עמוקה בקרקע.	הטיית המים
ברוחב 50 ס"מ, עומק 1.2 מ' לפחות עם רגל.	מגלש בטון
בשטח מינימלי של 1.20 X 2.0 מ', עומק 60 ס"מ.	בריכת בטון
"ל"סינור" (apron) באורך עד 3.0 מ' עם קורת קצה עמוקה ורוחב 1.20 מ' עם	מוצא הבריכה
בליטות להשקטת הזרם.	
אל מתקן הטיפול.	תעלת מוצא

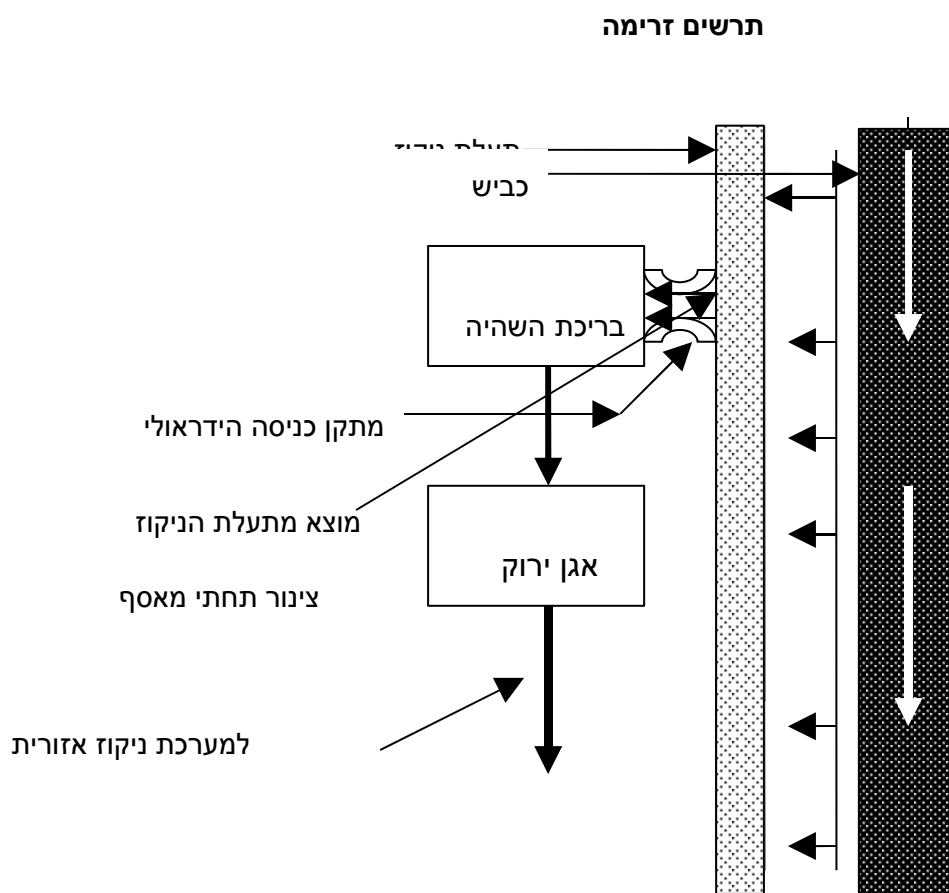
אומדן עלויות

5,000 ₪	1. עבודות עפר
20,000 ₪	2. עבודות בטון וזיון
10,000 ₪	3. תעלת מוצא
17,500 ₪ (בצ"מ – בלתי צפוי מראש)	4. העמסות הנדסיות, בצ"מ ומע"מ 45%
52,500 ₪	סה"כ

אומדן עלות למטר אורך (מ"א) כביש: 52.50 ₪/מ'

5.5 מתקנים לטיפול במי נגר של כבישים - המלצות

5.5.1 בריכת השהיה עם אגן ירוק (Extended detention pond and wetland)



בריכת השהיה (Retention Pond)

מטרת בריכת השהיה היא לווסת את זרימת המים כדי למנוע עומס הידראולי גבוה מדי לאגן הירוק, דבר שיכול לגרום הפחתה ניכרת באיכות הטיפול. הבריכה תהיה בנפח המתאים לנגר העילי של סערת גשם בסטטיסטיקה של 10 – 10 שנים..

בריכת השהיה תבנה בשיטת חפירה ומילוי של סוללות עפר. הבריכה מצדה הפנימי תהיה מצופה ביריעת איטום. בחלקה העליון של הבריכה יהיה פתח לגלישת חירום כדי למנוע נזקים לבריכה במהלך סופת גשם קיצונית. הבריכה מתוכננת לספיקת נגר עילי בכמות של כ-300 מ"ק ליום. (הערה: יש לעדכן בזמן אמת את נתוני המשקעים כאשר ניגשים להקמת מתקן הפיילוט).

מיקום מערכת הטיהור יהיה בדרך כלל ליד מוצא מערכת הניקוז של הכביש אשר מתאימה בדרך כלל לגיאוגרפיה של האזור. ההנחה היא שמתכנן הכביש ניקז את כל המשטחים למערכת הטבעית של הזרמת מים במורד הוואדי, הנחל או תעלת הניקוז אל הים.

מבנה הבריכה

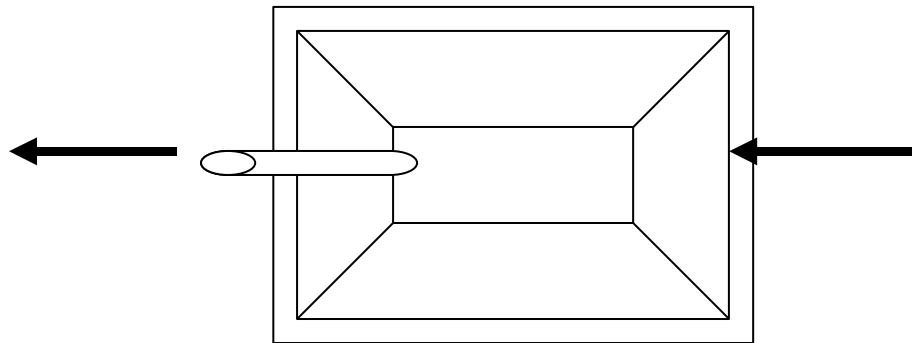
הבריכה בנויה כחפירה ומילוי ויצירת סוללות בשיפועים של 1:3 ותחתית היורדת בשיפוע של 0.5%. בתחתית הבריכה תהיה שכבת חול של 10 ס"מ למניעת נזק ליריעת האיטום. יריעת האיטום תהיה עשויה מ-PVC משוריין דוגמת היריעות מתוצרת "העוגנפלסט" או יריעת פוליאיתילן (HDPE) בעובי של 1.0 מ"מ באספקת "אדמיר" או שווה ערך. הירועה תרופד ב-5 ס"מ של חול נקי מהודק.

רוחב הסוללה המינימלי יהיה 2 מ'. שיפוע פנימי 1:3, שיפוע חיצוני 1:5. בחלקה העליון של הבריכה תהיה תעלה לגלישת חירום הבנויה מבטון או יריעת פוליאיתילן המאפשרת את הורדת עודפי המים אל מערכת הניקוז הטבעית ללא נזק לקרקע או ארוזיה. מוצא הבריכה

מוצא הבריכה יהיה 10 ס"מ מעל תחתית הבריכה ויהיה מורכב מצינור מחורר בקוטר של 75 – 160 מ"מ עם עטיפה של אבן דָּבֶשׁ בעובי של 40 ס"מ מעל הצינור. מטרת ערימת הדָּבֶשׁ היא סינון המים ועיכוב היציאה כדי לקבל את רמת ההשהיה הדרושה. היריעה תרופד בשכבת חול של 5 ס"מ ועליה יריעת גאוטקסטיל של 200 גר / מ².

נתונים טכניים - בריכת השהיה וויסות

נפח הבריכה	300 מ"ק
מימדי הבריכה	20 X 40 מ'
עומק המים	1.4 מ'
עומק בריכה כללי	2.0 מ'
גידור בטיחותי	



אומדן עלויות

1. תעלת הובלה	15,000 ₪
2. עבודות עפר	20,000 ₪
3. איטום וריפוד	30,000 ₪
4. גלישת חירום	10,000 ₪
5. צינור מוצא ועטיפת מצע גרנולרי	15,000 ₪
6. גידור ונגישות	20,000 ₪
7. העמסות הנדסיות בצ"מ ומע"מ 45%	49,500 ₪
סה"כ עלות הקמה	159,500 ₪

אומדן עלות למטר אורך כביש: 159.50 ₪/מ'

אגן ירוק בזרימה עילית (Surface / vertical Flow Wetland)

אגן ירוק הוא בריכה רדודה בעומק של כ- 100 ס"מ ועומק מצע של כ- 40 ס"מ. חומר המצע הוא חצץ מאבן חול דולומיטית בגודל של 12 – 20 מ"מ. שיפוע התחתית הוא כ- 0.5%. החלק העליון מעל החצץ יכול לשמש במקרה של סופת גשם קיצונית לאיגום חלק מהמים. זמן השהיה באגן הירוק הוא 3 ימים. במוצא של האגן הירוק יש צינור תחתית מאסף.....

האגן הירוק הוא מסוג של זרימה עילית (Surface flow) או אנכית (Vertical flow). המתקן מטפל במזהמים הנמצאים במי הנגר העילי על ידי שתי שיטות עיקריות: סינון פיזי וסינון ביולוגי.

הסינון הביולוגי נעשה על ידי בקטריות ומיקרואורגניזמים אחרים והוא מוגבל עקב תקופות היובש שבין סופות הגשם בחורף ותקופת היובש הארוכה בקיץ.

בסינון הפיזי עוברים המים דרך מצע מסנן – במקרה שלנו חצץ בגודל 12 – 20 מ"מ. צורת הסינון מאופיינת על ידי מספר תהליכים: הדבקה לחצץ, שיקוע, הצמדות חלקיקים, מערבולות וכו'.

מוצא המים

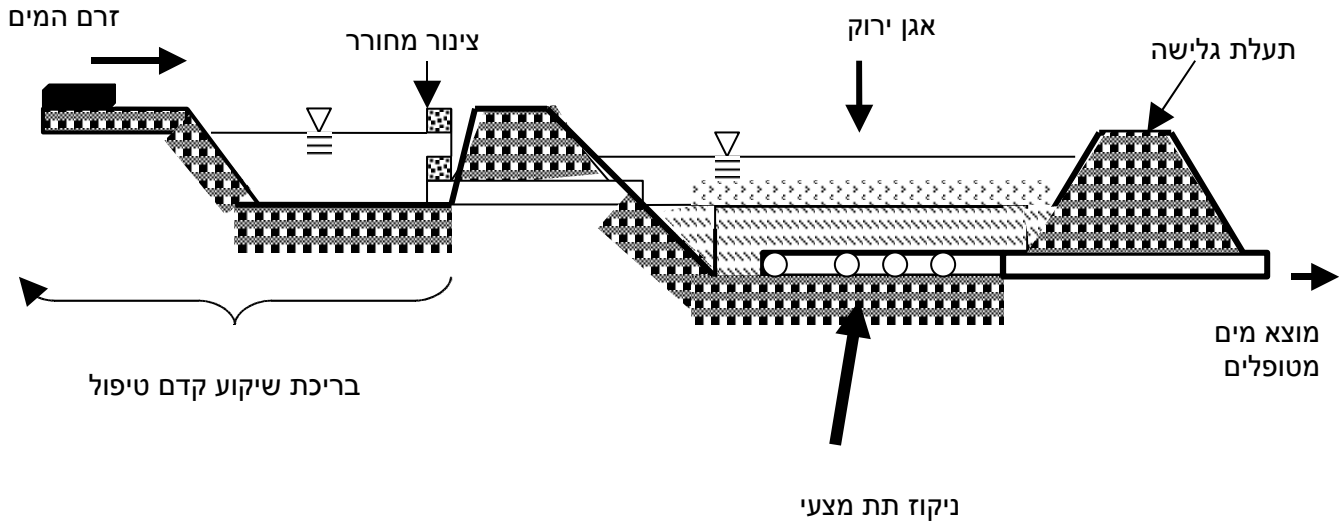
מוצא המים מהאגן הירוק הוא בצינור מחורר שממוקם בניצב לכיוון הזרימה באגן הירוק. באמצע צינור זה יהיה צינור שיוצא דרך הסוללה אל מחוץ לה, עליו מורכב קטע של צינור אנכי בגובה מפלס המצע בתוך האגן. תפקיד הסיפון לסלק את עודפי המים שעברו את סינון המצע בצורה בטוחה אל הניקוז הטבעי. הסיפון עשוי מצינור PVC עם ציפוי בטון כדי להבטיח עמידות לאורך השנים.

בחלק העליון של האגן הירוק יותקן מגלש לזרימות חירום שהסיפון אינו מסוגל להעביר.

סילוק המים המטופלים

המים שעברו את הטיפול יוצאים בגרביטציה מהאגן הירוק ומתועלים למערכת הניקוז האזורית. מערכת זו יכולה להיות ערוץ ואדי, טבעי או אחרי הסדרה וכן תעלת ניקוז. השאיפה במקרה זה היא לתכנן את המתקנים כך שההתחברות למערכת זו תהיה נוחה בלא הפסדי עומד.

בריכת ויסות ואגן ירוק



אגן ירוק - נתונים טכניים

45 מ"ק	ספיקה יומית אחרי ויסות
4 ס"מ/מ"ר/יום	עומס הידראולי
1,150 מ"ר	שטח פנים נדרש
40 ס"מ	עומק מצע
30 ס"מ	עומק נוזל מעל המצע
20 מ"מ	מצע חצץ מסוג פוליה. גודל אגרגאט
יריעת ריפוד גיאוטקסטיל	יריעת איטום פוליאיתילן
PVC Ø 160 מ"מ	צנרת כניסה ומוצא

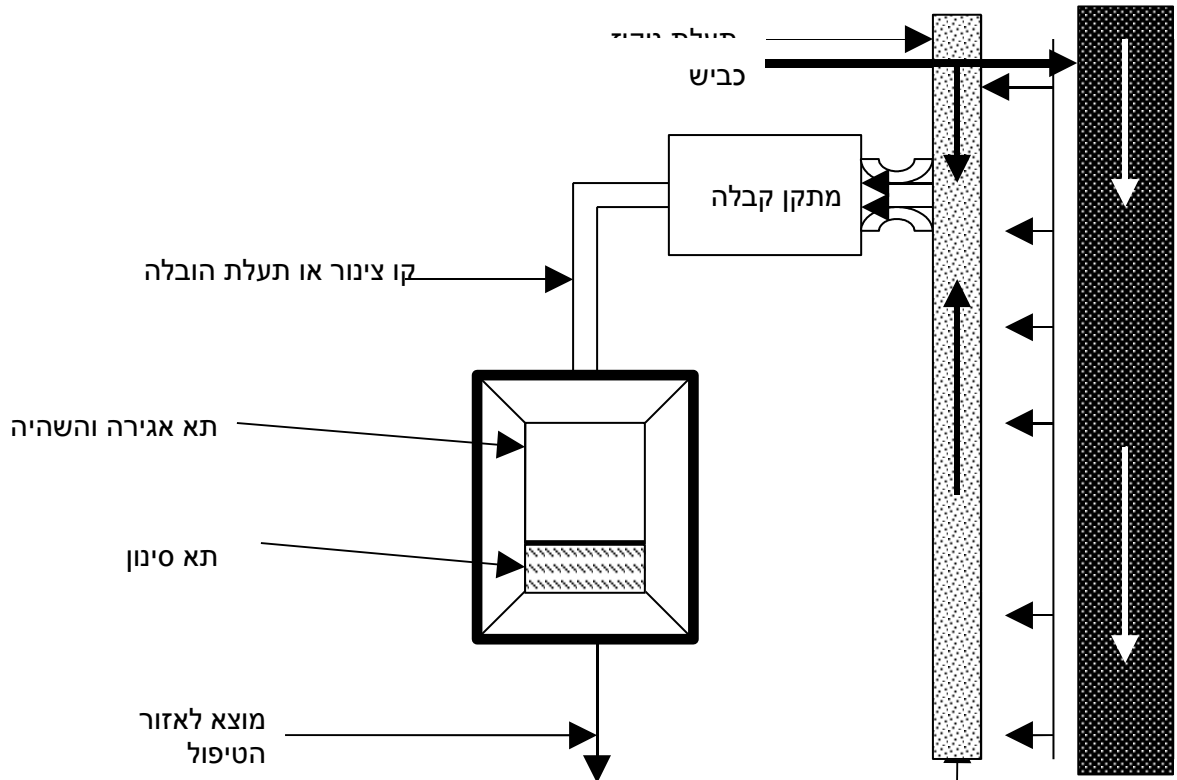
אומדן עלויות

30,000 ₪	1. עבודות עפר, חפירה ומילוי סוללות
80,000 ₪	2. איטום וריפוד
85,000 ₪	3. מצע חצץ
15,000 ₪	4. צנרת
3,000 ₪	5. צמחיה
20,000 ₪	6. תעלת גלישת חירום וניקוז
104,850 ₪	7. העמסות הנדסיות בצ"מ ומע"מ 45%
337,850 ₪	סה"כ

אומדן עלות למטר אורך כביש: 337.850 ₪/מ'.

5.5.2 בריכת השהיה וסינון חול (Surface / vertical sand filter)

מתקן זה מורכב מבריכת השהיה בנפח של יום ספיקות אשר בתוכה יש אזור סינון דרכו עוברים המים בדרכם אל מחוץ למערך הטיפול. מצע הסינון הנו חול ומהירות הגישה לסינון תהיה כ- 50 ס"מ לשעה. עומס הידראולי כזה אינו יכול להבטיח הרחקת מזהמים מומסים ברמה של מתקני אגן ירוק אולם תהיה הרחקה מוחלטת של שמנים וחלקיקים.



נתונים טכניים

כ - 300 מ"ק	הנפח האפקטיבי של הבריכה
כ - 400 מ"ק	נפח מלא
25 X 10 מ'	מידות הבריכה
25 מ"ר	פני שטח אזור הסינון

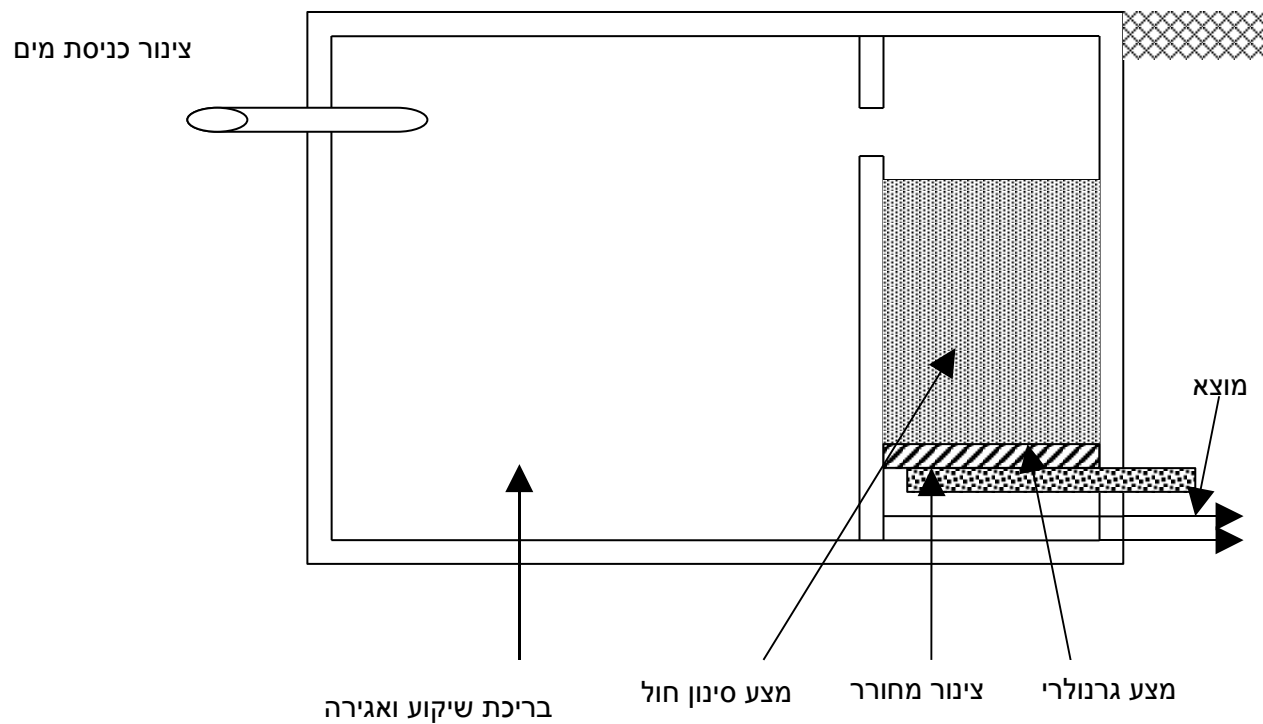
אומדן עלויות

₪ 30,000	1. עבודות עפר
₪ 45,000	2. יריעת איטום וריפוד
₪ 25,000	3. חול קוורץ 0.8 - 0.0 מ"מ
₪ 15,000	4. צנרת
₪ 15,000	5. תעלת גלישה, ניקוז
₪ 58,500	6. העמסות הנדסיות בצ"מ ומע"מ 45%
₪ 188,500	סה"כ

אומדן עלות למטר אורך כביש: 188.50 ₪/מ'

בריכת אגירה וסינון לאזורים אורבניים

מתקן דומה מותאם לאזורים אורבניים למחצה בהם יש בעיה של עלות הקרקע ולכן יש לבנות את המתקן מבטון המאפשר חסכון בשטח.



5.5.3 בריכת חלחול (Infiltration Pond)

בריכות חלחול ממלאות תפקיד כפול של איגום המים, טיפול במזהמי התשטיפים והחדרה למי התהום. מתקנים אלה נראים כמתאימים ביותר לאזורים בהם מבנה התשתית מאפשר את חלחול המים אל מערכות הובלת מים תת קרקעיות. מדובר באזורים רבים בארץ בהם הקרקעות חוליות או בעלות אבן גיר, אזור סלע גירי קארסטי אט אזור אלוביאלי של צרורות ואבנים. בזמן ממטרים בעוצמה קיצונית, מי הנגר שהתעלה אינה מסוגלת לקלוט יזרמו חופשית מעל המצע במורד תעלת הניקוז עד למתקן מוצא הידראולי ממנו הם עוברים אל מערכת הניקוז הטבעית.

תאור בריכת החלחול

בריכת החלחול היא בריכה עם נפח נוזל גדול שמתחתיו בנויה מערכת חלחול איטית המבוססת על סוגי מצע שונים כגון חצץ עדש או חול גס בגודל גרגיר של 0.8 – 1.8 מ"מ. יחס חללי האויר ביחס לנפח המצע בשיטה זו יהיה של 0.25 – 0.33. הנוזל ממלא את החללים האלו מיד לאחר כניסת זרם המים וכאשר כמות הזרימה הולכת וגדלה, מתאסף הנוזל מעל המצע ומשתהה עד לחלחול המים דרך תחתית הבריכה. מעל מצע החצץ תהיה שכבת מצע אורגני מגזם או קומפוסט.

מבנה הבריכה

הבריכה תהיה בנויה מעפר מקומי על בסיס של חפירה ומילוי בסוללות בנפח של כ – 400 מ"ק. התחתית תהיה בשיפוע קל לכוון המוצא, שיהיה בין 0.5% – 1.0%. בתחתית התעלה יהיה אזור חלחול אשר יטופל עם יריעת בד גאוטקסטיל המאפשרת חלחול של המים ללא חתירה וסחף אל מי התהום.

שיטת הטיפול

שיטת הטיפול דומה לטיפול בהרחקת מזהמים על יד שיטות שהן בעיקרן פיזיות וזאת משום שיש להניח שגידול מערכת בקטריאלית אפקטיבית לוקח פרק זמן רב אשר הוא ארוך מתקופת הזמן בו יעמדו המים עד לחלולם המלא לתוך הקרקע. העומס ההידראולי המצופה במתקנים אלה יהיה כ – 5 ס"מ ל מ"ר ליום או 50 ליטר ל – מ"ר ליום.

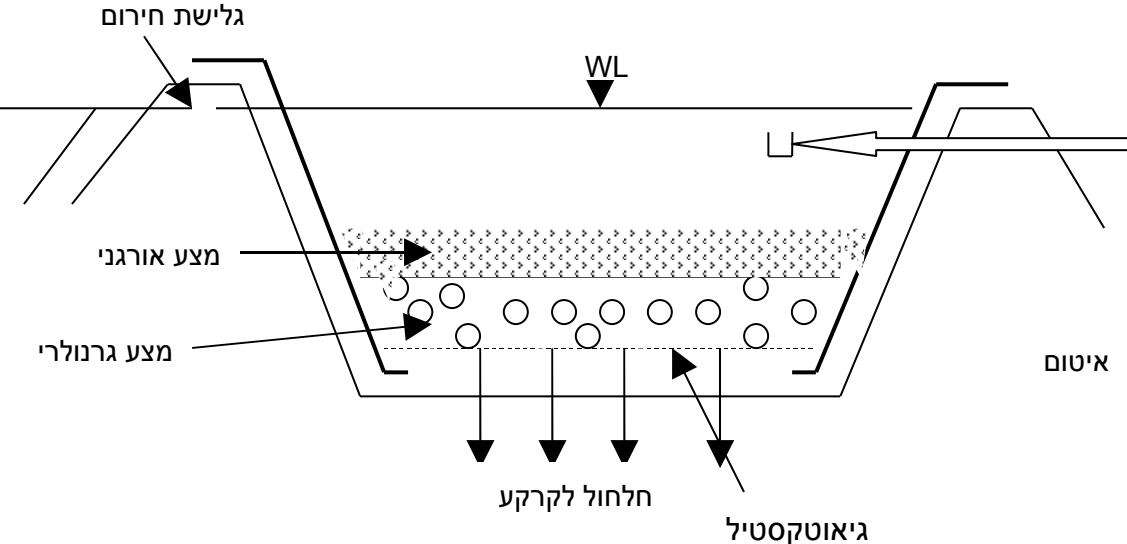
נתונים טכניים

נפח הבריכה	300 מ"ק
עומק כללי	24 מ'
עומק מצע חצץ	0.4 מ'
עומק מצע אורגני	0.8 מ'
עומק המים מעל המצע	60 ס"מ
איטום יריעת פוליאתילן	
חלחול דרך רצועת בד גאוטקסטיל	

אומדן עלויות

1. עבודות עפר, חפירה והקמת סוללות	40,000 ₪
2. יריעת איטום וריפוד	35,000 ₪
3. מצע חצץ מסוג פוליה 20 מ"מ	25,000 ₪
4. מצע גזם או קומפוסט	30,000 ₪
5. צנרת, תעלת עודפים וגלישת חירום	10,000 ₪
6. העמסות הנדסיות בצ"מ ומע"מ 45%	63,000 ₪
סה"כ	203,000 ₪

אומדן עלות למטר אורך כביש: 203.00 ₪/מ'



5.5.4 סינון בתעלות הניקוז של הכביש (Infiltration trench)

תיאור

תעלות חלחול ממלאות תפקיד כפול של איגום המים בתוואי הזרימה המתוכנן וטיפול במזהמי התשטיפים באותו האתר לפני החדרה למי התהום או הזרמה למערכת הניקוז הטבעית. מתקנים אלה נראים כמתאימים ביותר לאזורים בהם מבנה התשתית מאפשר את חלחול המים אל מערכות הובלת מים תת קרקעיות. מדובר באזורים רבים בארץ בהם הקרקעות חוליות או בעלות אבן גיר, אזור סלע גירי קארסטי אט אזור אלוביאלי של צורות ואבנים. מי הנגר שהתעלה אינה מסוגלת לקלוט עקב ממטרים בעוצמה קיצונית יזרמו במורד תעלת הניקוז עד למתקן מוצא הידראולי ממנו הם עוברים אל מערכת הניקוז הטבעית.

תעלות הניקוז של הכביש ישודרגו למתקני סינון מסוג אגן ירוק בזרימה אנכית (Vertical flow) על פני שטח המצע. זרם הנגר העילי היורד מהכביש ומהשוליים מגיע אל המתקן סינון בתעלת הניקוז ומצטבר בתוך ומעל המצע. תוך פרק זמן של שעות עד ימים המים מחלחלים באיטיות רבה דרך המצע ומתנקזים במערכת ניקוז הנמצאת בתחתית תעלת הניקוז.

שידרוג תעלות הניקוז יעשה כדלקמן:

חפירה של תעלה בתחתית תעלת הניקוז במידות של 60 X 60 ס"מ. התעלה תהיה בעומק אחיד כך ששיפוע התעלה יהיה מקביל לתעלה המקורית. בתעלת המצע שיהיה במקרה זה חצץ בגודל של 5-10 ס"מ תונח יריעת גאוטקסטיל, בד סינתטי בלתי ארוג, בתוך היריעה יונח המצע והיריעה נסגרת מעל המצע עם חפיפה של 20 ס"מ. תעלת הניקוז המקורית תשודרג על ידי הנחת יריעת איטום בתחתית ודפנות התעלה בעומק של 1.2 מטר. בתוך שטח זה יונח חצץ בגודל אבן של פוליה או 20 מ"מ שישמש לסינון ועיכוב הנוזל. עומק מצע זה יהיה כ- 50 ס"מ כך שמעליו יהיה שטח אטום של היריעה של 70 ס"מ. בסה"כ עומק המתקן יהיה 1.2 מטר.

המים מהנגר העילי שירדו מהכביש ימלאו את החללים ויציפו את התעלה. במקביל מתחיל מעבר מים לאורך תעלת החצץ לכוון מוצא התעלה במקום הנמוך ביותר של הכביש. לשיטת טיפול זו יש יתרון בכך שהטיפול בתשטיפים נעשה מיידית מבחינת הזמן והמקום בנקודת הווצרותם ואין צורך באמצעים הידראוליים להובלת המים. החסרון של שיטה זו הוא בכך שהיא דורשת שדרוג או פגיעה במבנה של תעלות הניקוז שיכולה להיות לו השלכה על שלמות המערכת. כמו כן יש לבחון את הבעייתיות של העבודה בכלים מכניים בקרבת התנועת על הכביש.

נתונים טכניים

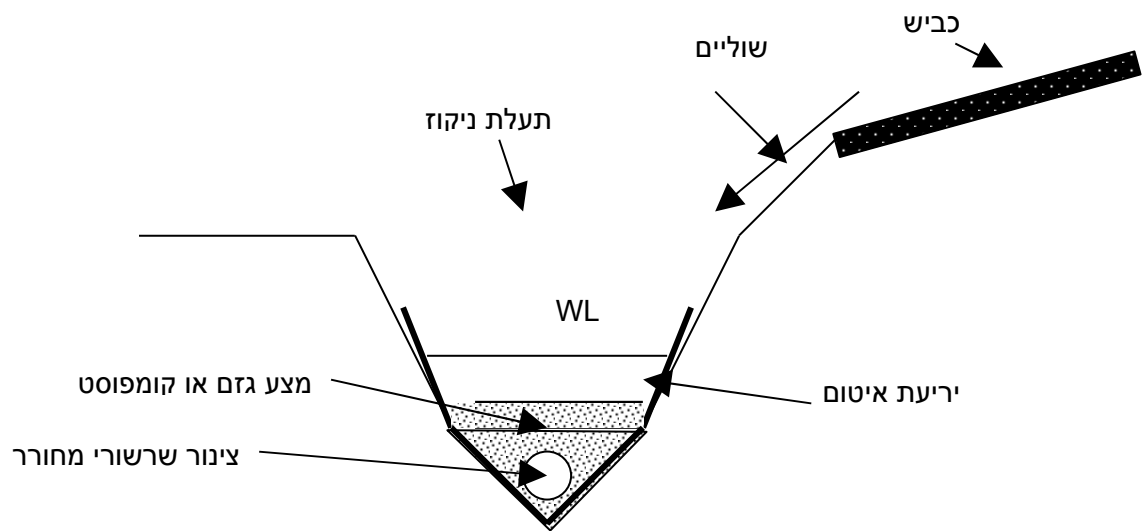
סופת גשם	25 מ"מ ליום
רוחב תעלת הניקוז בתחתית	1.0 מ'
אורך תעלת הניקוז	1,000 מ'
מצע הסינון	גזם או קומפוסט בעומק של 60 ס"מ
איטום התעלה	יריעות פוליאטילן 1.0 מ"מ מונחות בתחתית ועל הסוללות למפלס של 1.0 מ' מעל התחתית.
מתקן הידראולי	במוצא התעלה כאמור לעיל.

אומדן עלויות

1. ניקוי, תיקון וייצוב פני התעלה	₪ 20,000
2. יריעת איטום עם חיזוקי ברזלים לקרקע	₪ 90,000
3. קומפוסט או גזם לפי 70 ₪ למ"ק	₪ 60,000
4. מבנה הידראולי במוצא התעלה	₪ 15,000
5. צינור שרשורי מחורר	₪ 60,000
6. העמסות הנדסיות בצ"מ ומע"מ 45%	₪ 110,250
סה"כ עלות הקמה	₪ 355,250

אומדן עלות למטר אורך כביש: 355.25 ₪/מ'

תעלת ניקוז - חתך לרוחב הכביש



5.5.5 בריכות טבעיות משודרגות (Upgraded natural wetlands & shallow marshes)

הנחות יסוד

1. שטח שקוע עם אדמה חרסתית אטומה בדרך כלל.
2. האזור הוא אזור ביצתי בהווה או בעבר המנקז אחיו את מי הנגר העילי מכל האזור.
3. נוכחות הכביש יוצרת עומס הידראולי על הבריכה המתמלאת בעונת החורף ונשארת מלאה לעיתים גם בעונת הקיץ.
4. הצמחיה אופיינית לביצה והאתר מושך אליו עושר רב של בעלי חיים, חרקים וציפורים.
5. מי הנגר העילי מועברים מהכביש אל הבריכה.
6. יש אפשרות לרכישת השטח והשבתו למצבו כפי שהיה לפני שנוקז ויובש.
7. דוגמאות: בריכות חורף ליד געש, נתניה ונחל פולג, יער חדרה.

נתונים טכניים

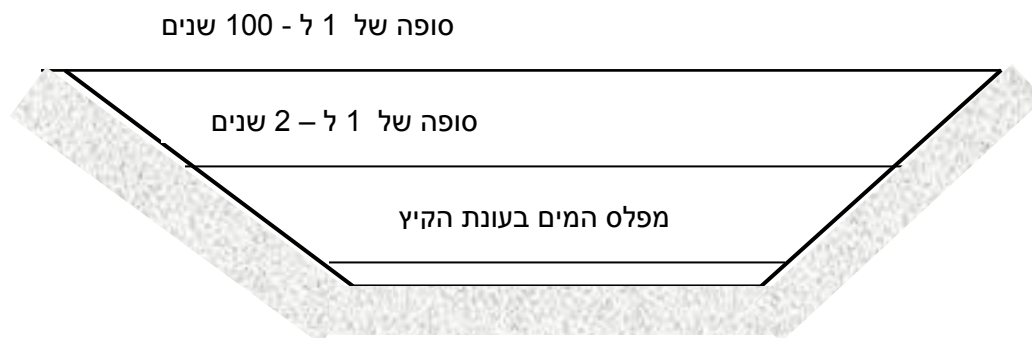
שטח כביש	עד 120,000 מ"ר
כמות המשקעים	עד 50 מ"מ ליום.
כמות מי הנגר	כ – 6,000 מ"ק ליום.
שטח הבריכה	כ – 6-18 דונם.
עומק המים	כ – 50 ס"מ.
הבריכה תחפר	בשטח בו יש או היתה בריכה כזו בעבר.

אומדן עלויות

1. תעלת הובלה לאתר	₪ 50,000
2. חפירה והקמת סוללות	₪ 200,000
העמסות הנדסיות בצ"מ ומע"מ 45%	₪ 112,500
סה"כ	₪ 362,500

אומדן עלות למטר אורך כביש: 36.25 ₪/מ'

בריכה טבעית



5.6 יתרונות, חסרונות ואיכות הטיפול - טבלת השוואה בין המתקנים

מס'	מתקן	יתרונות	חסרונות	ניקוד כללי לאיכות הטיפול*
1	בריכת השהיה עם אגן ירוק (Extended Detention Pond and wetland) **	1. תוצאות טיפול טובות 2. הרחקת מזהמים של כ-70% 3. תקופת חיים ארוכה של המתקן 4. קל לתכנן והקמה	1. המתקן דורש קרקע מחוץ לתחום הכביש 2. הוצאות תחזוקה וטיפולים שנתיים בינוניות	ב
2	בריכת השהיה וסינון חול (Surface / vertical sand filter)	1. מתקן קל יחסית להקמה וקומפקטי 2. אינו דורש שטח קרקע גדול	1. הרחקת מזהמים בינונית עד נמוכה 2. יש לנקות את פני החול יותר מפעם בשנה 3. יש לבצע חפירה לעומק 4. יש לרכוש קרקע מחוץ למתחם הכביש 6. יש להכין תשתיות של גישה וגידור	ג
3	בריכת חלחול (Infiltration Pond)	1. מתקן קטן יחסית וקומפקטי 2. אינו דורש שטח קרקע גדול	1. הרחקת מזהמים בינונית 40-60% 2. יש להחליף מצע לעתים קרובות 3. יש לבצע חפירה לעומק 4. יש להכין תשתיות של גישה וגידור	ב
4	סינון בתעלות הניקוז של הכביש (Infiltration trench)	1. אינו תופס מקום מחוץ לתעלות 2. ניתן לבנות במינימום הכנות 3. נוח לתפעול ותחזוקה 4. אינו דורש דרכי גישה וגידור 5. המתקן מווסת זרימות של מי הנגר	1. עלות הקמה גבוהה	ב
5	ביצה עונתית ובריכות טבעיות משודרגות (Upgraded natural wetlands & shallow marshes)	1. ממוצע הרחקת מזהמים הגבוה ביותר 2. תרומה סביבתית רבת ערך 3. יצירת שטחים רטובים ירוקים גדולים עם ערך סביבתי והעשרת המרקם הביולוגי, בעלי החיים, ציפורים וחרקים 4. הקמה של שטחים בהם רמת החלחול היא מספר ס"מ לשנה כלומר ערך זניח 5. ניתן לקבל מענקים עבור השבת שטחים בעלי ערך סביבתי יוצא דופן	1. מכסה שטח קרקע ניכר אשר בד"כ יש להשקיע כדי לרוכשו	א

* א – גבוה
ב – בינוני
ג – נמוך

1. טיהור מים מזוהמים באגנים ירוקים בנויים (Constructed Wetland) פופולרי בעולם וקיימים פרמטרים הנדסיים ואמפיריים מוכחים לתכנון המתקנים
2. המתקנים ההנדסיים המומלצים מבוססים על מתקנים בינלאומיים ועל נסיונו האישי של מגיש העבודה בהקמת מתקנים כאלה באנגליה ובישראל.

**5.7 סיכום אומדן עלויות ליחידת כביש
טבלת השוואה בין המתקנים**

מס'	מתקן	אומדן עלויות למטר אורך (ש"מ')
1	בריכת השהיה עם אגן ירוק (Extended Detention Pond and wetland)	קדם טיפול: בריכה: אגן ירוק: סה"כ: 52.50 159.50 337.85 549.85
2	בריכת השהיה וסינון חול (Surface / vertical sand filter)	קדם טיפול: בריכה וסינון: סה"כ: 52.50 188.50 241.00
3	בריכת חלחול (Infiltration Pond)	קדם טיפול: בריכה: סה"כ: 52.50 203.00 255.50
4	סינון בתעלות הניקוז של הכביש (Infiltration trench)	קדם טיפול-לא רלבנטי - תעלת סינון: סה"כ: 355.25 355.25
5	בריכות טבעיות משודרגות (Upgraded natural wetlands & shallow marshes)	קדם טיפול- לא רלבנטי - בריכות": סה"כ: 36.25 36.25

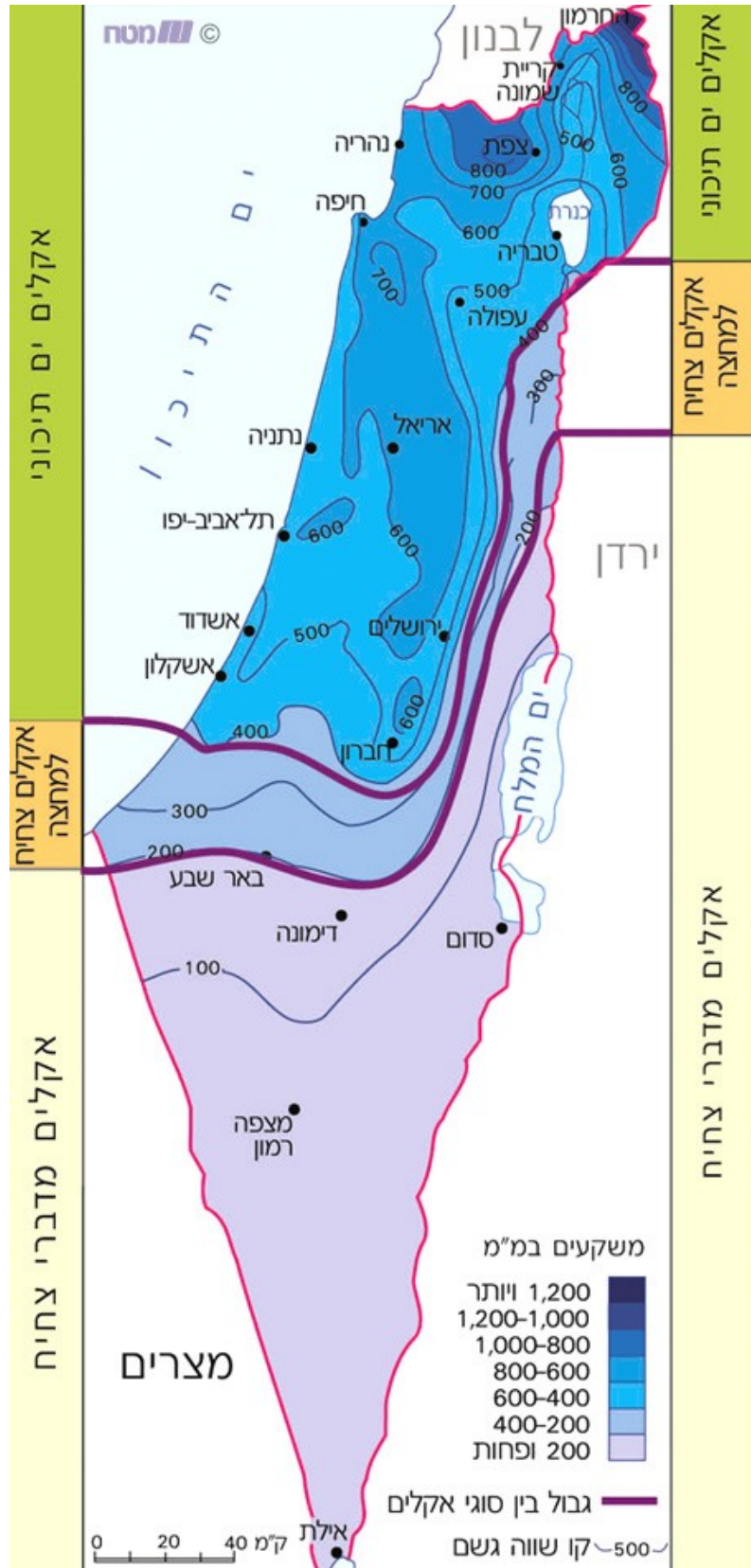
אינג' ארנון גורן BSc. (טכניון) -MSc. Imperial College- London מהנדס יועץ – קיבוץ מעברות 40230
 דוא"ל agoren12@barak.net.il
 02 ספטמבר 2008

- Asphalt – אספלט
- Basin - אגן
- Best Management Practices (BMP) – מתקנים לטיפול מיטבי
- Bioretention – סילוק ביולוגי של מזהמים על ידי שהיה ארוכה בבריכה
- Bitumen - אספלט
- Compost filter socks – שרוולי סינון של קומפוסט
- Concrete - בטון
- Conveyance – העברה, הובלה, רכב
- Diversion – 'העברת מים מנחל אל תעלה, צינור וכו' –
The taking of water from a stream or other body of water into a canal, pipe, or other conduit
- Dry basin – אגן יבש
- Erosion - סחף
- Estuary – שפך, לשון ים
- Exfiltration - סינון מים דרך חומר הבסיס ולתוך האדמה –
When water is allowed movement through the base material and into the soil underneath
- Filter strips – פסי סינון
- Forebay - אזור איסוף בפתח כניסת המים ללכידת המשקעים לפני המתקן –
An extra storage area provided Near an inlet of a BMP to trap incoming sediments before they accumulate in a pond BMP.
- Grassed swale – בריכת אגירה עם צמחיה או דשא
- Highway – כביש מהיר
- Measure - אמצעי, מתקן
- Mulch – קש, גבבה, גזם
- Pollution, water pollution - זיהום מים
- Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) – תוצרי פירוק נפט – הידרוקרבונים ארומטיים פוליציקליים
- Roads - דרכים, כבישים
- Runoff – תשטיפ, נגר עילי
- Pavement – מדרכה, מיסעה
- Sediment - משקע
- Stormwater – מי שטפונות, גשם או שלג נמס
- Structural control measures – מבנים הידראוליים לבקרה על זרם המים
- Sustainable Drainage Systems (SUDS) - מערכות ניקוז ברות-קיימא -
An alternative, sustainable approach to managing surface water runoff, which strike a balance between the management of surface water and the need to conserve natural resources and ecology.
- Swale - בריכה או תעלה בה נאגרים מי הנגר העילי -
An artificial depression excavated to carry water across a region during times of rainfall
- Total Suspended Solids - (TSS) – סך כל המוצקים המורחפים
- Vegetative Filter Strips (VFS) – פסי סינון צמחיים
- Weir – סכר, מגלש
- Wetland , Constructed wetland – אגן ירוק –
מתקן בצורת בריכה או תעלה בו המים המגיעים מהכביש המכילים חומרים שונים או עוברים תהליכים של סינון פיזי וביולוגי אשר בו מורחקים מזהמים ברמות טיהור שונות.
- Wildlife habitats – סביבת חיים טבעית של בעלי חיים, וצמחים
- 1 foot = 0.3048 meters
- טיהור - purification
- טיפול, management – treatment, management
- מזהמים - pollutants
- מתקן – installation, device, facility
- ניטרול – neutralization
- ניקוי – cleaning
- פירוק – dissolution, decomposition

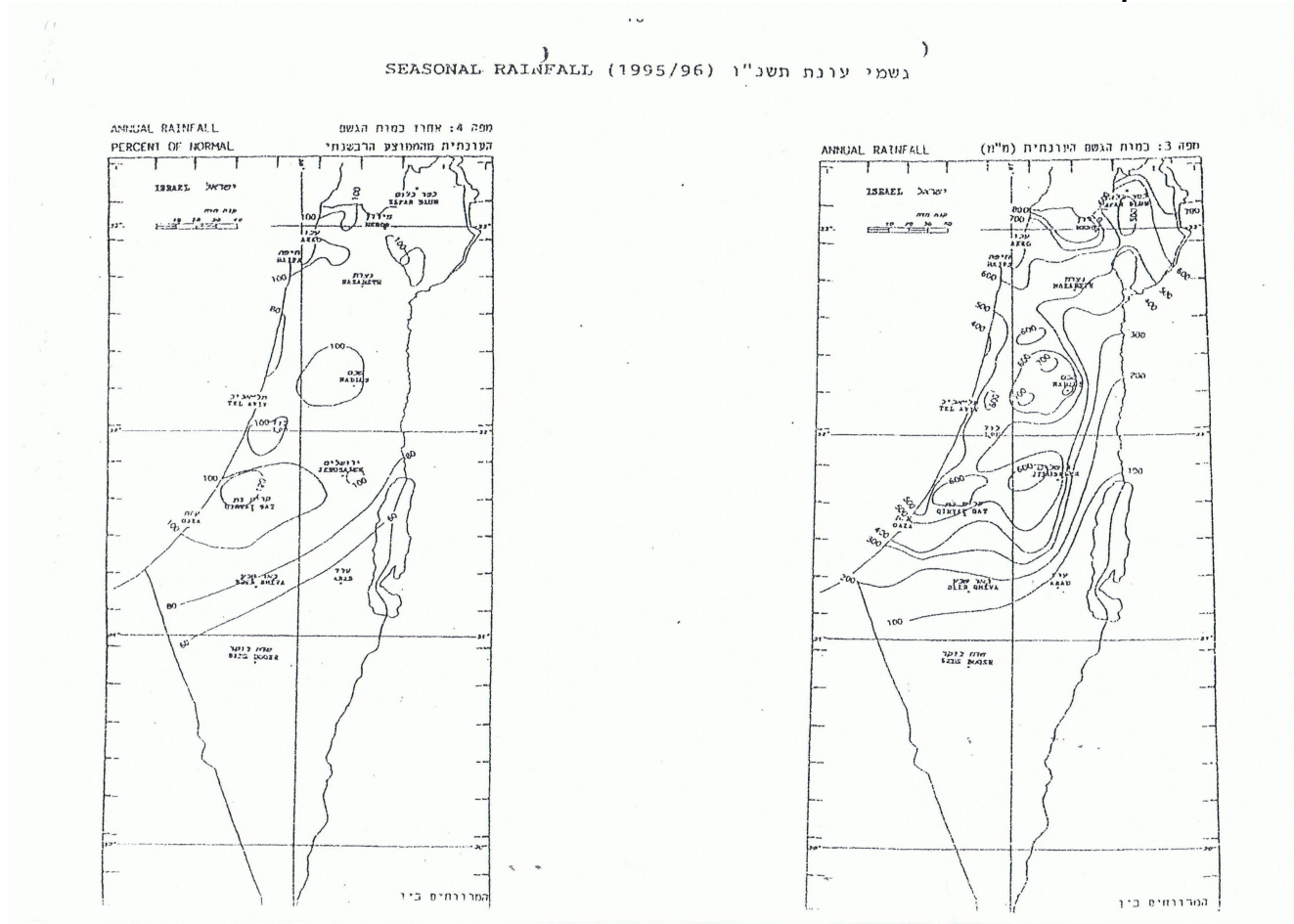
1. בילי סביר; יאיר הראל; צוותי פיתוח ישראלים, ירדנים ופלשתינים, **במורד הזרם : זיהום והמלחה של מקורות מים**
<http://lib.cet.ac.il/Pages/item.asp?item=5876&kwd=317>
2. Water pollution guide, Fubra Limited
<http://www.water-pollution.org.uk/health.html>
3. בילי סביר; יאיר הראל; צוותי פיתוח ישראלים, ירדנים ופלשתינים, **מקור כל המקורות : מקורות המים**
<http://lib.cet.ac.il/Pages/item.asp?item=5873>
4. גלעד שביד, **אופייה של תקופת הגשמים בארץ ישראל**, סקירה תמציתית עבור פורום אקלים ואטמוספירה – ינואר 2008
http://img2.tapuz.co.il/forums/1_111065602.doc
5. Highway runoff and water quality impacts / East-West Gateway Coordinating Council/August 2000
www.ewgateway.org/pdffiles/library/aq/wqhwywords.pdf
6. (מתוך הספר: **משאבי המים בישראל / חיים גברצמן ירושלים תשס"ג (2002)**)
<http://www.water.gov.il/%D7%9E%D7%90%D7%92%D7%A8%D7%99+%D7%9E%D7%99%D7%93%D7%A2/%D7%9E%D7%A9%D7%90%D7%91%D7%99+%D7%94%D7%9E%D7%99%D7%9D+%D7%91%D7%99%D7%A9%D7%A8%D7%90%D7%9C/%D7%9E%D7%A7%D7%95%D7%A8%D7%95%D7%AA+%D7%94%D7%9E%D7%99%D7%9D+%D7%94%D7%98%D7%91%D7%A2%D7%99%D7%99%D7%9D/%D7%94%D7%A9%D7%99%D7%98%D7%A4%D7%95%D7%A0%D7%95%D7%AA/%D7%A0%D7%92%D7%A8+%D7%A2%D7%99%D7%9C%D7%99.htm>
7. צפריר רינת, **כביש חוצה ישראל: תעלות ניקוז אמורות למנוע פגיעה במאגרי התהום**, הארץ נובמבר 2001
<http://news.walla.co.il/?w=//140360>
8. National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas
 7.2 Management Measure Description and Selection / 7.2.1 Description, November 2005
http://www.epa.gov/nps/urbanmm/pdf/urban_ch07.pdf
9. Richard F. Lee et al., **Exposure of grass shrimp to sediments receiving highway runoff: Effects on reproduction and DNA**, Marine Environmental Research 58 (2004) 713–717
http://209.85.135.104/search?q=cache:JkID17IRufoJ:www.skiio.usg.edu:443/publications/pdfs/lee_marenvres58_713-717.pdf+sliding+asphalt+highway+runoff&hl=en&ct=clnk&cd=4
10. National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas, Management Measure 5: New Development Runoff Treatment, November 2005: 5-0 – 5-80
www.epa.gov/nps/urbanmm/pdf/urban_ch05.pdf
11. Removing Storm Water Pollutants and Determining Relations between Hydraulic Flow-Through Rates, <http://www.ieca.org/membersonly/cms/viewabstract.asp?AbstractID=246>
12. Jun Han; Jy S. Wu; Craig Allan, Suspended Sediment Removal by Vegetative Filter Strip Treating Highway Runoff, Journal of environmental Science and health, part 1, Vol. 40, Issue 8, August 2005, pages 1637 – 1649, <http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a714011283~db=all>
13. "ד"ר אבי גפני, פועלי הניקיון של הטבע <http://lib.cet.ac.il/Pages/item.asp?item=739&kwd=317>
14. Research Article - Experimental investigation of runoff reduction and sediment removal by vegetated filter strips, Majed Abu-Zreig et al, Hydrological processes, Vol. 18, Issue 11, ages 2029 – 2037, 8 Mar 2004
<http://www3.interscience.wiley.com/journal/107632616/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0> (24.8.08)
15. Vegetative Practices / Grasses swales, Canada Mortgage and Housing Corporation
http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/su/waco/alstmaprepr/alstmaprepr_005.cfm
16. <http://www.epa.gov/nps/education/runoff.html>
17. <http://www.highways.gov.uk/default.aspx>
18. התאדות מגיגית – הגדרה.
http://groworganic.info/data/overview_on_agriculture.doc
- א. http://home.geoenv.biu.ac.il/lecturer_download.php?id=85&num=17#275
- ב. http://www.shaham.moag.gov.il/Pages_Files/94857hash.doc
- ג. אתר מגמה ירוקה
http://www.green.org.il/beta/index.php?option=com_content&task=view&id=713&Itemid=528

8. נספח

8.1 מפת המשקעים של ישראל



8.2 מפות משקעים ישראל 1996 – 1996



8.3 מס' כלי רכב לק"מ כביש

1. רון, תחבורה, רקע לנושא תחבורה, אתר "מגמה ירוקה"

פקק נוצר כאשר מספר רב של כלי רכב רוצים לעבור במספר מצומצם של נתיבים. על אף ש-47% מבתי האב בישראל לא מחזיקים רכב פרטי, צפיפות הרכבים על הכביש גבוהה פי 2.5 מאשר בשאר ארצות המערב, ושתי תחנות רדיו מדווחות באופן קבוע על מצב התנועה בכבישים...

http://www.green.org.il/beta/index.php?option=com_content&task=view&id=713&Itemid=528

2. מתוך דו"ח של החברה להגנת הטבע

בשנות השישים על כל קילומטר דרך היו 12 כלי רכב. בשנת 2006 מספר זה זינק ל-120 כלי רכב. מדובר בעליה של כ-900% במספר כלי הרכב הנעים לכל קילומטר דרך. בנוסף, בשנות השישים היו 300 נפש לכל קילומטר דרך סלולה ובשנת 2006 למעלה מ-400. מדובר בעליה דרמטית בצפיפות בכבישים.

עיון בנתונים אלה מעלה את המסקנה כי רשת כבישי ישראל צפופה והגודש בדרכים רב. הגידול השנתי ברמת המינוע בארץ ועמו הגידול בביקוש לנסיעות ברכב המנועי הפרטי יוצרים עומס רב על רשת הדרכים בישראל, בעיקר על רשתות הדרכים המטרופוליטיות. קצב הגידול בנסועה השנתית הארצית ומצבת כלי הרכב גדלים באופן מהיר יותר מקצב גידול אורכן ושטחן של הדרכים.

<http://www.teva.org.il/?CategoryID=239&ArticleID=1917>

הדו"ח המלא – אוקטובר 2007

ב-2006 היו 2,200,000 כלי רכב על 18,000 ק"מ דרכים סלולות ו-120 כלי רכב לכל ק"מ.

http://www.teva.org.il/_Pics/_Icons/file_pdf

3. רוני שיר, כביש ללא מוצא
ד"ר תומר גודוביץ:

חלופות תחבורתיות לכביש

...קיימות חלופות תחבורתיות נוספות המעודדות שימוש בתחבורה הציבורית (רכבות ואוטובוסים) הפיתרון הקל יחסית של כביש בן ששה-שמונה נתיבים, לא מקובל כיום אפילו בארצות-הברית רחבת המימדים, **לא כל שכן בישראל, בה צפיפות הרכב הפרטי לקילומטר-כביש היא מהגבוהות בעולם**, ואין מקום לעודד את השימוש ברכב פרטי על-ידי סלילת נתיבים נוספים."

<http://lib.cet.ac.il/Pages/item.asp?item=1145>

פגיעה במצב מי התהום

שטח הכביש הכולל יכוסה בריבו בשכבות של אספלט, בטון וכורכר - עובדה שתגרום לפגיעה חמורה במערכת הניקוז והחילחול של מי גשמים ומי נגר עיליים אל הקרקע ופגיעה באקוויפר (מאגר) מי התהום של מישור החוף.

פרט לכך אומר דניאל מורגנשטרן "שינוי פני הנוף יגרום לקטיעת דרכם של יובלים שאספו בחורף מי נגר עילי והוליכו אותם לנחלים. כתוצאה מכך יקטנו באופו משמעותי כמויות מי הנגר העילי המוחזרים ומוחדרים לאקוויפר ירקון תנינים (באזור המזרחי).

לו היינו מדינה המשופעת במים - דיינו, אבל במדינה המנצלת 94% מהפוטנציאל הרב-שנתי של המים העומדים לרשותה ואשר בכל יום שני וחמישי עולה בה מחדש שאלת כדאיות ההמתקה, אסור לנהוג מדיניות כה בזבזנית בכמה עשרות מיליוני מטרים מעוקבים של מים."

מתוך פרוספקט החברה: (כביש 6) בנושא מספר כלי-הרכב לכל קילומטר כביש, אנו מפגרים אחרי ארצות העולם המערבי. המסקנה: אם לא נגדיל את רשת הכבישים הארצית באורח דרמטי, נגיע תוך שנים ספורות **לצפיפות בלתי-נסבלת על הכבישים בארץ."**

"**קצב הגידול השנתי של כלי-רכב בישראל (6-7 אחוזים) הוא מהגבוהים בעולם**, כך שבתוך עשר שנים עשויים לנוע בכבישי הארץ יותר משני מיליון כלי-רכב, לעומת 1.2 מיליון כיום.