



החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ



קובץ הנחיות לתכנון ניקוז



מהדורה ראשונה – אוגוסט 2008





קובץ הנחיות לתכנון ניקוז



השתתפו:

ולרי אייזנשטיין
איל שלו
שמואל רזניק
סטניסלב טליסמן
עופר סלעי
אדולפו וורוביוף



רשימת הפרקים

הקדמה	
פרק 1 –	כללי
פרק 2 –	הידרולוגיה
פרק 3 –	מתקנים חוצים
פרק 4 –	ניקוז מסעת הכביש
פרק 5 –	תעלות כביש
פרק 6 –	ייצוב תעלות כביש
פרק 7 –	ארוזיה של מדרונות
פרק 8 –	ניקוז תת קרקעי
פרק 9 –	ניקוז בשאיבה

הקדמה

במסגרת קידום והעלאת רמת התכנון בנתה החברה מגדירי תכנון והנחיות. מטרתם לאפשר למתכננים בצוע נאות ונכון של הליך התכנון תוך הטמעת הלקחים מפרויקטים קודמים ומתובנות שגובשו עם בעלי עניין אחרים מתחומי התכנון בכלל ובנושא הניקוז בפרט. קובץ הנחיות זה אינו בא ללמד את המתכנן אלא מגדיר את דרישות התכנון של החברה ומסנכרן אל מול הדרישות החוקיות וסטטוטוריות הקיימות כיום במדינת ישראל. עם זאת מצאנו לנכון במסגרת קובץ הנחיות זה לפרט בחלק מהמקרים את המתודולוגיה והרקע ההנדסי העומד מאחורי ההנחיות.

בכבוד רב,

ולרי אייזנשטיין
מנהל תחום ניקוז

עופר סלעי
מנהל אגף הנדסה וסביבה

תוכן עניינים

3	רשימת הפרקים
4	הקדמה
9	פרק 1 – נושאים כלליים
9	1.1 – מבוא
9	1.1.1 - כללי
9	1.1.2 - מדיניות תכנון הניקוז של החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ
9	1.1.3 - עקרונות התכנון של ניקוז כבישים
10	1.1.4 - הסבר על קריטריונים לתכנון ניקוז
10	1.1.5 - תכנון ניקוז באזורי פשט הצפה
11	1.1.6 - כלכליות של התכנון
11	1.1.7 - אתרי אינטרנט בהם ניתן לקבל ספרות עזר מקצועית בתכנון ניקוז דרכים
12	1.2 – היבטים חוקתיים של תכנון הניקוז בישראל
12	1.2.1 - רשויות וגופים שקשורים בתהליך התכנון
13	1.2.2 - רשויות הניקוז
14	1.2.3 - חוקים רלוונטיים בתכנון הניקוז
15	1.2.4 - תכניות מתאר ארציות
17	1.3 – השתלבות תכנון הניקוז במערכת האזורית
17	1.3.1 - מטרה
17	1.3.2 - תיאומים ואישורים נדרשים
18	1.3.3 - איחוד עורקים
18	1.3.4 - וויסות נגר
19	1.4 – שלבי תכנון
19	1.4.1 - כללי
19	1.4.2 - תכנון מוקדם ראשוני (שיפוט I)
20	1.4.3 - תכנון מוקדם (שיפוט II)
20	1.4.4 - תכנון מפורט
21	פרק 2 – הידרולוגיה
22	פרק 3 – מתקנים חוצים
22	3.1 – מבוא
22	3.1.1 - הסבר כללי
22	3.1.2 - הגדרה של מעבירי מים וגשרים
23	3.1.3 - הסתברויות לתכנון מתקני חציה
23	3.1.3.1 - הסתברות לתכנון מתקני חצייה
25	3.1.3.2 - בלט (מרווח נקי)
26	3.1.3.2 - גורמים נוספים אשר משפיעים על גודל מעביר המים
28	3.2 - מיקום מעבירי מים
28	3.2.1 - העמדה אופקית ושיפוע אורכי של מעביר המים
29	3.2.2 - שיפוע מקסימאלי ומינימאלי במעביר מים
29	3.2.2.1 - שיפוע מינימאלי של מעביר מים
29	3.2.2.2 - שיפוע מקסימאלי של מעביר מים
30	3.3 – שיקולים בבחירת חתך וממדי מעבירי המים
30	3.3.1 - גדלים מינימאליים של מעבירי מים
31	3.3.2 - שיקולים בבחירת החתך הגיאומטרי של פתח מעביר המים
31	3.3.2 - מעבירי מים עם מספר פתחים
33	3.3.3 - מעביר מים בהרחבת כביש קיים
34	3.3.4 - מעבירי מים סמי איריים

35	3.3.5 – מעבר אירי
36	3.4 – הידראוליקה של מעבירי מים
36	3.4.1 – כללי
37	3.4.2 – מעביר מים מחושב לפי תנאי בקרה בכניסה (INLET CONTROL)
39	3.4.3 – מעביר מים מחושב לפי תנאי בקרה ביציאה (OUTLET CONTROL)
44	3.4.4 – דרכים מוצפות
47	3.4.5 – מתקני כניסה ויציאה
47	3.4.5.1 – מתקני כניסה
49	3.4.5.2 – מתקני יציאה
51	3.4.6 – מתקנים נוספים
51	3.4.6.1 – שבירת אנרגיה
51	3.4.6.2 – פיזור נגר
53	3.4.6.3 – שיקוע סחף
57	3.5 – גשרים
57	3.5.1 – גדרת גשר
57	3.5.2 – הצדק לביצוע גישור מעל נחלים
57	3.5.3 – שיקולים בתכנון הגשר
58	3.5.3.1 – אורך הקורה
60	3.5.3.3 – חתך נציב הגשר וכיוונו
60	3.5.3.4 – בלט
60	3.5.3.5 – מחתור
61	3.5.3.6 – שמירה על חתך הנחל
61	3.5.3.7 – ארוזיה
62	3.5.3.8 – מעברים מתחת לגשרים
66	פרק 4 – ניקוז מסעת כביש
66	4.1 – מבוא
66	4.2 – הידרולוגיה של המיסעה
69	4.4 – חישוב זרימת מים לאורך המיסעה
69	4.4.1 – הידראוליקה של זרימה לאורך המיסעה
70	4.5 – מתקנים לקליטה וסילוק נגר ממסיעת הכביש
70	4.5.1 – כללי
71	4.5.2 – הנחיות כלליות לתכנון מתקנים לקליטה וסילוק נגר מהמיסעה
71	4.5.4 – מגלשים
73	4.5.5 – קולטנים
73	4.5.5.1 – סיווג קולטנים
73	4.5.5.2 – הידראוליקה של קולטנים בשקעים
75	4.5.5.3 – עקרונות תפקוד וחישובים הידראוליים של קולטנים לאורך השיפוע האורכי (Inlets on grade)
78	4.5.5.4 – מתקני קליטה צידית בשיפועים האורכיים
80	4.5.6 – מתקני קליטה אורכיים
81	4.5.6.3 – חישוב הידראולי של מתקני קליטה אורכיים (כגון: תעלות עם רשת ירדן, Slotted Inlets וכד') בשקעים
83	4.6 – תיעול
83	4.6.1 – כללי
84	4.6.3 – עקרונות תכנון מובלי תיעול
84	4.6.3.1 – עקרונות תכנון צנרת ניקוז
84	4.6.3.2 – שוחות בקרה
86	4.7 – ניקוז מיסעה בגשרים
86	4.8 – מראה מקום
87	פרק 5 – תעלות כביש
87	5.1 – מדיניות לתכנון תעלות כביש והסדרת נחלים
87	5.1.1 – תפקיד תעלות הכביש

87	5.1.2 - אפיק אזורי
87	5.1.3 נחלים חוצים
88	5.2 - עקרונות לתכנון נחלים ותעלות
88	5.2.1 - בתוואי הדרך
88	5.2.2 - מחוץ לתוואי הדרך
89	5.2.3 - קריטריונים נוספים לתכנון תעלות
90	5.3 - עקרונות לתכנון גיאומטרי של תעלות
90	5.3.1 - כללי
90	5.3.2 - גיאומטריה של חתך לרוחב משיקולי בטיחות תנועה
91	5.3.3 - בחירת סוג חתך רוחב התעלה
91	5.3.4 - קביעת שיפוע דופן התעלה
92	5.3.5 - שיפוע אורכי של תעלות
93	5.4 - מהירות זרימה מותרת בתעלות עפר
95	5.5 - תעלות מלבניות
96	5.6 - תחזוקת תעלות
98	5.7 - עקרונות חישוב פרופיל זרימה בתעלות ונחלים
98	5.7.1 - חישוב חתכי נחל
103	5.7.2 - קביעת מקדמי החספוס
104	5.7.3 - מגבלות תכנוניות
105	פרק 6 - ייצוב תעלות כביש
105	6.1 - כללי
105	6.2 - מטרת הייצוב
106	6.3 - קריטריונים לתכנון ייצוב נחלים ותעלות
106	6.4 - תיאור שיטות הייצוב בתעלות
106	6.4.1 - ייצוב צמחי בתעלות ונחלים
107	6.4.1.1 - תחומי השימוש בייצוב צמחי בנחלים ותעלות
107	6.4.1.2 - עקרונות השימוש בצמחיה לצורכי ייצוב:
108	6.4.2 - אמצעי תמיכה בייצוב צמחי
109	6.4.3 - ייצוב בחומר קשיחים
109	6.4.3.1 - גמיש (Flexible)
110	6.4.3.2 - מזרונים (Mattresses)
111	6.4.3.3 - קשיח (RIGID)
114	6.4.3.4 - אבן משוקעת בבטון
114	6.4.3.5 - מפתנים
115	6.5 - תעלות הגנה
115	6.6 - תחזוקה
116	פרק 7 - ייצוב מדרונות
116	7.1 - מבוא
116	7.2 - כללי
116	7.2.1 - מטרות הייצוב
116	7.2.2 - התפתחות נושא הייצוב
117	7.3 - סוגי סחיפה
117	7.3.1 - סחיפה ערוצית
119	7.3.2 - מיחתור
119	7.3.2 - סחיפה משטחית
120	7.4 - מדיניות בעיית פתרונות סחיפה
121	7.5 - עקרונות לפתרון

121	7.5.1 – השיטה
121	7.5.2 – קבוצות סיכון
121	7.5.2.1 – רמה א' – כבישים ומחלפים משוקעים
122	7.5.2.2 – רמה ב' – מחלף/כביש מהיר/פרברי מהיר
122	7.5.2.3 – רמה ג' – כביש ראשי, אזורי או מקומי
122	7.5.2.4 – רמה ד' – מדרונות נגדיים
122	7.5.2.5 – רמה ה' – סוללות מחוץ לתחום המיסעה
123	7.6 – פתרונות ייצוב מדרונות
123	7.6.1 – ייצוב צמחי
123	7.6.1.1 – כללי
124	7.6.1.2 – מרבדי דשא
125	7.6.1.3 – גידולי שורה
127	7.6.1.4 – שיטות ביצוע של ייצוב צמחי
127	7.6.2 – ייצוב קרקע מכני
127	7.6.1.4 – ייצוב מכני באמצעים זמניים
129	7.6.1.4 – ייצוב מכני באמצעים קבועים
130	7.6.3 – ייצוב כימי (פולימרים)
133	7.6.4 – רסק גזם
134	7.6.5 – ייצוב בחומרים קשיחים
134	7.6.5.1 – חומרי מבנה של ייצוב קשיח
134	7.6.5.2 – שיטות ושימוש
135	7.6.5 – ייצוב באזורים צחיחים
135	7.6.6 – סחף רוח
137	7.7 – הנחיות תכן
137	7.7.1 – כללי
138	7.7.2 – עקרונות בחירת ייצוב קשיח על מדרונות
138	7.7.3 – ייצוב באמצעים גמישים
139	7.7.4 – טבלאות עזר לתכנון פתרון הגנת המדרון מאירחיה
139	7.7.4.1 – רמת סיכון א – כבישים משוקעים
139	7.7.4.2 – רמת סיכון ב – סוללות כבישים במחלף / כביש מהיר/פרברי מהיר / כביש ראשי או כביש אזורי דו מסלולי (במילוי)
141	7.7.4.3 – רמת סיכון ג – סוללות כבישים בכביש אזורי או כביש מקומי(במילוי)
142	7.7.4.4 – רמת סיכון ד – מדרונות נגדיים (מדרונות בחפירה)
142	7.7.4.5 – הערות לטבלאות בסעיף 7.7.4
143	7.7.5 – הגנת מדרון כביש
144	7.7.6 – ברמות, מפרדות, סוללות ותעלות הגנה
146	7.8 – מבנה קרקעות
146	7.8.1 – מרכיבי הקרקע
146	7.8.2 – מיון קרקעות
147	7.8.3 – סחף מים
148	7.8.4 – דרכי המניעה של סחף מים

פרק 1 – נושאים כלליים

1.1 – מבוא

1.1.1 - כללי

הנחיות הניקוז של החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ הפ-הינ כלי שרת ביד המתכננים בקר-התכנון להבטחת תכנון מיטבי של הניקוז בתשתיות הכבישים שעליהם מופקדת החברה.

הנחיות התכנון שגובשו במסמך זה הפ-הינ אסופה מסודרת של כל היבטי הניקוז השונים. במסגרת זה מועבר במסמך הידע הרב שנצבר בישראל בתכנון מתקני ניקוז ובמיוחד בתכנון מתקנים ומערכות ניקוז של כבישים בינעירוניים בדגש על התאמה לחורף הישראלי.

בנוסף מובאים בהנחיות נוסחאות שימושיות והסבר של תהליכי התכנון השונים של מתקנים ומערכות ניקוז.

אנ-מדגשים להדגיש שהנחיות אילו הינ צוהר בלבד להנדסת הניקוז אנ-ואינ מקיפים מקיפות את כל נושאי הניקוז על מכלולם הרחב. הנחיות אלה-אלו לאינ באות במקום-במקום מדרכי תכנון הנדסיים מפורטים אשר מקיפים מקרים רבים של בעיות שונות ומגוונות בהנדסת ניקוז.

יש לראות בהנחיות, למעט בקריטריוני התכנון הנחיות הפ מינימום למעט מקרים שצוין אחרת, דרישות מינימאליות, המלצות וקווים מנחים עבור מתכנן הניקוז. ההנחיות אינן באות במקום השכל הישר, ניסיון המהנדס ולכן חובה לבדוק ולתכנן את הפרויקטים כאשר מול המתכנן כל הידע העכשווי בזמן התכנון הרלוואנטי.

1.1.2 - מדיניות תכנון הניקוז של החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ

החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ מחויבת בתכנון ניקוז אופטימאלי לרווחת הנהג בכבישים השונים שבאחריות השמירה ומחויבות לשילוב מתקני הניקוז של החברה במערכת הניקוז האזורית הסביבה שבא עובר הכביש. מדיניות החברה היא לאפשר נהיגה בטוחה בכבישים בזמן גשם ע"י תכנון נכון של ניקוז מסיעת הכביש ופינוי מהיר של הנגר מתוואי הדרך. החברה רואה חשיבות רבה להשתלבות מערכת ניקוז הכביש ובהשתלבות ושמירה על הניקוז האזורי שקיים.

1.1.3 - עקרונות התכנון של ניקוז כבישים

תכנון ניקוז הכבישים מתחלק לשנ-לשלושה נושאים עיקריים אשר השלם שבהם יוצר את התכנון המלא של ניקוז כבישים כדלקמן:

ניקוז מסעת הכביש - ניקוז מהיר של נגר מסעת הכביש מתוך מטרה להבטיח תנועה בטוחה של כלי רכב גם בימים בהם יורד גשם.

***ניקוז תחום הדרך** - ניקוז של כל מכלול רצועת הכביש שכוללת את המדרונות, מבנה

המיסעה ושטחים שכלואים בתחום רצועת הדרך המוכרזת.

***הגנה מהצפות** - השתלבות מערכת הניקוז של הכביש עם נחלים ותעלות ניקוז אשר נמצאים בתוואי הכביש מתוך מתן פתרונות מתאימים להקטנה של השפעתו על הסביבה (השפעת מפלסי הצפה וכו').

1.1.4 - הסבר על קריטריונים לתכנון ניקוז

מתקני ניקוז מתוכננים בהתאם להסתברויות תכן. כשלב ראשון בתהליך התכנון מבוצע ניתוח הסתברותי בהתאם למודלים סטטיסטיים מקובלים לספיקות תכן ההידרולוגי. הספיקות המחושבות משמשות את מתכנן הניקוז בהמשך תהליך עבודת התכנון.

ככל שהכביש יותר חשוב בהיררכיה של מערכת הכבישים הארצית כך הופכת סופת התכן לתכנון מתקני הניקוז ליותר נדירה.

בתכנון ניקוז מבדילים בשני סוגים של הסתברויות תכן:

הסתברות תכן לתכנון

הסתברות תכן לבדיקה

הסתברות תכן לתכנון – ההסתברות שבה מתוכנן מתקן הניקוז בהתאם להנחיות התכנון היא הספיקה או עצמת הגשם המחושבת בהתאם להסתברות זרימה משמשת לחישוב קביעה של גודל מעביר מים, גיאומטריה של תעלת ניקוז, מיקום קולטנים, גודל של מובלי יתיעול תת קרקעיים, הצורך בהגנה נגד ארוזיה בתעלות וסוג ההגנה וכדומה.

הסתברות תכן לבדיקה – הספיקה או עצמת הגשם המחושבת בהתאם להסתברות זו משמשת לבדיקה שאין הצפה של שולי כביש, מבנים בסמוך לעורקי ניקוז וכדומה. הסתברות התכן לבדיקה שווה או יותר גבוהה מהסתברות לתכנון בהתאם להנחיות השונות כפי שמופיעות בהמשך הפרקים של מדריך התכנון.

בפרקים השונים בהמשך ההנחיות יפורטו הסתברויות התכן לתכנון ובדיקה לגבי מתקני הניקוז השונים.

1.1.5 - תכנון ניקוז באזורי פשט הצפה

הגדרה (מתוך תמ"א 34 ב' 3/):

פשט הצפה - שטח שבו עומדים או זורמים או עומדים מים, באופן קבוע או לפרקים, כתוצאה מזרימת מים שהעורק אינו מצליח להעביר.

תכנון ניקוז כבישים באזור של פשטי הצפה מחייב שמירה על מפלסי פשט ההצפה והתאמת תכנון מתקני ניקוז של הכביש.

על מתכנן הניקוז לעדכן את מנהל הפרויקט והמתכנן המוביל בקטע שבו הכביש מצוי בתוך פשט ההצפה
הרחבה בנושא ראה בסעיף 1.3 בהמשך

1.1.6 - כלכליות של התכנון

במסגרת התכנון של הניקוז על מתכנן הניקוז לבדוק חלופות שונות למתקני הניקוז השונים לבדוק את עלותם ולאפשר את התכנון הכלכלי הנכון תוך מתן דגשים לשילוב כל מרכיבי שיקול הדעת של התכנון כגון:

- ❖ התאמה לקריטריון התכנון
- ❖ אחזקה
- ❖ ביצוע
- ❖ זמינות חומרים
- ❖ כלכליות

1.1.7 – אתרי אינטרנט בהם ניתן לקבל ספרות עזר מקצועית בתכנון ניקוז דרכים

אתר של http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/library_listing.cfm ☂

FHWA אשר מרכז את כל מדריכי התכנון השונים בניקוז

קליפורניה <http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/hdm/hdmtoc.htm> ☂ - מדריך תכנון כבישים של מדינת

<http://www.usbr.gov> ☂ - אתר של האגף לשימור קרקע בארה"ב

<http://www.mainroads.qld.gov.au/web/partnersCR.nsf/DOCINDEX/Technical+R> ☂

[Reference+Centre?OpenDocument](http://www.mainroads.qld.gov.au/web/partnersCR.nsf/DOCINDEX/Technical+Reference+Centre?OpenDocument) – אתר של מדינת קווינסלנד אוסטרליה המחלקה

לדרכים ראשיות

1.2 – היבטים חוקתיים של תכנון הניקוז בישראל

1.2.1 - רשויות וגופים שקשורים בתהליך התכנון

בישראל קיימים מספר גופים ממשלתיים, ציבוריים ומוניציפאליים אשר מעורבים בהליך אישור תכנון הניקוז.

חלק מהגופים מופקדים ישירות על נחלים ותעלות שאותם חוצה הכביש כגון רשויות הניקוז והנחל והרציעות של אותם עורקי ניקוז ~~הם~~ בבעלותם. בחלק מהמקומות התעלות ומובלי התיעול הינם באחריות המערכות המוניציפאליות השונות. משרד החקלאות ולעיתים המשרד לאיכה"ס ומשרד הפנים מעורבים אף הם בתהליכי אישור התכנון של מערכות הניקוז השונות.

הגורמים השונים מחולקים כדלקמן :

משרדי ממשלה:

משרד החקלאות – האגף לשימור קרקע
המשרד להגנת הסביבה – אגף מים שפכים ונחלים
משרד התשתיות – רשות המים (ראש הרשות נושא באחריות של נציב המים כפי שמופיע בחוק הניקוז).
ות"ל – ועדה לתשתיות לאומיות
משרד הפנים – ועדות התכנון במחוזיות והמקומיות

גופים ציבוריים:

רשויות הניקוז

רשויות נחל

רשות הטבע והגנים ~~(וכל מיני גופים ירוקים שונים)~~

גופים מוניציפאליים:

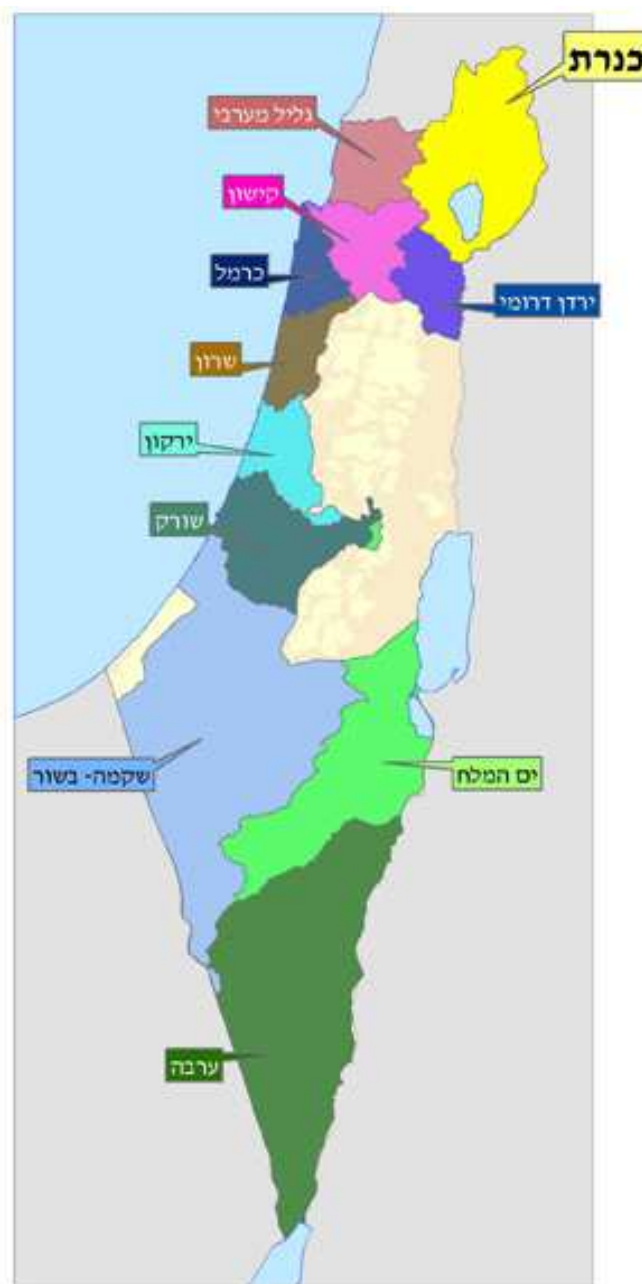
מועצות אזוריות

עיריות ומועצות מקומיות

במסגרת הליך התכנון יש צורך בתיאום ובחלק מהמקרים באישור של התכנון ע"י אותם רשויות כחלק משלבי התכנון של ניקוז הכביש.

1.2.2 - רשויות הניקוז

רשויות הניקוז הן הגוף הסטאטוטורי אשר בתוקף אחריותו לדאוג לתקינותן של מערכות הניקוז בשטח בגבולות השיפוט של כל רשות. הרשויות הוקמו ופועלות מתוקף חוק הניקוז שיפורט בהמשך הפרק. הנהלת כל רשות ניקוז מורכבת מנציגי המועצות האזוריות, המקומיות והערים אשר נמצאים בתחום השיפוט המוכרז של הרשות. בישראל נכון לכתיבת הנחיות אלו יש 11 רשויות ניקוז בחלוקה גיאוגרפית בהתאם לאגני ההיקוות של הנחלים הראשיים. רצ"ב מפת פריסה ארצית של רשויות הניקוז בישראל :



1.2.3 - חוקים רלוונטיים בתכנון הניקוז

חוק הניקוז והגנה בפני שיטפונות התשי"ח (1957)

חוק הניקוז משנת 1957 הסדיר את חוקיות הפעולות השונות אשר ננקטות לצורך שמירה הסדרת מערכות הניקוז בישראל. במסגרת החוק פועלת מועצה לענייני ניקוז שהיא הגוף המייעץ לשר החקלאות.

הגדרת משמעות המילה ניקוז בחוק היא כדלקמן :

"ניקוז" - כל פעולה שמטרתה לרכז, לאגור, להוביל או להרחיק מים עיליים או אחרים המזיקים או העלולים להזיק לחקלאות, לבריאות הציבור, לפיתוח הארץ או לקיום שירותים סדירים במדינה, לרבות ייבוש ביצות והגנה בפני שיטפונות ומניעתם, אך למעט טיפול במי-ביוב;

בראש המועצה נציב המים (היום סמכויות נציב המים הועברו לראש רשות המים). במסגרת החוק הונח היסוד להקמתם של רשויות הניקוז וכן הגדרה של תהליך תכנון עצמאי אשר מאפשר העברה של תכניות שמטרתם ניקוז (הסדרת נחלים, תעלות ניקוז ומתקני ניקוז שונים)

לחוק הניקוז נוספו מספר תיקונים ותקנות אשר תפקידם להסדיר את פעולתם החוקית של רשויות הניקוז

בשנת 1996 בצע-הוכרז ע"י שר החקלאות אכרזת-אזורי ניקוז חדשים אשר הגדירו 11 רשויות ניקוז בהתאם למפורט בסעיף הקודם. תפקיד רשות הניקוז כפי שהוגדר בחוק היא :

תפקידי רשות הניקוז

12. תפקידי רשות הניקוז הם לדאוג לניקוזו הסדיר של התחום שנקבע לה בצו המקום, ולשם כך להקים, לשנות ולהחזיק ולפתח מפעלי-ניקוז באותו תחום; במילוי תפקידיה אלה תפעל רשות הניקוז גם למניעת מפגעי-בריאות.

חוק הניקוז מאפשר העברת תכניות ניקוז בהליך נפרד אשר כולל תיאום בלבד עם וועדות התכנון השונות אשר פועלות מכוח חוק התכנון והבניה.

ההליך הסטטוטורי יותר פשוט ועובר דרך ועדה מקצועית אשר הוקמה ע"י המועצה לענייני ניקוז ברשות האגף לשימור קרקע במשרד החקלאות.

הועדה שופטת הנדסית את התכניות ובהתאם לאישורה התכנית עוברת הליך פרסום. ההליך מאפשר שלב

חוק רשויות נחלים ומעיינות התשכ"ה -1965

חוק רשויות הנחלים מאפשר הכרזה של נחל כרשות נחל. החוק הכול על נחלים ספציפיים (דוגמה של ירקון וקישון). תפקיד רשות הנחל כפי שלקוח מתוך החוק :

(א) תפקידה של רשות נחל הוא לתכנן ולבצע את הפעולות המפורטות להלן, כולן או מקצתן, כפי שייקבע בצו לפי סעיף 2:

(1) הסדרתה של זרימת המים בנחל, במגמה לשמור על מפלס מים מתאים כל חדשי השנה;

(2) ניקוז הסדיר של תחום הרשות;

(3) קביעת תוואי לנחל, או העברתם של מי הנחל או מקור המים לאפיקים אחרים;

(4) הסרת מפגעי תברואה הכרוכים בזיהום הנחל או מקור המים או בזרימתם המשתנית של מימיו;

(5) שמירת הנוף ומתנות הטבע לאורך הנחל בשתי גדותיו או מסביב למעיין, למעט נחל ומעיין שבתחומי גן לאומי או

שמורת טבע, כמשמעותם בחוק גנים לאומיים ושמורות טבע, התשכ"ג-1963, והכשרת שטחים אלה לצרכי גנים, נופש וספורט;

(6) הסדרתה של חלוקת המים בין המעוניינים בהם;

(7) הסדרת דרכי השימוש בנחל או במקור המים על ידי המעוניינים.

(ב) תפקידי ניקוז לא יוטלו על רשות נחל אלא ביחד עם תפקיד אחר.

כאמור רשויות הנחל פועלות בעיקר בתוך נחלי איתן מתוך מגמה להפוך את הנחל לסביבה תיירותית ושימור הנוף.

קיימות רשויות ניקוז אשר הם פועלות גם כרשות נחל.

בפרויקטים בהם הכביש המתוכנן חוצה או עובר במקביל לנחל אשר שייך לרשות נחל חובה על מתכנן הניקוז לתאם את התכניות הניקוז של הכביש עם רשות הנחל.

חוק המים התשי"ט-1959

חוק המים בעיקרו מדבר על הספקת מים לתושבים. אבל בחוק מופיע הקטע הספציפי אשר מסדיר חוקית את כל הנושא של החדרה של נגר אל תוך הקרקע.

הפרק הרלוואנטי בחוק המים מופיע תחת הכותרת "סימן ה' – החדרת מים" ובו יש את תיאור תהליך קבלת האישורים אשר מחויב מביצוע פרויקט החדרת נגר לתוך הקרקע.

התנגדויות ולאחר שמיעתם הועדה היא הגוף העליון שמאשר את התהליך.

1.2.4 - תכניות מתאר ארציות

בתחום הניקוז קיימות שתי תכניות מתאר ארציות אשר נועדו להסדיר בראיה כוללת את פתרונות הניקוז ואיגום הנגר עבור פרויקטי ניקוז בלבד.

תכניות אילה אשר הם יוזמה של המועצה הארצית לתכנון במשרד הפנים והם מהווים תוכנית מנחה לכל הגורמים בתהליך אישורי התכניות וכן בייזום פרויקטים של ניקוז שונים במשאבים של המדינה.

תמ"א 34 ב'3 – תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים – נחלים וניקוז

תכנית המתאר הארצית לניקוז הוכנה בהתאם לאמור בפרק 5.1 של התכנית כדלקמן :

הבטחת המשך קיומם ותפקודם של נחלים וסביבתם, הן לצורך שיקום, שימור ופיתוח ערכי נוף, אקולוגיה ותרבות והן כמוקדים לפעילויות נופש ופנאי, בד בבד עם הבטחת תפקודם כעורקי ניקוז ופשטי הצפה להולכת מים ולצמצום נזקי סחף והצפות הנגרמים מנגר עילי.

מתוקף זה עוסקת בכל הקשור לתכניות הסדרת הנחלים במסגרת פרויקטי ניקוז ע"פ הגדרתם בתמ"א.

בתמ"א קיימות הגדרות שונות בהוראות התכנון לסוג הערוץ רוחב רצועות המגן ופרמטרים שונים שבהם מתחשבים כאשר **מתכננים הסדרה של נחל**. או מתקן חצייה של נחל המוגדר כעורק ראשי/משני בתמ"א.

נושא נוסף שהוכנס בתמ"א ואינו מופיע בצורה ברורה בחוק הניקוז הוא **פשט הצפה**. התמ"א הגדירה אזורים שבהם קיים פשט הצפה. במסגרת תכניות הסדרת נחלים או בנייה באזורים אילה מונחים עורכי התכנית על שימור פשט ההצפה בתחום שבו עוברת התכנית.

תמ"א 34 ב'4 – תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים – איגום מים עיליים, החדרה, העשרה והגנה על מי תהום

התכנית עוסקת בכל הקשור למפעלי החדרה ארציים של נגר לקרקע, שמירת ייעודי הקרקע להקמת המפעלים ותהליכי התכנון והאישור השונים להקמת מפעלי האיגום והחדרה. בפרק ד' וה' של התכנית יש את כל ההוראות וההנחיות שקשורות בשימור נגר של תכניות שאינם ארציות.

בפרויקטים של תכנון כבישים **שבהם** יש פתרונות של החדרת נגר לקרקע, על **המתכנן** הניקוז לתכנן את המערכות השונות בכפוף **למה שצאמר** בה**נחיות** תמ"א ובחוק המים. חשיבות ההחדרה וכיווני הפתרון בהתאם למפת רגישויות הקרקע שהוכנה לשטחי הארץ.

1.3 – השתלבות תכנון הניקוז במערכת האזורית

1.3.1 - מטרה

הכביש הוא תשתית אורכית אשר חוצה עורקי ניקוז שונים. כל עורק הניקוז מאופיין בספיקות ופשטי הצפה בהתאם לגודל האגן ולמבנה עורק הניקוז (ערוץ מוסדר, נחל טבעי או שקע אובאלי).

במטרה ראשונה על מטרת – מתכנן הניקוז לתכנן מערכת ניקוז אשר משמרת את המצב הקיים ככל האפשר מבחינה של רומי ההצפה של נחלים ותעלות במעלה הכביש. ומתוך שימת לב לבעיות שונות שעלולות להיווצר כתוצאה מהשינויים שנגרמים לניקוז האזורי עקב סלילת הכביש או הרחבתו.

1.3.2 - תיאומים ואישורים נדרשים

תכנון מהניקוז האזורי מחייב קבלת אישורים **פד/ו/א** ביצוע תיאומים עם כלל הגורמים אשר גובלים עם פתרון הניקוז של הכביש ומושפעים ממנו יש להבדיל בין הצורך בתיאום מול גורמים חיצוניים כפי שיוסבר בהמשך לבין קבלת אישור

תיאום ניקוז

תיאום ניקוז מתבצע מול הגורמים הרלוונטיים כפי שהוזכרו לעיל ומפורטים בהמשך בסעיף 4 והם שזורים בכל תהליך התכנון של הכביש ונגזרים משלבי התכנון השונים. אין חובה לתאן עם כל הרשויות בכל שלב והנושא נגזר מסוג הניקוז שקיים והבעיות ובהתאם להחלטת מנהל הפרויקט.

אישור ניקוז

אישור עקרוני לפתרון הניקוז - במערכת האזורית הכללית יש לקבל אישור עקרוני מרשות **הניקוז-הניקוז על תיאום** שבשטחה עובר הקטע המתוכנן.

אישור ניקוז מרשות הניקוז חייב להיות באותם מקרים שבהם מסדירים נחלים וחוצים נחלים ראשיים כמפורט בתמ"א 34 ב'3. כאשר מטים ערוצים משניים ומזרימים אותם דרך עורק אחד יש לקבל את אישור הרשויות שבהם מתבצע התכנון (רשות ניקוז/רשות מוניציפאלית). התחברות במורד הכביש למובל תיעול עירוני מחויבת באישור של הרשות המוניציפאלית אילה המובל מתחבר.

1.3.3 - איחוד עורקים

הגדרה של עורק מתוך חוק הניקוז היא :

"עורק" - נהר, נחל, ערוץ, תעלה, שקע וכל אפיק אחר, בין טבעיים ובין מותקנים או מוסדרים, שבהם זורמים או עומדים מים, תמיד או לפרקים ;

בחוק הניקוז קיימת הגדרה ברורה לסוגיית איחוד עורקים כדלקמן בסעיף 4 לחוק. במקומות בהם נדרש איחוד של הערוצים חובה על המתכנן לתאם ולקבל בכתב אישור מבעלי החלקה אשר בהם עובר הערוץ המאוחד.

1.3.4 - וויסות נגר

במקרים מיוחדים כאשר בהתאם לתכנית לשימור וויסות נגר אזורית של רשות הניקוז ניתן ע"י תכנון נכון של פתח הגשר/או מעביר המים לווסת את הנגר במעלה הכביש מתוך כוונה למתן את הספיקות במורד, יישקל הנושא ע"י מתכנן הניקוז ויעבר לאישור מנהל הפרויקט. הגבהה של מפלס המים במעלה (בניגוד לאמור בסעיף 1.3.1) מחייבת תכנון של הילוך גאות וחישוב מפלסי המים בהסתברויות התכן בהתאם למפורט בפרק 3. וויסות נגר יעשה תוך שמירה על כל ההנחיות כפי שמופיעות בתמ"א 34 ב/4 ותכנון ושיפוט בהתאם לחוק הניקוז. על מתכנן הניקוז לעדכן את מנהל הפרויקט ומתכנן תכן המבנה לשינויים במפלסי המים שצפויים בסוללת הכביש באגן ההיקוות שבו מתקיים וויסות הנגר.

1.4 – שלבי תכנון

1.4.1 - כללי

החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ בנתה מגדיר משימות לתכנון ניקוז כחלק ממגדיר המשימות הכללי לתכנון.

במסגרת מגדיר המשימות נקבעו שלוש **ה** אבני דרך עיקריות לתכנון כדלקמן :

 **תכנון מוקדם ראשוני**

 **תכנון מוקדם סופי**

 **תכנון מפורט**

עבודות התכנון השונות של היועצים השונים **מכילות-מקבילות** לשלושת השלבים. **בשני השלבים הראשונים בכל השלבים** מתקיים בסוף תהליך התכנון הליך שיפוט **ה** תכניות בבתוך החברה.

בסיום השלב השלישי **הינו-הוצאת מוצאות** התכניות לביצוע ופרסום מכרז- **או העברת התכנון המפורט לזכ"ן במקרה של תכנון-ביצוע.**

1.4.2 - תכנון מוקדם ראשוני (שיפוט I)

תכנון המוקדם **הראשונה-הראשוני** כולל בנייה של מסד הנתונים אשר משמש את מתכנן הניקוז בהמשך תהליך התכנון של הכביש. בסקר ההידרולוגי של הכביש מבוצע בשלב זה. בשלב הזה מתכנן הניקוז מבצע סיור בשטח לבדיקת בעיות שונות כגון סחף של ערוצים ומדרונות (בעיר בכבישים קיימים), בעיות של מי תהום וכדומה. התיאומים הראשונים עם גורמי הניקוז השונים בשיתוף עם מנהל התכנון כגון :

 **רשויות ניקוז**

 **רשויות שיקום נחלים**

 **האגף לשימור קרקע**

 **מהנדסי ניקוז ברשויות המקומיות**

במסגרת שלב זה מתקיימים תיאומים עם הגורמים הירוקים ומוסדות התכנון השונים.

לקראת השיפוט הראשון על המתכנן להציג את חלופות פתרון הניקוז של הכביש כחלק **מחלופות** הפתרונות לכביש.

חשוב שבשלב זה ידגיש מתכנן הניקוז את חציות הניקוז הבעייתיות מבחינה של פשטי הצפה, מי תהום ושאר נקודות אשר חשובות להמשך התכנון של הכביש והשלמת פתרון הניקוז.

במסגרת השיפוט הראשון נקבעת החלופה הנבחרת שתוצג בהמשך הדרך לגורמים השונים מחוץ לחברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ.

פירוט מלא של הדרישות ראה מגדיר משימות של הניקוז וההידרולוגיה בפרק של התכנון הראשוני.

1.4.3 - תכנון מוקדם סופי (שיפוט II)

תכנון מוקדם סופי כולל את כל השלב שמתחיל מאישור החלופה הנבחרת ועד לאישורה ע"י כל מוסדות התכנון הרלוונטיים (ות"ל, מועצה ארצית, ועדות מחוזיות וכו'). במסגרת זה מתכנן הניקוז בונה צבר את כל מרכיבי התכנון השונים של מתקני הניקוז ע"ג תוכניות הכביש (תנוחה וחתך לאורך) במסגרת הליך התכנון מתגבשת סופית החלופה הנבחרת של ניקוז הכביש. האמור כולל את אישורי וועדות התכנון השונות. מתכנן הניקוז מסיים במסגרת הליך התכנון את תיאום התכנון ואישורו ברשויות השונות הרלוונטיות לתכנון הניקוז. בשלב זה גם נסגרים במידה ונדרש הליכים של אישור הסדרה של נחלים או תעלות אשר נדרש בהם טיפול מחוץ לגבולות הקו הכחול של הכביש והליך תכנונם ואישורם מתבצעים במסגרת חוק הניקוז.

פירוט מלא של הדרישות ראה במגדיר המשימות של הניקוז וההידרולוגיה בפרק של התכנון המוקדם.

1.4.4 - תכנון מפורט

התכנון המפורט של ניקוז הכביש כולל הכנה של סט תוכניות מפורטות לביצוע. במסגרת זה יש להכין את תוכניות מעבירי המים והגשרים, פרטים של פתרונות הניקוז השונים וכן פרטים של ייצוב המדרונות וייצוב תעלות. הכנה של מפרט טכני מיוחד כחלק מהמפרט המיוחד של הפרויקט וכתב כמויות לעבודות הניקוז. פירוט מלא של הדרישות ראה במגדיר המשימות של הניקוז וההידרולוגיה בפרק של התכנון המפורט.

פרק 2 – הידרולוגיה

פרק 3 – מתקנים חוצים

3.1 - מבוא

3.1.1 - הסבר כללי

מתקנים חוצים מעבירים את הנגר של נחלים ותעלות אשר אגניי ההיקוות נמצאים במעלה זכות הדרך אל מחוץ לגבולות הדרך במורד. החצייה של הניקוז האזורי דרך הכביש מתבצעת במעבירי מים או גשרים על הכביש שמתעלים-המתעלים את הזרימה מתחת למסיעת הכביש במתחברים-ומתחברים עם מורד הנחל/תעלה. חציית הכביש באמצעות גשרים ומעבירי מים מחייבת התייחסות לתכנון ההידראולי של גודל הפתחים בהתאם לספיקות התכן, עומסי הקרקע והתנועה מעל המתקנים החוצים. התכנון ההידראולי והתכנון הקונסטרוקטיבי של המתקנים החוצים מחייב תכנון הנדסי נכון וכלכלי של המתקנים. התכנון הוא שילוב של התכנון ההידראולי ותכנון של ההגנה בפני ארוזיה שאחראי עליו מתכנן הניקוז וכפוף להנחיות התכנון של מעצ – החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ אשר מפורטים בהמשך הפרק יחד עם התכנון הקונסטרוקטיבי של המתקנים שבאחריות מתכנן הקונסטרוקציה.

3.1.2 - הגדרה של מעבירי מים וגשרים

מעבירי מים וגשרים משמשים כאמור לחצייה של הניקוז בתחום זכות הדרך של הכביש. ההבדל בין גשר למעביר מים בהגדרות היו בעיקר קונסטרוקטיבי כאשר במעביר מים ריצפת המעביר משמשת כחלק אינטגרלי מהמבנה הקונסטרוקטיבי. בגשרים הביסוס של הגשר הוא באמצעות יסודות. רצפת הגשר איננה חלק קונסטרוקטיבי שנושא בעומסים.

3.1.3 - הסתברויות לתכנון מתקני חצייה

3.1.3.1 – הסתברות לתכנון מתקני חצייה

הסתברויות התכן לתכנון מתקני חצייה נגזרת כפונקציה של גודל הספיקה של האגן החוצה. בהתאם לגודל הספיקה המחושבת של הנחל או התעלה בנקודת המפגש עם הכביש המתוכנן בהסתברות של 2% (1 ל 50 שנה) נגזרת ספיקת התכן לתכנון מתקני החצייה בהתאם לטבלאות בהמשך הפרק.

רצ"ב טבלה ובא פירוט ההסתברויות השונות לחישוב מתקני חצייה כתלות בגודל הספיקה בערוץ החוצה בהסתברות של 2% ובסיווג הכביש שחוצה את הנחל/תעלה.

טבלה מס' 3.1 – הסתברויות לתכנון מתקני חצייה

ספיקה בהסתברות של 2% בערוץ החוצה (מ"ק/שנ')	כביש מהיר	כביש ראשי וכביש אזורי	כביש מקומי - <u>ודרכי שירות</u>	דרכי <u>תחזוקה</u> ודרכים חקלאיות
גדול מ 250	1%	2%	2%	10%
250-50	1%	2%	<u>5%</u>	10%
50-5	2%	2%	5%	10%
קטן מ 5	5%	5%	<u>5%</u>	10%
<u>הצפה</u>	<u>1%</u>	<u>2%</u>	<u>2%</u>	<u>10%</u>

מתקני חצייה באקלים מדברי

באזורי המדבר מתחת לקו כמות גשם שנתי ממוצע של 200 מ"מ יתוכננו מתקני החצייה בהתאם להסתברויות הבאות :

טבלה מס' 3.2 – הסתברויות לתכנון מתקני חצייה באזור מדברי

ספיקה בהסתברות של 2% בערוץ החוצה (מ"ק/שנ')	כביש מהיר	כביש ראשי וכביש אזורי	כביש מקומי ודרכי שירות	דרכי תחזוקה ודרכים חקלאיות
גדול מ 250	2%	2%	2%	20%
250-50	2%	2%	5%	20%
50-5	2%	5%	5%	20%
קטן מ 5	5%	5%	5%	20%
הצפה	2%	2%	2%	20%

מתקני החצייה יתוכננו כך שספיקת התכן שאליה תוכנן המתקן תעבור בתוך מעביר המים בתוספת של בלט כפי שמפורט בהמשך. הפרק בסעיף 3.1.3.2. מחלפים- מתקני חצייה במחלפים יתוכננו לפי הכביש הגבוהה בהררכייה של המפגש.

הסתברויות תכן לבדיקת הצפת הכביש

הצפת הכביש תחשב כהצפה של קצה שולי הכביש (קו צהוב). בכבישים עם מדרכות תחשב הצפת הכביש כמפלס הכביש בסמוך לאבן השפה. באזורים שהטופוגרפיה שלהם שטוחה על המתכנן להגדיר את הערוץ או הערוצים המרכזיים אשר קובעים את הסכנה להצפה. ייתכנו גלישות של נחלים ראשיים אל הערוצים הקטנים הסמוכים כחלק מפשט ההצפה של הנחל הראשי.

הקטנת הסתברות תכן להצפה בכבישים מקומיים

כביש מקומי אשר איננו דרך הגישה הבלעדית אל הישוב ניתן להקטין את הסתברות התכן להצפה של שולי הכביש (הקו הצהוב) לשיעור של 5% בלבד.

מתקנים חוצים בספיקות תכן מעל 50 מ"ק/שנ' בהסתברות תכן של 2% יתוכננו
אף הם בהסתברות תכן של 5% בלבד.

הסתברות לבדיקת שטחים בנויים

ליד מקומות יישוב ואזורי תעשייה יש לבדוק שבספיקת תכן של 1% הערמות המים במעלה מעביר המים לא גורמת לנזקי גוף ורכוש ללא תלות בסוג הסיווג של הכביש.

הסתברות תכן למתקני חצייה זמניים

מתקני חצייה זמניים יתוכננו במעקפים זמניים במסגרת שלבי הביצוע של כבישים קיימים.

טבלת הסתברות תכן למעבירי מים זמניים ראה טבלה מס' 3.3 לעיל

טבלה מס' 3.3 – הסתברויות לבדיקת מתקני חצייה זמניים

כביש מהיר	כביש ראשי וכביש אזורי	כביש מקומי
5%	10%	20%

3.1.3.2 – בלט (מרווח נקי)

הגדרה - בלט היא המרווח הנקי בין גובה פני המים לבין תחתית תקרת מעביר המים או הקורה התחתונה בגשר.

הבלט הוא תוספת שיש להוסיף לגובה המים המחושב בהסתברות התכן של מתקן החצייה.

את הבלט יש להוסיף לגובה המים במעלה ובמורד מתקן החצייה. הממדים הסופיים של מתקן החצייה הם כאמור סכום הגובה המחושב בהסתברות התכן בתוספת הבלט.

גודל הבלט משתנה בהתאם לגודל מתקן החצייה והוא נגזרת של אחוז גובה המים במעלה ומורד מעביר המים/גשר.

הבלט הסטנדרטי במתקנים של החברה הלאומית לכבישים בישראל בע"מ הוא 20% מהגובה המחושב של המים בהתאם להסתברויות התכן לתכנון מתקן החצייה כמפורט בטבלה 3.1 ו 3.2 לעיל.

בלט מינימאלי

בכל מקרה לא יקטן שיעור הבלט המינימאלי ממרווח של 30 ס"מ ללא תלות בגובה המים במעלה ומורד מתקן החצייה.

הגדלת הבלט בגלל ארוזיה

במקומות שבהם יש חשש לסחף רב כגון מתקני חציה באזורים של מניפות סחף, בקרקעות חמרה וחול או אזורים שיש לגביהם מידע על סחף יש להגדיל את הבלט משיקולי תחזוקה.

הבלט יגדל לשיעור של 30% מהגובה המחושב של המים בהתאם להסתברויות התכן לתכנון מתקן החצייה כמפורט בטבלאות 3.1 ו 3.2 לעיל.

-

כבישים חקלאיים

הבלט של מתקני חצייה בכבישים חקלאיים אשר נמצאים במרחק מהכביש הראשי ולא משפיעים על מתקני החצייה של החברה הלאומית לדרכים בע"מ יתוכננו עם בלט של 30 ס"מ בלבד ללא תלות בגודלו של מתקן החצייה.

כבישים זמניים (במהלך ביצוע שדרוג כביש קיים)

מעבירי מים בכבישים זמניים יתוכננו עם בלט של 30 ס"מ בלבד ללא תלות בסוג הדרך וגודל מתקן החצייה.

הקטנת הבלט

ניתן לוותר על הבלט כאשר מעביר המים או הגשר ממוקמים באזורים פתוחים ואין חשש שיציפו אזורים בנויים או אזורים חקלאיים עם גידולים אינטנסיביים. הקטנת הבלט נכונה גם לכבישים זמניים וכבישים חקלאיים.

3.1.3.2 – גורמים נוספים אשר משפיעים על גודל מעביר המים

הרחבה או הגבהת פתח מעביר מים משיקולים סביבתיים

מעבירי מים משמשים כאמצעי חצייה בטוח של חיות בר. לצורך זה יעביר מתכנן הניקוז למתכנן הסביבתי של הפרויקט טבלה מעבירי המים ובהם מפורטים הפתחים כפי שחושבו בהתאם לצרכי הניקוז. באחריות המתכנן הסביבתי להעביר את הצעתו להרחבה או הגבהה של הפתחים, הוספת מדרגה במעבירי המים השונים.

הטבלה עם הצעות השינויים תועבר להחלטות ואישור מנהל הפרויקט והגורמים המקצועיים במעצ – החברה הלאומית לדרכים בע"מ.

איסור שימוש במעבירי מים למעבר אדם

בהתאם למדיניות של מעצ – החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ, אסור השימוש במעבירי מים כמעברים מוכרזים (שבילים מסומנים או מטרות) להולכי רגל, רוכבי אופניים, רכבי שטח דו גלגליים וארבע גלגליים או רכב אחר. במיוחד האמור למעבר לשטחי מרעה של בקר וצאן. יש לראותם כמעבר אדם לכל דבר ועניין.

דרישות של גורמי תכנון מאשרים (ות"ל, ועדות תכנון) למתן אפשרות חצייה מסוג זה מחייבים שינוי התכנון והוספה של מעבר מתאים על גדת האפיק או מעבר לגשר בהתאם לכל האמור בסעיף 3.7 - גשרים בהמשך הפרק..

3.2 - מיקום מעבירי מים

מיקום מעביר המים ביחס לטופוגרפיה של התעלה/נחל והתוואי הכביש הינו מרכיב עקרוני וחשוב בתכנון מעביר המים.

עקרונית המיקום המועדף לתכנון של מעביר מים הוא כאשר ציר מרכז מעביר המים נמצא מול ציר התעלה בכניסה וביציאה של מעביר המים.

מעביר המים מתוכנן כאלמנט נמשך אחיד ללא פניות או הסתעפויות.

במיקום מעביר המים יש צורך בהתחשבות בנתונים הבאים :

☀ **טופוגרפיה של הנחל/תעלה –** בדיקה של ערוץ הזרמי העיקרי במיוחד באזורים של מניפות סחף או נחלים אובאליים מתונים.

☀ **השיפוע האופקי של הכביש בחצייה של התעלה/נחל –** ככל שהמפגש בין הכביש לבין התעלה/נחל הוא בזווית חדה מתקן החצייה מתארך ועלותו גדלה

☀ **הקו האדום של הכביש –** יש להימנע ככל האפשר מבניית מעבירי מים במילוי גדול או במילוי רדוד ביותר. נושא זה ידון במשותף בין מתכנן הכביש (גיאומטריה) ולבין יועץ הניקוז.

☀ **זכויות הדרך –** מעביר מים צריך להיות בתוך זכות הדרך ואף להגדיל בתב"ע את אזור הכניסה והיציאה של מעביר המים או הגשר כדי להשלים את המתקנים האופטימאליים

☀ **כלכליות –** מעביר מים צריך להבחן כלכלית ולבצע את האופטימיזציה הדרושה לבניה של המתקן הזול ביותר בהתחשבות כמובן באילוצים האחרים שמזכרים .

☀ **השתלבות בסביבה –** מעביר מים הוא חלק של הסביבה ולכן צריך להשתלב מבחינה נופית תוך מניע ככל האפשר את הפגיעה בסביבה.

☀ **מתקנים סמוכים –** יש להימנע מתכנון מעבירי מים שמתקני הכניסה והיציאה שלם מתקרבים או מפריעים למתקנים ומבנים קיימים בסמוך לדרך

3.2.1 - העמדה אופקית ושיפוע אורכי של מעביר המים

מעביר המים האידיאלי ממוקם בקו ישר ושיפוע אורכי קבוע בחציה של הכביש.

חריגה מקו אופקי ישר בחציה של מעביר מים רק במקרים יוצאים מהכלל כאשר יש שינוי בין הכניסה של התעלה לבין המוצא ולא ניתן לגשר עליהם באמצעות תעלה.

במקרה זה יש צורך בשוחת בקרה בשינוי השיפוע האופקי.

השיפוע האורכי בתכנון מעביר מים הוא אחיד לכל אורך מעביר המים ומתקני הכניסה והיציאה. שיפוע אחיד מונע היווצרות סחף בקטעים של שינויי שיפוע. כאשר מדובר במעבר

לשיפוע קטן יותר

במקרים חריגים שבהם לא ניתן לתכנן את מעביר המים בשיפוע אחיד ניתן לבצע שינוי שיפוע בתוך מעביר המים. שינוי השיפוע יהיה בצורת קשת חלקה כדי להקטין שקיעת סחף.

כאשר שינוי השיפוע יהיה מידי (שבר בתחתית) יש צורך בנקודת השבר של השיפועים להוסיף שוחת ביקורת לצורך תחזוקה.

3.2.2 – שיפוע מקסימאלי ומינימאלי במעביר מים

3.2.2.1 – שיפוע מינימאלי של מעביר מים

מעביר מים יתוכנן כך שהשיפוע המינימאלי שלו יאפשר התפתחות מהירות זרימה מתאימה לניקוי לאי שיקוע סחף בהסתברות תכן של 20%. ככלל מומלץ שהמהירות המינימאלית בתוך מעביר המים לא תיקטן מ-1.0 מ"/שנ¹. בהסתברות תכן של 20% במקרים חריגים מהירות הזרימה המינימאלית שדרושה לניקוי מעביר המים יכולה לרדת למהירות של 0.6 מ"/שנ². במקרה זה יגדל בלט מעביר המים מעבר לדרישה של הבלט הסטנדרטי כפי שמופיע בסעיף 3.1.3.2. בנוסף למהירות המינימאלית על המתכנן לקחת בחשבון גם שיקולים של איכות ודיוק ביצוע של מעבירי מים בשיפועים קטנים ביצוע כלומר... מעביר המים בשיפועים קטנים מ 2.5% מסובכים לביצוע בשטח ויש תקלות רבות בהנחתם במיוחד מעבירי מים מאלמנטים טרומיים. במקרה זה נדרש מהמתכנן התייחסות לפתרון של איכות הביצוע ושימוש בביסוס של מעביר המים בצורה יותר מדויקת בשיפועים קטנים מהמצוין.

3.2.2.2 – שיפוע מקסימאלי של מעביר מים

מהירות זרימה מעל ל 8.0 מ"/שנ³ בחתך חלקי בספיקת התכן בתוך מעביר המים נחשבת למהירות מקסימאלית לתכנון במבני בטון רגילים. במקרים חריגים ניתן לתכנן מעל המהירות שהוזכרה תוך שינוי בתכן הבטון שייתן מענה להגנה משחיקה כתוצאה מהמהירות הגבוהה שמפתחת במעביר המים. במעביר מים בשיפוע תלול ומורד בהמשך מתון עלולה נוצרת שקיעת סחף ביציאה ממעביר המים. על המתכנן לקחת בחשבון בתכנון מעביר המים ולאפשר את שיקוע הסחף ללא פגיעה בחתך היציאה של מעביר המים. מעביר מים בשיפועים תלולים מאלמנטים טרומיים מחייב ביצוע של עיגונים. העיגונים יבוצעו בהתאם לגודל מעביר המים, השיפוע האורכי וסוג הקרקע. על מתכנן הניקוז להיוועץ ולקבל את הנחיות יועץ הביסוס והקונסטרוקטור.

¹ Queensland Government, Department of Main Road – Road Drainage Design Manual, June 2002

² הוראות למתקני תברואה (הל"ת)

³ Permissible velocities of various protection materials as a function of flow duration (Hewlett et al. 1987).

3.3 – שיקולים בבחירת חתך וממדי מעבירי המים

בחירת חתך המעביר (מלבני או עגול) וכן מספר הפתחים נובע ממספר שיקולים שעל המתכנן לקחת בחשבון כגון :

- ✓ התכסית שלידה ממוקם מעביר המים
- ✓ מהירויות זרימה בכניסה, בתוך מעביר המים ובמורד
- ✓ שימוש באלמנטים טרומיים
- ✓ שיקולי ביצוע של מעביר
- ✓ שיקולי בקרה ותחזוקה
- ✓ שילובים עם צרכים אחרים
- ✓ כלכליות

3.3.1 – גדלים מינימאליים של מעבירי מים

גודל מינימאלי של מעביר המים נקבע משיקולי תחזוקה ללא תלות לספיקה שעוברת במעביר המים.

הבחירה הראשונה בחתך מעביר המים המינימאלי הוא בחתך עגול משיקולי כלכליות וזמינות. בהתאם למפורט בטבלה מס' 3.4 בהמשך.

הגדלים מינימאליים של מעבירי מים בחתך עגול ובהתאם למיקומם ואורכם מובאים בטבלה הבאה :

טבלה מס' 3.4 – מימדים מינימאליים של מעבירי מים בחתך עגול

מיקום מעביר המים	מעביר מים צינור (Ø מ')
חצייה של כביש מע"צ	Ø1.00 מ'
דרכי שירות, דרכים חקלאיות <u>ודרכים של אחרים</u> <u>בצמתים עם דרכי מעצ</u>	Ø0.80 מ'
מעביר מים ארוך*	Ø1.80 מ'

*.מעביר מים אורך-ארוך נחשב למעבר מים שאורכו יותר מ 60 מ'

במקומות שבהם משיקולים של עומק הכיסוי מעל תקרת מעביר המים והעומסים שהוא נדרש לשאת עדיף שימוש במעביר מים בחתך מלבני. חתך מעביר המים המינימאלי יהיה בהתאם לטבלה הבאה:

טבלה מס' 3.5 – מימדים מינימאליים של מעבירי מים בחתך מלבני

מיקום מעביר המים	מעביר מים מלבני ($H \times B$)
חצייה של כביש מע"צ	1.00×1.00 מ'
דרכי שירות ודרכים חקלאיות <u>ודרכים של אחרים</u> <u>בצמתים עם דרכי מעצ</u>	1.00×0.75 מ'
מעביר מים ארוך*	1.75×1.75 מ'

*.מעביר מים אורך-ארוך נחשב למעבר מים שאורכו יותר מ 60 מ'

3.3.2 – שיקולים בבחירת החתך הגיאומטרי של פתח מעביר המים

מעבירי המים טרומיים מיוצרים מפתחים-בפתחים סטנדרטיים בחתך עגול או מלבני. כאשר מתכננים את חתך הפתח של מעביר המים המתכנן צריך לבחור להעברת ספיקת התכן בסוג החתך המומלץ.

באופן עקרוני העדיפות הראשונה לחתך של מעביר מים הוא בחירה בחתך עגול. לחתך עגול יתרונות הידראוליים על חתך מלבני. בזרימות קטנות בחתך עגול נשמרת מהירות גבוהה בהשוואה לחתך מלבני מקביל ולכן שיקוע הסחף בו יותר קטן. מעבירי מים בחתך עגול מיוצרים מאלמנטים טרומיים ועלותם זולה בהשוואה למעבירי מים מלבניים.

שיקולים אילה הם הקו המנחה בבחירת חתך הפתח כל עוד המעביר לא גורם להעלאת הקו האדום של הכביש או בעיות תשתית במקום.

3.3.2 – מעבירי מים עם מספר פתחים

כאשר לא ניתן להעביר את ספיקת התכן ביותר מפתח אחד במידות סבירות הפתרון הוא שימוש במעביר מים שמורכב ממספר פתחים במקביל. הצורך במספר הפתחים נובע משיקולים שונים כגון :

העדר גובה - כאשר הקו האדום של הכביש נמוך יש צורך בבנייה של מעביר מים ביחס רחב לגובה גדול, כדי להקטין ממדים של רחב-עובי התקרה ולחסוך בעלויות משתמשים במספר פתחים במקום בפתח אחד.
אפיק נחל/תעלה גדול – כאשר יש לחצות את הנחל באזור שבו יש לנחל/תעלה חתך רחבי גדול שמחייב שימוש במספר פחים כדי לגשר על כל רוחב האפיק.

שימוש במרכיבים טרומיים

בביצוע של מספר פתחים מומלץ למתכנן לבחור בין מרכיבים טרומיים ע"פ הביצוע של יציקה בשטח מהסיבות הבאות:

שיקול של כלכליות – מעביר מים טרומי ע"פ-רצב זול מיציקה באתר

איכות הביצוע – מעביר מים טרומי מיוצר בייצור חרושתי בבקרה מלאה וניתן לבדוק אותו לפני שמבצעים את הרכבה בשטח.

מהירות ביצוע – ביצוע של אלמנטים טרומיים מאפשר הרכבה של מעביר המים בשטח בזמן קצר וחוסך סלילה של מעקפים וכו'

מספר הפתחים במעביר המים

המעבר ליותר מפתח אחד במקביל מחייב התייחסות למספר הפתחים שאנו מבקשים לתכנן כדי להעביר את ספיקת התכן.

מעביר מים זוגי ובמיוחד מעביר מים המורכב משני פתחים יוצר מחסום חלקי במרכז הזרימה של התעלה. כתוצאה מזה שוקעים במרכז התעלה עצמים קשים שנצמדים לעמוד לקיר המשותף של שני הפתחים.

בעדיפות על המתכנן לבחור בפיתרון של פתחים אי זוגיים כאשר מדובר במעבירי מים מרובי פתחים.

ניתן לבצע בקיר המרכזי הראשי כניסה הידראולית שכוללת עמוד בולט מעוגל שמאפשר החלקת העצמים שנתפסים במרכז והקטנת השיקוע. הרחבה בנושא ראה בסעיף 3.4.6.3 בהמשך הפרק.

תכנון התחתית במעביר מים מרובה פתחים

מעביר מים בעל עם שלושה פתחים ויותר יתוכנן תוך תיאום והתחשבות בתעלה/נחל שחוצה אותו.

ברוב המקרים בתעלות החוצות רוחב תחתית התעלה קטן מרוחב הפתחים שמתוכננים למעביר המים.

על המתכנן לבצע מול תחתית התעלה את הפתח המרכזי. הפתחים האחרים יהיו מוגבהים

במדרגות בשיעור מינימאלי של 25 ס"מ רצוי בהתאמה מרבית לשיפוע דופן התעלה/נחל כדי לאפשר גם מעבר זרימות קטנות בתוך הפתח המרכזי ולהקטין שיקוע סחף בתוך הפתחים.

3.3.3 – מעביר מים בהרחבת כביש קיים

הרחבת כביש קיים יוצרת בחובה בעיות של התחברות למעביר מים שקיים בכביש הישן. במסגרת הבדיקות שעל מתכנן הניקוז לבצע ייבדק שנית כושר הולכת החתך הקיים של מעביר המים והתאמתו להנחיות החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ. בטבלה מס' 3.6 מתוארים התרחישים השונים והפתרונות לתכנון מעביר המים בהרחבת דרך קיימת :

טבלה מס' 3.6 – תרחישים לפתרון ממדי מעביר מים בהרחבה של דרך קיימת

תוצאות הבדיקה ההידראולית	אופן הטיפול
חתך הפתח הקיים עונה על דרישות התכן בהתאם לסעיף 3.1.3 לעיל	הארכה בהתאם לחתך מעביר המים הקיים
חתך הפתח הקיים לא עומד בדרישות התכן בהתאם לסעיף 3.1.3 לעיל	<u>על המתכנן לבדוק חלופות לפתרון אשר עונות על ספיקות התכן הנדרשות ובהתאם לתנאי השטח*.</u>

*. – הארכת מעביר מים אשר בממדים הקיימים שלו לא מתאימים לקריטריוני התכנון תחייב שיקול דעת ובדיקת חלופות לפתרון אופטימאלי.

כאשר נדרש להאריך מעביר מים קיים לכיוון המורד. ומעביר המים הקיים לא מתאים לקריטריוני התכנון. החלופות אשר עומדות לשיקול הם:

- החלפת מעביר המים הקיים במעלה ובנייה של מעביר מים חדש לכל רוחב הכביש.
- הוספת פתח חדש במקביל לפתח הקיים.

במקרה שבו הארכת מעביר המים היא כלפי המעלה החלופות שמתאימות הם:

- החלפת מעביר המים הקיים במעלה ובנייה של מעביר מים חדש לכל רוחב הכביש.
- הוספת פתח חדש במקביל לפתח הקיים.
- הארכה של מעביר מים רחב במעלה עם חיבור הידראולי כלפי המורד. פתרון זה ניתן ליישום רק עם במורד מתפתחים תנאי זרימה של תעלה בזרימה חופשית.

3.3.4 – מעבירי מים סמי איריים

מעבירי מים סמי איריים מוגדרים כמתקן חצייה שבו הפתח מתוכנן להולכת ספיקת תכן נמוכה (עד הסתברות של 10%). בגלל הפתח הקטן יחסית הכביש /דרך חשופים להצפות בתדירות יותר גבוהה בהשוואה למעביר מים סטנדרטי.
מעבירי מים סמי איריים יתוכננו רק במקומות שבהם יש מעקפים זמניים ובדרכים חקלאיות ודרכי שירות. במידה רמת הדרך מצדיקה זאת.

בתכנון מעביר מים סמי אירי המתכנן צריך לקחת בחשבון את אורך הכביש שצפוי להיות מוצף בהסתברויות תכן יותר גבוהות.
קטע הכביש שמתוכנן להיות מוצף הכביש שנמצא מעל למעביר המים מתוכנן לעמוד בהצפות של המים כאשר הספיקה בנחל/תעלה עוברת את ספיקת התכן של הפתחים.
עקרונות תכנון הידראוליים ראה בסעיף 3.4 בהמשך.
בכל מקרה לא יקטן גודל הפתחים מהגודל המינימאלי בהתאם לטבלאות מס' 3.4 ו 3.5 לעיל מבנה הדרך המוצף יתוכנן מחומרים מתאימים כגון בטון מזוין כדי למנוע הרס של הכביש במעבר המים מעליו.
לצורך זה יקבל מתכנן הניקוז חוות דעת והנחיות מיועץ המבנה והקונסטרוקטור של הפרויקט. המדרונות של הדרך בקטע מעבר המים יתוכננו עם הגנות מתאימות למניעה של ארוזיה
מורד המעבר יתוכנן בהתאם לספיקת התכן של הנחל /תעלה אשר הוא חוצה בהתאם לאמור בפרק של נחלים ותעלות.

סידורי בטיחות

בכניסה לקטע הדרך המוצף יבוצע שילוט עם כיתוב של סכנה דרך מוצפת בשלוש שפות.



מד גובה עם סימון הגובה מהנקודה הנמוכה ביותר ימוקם בנקודה בולטת.
סימון עמודים ויזואליים עם זוהרים (עמודי ו-11 בלוח התמרורים) שמגדירים את רוחב הדרך משני צידי הנחל/תעלה.
בשני צידי החצייה של הערוץ הדרך תתוכנן עם שיני בטיחות בגובה של כ 15 ס"מ למניעה סחיפה של כל רכב.

אחריות תפעול

מעבר סמי אירי מחייב אחזקה ותפעול במהלך החורף באירועים של שיטפונות. החברה הלאומית לדרכים בישראל לא מתחזקת מתקנים מסוג זה. יש לדרוש כחלק מהתהליך הסטטוטורי לקבל מהרשות ו הגוף שיתחזק את המעבר כתב התחייבות (לרשום בהנחיות סטטוטוריות).

3.3.5 – מעבר אירי

מעבר אירי הוא מפגש של דרך עם נחל במפלס תחתית הנחל.
מעבר אירי יתוכנן רק על דרכי שירות תחזוקה ודרכים חקלאיות. שבהם לא צפוי מעבר של כלי רכב וכלים חקלאיים בימי גשם חודשי-חורף או שרמת השירות של הדרך השורות/חקלאית לא מצדיקה פתרון ברמה גבוה יותר.
מעבר אירי יתוכנן בדרכים שבהם בקיץ לא צפויה זרימה של מים.

הירידה לתחתית הנחל דרך הגדות תתוכנן בשיפוע מינימאלי של 1:40.
מבנה הדרך המוצף בהסתברות תכן של 1:10 שנים.
מעברים איריים ברוחב תחתית מעל 8.0 מ' יתוכננו בנוסף לתכנון הידראולי גם ע"י קונסטרוקטור ויועץ ביסוס יתוכנן עם ציפוי קשיח כגון בטון מזוין או חומרים מתאימים בהתאם להנחיות יועץ המבנה של הכביש.

המדרונות של הדרך בקטע מעבר המים יתוכננו עם הגנות מתאימות למניעה של ארוזיה.
גובה ההגנות יהיה בהתאם להנחיות בטבלאות בפרק 7 בהמשך

סידורי בטיחות

בכניסה לקטע הדרך המוצף יבוצע שילוט עם כיתוב של סכנה דרך מוצפת בשלוש שפות.
מד גובה עם סימון הגובה מהנקודה הנמוכה ביותר ימוקם בנקודה בולטת..



אחריות תפעול

מעבר אירי מחייב אחזקה ותפעול במהלך החורף באירועים של שיטפונות.. החברה הלאומית לדרכים בישראל לא מתחזקת מתקנים מסוג זה. יש לדרוש כחלק מהתהליך הסטטוטורי לקבל מהרשות והגוף שיתחזק את המעבר כתב התחייבות (לרשום בהנחיות סטטוטוריות).

מעבר אירי בצירים של מעצ – החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ
מעבר אירי יכול להיבנות גם כפתרון זמני בצירים מסוימים של החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ. כאשר הפתרון לא משנה את רמת השירות של הדרך וגם אז באישור מפורש של אגף הנדסה בלבד.
תכנון המעבר במקרה כזה יותאם הן לנחל והן לתכנון הגיאומטרי של הדרך עם הדגש מיוחד לבעיית רצף שדה ראיה מחד והתאמה למצב האפיק מאידך.

3.4 – הידראוליקה של מעבירי מים

3.4.1 – כללי

החשוב של הערמות המים במעביר המים היא תוצאה של ניסויים ומחקרים שבוצעו במהלך השנים לבחינת השפעות השונות של גודל הפתח והספיקה, שיפוע מעביר המים ומתקני הכניסה של מעביר המים.

מבחינה הידראולית מסווגים מעבירי המים לשני סוגים עקרוניים :

מעביר מים בתנאי בקרה בכניסה (INLET CONTROL) – גובה המים במעלה מעביר המים נקבע מהגודל וצורת הפתח במעלה ללא תלות והשפעה של מורד הנחל/תעלה.
מעביר מים בתנאי בקרה ביציאה (OUTLET CONTROL) – גובה המים נקבע כתלות בגובה המים במורד מעביר המים. מעביר המים יכול להיות מטובע פיסית (כלומר המים במורד מטבעים את פתח מעביר המים) וגם מטובע הידראולית כאשר עדיין ישאר מרווח חופשי בין פני המים לבין תקרת מעביר המים.

למעבירי מים בתנאי בקרה בכניסה זרימת מים במהירות גבוהה בגובה רדוד. שמסווגת לזרמה על קריטית. כאמור במצב זה חתך הבקרה של מעביר המים נמצא בכניסה ישר עם התחלת חתך מעביר המים.

ההיפך מזה הוא מעביר המים שבו מתקיים תנאי בקרה ביציאה. מהירות המים נמוכה וגובה המים גבוה. הזרימה נחשבת לזרימה תת קריטית.
הנוסחאות שמוצגות בהמשך הפרק פותחו עבור מעבירי מים שאורכם הוא קצר. קשה לקבוע את הסיום של התנהגות מעביר המים כיחידה אחת ומעשה הפיכתו למובל תיעול עם פתח ביציאה ופתח בכניסה אבל מקובל לקחת את המרחק 60 מ' כמרחק המקסימאלי למעביר מים קצר.

במעביר מים ארוך על המתכנן לחשב את הקו ההידראולי בתוך מעביר המים בהתאם למקובל בחישוב פרופילי זרימה. מוצא מעביר המים ומעלה מעביר המים יחושבו בהתאם להנחיות כמפורט בהמשך הפרק.

3.4.2 – מעביר מים מחושב לפי תנאי בקרה בכניסה (INLET CONTROL)

הספיקה במעביר מים לפי תנאי בקרה בכניסה נגזרת משטח חתך מעביר המים וממתקן הכניסה של מעביר המים.

תנאי בקרה בכניסה מופיעים כאשר לאורך מעביר המים מתקיים מעבר של המים לזרימה בגובה הקריטי. במצב זה השפעת המורד על המעלה מתבטלת והערמות המים נוצרת כתוצאה מתנאי הכניסה ושטח החתך של מעביר המים.

רצ"ב שירות אשר ממחיש פרופילי זרימה עקרוניים לאורך מעביר המים בתנאי בקרה בכניסה:

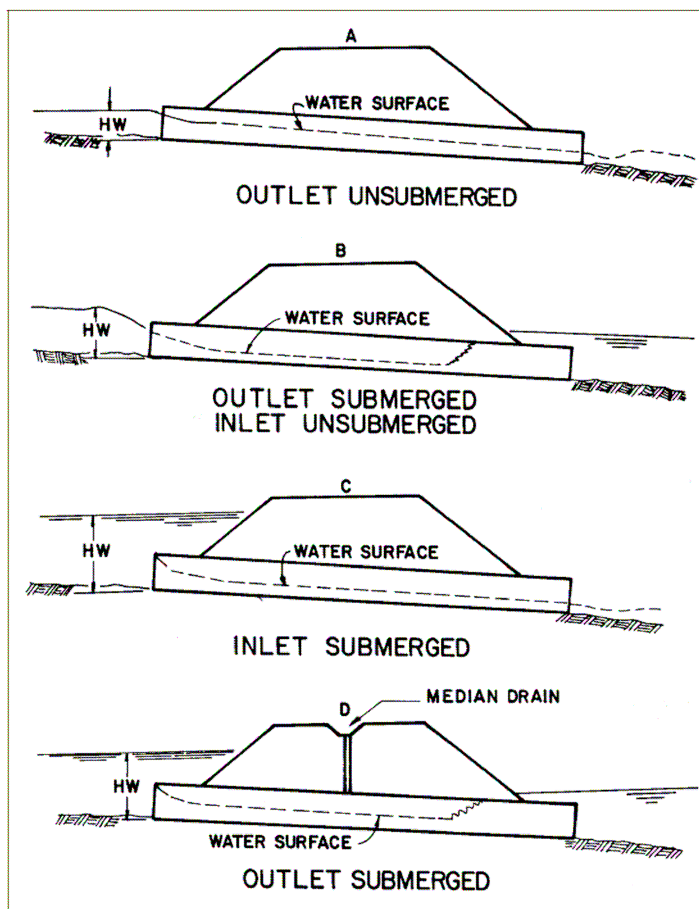


Figure III-1--Types of inlet control

מצב A – מצב A מראה זרימה לאורך מעביר המים כאשר גם הכניסה וגם היציאה למעביר המים אינם מטובעים. יש מעבר של הגובה הקריטי ישר במורד הכניסה למעביר המים. הזרימה בתוך מעביר המים היא על קריטית וחופשית לאורך כל מעביר המים. היציאה המובל מגיע לגובה התקין של חתך מעביר המים.

מצב B – מצב B יחסית נדיר ולא אופייני כאשר המוצא מטובע והכניסה חופשית. יש מעבר לגובה הקריטי שמתרחש בתוך מעביר המים וגורם גם להופעה של זנק הידראולי בתוך מעביר המים.

מצב C – מצב יותר אופייני לתנאי תכנון כאשר הכניסה למעביר המים מטובעת והזרימה בתו מעביר המים היא חופשית במהירות על קריטית כאשר יש מעבר דרך הגובה הקריטי בתוך מעביר המים. ליד היציאה המהירות מתייצבת על הגובה התקן של חתך מעביר המים.

מצב D – מצב מיוחד ולא אופייני שמראה שגם כאשר יש טיבוע של המעלה והמורד עדיין במקרים שבהם יש פתח אוורור בתעלת האי האמצעי יש אפשרות של כניסת אויר הזרימה דרך הגובה הקריטי בתוך מעביר המים.

חישוב הערמות המים במצב של תנאי בקרה בכניסה (INLET CONTROL)

חישוב הערמות המים במעלה מעביר המים במצב של תנאי בקרה בכניסה מבוסס על ניסויים שבוצעו בארה"ב והועלו במספר פרסומים במהלך השנים

מעביר מים בתנאי בקרה חופשיים

הנוסחאות לחישוב מעביר מים בתנאי בקרה בכניסה במצב לא מטובע הם כדלקמן :

$$(3.1) \quad \frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[\frac{K_u Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S^2$$

$$(3.2) \quad \frac{HW_i}{D} = K \left[\frac{K_u Q}{AD^{0.5}} \right]^M$$

הנוסחה לחישוב מעביר מים בתנאי בקרה בכניסה במצב מטובע היא כדלקמן :

$$(3.3) \quad \frac{HW_i}{D} = c \left[\frac{K_u Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S^2$$

כאשר :

HW_i -	הערמות המים במעלה מעביר המים (מ')
D -	הגובה הפנימי של מעביר המים (מ')
H_c -	האנרגיה בגובה הקריטי (מ') שמורכבת הגובה הקריטי והעומד
Q -	המהירות בגובה הקריטי $(d_c + V_c^2 / 2g)$ ספיקה (מ"ק/שנ')
A -	שטח חתך מלא של מעביר המים (מ"ר)
S -	שיפוע אורכי (מ'/מ')
K, M, c, Y -	מקדמים ראה טבלה בנספח מס' 1
K_u -	מקדם תיקון והמרה ליחידות מטריות – 1.811

הערות :

נוסחאות מס' 3.1 ו 3.2 מתאימות עד לערך של $Q/AD^{0.5} = 1.93$ -

במעביר מים עם מתקן כניסה מקביל לשיפוע של המדרון (Mitered Inlet) השתמש במקדם תיקון לשיפוע של מעביר המים ב $+0.7S$ במקום $-0.5S$.

הנוסחה של מעביר מים מטובע מתאימה מעל הערך של $Q/AD^{0.5} = 2.21$ -

3.4.3 – מעביר מים מחושב לפי תנאי בקרה ביציאה (OUTLET CONTROL)

הספיקה שעוברת במעביר המים לפי תנאי בקרה ביציאה נקבעת ע"י מתקן היציאה, חתך מעביר המים גובה המים במורד התעלה (TW) או שילוב שלהם.
תנאי בקרה ביציאה קוראים ע"פ רוב כאשר מעביר המים מונח בשיפוע מתון פחות מ 1% או כאשר גובה המים של התעלה סמוך למתקן היציאה (TW) משמעותי.
חישוב הערמות המים במעלה היא פונקציה של מספר פרמטרים שקשורים לגובה המים ביציאה ואיבודי האנרגיה השונים והמהירות של המים.
רצ"ב צורות שונות של פרופילי זרימה במעבירי מים מטובעים :

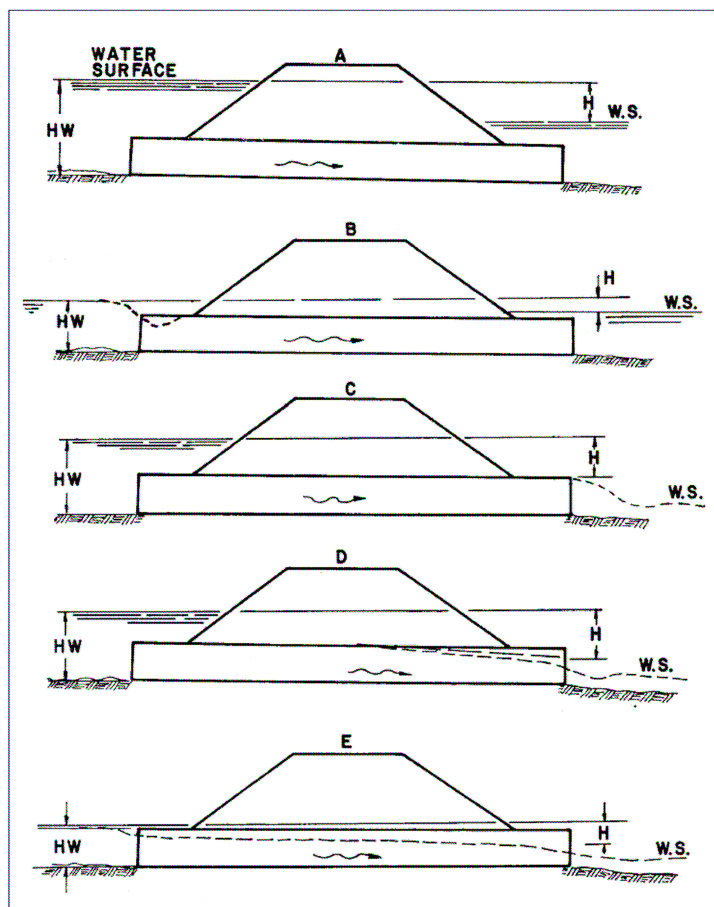


Figure III-7--Types of Outlet Control

מצב A – מראה את המצב הקלאסי של מעביר מים בזרימה מחתך מלא כאשר גם המוצא וגם הכניסה מטובעים פיסיית

מצב B – מצב שבו בגלל הערמות מים רדודה מעל תקרת מעביר המים בכניסה יש קטע קצר של מעביר המים שאינו מטובע. המשך הזרימה בתוך המובל וכן המוצא מטובעים.

מצב C – מצב C הוא מצב נדיר שמופיעה לעיתים רחוקות והוא תוצאה של הערמות מים גדולה במעלה וזרימה בתוך מעביר המים היא בחתך מלא כולל במוצא. בתעלה במורד גובה המים יותר נמוך. מייד לאחר שהמים יוצאים ממעביר המים יש שפילה לכיוון המורד.

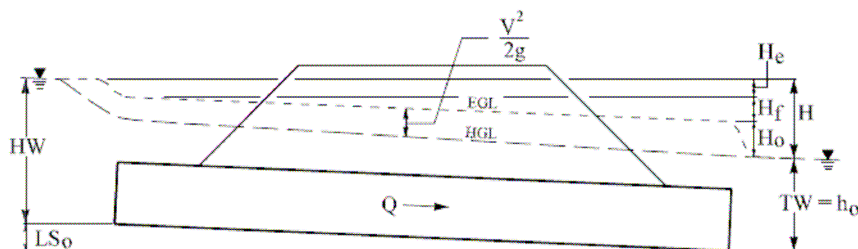
מצב D – במעלה יש הערמות מים ובחתך מעביר המים קיימת זרימה מלאה בחלקו העליון לקראת היציאה יש שפילה אל מתקן היציאה המים עוברים דרך הגובה הקריטי בתוך מעביר המים.

מצב E – במצב זה גם הכניסה וגם היציאה של מעביר המים לא מטובעים, מעבר המים בתוך המעביר גם כן חופשי.

חישוב הערמות המים במצב של תנאי בקרה ביציאה (OUTLET CONTROL)
הנוסחה לקביעת הגובה במעלה היא נוסחה של שיווי האנרגיה בין המעלה למורד.
הנוסחה הבסיסית לחישוב היא כדלקמן :

$$(3.4) \quad HW = H + h_o - LS_o$$

רצ"ב סכמה שמסבירה את המושגים השונים בחישוב מעביר מים :



כאשר :

- HW - הערמות המים במעלה מעביר המים (מ')
- H - סך כל הפסדי האנרגיה לאורך מעביר המים (מ')
- h_o - גובה המים המשוער ביציאה ממעביר המים (מ')
- LS_o - הפרש הגובה בין רום תחתית היציאה לרום תחתית הכניסה של מעביר המים (מ')
- EGL - קו האנרגיה לאורך מעביר המים
- HGL - השיפוע ההידראולי לאורך מעביר המים

הפסדי האנרגיה לאורך מעביר המים

סה"כ הפסדי האנרגיה לאורך מעביר המים מסוכמים בנוסחה הבא :

$$(3.5) \quad H = H_e + H_f + H_0 + H_b + H_j + H_g$$

כאשר :

H - סך כל הפסדי האנרגיה לאורך מעביר המים (מ')

H_e - הפסדים בכניסה למעביר המים (מ')

H_f - הפסדי חיכוך לאורך מעביר המים (מ')

H_0 - הפסדים ביציאה ממעביר המים (מ')

H_b - הפסדים מעיקולים במעביר המים (מ')

H_j - הפסדים מהצטלבויות במעביר המים (מ')

H_g - הפסדים מסבכות (מ')

הפסדים שנובעים מעיקולים, הצטלבויות וסבכות מומלץ למתכנן לקרוא במדריך תכנון של
FHWA מספר HDS5 – HYDRAULIC DESIGN HIGHWAY CULVERTS, פרק 6

הפסדי כניסה

חישוב הפסדי הכניסה למעביר מים בהתאם לנוסחה הבאה :

$$(3.6) \quad H_e = K_e \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

כאשר :

H_e - הפסדים בכניסה למעביר המים (מ')

K_e - מקדם פתח (ראה טבלה מצורפת בנספח מס' 1)

V - המהירות בתוך מעביר המים (מ'/שנ')

g - תאוצת הכבידה (9.81 ממ'/שנ'²)

מקדם פתח (K_e) נקבע ע"י ניסויים שבוצעו בארה"ב בהתאם לתבניות של מתקני כניסה
שונים כפי שניתן

הפסדים ביציאה

חישוב הפסדי הכניסה למעביר מים בהתאם לנוסחה הבאה :

$$(3.7) \quad H_o = 1.0 \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

כאשר :

H_o - הפסדים ביציאה ממעביר המים (מ')

V - המהירות בתוך מעביר המים (מ'/שנ')

g - תאוצת הכבידה (9.81 מ'/שנ'²)

הפסדי חיכוך

הפסדי החיכוך מבוססים על נוסחת מאנינג חישוב ההפסדים בהתאם לנוסחה הבאה :

$$(3.8) \quad H_f = \left(\frac{19.63n^2 L}{R^{1.33}} \right) \frac{V^2}{2g}$$

כאשר :

H_f - הפסדי חיכוך לאורך מעביר המים (מ')

V - המהירות בתוך מעביר המים (מ'/שנ')

R - רדיוס הידראולי (מ')

L - אורך של מעביר המים (לא כולל מתכני הכניסה והיציאה) (מ')

n - מקדם מאנינג ראה נספח מס'

g - תאוצת הכבידה (9.81 מ'/שנ'²)

סיכום הפסדי הכניסה, היציאה והחיכוך בנוסחה אחת שמשלב את נוסחאות 3.6, 3.7, ו 3.8

כדלקמן :

$$(3.9) \quad H = \left[1 + K_e + \frac{19.63n^{2L}}{R^{1.33}} \right] \frac{V^2}{2g}$$

גובה המים ביציאה ממעביר המים (h_o)

גובה המים ביציאה ממעביר המים נקבע כדלקמן :

כאשר גובה המים בתעלה (TW) גבוה מפתח מעביר המים מצבים A ו B בשרטוט בסעיף 3.4.3 (מעביר המים מטובע מורד) אזי

$$(3.10) \quad h_o = TW$$

כאשר גובה המים שווה לגובה הפתח בהתאם למצב C בשרטוט בסעיף 3.4.3 אזי

$$(3.11) \quad h_o = D$$

במצב D ובמצב E בהתאם לשרטוט בסעיף 3.4.3 אפשר להשתמש בקירוב ראשוני לגובה המים במורד לפי הנוסחה הבאה :

$$(3.12) \quad h_o = \frac{d_c + D}{2}$$

כאשר :

d_c - גובה קריטי בחתך של מעביר המים (מ')

D - גובה מעביר המים (מ')

יש לציין שבמצב E הנוסחה לעיל מתאימה בקירוב טוב עד להערמות מים שהיא $0.75D$ ומעלה.

במידה ומתקבל בתהליך החישוב גובה יותר נמוך של הערמות המים יש צורך בביצוע של פרופיל זרימה בתוך מעביר המים לחישוב יותר מדויק של הערמות המים במעלה.

מהירות הזרימה בתוך מעביר המים

מהירות הזרימה הממוצעת המשמשת לחישוב ההפסדים השונים. מחושבת לפי גובה המים בחתך מעביר המים

כאשר $D > TW$ מהירות המים במעביר המים תחושב מהנוסח הבאה :

$$(3.13) \quad V = \frac{Q}{A}$$

כאשר :

V - המהירות במעביר המים (מ'/שנ')

Q - ספיקה (מ"ק/שנ')

A - שטח חתך מלא של מעביר המים (מ'/שנ')

כאשר $d_c < TW < D$ מהירות הזרימה במעביר המים תחושב כדלקמן :

$$(3.14) \quad V = \frac{Q}{A_{TW}}$$

A_{TW} - השטח במעביר המים כתוצאה בגובה של המים תעלת המוצא (TW)

כאשר $TW < d_c$

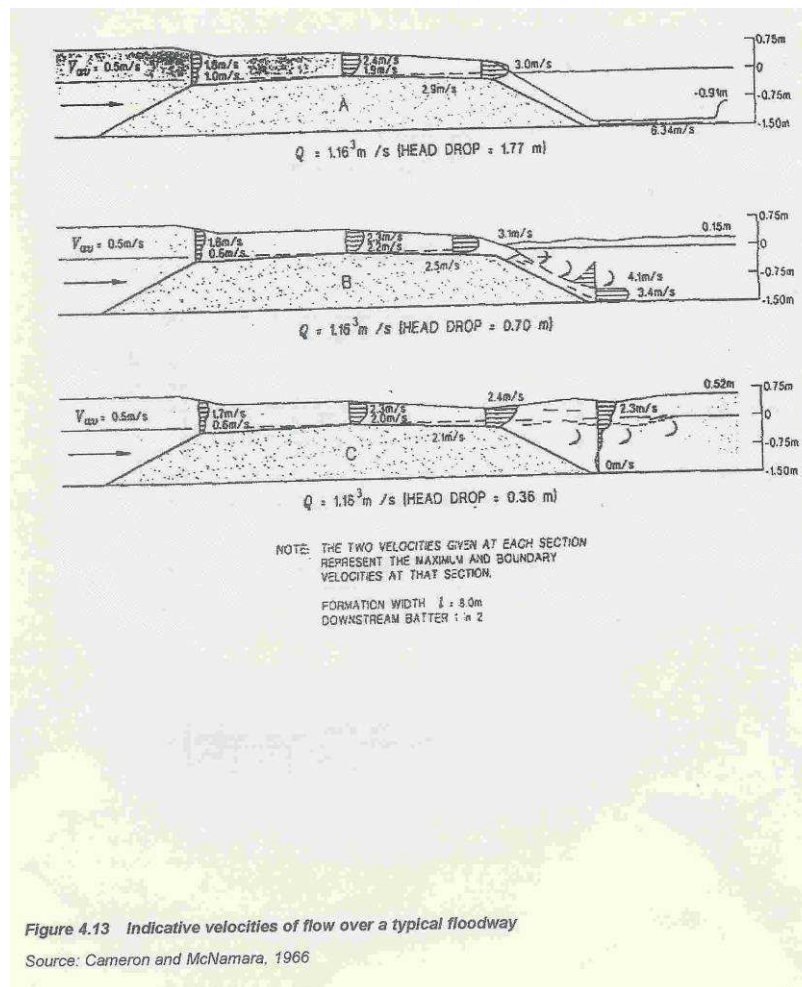
מהירות הזרימה במעביר המים תחושב בהתאם לשטח שנוצר כתוצאה מהגובה הקריטי שבתוך מעביר המים כדלקמן

$$(3.15) \quad V = \frac{Q}{A_c}$$

3.4.4 – דרכים מוצפות

מבחינה הידראולית בדרכים מוצפות נחלקת העברת הנגר ממעלה מעביר המים למורד דרך שני מקומות. חלק מהספיקה של הנחל עוברת דרך מעביר המים ואילו חלקו השני גולש מהדרך אל המורד.

רצ"ב חתך אופייני של הזרימה בדרך מוצפת ובהתאם לסוג הטיבוע השונים :



הספיקה הכללית שמגיעה מהמעלה נחלקת כאמור לספיקה דרך פתח מעביר המים שמחושבת בהתאם לכל הכללים של חישוב מעביר המים כפי שפורטו בסעיפים 3.4.3 ו 3.4.2 לעיל.

חישוב הספיקה שעוברת מעל הכביש בהתאם לנוסחת מגלש כדלקמן :

$$(3.16) \quad Q = C_f L \cdot H \left(\frac{C_s}{C_f} \right)$$

כאשר :

Q - ספיקה שעוברת מעל הדרך (מ"ק/שנ')

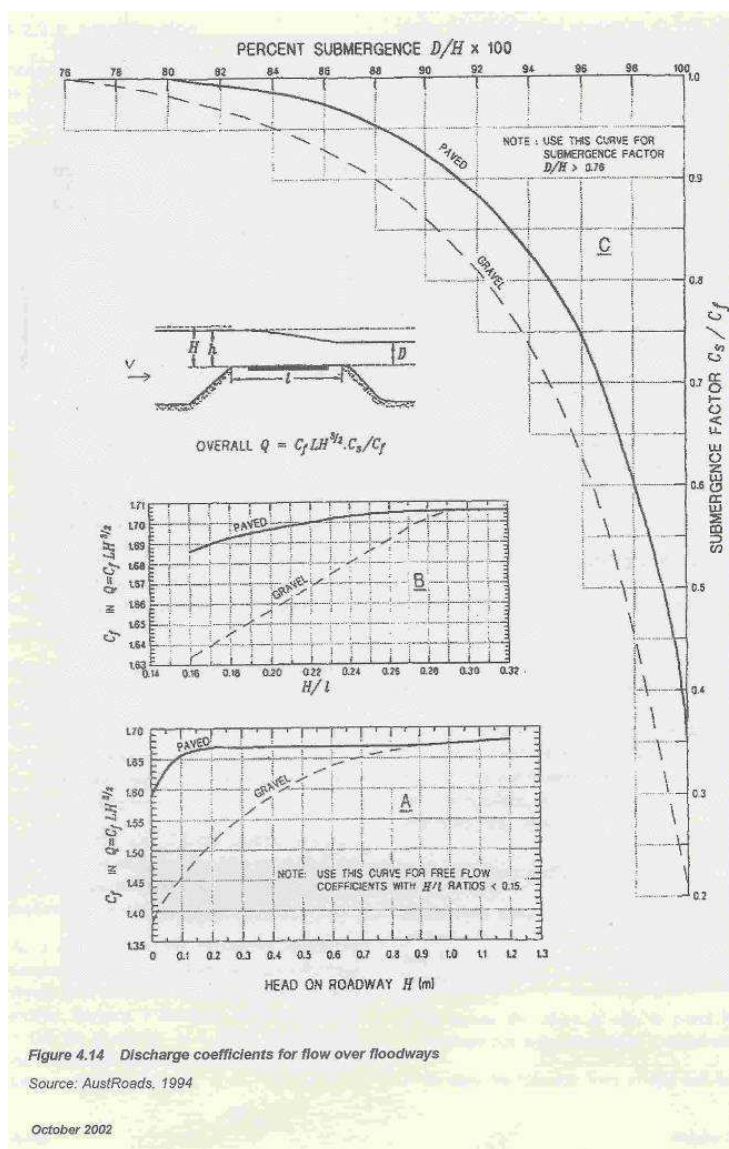
C_s - מקדם של מגלש חופשי

C_f - מקדם למגלש מטובע

H - הערמות המים במעלה נמדדת מגובה העליון הכביש המוצף (מ')

מציאת מקדמי המגלש השונים היא פונקציה של רמת הטיבוע במעביר המים

בהמשך ישנן מונוגרמות של מציאת המקדמים של המגלש בהתאם לטיבוע מעביר המים שהוא תוצאה של גובה המים במורד הכביש.



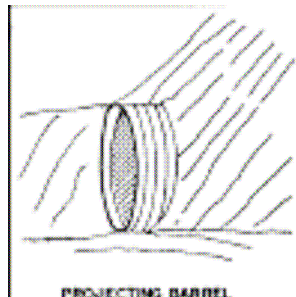
3.4.5 – מתקני כניסה ויציאה

3.4.5.1 – מתקני כניסה

מתקני הכניסה בנוסף לגודל מעביר המים קובעים במידה רבה את גובה המים בכניסה למעביר המים וכפועל יוצא את השטח שמוצף כתוצאה מהערמות המים במעלה. קיימים מספר טיפוסים של מתקני כניסה שנועדו לפתור את בעיות הידראוליות (הקטנת גובה הערמות המים במעלה) וכן בעיות גיאומטריות שקושרות בין הכביש, פני השטח והנחל שבמעלה מעביר המים והשטח שמוקצה במסגרת התב"ע לתכנון. קיימים מספר סוגים עקרוניים של מתקני כניסה שיתוארו בקצרה. לפירוט יתר של מידות השונות מומלץ שהמתכנן יעיין במדריך התכנון של FHWA : HDS 5 - HYDRAULIC DESIGN of HIGHWAY CULVERTS

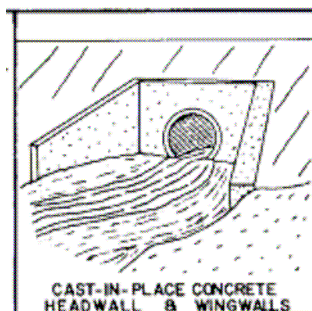
א. מעביר מים ללא מתקן כניסה (PROJECTING BARREL)

מעביר מים שמונח כאשר אין טיפול בקצה הפתח. הפתח בולט מפני המדרון. פתרון זה הוא בעייתי מבחינה הידראולית ויוצר הערמות מים גבוה במעלה. השימוש במתקן כניסה זה אינו מומלץ. ניתן להשתמש במעבירי מים ללא מתקני כניסה כאשר מבצעים מעקפים זמניים בלבד ולחציית דרכי אחזקה.



ב. מתקן כניסה עם כנפיים נפתחות (FLARED END SECTION)

מתקן כניסה שבו עם כנפיים משופעות לכיוון התעלה. מתקן כניסה זה הוא המועדף לשימוש בתכנון מעבירי מים. היעילות ההידראולית שלו גבוהה. הכנפיים והכנפונים בסוף המתקן תומכים את המדרון שקרוב אל הפתח ומקטינים את הצורך בדיפון המדרונות נגד ארוזיה.

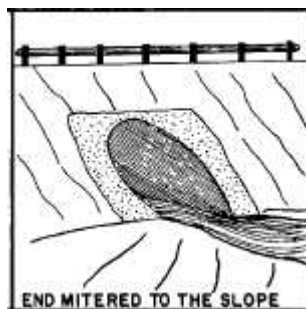


ג. מתקן כניסה של קיר מצח (HEADWALLS)

מעביר מים עם כנפיים בצורה של קיר מצח. פתרון זה מתאים בד"כ כאשר מחברים תעלות מלבניות או במקמות שבהם יש בעיות של יציאה מתחום רצועת הכביש_כתוצאה ממילוי גבוה. של פני הכביש ומעבירי מים בממדים גדולים. מבחינה הידראולית מעביר מים עם כנפיים מצח פחות יעיל ממעביר מים עם כנפיים נפתחות.

ד. מתקן כניסה מקביל לשיפוע במדרון (END MITERED to the SLOPE)

מתקן כניסה שבו קצה מעביר המים חתוך במקביל לשיפוע המדרון. בנוסף יש דיפון של המדרון ליד מעביר המים. בד"כ לא מומלץ להשתמש בהם כיוון שהם פחות יעילים ממעבירי מים עם כנפיים



3.4.5.2 – מתקני יציאה

מתקן היציאה במעביר המים מיועד למספר מטרות כדלקמן:
שמירה על מוצא מעביר המים מחתירות שנובעות מהמהירות הגדולה של המים בתוך המעביר מים בהשוואה למהירות הזרימה שלהם בתעלה או בערוץ הנחל הטבעי.
תמיכה של מדרון הכביש ומניעת חתירות של מים במדרון הכביש שקרוב למעביר המים
רצוי שמתקן היציאה של מעביר המים יהיה זהה למתקן הכניסה משיקולים של ביצוע ואחזקה שוטפת.
במקרים חריגים המתקנים יהיו שונים בגלל בעיות של מקום וסמיכות לכבישים אחרים שמחייבת התייחסות פרטנית בהתאם למצב בשטח.

אורך הדיפון ביציאה ממעביר המים

ביציאה ממעביר המים יבוצע דיפון של קטע שמחבר בין כנפי מעביר המים והתעלה/נחל שבמורד.
לדיפון יש שתי מטרות האחת מניעה של מיחתור מתחת למתקן היציאה של מעביר המים והשנייה הגנה על מורד התעלה ופיזור הנגר שמגיע במהירות יותר גבוהה ממעביר המים אל התעלה במורד.
אורך הדיפון ביציאה מהמתקן יתוכנן בהתאם לנוסחאות האמפיריות הבאות שפותחו ע"י הסוכנות להגנה הסביבה בארה"ב:

$$(3.17) \quad TW \leq \frac{D_0}{2} \quad \text{כאשר} \quad L_a = \frac{3.26Q}{D_0^{3/2}} + 7D_0$$

$$(3.18) \quad TW > \frac{D_0}{2} \quad \text{כאשר} \quad L_a = \frac{5.44Q}{D_0^{3/2}} + 7D_0$$

כאשר:

D_0 - הקוטר הפנימי של מעביר המים (מ')

Q - ספיקת תכן (מ"ק/שנ')

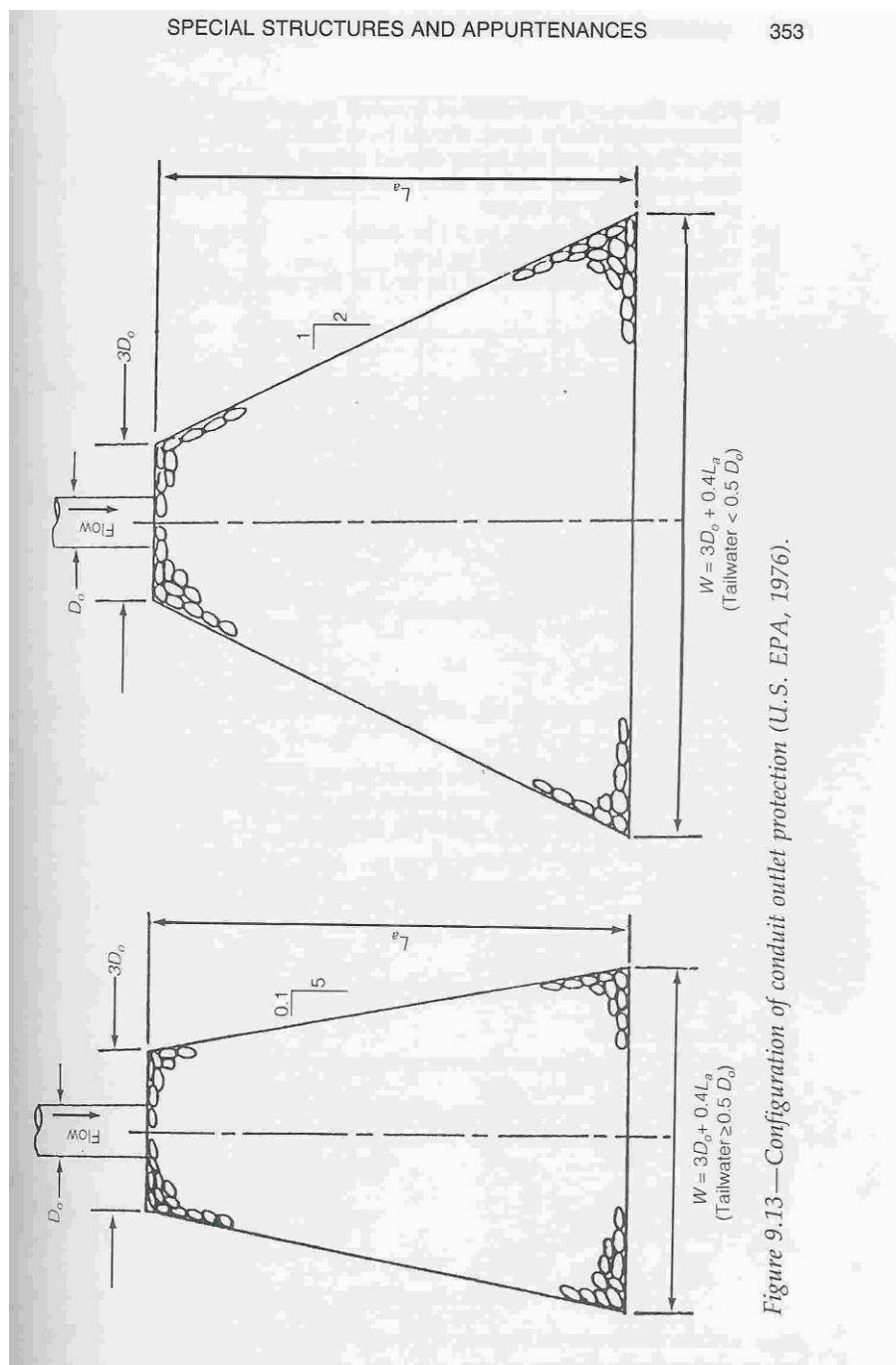
TW - גובה המים בתעלה במורד מעביר המים (מ')

כאשר אין הגדרה ברורה של התעלה במורד מעביר המים והערוץ שקיים הוא עם דפנות מתונות. רוחב הדיפון בקצה מתקן היציאה יהיה כדלקמן:

$$(3.19) \quad TW \leq \frac{D_0}{2} \quad \text{כאשר} \quad W = 3D_0 + 0.4L_a$$

$$(3.20) \quad TW > \frac{D_0}{2} \quad \text{כאשר} \quad W = 3D_0 + L_a$$

יש להדגיש שנוסחאות לרוחב הדיפון הם במקום שהתעלה אינה ברורה ויש ערוץ זרימה עם שיפועי דופן מתונים. בתעלות עם שיפועי דופן גדולים (1:4) וכדומה יש לדפן את המשך היציאה כולל התחברות לרוחב הקיים של התעלה.



3.4.6 – מתקנים נוספים

3.4.6.1 – שבירת אנרגיה

מתקנים לשבירת אנרגיה מיועדים להקטין את מהירויות הזרימה ואופי הזרימה של המים בתעלה/מובל. כאשר המהירויות עולות נוצרות זרימות טורבולנטיות חריפות אשר פוגעות בחתך התעלה/מובל וגורמות נזקים למתקני הניקוז ולתשתיות נוספות שסמוכות. את הצורך לבחירת מתקן שבירת נגר יחליט מתכנן הניקוז בהתאם לתנאים בשטח. מיקום המתקן לשבירת האנרגיה יכול להיות במעלה או במורד מעבר המים לאחר מתקני הכניסה והיציאה.

סוגי מתקנים לשבירת אנרגיה

קיימים מגוון רחב של מתקנים לשבירת אנרגיה שהם תוצאה של ניסויים שבוצעו במעבדות ואוניברסיטאות ברחבי העולם. אנו ממליצים על המדריך HEC14 של ה FHWA שנכתב עבור נושא זה:

Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels

במדריך מפורטים הסוגים השונים ותנאי השימוש בהם בהתאם למספר פרוד וסוגי הקרקע ותנאים נוספים.

מפנת תשומת לב המתכנן לפתרון הפשוט ביותר ככל שניתן במיוחד בחירה בפתרונות של מעבר הדרגתי של חתך הזרימה שלא מחייב בניית מכשולים שונים בצד או בקרקעית התעלה/מעביר המים.

ביצוע של מתקני שיכוך בתוך מעביר המים אינו מומלץ בשיקולי אחזקה ויש לקבל את אישור מוקדם לתכנון מתקן מסוג זה מאגף הנדסה וסביבה בחברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ.

3.4.6.2 – פיזור נגר

פיזור נגר במורד מעביר מים נדרש כאשר מעביר המים מתוכנן בערוץ זרימה עם שיפועים מתונים ביותר. ערוצים ממין זה אופייניים באזורים מישוריים או גבעים מתונים כאשר הערוץ הוא חלק מפרדס או שדה חקלאי.

מעביר המים מטבעו הוא גורם שמרכז את הנגר בנקודת חציית הכביש. בהעדר הפנייה לתעלה או נחל בתוואי ברור וחתך זרימה מוגדר יש צורך בביצוע של מתקן לפיזור נגר בזרימה רחבה כדי למנוע חירוף יתר וארוזיה במורד.

רוחב הפיזור בהתאם לחישוב רוחב זרימת המים בערוץ האובאלי ללא מעביר מים.

אמצעים מקובלים לפיזור נגר:

- ❖ שינוי הדרגתי של חתך מתקן היציאה ממעביר המים.
- ❖ ביצוע מגלש ביציאה מעביר המים ברוחב פיזור מתאים
- ❖ בריכה (לימן) במורד מעביר המים שקולט את הנגר ומפזר אותו במספר מוקדים.

מודגש שאמצעים לפיזור נגר יוצרים בעיות של שיקוע סחף בתווך בינם לבין מעביר המים.
יש להתחשב בתכנון ולאפשר מרווח מספיק גדול לכניסת כלים מכנים לניקיון וכן להבטיח
שמפלס הפיזור יתוכנן נמוך ככל הניתן ממפלס תחתית מעביר המים. בכל מצב אסור
שמפלס הגלישה יגרום לטיבוע מעביר המים.

3.4.6.3 – שיקוע סחף

שיטפונות וגאוויות בנחלים, תעלות וערוצים מקומיים מכילים בתוך המים כמויות גדולות של סחף שמורכב מעפר, אבנים וסלעים, גרוטאות שברי עץ וניילונים. הצטברות הסחף במעבירי המים הוא אחד הגורמים המרכזיים להצפות של דרכים. ניקוי הסחף מהווה את עיקר התחזוקה השוטפת של מתקני הניקוז בכלל ומעבירי מים בפרט ולכן הקטנת הסחף וריכוז במקומות מוגדרים מסייע ומקטין עלויות בתחזוקה השוטפת של מעבירי מים לאורך הדרך.

פתרון בעיות הסחף מתחלק לשני פתרונות עקרוניים :

- א. **מעבר דרך מעביר המים** – הגדלת הבלט במעביר המים מעבר לדרוש מבחינה הידראולית כך שהסחף וכן החלקים הגדולים שהוא נושא יעברו דרך הפתח ולא ישקעו או יעצרו בכניסה למעביר המים. ראה התייחסות בסעיף 3.1.3.2 לעיל.
- ב. **תפיסה** – תפיסה של הסחף באמצעות הפרדה או שיקוע במעלה מעביר המים.

תפיסה של סחף

מבחינים בין שני סוגי סחף כדלקמן :

- ✓ **עצירת סחף ע"י הפרדה או הסטה** – בעיקר סלעים ואבנים גדולות, שברי עץ, גרוטאות מתכת ויריעות פלסטיות.
- ✓ **עצירת סחף ע"י שיקוע** – עפר או אבנים קטנות שלא ניתנים לעצירה ע"י הפרדה

ביצוע של פתרון מסוג זה מחייב סיור מוקדם של המתכנן ובדיקה שאכן יש בשטח סימנים לתופעה של חלקים גסים שמוסעים ע"י הנגר. בעיקר באזורים מיוערים או האזורים חקלאיים שבהם נצפו שרידים של יריעות פלסטיות.

פתרונות לסחף שניתן לבצע הפרדה/הסטה

קיימים מספר שיטות עקרוניות לביצוע הפרדה או הסטה של עצמים גדולים בכניסה למעבירי מים. השיטות מתייחסות לבעיות הסחף השונות, ממדי מעביר המים וה
הסטה (DEFLECTORS) – יצירה של מסגרת תלת ממדית בצורת חץ בכניסה למעביר מים בפלדה או עץ שגורמת להסטת עצמים גדולים בפתח הכניסה של מעביר מים כדוגמה של התמונה הבאה :



סבכות (RACKS) – ביצוע של סבכות במרווחים קבועים במעלה מעביר המים. רשת הסבכות עוצרת את הסחף על ציר אפיק הזרימה



כלוב סגור (Crib) – בנייה של כלובי מכניסה למעביר המים משלבים של מתכת, בטון או עץ. שלא מתקני ההסטה העלוב הסגור כולל שלבים אנכיים ואופקיים. השימוש במתקן זה מקובל במוצאים ממתקנים משולבים עם בריכת שיקוע.



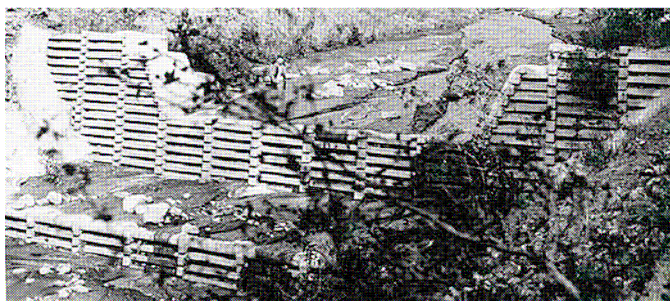
סנפירים (FIN) – מתקן דמוי סנפיר בכניסה למעביר המים שמונע את הצטברות ומסיט אותו כלפי מרכז הפתח. פתרון זה מקובל מאוד במעבירי מים עם מספר פתחים כפי שרואים בתמונה הבאה:



פתרונות לשיקוע סחף

בריכת שיקוע – בריכת שיקוע לפני הכניסה למעביר מים במפלס יותר נמוך ממפלס תחתית מעביר המים שמאפשר שיקוע וצבירה של הסחף. בריכות השיקוע מחייבות תחזוקה שנתית שוטפת של ניקוי הסחף המצטבר.

סכרים – ביצוע של סכר על אפיק הנחל/תעלה והגלשת המים למורד מעביר המים. מקובל לשימוש באפיקי מים צרים. ביצוע מתקן מסוג זה מחייב תכנון סכר לכל דבר עם חישובי יציבות וחישובים הידראוליים של גבהי מים במעלה ובמורד.



גלישה עילית (Risiers) – בנייה של פתח אנכי במעביר המים שמאפשר גלישה של המים לתוך מעביר המים כאשר פתח הכניסה סתום. מתקן מסוג זה מחייב התייחסות לבטיחות כיוון שהפתח העילי הוא חשוף. המתקן צריך להיכלל בתוך מבנה הכנפיים העליון וכן שילוט שמורה על בור פתוח.



3.5 – גשרים

3.5.1 - גדרת גשר

ראה סעיף 3.1.2 לעיל.

3.5.2 - הצדק לביצוע גישור מעל נחלים

גישור מעל נחלים במקום שימוש במעברי מים מוצדק בהתאם לדרישות העיקריות הבאות:
כלכליות – כאשר חצית הכביש באמצעות מספר רב של מעברי מים והתגברות על הפרשים
טופוגרפיים בין הכביש לבין הנחל באמצעות גשר ועמודים נותנת פתרון הנדסי יותר זול.
שיקולים סביבתיים – דרישות של הסביבה לשימור ורציפות צורת הנחל מתחת לכביש.

3.5.3 - שיקולים בתכנון הגשר

כאשר מתכננים גישור מעל נחל יש לקחת בחשבון מספר נושאים אשר יחד משלבים את פתרון הגישור האופטימאלי:

- ✓ אורך הקורה
- ✓ מיקום נציבי הגשר
- ✓ בלט
- ✓ הגנה מפני ארוזיה ליד הנציבים
- ✓ תחזוקה
- ✓ חציות

לתכנון נכון של החצייה ובחינת השיקולים ההנדסיים השלמים אנו מבחינים בשלוש צורות עקרוניות של הנחל אשר ממנה נגזרים הפתרונות השונים:

אפיק טרפזי - נחל בחתך טרפזי בדר"כ בעומקים של עד 5.0 מ' ללא ברמות ביניים.
אפיקי טרפזי עם ברמות נמוכות - נחל בחתך טרפזי עם ברמות ביניים למעבר כלי תחזוקה או דרכים חקלאיות
אפיק רב ערוצי - חתך נחל באזורים של פשט הצפה עם ערוצים רבים אשר חותכים את ציר הגשר המתוכנן

השיקולים המרכזיים למיקום הנציבים ואורך הקורה מושפעים מצורות האפיק השונות של הנחל כפי שיוסבר בהמשך.

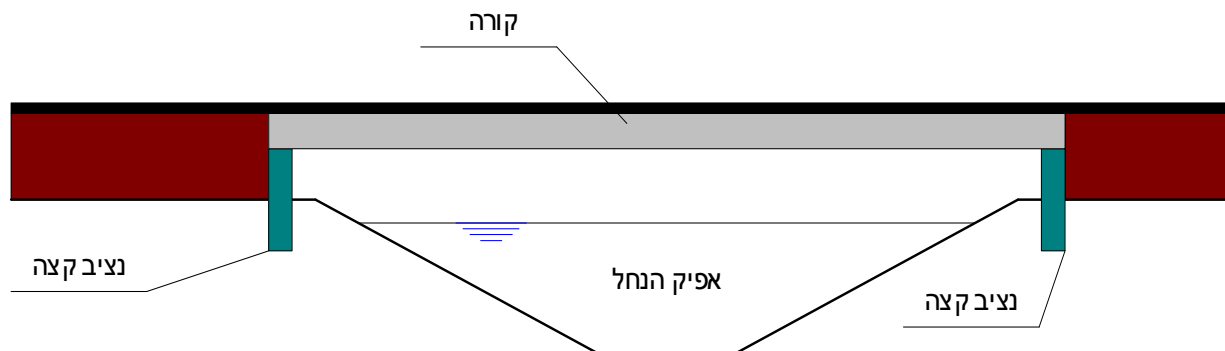
3.5.3.1 - אורך הקורה

אורך הקורה הוא גורם חשוב ומרכזי לקביעה של צורת הגשר והצורך בנציבים בגישור המתוכנן. בתחילת העבודה חשוב הקשר הראשוני בין מתכנן הניקוז יקבל ממתכנן הקונסטרוקציה של הכביש מידע ראשוני על אורכי קורה סטנדרטיים.
בחתך טרפזי רגיל רצוי שהגישור יבוצע באמצעות קורה אחת אשר תגשר מעל אפיק הנחל.
יש לבדוק את הפתרון ללא נציבים גם עם נידרש צמצום מסוים באפיק הנחל כדי לאפשר את הגישור בקורה אחת. על מתכנן הניקוז לבדוק במקרה זה שאין השפעה של הערמות מים במעלה אשר מרע את המצב הקיים בהתאם לכללים כפי שמוסברים בסעיף 3.1.3 לעיל.

3.5.3.2 - מיקום נציבי הגשר

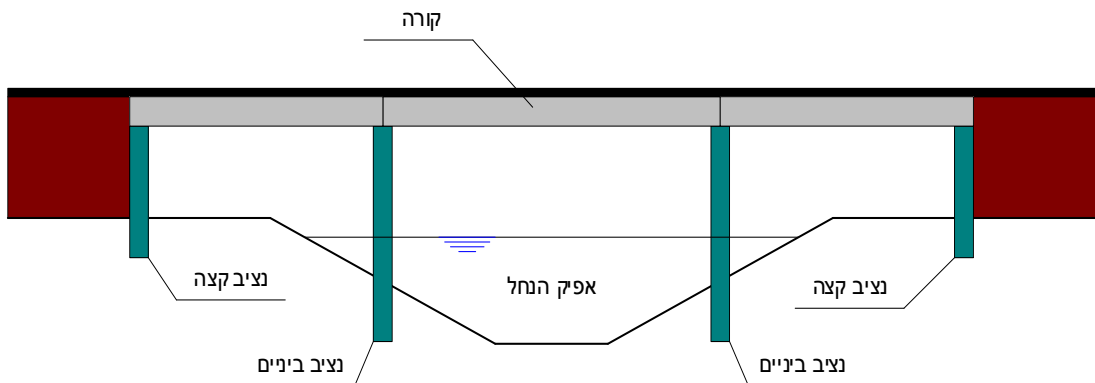
מיקום נציבי הגשר הוא נקודת המפתח בתכנון הגשר. נציבי הנחל הם בדרך"כ מקור לשקיעה סחף מסביב לנציב ועצירה של עצמים כבדים אשר זורמים בנחלי הארץ (עצים, גרוטאות ויריעות פלסטיות). ככלל על המתכנן לשאוף שנציבי הגשר ימוקמו מחוץ לאפיק הזרימה הראשי של הנחל.

חתך אופייני למיקום נציבים בחתך טרפזי



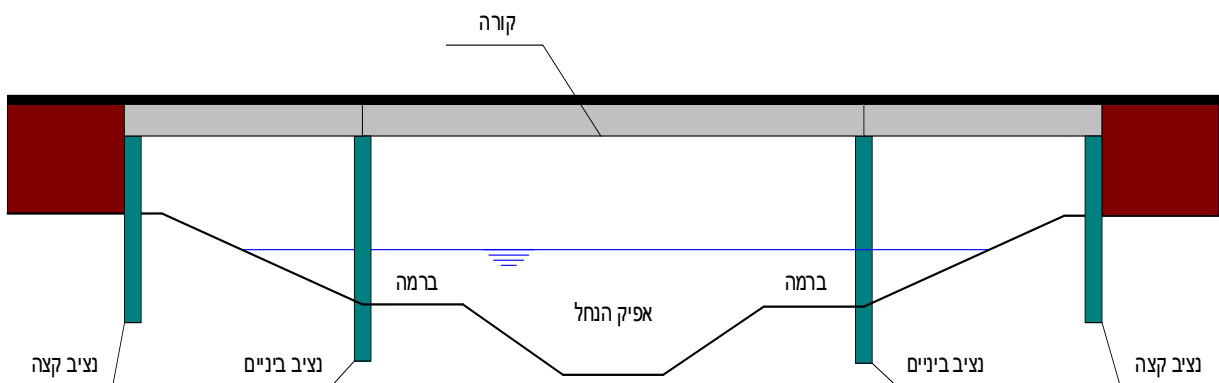
חתך אופייני למיקום נציבים בחתך טרפזי ארוך

באפיקים רחבים שבהם נדרש משיקולים שונים הוספה של נציבי ביניים סכת העמדת הנציבים המועדפת היא שנציבי הביניים ימוקמו ב $1/3$ העליון של הגדות.



בחתך טרפזי מורכב שכולל ברמות בצדדים אשר אינן על הגדה יש צורך בדר"כ בהוספה של נציבי ביניים. נציבים אילו ימוקמו בברמות ובשאפה בצד החיצוני של הברמה כדי לאפשר מעבר של כלי תחזוקה בסמוך לנחל.

חתך אופייני למיקום נציבים בחתך טרפזי עם ברמות נמוכות

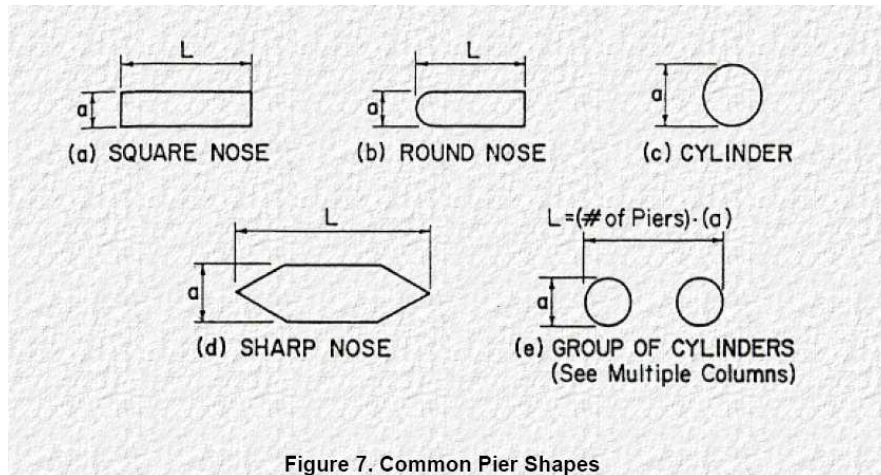


במידה ואין אפשרות ימוקמו הנציבים בקצה הברמה שקרוב לחתך המרכזי של אפיק הנחל או בקצוות התחתית.

~~רצוי מאוד לא לתכנן נציב מרכזי באמצע הנחל. נציב מרכזי במרכז הנחל יתוכנן עם משיקולים של עלות הגשר.~~

3.5.3.3 - חתך נציב הגשר וכיוונו

נציבי הגשרים אשר שנמצאים בתוך הנחל יתוכננו במקביל לציר זרימת הנחל. הנציבים יתוכננו בחתך הידראולי מתאים אשר ימנע ככל האפשר את סכנת המיחתור מסביב לנציב ועצירה של פסולת גדולה. רצ"ב תיאור סכמאטי של צורות עקרוניות לנציבי גשרים :

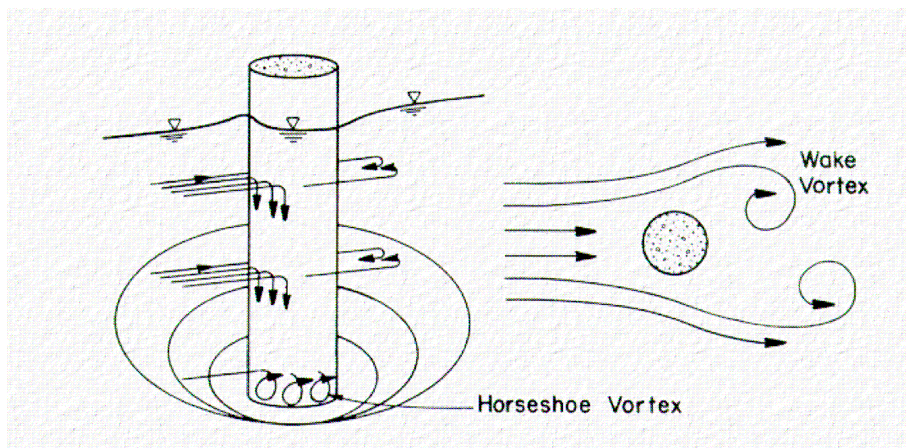


3.5.3.4 - בלט

בגשרים הבלט מחושב כמרחק החופשי בין פני המים לבין תחתית קורת הגשר. הבלט יחושב בהתאם לסעיף 3.1.3.2 לעיל.

3.5.3.5 - מחתור

מחתור מסביב לנציבי הגשר הוא תוצאה של זרימה טורבולנטית באזור הנציבים אשר גורמת לסחיפה של תחתית הנחל וגילוי ראשי הכלונסאות שעליהם מבוססים נציבי הגשרים.



בתמונות הבאות רואים תוצאות של מחתור אשר יכולות להתרחש בנציב הנחל אשר באפיק הזרימה ובנציב הקצה :

מחתור בנציב קצה	מיחתור בנציב במרכז ערוץ הזרימה
	

חישוב עומק המחתור

חישוב עומק המחתור מסביב לנציב כולל הוא פונקציה של מהירות הזרימה בנחל, גובה המים, סוג הקרקע בתחתית הנחל, מקדם החיכוך של האפיק, וחתך הנציב. קיימות נוסחאות ודרכים שונות לחישוב המחתור מסביב לכלונס. אנו ממליצים למתכנן על שימוש במדריך תכנון של FHWA האמריקאי שמיועד לנושא זה – HEC 18SI – Evaluating Scour at Bridges

3.5.3.6 - שמירה על חתך הנחל

על המתכנן לשמור ככל האפשר על המשך השיפוע האורכי הממוצע של הנחל לאורך הגשר כדי להבטיח רציפות של זרימת המים ללא שינויים משמעותיים. הסדרות נחלים ומפלים יבוצעו בהתאם לאמור בפרק 5 של ההנחיות המדריך וכן בהתאם לכל האמור בתמ"א 34 ב'3. בתכנון גשרים יבוצע לנחל פרופיל זרימה אשר בו יבדקו מפלסי המים בספיקות התכן במצב הקיים ובמצב המתוכנן. עקרונות חישוב פרופיל זרימה בנחלים ראה בפרק 5 של המדריך.

3.5.3.7 - ארוזיה

עקרונות תכנון הנחלים והצורך בארוזיה מפורטים בפרק 5 של המדריך והם ההנחיות המנחות לטיפול בבעיות ארוזיה בנחלים וגם כאשר הם עוברים מתחת לגשרים. בסעיף זה מובאים דגשים למתכנן מבחינת ההתייחסות וסדרי עדיפויות בתכנון ההגנה נגד ארוזיה. באופן כללי רצוי שבתכנון גשרים תשמר מתחת לגשר המשכיות הדיפון כפי שקיימת בנחל או מתוכננת במסגרת תכנון מאושר לנחל. בגשרים אשר חוצים נחלים ללא דיפון והגנה מארוזיה הצורך בהגנה מתחת לגשר וסביבתו הקרובה יקבע בהתאם לחישוב פרופיל הזרימה והמהירויות שמתקבלות מחישוב. מהירות ארוזיבית תיקבע בהתאם לטבלאות שמופיעות בפרק 5.

סדר העדיפויות להגנת אירוזיה הוא כדלקמן :

- (1) העמקת ראש הכלונס של הנציבים עד לעומק של לפחות 1.0 מ' מתחת לעומק המחושב של המיחתור.
- (2) הגנה באמצעות ייצוב צמחי משולב עם אמצעים מכניים (זמניים או קבועים)
- (3) הגנה באמצעות ייצוב קשיח

3.5.3.8 - מעברים מתחת לגשרים

מתחת לגשרים מבדילים בין ארבעה סוגים של מעברים לכלי רכב והולכי רגל כדלקמן :

- א. מעבר לתחזוקת הנחל**
- ב. מעבר להולכי רגל/רוכבי אופניים**
- ג. מעבר דרך חקלאית**
- ד. מעבר דרך מקומית או דרכי מעצ**

א. מעבר לצורך אחזקה של הנחל

בתכנון גשר יש לאפשר תחזוקה רציפה של הנחל. לצורך זה יש לתת מעבר לכלי אחזקה של רשות הניקוז או הגורם המתחזק של הנחל. בגשרים ללא ברמות ביניים תינתן ירידות לתחתית הנחל מהגדות כך שכלי הרכב שמשמש לאחזקה. יש להבטיח בתכנון מרווח חופשי בין תחתית הנחל לבין תחתית קורת הגשר של לפחות 3.50 מ'. בגשרים עם ברמות ביניים יש לאפשר מעבר חופשי של כלי האחזקה לאורך הברמה ולשמור על מרווח חופשי כפי שהוזכר לעיל.

ב. מעבר להולכי רגל

מעבר שבילי רגל ורוכבי אופניים יתוכנן פרטנית לגופו של עניין בהתאם לדרישות והנחיות של המזמין.

ג. מעבר דרך חקלאית

בגשרים אשר בהם ע"פ החלטת מוסדות התכנון יש לתכנן גם מעבר לכלים חקלאיים יסווגו המעברים החקלאיים כדלקמן :

מעבר חקלאי על גדה קיימת

מעבר חקלאי מונמך

1/ג - מעבר חקלאי על גדה קיימת

מעבר חקלאי שהוא המשכה של דרך חקלאית קיימת והגישור אשר מבוצע מעליו לא משנה את גובה הגדות ביחס לערוץ הנחל הקיים לא מחייב בדיקה של הצפה והתייחסות מיוחדת. ביצוע הגשר מעל לא משנה את המצב הקיים.

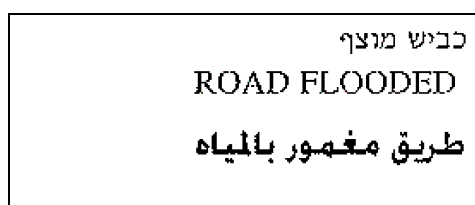
ג/2 - מעבר חקלאי מונמך

מעבר חקלאי מונמך ע"ג ברמה במקביל לנחל יתוכנן כך שלא יוצף בהסתברות של 10%.

המעבר יתוכנן עם מרווח חופשי של 5.50 מ' מתחתית הדרך החקלאית עד לתחתית הקורות של הגשר.

סידורי בטיחות מעבר חקלאי מונמך

בירידה למעבר יבוצע שילוט עם כיתוב של סכנה דרך מוצפת בשלוש שפות.



מד גובה עם סימון הגובה מהנקודה הנמוכה ביותר ימוקם בנקודה בולטת.

סימון עמודים ויזואליים עם זוהרים (עמודי ו-11 בלוח התמרורים) שמגדירים את רוחב הדרך משני צידי הנחל/תעלה.

בצד של הדרך שפונה אל הנחל/תעלה יש לתכנן שני בטיחות בגובה של כ 15 ס"מ למניעה סחיפה של כל רכב.

אחריות תפעול בהצפות

מעבר חקלאי מונמך מחייב אחזקה ותפעול במהלך החורף באירועים של שיטפונות. החברה הלאומית לדרכים בישראל לא מתחזקת מתקנים מסוג זה. יש לדרוש כחלק מהתהליך הסטטוטורי לקבל מהרשות והגוף שיתחזק את המעבר כתב התחייבות (לרשום בהנחיות סטטוטוריות).

ד. - מעבר דרך מקומית

תכנון דרכים יבוצע בהתאם לכל הכללים שבהם הדרך מתוכננת ויעמדו בהגנה להצפות בהתאם להנחיות התכנון לפי סעיף 3.1.3 לעיל.

נספח 1

טבלת מקדמי הפסדים בכניסה למעבירי מים במצב של תנאי בקרה ביציאה (OUTLET CONTROL)

Table 12--Entrance Loss Coefficients.

Outlet Control, Full or Partly Full Entrance Head Loss

$$H_e = K_e \left[\frac{V^2}{2g} \right]$$

Type of Structure and Design of Entrance	Coefficient K_e
• <u>Pipe, Concrete</u>	
Projecting from fill, socket end (groove-end)	0.2
Projecting from fill, sq. cut end	0.5
Headwall or headwall and wingwalls	
Socket end of pipe (groove-end)	0.2
Square-edge	0.5
Rounded (radius = D/12)	0.2
Mitered to conform to fill slope	0.7
*End-Section conforming to fill slope	0.5
Beveled edges, 33.7° or 45° bevels	0.2
Side- or slope-tapered inlet	0.2
• <u>Pipe, or Pipe-Arch, Corrugated Metal</u>	
Projecting from fill (no headwall)	0.9
Headwall or headwall and wingwalls square-edge	0.5
Mitered to conform to fill slope, paved or unpaved slope	0.7
*End-Section conforming to fill slope	0.5
Beveled edges, 33.7° or 45° bevels	0.2
Side- or slope-tapered inlet	0.2
• <u>Box, Reinforced Concrete</u>	
Headwall parallel to embankment (no wingwalls)	
Square-edged on 3 edges	0.5
Rounded on 3 edges to radius of D/12 or B/12	
or beveled edges on 3 sides	0.2
Wingwalls at 30° to 75° to barrel	
Square-edged at crown	0.4
Crown edge rounded to radius of D/12 or beveled top edge	0.2
Wingwall at 10° to 25° to barrel	
Square-edged at crown	0.5
Wingwalls parallel (extension of sides)	
Square-edged at crown	0.7
Side- or slope-tapered inlet	0.2

*Note: "End Sections conforming to fill slope," made of either metal or concrete, are the sections commonly available from manufacturers. From limited hydraulic tests they are equivalent in operation to a headwall in both inlet and outlet control. Some end sections, incorporating a closed taper in their design have a superior hydraulic performance. These latter sections can be designed using the information given for the beveled inlet.

נספח 2

טבלת מקדמי הפסדים מעבירי מים

במצב של תנאי בקרה בכניסה (INLET CONTROL)

Table 9--Constants for Inlet Control Design Equations.

Chart No.	Shape and Material	Nomograph Scale	Inlet Edge Description	Equation Form	Unsubmerged		Submerged		References
					K	M	c	Y	
1	Circular Concrete	1	Square edge w/headwall	1	.0098	2.0	.0398	.67	56/57
		2	Groove end w/headwall		.0018	2.0	.0292	.74	
		3	Groove end projecting		.0045	2.0	.0317	.69	
2	Circular CMP	1	Headwall	1	.0078	2.0	.0379	.69	56/57)
		2	Mitered to slope		.0210	1.33	.0463	.75	
		3	Projecting		.0340	1.50	.0553	.54	
3	Circular	A	Beveled ring, 45° bevels	1	.0018	2.50	.0300	.74	57
		B	Beveled ring, 33.7° bevels*		.0018	2.50	.0243	.83	
8	Rectangular Box	1	30° to 75° wingwall flares	1	.026	1.0	.0347	.81	56
		2	90° and 15° wingwall flares		.061	.75	.0400	.80	
		3	0° wingwall flares		.061	.75	.0423	.82	
9	Rectangular Box	1	45° wingwall flare d = .043D	2	.510	.667	.0309	.80	8
		2	18° to 33.7° wingwall flare d = .083D		.486	.667	.0249	.83	
10	Rectangular Box	1	90° headwall w/3/4" chamfers	2	.515	.667	.0375	.79	8
		2	90° headwall w/45° bevels		.495	.667	.0314	.82	
		3	90° headwall w/33.7° bevels		.486	.667	.0252	.865	
11	Rectangular Box	1	3/4" chamfers; 45° skewed headwall	2	.545	.667	.04505	.73	8
		2	3/4" chamfers; 30° skewed headwall		.533	.667	.0425	.705	
		3	3/4" chamfers; 15° skewed headwall		.522	.667	.0402	.68	
		4	45° bevels; 10°-45° skewed headwall		.498	.667	.0327	.75	
12	Rectangular Box 3/4" chamfers	1	45° non-offset wingwall flares	2	.497	.667	.0339	.803	8
		2	18.4° non-offset wingwall flares		.493	.667	.0361	.806	
		3	18.4° non-offset wingwall flares 30° skewed barrel		.495	.667	.0386	.71	
13	Rectangular Box Top Bevels	1	45° wingwall flares - offset	2	.497	.667	.0302	.835	8
		2	33.7° wingwall flares - offset		.495	.667	.0252	.881	
		3	18.4° wingwall flares - offset		.493	.667	.0227	.887	
16-19	C M Boxes	2	90° headwall	1	.0083	2.0	.0379	.69	57
		3	Thick wall projecting		.0145	1.75	.0419	.64	
		5	Thin wall projecting		.0340	1.5	.0496	.57	

פרק 4 – ניקוז מסעת כביש

4.1 – מבוא

ניקוז נגר עילי ראוי מהווה גורם חשוב להבטחת רמת שירות של הדרך ובטיחות התנועה. בהתאם למדיניות תכנון הניקוז של החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ כפי שמופיע בסעיף 1.1.2 בפרק 1 יש חשיבות רבה להבטחת הניקוז של דרכי החברה בזמן הגשמים כדי להבטיח את המשך התחבורה ורקמת החיים.

במסגרת פרק זה יובאו בפני המתכנן הפתרונות השונים של ניקוז מסעת הכביש בהתאם לתכנון הגיאומטרי של הכביש והאילוצים השונים של תחום הדרך ותכנון ייצוב המדרונות של סוללת הכביש.

4.2 – הידרולוגיה של המיסעה

הסתברות תכן היא הבסיס לתכנון מתקני הניקוז השונים ובכלל זה ניקוז מיסעת הכביש. כיוון שבניקוז מיסעת הכביש אנו עוסקים רק בנגר שיוּרד על רוחב הכביש. בישראל ובעולם מקובלת השיטה הרציונאלית (CIA) לחישוב ספיקות תכן מאגנים קטנים ובפרט מאגנים שמורכבים ממשטחי בטון ואספלט. אנו מביאים בסעיף זה את תמצית הנוסחאות הבסיסיות לשימוש בנוסחה הרציונאלית לצורך חישוב ספיקות התכן של מיסעת הכביש. הנוסחה לחישוב ספיקות תכן היא :

$$Q = \frac{CIA}{3.6}$$

כאשר:

Q – ספיקת תכן (מ"ק/שנ')

C – מקדם נגר עילי

I – עצמת גשם (מ"מ/שעה)

A – שטח אגן היקוות (קמ"ר)

מקדם הנגר

של מקדמי הנגר: לחישוב שטחים מבונים :

מקדם נגר C	סוג המיסעה
0.9	אספלט
0.9	בטון
0.8	שטחי ציפוי אבן

עוצמת הגשם (I)

עוצמת הגשם היא הממדד למהירות הנסיעה בכבישים בזמן גשם. ככל שיוורד גשם בעוצמה יותר חזקה הנהג מקטין את מהירותו עד למצב שבו הוא לא יכול לנהוג בכביש. בישראל ישנן תחנות מדידת גשם רבות שפזורות בכל הארץ. בכולם בפרקי זמן קצרים בהסתברויות נדירות העוצמות שיש לקחת בתכנון ניקוז המיסעה לא מתייחסות לאזורי הארץ אילה ליכולת של הנהג להתמודד עם תנאי הכביש שעוצמת גשם נתונה. ע"פ הבדיקות שבוצעו בעבר עוצמה של 120 מ"מ/שעה עוצמת הגשם המקסימאלית שבא ניתן לנהוג. מעבר לה ישנו מסך מים שלא מאפשר לנהג לראות את השטח. מתוך נתון זה חולקו הכבישים לשני סוגים בהתאם למהירויות התכן שלהם. עוצמות הגשם אשר משמשות לתכנון ניקוז המיסעה הם בהתאם לטבלה הבאה:

מהירות התכן של הדרך קמ"ש	עוצמת גשם לתכנון ניקוז מיסעת הכביש מ"מ/שעה
80 קמ"ש או יותר	120
קטן מ 80 קמ"ש	80

עוצמת הגשם לחישוב רמפות ומחלפים תקבע לפי מהירות של דרך ראשית.

4.3 – הגדרות ומושגים

בסעיף זה מופרטים מושגי יסוד והגדרות של אלמנטים אשר משמשים לתכנון ניקוז מיסעת הכביש. **אפיק זרימה (Gutter)** - נוצר ע"י שילוב של אבן שפה או מעקה בטון ושיפוע רוחבי של הכביש. האפיק הוא בד"כ בעל חתך רוחב משולש אחיד או מורכב. **כניסה למתקן קליטה (inlet)** - כל סוגי הכניסות המיועדות לקליטת מי גשם מפני הכביש. **רשת (סבכה, Grate)** - ממוקמת בד"כ על הקולטן. בארץ ובעולם קיים מגוון רחב של סוגי רשתות. חלק מהרשתות אינן עומדות בדרישת ת"י ולחלק אחר לא קיים בארץ קולטן טרומי. הרשת הנבחרת

ע"י המתכנן צריכה להתאים לת"י 489. כמו כן, בחירת הרשת צריכה להיות מוצדקת משיקולי תפקוד, עלויות, תחזוקה וכו'. מידות הרשתות -לפי קטלוג יצרן.

פתח בתחתית מעקה בטון - פתח בגובה כ-16 ס"מ ואורך כ-2.0 מ' בתוך תחתית (בבסיס) מעקה בטון. בד"כ בשימוש כאשר מתוכננות שתי שורות מעקה בטון (מעקה בטון כפול).

קולטן מתחת למעקה בטון דגם מעצ – קולטן מתחת למעקה בטון

מגלש (מתקן לניקוז שוליים) – מבנה בד"כ מבטון מזוין, מיועד להורדת הנגר ממיסעת הכביש לתעלת ניקוז, בעל פתח קליטה משתנה בהתאם למיקומו בכביש. מידות לפי פרט סטנדרטי של מעצ. מתקן ניקוז מדרכה (פותח ע"י אגף ניקוז מעצ) - מיועד להורדת הנגר ממיסעת הכביש לתעלת ניקוז מתחת למדרכה, בעל פתח קליטה באורך כ-1.0 מ'. מידות לפי פרט סטנדרטי של מעצ.

אבן צד מיציקת ברזל, להלן אצי"ב (Curb opening) - האצי"ב הנו אלמנט בעל פתח קליטה לאורך הזרימה ליד אבן שפה. המידות-לפי קטלוג יצרן (לדוגמה, דגם ת"א: אורך נטו כ-0.8 מ' וגובה כ-0.1 מ'). כיום אין שימוש באצי"ב כאמצעי ניקוז עצמאי אלא יחד עם הרשת או מתקן אחר.

מתקן משולב (Combination Inlet) - מתקן המורכב מקולטן בד"כ עם אצי"ב בתוספת רשת. קיימות שתי אפשרויות של הרכב המתקן: כאשר אורך האצי"ב זהה לאורך הרשת (Equal-Length Combination) וכאשר אורך האצי"ב ארוך מאשר אורך הרשת (Sweeper Combination). ההרכב השני אינו בשימוש בארץ.

אבן שפה מנקזת (מערכת ניקוז "כביש יבש" או אלמנט צד מנקז) - אלמנט טרומי או אחר המורכב מאבן שפה עם פתחים אנכיים בגודל 15X15 ס"מ כל 20 ס"מ ותעלת בטון מלבנית 50X50 ס"מ עם או בלי שיפוע פנימי. אבן שפה מנקזת מיועדת בד"כ לניקוז אורכי לאורך אבן שפה, במקרים בהם השיפוע האורכי קטן מ-0.3% וכן לניקוז תחנות אוטובוס או קטעי כביש אחרים בהם נדרש "כביש יבש". מידות-לפי קטלוג יצרן.

תעלת בטון מזוין עם רשת - אלמנט טרומי המורכב מתעלת בטון מלבנית בגודל עד 30X30 ס"מ ורשת. התעלה מותקנת לפי שיפוע אורכי של הכביש. הרשת מחוברת בהברגה או נעילה. מידות-לפי קטלוג יצרן.

מערכת קליטה אורכית מחורצת (או נקזים מחורצים או Slotted Inlets או Slot Channel או

Slot Drain) - אלמנט בטון טרומי מיועד בד"כ לניקוז אורכי (לעתים לניקוז נקודתי). קליטת הנגר מתבצעת דרך חריץ מקוטע בחלק עליון של המובל (קיים עם או בלי אבן שפה). הובלת הנגר מתבצעת דרך תעלת בטון בד"כ סגלגלת או עגולה עם או בלי שיפוע פנימי. מידות-לפי קטלוג יצרן. **אבן שפה (Curb)** - ראה הנחיות בפרק 7 (ייצוב מדרונות) על השימוש באבני השפה להגנת המדרונות מפני חתירה.

אבן תעלה – אבן טרומית ברוחב בד"כ של 30 ס"מ ועומק 2 ס"מ. מידות מדויקות-לפי קטלוג יצרן. מיועד לשימוש בכבישי מעצ בד"כ בשיפועי אורך שבין 0.3% עד 0.4%. במקרה של קולטנים יש להשתמש באבן תעלה דו-שיפועית בלבד.

4.4 – חישוב זרימת מים לאורך המיסעה

לאורך מיסעת הכביש מתפתחת זרימת נגר כאשר אין מעבר חופשי בין מסעת הכביש למדרון הכביש. או כאשר במצבים של הגבהה צדית (Super elevation) ניקוז המסעה הוא אל מרכז הכביש לכיוון המפרדה. במצב זה מתפתחת זרימה בשולי הכביש

אפיקי זרימה - אפיק זרימה נוצר ע"י שילוב של השיפוע הרוחבי של הכביש והתוחם כגון: אבן שפה בגובה כ-8 ס"מ, אבני שפה בגובה של 15 ס"מ רק במדרכות, מעקה בטון .

4.4.1 – הידראוליקה של זרימה לאורך המיסעה

חישוב הזרימה לאורך שולי הכביש ע"י נוסחת מנינג עם עדכון מסוים. התאמת הנוסחה נחוצה כי הרדיוס ההידראולי בנוסחה המקורית לא מתאר כראוי את הזרימה כאשר רוחב זרימה גדול פי 40 ויותר יחסית לעומק זרימה. אפיק הזרימה המקובל במעצ הוא בעל חתך משולש אחיד (עקב מגבלות ביצוע). יש לציין כי יתכנו אפיקי זרימה בעלי חתך מורכב, פארבולי, עיגולי, צורת V וכו'.

נוסחת מאנינג מתואמת:

$$(4.1) \quad Q = \frac{K_u}{n} \cdot S_x^{1.67} \cdot S_L^{0.5} \cdot T^{2.67}$$

או

$$(4.2) \quad T = \left[\frac{Q \cdot n}{K_u \cdot S_x^{1.67} \cdot S_L^{0.5}} \right]^{0.375}$$

עומק המים ליד אבן השפה מחושב כדלקמן:

$$(4.3) \quad d = T \cdot S_x$$

כאשר:

$$0.376 - K_u$$

Q – ספיקה, (מ"ק/שנ')

n – מקדם מאנינג

T – רוחב זרימה (מ')

S_x – שיפוע רוחבי של המיסעה, (מ'/מ')

d – עומק המים ליד אבן השפה (מ')

S_L – שיפוע אורכי של הכביש (מ'/מ')

מקדם מאנינג

ערך של מקדם מאנינג לחישוב כושר הולכה עבור מיסעת האספלט בתנאים רגילים הינו - 0.016. שימוש בערך אחר מותנה בהצגת הוכחות.

4.4.2 - רוחב הזרימה המרבי המותר לאורך מעקות בטון או אבני שפה (T) :

רוחב הזרימה המרבי המותר לאורך שולי הכביש או נתיבי הנסיעה במקרה של קטע עירוני הוא כדלקמן :

רוחב שוליים $2.5 \leq$ מ'	$2.5 <$ רוחב שוליים ≤ 2.0 מ'	רוחב שוליים > 2.5 מ'	כביש בקטע עירוני
0.5 מ' לפני קו צהוב (ד-7) או לפני קו הפרדה (ד-4)	2.0 מ'	עד קו צהוב (ד-7) או לפני קו הפרדה (ד-4)	חצי נתיב הקרוב למדרכה

בקביעת רוחב זרימה יש להתחשב בעומק מים אשר לא צריכים לגלוש מעל אבן השפה, במיוחד בגובה אבן שפה של 8 ס"מ.

גובה מים מרבי ליד אבן שפה:

אבן שפה בגובה 15 ס"מ - עומק מים מרבי מותר - 13 ס"מ.

אבן שפה בגובה 8 ס"מ - עומק מים מרבי מותר - 7 ס"מ.

4.5 – מתקנים לקליטה וסילוק נגר ממסיעת הכביש

4.5.1 - כללי

מתקנים לקליטה וסילוק נגר הם מערכות ניקוז אשר תופסות את הנגר ממסיעת הכביש וקולטות אותו לתוך תעלות/מובלי תיעול. הכוונה היא למתקנים ומערכות אשר ממוקמות בשטח מיסעת הכביש.

קיימים שני סוגים עקרוניים לקליטת הנגר ממסיעת הכביש

קליטה נקודתית – הנגר זורם בשולי הכביש עד שהוא נקלט נקודתית ע"י מתקן קליטה (מגלש, קולטן)

קליטה אורכית – הנגר נאסף בצורה רציפה ע"י תעלה שממוקמת בקצה המיסעה. בין השיקולים שנדרש לקחת בחשבון בבחירת חלופות תכנון: עלות התקנה, עלות תחזוקה, הפרעות לתנועה בעת תחזוקה וכד'.

4.5.2 הנחיות כלליות לתכנון מתקנים לקליטה וסילוק נגר מהמיסעה

א. אין לאפשר מעבר מים בין המסלולים בעלי שני נתיבים ויותר בכל מסלול.
ב. ההנחיה בסעיף קטן א' אינה רלוונטית לאזורים בהם ממוצע המשקעים הרב שנתי קטן מ - 200 מ"מ.

ג. מקומות בכביש, בהם קיימת חובה לשים מתקני קליטה ללא תלות בגורמים אחרים:

☔ שקעים

☔ התחלת קטע מעבר שיפועים בעקומות

☔ במעלה ובמורד (אם אין המשך של אבן שפה) של גשרים

☔ במעלה הצטלבות כבישים (צמתים)

☔ במעלה של מעברי חצייה

☔ במורד/קצה קטע אבן שפה

ד. בתחנות אוטובוס השיפוע הרחבי יתוכנן לכיוון אבן שפה. אין ליצור תעלת V (גטר).
תפיסת מים מתבצעת לפני התחנה. אם נדרש ניקוז לאורך התחנה – אין להשתמש בסבכות.

4.5.3 – סיווג מתקני קליטה נקודתית

מתקני הקליטה הנקודתית מתחלקים לשני סוגים עקרוניים:

מגלשים – מתקנים אשר נמצאים בשולי הכביש ומתעלים את המים בתעלה פתוחה אל תחתית מדרון הכביש

קולטנים – מתקני קליטה ממיסעת הכביש והולכתם החוצה באמצעות מובלי תיעול.
אין למקם מתקנים באזור מעברי חצייה להולכי רגל.


4.5.4 - מגלשים

מגלשים הם מתקני הניקוז הפשוטים והיעילים ביותר לסילוק נגר ממיסעת הכביש כאשר יש צורך בהגנה על המדרון של סוללת הכביש.

המגלש הוא אלמנט פשוט לתחזוקה ויתרונו הגדול הוא בכושר הקליטה הגבוה אשר מאפשר קליטה של כל הנגר שזורם לאורך הכביש

קיימים מספר סוגי מגלשים אשר משתנים בהתאם לגובה המדרון, מיקום המגלש וחומרי הציפוי והם מתוארים בפרטים הסטנדרטיים של החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ.

תמונות של סוג מגלשים נפוצים בכבישי החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ

מגלש מבטון מזוין	מגלש
	

אורך חזית המגלש

אורך חזית מגלש הינו פרמטר משמעותי הניתן לחישוב. משיכולי סטנדרטיזציה בתכנון נקבעו 3 אורכים של אורך חזית המגלש: 3.0 מ', 7.5 מ' ו-12.0 מ'. בשיפוע אורכי תלול בשילוב שיפועים רוחבי קטן, למגלשים בעלי חזית ארוכה יותר עדיפות ברורה לעומת מגלשים בעלי חזית קצרה. כנגד, בכל שיפוע אורכי בשילוב עם שיפוע רוחבי מעל 3, מגלשים בעלי חזית באורך של 3.0 מ' עדיפים. פרמטרים נוספים אשר חייבים להתחשב בהם: גובה סוללה (אורך המגלש), מיקום המגלש (ראשון, אמצעי, אחרון) וכד'.

עקרונות תכנון במגלשים

א. מיקום מגלשים

בהתאם לחישוב הידראולי של רוחב זרימה מקסימאלי מותר בהתאם לנקודות כפי שמתוארות בסעיף 4.5.2 לעיל

ב. שיפוע אורכי קטן של הכביש

קטעים בעלי שיפוע אורכי קטן מ-0.3% יש לשקול בין אפשרות ניקוז על מדרון מדופן לבין מערכת ניקוז אורכית. בשיפוע אורכי בין 0.3%-ל-0.4% יש להוסיף אבן תעלה עם שיפוע אל אבן השפה

ג. מרחק מקסימאלי בין מגלשים

המרחק המקסימאלי בין מגלשים ללא תלות בחישוב רוחב הזרימה לאורך המיסעה הוא 120 מ' מקו פרשת המים או בין מגלש אחד לשני




ד. מגלש הינו פרט קונסטרוקטיבי הנושא את עצמו גם במקרה חתירה מתחתיו.
ה. מגלש עשוי בד"כ מבטון מזוין משוקע מתחת לפני המדרון. גמר המגלש – עפ"י הנחיות אדריכל נוף.

- ו. רצפת המגלש תהיה מחוספסת עם פיגמנט לקבלת צבע בגוון קרקע. חשוב להקפיד שהקצה המורד של המגלש יהיה ברום בסיס הניקוז באותו מקום.
- ז. כאשר המגלש הוא אחרון בשורת מגלשים או כאשר קיים רק מגלש בודד ונדרש למנוע ספיקה עוברת, אורך חזית המגלש צריך להבטיח קליטה מלאה.
- ח. במדרונות ארוכים יש להשתדל למקם מגלשים בקצבות בהם המדרון קצר יותר.




4.5.5 - קולטנים

4.5.5.1 - סיווג קולטנים

קולטנים סטנדרטיים מסווגים כדלקמן :

-  קולטן בודד (עם או בלי האצי"ב)
-  קולטן צמוד כאשר שניים או יותר קולטנים ממוקמים בטור וצמודים.
-  קולטן זוגי כאשר מרחק מינימאלי בין שני קולטנים הוא 6 מ' אך הזוג מתפקד כיחידה אחד.

ניתן גם לסיווג מתקנים נקודתיים הממוקמים לאורך השיפוע האורכי לפי מיקומם בכביש ביחס לכיוון זרימה ולפי דרישה של חישובים הידראוליים נפרדים עבור כל אחד מהסוגים שלהלן:

-  מתקן ראשון
-  מתקן אמצעי
-  מתקן אחרון

4.5.5.2 - הידראוליקה של קולטנים בשקעים

חישוב הידראולי של קולטנים בשקעים מורכב משני האלמנטים אשר משמשים לקליטת הנגר:

חישוב קליטה דרך רשתות של קולטן

חישוב קליטה דרך אבן שפה מנקזת

החישובים ההידראוליים עבור מתקנים הממוקמים בשקעים פשוטים יותר ביחס למתקני ניקוז לאורך השיפוע האורכי, אך הנזק הנגרם עקב תפקוד לא ראוי עלול להיות גדול יותר כי אין מתקן נוסף אשר יכול להבטיח קליטה במורד, בדומה למתקנים לאורך השיפוע האורכי. שימוש במגלשים (מכל סוג) עדיף לעומת שאר המתקנים כאשר ניתן. בין שאר המתקנים הנקודתיים קיים מתקן נקודתי אחד המומלץ בשקעים- מתקן משולב. עיקרון התפקוד: קליטת הנגר מתבצעת דרך היקף הרשת, פרט לצד הסמוך לאבן השפה או מעקה בטון, בדומה למגלש הידראולי (weir) כאשר עומק המים אינו עובר את גובה אבן

השפה. בתיאוריה, עם הגדלת עומק המים והתחלת פעילות של רשת כנחיר, חלק מהנגר צפוי להשתחרר גם דרך אצי"ב. בפועל בעומקי זרימה רלוונטיים לכביש, אבן צד אמורה להתחיל לפעול ולהיות "מגלש חרום" כאשר הרשת סתומה. במידה ומתקבל, מהחישובים, מספר מתקנים משולבים גדול, ניתן לשקול אפשרות שימוש במתקני קליטה אורכיים. הבחירה בין מערכת מתקנים משולבים לבין מתקני קליטה אורכיים צריכה להיות מוצדקת מבחינה כלכלית.

במקומות הנמוכים פרט לכושר הולכה יש לשים לב לרוחב זרימה מותר כי הגדלת רוחב זרימה נגרמת לא רק עקב הגדלת ספיקה אך גם עקב הקטנה מתמשכת של שיפוע אורכי. בחישובים הידראוליים של מתקנים בשקעים יש לקחת בחשבון אחוז סתימה ע"י סחף בשיעור של 50%. בשקעים מוחלטים נדרש מתקן לגלישת חרום/עודפים. רשת של קולטן תהיה משוקעת בתוך אספלט לעומק של שכבה עליונה אך לא יותר מ-4 ס"מ כולל עיבוד מתאים של פני האספלט סביב הרשת.

חישוב הידראולי של רשתות בשקעים.

מבחינה הידראולית הרשת מתפקדת כמגלש עד גובה מים מסוים וכנחיר עם הגדלת גובה המים. בהנחה כי גובה אבן שפה הוא 8 ס"מ או 15 ס"מ, לא תתרחש זרימת נחיר בתחום העומקים הרלוונטי לתכנון מתקנים אלה בכבישים. נוסחת חישוב למיתקנים (ללא הנמכה מקומית)

$$(4.4) \quad Q_i = C_w \cdot P \cdot d^{1.5}$$

כאשר:

Q_i - ספיקה דרך הרשת (מ"ק/שנ')

C_w - מקדם מגלש שערכו 1.66

P - הקף הרשת נטו ללא שטח קטעים של ברזל והצד שצמוד לאבן השפה (מ')

d - עומק הזרימה (מ')

חישוב הידראולי של אבני שפה בשקעים.

מבחינה הידראולית המתקן מתפקד כמגלש עד גובה מים קטן מגובה אבן שפה. נוסחא לחישוב כושר קליטת מיתקנים ללא הנמכות מקומיות ובעלי אורך פתח עד 3.6 מ':

$$(4.5) \quad Q_i = C_w \cdot L \cdot d^{1.5}$$

כאשר:

Q_i - ספיקה דרך הרשת (מ"ק/שנ')

C_w - מקדם מגלש שערכו 1.60

L - אורך הפתח (מ')

d - עומק הזרימה (מ')

חישוב הידראולי של מתקנים נקודתיים משולבים בשקעים.

מבחינה הידראולית המתקן המשולב מתפקד כמגלש (כניסה דרך הרשת בלבד) עד גובה מים קטן מגובה אבן שפה. נוסחת חישוב ראה לעיל י'. כדי לקבל את הספיקה המשותפת יש לחבר את הספיקות מהרשת ומאבן השפה המנקזת. קיימים מקרים נדירים שאינם נכללים בהנחיות אלה. לדוגמא ליד קירות, בהגדלת גובה המים הרשת מתחילה לתפקד כנחיר והאצי"ב כמגלש כך שמתקבל כושר הולכה משותף. כמובן אם הרשת סתומה האצי"ב פועל כמגלש.

4.5.5.3 - עקרונות תפקוד וחישובים הידראוליים של קולטנים לאורך השיפוע האורכי (Inlets on grade).

א. מבוא

בארץ ובעולם קיים מגוון רחב של סוגי רשתות. חלקן אינן עומדות בדרישת ת"י ולחלק לא קיים בארץ קולטן טרומי. לדוגמה, רשתות אירופאיות עומדות בדרישות ת"י אך, בשלב זה, לא קיים בארץ קולטן טרומי מתאים. רשתות אירופאיות יעילות וחדשניות ואולי ימצאה דרך ליישם אותן בארץ. בין הרשתות הישראליות קיימות דגמי ת"א, חיפה, ירושלים, נאטו, רקפת וכד'. דגם נאטו, לדוגמה, גדול כפי-2 לערך מהדגמים האחרים אך יקר כפי-4. שאר הדגמים קרובים מבחינת כושר קליטה, אך רק רשת ת"א החדשה נבדקה להתאמה לת"י (אירופאי) חדש.

ב. עיקרון התפקוד של רשתות בשיפועים האורכיים.

בין החישובים ההידראוליים של כל מתקני קליטת מי הנגר ממסערת הכביש – חישובים הידראוליים של רשתות בשיפועים אורכיים הם מסובכים ביותר ונדרשות הבהרות לגביהן. ניתן לסכם בקצרה את עיקרון התפקוד של קולטן עם רשת שממוקמת בשיפוע האורכי כדלקמן:

קליטת הנגר (קליטה כללית) מתבצעת דרך חזית (קליטה חזיתית) ולאורך הסבכה (קליטה צידית).

במרבית המקרים מקדם היעילות של הקליטה החזיתית גבוה, דהיינו הסבכה קולטת את רוב הנגר לרוחבה. המקרים היוצאים מהכלל הם כאשר הסבכה ממוקמת בשיפוע אורכי תלול בשילוב עם שיפוע גדול לרוחב. במקרים אלה מורגשת השפעה של העיצוב הפנימי של המוטות ותנוחתם בתוך הרשת. דרישת מעצ להגביל את המרחק המרבי בין הקולטנים ל-120 מ', מקטינה את השפעת העיצוב הפנימי של הרשת. הגבלת המרחק המרבי בין הקולטנים ב-120 מ' דומה למרחק המקובל בארה"ב (110 מ').

הקליטה הצידיית תלויה בשיפוע לאורך ולרוחב הכביש, אורך הרשת ומהירות הזרימה. יעילות הקליטה הצידיית קטנה משמעותית עם הגדלת השיפוע האורכי. הגורם המגביל את יעילות הקליטה הכללית, הוא מהירות הזרימה בה נוצרת "התזה" והפרעה לזרימה. היתרון של מוטות או רשתות בעלות גיאומטריה או עיצוב הידראולי יעיל יותר מתבטא רק בשיפועים האורכיים התלולים ובמהירויות זרימה גבוהות. הגדלת רוחב הרשת תגדיל את כושר הקליטה של הקולטן במידה ניכרת. להגדלת אורך הסבכה קיימים שני אספקטים: מצד אחד, הגדלת אורך הסבכה יעיל בשיפועים אורכיים מתונים וזניח עם הגדלת השיפוע האורכי. מצד שני, בשיפועים תלולים הגדלת האורך תורמת להגדלת כושר ההולכה דרך חזית הרשת, כאשר מהירויות הזרימה גבוהות המים עלולים קפוץ מעל הרשת.

ג. סתימה הרשתות ע"י צופת, סחף או לכלוך

בדיקות מעבדה לסתימה שבוצעו ע"י FHWA מצביעות על כך שמחד, כושר הסעת צופת גבוה יותר ברשתות בעלי מוטות מקבילים לכיוון הזרימה. מאידך, כושר הסעת הצופת מושפע מהמרחק בין המוטות ועיצובם. רשת עם מוטות ניצבים לזרימה אך עם מרווחי ביניים גדולים נשארה יותר נקייה מאשר רשת בעלת מוטות מקבילים לכיוון הזרימה עם מרווחים קטנים. עקב הנחית מעצ כי הרשת חייבת להיות מונמכת בתוך אספלט, בעיית סתימת הרשת ע"י צופת קטנה מכיוון שמאפשרת מניעת הטיית זרם אל מחוץ לרשת.

ד. חישוב הידראולי של קולטנים לאורך השיפוע האורכי

להלן מפורט תיאור כללי של חישוב הידראולי של רשת על השיפוע האורכי. פירוט נוסף, דוגמאות חישוב, גרפים וכד' ראה מראה מקום מס' 1. על מנת לתאר את עיקרי שיטת החישוב, נכיר את המושגים הבאים:

Q	ספיקה כללית באפיק ליד אבן שפה, (מ"ק/שנ')
Q_w	ספיקה יחסית חזיתית (מסה"כ הספיקה Q) שזורמת ברוחב הסבכה (מ"ק/שנ')
Q_s	ספיקה יחסית צידית ($Q - Q_w$) (מ"ק/שנ')
Q_{fi}	ספיקה נקלטת ע"י חזית הרשת (מ"ק/שנ')
Q_{si}	ספיקה נקלטת לאורך צד של הרשת (או יותר מרשת אחת) (מ"ק/שנ')
Q_i	ספיקה כללית שנקלטת ע"י המתקן ($Q_{si} + Q_{fi}$) (מ"ק/שנ')
Q_b	ספיקה עוברת ($Q - Q_i$) (מ"ק/שנ')
E	יעילות כללית
E_o	מקדם יעילות חזיתית
E_{oI}	מקדם יעילות צידית
R_f	יחס של ספיקה חזיתית נקלטת לספיקה חזיתית
R_s	יחס של ספיקה צידית נקלטת לספיקה צידית
V	מהירות זרימה באפיק, (מ"ק/שנ')

Vo	מהירות "התזה" (splash-over), (מ'/שנ')
W	רוחב סבכה, (מ')
L	אורך סבכה, (מ')
T	רוחב זרימה, (מ')
h	עומק זרימה ליד אבן שפה, (מ')

הקשרים בין הספיקות השונות מובאות בנוסחאות הבאות:

$$E = \frac{Q_i}{Q}$$

$$Q_i = E \cdot Q = Q \cdot [R_f \cdot E_o + R_s \cdot (1 - E_o)]$$

$$E = R_f \cdot E_o + R_s \cdot (1 - E_o)$$

$$R_s = \frac{1}{1 + \frac{K_u \cdot V^{1.8}}{S_x \cdot L^{2.3}}}$$

כאשר:

K_u - מקדם שערכו 0.0828

S_x - שיפוע רוחבי של המיסעה, (מ'/מ')

$$R_f = 1 - K_u \cdot (V - V_o)$$

כאשר:

K_u - מקדם שערכו 0.295

$$\frac{Q_s}{Q} = 1 - \frac{Q_w}{Q} = 1 - E_o$$

$$E_o = \frac{Q_w}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67}$$

כאמור לעיל, מבחינת הרכבם, הקולטנים יכולים להיות מסווגים לקולטן בודד, קולטנים צמודים וקולטן זוגי. ברור כי מבחינה הידראולית ומבחינת מניעת סתימה בצופת קיים יתרון

ברור לקולטן זוגי כי הקולטן השני שמשותף בהרכב הזוג קולט גם הוא את הספיקה החזיתית. הגורם אשר עלול לעתים להגביל שימוש בקולטן הזוגי הוא עלות גבוהה יחסית של אביזרים בחיבור שבין הצינור לקולטן. בתכנון הקולטנים ובחישוב העלויות נדרש לקחת בחשבון כל מגוון אפשרויות גם מבחינת הרכב הקולטנים וגם מבחינת מקומם ונקודות המוצא: ניקוז לתוך תעלה (ללא שוחות מעבר) או כחלק ממערך תיעול כולל שוחות וצינורות. לדוגמה: כאשר גובה אבן השפה 15 ס"מ בניקוז לתוך תעלה קיימת עדיפות ברורה, ברוב המקרים, לקולטן בודד וכך גם כחלק ממערך תיעול כולל שוחות וצינורות כאשר שיפועי רוחב הכביש הם 3% ויותר.

4.5.5.4 - מתקני קליטה צידית בשיפועים האורכיים.

א. מבוא

מתקני קליטה צידיים כוללים פתח צד ליד מעקה בטון, מגלש, אצי"ב, Slotted Inlets וכו'. החישוב שהיה מקובל עד כה בוצע לפי נוסחת מגלש צדדי. סקר ספרות הצביע כי קיים מספר רב של נוסחאות שונות לחישוב מגלש צדדי. תוצאות החישוב שמתקבלות על סמך הנוסחאות האלה הינן בתחום רחב. הקושי בחישוב של מגלשים צידיים נובע מכך שאופי (משטר) הזרימה דרך מגלש צדדי לא דומה לאופי (משטר) זרימה דרך מגלש רגיל.

זאת אומרת שמבחינה הידראולית, זרימה דרך מגלש צדדי שייכת לזרימה עם משקל משתנה לאורך הזרימה (spatial varied). עפ"י [מ"מ 5] עלולים להיווצר שישה סוגים של פרופילי זרימה לאורך מגלש צדדי בהתאם למשטרי הזרימה במעלה ובמורד המגלש הצדדי.

עקב מורכבות הזרימה דרך מגלש צדדי קשה לסמוך על תוצאות החישוב. יתרון תהליך החישוב המוצע להלן בכך שגרפים ונוסחאות אמפיריות נבנו על סמך ניסויים במעבדה עבור מתקני ניקוז הפועלים על בסיס מגלש צדדי, דהינו על סמך מידות, שיפועים, ספיקות וכו' רלוונטיים.

ב. הידראוליקה של מתקני קליטה צידיים ממוקמים על השיפוע האורכי

קליטת הנגר מתבצעת דרך פתח צדדי. נציין כאן כי לעתים מומלץ להשתמש בהנמכה מקומית (Local depression) בעיצוב מתאים להגדלת כושר קליטה של כל המתקנים ובמיוחד למתקני קליטה צידיים.

נציין כאן בסוגריים כי הנמכת רשת בתוך אספלט ב 3-5 ס"מ לדוגמה, לא מהווה הנמכה מקומית במובן של FHWA. כי חסר עיצוב מתאים (בצורת מעטפה). משיקולי בטיחות וביצוע כעת אין שימוש בהנמכה מקומית. המקום היחיד שמהווה מין סוג של הנמכה מקומית זה מגלש צדדי (באמצעות עיצוב הכניסה). חישוב הידראולי עבור מתקני קליטה צידיים ממוקמים על השיפוע האורכי בעומק זרימה עד 10-15 ס"מ מומלץ לבצע עפ"י נוסחא שלהלן:

$$L_t = K_u \cdot Q^{0.42} \cdot S_L^{0.0} \cdot \left[\frac{1}{n \cdot S_x} \right]^{0.6}$$

$$E = 1 - \left(1 - \frac{L}{L_t} \right)^{1.8}$$

$$Q_i = E \cdot Q$$

כאשר:

E – מקדם יעילות

K_u – מקדם שערכו 0.817

L – אורך המתקן ($L_t > L$), (מ')

L_t – אורך המתקן שדרוש לקליטת הספיקה הכללית באפיק (מ')

Q – ספיקה כללית באפיק (מ"ק/שנ')

Q_i – ספיקה בפועל נקלטת (מ"ק/שנ')

S_x – שיפוע רוחבי של המיסעה, (מ'/מ')

S_L – שיפוע אורכי של הכביש (מ'/מ')

ג. עיקרון התפקוד של מתקן משולב על השיפוע האורכי.

מתקן משולב כולל בד"כ קולטן עם רשת יחד עם אצי"ב .

ניסויים במדינות שונות הוכיחו פעמים רבות כי כושר קליטת הנגר ע"י מתקן משולב זהה לכושר קליטה של רשת בלבד. כושר קליטת הנגר של המתקן הצדדי (אצי"ב) המשתתף

בד"כ בהרכב המתקן המשולב יחד עם הרשת זניח. תרומתו מתבטאת רק בקליטת

פסולת ולא בחישוב הידראולי.

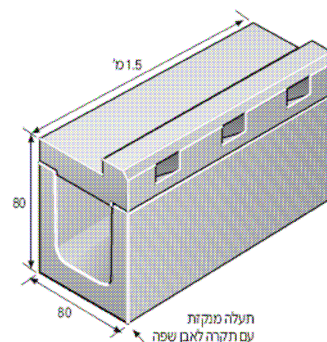
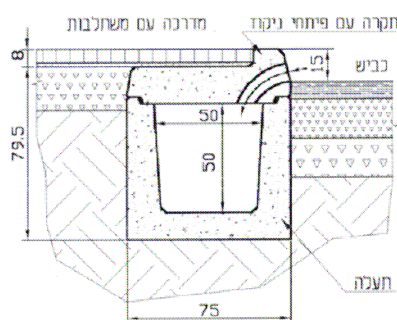
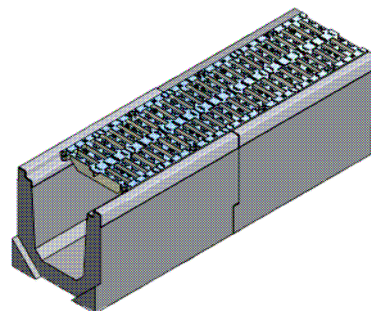
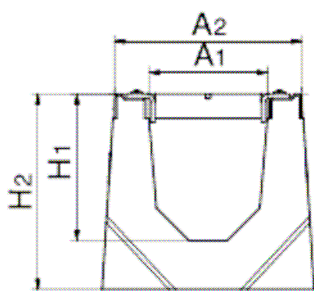
4.5.6 - מתקני קליטה אורכיים

4.5.6.1 - סיווג מתקני קליטה אורכיים

מתקני קליטה אורכיים קולטים את הנגר לאורך הכביש בצורה רציפה (או מקוטעת עם הפסקות קצרות) וזאת בניגוד לקליטה הנקודתית שבא קליטת המים מהכביש ממוקדת לנקודות בודדות לאורך תוואי הכביש. מערכת קליטה אורכית כמעט לא מוגבלת בכושר הקליטה של מהנגר ממיסעת הכביש אבל מוגבלת בכושר ההולכה של הנגר בחתך התעלה.

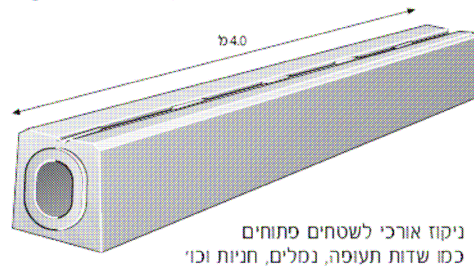
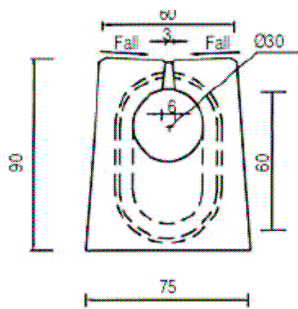
בישראל קיימות מספר מערכות קליטה אורכיות כדלקמן :
תעלות ניקוז עם סבכות - תעלות ניקוז מלבניות טרומיות או יצוקות באתר עם סבכות אלמנט צד מנקז – תעלת ניקוז מלבנית אשר קחליטת הנגר מתבצעת דרך פתחים צרובים לאור המכסה שסוגר אותה.
נקזים מחורצים (Slot Drain, Slot Channel) – מערכת קליטה אורכית שמבססת על תעלות עגולות או אובאליות וחרוץ ברוחב של 3.0 ס"מ אשר נמצא במרכז התקרה. מערכות אילה מיוצרות הארץ עם אפשרות לשיפוע בתעלה כאשר הכביש נמצא בשיפוע אורכית אפסי.
רצ"ב שרטוטים עקרוניים של המערכות השונות⁴:

תעלות ניקוז עם סבכות



⁴ השרטוטים והתמונות מתוך הקטלוגים של חברות אקרשטיין וולפמן.

נקזים מחורצים (Slot Drain, Slot Channel)



4.5.6.2 – הידראוליקה של מתקני קליטה אורכיים

חישוב הידראולי עבור מתקני ניקוז אורכיים מתבצע עפ"י נוסחאות זרימה מקובלות ומתוארות לעיל ובד"כ יוצא מהנחה כי כל הנגר נקלט ע"י המתקן. הגבלת כושר קליטה עלולה להיות כאשר מובל מתמלא ומטבע את הזרימה הנכנסת, לכן בכל מרחק מסוים מחושב ממוקמת שוחת שחרור.

$$Q = \frac{A \cdot R^{2/3} \sqrt{i}}{n}$$

$$Q = V \cdot A$$

כאשר:

Q – ספיקה (מ"ק/שנ')

i – שיפוע אורכי של התעלה, מ'/מ'

n – מקדם מאנינג

A – שטח חתך הזרימה (מ"ר)

R – רדיוס הידראולי (מ')

V – מהירות זרימה (מ'/שנ')

4.5.6.3 – חישוב הידראולי של מתקני קליטה אורכיים (כגון: תעלות עם רשת ירדן,

Slotted Inlets וכד') בשקעים

מבחינה הידראולית המתקנים האורכיים מתפקדים כמגלש עד גובה מים מסוים וכנחיר עם גובה מים מעל גובה מסוים. בין שני הסוגים של התפקוד הנ"ל קיים גם משטר מעבר בין מגלש לנחיר. לדוגמה, כאשר גובה מים נמוך מגובה אבן השפה רשת ירדן מתפקדת כמגלש תמיד. מתקן מסוג Slotted Inlets (תלוי גם ברוחב הפתח) מתפקד כמגלש עד גובה מים

של 6 ס"מ וכנחיר בגובה מים מעל 12 ס"מ. בניהם קיים משטר מעבר. פירוט ראה [מ"מ 1]
. מודגש כי שימוש בנקזים מחורצים לא מומלץ בשקעים עקב רגישותם לסתימות.

4.5.6.4 – עקרונות תכנון של מתקני קליטה אורכיים

כאמור, תחום שימוש בכבישי מעצ מוגבל עקב רגישות לסתימה. קיימים מתקנים עם אבן שפה או בלי. משולב עם סבכות ולא משולב. במקומות הנמוכים ובמקומות בהם קיים חשש לסתימה אין להשתמש במערכת זו. חישוב כושר קליטת הנגר כאשר זרימה קיימת לאורכו ורוחב פתח הקליטה מעל 4.5 ס"מ והמתקן פועל כנקודתי, מתבצע בדומה לשאר מתקני קליטה צידיים. אם רוחב פתח קליטה קטן מ-4.5 ס"מ, ניתן להכפיל במקדם קטן מ-1. בארץ השימוש הוא ברוחב פתח 3 ס"מ. תפקוד מתקני קליטה אורכיים בשקעים דומה לתפקודם בתחום השיפוע האורכי. דהיינו, החישוב ההידראולי מתבצע בהנחה כי כל הנגר נקלט ע"י המתקן והגבלת כושר הקליטה יכולה להיות כאשר המובל מתמלא. בחישוב נדרש לוודא שרוחב הזרימה מתאים לדרישות. בכל קטעי הכביש העירוניים או הבינעירוניים בעלי שיפוע אורכי קטן מ-0.4% ואורך מ-20 מ' יש לתכנן מערכת ניקוז אורכית. מערכת לקליטה אורכית מתאימה לקטעים בעלי שיפוע אורכי קטן מ-0.3%. תעלות בטון עם רשת: ביצוע רשתות עפ"י כללים של רשתות קולטנים. מערכת ניקוז מחורצת יש להשתמש בפרט עם חריץ לא רציף. אין להשתמש בשקעים עקב רגישות לסתימה.

4.5.6.4 – מתקני ניקוז משולבים עם מעקות בטון (קבועים וזמניים)

מעקות בטון הנמצאים בשימוש כיום הם מעקות בטון טרומיים (לדוגמה DELTA BLOC) או מעקות בטון יצוקים באתר (לדוגמה STEP) המאושרים ע"י הועדה הבין משרדית. במרכז הכביש המעקות יכולים להיות ממוקמים בשורה אחת או בשתי שורות (מעקה כפול). בהרכב סטנדרטי המעקות כוללים בתחתית פתחי ניקוז (DB) או מעבר לבעלי חיים קטנים (STEP). נושא מעבר בעלי חיים חשוב במיוחד כאשר מעקה בטון מבוצע בנוסף למעקה במרכז הכביש גם בקצה הכביש. בתכנון ניקוז מיסעה יש להתחשב בנושא מעבר לבעלי חיים מחד ולזכור כי מעבר נגר בין המסלולים אינו אפשרי מאידך, דהיינו דורש סתימת פתחים. פתרון אפשרי לבעיה- מיקום פתחי למעבר לבעלי חיים מיד במורד מתקן קלוטה לניקוז-עד 6 מ' ממנו. כעיקרון כל הפתרונות (והחישובים ההידראוליים) של שימוש במתקנים סגורים נקודתיים או מערכת לקליטה אורכיים תקפים גם לניקוז מרכז הכביש. לחלק מהפתרונות בקטלוגים של יצרנים שונים קיימים מוצרים טרומיים משולבים בין מעקה בטון למתקן הניקוז.

פתרונות ניקוז שמחייבים הפסקת קירות לסוגיהם במפרדה, שזה בעיקר מעקות בטון, יהיו ההפסקות (או שנוי למעקה פח/שקוף) באורך 60 מ' לפחות. הפסקות כנ"ל נדרשות בקטעים קעורים של הכביש במקרים של חציית נחל באותו מקום לצורך העברת ספיקות חריגות במיוחד.

קיים מתקן אחד שבו משתמשים בפתח ליד מעקה בטון – מעקה בטון כפול. ראה פרטים סטנדרטיים. יש לזכור כי תמיד הפתרון חייב להיות מוצדק מבחינה כלכלית. לדוגמה בשיפועים תלולים כושר הקליטה של הפתח הנ"ל זניח לעומת קולטנים למשל.

4.6 – תיעול

4.6.1 - כללי

מערכות תיעול הם מערכות תת קרקעיות אשר מובילות נגר מאמצעי קליטה נקודתיים או אורכיים אל מחוץ למיסעת הכביש לתעלות פתוחות.

מובלי תיעול מורכבים ע"פ רוב מאלמנטים טרומיים של צינורות עגולים או מובלים מלבניים יצוקים באתר או טרומיים ושוחות בקרה לתחזוקה שוטפת של המערכת.

4.6.2 - הידראוליקה של מובלי תיעול עגולים

החישוב ההידראולי של מובלי התיעול מבוסס על נוסחת מאנינג כדלקמן :

$$Q = \frac{K_Q \cdot D^{2.67} \cdot S_o^{0.5}}{n}$$

$$V = \frac{K_V \cdot D^{0.67} \cdot S_o^{0.5}}{n}$$

כאשר:

Q – ספיקה (מ"ק/שנ')

K_Q – מקדם (שווה ל 0.312 ביחידות SI)

K_V – מקדם (שווה ל 0.397 ביחידות SI)

S_o – שיפוע של קו אנרגיה, מ'/מ'

n – מקדם מאנינג

D – קוטר פנימי (מ')

V – מהירות זרימה (מ'/שנ')

חישוב זה תקף כאשר מוצא המובל פתוח ובצינור מתקיימים תנאי זרימה תקינים. בכל מקרה אחר יש לבצע בדיקה של פרופיל הידראולי לאור הקו.

4.6.3 - עקרונות תכנון מובלי תיעול

4.6.3.1 – עקרונות תכנון צנרת ניקוז

בתכנון צנרת הניקוז עקרונות התכנון הם:

- א. קוטר מינימאלי של צינור אשר משמש לקליטה של יותר מקולטן אחד - $\varnothing 50$ ס"מ.
- ב. קוטר מינימאלי של צינור מחבר בין קולטן לשוחות ביקורת ע הקו המאסף - $\varnothing 40$ ס"מ.
- ג. במקרים חריגים משיקולים של עומק כיסוי מעל הצינור ניתן להשתמש בהתחברות קולטן למערכת מאספת בצינור מפלדה $\varnothing 14$ או בצינור מחומר מבני פלסטי בקוטר 355 \varnothing מ"מ.
- ד. עומק מים מרבי בצינור – 0.7 מקוטר הצינור.
- ה. השיפוע המזערי: כאשר עומק זרימה שווה לחצי קוטר הצינור מהירות הזרימה לא תהיה קטנה מ-1 מ"/שנייה, אך לא פחות מ-0.2%. יש לזכור כי אחד מהתפקידים של מערכת סגורה (פרט לתחנות שאיבה) היא הוצאת פסולת, לכלוך, צופת סחף וכדו' מפני מיסעת הכביש
- ו. מהירות זרימה מקסימאלית בצינורות ומובלים בטון – 8.0 מ"/שנייה.
- ז. בחיבור של מערכת מתוכננת למערכת קיימת (לדוגמה, למערכת עירונית), יש לבדוק השפעה וכושר הולכה של המערכת הקולטת כולל קבלת אישורים מתאימים.
- ח. צינורות, שוחות ושאר אביזרים יהיו בהתאם לתקנים הקיימים ומפרטי החברה
- ט. החיבורים בין הצינורות יהיו אטומים ויבוצעו באמצעות אטם מובנה בשקע של הצינור (על הנקבה).
- י. כל החיבורים לשוחות יהיו גמישים ואטומים ויתאימו לדרישות האיטום בהתאם לת"י 27

..

4.6.3.2. – שוחות בקרה

מטרתם של שוחות הבקרה לאפשר תחזוקה ותמרון של מערכת התיעול עד למוצא. השוחות הם מוצר טרומי ויכולות להיות מלבניות או עגולות בהתאם לזווית כניסת הצינור לשוחה והקוטר החיצוני של השוחות. מבנה השוחה כולל תחתית, חוליות הגבה במידת הצורך, תקרה ומכסה. עקרונות תכנון השוחות הם כדלקמן:

א. מרחק מיקבי בין שוחות בהתאם לטבלה הבאה:

ב. מקומות שבהם חובה להתקין שוחות:

קוטר צינור \varnothing ס"מ	מרחק מקסימאלי בין שוחות מ'
עד $\varnothing 60$	100
$\varnothing 70 - \varnothing 90$	125
$\varnothing 100$ ויותר	150

ג. מקומות בהם קיימת חובה להתקין שוחות ללא תלות בגורמים אחרים:

ג1 - התחברות שני צינורות ויותר

ג2 - שינוי קוטר צינור

ג3 - בעיקול או שינוי כיוון מעל 10 מעלות

ג4 - שינוי שיפוע אורכי בקו

ד. קיים יתרון לשוחות אינטגרליות שאינן מפריעות לזרימה במיוחד במהירויות זרימה גבוהות

ה. בתכנון חיבורים בין צינורות וחיבור לשוחה יש חשיבות לאיטום על מנת למנוע חדירות מים. האיטום יתאים לתקנים רלוונטיים ויבוצע עפ"י המפרט הכללי החדש של מעצ ו. יש להקטין עד כמה שניתן מרחק בין תחתית השוחה ל- I.L של הצינור היוצא ז. אין לתכנן שוחות במיסעת הכביש. מומלץ למקם קווי תיעול ושוחות מתחת למדרכה/שטח מגוון צמוד לאבן שפה או מעקה/קיר בטון

מכסים

מטרתם להבטיח גישה לצורך בקרה ותחזוקה.

יש להתאים את גודל המכסים לעומק השוחה. במקרים שהמכסים יהיו בפני האספלט גובם יהיה זהה במדויק לרום האספלט וצמודים לא.ש. או מעקה/קיר בטון התוחם. המכסים יהיו עם נעילה.

סוגי המכסים יהיו בהתאם לתקן הקובע או/ והמפרט הכללי של מעצ. המכסים במסעה לא יהיו לפחות לעומס ממין D 400 (קבוצה 4) שזה יותר מחמיר ממה שכתוב בת"י 489 חדש.

4.7 – ניקוז מיסעה בגשרים

כעיקרון, מבחינה הידראולית ניקוז הגשרים זהה לניקוז מיסעת הכביש. יחד עם זאת, קיימים נושאים מיוחדים רלוונטיים לגשרים בלבד. להלן מודגשים מספר נקודות ספציפיות לגשרים:

יש להשתמש בקולטנים שמתאים לניקוז גשרים. ברוב המקרים רשת ת"א רגילה אינה מתאימה לשימוש בגשרים.

אין לבצע בפתחים במעקות בטון לצורך ניקוז. באופן כללי אין לאפשר זרימת מים הישר לאלמנטים של בטון (קורות), לא ממתקני קליטה ולא ממערכת תיעול (צינורות). נקודת המוצא צריכה להיות במקום שלא יהווה מפגע לגשר או בעיה בטיחותית.

קיימות שלוש נקודות בהן נדרשת התייחסות בתכנון ניקוז ומתן פתרון בהוצאת המים:

מפני מיסעת הגשר

מים אשר קלועים בין שכבת אספלט לבין פני בטון

מים שיציאתם נמנעת ע"י תפרים

מרחק בין מתקני קליטה יקבע ע"י חישובים הידראוליים ויתואם עם מרחק בין הניצבים.

4.8 – מראה מקום

- [1] HEC 22, Urban drainage design manual .FHWA, august 2001
- [2] Highway Design Manual, Chapter 830- Roadway drainage .California, may 2001
- [3] Hydraulic manual WSDOT, march 2007
- [4] Пособие по гидравлическим расчетам. Г.Я.Волченков .Moscow, 1992
- [5] Chow, V. T., Open Channel Hydraulics ,1959
- [6] HEC 21, Design of Bridge Deck Drainage .FHWA, may 1993
- [7] הנחיות ניקוז מהדורת מע"צ. שמואל רזניק



פרק 5 – תעלות כביש

5.1. - מדיניות לתכנון תעלות כביש והסדרת נחלים

5.1.1. - תפקיד תעלות הכביש

תעלות הכביש אמורות לנקז את מיסעת הדרך ומדרונות מילוי וחפירה שבתחום זכות הדרך.

במצב בו מערכת כבישים מתוכננת גורמת לשינוי במערכת הנגר האזורית או אף המקומית אזי יהיה על מתכנן ניקוז של הדרך להתאים את תכנון (החתכים של התעלות ומתקנים) למצב של שמירה על מצב קיים על מנת שלא להרע אותו, דהינו שמירה על מפלסי הצפה וכושר הולכה במפלסים הקיימים. לגבי התעלות מדובר על אפשרות של הצורך בקליטת נגר נוסף לזה של תחום הדרך. המקרים יכולים להיות כגון:

- כביש בחפירה יקבל את כל הנגר ממדרון שנחתך והשטח שמעליו,
- כביש במילוי חוצה עמק או מערכות ניקוז של אחרים.

5.1.2. - אפיק אזורי

תעלות ניקוז/נחלים לאורך הדרך, שספיקת הנגר החיצוני בהם מגיעה למימדים של אפיק אזורי כמקובל ברשויות ניקוז. אפיק כזה יוסדר מחוץ לתחום זכות הדרך של מעצ ובתיאום מלא עם רשות ניקוז הרלוונטית ולפי עקרונות שלהלן.

יצוין במפורש שתעלות כביש אינן תחליף לתשתיות ניקוז אשר באחריות רשות המים/רשויות הניקוז ואמורות להיבנות ע"י רשויות ניקוז ובשטחן.

5.1.3 נחלים חוצים

הסדרת נחלים חוצים תעשה בקטעים קצרים ככל האפשר סמוך לכביש כהמשך אינטגרלי למעביר מים/גשר קיים או מתוכנן, כל זאת בתנאי ובמידה שההסדרה מאפשרת פתרון אופטימאלי / טוב יותר עבור מתקן החצייה שבכביש מעצ או שתפקידה לשמור עליו.

סיבה נוספת להסדרת נחלים גם כשהם רחוקים מהכביש וקטעי הסדרה עלולים להיות ארוכים, הינה כאשר קיימת (על פי בדיקת מתכנן הניקוז) סכנת הצפה או נזק אחר לדרך של מעצ והחלופה של הגבהת קו אדום ו/או מיגון הסוללות קשה יותר ובעלויות משמעותית גבוהות יותר.

כל טיפול בנחל מחייב אישור של רשות ניקוז ובמידת הצורך גם טיפול סטטוטורי.

5.2. – עקרונות לתכנון נחלים ותעלות

תעלות ונחלים בקרבת הכביש יתוכננו מבחינת הכביש בהסתברות תכן כדלקמן :

5.2.1 - בתוואי הדרך

נחלים ותעלות שחוצים את תוואי הדרך או עוברים במקביל לתוואי הדרך יתוכננו על פי הקריטריונים של אי הצפת הכביש כפי שמופיעים בפרק 3 – מתקני חציה-בטבלאות של סעיף 3.1, המגדירות תדירות תכן לתכנון מתקני ניקוז. התדירות הגבוהה ביותר עבור תכנון תעלות כביש, כולל גדולות שמהוות למעשה נחלים, הינה 10 שנים, זאת כאשר הכביש על סוללה, דהיינו גבוה מפני השטח הסמוך ואין סכנה של הצפת הכביש בתדירות שבדרגה אחד נמוכה יותר מתדירות התכן, כלומר אם תדירות התכנון הינה 1:20 שנה, הבדיקה לאי הצפה תעשה לתדירות של 1:50 שנה. כלל בדיקה זה נכון גם עבור תעלות/נחלים כאשר הכביש בחפירה. כאשר יש קריטריונים חמורים יותר מצד הגובלים להסדרה (על פי קריטריונים מאושרים באותם הגופים), התכנון יעשה לתדירות המחמירה יותר אם להסדרה יש שותפים, אחרת - עד לרמה של מצב השטח לפני הקמת הכביש. תעלות הגנה בראש המדרון יתוכננו לפי תדירות תכן של המדרון עצמו - 1:20 שנה. בכל שאר המקרים (כולל תעלות כביש קטנות כאשר הכביש בחפירה) יתוכננו התעלות כאמור על פי הקריטריונים של אי הצפת הכביש.

5.2.2 - מחוץ לתוואי הדרך

הסדרה של נחלים ותעלות שנמצאים מחוץ לתחום הכביש יתוכננו בהתאמה אופטימאלית למתקני חצייה תוך בדיקה יסודית של סכנת הצפה ממעלה הנחל שבדרך כלל איננו מוסדר להסתברויות תכן של מעצ וגרימת נזקים למבנה הדרך עקב כך, כמו כן יש לוודא אי הרעת מצב של גובלים לעומת הקיים לפני כן. בתכנון של הסדרת נחלים ותעלות מחוץ לכביש יש לבדוק את הנושאים הבאים :

- * השפעת ההסדרה או מצב קיים של הנחל/תעלה על מתקן החצייה של מעצ
- * השפעת ההסדרה של הנחל/תעלה על סוללת הדרך ומבני דרך אחרים
- * העדפת אפשרויות איגום / וויסות נגר בתיאום מלא עם גופים רלוונטיים ובהתאם לחוקי התכנון (תמ"א 34 ב/4 וכו')
- * השפעת ההסדרה על הצפות השטחים הסמוכים לגדות הנחל/תעלה תוך בחינת התאמה לטבלה מס' 1.
- * עבודות מחוץ לתחום זכות הדרך חייבות בהליך סטטוטורי כנדרש ע"רשות ניקוז
- * הסתברויות תכנון עבור מפעלי ניקוז על פי תמ"א 34 ב' / 3 בתוקף מתאריך 6/12/2006

ראה בטבלה מס' 1

טבלה מס' 1

השימוש בשטח	תקופת חזרה בשנים	הסתברות מירבית לאירוע בשנה מסוימת
חקלאות: גידולי שדה ומטעים, פארקים	10	10%
בתי צמיחה ומבנים בשטחים פתוחים	25	4%
כבישים ומסילות ברזל *	לפחות 50	2% לכל היותר
סוללות מאגרים וסכרים **	100	1%
שטחים מבונים מעורקי ניקוז ראשיים **	100	1%
שטחים מבונים (רחובות, מגרשי חניה חצרות בתים וכיו"ב)	5 עד 50	20% עד 2%
הצפה פנימית של בתים מכל מערכת ניקוז.	100	1%

* הצפת מיסעות וגשרים לפי תקני מניצורכת ישראל

** בכל מקרה שיש סיכון של ממש לחיי אדם, הסתברות התכנון תהיה 1% ומטה בהתאם לדרגת הסיכון וחומרת הנזק

טבלה מהווה הנחיה בעת הקמת מפעלי ניקוז, פרויקטים, שלא מתפקידם לפתור בעיות ניקוז של אחרים, מורים לא להרע את המצב הקיים אצלם.

5.2.3 – קריטריונים נוספים לתכנון תעלות

תעלות כביש שבמילוי יתוכננו כך שמפלס המים המתוכנן בתדירות 1:10 שנים יהיה נמוך מתחתית מבנה הדרך.
כאשר הזרימה בתדירות לעיל היא בתוך מבנה הכביש יש לדפן (בחרסיות מסוג H באופן אטום) את המדרון המורטב של המבנה, במצב זה נדרשת התייחסות נפרדת לניקוז שכבות המבנה בתיאום עם מתכנן המבנה.

תעלות של כביש בחפירה יבדקו בנוסף לאי הצפת בכביש גם לפי הקריטריונים המפורטים לעיל.
מהירויות זרימה בתעלה אמורות להבטיח מצב תקין עם מינימום תחזוקה לאורך שנים, כלומר, מינימום חתירות, מינימום הצטברות סחף, שמירה על צמחיה נמוכה מיצבת בתעלות עפר ושטיפה עצמית בתעלות בטון ומדופנות.

5.3. – עקרונות לתכנון גיאומטרי של תעלות

5.3.1 - כללי

חתך תעלת הכביש מושפע ממספר גורמים כדלקמן :

- מגבלות של רוחב זמין ברצועת הכביש, בעיה אותה יש לפתור מראש ע"י תכנון טרום תב"ע
- יחסי גומלין בין התעלה לבטיחות נסיעה קרוב לשולי הדרך או בעת תאונה,
- תנאי הקרקע במקום
- השיפוע האורכי של הכביש בהשוואה לשיפוע הטבעי של הקרקע.
- רום מוצאי הניקוז תת-קרקעי
- רומי מעבירי מים שחוצים את הכביש.
- מבנים, קירות תומכים, מתקנים ודרכים שסמוכות לכביש המתוכנן.
- שיקולים נופיים וסביבתיים
- שיקולים טכניים של תחזוקה-נוחיות, בטיחות, תדירות.
- עלויות ביצוע ותחזוקה

במסגרת התכנון על מתכנן הניקוז לבחון את כל הגורמים שהוזכרו ולהחליט על החתך האופטימאלי שעונה לדרישות התכנון, המפורטים בפרק זה.

5.3.2 - גיאומטריה של חתך לרוחב משיקולי בטיחות תנועה

הבחינה הראשונה של הגיאומטריה הרוחבית שלה קשורה לכביש משיקולי הבטיחות של הדרך הבחינה הראשונה של חתך רוחב תעלה שצמודה לשולי הכביש תעשה על פי השיקולים שלהלן:

בכבישים ללא מעקה בטיחות

שיפוע דופן תעלה מקצה השוליים (שיפוע יורד) יהיה 1:4 בהתאם לשיפוע סוללת הדרך.. השיפוע הנגדי (שיפוע עולה) יהיה 1:3, אלה שיפועי מינימום, דהינו התלולים ביותר. החתך התעלה טרפזי ברוחב תחתית מינימאלי של 1.30 מ', כל זאת על פי התאמה לדרישות תכנון אזור מפלט.

בכבישים עם מעקה בטיחות

כאשר יש חריגה מ מתחום זכות הדרך, או מתקבלת תעלה במימדים ועלויות גבוהות במיוחד, יבחן מעבר לחתך עם מעקה בטיחות. בחינת סבירות החתך (הנדסית, כלכלית, סביבתית) תעשה בכל מקרה.

בכבישים עם מעקה בטיחות אין משמעות לאזור המפלט ולכן המגבלות הנ"ל אינן חלות על חתך הרוחב של התעלה מאחרי המעקה. התעלה כן תמוקם מחוץ לתחום הפעיל של המעקה (המרחק בהתאם לסוג המעקה). במקרה זה צורת חתך לרוחב התעלה נקבע משיקולים

הידרוליים, כלכליים ושיקולי תחזוקה, משום כך יש לשאוף לעומק, רוחב ושיפועי דפנות מינימאליים ככל האפשר ובהתאם לדרישות המינימום של סוג הקרע כפי שיפורט בהמשך.

5.3.3 - בחירת סוג חתך רוחב התעלה

תעלת עפר הינה ברירת המחדל של המתכנן הניקוז.

החתכים המקובלים בתעלת עפר הם :

חתך משולשי

חתך טרפזי

חתך מלבני

חתך משולשי יתאים לרוב גם כחתך של תעלות הגנה מנגר חיצוני בראש המדרון כמו גם כתעלת כביש בהתאמה לכללי בטיחות, פרט למצבים של חתך זרימה לא מספיק או בעיית רוחב זכות הדרך או בעיות תחזוקה בתנאים מסוימים .

חתך טרפזי יהיה בעל רוחב תחתית מינימאלי של 1.3 מ' ויתאים יותר לספיקות גדולות יותר כאשר יש מגבלת עומק, כמו כן מאפשר חתך טרפזי תחזוקה נוחה וזולה יותר בדרך כלל.

"יצוב תעלות ידון בפרק "יצוב מדרונות ותעלות", אך בעיקרון ייצוב קשיח יתוכנן רק במקומות של סכנה מיידית למתקני הדרך עקב חתירות או קטעים בעלי שיפועי אורך ו/או מהירויות קטנים מהמותר.

בחתך משולשי או טרפזי יש לקבוע שיפועי דפנות אופטימאליים-תלולים במידה והם מספיק יציבים ולא מתונים מדי שלא לצורך אחר (כמו נוף לדוגמה).

5.3.4 - קביעת שיפוע דופן התעלה

שיפועי דפנות אמורים להיות תלולים עד כמה שניתן על מנת כאמור לחסוך ברוחב התעלות וכמויות חפירה שלא לצורך, אך כל זאת תוך שמירה על יציבות.

במידה ואין מספיק רוחב ליצירת דפנות יציבות בסוג קרקע נתון, יהיה צורך באמצעים כגון דיפון, קירות וכו'.

שיפועי דפנות יציבים תלולים בסוג הקרקע במקום, לכל סוג קרקע קיים שיפוע שמוגדר כיציב בשיפוע התלול ביותר לאותו סוג קרקע.

בספרות מקצועית ישנן המלצות שונות לגבי שיפוע דופן תעלה/מדרון יציב לאחר חפירה ובתנאי לחות/הרטבה קריטיים, דהינו מצב די גבולי שמעבר לו (בשיפוע תלול יותר) המדרון איננו יציב עוד.

להלן שפועים מומלצים כיציבים על פי הניסיון בארץ :
טבלה מס' 2:

שיפוע דפנות 1: m (אורך : גובה)		סוג קרקע
תעלה בעומק מים עד 1.0 מ'	תעלה בעומק מים גדול מ 1.0 מ'	
1:0.50	1:0.25	כבול
1:2.00	1:1.50	חרסית
1:2.50	1:2.00	חמרה חרסיתית או טינית
1:3.00	1:2.50	חמרה חולית
1:4.00	1:3.00	חול/חווור

בתעלות/נחלים סמוכים לכביש יש לתאם שיפוע דפנות עם יועץ קרקע/ תכן מבנה של הפרויקט.

5.3.5 - שיפוע אורכי של תעלות

שיפוע אורכי של התעלות הוא הגורם השני שקשור למהירות הזרימה בתעלה ולאירוזיביות שנוצרת מזרימת המים בחתך התעלה.

ככל שהשיפוע יותר מתון מהירות בתעלה קטנה ועמה הסכנה לארוזיה. מצד שני כאשר השיפוע הופך מתון ביותר וקשה לביצוע (נוצרות שלוליות כתוצאה מליקויים בביצוע שיפוע אורכי אחיד). בעיה נוספת היא שבשיפועים מתונים מאוד שקיעת סחף באפיק התעלה מוגברת במהלך הגשמים והזרימות הקטנות. תופעה שגורמת לסתימת התעלות בסחף.

השיפוע האורכי המינימאלי של תעלות הכביש נקבע ל-3% , זה השיפוע שעדיין בר ביצוע מבחינת דיוקים או סטיות מהמתוכנן בגבולות הסביר והמותר (פרטים במפרט הכללי). קיימים מצבים ששיפוע מינימום נדרש יהיה גדול מ-3% , זאת כאשר מהירות מינימאלית למניעת סתימת התעלה בסחף מחייבת שיפוע אורכי גדול יותר או במצב של מים עומדים מהווים מפגע סביבתי באזור עירוני. הגדלת השיפוע עלול להגדיל עומק, רוחב ונפח החפירה מעבר לסביר ולכן מחייבת בדיקת אפשרויות אחרות (כגון מעבר לייצוב קשיח).

5.4. – מהירות זרימה מותרת בתעלות עפר

סוג הקרקע והמסלע (כאשר הם חשופים) קובעים את מהירות הזרימה המותרת ואת השיפוע האורכי המרבי המותר, את כוח הגזירה המותר, שהוא פונקציה של המהירות ואת שיפועי דפנות האפיק. על מנת שתיווצר סחיפה דרושים להתקיים שני תנאים הכרחיים: האחד, כוח ניתוק והשני, כוח/גורם הסעה. מידת הסחיפות של הקרקע היא פונקציה של דרגת הקוהזיה שבין חלקיקי הקרקע אשר הקובע את כוח הניתוק הנדרש ואת גודל החלקיק הצפוי להיסחף.

קרקע חרסיתית - היא בעלת קוהזיה גבוהה ולמרות החלקיק הקטן הבונה אתה, פוטנציאל הסחיפה שלה נמוך יותר.

קרקע חולית - ללא קוהזיה כלל, בעלת חלקיקים גדולים יחסית לחרסית אך היא בעלת פוטנציאל סחיפה גבוה.

קרקע טינית (סילט) – קרקע בעלת פוטנציאל הסחיפה הגבוה ביותר ככל שהרכב הסילט בה גבוה. הסילט מאפיין ע"י חלקיקים קטנים מספיק וללא כל קוהזיה. כאשר הסילט משתחרר, משתחררים איתו גם חלקיקי החרסית הקטנים והסחיפה מואצת עוד יותר

קרקע משוכבת - הקרקע היא בעלת פוטנציאל סחיפה גבוה. רגישותה לסחיפה נקבעת ע"י שכבה הרגישה ביותר. כאשר היא מתערערת, קורסות בעקבותיה גם השכבות העמידות יותר

קרקעות מלוחות - בקרקעות אילו יש סחיפה מואצת ביותר, הסחיפה מתחילה בהתפתחות מנהרות תת-קרקעיות (tunneling - i piping), ערעור כל השכבה וקריסה כוללת. מצב זה אופייני בעיקר באזורים מדבריים יבשים (קרקעות לם והדומים)

עוצמת הסחיפה מושפעת גם מעומק זרימת המים (קטנה עם הגדלת העומק), מדרגת פיתולי אפיק הזרימה (גדלה ככל שהאפיק מפותל יותר) ומתכסית שטח פני הזרימה (קטנה ככל שצפיפות התכסית גדלה או הופכת ליציבה יותר). לפיכך, ערכי המהירות המותרת נקבעו בהתאם. ערכים נבחרים ראה בטבלה מס' 3

טבלה מס' 3:

ערכי המהירות המותרת ממוצעת לפי סוג הקרקע לתעלה ישרה ועומק 1.0 מ'

מהירות מותרת מרבית מ/ש'	גודל גרגיר מ"מ- או הצפיפות	סוג הקרקע או התכסית
0.20	0.005	סילט/טין דק
0.45	0.25	חול דק
0.60	1.00	חול בינוני/חמרה חולית
0.90	2.50	חמרה
1.20	0.002	חרסית
1.60		חרסית קשה
1.45	25	צורות גדולים/אבנים קטנות
1.85	40	צורות גדולים/אבנים בינוניות
2.50	100	אבנים
3.20	300	אבנים גדולות
7.50	1000	אבנים ענקיות
3.50	צמחיה צפופה ביותר	צמחיה מסוג B*
2.50	צמחיה טבעית גבוהה	צמחיה מסוג C*
1.90	צמחיה טבעית בקרקע קשירה	צמחיה מסוג D*
1.20	צמחיה דלה בקרקע סחיפה	צמחיה מסוג E*

*על פי הגדרות התחנה לחקר הסחף

מקדמי תיקון של המהירות המותרת לעומקי זרימה שונים בטבלה הבאה:

עומק זרימה (מ')	0.5	1.0	2.0	3.0
מקדם תיקון	0.9	1.0	1.15	1.25

מקדמי תיקון המהירות המותרת לדרגת הפיתול בטבלה הבאה:

מידת הפיתול	תעלה ישרה	מתפתלת מעט	מתפתלת בינוני	מתפתלת מאוד
מקדם התיקון	1.00	0.95	0.87	0.78

מעבר לערכים הנ"ל יש לדפן את התעלות.

5.5. – תעלות מלבניות

מעבר לתכנון תעלות מלבניות יהיה לרוב באותם מקומות שהם במקביל לכביש ולא ניתן לתכנן תעלות בחתך טרפזי/משולשי כמצוין לעל. תעלות מלבניות ניתן לתכנן בחתך סלעי מתאים, אך לרוב הן עשויות מבטון בחתכים וגדלים שונים הן כתעלות כביש, והן כנקזים במיסעה ועד לנחלים גדולים, עליהן הדיון בפרק ניקוז מיסעות. תעלות בטון מחוץ לתחום הכביש נדונות בפרק המובלים. תעלת כביש מלבנית מבטון, פתוחה או עם תקרה מונמכת, תמוקם כאמור מחוץ לתחום הפעיל של מעקה בטיחות. גודל התעלה יתוכנן, בדומה לתעלות עפר, בהתאם לטבלת הסתברויות תכן (ראה פרק 3-מתקני חציה) כאשר מפלס המיסעה נמוך מהסביבה. עומק התעלה יהיה לפחות כעומק מים בספיקת תכן בתוספת בלט 0.30 מ'. מעבר לעומק זה ובמידה ונותרים הפרשי גובה ניתן ליצור מדרונות בשיפועים כפי שנקבע לעיל (שיפועי צד יציבים) או אם אין מקום-להמשיך את קיר התעלה בצד הדרך עד רום האספלט בקצה השול פחות 5.0 ס"מ. בצד השני יש להגביה את קיר התעלה עד לדיקור עם המדרון ועוד 20 ס"מ לצורך עצירת הסחף/אבנים של המדרון. פתחי ניקוז בתת-קרקע (לשחרור לחצים הידרוסטטיים) יתואמו עם מתכנני קונסטרוקציה ומבנה הדרך.

רוחב וגובה מינימאלי של תעלות בטון

תעלות מלבניות יתוכננו ברוחב מינימאלי של 1.30 מ' בהתאם לרוחב הכלי המקובל כיום בתחזוקה. ראה הרחבה בסעיף 5.6 של תחזוקת תעלות בהמשך. משיקולים בטיחותיים וסביבתיים עומק תעלת כביש פתוחה לא יעלה על 1.5 מ'. על פי תנאי זה כאשר עומק התעלה גדול מ-1.5 מ' יש לתכנן תקרת ביניים עם חריצים (אלמנט טרומי) אשר יוצרת מובל סגור עם תעלת בטון רדודה במפלס העליון או פתחים לקליטת נגר או מובלים סגורים כפי שמפורט בהמשך אך תוך בחינת צרכי ניקוז שכבות מבנה הדרך והסביבה. תקרת הביניים מחייבת פתחים עם רשת בנוסף לקליטת נגר מהכביש והמדרון הנגדי גם עבור בקרה. המרווח המקסימאלי בין הפתחים - 60 מ'. מרווחים קטנים יותר יבוצעו לאור תוצאות חישוב כמויות הנגר שהתעלה קולטת וגובה המים מעל תקרת הביניים. הנגר מהכביש והשטח יזרום לתעלת הכביש הרדודה וייקלט בתוך המובלים באמצעות החריצים ו/או פתחים עם רשת/קולטני שצ"פ יש לתכנן גידור תעלות עמוקות בהתאם לכללי בטיחות. תעלות בעומקים של מעל 2.5 מ' יש לשקול מעבר למובלים סגורים-מלבניים, טרומיים, או עגולים. מובלי התיעול יתוכננו כאשר מעליהם תתוכנן תעלת כביש בעומק של 50 ס"מ מפני הכביש-תעלת עפר משולשית או טרפזית, על פי הנחיות שלעיל עבור תעלות כביש מעפר. במקרים של תעלות רדודות כאמור יש לבחון את צרכי ניקוז של המבנה. ניקוז שכבות תשתית יהיה במידת הצורך ישירות לתעלה מלבנית/מובל תיעול או ע"י מערכת עצמאית. בשני המקרים האחרונים נוצרת אפשרות לחזור לתעלה רדודה בחתך מתאים לאזור המפלט תוך ביטול מעקות בטיחות ולכן יש לבחון חלופה כזאת בשלבים שונים של תכנון התעלה.

המובלים, מבחינת החתך, יתוכננו ע"פ אותם הכללים כמו תעלות בטון פתוחות. יש להקפיד בכל מובלי בטון על בטון חלק ככל האפשר, (יציקות מול טפסנות חלקה לחלוטין), עיבוד תפרים בהתאם, לאחר הבטחת אטימות שלהם. מיקום המובלים, כולל פתחי בקרה וטיפול, יהיה מחוץ למיסעות על מנת לצמצם למינימום בעיות בטיחות של משתמשי הדרך מחד ואנשי תחזוקה מאידך.

בסמוך לקירות אקוסטיים מומלץ שהקו יבוצע ליד הקיר בצד הפונה אל הכביש, במידה והוחלט משיקולים שונים לבצע את הקו מצדו החיצוני של הקיר האקוסטי (הצד של המגרשים) יש לדאוג למעבר הנגר מהמיסעה על המובל ולפתרון התחזוקה של המובל (נגישות, כלים וכו'). מערכות סגורות שלא מאפשרות כניסה ישירה של נגר מהגובלים ייצוידו במתקני קליטה מתאימים כגון קולטני השצ"פ/גינון אשר יבוצעו ע"פ חישוב הספיקות וכושר הקליטה של הקולטן. מרחק מקסימאלי בין קולטנים לא יעלה על 100 מ'. במקרה של תעלות כביש פתוחות אך מופרדות מהגובלים שאמורים להתנקז אליה, ע"י קיר יש לתכנן פתחים או מתקני ניקוז על מנת לא לחסום ניקוז שטחים סמוכים, אך תוך כדי כך למנוע כניסת סחופת מכל סוג שהוא. בחירת חלופה מועדפת בין אפשרויות שונות של תעלות ומובלים תעשה כאמור על בסיס של שיקולים הנדסיים, סביבתיים וכלכליים ובהתאם להנחיות שבפרק זה.

5.6 – תחזוקת תעלות

תחזוקה של תעלות כביש הינה מרכיב חשוב בשיקולי התכנון של תעלות הכביש. תעלת הכביש מרכזת פסולת, סחף, צמחייה שגדלה ומים עומדים הן בתעלות עפר והן בתעלות בטון ולכן קיים צורך בניקיון.

בנוסף לכך, בתעלות עפר החתירות הורסות את התעלות ובהמשך גם את מבני הדרך.

למעשה כל התעלות מחייבות תחזוקה שוטפת.

מטרות התחזוקה

לתחזוקת תעלות מספר מטרות חשובות ביותר:

- למנוע נזקי חתירה וסחף למבנה הדרך,
- לשמר כושר הולכה של מערכת ניקוז בכדי למנוע הצפות
- לשמור על ערך ההשקעה הראשונית של מערכת ניקוז ומבני הדרך.
- למנוע נזקים לסביבה וע"י כך גם תביעות בעתיד.

השיקולים בבחירת שיטות התחזוקה של תעלת הכביש הם :

- ❖ עלות תחזוקה כולל כנגד עלויות נזקים
- ❖ מהירות הטיפול כהקטנת המטרד שבו
- ❖ אופן שמירה על יציבות התעלה

❖ נגישות

❖ שמירה על בטיחות התנועה

עלות – תכנון תחזוקת תעלות הכביש צריך לכלול שיקולי כלכליות. מומלץ שתחזוקת תעלות הכביש תעשה באמצעות כלים שמישים ברשות החברות הקבלניות, כלים מיוחדים ונדירים שלא לצורך עלולים ליקר את העבודה וגם לגרום לעיקובים לעומת כלים מוכרים, זמינים.

מהירות – עבודה לצד כבישים עם תנועה מחייבת ביצוע מהיר של פעולות תחזוקה כדי לגרום מינימום הפרעות לתנועה בכביש. ניקוי בכלים מכניים הוא הפתרון הרצוי להגברת מהירות הניקוי.

שמירה על יציבות התעלה תעשה ע"י התאמת כלים ושיטות לסוג התעלה ומצבה בעת ביצוע הפעולות, זאת ע"י שמירה על צמחיה מייצבת, שמירה על ריצופים, התאמת בין מפלסי קרקע ואלמנטים קשיחים.

נגישות – נגישות הכלים לניקוי, ומשאיות העמסה מהווה גורם חשוב בשיקולי התחזוקה. מומלץ שניקוי התעלה יעשה בגדה הרחוקה מהכביש ולא משולי הכביש, עד כמה שניתן, ושהתכנון הגאומטרי יכלול נגישות מתאימה.

התאמת תעלות לכלי תחזוקה

רוחב ועומק תעלת הכביש שנקבעו כפונקציה של התחזוקה, תלויים בסוג הכלים הזמינים שקיימים בשוק, באופן הנגישות ובשיטת התחזוקה שנבחרה ולכן יש לבצע עדכונים תוך פירוט בנספח התכנון של הניקוז של הכלים שמומלצים לתחזוקת קטעי התעלות (כולל כלים לשטיפה).

טבלה מס' 4

בחירת ציוד תחזוקה לתעלות כביש

תיאור	רוחב תעלה מזערי (מ')	עומק תעלה מרבי (מ')
ניקוי בידיים	1.00	1.25
ניקוי בכלים מכאניים מגדת התעלה	מחפרונים	עד 3.0
	מחפר הידראולי (באגר)	14.0-7.0
	מכסחת עם זרוע	עד 3.0 מ'
ניקוי מתוך התעלה	Bobcat 463	יש לאפשר כניסה או הורדה של הכלי לתעלה
	מפלסת	תעלות משולשיות בשיפוע דופן של 1:4 לפחות
	מכסחת	תעלות בשיפוע דופן של 1:4 לפחות

הערה: תעלות יש לנקות עם כף ללא שיניים ורק לצורכי סילוק הערמות סחף ו/או פסולת. תכנון פעולות אחזקה יהיה חלק משלים של תכנון הידרולי של התעלות

5.7. – עקרונות חישוב פרופיל זרימה בתעלות ונחלים

כל החישובים ההידרוליים של הנחלים יהיו מלווים בחישוב והצגת עקום פני מים בספיקות בהסתברויות שונות במצב קיים ומתוכנן לפי חלופות של הסדרה ומבנים בהתאם. על תוכניות ההסדרה יוצגו טבלאות עם נתונים הידרוליים, כגון ספיקה, עומק זרימה, השיפועים, מהירויות זרימה ומהירויות גבוליות. סוג הקרקע והמסלע של התעלה או של הנחל מספק מידע אודות יציבותו הטבעית של האפיק ובצורך או באי הצורך לייצבו בתור הערכה ראשונית עבור שלב תכנון ראשוני. בשלב הבא יש לקבל תוצאות בדיקות קרקע לצורך קביעה מיטבית של מהירויות גבוליות.

חתך לאורך

שיפועי אורך של קרקעית בנחלים אינם נקבעים כמו בתעלות כביש (כל עוד השיפוע הוא תת-קריטי) אלא על פי אנרגיות ומהירויות זרימה, כך יכול להיות שיפוע אורכי בנחל קרוב לאפס, אפס או שלילי. תכנון שיפוע אורכי צריך ליצר מהירויות זרימה כמוגדר עבור התעלות. תכנון חתך רוחב של הנחל שיפוע דפנות של הנחל נקבע כמו עבור תעלות עפר

5.7.1 - חישוב חתכי נחל

המשוואה הבסיסית המשמשת לחישוב, היא כמו בתעלות, משוואת מאנינג. למרות נכונותה עבור מצב של זרימה קצובה ותמידית, מה שלא קיים באפיקים טבעיים, ואפילו בתעלות מתוכננות, היא שימושית לחישוב במרבית הנחלים והתעלות. על פי משוואת מאנינג מהירות הזרימה היא פונקציה של הרדיוס ההידראולי, השיפוע של התעלה או קו האנרגיה וחפפוס התעלה כפי שמבוא במשוואה כדלקמן:

$$(1) \quad V = \frac{R^{\frac{2}{3}} \sqrt{i}}{n}$$

הספיקה שעוברת דרך חתך הנחל/תעלה היא כדלקמן:

$$(3) \quad Q = V \cdot A$$

חישוב מדויק יותר המאפשר את חישובי עקום פני המים ובמיוחד השנוי שבהם, בין הדרגתי (כמו: הערמות או שפילה) ובין סוער (כמו: זנק הידראולי), נעשה באמצעות מאזן הפרשי האנרגיה. מתייחסים לשני חתכים סמוכים, תוך כדי ההנחה שביניהם חלה זרימה קצובה ותמידית. מניחים חתך תעלה ורום המים בנקודה ה-0. מניחים את רום המים הצפויים בחתך הסמוך ומתוך הפרשי האנרגיות הסגוליות, שיפוע התעלה והאנרגיה הכוללת הממוצעת של שני החתכים מחשבים את המרחק שבין שני החתכים. כך מתקדמים מחתך

לחתך עד שמגיעים לאותם פני מים שבהם הזרימה קצובה ותמידית. לפתרון משתמשים
במשוואות הבאות:

$$(4) \quad \frac{Jave - (e_2 - e_1)}{\Delta L} = 1$$

כאשר:

e - האנרגיה הסגולית, מטרים

ΔL - המרחק שבין שני חתכים עוקבים, מטרים

I - שיפוע תחתית התעלה, פרומילים

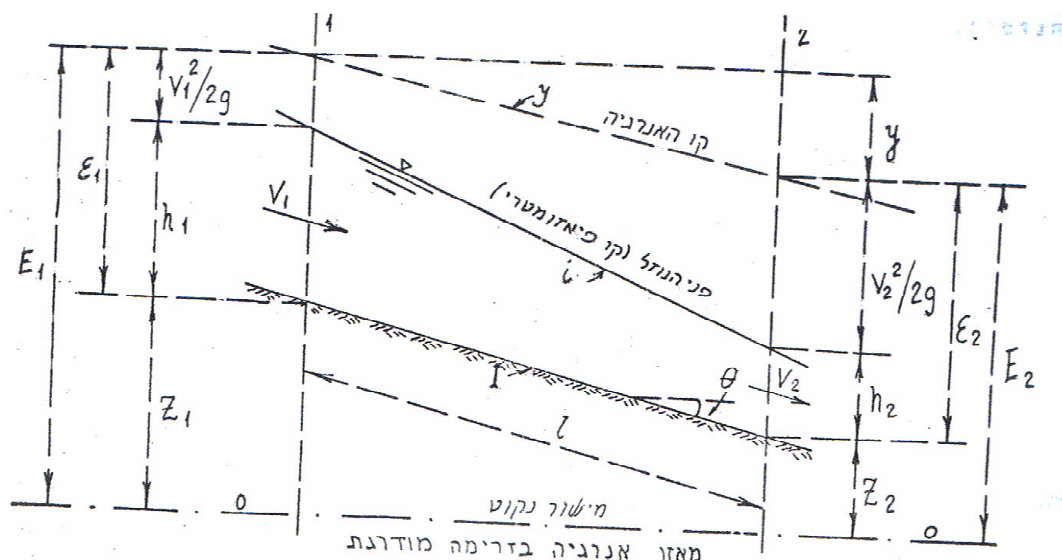
$Jave$ - שיפוע ממוצע של קו האנרגיה של שני חתכים עוקבים, פרומילים

1 ו 2 - ציוני החתכים

האנרגיה הסגולית של החתך מחושבת בהתאם לנוסחה הבא:

$$(6) \quad e = h + \frac{V^2}{2g}$$

תרשים מס' 1 : תרשים גרפי של מאזני אנרגיה



האנרגיה הכוללת בכל חתך שהוא ב- Q ג.מ. לק"ג שווה ל- :

$$E = z + h + \frac{V^2}{2g}$$

$$(6) \quad e = h + \frac{V^2}{2g}$$

כאשר:

E (kgm/kg) ----- אנרגיה כוללת של 1 נוזל ביחס

למישור נקוט 0-0;

z (m) ----- גובה נקודת החתך מעל למישור הנקוט;

h (m) ----- עומק המים בחתך;

$v^2/2g$ (m) ----- האנרגיה הקינטית או העומד המהירות;

y (m) ----- $E_1 - E_2 =$ הפסד אנרגיה (חסיד $y > 0$).

לפי חוק שימור האנרגיה:

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + y = E \quad 0.2$$

החישוב האנרגטי מהווה בקרה שחתך הערוץ יכול להעביר את ספיקת התכן לכל אורכו.

חתכים אופייניים

נתייחס לשתי משפחות בסיסיות מקובלות. האחת, משפחת החתך הטרפזי (כוללת: חתך ריבועי, מלבני, משולשי וטרפזי). השניה משפחת הצינורות בזרימה חלקית ובזרימה מלאה. כמובן שבטבע החתכים הם אמורפיים אבל, ההתייחסות התכנונית אליהם זהה.

המאפיינים של המשפחה הראשונה הם רוחב הבסיס (b , במטרים); רוחב פני המים

(B , במטרים); שיפוע דפנות ($m : 1$, m מבוטא במספר); ו- גובה פני המים מעל הבסיס (h),

(במטרים).

מאפייני המשפחה השניה הם קוטר הצינור (D , במטרים); גובה פני המים מעל קרקעית הצינור (h),

(מטרים); ו- זווית המיתר המתאים לפני המים (Fie , ברדיאנים).

מתוך נתוני מימדים של חתכים אלו, נחשב את שטח החתך המורטב ואת הרדיוס

ההידראולי באמצעות המשואות הבאות:

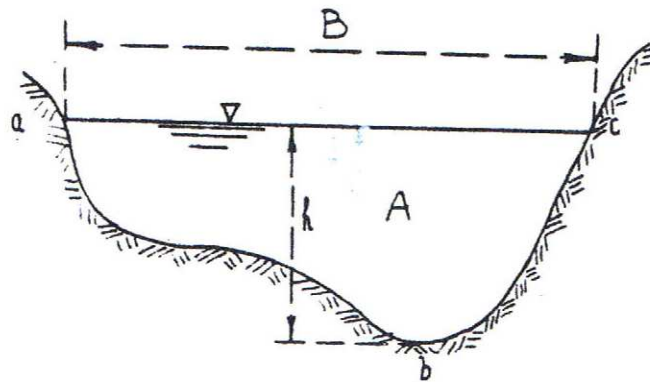
$$(8) \quad A = (B + b)/2 * h \quad \text{עבור המשפחה הראשונה}$$

$$(9) \quad P = 2 * h * \text{Sq}(m^{**2} + 1) + b$$

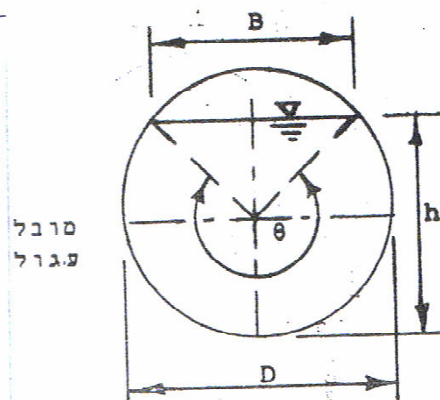
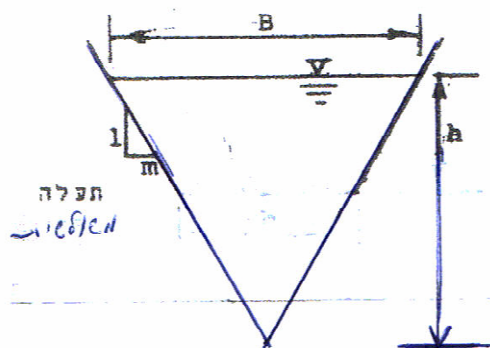
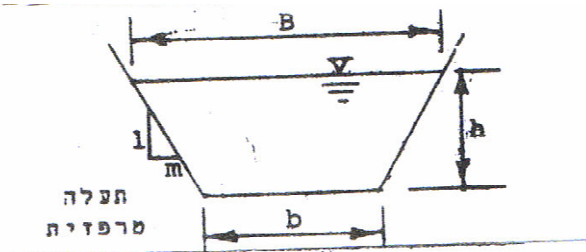
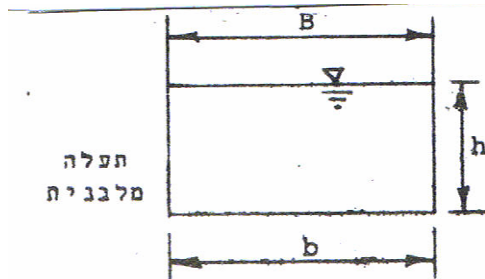
$$(10) \quad A = D^{**2}/8 (Fie - \sin Fie) \quad \text{עבור הצינור}$$

$$(11) \quad P = D/2 * Fie$$

תרשים מס' 2 מדגים את צורות החתכים האופייניים:



אפיק נחל טבעי



מימדי החתך וצורתו קובעים את הרדיוס ההידראולי של התעלה. על פי נוסחת מאנינג, ניתן להראות, שעבור שטח חתך נתון, הספיקה היכולה לעבור דרכו, גדלה עם הגידול ברדיוס ההידראולי. חתך זה מוגדר כחתך האופטימאלי מבחינה הידראולית. יש לשים לב שמבחינת המהירות לא כל חתך אופטימאלי מבחינה הידראולית הוא גם האופטימאלי מבחינת התעלה.

החתך האופטימאלי הוא מובל עגול הזורם כדי מחציתו. במקרה זה $R = 0.5 r$ כאשר r הוא רדיוס המובל. במקרה זה $h = r$ גובה המים מעל לקרקעית שווה לרדיוס.

בטבלה מס' 5 מרוכזים מספר חתכים אופטימאליים אופייניים. ההשוואה ביניהם מבוססת על חתך ששטחו כשטח חצי מעגל בעל רדיוס r :

טבלה מס' 5 חתכי תעלות אופטימאליים

גובה הזרימה מעל הבסיס	רדיוס הידראולי יחסי	צורת החתך
$1.00 r$	$0.50 r$	מעגלי
$1.25 r$	$0.44 r$	משולש ישר זווית
$0.54 r$	$0.30 r$	משולש בשיפוע צדי 1:4
$0.43 r$	$0.22 r$	משולש השיפוע צדי 1:8
$1.25 r$	$0.42 r$	רבוע
$0.95 r$	$0.48 r$	משושה משוכלל

בסכום, בחירת החתך יעשה תוך כדי התחשבות מירבית ביכולת התחזוקה שלו. צורת החתך היעילה ביותר מהבחינה ההידראולית, לא ימלא יעודו ללא תחזוקה נאותה.

5.7.2 - קביעת מקדמי החספוס

את מקדמי החספוס הבסיסיים קובעים מתוך חילוצם ממשואת מאנינג, כאשר עבור חתך זרימה נתון ובשיפוע נתון, נמדדת מהירות הזרימה .

$$n = \frac{R^{2/3} \sqrt{i}}{V} \quad (12)$$

מכאן, עבור זרימה במהירות מסוימת גידול ברדיוס ההידראולי יגדיל את מקדם החספוס. מאידך, עומק זרימת המים מקטין את ערכו של הרדיוס ההידראולי ומכאן את מהירות הזרימה.

האינטראקציה שבין מימדי התעלה, צורת חתכי, תכסית פניה ושפועה האורכי, מחייב ניסיון רב בקביעתו של מקדם החספוס.

ניתן למצוא בספרות ערכי n עבור מגוון של מצבים. כמו כן פותחו משואות חישוב. טבלה מס' 6 :

ערכים מקובלים של מקדם החספוס למנינג (n)

טווח ערכי n	תכסית הדפנות
0.017 - 0.025	תעלת עפר ללא תכסית
0.020 - 0.030	תעלה מתפתלת ללא תכסית
0.025 - 0.033	אפיק טבעי נקי
0.033 - 0.045	אפיק טבעי מתפתל
0.040 - 0.055	אפיק טבעי מתפתל-זרימה רדודה
0.075 - 0.150	אפיק טבעי צמחיה סבוכה
0.025 - 0.035	תעלה מצופה באבני גויל
0.015 - 0.018	תעלה עם צפוי בטון
0.034 - 0.032	צפוי אבן מדורגת לחציון 10 ס"מ*
0.048 - 0.040	צפוי אבן מדורגת לחציון 30 ס"מ*
0.059 - 0.046	צפוי אבן מדורגת לחציון 50 ס"מ*
0.087 - 0.057	צפוי אבן מדורגת לחציון 100 ס"מ*
$0.0482 D^{1/6}$	נוסחה של Clif. Highways
$0.030 R^{-1.601}$	צמחיה צפופה ביותר מסוג B **
$0.027 R^{-0.855}$	צמחיה טבעית גבוהה מסוג C **
$0.0234 R^{-0.667}$	צמחיה טבעית בקרקע קשירה מסוג D **
$0.024 R^{-0.191}$	צמחיה דלה בקרקע סחיפה מסוג E **

מתוך הניסיון בארץ והנוסחאות ה- n היא פונקציה של עומק הזרימה, החספוס והקוטר של האבן החציונית.

n גדל ככל שהקוטר החציוני גדל וקטן ככל שעומק הזרימה גדל.

5.7.3 - מגבלות תכנוניות

א. קביעת מיקומו של תוואי אפיק הזרימה

לא תמיד ניתן לקבוע תוואי אופטימאלי מבחינת האפיק ולא תמיד ניתן להשאיר את התוואי במקומו הטבעי:

יש והתוואי הטבעי מתפצל, מתרחב ו/או משנה את מיקומו עם הזמן ועם גודל ועוצמת השיטפון.

יש ונקבעו עובדות, אפילו בלתי רצויות, בתחומי של הנחל ה"מכרסמות" אפילו בגדותיו – עובדות שקיים קושי רב עד כדי בלתי אפשרי לשנותן.

יש ולמען שילובו של אפיק הזרימה בסביבה ו/או של הסביבה במיקומו של אפיק הנחל, יש לערוך ולהתאים את תוואי הנחל עצמו.

ב. רוחב עליון של חתך הזרימה

רוחבו העליון של הנחל מהווה לא פעם מגבלה תכנונית, במיוחד כאשר הסדרתו נעשית לאחר קביעת עובדות בשטח.

רוחבו העליון עשוי להכתיב את צורת חתכו של הנחל. את שיפועיו הצדדיים ואת הצורך המיוחד לייצבם כמו גם האפשרות לתחזקם כראוי.

רוחב עליון מגביל את האפשרות ליצירת דרכי תנועה ותעלות מגן לאורכן של שתי הגדות כמתחייב.

ג. עומק חפירה

עומק החפירה מוגבל הוא קריטי בעיקר בעבור נחלים הזורמים בשיפועים מתונים עד אפסיים. מגבלה זו יוצרת האטה של הזרימה, הצטברות של סחף כדי סתימת התעלה והצפתם של אזורים נרחבים.

כאשר מהירויות הזרימה חורגות מנתונים גבוליים שנקבעו בטבלה בסעיף 5.4 לעיל.

יבוצע דיפון בהתאם להנחיות שבפרק ייצוב תעלות ונחלים (ראה פרק 6 ייצוב תעלות כביש בהמשך).

פרק 6 – יצוב תעלות כביש

6.1. – כללי

הטיפול בנחלים נדרש בד"כ על מנת להגדיל כושר הולכה עד לרמה הנדרשת על פי הנחיות החברה משיקולי מניעת נזקי הצפה לכביש. סיבה אחרת הינה מצב וצורה לא יציבים או לא מתאימים של האפיק במקום חיבורו לגשר או מעביר מים. התעלות הן בדרך כלל תעלות כביש. תעלות אזוריות גדולות במקביל או בזווית לכביש, התייחסות אליהן תיהנה כמו אל הנחלים.

6.2. – מטרת הייצוב

מטרת הייצוב הינה למנוע נזקים לתעלה או נחל, למבנים הצמודים אליהם של כבישים או של גובלים עם שימושי קרקע אחרים.

הייצוב נדרש במקומות בהם על פי הערכת המתכנן אפיקי הזרימה אינם יציבים דיים מפני חתירה בזרימות שעד ספיקת התכן. תעלות ונחלים במסגרת הפרויקט יכולים להיות שונים במיקום ותפקידם ומכך גם רמת הסיכון שהם מהווים לסביבתם.

אפיקים בעלי רמות סיכון גבוה הינם אלה שתוך כדי זרימה אחד עלולים לפתח נזקים המסכנים מיידית יציבות מבנים או חיי אדם:

* תעלות של כביש בחפירה, החתירה בהן בצד הכביש עלולה לסכן את מבנה ויציבות הכביש ובסופו של דבר את המשתמשים בדרך. סתימת התעלה בסחף עלולה לסכן את הנוסעים עקף הצפה.

* קטעי תעלות ונחלים בחיבורם למעבירי מים או גשרים הינם מקומות רגישים עקב סכנות חתירה מקומיים שסופם עלול להגיע עד לקריסת הגשר ו/או הדרך.

אפיקים אשר אינם מהווים סכנה מיידית כאמור והנזקים בהם ברי תיקון ע"י פעולות תחזוקה סבירות אינם נמנים עם בעלי סיכון גבוה.

סוגי תהליכי סחיפה מתוארים בפרק ייצוב מדרונות (פרק 7) אשר בכללותם נכונים גם עבור תעלות ונחלים. תופעות הסחיפה הדומיננטיות בנחלים ותעלות הן חתירה אורכית וחתירה לרוחב החתך. כפי שיוסבר בהמשך, הבעיה נוצרת עקב משטר זרימה שאינו תואם את תכונות הקרקע. כתוצאה מכך עלולה הקרקעית של תעלה או הנחל להתעמק מאוד (עד מספר מטרים ובתנאים קיצוניים כגון שפת ים המלח – עד עשרות מטרים). בגלל חתירה אורכית ובילדיה עלולות להיווצר חתירות גם בדפנות.

מי השטף גורפים אתם חלקיקי קרקע. כמות הגריפה, וגודל החלקיקים תלויים באנרגיה של זרימת המים.

מים הזורמים בשיפוע קטן ובספיקה סגולית (ספיקת מים ליחידת חתך) קטנה, גורפים רק חלקיקים קטנים ובכמות קטנה. סחיפה כזו נקראת "סחיפת שטח".

מים הזורמים בשיפוע גדול, גם אם הספיקה קטנה יחסית, כמו מים הפורצים משדה אל אפיק עמוק, הם בעלי אנרגיה גדולה ומסוגלים לגרוף כמויות גדולות של קרקע וכך נוצרות בתרונות.

מים הזורמים בתוך אפיק – הספיקה גדולה, והמים מסוגלים לגרוף אתם גם אבנים גדולות.. ככל שהנחל או הנהר גדולים יותר, הספיקה ומהירות הזרימה קובעים את האנרגיה הגורמת לסחיפה. בתעלות קטנות יש חשיבות גדולה יותר לשיפוע אורכי.

למנוע סחף על ידי המים ניתן על ידי שתי פעולות עקרוניות:

* להקטין את ואת האנרגיה זרימת המים ע"י מתקנים מתאימים.

* להגן על פני הנחל או התעלה ע"י מיגונים המסוגלים לעמוד בפני הזרימה.

6.3. – קריטריונים לתכנון ייצוב נחלים ותעלות

ייצוב תעלות יבוצע כאשר מהירויות הזרימה גבוהות ממהירות המקסימאלית או קטנות ממהירות מינימום כפי שהוגדרו בפרק תכנון תעלות .

התכנון יעשה ע"פ השיקולים הבאים

התאמה לקריטריונים הנדסיים - יתוכנן ע"פ קריטריונים הנדסיים ויענה על כל דרישות התכן (תקופת חזרה לתכן, בלט, גדלים מינימאליים, שיפועים אורכיים)

שיקולים כלכליים – שיקולי עלות תועלת של סוג ייצוב

שיקולים תחזוקה – שיקולי תחזוקה שוטפת של תעלות ונחלים בתיאום עם המחוזות של מע"צ.

בדיקה של השפעות סביבתיות – בעיית הצפות, נוף, סביבה מטרדים וכדומה.

תכנון ייצוב חתך התעלות יהיה להסתברות תכן של התעלה כפי שנקבע בפרק תכנון הידרולי של תעלות ונחלים, אך המינימאלית הינה 5% גם כאשר התעלה תוכננה ל10%. מיגון התעלה/נחל יעשה לגובה זרימת בתוספת בלט של 30%.

6.4. – תיאור שיטות הייצוב בתעלות

קיימות שתי שיטות הנדסיות לייצוב פני הקרקע נגד סחיפה:

- ייצוב צמחי- הנדסת שימור קרקע
- ייצוב בחומרים קשיחים – הנדסת מבנים

6.4.1 - ייצוב צמחי בתעלות ונחלים

שיטות וחומרי ייצוב תוארו בפרק ייצוב מדרונות. החומרים של ייצוב גמיש וייצוב קשיח

מתאימים ברובם גם לנחלים ותעלות

שיטות ייצוב צמחי- זריעה ושתילה, כמפורט בפרק 7 ייצוב מדרונות

יישום השיטות השונות של הייצוב הצמחי הוא בהתאם לטכניקות הגידול הבאות:

- זריעה – זריעה ע"י פיזור ידני או מכונה מיוחדת כולל אפשרויות להגנה זמנית ע"י שימוש בחומרים מיצבים כימיים, נסורת עם דבק וכול שאר האמצעים בהתאם למצב בשטח.
- שתילה – שתילה בשורות או באלכסון או בכל דרך בהתאם לסוג המדרון התעלה, , הגובה וסוג הצמחייה שנבחר.
- כיסוי במרבדים – כיסוי במרבדי דשא מוכנים של חתך התעלה.
- טיפוח צמחייה טבעית – השקיה מלאכותית וטיפול צמחייה שקיימת בדמת החישוף או באדמה המקומית במשך תקופה של מספר שנים.

לפי מקום הייצוב ניתן להבדיל בין מספר קטעים בעלי דרישות שונות: כדלקמן :

- חתך זרימה קיצי –נהנה או סובל מעודף מים, צמחייה מכל סוג בתעלות תחייב תחזוקה מתמדת
- חתך זרימה בספיקת תכן לייצוב (כולל בלט)
- דפנות תעלות ונחלים מעל גובה ספיקת תכן לייצוב

בחירת השיטה הינה בהתאם לסוג התעלה ותחומי ייצוב השונים שבה. תעלות בעלות סיכון יוצבו ע"י מרבדים בחתך המתוכנן, בשאר המקומות (כולל חלק עליון של תעלה א ונחל) ניתן להשתמש גם בזריעה או שתילה או טיפוח צמחייה טבעית לפי המפורט בפרק ייצוב מדרון עבור קבוצה ד'.

שילב שיחים ועצים בתעלות ונחלים אפשרי פרט לתחום חתך זרימות תכן. שתילה כנ"ל מחוץ לתחום חתך התכן חייבת התאמת סוגי צמחייה שלא יפלו לתוך החתך הנ"ל.

6.4.1.1 - תחומי השימוש בייצוב צמחי בנחלים ותעלות

ייצוב צמחי מתאים לשיפוע אורכי עד 4%, ומהירות זרימה עד 2.0 מ"ש', הקטן בין השנים..

כל זאת בתנאי שיהיה כיסוי מלא של הקרקעית והדפנות בצמחיה צפופה ונמוכה. (על פי יצחק וולף, מהנדס שימור קרקע, משרד החקלאות).

6.4.1.2 - עקרונות השימוש בצמחיה לצורכי ייצוב:

א. בנחלים ובתעלות שמתאימות ללא חשש של היווצרות עומס יתר של צמחיה, מצב שאיננו רצוי ברוב המקרים. עומס יתר עלול להיווצר בתעלות שמקבלות הזנה קבוע של מים (ולא משנה מאיזה סוג). זהו מצב שחלק משמעותי של חתך הזרימה תפוס ע"י הצמחייה. הקטנת

חתך הזרימה ובמקביל הגדלה משמעותית של מקדם החספוס גורמים להקטנה מהותית של כושר הולכה מחד והצטברות סחף על הצמחייה מאידך.

ב. המתאימים מבחינה אקלימית –משקעים וקרקע. באזורים שכמות המשקעים השנתית אינה מספיקה לקיים צמחייה טבעית לא יהיה ככלל שימוש בצמחייה לצורכי ייצוב. כך גם לגבי קרקעות לא מתאימות.

ג. התאמה מבחינת ממשק התעלה, (משטרי זרימה ושיטות תחזוקה). בתעלות שעקב הצטברות סחף או פסולת וכ"ד תחזוקה נעשת ע"י כלים שחושפים את פני הקרקע בעת הניקוי, במצב זה לא יתוכנן ייצוב צמחי.

ד. התאמת סוג הצמחייה למשטר הזרימה. בתעלות קטנות יש להשתמש בצמחייה נמוכה- גובה סופי עם או בלי כיסוח עד 10 ס"מ בעונת החורף.

ה. התאמת שיטת הייצוב לסוג התעלה מבחינת רמת הסיכון של החתירות בה (כמפורט לעיל) בתעלות בעלות סיכון גבוה יותר יש להעדיף ייצוב בדשא.

ו. התאמה לתכנון נופי וסביבתי. תכנון ייצוב צמחי בשילוב עם עיצוב נופי צריך לשרת את שתי המטרות במידה אופטימאלית תוך שמירה על מילוי דרישות הנחיות תכנון בכל תחום. מבחינה סביבתית הצמחייה עלולה לגרום למספר מפגעים שיש לבחון בעת התכנון כגון-

מקום דגירת יתושים,

מקום קינון ציפורים שאיננו מקובל בקרבת שדות תעופה,

הפצת זרעים, מטרד עבור חקלאים

ז. התאמה לדרישות חוק השריפות

6.4.2 - אמצעי תמיכה בייצוב צמחי.

אמצעי תמיכה אינם מהווים פתרון ייצוב עצמאי לתווך ארוך אלה חלק ראשוני של ייצוב צמחי אשר נועד

להבטיח נביטה וקליטה רבה יותר של צמחים שנזרעו ו/או יציבות פני הקרקע עד לכיסו הקרקע ע"י צמחייה.

אמצעי התמיכה מתחלקים לסוגים הבאים :

פולימרים – חומרים כימיים אשר מפוזרים ע"פ הקרקע ומספיקים לחורף אחד בלבד. יש לחזור על פיזורם במהלך כל חורף עד לסיום תקופת הקליטה של הצימוח. לפולימר יתרון בהקטנת סחיפה מישורית וערוצית, פשטות ומהירות היישום ומחיר זול משמעותית מאמצעי תמיכה אחרים.

רשתות מתכלות – רשתות מחומרים אורגניים כגון קוקוס, יוטה, קש וכותנה או תערובות שלהם. בארץ בעיקר השתמשו ברשת קוקוס (ממספר יצרנים באולם), יש להקפיד על יצרנים מוכרים שעובדים עם בקרה.

יש להקפיד שאמצעים אילו יהיו מתאימים לתנאי הארץ עם קיים (LONGEVITY) של לפחות 12 חודשים.

אמצעים תלת ממדיים מתכלים – רצועות קוקוס בעלי תאים גדולים ומתאים לתפקד כאמצעי תמיכה בשיפועי מדרונות מתונים בלבד, שבוודאי יהיו מתונים בהרבה מ:1:2 הרגיל.

אמצעים תלת ממדים קבועים – כוורות פוליאטילן או רשתות תלת ממדיות שנמצאות בתווך בין הקרקע לפני השטח וממולאות בעפר.

6.4.3 - ייצוב בחומר קשיחים

הייצוב בחומרים קשיחים מתחלק לשלושה סוגים כדלקמן :

גמיש (Flexible) - פתרונות אשר בהם החומר מפוזר בשפוכת או מסודר אבן אין חיבור כימי או מכני בין בחלקים השונים

מזרונים (Mattresses) - חומר קשיח ארוז במזרונים שמאפשרים את יישומו במקטעים כגון גביונים או כאשר יש חיבור מכני בין הבלוקים השונים

קשיח (RIGID) - ייצוב בחומרים מבטון כאשר הדיפון הוא קשיח ורצוף לאורך כל קטע הריצוף.

6.4.3.1 - גמיש (Flexible)

קיימים מספר סוגים של ייצוב תעלות באבן טבעית כדלקמן :



א. אבן מדורגת מסודרת בשכבות ביד או ע"י כלי מכאני, חישוב גודל האבן לפי הנוסחאות המקובלות בספרות מקצועית.

ב. אבן מסודרת ביד בעמידה עם קלינים, בדרך כלל בקטעים מסוימים של מבנים הידרוליים.

ג. אבנים גדולות-בולדרים בגודל כ-0.6 מ"ר, שטוחות, מונחות על שכבת אבן בקלש. בגלל סוג האבן וגודלה הייצוב הנ"ל עונה בעודף על תווך רחב מאוד של מהירויות זרימה בנחלים. במקום קורות בטון בגבול המשטחים נעשה שימוש באותן אבנים אך בעמידה.

ד. קיר מדורג מאבנים גדולות ושטוחות- בולדרים במידה של 0.6 מ'

דוגמאות לייצוב באבן :

אבן מדורגת מסודרת	אבנים גדולות (בולדרים)
	

6.4.3.2 - מזרונים (Mattresses)

במשפחת הדיפון של המזרונים מקובל בישראל הייצוב בגביונים בלבד. ארגזים ומזרנים עשויים רשת מסוגים שונים עם מילוי אבנים, התאמה תכנונית ואופן הביצוע והפיקוח הכרחיים להצלחת יישום אמצעי זה. הגביונים מחלוקים לשתי משפחות עיקריות מזרונים – מזרונים בגבהים שונים עד 30 ס"מ ארגזים – ארגזים שממולאים באבנים יותר גדולות בגובה של 50 ו 100 ס"מ. יש להשתמש בסוגי חומרים המפורטים במפרט הכללי והתקנים הרלוונטיים. אופני היישום אינם שונים ביניהם, גם כאשר יש שוני בטכניקות וכלים להרכבה. נושאי הכנה, פריסה וקשירה בכל שלבי העבודה הם קריטיים ומפורטים במפרט הכללי. כך גם לגבי מילוי באבן – סוגי אבן, גודל, קושי ואופן סידורה-לפי המפרט הכללי. ככל יש לסדר אבנים יותר גדולות (בתחום המותר) עם הצד השטוח יותר כלפי הרשת. אין להרשות מילוי חללים פנימיים בחומר קטן מהמוגדר לגבי אבן מילוי. בכל מקום של מגע בין קרקע לרשת יש להתקין ביניהם מסנן מבד גאוטקסטיל, לדאוג שהבד לא יהיה חשוף לשמש. פרטי הבד לפי המפרט הכללי. יש שוני גדול בהתנהגות בין קיר גביונים למשטח מזרנים. הדפורמציות בקיר גביונים הינן בעיקר עקב שתית שהוכנה לא כראוי, גמישות הארגזים מאפשרת לקיר לשרוד. אין כמעט תנועת אבנים בתוך הארגזים. גם שחיקת החוטים בארגזים לאומת מזרנים קטנה בסדרי גודל. במזרנים יש תנועה מעוד דינאמית של אבנים בתוך הרשתות ולכן גם שטיפת אבנים קטנות אל מחוץ לרשת. בעיות נוספות הן הארוזיה-שחיקת הציפוי ואחר כך גם גוף החוט ע"י סחף גס. עלולה להיות גם ארוזיה כימית ולכן יש לבצע בדיקות קרקע ומים שעלולים לבוא במגע עם הרשת ובהתאם לכך לבחור את הציפוי (אבץ, PVC, תרכובות אלומיניום או אחר ועוביים). עלולים להיות גורמי ארוזיה נוספים כגון חומרים פעילים שונים המובלים במשאיות בכבישים. בנוסף יש לזקחת בחשבון בתכנון אפשרויות תחזוקה באפיקים רטובים ובעיית ניקוי פסולת וסחף. שימוש במזרני גביונים בתעלות קטנות שיש להן עודפי רטיבות או בעיית סחף איננו מומלץ. גם באפיקים גדולים עם בעיות שקיעת סחף לא מומלץ להשתמש במזרני גביונים. לשם הבהרה נוספת-בכל מקום שצפוי צורך בעבודות תחזוקה לשם שמירה על גודל חתך תקני של הנחל או תעלה אין לתכנן משתכי גביונים. בתכנון שטחים רציפים גדולים מוגנים במזרנים יש לתכנן חציצים/קורות שן, שהמרחקים ביניהם יהיו לא יותר מ-20 מ' וישמשו כעוגנים עבור המזרנים. ארגזים חתוכים, חיבורים למבני בטון וכו' – לפי המפרט הכללי. במקומות של סיכון גבוה כגון משטחי מזרנים המגנים על יסוד של גשר אין להתעלם מבעיה נוספת באזורים מסוימים של ונדליזם-פתיחת קשרים וארגזים, חיתוך חוטים וכו'.

ייצוב מגביונים מומלץ לתכנן באפיקים עם מהירות תכן עד 4.0 מ"ש'

6.4.3.3 - קשיח (RIGID)

קיימות מספר דרכים לבצע מיגון ע"י בטון. בכל יהיה זה תכנון מבנה הבטון וקורות עיגון. בתעלות כביש ניתן להשתמש במבני בטון קלים עם מפרט בסיסי של הספק ובכפוף להנחיות ומפרטים של החברה. בנחלים גדולים יתכנו מצבים של מיגונים כבדים יותר.

א. מיגוני בטון קלים

כוורות פוליאטילן במילוי בטון והדומים - JK, בטון מותז ואחרים, למעשה מהווים קליפת בטון עם מילוי זה או אחר (כוורת, רשת מרחבית, וכו' המאושר ע"י החברה), משמשים אמצעי ייצוב נגד סחיפה עקב זרימות במהירויות גבוהות מדי או למניעת שקיעת סחף במהירויות נמוכות מדי. פני הבטון בד"כ מחוספסות (פרט לקרקעית) ובצבע קרקע מקומית. גובה הריצוף כגובה המים בספיקת תכן של מיגון בתוספת בלט. שיקול נוסף בקביעת קטעי ייצוב תעלות הינו נושא מזהמים מתשטיפי כבישים והחלטת המתכנן בהתאם לנסיבות /דרישות גופים סביבתיים באם להרחיק מזהמים או לכוון להחדרתם במקום. בכל מקרה עובי בטון לא יפחת מ-8.0 ס"מ, עובי אחר לפי גודל התעלה ותנאי זרימה במדרגות 9-, 12, 16 ו-22 ס"מ. בין הקרקע לבטון יותקן בד גיאטכסטיל (לפי המפרט הכללי)

יש לתכנן נקזים בדפנות, בצד הכביש יש לתאם עם מתכנן תכן מבנה. לכל אמצעים יהיה עיגון לקרקע ע"י חציצים (בנוסף ליתדות) במרחקים שלא עולים על 20 מ'.

בהיקפם יש לתכנן קורות בעומק מינימום של 40.0 ס"מ או כתף בגודל שווה ערך – בהתאם לתנאים במקום.

כוורות פוליאטילן בגובה של 6.5, 7.5, 10, 15 ו-20 ס"מ במילוי בטון. הכוורות מעוגנות לקרקע באמצעות יתדות. בנחלים השימוש בכוורת נעשה בתוספת כבלים ועוגנים על פי שיטות החישוב של היצרן.

בטון עם רשת מרחבית (דוגמת JK בגובה 4.0 או 8.0 ס"מ) תותקן בתעלות

עם עיגון לקרקע ע"י יתדות

מיגוני בטון קלים מומלץ לתכנן באפיקים עם מהירות תכן עד 4.0 מ'/ש'

רצ"ב תמונות לדוגמה של סוגי מגונים מבטון קל :

דיפון עם רשת תלת מימדית (JK)	דיפון עם כוורות פוליאטילן ממולאות בבטון
	

ב. מיגונים מבטון מזוין

מיגונים כבדים יתוכננו בנחלים בקטעים עם מהירויות על-קריטיו, בהם יש לחשב עובי פלטות בטון בהתחשב בכל העומסים כולל הידרוליים. עובי שכבת בטון יכול לגדול במקרים מסוימים בנוסף גם עקב שחיקה מתמדת של פני הבטון. עובי נוסף שילקח בחשבון יתאים לשחיקה הצפויה של 10 שנים לפחות, זאת כאשר ישנה אפשרות טכנית להשלים בעתיד את העובי שנשחק, או ל-30 שנה במקרים אחרים. להקטנת השחיקה יש להשתמש בסוגי בטון חזקים יותר כולל שימוש בחצץ כגון גרניט, קוורץ וכ"ד. נושאי הכנת תשתית, תפרים גמישים, נקז אופקי, נקזים אנכיים, קורות שן בהיקף הפלטות וקורות עיגון הם מרכיבי תכנון של המיגון אשר תפקידם להבטיח תפקוד וקיים תקינים של המיגון.

מהירויות זרימה מותרות בסוג מיגון זה גבוהות מכל האחרים המופיעים כאן בהנחיות ובאופן כללי יהיה עד 8.0 מ"ש', במקרים מיוחדים בתכנון הידרולי נכון (ללא תופעות ליווי הידרוליות) והתאמת סוגי בטון, ניתן להגיע למהירות גבולית של 12.0 מ"ש'

ג. ריפ-רפ (ריצוף אבן משוקעת בבטון מזוין)

ריצוף ע"י אבנים שטוחות (ראה פרטים במפרט כללי) עם תחתית בטון בעובי של כ-10 ס"מ עם רשת זיון. הבטון מיושם ע"ג שכבת מצע סוג א' בעובי 20 ס"מ מהודקת, הריפ-רפ סגור בהיקפו עם קורות בטון מזוין. כן ניתן להשתמש בו בדפנות תעלות עמוקות בחלקים נצפים של הדפנות שמעל חתר זרימת תכן. במקומות בהם צפוי שיהיה צורך לנקות סחף בכלים מכאניים יש לדאוג לקרקעית חלקה על מנת שלא תהיה פגיעה בריצוף.

**הריפ-רפ רגיש לאיכויות ביצוע , ולכן מומלץ להשתמש בו בדרכי מים בין מדרונות
נופיים ובתעלות כביש קטנות במגבלות ספיקת תכן -עד 2.0 מ"ק/ש' ומהירות זרימה
עד 3.0 מ/ש'.**

רצ"ב תמונות לדוגמה של ריצוף תעלה בריפ-רפ :

ריצוף תעלה בריפ-רפ



6.4.3.4 - אבן משוקעת בבטון

אבן משוקעת בבטון משמשת בדרך כלל למספר מטרות:

- כאלמנט קישוט על גבי משטחי בטון
- כאמצעי להגברת חיספוס
- כאמצעי לשבירת אנרגיית הזרם בתנאים קיצוניים

לצורכים נופיים משתמשים באבני נחל עגולות בגודל 10-15 ס"מ, לעיתים משתמשים גם באבן קטנה יותר, חצץ ועד לחול גס. (פרטי ביצוע במפרט הכללי)
ניתן להשתמש באבן משוקעת כמגביר חיספוס בקטעי תעלות עם מהירויות גבוהות מדי, זה כמובן יחייב להגדיל את חתך הזרימה. אין להשתמש באבן בקרקעית התעלה אל מנת לאפשר תחזוקה.
בתנאים של שיפועי אורך ו/או מהירויות קיצוניות ניתן להשתמש באבנים גדולות (עד 2.0 מ' קוטר) כאשר חלקם התחתון משוקע בבטון לצורך אחיזה נוספת כמו גם מניעת שטיפת חלקיקי קרקע תחתם.

6.4.3.5 - מפתנים

מפתנים הינם קורות בטון או חומר אחר (כגון ארגזי גביונים) המותקנים כחצצים בניצב לתעלה או נחל, כאשר ראש המפתן יכול להיות בגובה הקרקעית או גבוה ממנה. תפקיד המפתן להקטין שיפוע אורכי וע"י כך להקטין מהירויות זרימה והצורך בפעולות ייצוב רצופות לאורך הנחל. בדרך כלל במורד כל מפתן נוצרת חתירה מוגבלת שלעיתים על מנת למנוע אותה מבצעים ייצוב מקומי ליד המפתן. תכנון עומק המפתנים והמרחקים ביניהם נעשה בהתאם לשיפוע אורכי ומהירויות זרימה בתעלה.

6.5. – תעלות הגנה

תעלות הגנה מופיעות במספר מצבים:

- תעלה בראש מדרון ,
- מעל דופן תעלה או נחל
- תעלת מגן שלאורך דרך תחזוקה / שירות

ייצוב תעלות הגנה נדרש כאשר

- מהירות הזרמה בהן גבוהה או נמוכה מהמותר.
- קיים חשש שחילחול מים מהתעלה עלול להרוס את המדרון או דופן תעלה. חשש כזה קיים בקרקעות לס או אחרות עם ייתכנות מיחתור

התאמת סוג הייצוב צריך לוקחת בחשבון אטימות הייצוב ורגישות נמוכה לשתית שוקעת. אורך התעלות בכל מקרה לא יהיה יותר מ-200.0 מ', מעבר לכך יש להשתמש במגלשים. יש לדאוג שקצוות הדפנות יהיו שקועות 10 ס"מ לאומת הקרקע לידם.

6.6. – תחזוקה

תחזוקה של תעלות ונחלים היא מרכיב חשוב בשיקולי התכנון. תעלת ונחלים חייבים בתחזוקה שותפת על מנת לשמר אותם במצב תקני ולמנוע הצפות של הכביש וסביבתו.

השיקולים בבחירת התחזוקה של תעלת ונחלים הם :

עלות –תחזוקת תעלות צריכה להיות כלכלית. מומלץ שתחזוקת הכביש תעשה באמצעות כלים שמישים ברשות החברות הקבלניות.

יעילות – מניעת מטרדים שאפיקים עלולים לגרום לסביבתם, שמירה על שלמות אמצעי ייצוב, שימוש בכלים מכאניים מתאימים-הוא הפתרון לשמר אפיקים ולחסוך בהוצאות. שימוש במכסחות עם זרוע הידרולי יכול לאפשר צימצום מימדי תעלה מתוכננת.

נגישות – נגישות הכלים לניקוי, ומשאיות העמסה מהווה גורם חשוב בשיקולי התחזוקה. רצוי שניקוי התעלה יעשה בגדה הרחוקה מהכביש ולא משולי הכביש.

פרק 7 – ייצוב מדרונות

7.1 – מבוא

ההנחיות שלהלן מבוססות על תורת שימור קרקע- יחסי גשם-קרקע-צומח וניסיון של עשרות שנים של פיתוח ויישום פתרונות בשטחים חקלאיים, ייצוב תעלות ונחלים, מדרונות מאגרים ומתלולים ברשויות ניקוז וייצוב מדרונות כבישים שפותחה במעצ. הנחיות בתחום החקלאי נכתבו ע"י מומחים מובילים בתחום זה בארץ (ועדין נכתבים) תוך איזון עם הנחיות בתחום זה בעולם (כגון ה S.C.S של ארה"ב). הנחיות בתחום התשתיות פותחו בארץ עבור משה"בט (בשתי מהדורות), במע"צ(יחידת הסמך) ועבור רכבת ישראל לאחרונה.

השוני בתנאי אקלים, מים זמינים מחד ואופני ואיכויות יישום מאידך קובעים בסופו של דבר את המתאים למערכת הכבישים הבין עירונית בישראל. ההנחיות שלהלן כוללות שיטות ייצוב שעברו את מבחן התוצאה במאות פרויקטים של גופי התשתית השונים במדינת ישראל תוך ניסיון להביא את מירב השיטות האפשריות לידי מימוש.

מטרת ההנחיות

- א. ליצור מסגרת אחידה של כללי תכנון בנושאי ייצוב, בהתייחס לכל אחד מהפרקים שלהלן.
 - ב. להביא את מירב האפשרויות הנהוגות בארץ ובעולם לידי מימוש בכפוף לתנאי האקלים והקרקע בארץ
- יש לראות את ההנחיות כדרישות מינימום.

7.2 – כללי

7.2.1 – מטרות הייצוב

הקטנת סחיפת קרקע (ארוזיה) במדרונות מילוי וחפירה, בתעלות ונחלים, בכל מקום בו הסחיפה מסכנת את היציבות מחד ומאידך הסחף מהסחיפה מצטבר בתעלות ומעבירי מים, מצב שגורם בהמשך לסתימות והצפות. כמו כן נדרש המתכנן למנוע כניסת סחף לתחום מעצ גם משטחים של גובלים.

7.2.2 – התפתחות נושא הייצוב

תחילתו של עיסוק בפתרון בעיות סחיפת קרקע במדרונות בתחום התשתיות היה בתחילת שנות ה-90 עם תחילת תנופת בניית מחלפים במרכז הארץ. מרבית המחלפים בוצעו במילוי מאדמת חמרה, גם כאשר זה לא היה חומר מקומי. החמרה נמסה בגשמים תוך כדי ביצוע הסוללות עוד לפני השלמתם ומתן פתרון כלשהו. במערכות של **כבישים קיימים** המצב היה חמור מאוד בכל הארץ. בכל סופת גשם רצינית היו 30 - 40 כבישים חסומים עקב הצפות. כ-70% מתוכם היו עקב סתימת מעבירי מים בסחף, שמקורו היה בסחיפה מתעלות כביש, המדרונות וחלקו הגיע גם משדות של חקלאים, זאת גם בגשמים של תדירות נמוכה (1:10 - 1:20 שנה).

הסחיפה חשפה מבנים וגשרים והיו מקרים שגם הפילה אותם.
במקרים מסוימים נוצרו חורים עד לגודל של מערות מתחת למיסעות.
פתרונות ייצוב שהתפתחו ברשויות ניקוז, היו ייצוב צמחי, ייצוב באבן (בניה יבשה בעיקר),
ומבנים מבטון. ייצוב צמחי שהתפתח במשרד החקלאות ורשויות ניקוז, היה ע"י זריעה או
דשא ע"י שתילה וגטטיבית או מרבדים.
באותה תקופה הוכנסה לארץ גם היבלית מסוג $X 1$ (ע"י דר' טל קיפניס) אשר את ביסוסה
בנחלים ליוונו מספר שנים עד שהשתרשה.
פתרונות ייצוב צמחי כפי שנעשו בנחלים בשטחים חקלאיים לא התאימו לצורת העבודה
במע"צ והיה צורך דחוף למצוא פתרונות מתאימים

7.3 – סוגי סחיפה

ייצוב בא למנוע ובעיקר להקטין נזקי סחיפת קרקע (ארוזיה) עקב חתירות, מיחתור ונזקי סחיפה
אחרים, אשר עלולים לגרום לחוסר יציבות והתמוטטויות (של שולי הדרך, מתקנים למיניהם כגון
גשרים, מעבירי מים, מגלשים, תעלות, נחלים מפלים ואחרים) או הצטברות סחף במקומות ובכמויות
שעלולות לסכן את התנועה.
חומרת הנזק תלויה בהיקפו ובמקום שבו נוצר. סחיפה באזורים כגון ראש מדרון של סוללת הדרך,
גשרים, מעבירי מים, בקרבת נתיבי נסיעה, הינה בין החמורות ודורשת תשומות מרביות בתכנון
וביצוע לשם מניעתה.
אחת הבעיות של סחיפה במדרונות הינה חוסר אפשרות לבצע תיקון/שיקום להחזרת המצב לקדמותו
כולל הידוק כנדרש באמצעים סבירים.

סוגי סחיפה לפי סדר חומרתן בכבישים:

א. סחיפה ערוצית

ב. מיחתור

ג. סחיפה משטחית

7.3.1 – סחיפה ערוצית

הינו גורם הנפוץ ביותר בין גורמי סיכון יציבות המדרונות ולכן מחייב התייחסות מתאימה.
סחיפה ערוצית הינה תוצאה של ריכוז זרמים של מי נגר על פני מדרונות עפר מכל
הסוגים. הזרם המרוכז גדל עם אורך המדרון והופך די מהר לערוצים. עקב הוצאת והסעת
חומר המדרון, התעמקות והתרחבות בהמשך עלולים ליצור רשת די מסועפת של ערוצים
בעומקים של מסנטימטרים בודדים ועד עשרות סנטימטרים בעונה אחד ולעיתים אף בגשם
אחד, תלוי בעיקר בנתוני גשם וקרקע.
עוצמת הבעיה משתנה ממקום למקום בארץ בהתאם לסוג הקרקע וכמות הגשמים.

מרכז הארץ מהווה מבחינה זו את המקום הקשה ביותר עקב השימוש הרב בקרקעות ארוזיביות ביותר תוך הקמת מבנים גבוהים רבים כגון מחלפים בשתי קומות ויותר, כאשר קיום הקומות העליונות תלוי ביציבות המדרונות והיציבות תלויה בייצוב. אין המצב כך ובכלל בצפון הארץ ובדרומה.

דוגמה לסחיפה ערוצית במדרון של קרקע מסוג חמרה:

סחיפה ערוצית בחרסית



סחיפה ערוצית בחמרה



7.3.2 – מיחתור

נגרם בתנאים מסיימים עקב זרימה בתוך הקרקע על פני שכבה אטומה או בנקודת בצבוע של הקו הפריאטי, מופיע בעיקר בקרקעות עם נזז או חוור, קרקעו מלוחות ולס. מיחתור הינו סוג של ארוזיה שמצריך **טיפול מקומי** בדרך כלל ע"י נקזים, מסננים ולעיתים קירות תמך.
רצ"ב דוגמה למיחתור:



7.3.2 – סחיפה משטחית

גורמת נזק מזערי במדרונות ולכן ברת תחזוקה ולרוב לא נחוצה, ובכל מקרה איננה מסכנת מידית את הכביש על מתקניו, בשונה מהסוגים האחרים. הפתרונות המקובלים והמספיקים הינם צמחיה נמוכה וצפופה ועיתים בתוספת פולימר או כיסוי אחר עד להתבססות של הצמחייה. הטיפול נדרש בעיקר במקומות מוגבלים כגון תחנות שאיבה לניקוז.

7.4 – מדיניות בעיית פתרונות סחיפה

בנית סוללות מחומר ארוזיבי לגובה רב, כאשר עליהן נמצאים כבישים עם תנועה של אלפי כלי רכב, מחייב פתרונות של יציבות מערכות במסגרת הנחיות תכן לשם הבטחת בטיחות ורציפות התנועה מחד ושמירה על ערך ההשקעות בתשתיות .

שני היבטים של יציבות הינם:

היציבות הסטטית- (באחריות מתכנני קרקע וביסוס ולכן לא נדונה כאן).

הייצוב- מטפל בהקטנת נזקי סחיפה, מיחתור וסחף באמצעים במקובלים בחברה (ראה קריטריונים בהמשך), הנושא באחריות מתכנן ניקוז וייצוב קרקע.

עיצוב נופי הינו תחום נוסף שיכול להיות משולב במקרים רבים עם פתרונות ייצוב אך אינו בא במקומו כפי שיוסבר בהמשך).

הפתרונות המומלצים להלן הם במסגרת הסביר לכל מקרה ועניין מתוך שכלול גורמים הנדסיים, כלכליים ורמת השירות הנדרשת / מקובלת.

ברוב המקרים לא נדרשת מניעה מוחלטת של סחיפה, אלא הקטנה בהתאם לסוג הפרויקט.

הסחיפה שפוגעת קשה ומיידית ביציבות המדרונות, כמו גם בתחתית תעלות ונחלים, הינה **סחיפה ערוצית-התהוות ערוצי זרימה**, בעלי תאוצה להתרחבות והתעמקות ולכן יש לשים עליה את הדגש העיקרי.

הסחיפה המשטחית נגרמת ממכות טיפות הגשם בפני הקרקע, פירוק מבנה תלכיד הקרקע והסעת חלקיקי הקרקע עם המים עד לתחתית המדרון. הנזק העיקרי הינו בסחיפת שכבת קרקע שנמדדת במילימטרים ולכן ברוב המקרים הנזק אינו מידי וחמור ולכן לרוב לא תידרש השקעה מיוחדת לשם מניעתו.

7.5 – עקרונות לפתרון

7.5.1 – השיטה

המטרות והפתרונות יהיו שונים לפי רמת הסיכון שהסחיפה עלולה לגרום. רמות הסיכון והצרכים שונים ממקום למקום, כך גם פתרונות הייצוב. זאת בהתאם לסוג הכביש, סוג המדרון, סוג הקרקע, המשקעים והצומח שבמקום הפרויקט. לפי כך ועל מנת להשיג את מטרות הייצוב באופן המועיל ביותר חולקו הפתרונות בטבלאות שלהלן לפי קבוצות סיכון על פי רמת הכביש וסוג המדרון.

סוגי כבישים לפי: הגדרתם וחלוקה לקבוצות

- רמה א' - כבישים ומחלפים משוקעים
- רמה ב' - המחלף / כביש מהיר/פרברי מהיר
- רמה ג' - כביש ראשי או כביש אזורי דו מסלולי
- רמה ד' - כביש אזורי או כביש מקומי דו מסלולי
- רמה ה' - כביש מקומי חד מסלולי

7.5.2 – קבוצות סיכון

7.5.2.1 – רמה א' – כבישים ומחלפים משוקעים

מדרונות של **כבישים/מחלפים משוקעים** מחלפונים, שמתנקזים לכיוון השיקוע עם או בלי תחנות שאיבה לניקוז, על כל סוגי המדרונות שבהם. אלה המקרים, בהם נדרש למנוע כל סוג של סחיפה.

קריטריונים לבחירת ייצוב מדרון כביש משוקע:

קטע כביש יחשב למשוקע כאשר מפלס המיסעה נמוך מפני סביבה אין אפיקים חיצוניים שחוצים אותו.

אורך הקטע החפור צריך לעלות על קילומטר (כלומר הנקודה הנמוכה מנקזת אליה סה"כ משני צידיה 1000 מ') גם אם מערכת הניקוז לקטע זה הינה גרוויטציונית.

הכבישים אשר יכללו ברמת סיכון זו יהיו מהיררכיה של כבישים ראשיים, כבישים פרברים מהירים וכבישים מהירים.

כל דרך ומחלף אשר ינוקזו ע"י תחנות שאיבה (בתחום האגן) יחשבו ברמת סיכון זו.

ההתייחסות לרמפות תהיה כמו לכבישים, אותם הן משרתות באותה רמת סיכון

7.5.2.2 – רמה ב' – מחלף/כביש מהיר/פרברי מהיר

מדרונות של מחלף / כביש מהיר/פרברי מהיר / כביש ראשי או כביש אזורי דו מסלולי מחייבים פתרונות אמינים נגד סחיפה ערוצית משום שבהם תלויה בטיחות הנוסעים.

התמוטטות פתאומית של קטע כביש גם אם זה רק נקודתי עלול להסתיים באסון ולכן יש לבחור בפתרונות **יציבים בכל מצב** (ללא תלות בהצלחת הצמחייה וכו') וברי קיים לאורך זמן.

שיקום מיסעות, עקב סחיפה והתמוטטויות במדרונות הכביש, הינו מבצע מורכב ויקר ולכן יש למנוע זאת ע"י פתרונות ייצוב מתאימים, תוך העדפת פתרונות כמה שפחות רגישים לליקוי ביצוע (פתרונות סלחניים) וכמה שיותר יציבים לאורך הזמן. חשוב שיהיו אלה פתרונות בדוקים במספר רב של פרויקטים דומים ולאורך גדול של שנים (10 שנים לפחות).

7.5.2.3 – רמה ג' – כביש ראשי, אזורי או מקומי

מדרונות בכביש אזורי או כביש מקומי מאפשרים פתרונות שלוקחים בחשבון ייתכנות של צורך בתיקון מקומי מיידי (תחזוקה) עקב רמת נמוכה יותר של פתרון, (חסכון בהוצאות הקמה).

7.5.2.4 – רמה ד' – מדרונות נגדיים

מדרונות נגדיים (מדרונות בחפירה) של רמה ב' ו-ג', בד"כ לא מסכנים מיידי את הנוסעים בכביש ולכן ניתן להסתפק כאן ברמת פתרונות נמוכה יותר, פרט למקרים של סכנת גלישת המדרון לתוך הכביש, או כמות סחף גדולה מהמדרון שתחסום את תעלת הכביש ותגרום למים מהתעלה לזרום על פני הכביש עם הסחף – סכנה בטיחותית חמורה, ולכן הטיפול באחרונים יהיה כמו בקבוצה –ב' או ג' בהתאמה . ברמת סיכון זו נכללים גם מדרונות של סוללות כבישים שלא נכללו בקבוצה –ג' עקב כמות תנועה פחותה. (דרכי שירות וכו')

7.5.2.5 – רמה ה' – סוללות מחוץ לתחום המיסעה

פיתוחים נופיים מחוץ לתחום המיסעות כגון סוללות הסתרה, אקוסטיות, נופיות שלא צפויה כל השפעת מזיקה על הכביש עם קרות אירועי חתירה בהן. במידה וכן קיים סיכון להצפת המיסעה, יש לנהוג במרכיבים הנ"ל כמו בקבוצה ד'.

לקבוצות סיכון שונות ניתן להרכיב סל אמצעים מומלצים ולקבוע מרכיבי הייצוב תוך התייחסות לאזורי הארץ השונים מבחינת סוג הקרקעות ונתוני גשם.

7.6 – פתרונות ייצוב מדרונות

כיום קיימים אמצעי ייצוב רבים אשר חלקם נבדקו במשך עשרות שנים בפרויקטים של מע"צ ואחרים. לכל אמצעי יש מקום שמתאים יותר ולכן צריך להשתמש בהם באחריות בהתאם לניסיון שנצבר. כישלונות שנצפו בעבודות ייצוב היו עקב יישום לא נכון, מצב שחייב להילקח בחשבון בעבודת המתכנן.

פתרונות ייצוב כולל חומרים ושיטות ניתן לחלק לשני סוגים:

פתרונות גמישים,

פתרונות קשיחים.

מבחינת אופי השימוש בחומרים, לרוב נמצאים בשימוש בשני תחומים:

פתרונות למדרונות כבישים במילוי ובחפירה,

פתרונות לדפנות וקרקעית של תעלות ונחלים, מתקנים לסוגיהם. (בפרק ייצוב תעלות)

פירוט סופי ומחייב של חומרים ושיטות עבודה בהתאם למפרט הכללי ופרטים סטנדרטיים של החברה.

7.6.1 – ייצוב צמחי

7.6.1.1 – כללי

ייצוב צמחי של המדרון יכול להיות ע"י:

- ❖ זריעה עם או בלי תוספת של מייצבים וחומרים נוספים אחרים,
- ❖ שתילה של צמחי כיסוי שתוך פרק זמן מסוים מגיעים לכיסוי מלא, צמחיה נמוכה, משתרעת ומשתרשת
- ❖ דשא, שתילה ווגטטיבית או מרבדים,
- ❖ שימוש בשכבת חישוף מקומית.

הצלחתו של ייצוב צמחי תלויה בהתאמת הצמחים ובמועד ואיכות הביצוע (העונה, השתילה או הזריעה והשקיה). שילובי תנאים שונים של קרקע, צמחים, אקלים, פעילות האדם ובעלי חים יוצרים תנאי גידול שונים ולכן קיימים מצבים של הצלחה בייצוב צמחי, כמו גם של אי הצלחה עקב התאמה לא טובה של אחד או יותר הגורמים. לעיתים יש בעיות נוספות לגדל צמחים עקב תנאי שטח קשים כגון גזי פליטה, הרעידות וכ"ו.

למרות זאת לפני הופעת הגשמים חייב להיות כיסוי מספיק צפוף וגבוה של צמחיה, כזו שמתוכננת לספק פתרון נגד סחיפה בסוגי מדרונות מתאימים (זריעה- יותר במדרונות חפירה, סוללות הסתרה, חלקים עליונים של מדרונות הנחלים

וכ"ד. במקומות אחרים, כגון סוללות חרסיתיות בצפון הארץ יכול ייצוב צמחי להיות מספיק בהחלט גם בסוללות הכבישים (לא בסמוך לגשרים) רצ"ב תמונה של עיצוב צמחי מלא עשבוני זרוע או ע"ג שכבת חישוב:



עצים ושיחים אינם נכללים בין צמחי ייצוב נגד היווצרות ערוצים. ייצוב קרקע בחורשות ויערות הינו הודות לקומת הצומח התחתונה – העשבים שמכסים את פני הקרקע.

7.6.1.2 – מרבדי דשא

ברוב המקרים הינו אמצעי ייצוב הטוב ביותר לאור העובדה כי מהווה כיסוי מלא, אך יש לו גם מגבלות וחסרונות. המגבלות עלולות להיות עקב השפעתו השלילית במקרים מסוימים על יציבות המדרון או אי התאמתו לתוכניות נופיות. חסרונותיו: א. אחזקה והשקיה רציפה - מרבדי דשא למעשה פותחו בארץ (פרט למשטחי גולף) בשנות ה-70 וה-80 עבור נחלים, אך השימוש בו היה מוגבל עקב הצריכה הגדולה במים ובארץ סמי-ערידית עם תקופות יובש ממושכות כמו בשנות ה-80. החלטה על שימוש גורף בכבישים בארץ בדשא הינה החלטה בעלת משמעויות רבות. בעיה נוספת של שימוש בדשא הינה תהליכי ביצוע ואחזקה, משום כך אמצעי זה בכמויות גדולות מתאים יותר לסוג פרויקטים של ביצוע עם תחזוקה לטווח ארוך-מעבר ל 5 שנים. ב. יציבות מדרונות - בכל מקרה שימוש בדשא במדרונות גבוהים מחייב בדיקת היציבות לאור העובדה שהדשא רדום בחורף, אינו צורך מים בכמויות, בו בזמן יורדים כמויות גשם גדולות אשר הודות לדשא יחלחלו לתוך המדרון באופן מוגבר, עודפי מים אלו עלולים לגרום לגלישות במדרונות או לזרז גלישות במדרונות אשר נמצאים במצב גבולי מבחינת יציבותם. מצב זה מחייב את המתכנן לנהוג במשנה זהירות בשימוש במרבדי דשא או אמצעים אחרים

שעלולים לסכן סוגים מסוימים של מדרונות. בכל מצב כזה יש לקבל את התייחסותו של מתכנן המדרון, יתכן ויהיה צורך למתן אותו. תמונה של ייצוב מדרון בדשא:



ג. ממשק עם עצים ושיחים - במידה ולפי תוכניות נוף ישתלו בעתיד עצים או שיחים בתוך הדשא, אזי יש לקחת בחשבון שהתפתחותם תבוא על חשבון הדשא אשר יעלם באזורים מוצלים ויש לדאוג לפתרונות חליפיים, יש לזכור שעצים לא רק שלא עוזרים למנוע סחיפה אלה אף מגבירים אותה.

7.6.1.3 – גידולי שורה

ישנם צמחים (כגון הזקנן, זנב שועל, ווטיבר ועוד...) אשר תוך התפתחותם יוצרים בגובה פני השטח עיבוי שורשים ו/או ענפים וכאשר הם נשתלים בשורה על קו גובה ובמרחקים מתאימים (כך שתוך שנה הצמחים מתחברים) למעשה נוצרים מחסומים בקווים מקבילים במרחקים שנקבעו מראש בהתאם לשיפוע וסוג הקרקע. המחסומים הנ"ל עוצרים ומסננים את הסחף שנוצר בין השורות ולמעשה בין השורות במרחק הקצר שביניהם לא יכולים להיווצר ערוצים משמעותיים. לצמח וטיבר יתרון נוסף של שורש עמוק וחזק, כך שהוא יכול לאפשר גם היווצרות הפרש גובה במורדו וזה כמובן מקטין את שיפוע המדרון בין השורות באופן משמעותי מאוד, כך שכל תהליך הסחיפה מתמתן.

רצ"ב תמונה של גידולי שורה בחודשי הקיץ:



במדרונות עפר שמבחינת יציבותם נמצאים במצב קרוב לגבולי בין השאר ובדרך כלל בעיקר בגלל עודפי רטיבות, הרי שצמח הוויטבר יכול לעשות מספר פעולות מאוד חשובות: (על פי נתוני מחקר רב שנתי של מכון וולקני) הצמח זקוק לכמויות של מים לגידול מהיר, דבר שיקטין את כמות המים בקרקע עם עודפי מים שמסכנים את היציבות, -בגידול מהיר בקרקע ללא סלעים הצמח מפתח שורש עמוק (2.0 מ') וחזק מעוד (היחידי שעומד בכוחות הגזירה של הקרקע (על פי המחקרים שבוצעו עד כה). שתי התכונות מועילות ליציבות המדרון, כאשר במקביל על פני השטח הצמח מטפל במניעת סחיפה.

7.6.1.4 – שיטות ביצוע של ייצוב צמחי

הטכניקות השונות לביצוע הייצוב הצמחי תלויות בסוג הצמח, מהירות הכיסוי הנדרש ומועד הביצוע.

הטכניקות המקובלות הם כדלקמן :

- זריעת תערובת של צמחים חד שנתיים ורב שנתיים (כגון שיבולת שועל, אספסת, תילתן, ואחרים) הזריעה יכולה להיות בהתזה או לא, עם תוספות של מיצבים או בלי. בשלב זה מדובר על צמחייה עשבונית בלבד.
- דשא ע"י שלוחות או מרבדים של צמחים כגון פנגולה, יבליית, פניקום/דוחן המכחיל וכו')
- טיפוח צמחים מקומיים (קוקויה, יבליית) ע"י כיסוחים או צמחים גושיים ע"י ריסוסים מכוונים .

7.6.2 – ייצוב קרקע מכני

7.6.1.4 – ייצוב מכני באמצעים זמניים

רשתות כיסוי-כגון יוטה, קוקוס, קש, סינטטי ואחרים, הן משמשות אמצעי זמני לתמיכה בצמחיה עד לכיסוי מלא. היות והרשתות מתכלות בפרק זמן קצר כמוגדר ע"י היצרן בין חצי שנה עד 3 שנים, הרי שהצלחת האמצעי תלוי בהצלחת הצמחייה, בדומה לפולימרים. הרשתות מיוצרות באחוזי הצללה שונים והתאמת המוצלחת לתנאי השטח וסוגי הצמחייה תבטיח נביטה רבה יותר וכיסוי מרבי בהמשך.

לרשתות יתרון בבלימת אנרגיית טיפות הגשם ועל ידי כך הקטנת תופעת הקרום על פני השטח, כתוצאה מכך חדירת המים טובה יותר וסחיפה מישורית קטנה יותר, אלא שהמטרה העיקרית כזכור למנוע או להקטין היוצרות ערוצים ולא וסחיפה מישורית ברוב המקרים. כל עוד שהצמחייה איננה, התפקיד הזה מוטל על הרשת עצמה. הערוצים נוצרים כאמור עקב זרימת הנגר על פני המדרון, עוצמת הנגר תיהנה קרובה לעוצמת הגשם במקרים של עוצמות תכן משום שהחלחול במצב זה זניח יחסית. זרימת הנגר יכולה להיות מתחת ו/או מעל הרשת, לכן התנאים המטיבים עם השימוש ברשתות הם רשת צפופה יותר (להקטנת הוצאת הקרקע מתחת לרשת), מוצמדת כמה שיותר לקרקע (להקטנת אפשרויות ריכוז רוב הזרימה מתחת לרשת) ומדרון קצר יותר (מקטין את כמות המים המצטברת). מכל הרשתות נמצאת בארץ בעיקר רשת קוקוס (ממספר יצרנים בעולם).

לרשת תפקיד דומה לזה של פולימרים-תמיכה זמנית עד להתבססות הצמחייה.
 בהשוואה בניהם לפולימר עדיפות ברורה בהקטנת סחיפה מישורית וערוצית ,
 פשטות ומהירות היישום ומחיר זול משמעותית.
 רשת קוקוס הינו חומר אורגני, מיוצר מסיבי קוקוס, מתפרק עם הזמן כנראה
 באמצעות בקטריות מסוימות, גם כאן לא ידוע על בעיות אקולוגיות, כמובן שיש
 להקפיד על יצרנים מוכרים שעובדים עם בקרה.

לקוקוס מוצר נוסף שנקרא רצועות קוקוס, בצורתו זה מזכיר כוורות אלה שהתאים
 גדולים מאוד ולכן יכול לתפקד בשיפועי מדרונות מתאימים בלבד, שבוודאי יהיו
 מתונים בהרבה מ-1:2 הרגיל.

יריעות קוקוס	רצועות קוקוס
	

7.6.1.4 – ייצוב מכני באמצעים קבועים

כוורות עם מילוי עפר- כוורות פוליאטילן (בגובה של 10 ס"מ עבור מדרונות בעלי שיפוע 1:2 ומתון יותר ו15 ס"מ עבור שיפוע 1:1.5) עם מילוי עפר מקומי, עדיף משכבת חישוב מקומית או מובא, רצוי חרסיתי אך בכל מקרה לא יהיה שימוש בחול.

היתרון הגדול של אמצעי זה בכך שהוא מספק פתרון מיידי עם התקנתו ללא תלות בצמחיה. הכוורות (מערכות תאים גאטכניים) נותנות פתרון מלא לבעיית סחיפה ערוצית שזה כאמור עיקר הבעיה. בשימוש עם מסנן (בד גאוטקסטיל) מתחת לכוורות מספקת המערכת בו זמנית פתרון למחזור. בנוסף לכך מוסיפות הכוורות ליציבות המדרון, מאפשרות תכנון נופי מגוון, חיסכון במים -פחות ממחצית בשנים הראשונות ובהמשך רוב הצמחים שבשימוש על כוורות לא מקבלים השקיה כלל. במקומות עם גשם שנתי מעל 300 מ"מ, קרקעות סחיפות במיוחד ובעיית קבלת מים להשקיה הופכות הכוורות לאמצעי אולטימטיבי.

יתרון נוסף של הכוורות הינו בוויסות כמות המים שחודרים למדרון הכביש, כאשר בעיקר הפולימרים אבל גם הדשא גורמים לחדירה מוגברת של מי גשם לתוך מדרון הכביש, דבר שלעיתים עלול להיות הרסני עבור אותו מדרון, אשר כתוצאה מכך עלול לקבל סדקים או לגלוש, שקיעות וגליות במסעה. לעבודה עם כוורות ניסיון מצטבר רב ביותר, רובו המוחלט חיובי פרט לנקודות ספורות של ביצוע ע"י קבלנים מזדמנים, מצב שהופך את הכוורות לפתרון סלחני לטעויות ביצוע, שוני מהותי משאר האמצעים, במיוחד בתנאי ביצוע ופיקוח לא מספקים.

התפתחת הצמחייה עד לכיסוי מלא של הכוורות הינו תהליך טבעי שלוקח בממוצע כשנתיים (תלוי בסוג הצמחייה, איכויות השתילים, הקרקע, השקיה וכו'), בתקופה שהצמחייה טרם יצרה כיסוי שטח רואים סימני כוורות במדרון, אך ללא כוורות ובמצב זה של הצמחייה –התוצאה עלולה להיות הרס המדרון. הכוורת מספקת בית גידול משופר כפי שמלמדים המחקרים והתוצאות בשטח. (ראה מחלפים אלוף שדה, גנות ואחרים-נוף מטופח על גבי כוורות ואז גם לא רואים את הכוורות).

כמובן, באזורים כמו צפון ודרום הארץ, המצב שונה לחלוטין: בחרסיות של הצפון וגם של המרכז(בגרומוסולים בעיקר) ובאזורים עם מעט גשם של הדרום אין כמעט שימוש בכוורות (פרט למקרים מסוימים כגון ליד גשרים ומבנים אחרים), אלה כיסוי בשכבת חישוב ו/או ריסוסים בפולימרים. מבחינה אקולוגית, כוורת פלסטית אינה מזיקה לסביבה. הכוורת עשויה מ-HDPE, החומר בשימוש בארץ ובאולם עשרות רבות של שנים כולל במערכות חיים כגון צנרת מי שתייה והשקיה, דודי מים לשתייה ומזון, ושימושים רבים אחרים, החומר

הינו אינרטי, לא ידוע על בעיה אקולוגית כל שהיא, בהיותו לא אורגני-צמחי אינו יכול ליצור מגע עם הסביבה.

כוורות פוליאטילן עם מילוי חצץ



כוורות פוליאטילן עם כיסוי צמחי



7.6.3 – ייצוב כימי (פולימרים)

הפולימרים- השימוש בהם בארץ פותח במעצ בעשור האחרון, הם מהווים פתרון יעיל בשנתיים הראשונות במידה ולא נהרסו ע"י דריכה של הגנים ו/או פועלים שונים. על מנת להקטין עד למינימום נזק אפשרי לציפוי פולימרי יש לדאוג לכך שאם צפויה פעילות לאחר ריסוס הפולימר אזי מבצעים את הריסוס רק על אדמה קשה שלא משאירה עקבות של

שקיעת רגל עקב דריכה. הפולימרים יכולים לשמש אמצעי תמיכה זמני לצמחיה (טבעית או זרועה) או ללא צמחיה לתקופה קצרה כאמור עבור שלבי ביניים של ביצוע. מקומות השימוש הם יחד עם עיצוב צמחי מלא (לא בדשא כמובן), או עד לכיסוי בצמחיה טבעית, לפולימר יתרון בעידוד הצמחייה עקב תכונתו (ברוב הפולימרים) בהגברת חדירת המים למדרון, באזורי הנגב במיוחד. יחד עם זאת יש להשתמש בו בזהירות משום שהגברה מסיבית שגורם הפולימר לחדירת המים למדרון, עלולה להחליש את המדרון בתנאים מסוימים או לגרום להגברת תהליכי מנהור בקרקעות כמו הלס.

להוסיף תמונת ייצוב פולימרים

אופן יישום הפולימרים ראה טבלה מס' 7.1

טבלה 7.1

בחירת פולימרים בהתאם לסוג הקרקע*

עדיפויות	מקדם שינוי חידור [**]	סוג הפולימר		סוג הקרקע
		שם	יחס מוביל	
עדיפים כאשר לא מעוניינים בצמחים	0.75	G2	1:16	חול ל
	0.65	G2	1:17	
	0.6	M3		
	0.8	SS	1:30	
	0.8	אקוטקס		
עדיף לצמחים	1	SM	1:16	פ
עדיפים כאשר אין סכנה למדרון ויש עניין לפתח צמחייה	2.5	G2+G1		חמרה
	2.5	G2	1:11	
	2.5	אקוטקס		
עדיפים כאשר תוספת מים מסוכנת	1.1	M3		
	1.1	SS	1:16	
	0.6	SM	1:16	
לעידוד צמחיה אם אין סכנת גלישה למדרון	15	אקוטקס		לס ע ב
	6	G2	1:5	
כאשר תוספת מים מסוכנת ליציבות המדרון	0.9	M3		
מתאים לצמחים אך לא במדרון רגיש לתוספת מים	20	G2+G1		חרסית
	15	G2	1:11	
	30	SS	1:16	
עדיפים כאשר תוספת מים מסוכנת	6	אקוטקס	1:16	
	3	SM		

[*] ממקור של מע"צ 2/2000

[**] ביחס למצב טבעי (מושגים יחסיים בלבד).

התאמת פולימרים נעשית לפי סוג הקרקע, הצורך של הצמחייה בהגברת כמויות המים החודרות למדרון יציב או בהקטנת חדירת המים במידה והדבר עלול להזיק ליציבות המדרון.

מעבר לתפקידו של פולימר אמצעי תמיכה ניתן להשתמש בו במצבים מסוימים כפתרון חלקי:

ה באזורים ללא צמחייה כל שהיא – לצורך יצירת קרום ראשוני,

ה הגנה על מדרונות בשלבי בינים של העבודה

7.6.4 – רסק גזם

ישנם מספר אתרים בארץ בהם נעשה שימוש ברסק גזם כאמצעי למניעת סחיפה, בין השאר (מדרונות באזור הגבעה הצרפתית, מחלף גולדה ואחרים), על פניו התוצאות חיוביות. שימוש בגזם כרסק פותר בין השאר בעיה אקולוגית-להפטר מהגזם המצטבר בארץ, ולכן נערכים מחקרים בנושא. עבודת מרכז וולקני עבור משרד להגנת הסביבה חושפת מספר ממצאים.

שימוש ברסק גזם (בשכבה בעובי של 3 ס"מ) כחיפוי קרקע למניעת/הקטנת היווצרות נגר וסחף, הקטנת התאדות מהקרקע (מחקר בקרקעות חמרה וורטיסול), מפחית באופן משמעותי את הנביטה וההתפתחות של עשבי בר חורפיים וקיציים.. הפחתת העשבייה בחלקות שחופו ברסק גזם יכולה להקטין את הצורך בשימוש בחומרי הדברה, ובכך להקטין את פוטנציאל הזיהום בחומרי הדברה.

לשימוש ברסק גזם כחיפוי קרקע יש יתרונות רבים:

שיפור התכונות ההידראוליות של הקרקע - חיפוי פני הקרקע בגזם מגן על פני הקרקע ממכות טיפות הגשם, וע"י כך מונע הרס התלכידים והיווצרות הקרום בפני הקרקע (בן-חור וחובריו, 2005). כתוצאה מכך ערכי החידור הגבוהים של הקרקע נשמרים, ושיעורי הנגר והסחף פוחתים. חיפוי פני הקרקע יכול להקטין את הסחף גם בכך, שחומר החיפוי משמש כפילטר אשר מונע את התנועה האופקית של הסדימנטים עם הנגר העילי. בנוסף, הגזם בפני הקרקע יכול לעבור פירוק, וע"י כך להגדיל את תכולת החומר האורגני בשכבת הקרקע העליונה, דבר המגדיל את יציבות מבנה הקרקע בשכבה זו ואת המוליכות ההידראולית שלה (בן-חור וחובריו, 2005). בניסוי על קרקע חמרה מאזור נתניה, לס מנחל עוז וורטיסול מעמק יזרעאל נדגמו מהשכבה 5-20 ס"מ. קרקעות אלו מאפיינות את מרבית קרקעות הארץ, והתכונות הכימיות והפיסיקליות הכלליות שלהן מובאות בטבלה 1.

תכונות כימיות ופיסיקליות כלליות של הקרקעות שנלמדו במכשיר הגשם.

קרקע	הרכב מכני			תכולת גיר	תכולת חומר אורגני	ESP
	חרסית	סילט	חול			
----- % -----						
חמרה	16	2	82	עקבות	0.9	1.5
לס	26	17	57	12.1	1.3	3.9
וורטיסול	63	26	11	7	2.4	0.9

המחקר נעשה במכון וולקני במגשים בגודל של 0.5 x 0.3 מ', כאשר עובי שכבת הקרקע במגש היה 0.02 מ'. הקרקעות הומטרו בסופת גשם של ~65 מ"מ של מים בשיפוע של 9% ,. אנרגיית טיפות של 18.1 ג'אול/מ"מ/מ"ר המאפיינת אנרגיית טיפות של גשמים טבעיים בארץ,

הנתונים לא נראו מספיקים למעבר שימוש בשטח אך נראה שיש מקום לבחון את הנושא בצורה מסודרת.

7.6.5 – ייצוב בחומרים קשיחים

7.6.5.1 – חומרי מבנה של ייצוב קשיח

בייצוב מחומרים קשיחים משתמשים בארגזי ומזרני גביונים, ריפ-רפ, משטחי בטון וביניהם פלטות בטון מזוין, כוורות עם בטון, בטון עם רשת מרחבית המוכרת בשם JK, בטון מותז עם רשת זיון (דוגמת מדרונית 17), מרצפות בטון, בטון בהזרקה בתוך בד המוכר כ-HYDROFLEX, אבנים משתלבות, אבן שפוכה, חצץ, אבנים גדולות (בולדרים), כוורות עם חצץ ואחרים. תיאור של השיטות וחומרים ראה בפרק מס' 6 "ייצוב תעלות". תיאור מפורט של החומרים והדרישות עליהם מופיע במפרט כללי לסלילה וגישור (הספר הירוק) פרק 51.05 במתכונתו החדשה. לכל חומר חייב להיות אישור מעצ תקף לשימוש.

7.6.5.2 – שיטות ושימוש

הצורך בשימוש בשיטות קשיחות במדרונות למטרות מניעת סחיפה מופיע במספר מצבים:

- הזרמת נגר מהמיסעה ישירות למדרון,
 - מדרון הכביש שחשוף למפלסי מים גבוהים ליד גשרים ומעברי מים או במצב של גלישת מים מעל סוללת הדרך,
 - מיגון קונוסים של נציבי קצה בגשרים שלא על נחלים,
 - עיצובים דקורטיביים באזורים מגוננים,
 - מתקנים על המדרונות כגון מגלשים ואחרים.
- אופן ביצוע עבודות כנ"ל הינו על פי פרטים סטנדרטיים והמפרט הכללי-פרק 51.05 אשר נבנו על בסיס הנחיות של יצרנים וספקים של אותם החומרים והנחיות תכנון של החברה.
- בתכנון של האמצעים הנ"ל יש לקחת בחשבון את צרכי העיצוב המקומיים.
- בהגנת מדרון הכביש** מנגר חיצוני ניתן להשתמש באמצעים המופיעים בסעיף 3.2.1 לעיל, השיקולים הם: התאמה הנדסית, (בין חלופות הנדסיות, עדיפות לתאימות נופית כולל התאמת צורת פני השטח וצבע) ושיקולים כלכליים.
- כך גם לגבי ייצוב הקונוסים ומפרדות.
- במקרים של צורך בהגנת מדרון ממים גבוהים או גולשים מעל הדרך יש לקחת בחשבון את הצרכים כמו אטימות וציבות סטטית של הייצוב במצב של מים עומדים, יורדים וגולשים, כמו גם תיאום יציבות עם מתכנן הסוללה.
- במתקנים על מדרונות (כגון מגלשים) הדרישה היא ליציבות סטטית של המתקנים גם במצב שהמתקן חתור סביבו.

בכל האמצעים הנ"ל יש לדאוג לנקזים במקומות שיש בהם צורך (כאשר צפוי מצב של המצטברות מים מאחורי המבנה).
במגע בין החומרים לקרקע תמיד יהיה מסנן, עדיפות לבד גאוטכני (לפי המפרט הכללי).
ברירת המחדל הינה בטון מחוספס וצבוע (פיגמנט בגוון בקרקע) כך שיתאים בצורה מרבית לסביבתו, זאת משום היותו הזול מכל שאר האמצעים.

7.6.5 – ייצוב באזורים צחיחים

במקומות בהם תנאי האקלים אינם מאפשרים קיום צמחייה כל שהיא ללא השקיה בדרך כלל לא יתוכנן ייצוב צמחי. תהליך הסחיפה הינו פונקציה בין השאר של כמות ומשך הגשם. באזורים צחיחים הן הכמות והן המשך קטנים במיוחד ולכן עוצמת ההתחתרות במדרונות (שלא כמו בתעלות ונחלים) נמוכה בהתאם. תנאים אלה משאירים מספיק זמן לתיקון החתירות שלרוב לה יוצרים בעיה מידית של יציבות.
תהליך היווצרות של הערוצים הינו ע"י ריכוז זרמים של הנגר עד להיווצרות ערוץ אשר עקב הגדלת כמות הנגר בו מאיץ את קצף החתירה והעמקה קלפי ראש המדרון. על מנת להקטין את ההתחתרות ניתן למנוע את ריכוז המים על פני המדרון (בדרך כלל ידובר על מדרון הכביש במילוי) ע"י " שריטת המדרון באמצעות השיניים של קו יעה (או כלי דומה) לעומק של כ-5 ס"מ.
בצמוד למבנים ובתעלות יתוכנן ייצוב קשיח בהתאם לצורך.

7.6.6 – סחף רוח

סחף רוח הינה תוצאה של השאת חול ע"י הרוח (לא כולל סופות חול/אבק). הדבר מתרחש באזורים עם שטחים נרחבים של חולות ובעיקר באזורים שלחוליות (דיונות). יש מצבים שהחולית מיוצבת טבעית או ע"י פעולות ייצוב (תרומתו הרבה של דר' צוריאל בתחום זה). בחולית לא יציבה (או לא מיוצבת) החול ממשיך להתגלגל תוך שהוא סותם וחוסם כל דבר שבדרכו, הצטברות החול במקומות כנ"ל יכולה להיות של עשרות סנטימטרים ועד מטר ויותר באירוע אחד ובגלישות החולית גם הרבה יותר.
לחוליות פעילות יש התנהגות צפויה הניתנת להערכה של כיוונים וכמויות סחף רוח, ומאידך קשה לרסן אותה או לשלוט בה באמצעים הנדסיים סבירים. מצב זה יש לוקחת בחשבון בעת קביעת ציר הדרך וקו האדום, וזה אומר להתרחק מהקצה הפעיל של החולית (בחוליות גבוהות זהו גם אזור הגלישה), בחוליות פעילות נמוכות יש להשתדל למקם קו אדום מעל קו הרכס של החולית.
במצבים של חולית פעילה קיימת בסמוך לכביש אין לחסום את תנועת הרוח עם החול מעל הכביש ע"י מפרדות אטומות (כגון בטון) או קירות בצד הדרך. יש לדאוג שהדרך בתחום

החצייה תהיה כמה שיותר חלקה ועם ציפוי אספלט רציף ומינימום הפרעות לרוח. כללים הללו נכונים גם לגבי פעולות להקטנת הצטברות שלג על המיסעה.

היה ולא ניתן היה לעמוד בתנאים המפורטים לעל, עדין ניתן לנסות פתרון חלופי והוא – ייצוב החוליות. ייצוב שדות חול בדרך כלל נדרש לבצע בשטחים גדולים מחוץ לתחום הדרך בשיטות (המפורטות בעבודות דר' א.ד. צוריאלי) כגון שילוב ייצוב פולימרי (קרום אמולזול מחזיק 5 שנים) עם שתילת צמחים (כגון קני סוכר מצרי, שמצטיין בצבירת חול, רותם המדבר, ידיד החולות ואחרים). השקיה רצויה בקיץ הראשון. השתילה מומלצת בשיטת "רצועות מגן". צמח הווייבר למטרות אלה נמצא בבדיקה.

7.7 – הנחיות תכן

7.7.1 – כללי

תכנון הייצוב ייעשה בהתחשב בשיקולים הבאים:

א. קבוצת רמת סיכון של הכביש כמפורט בסעיף 7.5.2 לעיל

ב. נתונים אקלימיים - אזורים, קרקע, גשם, צומח

אמצעים מומלצים

הכבישים חולקו לקבוצות סיכון על מנת לקבוע את רמת הפתרון לאומת הסיכון שיהווה מדרון לא מיוצב. קבוצת רמת סיכון מפורטות בסעיף 7.5.1 לעיל. קיים שוני רב בין אזורי הארץ השונים (צפון, מרכז, דרום, מזרח ומערב) מבחינת כמות המשקעים ומשום כך בעיקר גם השוני בקרקע וצומח, על כן גם הפתרונות יהיו שונים, לעיתים באופן קיצוני.

תנאי הקרקע

(חרסיתית) וצמחיה טבעית בצפון הארץ מאפשרים ברוב המקרים להסתפק בייצוב טבעי (כגון כיסוי באדמת חישוף חרסיתית) ללא צורך באמצעים נוספים. במרכז הארץ קרקעות החמרה מהוות בעיה קשה מבחינת הסחיפות שלהן ולכן מחיבות השקעות רבות בייצובן.

משקעים

כמויות הגשם השונות מצפון לדרום מהוות שיקול חשוב בקביעת שיטת הייצוב. בצפון לרוב ניתן לסמוך על הייצוב הטבעי, בדרום הארץ מתחת ל-200 מ"מ גשם שנתי) אין ייצוב צמחי טבעי ולכן אין לסמוך עליו.

אורך המדרון

שוני מהותי נוסף הינו **אורך המדרון**, ככל שהמדרון ארוך יותר כך כמות הגשם המצטברת גדולה יותר ויחד עמה גדלה גם סכנת החתירות-העירוף על פני המדרון. שיפועי מדרונות הם בדרך כלל סביב 1:2 (בין 1:1.5 ועד ל-1:4), עוצמת החתירות איננה מושפעת משינוי שיפועי מדרונות בתווך זה ולכן לא תהיה לכך התייחסות בהנחיות. מדרונות מתונים יותר מתוכננים בדרך כלל משיקולים נופיים בלבד. כמעט ללא הבדל במיקום הגיאוגרפי מדרונות שצמודים או תומכים במבנים כגון גשרים, מחייבים התייחסות פרטנית יותר.

מדרונות מחולקים לשתי קטגוריות כדלקמן :

המדרון של סוללת המילוי של הכביש – להלן "מדרון/סוללת הכביש"
מדרון חפור (או במילוי שאין עליהם מבנה כביש או אחר) להלן "מדרון נגדי" לכביש
הגנת המדרון מסחיפה מתחלקת לשני סוגים עקרוניים :
הגנה באמצעי דיפון קשיחים.
הגנה באמצעים גמישים.

7.7.2 – עקרונות בחירת ייצוב קשיח על מדרונות

ייצוב קשיח (באמצעות בטון, אבן וכ"ד) על המדרון יבוצע רק במקרים הבאים :
א. כאשר ע"פ שיקולי תכנון שלהלן לא מבוצעים אבני שפה בשולי הכביש והנגר זורם ישירות אל מדרון הכביש שבנוי מחומרים סחיפים-קרקע, מצעים וכ"ד.
ב. כאשר מתוכנן דיפון התעלה שצמודה לכביש ונותר מדרון הכביש באורך שלא עולה על 1.5 מ' וזאת בתנאי שניתן לבטל אבן שפה באותו קטע.
ג. כאשר בבדיקת מתקן החצייה בכביש יש להגן על המדרון עקב הערמות מפלס המים, כפתרון חליפי זול ביותר.
ד. כאשר מתקן חצייה קטן מין הדרוש עבור ספיקת תכן וצפוי שגלישת מים מעל הכביש תגרום להרס הסוללה (לגבי כבישים קיימים).
ה. כאשר על פי הבדיקות קיימת סכנה של סחיפת המדרון עקב זרימות שטפוניות לאורכו מנחלים שבמעלה.
ו. בסמוך למבנים כגון גשרים, מעברים וכו'.

7.7.3 – ייצוב באמצעים גמישים

לאמצעים גמישים – כאלה שמאפשרים שילוב צמחיה בתהליך הייצוב, עדיפות ראשונית בבדיקת התאמת ייצוב לשטח.
תכנון הגנה על מדרון סוללת הכביש באמצעים גמישים נגזר משני הפרמטרים הבאים :
★ סוג הקרקע – קרקע סחיפה של פני דופן הסוללה ,
★ אזור אקלימי
★ גובה סוללה – גובה הסוללה על פי חלוקה שבטבלאות שלהלן בהתייחס לקבוצות סיכון כהגדרתן בסעיף 7.5 לעל:

7.7.4 – טבלאות עזר לתכנון פתרון הגנת המדרון מאירוזיה

בסעיפים להלן מוצגות טבלאות עזר אשר מסייעות למתכנן בבחירת הפתרון הפתרונות המומלצים להגנת מדרון הכביש בהתאם לרמת הסיכון, קרקע המדרון וגובה הכביש. הנחיות לקטעי דרך העוברים בשטחי קרקעות ארוזיביות. אין הכוונה להשתמש בהנחיות אלו לקטעי דרך סלעיים או לא ארוזיביים. במקומות שבהם יש שני פתרונות או יותר אפשריים בטבלאות הם מסומנים באותיות.

7.7.4.1 – רמת סיכון א – כבישים משוקעים

גובה	עד 3.0 מ'		מעל 3.0 מ'	
	עם א.שפה	ללא אבן שפה	עם א.שפה	ללא אבן שפה
חרסית	כסוי צמחי מלא	פולימר + כיסוי צמחי מלא	כסוי צמחי מלא	פולימר + כיסוי צמחי מלא
מילוי נברר גרנולרי	לפי סוג קרקע שכבת חיפוי	לפי סוג קרקע שכבת חיפוי	לפי סוג קרקע שכבת חיפוי	לפי סוג קרקע שכבת חיפוי
חמרה	פולימר/ + כיסוי צמחי מלא	פולימר/ + כיסוי צמחי מלא	א. דשא	א. דשא
	פולימר/ + כיסוי צמחי מלא	פולימר/ + כיסוי צמחי מלא	ב. כוורות פוליאטילן עם אדמה + פולימר + כיסוי צמחי מלא	ב. כוורות פוליאטילן עם אדמה + פולימר + כיסוי צמחי מלא
חול**	שכבת חרסית בעובי של 30 ס"מ + פולימר/יצוב זמני + כיסוי צמחי מלא	שכבת חרסית בעובי של 30 ס"מ + פולימר/יצוב זמני + כיסוי צמחי מלא	א. דשא	א. דשא
	שכבת חרסית בעובי של 30 ס"מ + פולימר/יצוב זמני + כיסוי צמחי מלא	שכבת חרסית בעובי של 30 ס"מ + פולימר/יצוב זמני + כיסוי צמחי מלא	ב. כוורות פוליאטילן עם אדמה + פולימר + כיסוי צמחי מלא	ב. כוורות פוליאטילן עם אדמה + פולימר + כיסוי צמחי מלא
לס	א. פולימר + כיסוי צמחי באזורים מתאימים	א. פולימר + כיסוי צמחי באזורים מתאימים	א. פולימר + כיסוי צמחי באזורים מתאימים	א. פולימר + כיסוי צמחי באזורים מתאימים
	ב. חצץ דקורטיבי*	ב. חצץ דקורטיבי*	ב. חצץ דקורטיבי*	ב. חצץ דקורטיבי*

* - טרם נוסה בארץ

** - ייצוב צמחי באזורים מעל 300 מ"מ גשם שנתי

7.7.4.2 – רמת סיכון ב – סוללות כבישים במחלף / כביש מהיר/פרברי מהיר / כביש

ראשי או כביש אזורי דו מסלולי (במילוי)

גובה	עד 3.0 מ'		מעל 3.0 מ'	
	עם א.שפה	ללא אבן שפה	עם א.שפה	ללא אבן שפה
חרסית	כיסוי צמחי מלא	פולימר/ייצוב זמני+ כיסוי צמחי מלא	כיסוי צמחי	פולימר/ייצוב זמני+ כיסוי צמחי מלא
מילוי נברר גרנולרי (3)	שכבת קרקע מקומית בעובי של עד 30 ס"מ (רצוי חרסית) פרט לחול + כיסוי צמחי מלא	שכבת קרקע מקומית בעובי של עד 30 ס"מ (רצוי חרסית) פרט לחול + פולימר/ייצוב זמני+ כיסוי צמחי מלא	שכבת חרסית בעובי עד 30 ס"מ +כיסוי צמחי	שכבת חרסית בעובי של עד 30 ס"מ + פולימר + כיסוי צמחי מלא
חמרה	פולימרי+ כיסוי צמחי מלא	פולימר+ כיסוי צמחי מלא	א. דשא	א. דשא
			ב. כוורות פוליאטילן עם אדמה + כיסוי צמחי מלא	ב. כוורות פוליאטילן עם אדמה + כיסוי צמחי מלא
חול באזורים מעל 200 מ"מ גשם) (1	(2)	שכבת חרסית בעובי של עד 30 ס"מ +פולימר/ייצוב זמני+ כיסוי צמחי מלא	א. דשא	א. דשא
			ב. כוורות פוליאטילן עם אדמה + כיסוי צמחי מלא	ב. כוורות פוליאטילן עם אדמה + כיסוי צמחי מלא
לס - באזורים מעל 200 מ"מ גשם	(2)	פולימר/ייצוב זמני+ כיסוי צמחי	א. פולימר/ייצוב זמני+ כיסוי צמחי	א. פולימר/ייצוב זמני+ כיסוי צמחי
			ב. חצץ דקורטיבי*	ב. חצץ דקורטיבי*
			ג. ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם חצץ או חצץ רכבת	ג. ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם חצץ או חצץ רכבת
לס - באזורים מתחת ל- 200 מ"מ גשם	(2)	פולימר	א. פולימר	א. פולימר
			ב. ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם חצץ או מזרון גביונים או חצץ רכבת	ב. ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם חצץ או מזרון גביונים או חצץ רכבת

* - טרם נוסה בארץ

(1)- באזורים מתחת ל 200 מ"מ גשם יבוצע מגון פולימרי בלבד לפי סעיף 7.6.6.כנגד

סחף רוח

(2)-חומר זה לא יהווה חומר מילוי לסוללות כביש ללא בצוע גרעין – כלומר חומר מילוי זה

ימוגן ע"י חומר גרנולרי ברוחב של לפחות 3.0 מ' ולכן יש לקרוא במצב זה את שורת

המילוי הגרנולרי.מדרון חיצוני יש לקרוא בעמודה ללא אבן שפה .

(3)-באזורים מעל 300 מ"מ גשם שנתי

7.7.4.3 – רמת סיכון ג – סוללות כבישים בכביש אזורי או כביש מקומי(במילוי)

גובה	עד 3.0 מ'		מעל 3.0 מ'	
	עם א.שפה	ללא אבן שפה	עם א.שפה	ללא אבן שפה
חרסית	כיסוי צמחי /שכבת חישוף חרסיתי	כיסוי צמחי /שכבת חישוף חרסיתי	כיסוי צמחי /שכבת חישוף חרסיתי	כיסוי צמחי /שכבת חישוף חרסיתי
מילוי נברר גרנולרי (3)	כיסוי צמחי /שכבת חישוף חרסיתי	כיסוי צמחי /שכבת חישוף חרסיתי	כיסוי צמחי /שכבת חישוף חרסיתי	כיסוי צמחי /שכבת חישוף חרסיתי
חמרה	פולימר/יצוב זמני + כיסוי צמחי מלא	פולימר/יצוב זמני + כיסוי צמחי מלא	פולימר/יצוב זמני + כיסוי צמחי מלא	פולימר/יצוב זמני + כיסוי צמחי מלא
חול באזורים מעל 200 מ"מ גשם	(2)	שכבת חישוף מקומית	(2)	פולימר/יצוב זמני + כיסוי צמחי מלא
לס - באזורים מעל 200 מ"מ גשם	(2)	שכבת חישוף מקומית	(2)	א. פולימר + כיסוי צמחי
				ב. חצץ דקורטיבי*
לס - באזורים מתחת ל- 200 מ"מ גשם	שכבת חישוף מקומית	שכבת חישוף מקומית	שכבת חישוף מקומית	א. פולימר
				ב. ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם חצץ או מזרון גביונים או חצץ רכבת

* - טרם נוסה בארץ

(2)-חומר זה לא יהווה חומר מילוי לסוללות כביש ללא בצוע גרעין – כלומר חומר מילוי זה

ימוגן ע"י חומר גרנולרי ברוחב של לפחות 3.0 מ' ולכן יש לקרוא במצב זה את שורת

המילוי הגרנולרי.מדרון חיצוני יש לקרוא בעמודה ללא אבן שפה .

(3)-באזורים מעל 300 מ"מ גשם שנתי

7.7.4.4 – רמת סיכון ד – מדרונות נגדיים (מדרונות בחפירה)

מדרון נגדי יהיה בדרך כלל מחולק ע"י ברמות לקטעי גובה של עד 5.0 מ' (נקבע ע"י גיאולוג או מתכנן שאחראי על יציבות מדרונות)

סוג הקרקע		גובה המדרון
		עד 3.0 מ'
		5.0-3.0 מ'
חרסית		יציב צמחי (1)
חמרה (3)		פולימר+ כיסוי צמחי מלא
חול באזורים מעל 200 מ"מ גשם (1)(3)		א. פולימר
		ב. ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם חצץ או מזרון גביונים או חצץ רכבת
לס - באזורים מעל 200 מ"מ גשם		א. פולימר
		ב. ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם חצץ או מזרון גביונים או חצץ רכבת
לס - באזורים מתחת ל-200 מ"מ גשם		א. פולימר
		ב. ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם חצץ או מזרון גביונים או חצץ רכבת

(1)- באזורים מתחת ל 200 מ"מ גשם יבוצע מגון פולימרי בלבד לפי סעיף 7.6.6.כנגד

סחף רוח

(3) – יש לבצע תעלות הגנה או סוללות הגנה עם ירידה מוסדרת לתעלות הכביש, במידה ודיקור המדרון פונה לכיוון הכביש.

7.7.4.5 – הערות לטבלאות בסעיף 7.7.4

- בטבלאות נעשה שימוש בשמות של קרקעות כגון חרסית חמרה, לס וכו', כאשר למעשה כל שם מייצג קבוצה שלמה של קרקעות עם מגוון רכב של תכונות- מחולי מאוד ועד לחרסיתי מאוד ולכן יש לקחת זאת בחשבון.
- מומלץ להשתמש בקרקע של חישוף שטח חרסיתי כדי לאפשר כיסוי מהיר של המדרון בצמחייה. החישוף מומלץ גם ליישום קרקע המילוי של כוורות הפוליאטילן, כל זאת בתנאי ששימוש בחישוף אינו נוגד תוכניות עיצוב.
- בשום מקרה לא יהיה שימוש בחול כחומר מקומי לכיסוי ו/או למילוי כוורות.
- השימוש בדשא צריך לוקחת בחשבון שבמידה והדשה זמני ו/או יושתלו עצים או שיחים, כך שהדשא יעלם עקב כך, יש לקחת זאת בחשבון בתכנון ייצוב לתוור ארוך כמקובל.

- במונח כיסוי צמחי מלא, פרט לדשא, הכוונה לעשבים חד- ו/או רב-שנתיים, או שיחים נמוכים מסתערים קרוב לפני הקרקע בכיסוי כל פני הקרקע ומערכת שורשים צפופה קרובה לפני הקרקע.
- באשר **לקבוצת סיכון –ה'**, כהגדרתה בסעיף 7.5.2, יתוכנן עיצוב בלבד, אלה אם יידרש אחרת ע"י מתכנן הנוף.
- תכנון הצמחייה יתוכנן במסגרת תכנון נופי בהתאמה לקריטריונים שבטבלאות של סעיף 7.7.4.

7.7.5 – הגנת מדרון כביש

אבני שפה לצורכי ניקוז במשמשים בדרך כלל על מנת להגן על המדרון מנגר של המיסעה, אך מחייבים התקנת מעקה בטיחות בצמוד, דבר כשלעצמו איננו רצוי מטעמי בטיחות. יש לוקחת זאת בחשבון ולהמעיט ככל האפשר בשימוש באבני שפה, מאידך מדרון עפר, כולל גם עם ייצוב גמיש, איננו מסוגל לקבל נגר חיצוני (פרט לגשם ישיר) מבלי שהוא נזרק במידה זו או אחרת.

יש למנוע נגר ממיסעה ע"י אבני שפה, קירות וכ"ד או לתכנן ייצוב קשיח, הכול בהתאם לאזורי הגשם השונים ומספר נתיבים בכביש.

גובה סוללת הכביש*	מס' נתיבי נסיעה	אזור גשם	שיפוע מדרון סוללת הכביש
גדול מ 3.0 מ'	בכל מצב	בין 50-200 מ"מ	תלול מ 1:4
		מעל 200 מ"מ	בכל שיפוע
1.5-3.0 מ'	שני נתיבים ויותר, רמפות במחלפים	מעל 200 מ"מ	בכל שיפוע תלול מ 1:4
קטן מ 1.5 מ'	3 נתיבים ויותר	מעל 200 מ"מ	בכל שיפוע

* המדרון יחולק לאורכו לקטעים לפי מרווחי גובה כמו בטבלה

7.7.6 – ברמות, מפרדות, סוללות ותעלות הגנה

7.7.6.1 – תעלות הגנה

מדרונות שבנוסף לשטח המדרון עצמו מנקזים גם שטחים שמעליהם חייבים באמצעי הגנה שנועדו למנוע זרימה של הנגר חיצוני אל המדרון.
הגנת המדרון הנגדי של הכביש נגזרת מהגורמים הבאים:

- * הקרקע/סלע ממנו מורכב המדרון
- * גובה המדרון
- * אגן ההיקוות שמתנקז אל המדרון

אמצעי ההגנה הם תעלות הגנה, סוללות, קירות מוגבהים וכל פתרון הנדסי אחר שמונע זרימה של נגר מהשטח אל המדרון.

הקריטריונים להגנה מזרימה של נגר אל מדרון הכביש תהיה ע"פ רמת מיגון המדרון, תעלות או פתרונות אחרים יחושבו לספיקה של לפחות 1:20 שנה.

ייצוב תעלות הגנה יעשה במקרים הבאים:

- כאשר מהירות הזרימה אינה תואמת הנחיות שבפרק 5
- כאשר חלחול המים המתעלה לתוך הקרקע עלול לגרום למיחתור או הרטבת יתר של המדרון תוך סיכון יציבותו.

אופן ייצוב תעלות הגנה ראה בפרק 6 "ייצוב תעלות"

7.7.6.2 – ניקוז ברמות

במדרונות גבוהים מתכננים כאמור ע"פ סוג הקרקע ברמות – קטעי ביניים אופקיים במדרון.

הברמה מקבלת באופן טבעי את הנגר מהמדרון שמעליה..ברמה שאיננה מוסדרת לקבלת הנגר הנ"ל וסילוקו באופן מבוקר גורמת בדרך כלל להרס של המדרון אשר תחתיה ולכן יש לתכנן את הברמות כך שימנעו נזקי חתירה והתמוטטויות.

ניקוז הברמות הוא כדלקמן:

* במדרונות, שבהם אין סכנה לארוזיה ע"י זרימת נגר חיצוני, הברמות ינוקזו לכיוון המדרון היורד (כיוון הכביש) בשיפוע רוחבי של 2% לפחות, אין הכרח בשיפוע אורכי בשיעור זה בייצוב נופי. הפתוח הנופי במידה ונדרש יתוכנן בנפרד ללא קשר להגנה מאירוזיה.

* ברמות שהרכבם הם חומרים רכים/קרקעות סחיפות, ינוקזו אל המדרון הפנימי, זה שבמעלה הברמה, תוך יצירת שיפוע רוחבי של 3% בחרסיות ועד-10% בקרקעות חול וחמרה. שיפוע אורכי של הברמה חייב להבטיח זרימת נגר לאורך הברמה ללא נזקי

חתימה או שקיעת סחף (ראה הנחיות תכנון בפרק 5). לצורך חלוקה וסילוק נגר מצטבר על הברמה יש לתכנן לאורך הברמה מגלשים (על פי כללי תכנון שבפרק 4 - ניקוז המיסעה). במצבים של סיכון המדרון עקב חדירת מים מוגברת מהברמה לתוך המדרון, יש לדפן את הברמה או להתקין נקז שרשורי לאורכה תוך מתן פתרון סילוק מתאים.

* רוחב הברמה הינו כ-3.0-5.0 מ', נקבע כאמור ע"י מתכנן המדרון

* יש לתכנן נגישות לברמות עבור כלים מכאניים לצורך תחזוקה.

7.7.6.3 – סחף במפרדות

סחף במרכז הכביש מהווה סיכון חמור למשתמשי הדרך, הוא אלול להגיע ממסמר מקורות:

- ממפרדה שבנויה ממצעים או קרקעות סחיפות ללא הגנה מתאימה. מניעת הסחיפה במקרים כנ"ל תעשה ע"י ייצוב גמיש או קשיח בהתאם למפורט לעל.
- ממפרדה מגוננת בין קירות בטון או בין אבני שפה או אחרים. במצבים כנ"ל יש למנוע מילוי יתר של האדמה כמו גם מניעת שיפועי אורך גדולים מדי במילוי המגונן. משום כך מילוי הקרקע יהיה תמיד לפחות 5.0 ס"מ נמוך מקיר המפרדה או אבן שפה. במידה ושטח גיבון רחב במיוחד ומתנקז ישירות למיסעה, יש להנמיך את המילוי עוד יותר – מתוך חישוב של 1 ס"מ הנמכה על כל 1.0 מ' אורך המדרון המגונן (פרט למקרים של דשא).

7.7.6.4 – ראש סוללות (נופית, אקוסטיות וכו')

קודקוד סוללות לא סלולות מהווה בדרך כלל מקור לתחילת תהליכי סחיפה מואצים, זאת עקב ריכוז הנגר על החלק האופקי של ראש הסוללה והתפרצות ערוצים לכיוון המדרון, מצב שגורם להרס הייצוב שעל פני המדרון. על מנת למנוע ריכוז מים בראש הסוללה יש לתכנן את חלקו האופקי עם שיפוע צידי של 3%. כאשר הרוחב העליון גדול מ-4.0 מ', יש לתכנן שיפועים לשני הצדדים.

7.7.6.5 – מילוי שטחים זמניים

מילוי שטחים זמניים או במעברים בין שלבי ביצוע יש להבטיח שיפוע רוחבי של המילוי גדול יותר משיפוע אורכי ב-2% לפחות.

7.8 – מבנה קרקעות

7.8.1 – מרכיבי הקרקע

כדי להבין את התהליכים ולתכנן את האמצעים של שימור קרקע, חשוב להבין את מרכיבי הקרקע, אופן התהוותה, והקשרים בין הקרקע לסובב אותה; מים, אויר, צמחיה וכו'.
הקרקע נוצרת מהתפוררות של סלע האם. האופי של סלע האם הוא הגורם העיקרי לסוג הקרקע הנוצרת.
הקרקע מורכבת מגרגרים המופרדים מסלע האם. מבחינים בארבע פרקציות של קרקע לפי גודל הגרגרים:

- ★ חרסית (clay) – גרגרים עד גודל 2 מיקרומטר (0.002 מילימטר)
- ★ טין (silt) – גרגרים בגודל 2 – 60 מיקרומטר (0.002 – 0.06 מילימטר)
- ★ חול (sand) – גרגרים בגודל 60 מיקרומטר עד 2 מילימטר
- ★ חצץ (gravel) – גרגרים גדולים מ-2 מילימטר.

לקרקעות בלי חצץ מוגדר מרקם הקרקע לפי אחוז מכל פרקציה – חרסית, טין וחול. הגדרת הטקסטורה של הקרקע לפי "משולש ההגדרה", לדוגמא: קרקע עם 20% חרסית, 40% טין ו-40% חול נקראת חמרה חרסיתית (clay loam). נראה כי למעט חרסית יש השפעה ניכרת על תכונות הקרקע.

המשקלי הנפחי של הקרקע תלוי בטקסטורה ובמידת הדחיות של הקרקע והוא בין ערכים של 1.2 ו 1.8.

הגרגרים נדבקים זה לזה בכוחות משיכה חשמליים ועל ידי מציאות מים ביניהם. ככל שהגרגרים קטנים יותר שטח הפנים הסגולי (סכום שטח הפנים של כל גרגר וגרגר ליחידת נפח קרקע) גדול יותר. לכן ככל שכמות הפרקציות הדקות גדולה יותר בקרקע, הקוהזיביות (ההתדבקות של חלקיקים זה לזה) גדולה יותר והיא קשה יותר לפילוח. זו "אדמה כבדה" ככל שהקרקע חולית יותר היא קלה לפילוח ונקראת "אדמה קלה". בקרקעות חוליות וחצציות לא מתגבשים רגבים, אלא אם מעורבים בהם טין וחרסית.

7.8.2 – מיון קרקעות

ניתן להבחין בקרקעות בהתאם לאופן היווצרותן:

• **קרקע מקורית** – הקרקע במקום נוצרה מהתרוממות סלע האם. אלו הקרקעות ההרריות.

• **קרקע אלובית** – קרקע שנוצרה עקב סחיפת מים והרבדתה במורד הזרימה. קרקעות אלה מצויות בגדות של נהרות ונחלים. בקרקעות אלוביות ככל שהן רחוקות ממקור הווצרן, אחוז הפרקציות הדקות בהן יותר גדול.

• קרקע איאולית – קרקע שנוצרה מחלקיקים המוסעים ממרחקים ונוחתים על פני שטחים נרחבים. דוגמאות לקרקעות כאלה הן אדמות הלס בנגב והחולות הנודדים. גם בקרקעות אלה הפרקציות הדקות, והמינרלים הדקים יותר, מרוחקים יותר מן המקור.

קרקע היא בית הגידול הטבעי לצמחים השונים המהווים מזון בסיסי לחי. וכבר משחר ההיסטוריה למד האדם לגדל את הצמחים הרצויים לו ולסלק משדותיו את הצמחים האחרים המפריעים לגידולים התרבותיים. ברם, קרקע המכוסה בצמחיה שמורה יותר טוב מסחיפה של מים ורוח.

7.8.3 – סחף מים

בין גרגרי הקרקע יש חללים המכילים אויר ומים. מציאות המים בקרקע מתחלקת לפי הכוחות הפועלים על המים:

- מים ספחים – מולקולות המים הנספחים לגרגרי הקרקע בכוחות האלקטרו כימיים. זו שכבה דקה העוטפת כל גרגר ומהווה גם "דבק" לגבש גרגרים לרגב גדול.
- מים נימיים (קפילאריים) – הנאחזים בחלקיקי הקרקע על ידי מתח הפנים של המים עצמם, אם החללים מספיק קטנים לצורך זה.
- מי כובד – מים שאינם נאחזים בקרקע ומחלחלים לשכבות נמוכות יותר בקרקע בכוח הכובד (בגרביטציה).
- מי נגר – אם הספקת מים, מגשם או מזרימה חיצונית, אינם נקלטים בקרקע, הרי הם נקווים על פני הקרקע. אם גם קיבול על-קרקעי איננו מספיק לאגור אותם, הם מחפשים מוצא וזורמים על פני הקרקע.

מי הנגר הם הגורם העיקרי לסחיפת קרקע, ובהם נעסוק בעיקר.

מי השטף גורפים אתם חלקיקי קרקע. כמות הגריפה, וגודל החלקיקים תלויים באנרגיה של זרימת המים.

▲ מים הזורמים בשיפוע קטן ובספיקה סגולית (ספיקת מים ליחידת חתך) קטנה, גורפים רק חלקיקים קטנים ובכמות קטנה. סחיפה כזו נקראת "סחיפת שטח".

▲ מים הזורמים בשיפוע גדול, גם אם הספיקה קטנה יחסית, כמו מים הפורצים משדה אל אפיק עמוק, הם בעלי אנרגיה גדולה ומסוגלים לגרוף כמויות גדולות של קרקע וכך נוצרות בתרונות.

▲ מים הזורמים בתוך אפיק – הספיקה גדולה, והמים מסוגלים לגרוף אתם גם אבנים גדולות. החתירה באפיק מתבצעת הן בתחתית האפיק, והן בדפנות האפיק בעיקר אם האפיק איננו בקו ישר. ככל שהנחל או הנהר גדולים יותר, הספיקה ומהירות הזרימה קובעים את האנרגיה הגורמת לסחיפה.

7.8.4 – דרכי המניעה של סחף מים

למנוע סחף על ידי המים ניתן על ידי שתי פעולות עקרוניות:

1. למנוע, או לפחות להקטין את זרימת המים ואת האנרגיה בזרימתם.
 2. לנתב את הזרימה העודפת למקומות מוגדרים, ושם לבנות מתקנים המסוגלים לעמוד בפני הזרימה בלי סחיפת קרקע.
- גשם, או המטרה מלאכותית, המגיעים לקרקע נספגים תחילה לתוך הקרקע. כל עוד ספיקת החלחול גדולה מעצמת הגשם, המים נספגים לתוך הקרקע. אחרי המטרה של מילימטרים ספורים (לפי סוג הקרקע ומצב העיבוד) הקרקע כבר איננה מסוגלת לקלוט את המים ואלה נאגרים על פני הקרקע. היות והקרקע איננה חלקה, נאגרים המים בשוליות על פני הקרקע, ואלה יחלחלו לתוך הקרקע כאשר הגשם יפסק. אוגר זה נקרא "אוגר השהיה" (detention storage).
- חשוב לציין כי בקרקעות טיניות (למשל אדמות הלס בנגב) נוצר קרום בפני הקרקע המקטין מאוד את קצב החלחול לתוך הקרקע.
- אין בידי האדם כמעט אפשרות להגדיל את קצב החלחול. אבל יש אמצעים להגדיל את חידור ואוגר ההשהיה.
- צמחיה צפופה מונעת זרימה. הן על ידי כך שנאגרים מים על פני העלים, והן עקב הגבשושיות שיוצרים הצמחים.

