



הנחיות לתכנון ניקוז למסילות ברזל הידרולוגיה-ניקוז-סחף

מאי 2009



כזניק fine
הנדסת ניקוז ופיתוח בע"מ
יעוץ - תכנון - פיקוח





הנחיות לתכנון ניקוז למסילות ברזל הידרולוגיה-ניקוז-סחף

הוכן עבור
רכבת ישראל
חטיבת תשתיות-אגף תכנון

אינג' שמואל רזניק
יעוץ-תכנון-פיקוח

גירסה מס' 1

מאי 2009

הקדמה

חב' רכבת ישראל מקדמת פיתוח רשת מסילות ברזל על ידי תכנון קווי מסילות ברזל חדשים ושדרוג קווים קיימים הכוללים תחנות נוסעים ומתחמים, גשרים, מנהרות והפרדות מפלסיות.

תכנון מערכת ניקוז בתחום הקווים והתחנות הינו חלק בלתי נפרד מתכנון רצועת רכבת בכל הפרויקטים ומהווה מרכיב חשוב גם במהלך התחזוקה של המסילות. תפקידה העיקרי של מערכת ניקוז – מניעת הצפות, פריצות מים בסוללות, החלשת התשתית וכתוצאה מכך התפתחות שקיעות, סדקים, גלישות של מדרונות וכל נזק אחר.

במסגרת קידום והעלאת רמת התכנון הוכנו ע"י אינג' שמואל רזניק עבור אגף תכנון חטיבת תשתיות ברכבת ישראל - הנחיות לתכנון ניקוז מסילות בנושאי הידרולוגיה, ניקוז וסחף.

מטרת הכנת ההנחיות היא לעזור למתכננים בביצוע נאות של תכנון מערכות ניקוז הקשורים עם תכנון מסילות, לרבות:

- יצירת תנאים נוחים לקידום פרויקטי רכבת מול הדרישות החוקיות והסטטוטוריות הקיימות כיום במדינת ישראל,
 - שיפור רמת תכנון מערכת הניקוז,
 - יצירת מסגרת אחידה לתכנון,
 - קיצור תהליך תכנון ובקרה של תכניות ניקוז.
- הנחיות לתכנון ניקוז הוכנו על סמך הנחיות לתכנון מסילות ברזל, גרסה מס' 1, מרץ 2009.
- במקביל להנחיות התכנוניות, אגף תכנון מפתח תוכניות פרטים טיפוסים לניקוז מי גשם שאמורים להשלים קובץ הנחיות.

בכבוד רב

יגאל קליימן- סגן מנהל אגף תכנון

ארקדי רבינוביץ- ממונה הנדסה

ארקדי איטקין- מרכז ניקוז

מאת העורך

" שלושה דברים החשובים ביותר במסילה טובה הם: 1. ניקוז, 2. ניקוז 3. ניקוז "

כך בפתיח של פרק מס' 5 – ניקוז- של **Practical Guide to Railway Engineering**, של **The American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association – AREMA**.

גם אנחנו בארץ למדנו שללא ניקוז טוב, לא יוצאים מצרות אחר כך. חשוב שמי שעוסקים בתכנון וביצוע פעולות ניקוז יהיו אנשים בעלי הכנה וניסיון מתאימים. הנחיות תכנון מהוות אוסף של ידע מקצועי בסיסי /אקדמי כמו הספרות של הידראוליקה והידרולוגיה, בתוספת חוכמה מצטברת מניסיון תכנון ומעקב ארוך שנים באתרי ביצוע.

מעל כל זאת נמצאת החברה המפעילה את הנחיות התכנון, רכבת ישראל בע"מ, בקביעתה את דרישותיה לגבי רמת השירות ורמת הסיכון המקובלות בחברה.

בנוסף לכך ולא פחות חשוב הן עבודות מחקר שתורמות לקידום הנושאים. מחקר ופיתוח נעשים בארץ ע"י מוסדות אקדמיים וגם ע"י גופים פרטיים, לרוב מהנדסי ניקוז.

ההנחיות הן נושא דינאמי, המתפתח עם הזמן ולכן חשוב להתעדכן אחר השינויים.

אוסף הידע והניסיון הוא נחלת הכלל ומשמש את כל העוסקים בתחום התשתיות וגם את האקדמיה. מאידך, העוסקים הם אותה קבוצה של מתכננים, מנהלי פרויקטים וקבלנים. לאור זאת יהיה זה נכון לדאוג עד כמה שניתן לאחידות בהנחיות בין גופי פיתוח שונים, מצב שימנע עומס מיותר, בלבול וטעויות אצל מתכננים, מפקחים וקבלנים ובסופו של דבר יטיב עם איכויות הביצוע.

אינג' שמואל רזניק

תוכן העניינים.

| מס' פרק | תוכן | עמוד |
|----------|---|------|
| | הקדמה..... | 1 |
| 1 | כללי | 8 |
| 1.1 | מהות ההנחיות..... | 8 |
| 1.2 | עקרונות ניקוז רצועת רכבת..... | 9 |
| 1.3 | סיווג מסילות..... | 11 |
| 2 | תכולת התכנון..... | 12 |
| 2.1 | שלבי תכנון..... | 12 |
| 2.2 | תכולת תכנון מוקדם..... | 12 |
| 2.3 | תכולת תכנון מפורט..... | 14 |
| 2.4 | תיאומים ואישורים..... | 15 |
| 3 | הנחיות לחישוב נגר עילי..... | 16 |
| 3.1 | שיטת חישוב ספיקות מכסימליות..... | 16 |
| 3.2 | הסתברות תכן לתכנון מערכות ניקוז..... | 23 |
| 4 | הנחיות להכנת דוח הידרולוגי..... | 27 |
| 4.1 | תיאור הפרויקט..... | 27 |
| 4.2 | בעיות מיוחדות..... | 31 |
| 4.3 | נתונים אקלימיים..... | 32 |
| 4.4 | חישוב ספיקות שיא וקביעת ספיקות תכן..... | 34 |
| 4.5 | חישובים הידרולוגיים במקרים מיוחדים..... | 41 |
| 4.6 | שינויים בסכמות ניקוז..... | 42 |
| 4.7 | סיכום הדוח..... | 42 |

| | | |
|----|---|----------|
| 43 | אישורים..... | 4.8 |
| 45 | חישוב ותכנון תעלות ניקוז ונחלים..... | 5 |
| 46 | קריטריונים לתכנון תעלות..... | 5.1 |
| 52 | קריטריונים לתכנון נחלים..... | 5.2 |
| 56 | ייצוב התעלות ונחלים..... | 5.3 |
| 60 | תחזוקת תעלות..... | 5.4 |
| 62 | חישוב ותכנון מעברי מים..... | 6 |
| 62 | שיקולים מנחים בתכנון..... | 6.1 |
| 63 | עקרונות תכנון מעברי מים בחציית המסילות..... | 6.2 |
| 69 | מעברי מים סמי איריים..... | 6.3 |
| 69 | מעבר אירי..... | 6.4 |
| 70 | אחריות תפעול בהצפות..... | 6.5 |
| 70 | חישוב מעברי מים..... | 6.6 |
| 75 | נושאים מיוחדים בתכנון מתקני חציה..... | 6.7 |
| 79 | תכנון מתקני ניקוז שונים..... | 7 |
| 79 | קליטת נגר עילי מפני מיסעות קשיחות..... | 7.1 |
| 80 | תכנון מגלשים..... | 7.2 |
| 80 | מערכות תיעול עירוני..... | 7.3 |
| 86 | ניקוז מבנים מיוחדים..... | 8 |
| 86 | ניקוז גשרים..... | 8.1 |
| 86 | ניקוז גשרים עם מיסעות..... | 8.1.1 |
| 86 | ניקוז בגשרים של רכבת..... | 8.1.2 |
| 87 | ניקוז מנהרות רכבת..... | 8.2 |
| 88 | ניקוז תחנות נוסעים רכבת..... | 8.3 |
| 91 | תכנון מערכות ניקוז תת-קרקעיות..... | 9 |
| 91 | סוגי מים תת-קרקעיים..... | 9.1 |

| | | |
|-----|---|-----------|
| 91 |בחינת הצרכים | 9.2 |
| 92 |סקר מקורות המים וכיווני זרימתם | 9.3 |
| | המוצאים (מיקומם, רומים, התאמתם ושילובם | 9.4 |
| 93 |במערכות ניקוז כוללות) | |
| 93 |קביעת שיטת הניקוז | 9.5 |
| 94 |נקז צידי | 9.6 |
| 94 |חישוב נקזים | 9.7 |
| 96 |קביעת רום המים הרצוי וקצב הורדת המפלס | 9.8 |
| 97 |מיגון הצינור ומסנן | 9.9 |
| 97 |עקרונות תכנון והתקנת נקזים | 9.10 |
| 100 | הנחיות כלליות לתכנון תחנות שאיבה למי נגר | 10 |
| 100 |מיקום תחנות שאיבה למי גשם | 10.1 |
| 101 |סוגים של תחנות שאיבה למי גשם | 10.2 |
| 103 |מרכיבים עיקריים של תחנת שאיבה למי גשם | 10.3 |
| 107 | הנחיות להגנת מדרונות | 11 |
| 108 |מדיניות ייצוב | 11.1 |
| 109 |עקרונות ייצוב | 11.2 |
| 109 |קבוצות סיכון | 11.3 |
| 111 |בעיות סחיפה | 11.4 |
| 112 |פתרונות קיימים | 11.5 |
| 120 |סחף רוח | 11.6 |
| 121 |הנחיות תכן | 11.7 |
| 127 |הגנה מנגר חיצוני | 11.8 |
| | <u>נספחים</u> | |
| 130 |נספח מס' 1- היבטים חוקתיים של תכנון הניקוז | |
| 135 |נספח מס' 2- חשוב מעבירי מים | |

| | | |
|------------------------------|---|------------|
| 143 |נספח מס' 3- התחברות בין שוחות | |
| 145 |נספח מס' 4- הנחיות לאופן ביצוע והגשת תוכניות | |
| | תשתיות (מים, ביוב וניקוז) | |
| 147 |נספח מס' 5- מבנה קרקעות | |
| <u>רשימה טבלאות .</u> | | |
| עמוד | תוכן | מס' |
| 11 |סיווג תפקודי של מסילות רכבת | 1-1 |
| 13 |רשימת תוכניות עבור תכנון מוקדם ראשוני | 2-1 |
| 14 |התכנון מוקדם כולל תוכניות בנושאים הבאים | 2-2 |
| 14 |רשימה תוכניות עבור תכנון מפורט | 2-3 |
| 24 |הסתברות תכן (תמ"א 34/ב/3) | 3-1 |
| 24,25 |הסתברות תכן - שטחים מבונים (תמ"א 34/ב/3) | 3.2 |
| 25 |הסתברות תכן מערכת ניקוז למסילות ברזל | 3-3 |
| 28 |רשימת מעבירי מים קיימים | 4-1 |
| 30 |טבלת אגני היקוות | 4-2 |
| 33 |עוצמות הגשם לפרקי זמן שונים בתחנה מייצגת | 4-3 |
| 34 |טבלת ספיקות השיא מדודות | 4-4 |
| 36 |השוואת מאפייני אגנים בפועל עם אגנים של תחנות | 4-5 |
| 37 |טבלת ספיקות שיא בהסתברויות שונות בתחנות מדידה | 4-6 |
| 38 |ריכוז תוצאות חישוב לפי נוסחה רציונאלית | 4-7 |
| 38 |תוצאות חישוב ספיקות לפי מודל תחל"ס יש להציג | 4-8 |
| 38,39 |תוצאות חישוב שטחים לפי מודל תחל"ס | 4-9 |
| 39 |ריכוז תוצאות חישוב לפי מודל הידרולוגי-סטטיסטי | 4-10 |
| 39 |ריכוז תוצאות חישוב ספיקות השיא לפי שיטות שונות | 4-11 |
| 40 |ריכוז ספיקות תכן למעבירי מים | 4-12 |
| 40 |ריכוז ספיקות תכן לתעלות לאורך המסילות | 4-13 |

| | | |
|-------|--|--------|
| 41 | טבלת נתוני הידרוגרף תכן..... | 4-14 |
| 48 | שיפועי דפנות מומלצים בהתאם לסוגי קרקע..... | 5-1 |
| 49,50 | ערכי המהירות מותרת לפי סוג הקרקע | 5-2 |
| 50 | מקדמי תיקון לפי עומק..... | 5-3 |
| 50 | מקדמי תיקון לפי פיתולים..... | 5-4 |
| 55 | ערכים של מקדם חספוס..... | 5-5 |
| 64 | מידות מזעריות של מעבירי מים..... | 6-1 |
| 98 | שיפועים מזעריים ממוצעים בנקז תת-קרקעי..... | 9-1 |
| 110 | קבוצות סיכון..... | 11-1 |
| 117 | התאמת פולימרים..... | 11-2 |
| 123 | הנחיות ייצוב לקבוצה א'..... | א-11-3 |
| 124 | הנחיות ייצוב לקבוצה ב'..... | ב-11-3 |
| 125 | הנחיות ייצוב לקבוצה ג'..... | ג-11-3 |
| 126 | הנחיות ייצוב לקבוצה ד'..... | ד-11-3 |

רשימה תרשימים.

| עמוד | תוכן | מס' |
|------|---|------|
| 9 | חתך אופייני לניקוז רצועת רכבת..... | 1-1 |
| 89 | חתך עופיוני לניקוז רציפים של תחנת נוסעים..... | 8-1 |
| 90 | חתך עופיוני לניקוז רציפים של תחנת נוסעים-פרטים..... | 8-2 |
| 102 | תחנה שאיבה מדגם רטוב..... | 10-1 |
| 103 | תחנת שאיבה מדגם יבש..... | 10-2 |

פרק 1- כללי

1.1 מהות ההנחיות

ההנחיות לתכנון ניקוז הינם עבור כל מתקני ניקוז שרכבת ישראל אחראית על הקמתם הן בתחומה והן ברשות אחרים.

ההנחיות הן בבחינת דרישות בסיסיות, סטייה מהן מחייבת אישור מוקדם של האחראי המקצועי במערכת התכנון של רכבת ישראל.

ההנחיות התכנון הן חלק ממכלול מסמכים רלוונטיים נוספים המקובלים ברכבת ישראל כגון

- מפרטים כלליים ומיוחדים
- מגדיר משימות ותוצרים
- פרטים סטנדרטיים
- תקנים רלוונטיים

ההנחיות מחייבות באשר לתכנון וביצוע פרויקטים חדשים בלבד, לרבות קווים חדשים ושדרוג מסילות קיימות.

ההתייחסות בהנחיות הינה בהתאם לסוג המבנה, הרמה התפקודית שלו, ורמת הסיכון הנגזרת מכך.

ההנחיות במהותן ותכולתן משקפות כוונה לאחדות קריטריונים בתחום התשתיות במשרד התחבורה, יותר אחידות, יותר בהירות, הכל על מנת להקל על הטמעתן וע"י כך להפיק מהן תועלת מרבית.

תחום הניקוז כולל בתוכו שלושה תת-תחומים עיקריים:

1. הידרולוגיה עלית- חישוב וקביעת ספיקות תכן לכל המרכיבים של מערכות ניקוז מתוכננות.
2. תכנון הידראולי הנדסי של מערכות ניקוז (שבעיקרה- מערכת לסילוק נגר).
3. שימור פני קרקע ע"י מערכות המקטינות סחיפה ממדרונות והתעלות.

ההנחיות מתייחסות למרכיבים שונים שבפרויקטים מסילתיים כגון :

- ניקוז רצועת רכבת.
- ניקוז מיסעות הגשרים.
- ניקוז מנהרות.
- ניקוז תחנות רכבת-מגרשי חניה, דרכי גישה.

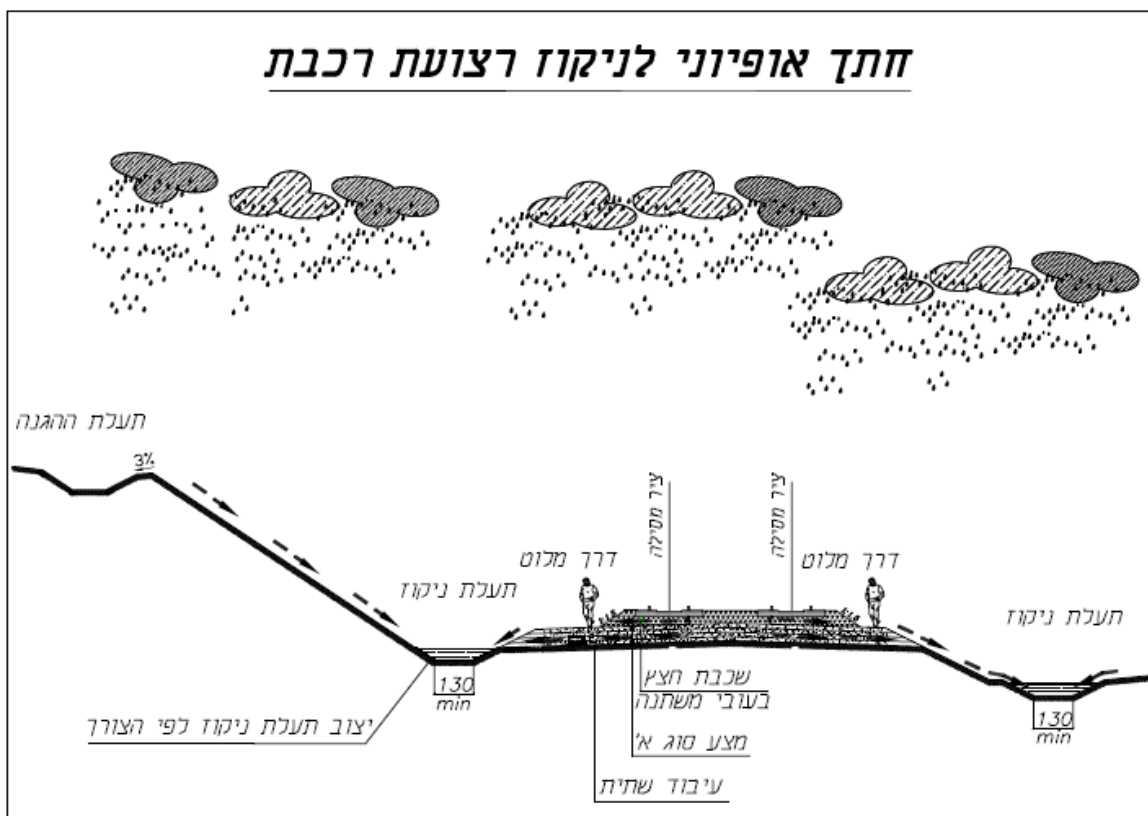
- תחנות שאיבה לניקוז.

1.2 עקרונות ניקוז רצועת רכבת

חתך אופייני (ראה ציור מס' 1) מגדיר רוחב מבנים הנמצאים בתוך רצועת הרכבת:

- רוחב מיבנה העליון.
- מיקום דרך שרות.
- מיקום ושיפוע מדרונות.
- מידות תעלות ניקוז.
- תעלות הגנה ומבנים אחרים.

עודפי מים שמצטברים בשטח רצועת רכבת עלולים לגרום להחלשת המבנה של מסילה (ירידת חוזק ויציבות), פריצת סוללות והצפות, לכן עודפי המים הנ"ל חייבים להיות מסולקים במהירות מרבית ככל האפשר.



ציור 1-1.

1.2.1 תכנון מערכת ניקוז של רכבת כולל:

- תעלות מכל הסוגים לאורך המסילה לניקוז המבנה העליון והגנה מפני שיטפונות.
- מעבירי מים.
- תעלות וסוללות הגנה.
- שטחי חלחול.
- מערכת שאיבה.
- הגנה נגד סחיפה וסחף.
- מערכות תיעול
- ניקוז תת-קרקעי

1.2.2 סילוק מים מהמסילה עצמה

תכנון מערכת ניקוז שכבות המבנה, מבוסס על העיקרון שהמערכת תהיה מסוגלת לסלק את המים לפחות בקצב שהם מגיעים אליה. ראה פרק 6 "הנחיות תכנוניות לתכנית המבנה התחתון של מסילות".

1.2.3 תעלות ניקוז לאורך המסילה

תעלות ניקוז אמורות לנקז את מבנה המסילה ומדרונות מילוי וחפירה שבתחום הרצועה באופן שלא יגרום נזק בטווח ספיקות התכן. ראה תת-פרק 5.1.

1.2.4 מעבירי מים

מעבירי מים או גשרים, משמשים לרוב להעברה של נגר מצד לצד של המסילה. חישוב ותכנון מעבירי מים ראה תת-פרק 5.3.

1.2.5 מתקנים שונים לצורך ניקוז רצועת רכבת

מתקנים שונים כגון תעלות הגנה, מגלשים, מעבירים עיליים, תחנות שאיבה לניקוז מתוכננים בהתאם לצורך. את תכנון המתקנים הנ"ל יש לבצע בהתאם לדרישות המפורטות בהמשך.

1.2.6 עקרונות ניקוז של מבני הרכבת

עקרונות תכנון ניקוז מבנים של הרכבת כגון תחנות רכבת, גשרים ומנהרות ראה בתת-פרק 8.

1.3 סיווג מסילות

מטרת סיווג המסילות הינה קביעת פרמטרים תפעוליים, מתאימים לקווי המסילות השונות ברשת המסילות, כדי לאפשר השגת היעדים התפעוליים המתוכננים.

הסיווג המחייב של קווי מסילות בארץ נקבע ע"י רכבת ישראל כפי שמובא בטבלה מס' 1-1.

טבלה 1-1 . סיווג תפקודי של מסילות רכבת

| סיווג המסילה | אפיון המסילה | מהירות התכן [קמ"ש] | סוג הרכבת השליט | עומס התנועה ביממה [טון] | מודול הדפורמציה [מפ"ס] |
|--------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | ראשית | 200 | נוסעים | לא מותנה | 105 |
| 2 | ראשית | 160 | נוסעים | $\geq 30,000$ | 100 |
| 3 | ראשית | 160 | נוסעים | $< 30,000$ | 100 |
| 4 | ראשית | 120 | נוסעים | $< 30,000$ | 95 |
| 5 | שלוחות וקווים משניים בתחנות | 100 | משא | $< 30,000$ | 95 |
| 5א' | שלוחות תעשייתיות | ≤ 60 | משא | $< 5,000$ | 95 |

הפרמטרים העיקריים, המשפיעים על קביעת סיווג מסילות, הינם:

מהירות תנועת הרכבות,

סוג הנייד (עומס הסרן),

צפיפות ועומס התנועה,

אופי וסוג התנועה: נוסעים, מטענים ותנועה מעורבת.

פרק 2- תכולת התכנון

2.1 שלבי תכנון

רכבת ישראל בנתה מגדיר משימות ותוצרים לתכנון ניקוז כחלק ממגדיר המשימות הכללי לתכנון.

במסגרת מגדיר המשימות נקבעו שלבי התכנון כדלקמן :

- תכנון מוקדם ראשוני.
- תכנון מוקדם סופי.
- תכנון מפורט.

עבודות התכנון השונות של המתכננים השונים מחולקות לשלושת השלבים.

בשני השלבים הראשונים מתקיים בסוף תהליך התכנון הליך שיפוט התכניות בתוך החברה.

במהלך השלב השני מתקיים הליך סטטוטורי שעם סיומו משלימים את התכנון המוקדם. לאחר סיום שני שלבי התכנון המוקדם, עוברים לשלב תכנון מפורט, הינו הכנת חומר למכרז ותכניות ביצוע או העברתו לזכיין במקרה של תכנון-ביצוע.

2.2 תכולת התכנון המוקדם

2.2.1 תכנון מוקדם ראשוני (שיפוט I)

התכנון המוקדם הראשוני כולל בנייה של מסד הנתונים אשר משמש את מתכנן הניקוז בהמשך תהליך התכנון של המסילה. במסגרת זו מתבצע הסקר ההידרולוגי הראשוני, סיור מוקדם של מתכנן הניקוז בשטח, בדיקת מצב מערכות הולכה קיימות, בעיות שונות כגון סחף של ערוצים ומדרונות (בעיר מצב הערכות תיעול קיימות), בעיות של מי תהום וכדומה. בשלב זה מכינים את סכמת הניקוז-מיקום מרכיבים ראשיים (מעבירי מים, גשרים, תעלות ראשיות), מידותיהן המשפיעות על מהות התכנון (כגון קו אדום, רוחב רצועה, דרושה לתכנון וכ"ד). לקראת השיפוט הראשון נבדקות ומוצגות החלופות השונות עם פתרונות עקרוניים של הניקוז כחלק מכלל החלופות והפתרונות.

במסגרת השיפוט הראשון נקבעת החלופה הנבחרת של התוואי שתוצג בהמשך הדרך לגורמים השונים גם מחוץ לחברה.

סיום התהליך הוא בהכנה של התכנון המוקדם הראשוני של החלופה הנבחרת בהתאם להגדרות של מגדיר המשימות.

פירוט מלא ומחייב של הדרישות ראה במגדיר המשימות ותוצרים של הניקוז בפרק של התכנון הראשוני.

רשימה כללית של תכניות עבור תכנון מוקדם ראשוני ראה טבלה 2-1.

טבלה 2-1. רשימת תוכניות עבור תכנון מוקדם ראשוני

| קנ"מ | תיאור | |
|-----------------|--|---|
| 1:50000 או פחות | סקר הידרולוגי ראשוני | 1 |
| 1:10000 או פחות | תוכנית ניקוז כללית (כולל מיקום ומידות מעבירי מים ומתקני הניקוז האחרים) | 2 |
| 1:1000 או פחות | תרשים תעלות כולל הגדרת סוג התעלה, חתכים טיפוסיים | 3 |

2.2.2. תכנון מוקדם סופי (שיפוט II)

תכנון מוקדם סופי מתחיל עם אישור החלופה הנבחרת ברכבת ישראל ואישורה ע"י כל מוסדות התכנון הרלוונטיים (ות"ל, מועצה ארצית, ועדות מחוזיות וכו').

במסגרת זו מתכנן הניקוז בונה את כל מרכיבי התכנון השונים של מתקני הניקוז ע"ג התוכניות (תנוחה, חתך לאורך, פרטים טיפוסיים, חתכים מייצגים, רומים ומידות סופיות של מעבירי מים, גשרים, תעלות, נחלים). בשלב זה מכינים נספח ניקוז (בהתאם להוראות תמ"א 34 וחוק הניקוז) ומגישים אותו לתיאום עם רשות הניקוז, רשות הנחל ומוסדות רלוונטיים אחרים כנדרש.

במסגרת הליך תכנון זה מתגבשת סופית החלופה הנבחרת של הניקוז ואומדנים. האמור כולל את אישורי וועדות התכנון השונות.

בנוסף, יש לסכם סופית במסגרת זו את כל התיאומים הדרושים ואישורי התכנון.

טבלה 2-2 . התכנון מוקדם כולל תוכניות בנושאים הבאים

| קנה מידה | תיאור | |
|----------------|--|---|
| 1:5000 או פחות | סקר הידרולוגי עם ספיקות תכן לכל מתקן ניקוז | 1 |
| 1:1000 או פחות | תוכנית ניקוז כללית כולל מעבירי מים ומתקני הניקוז אחרים כולל רומים, חישובים הידראוליים עבור מעברי מים ותעלות ניקוז. | 2 |
| | תוכנית תעלות, כולל הגדרת סוג התעלה, חתכים מייצגים, שיפועים וספיקות בכל תעלה | 3 |
| 1:1000 | תוכניות ייצוב כולל סימונים בתנוחות וחתכי אורך | 4 |
| | פרטים טיפוסיים | 5 |

פירוט מלא ומחייב של הדרישות ראה במגדיר המשימות ותוצרים של הניקוז בפרק של התכנון המוקדם.
תכנון מוקדם מסתיים עם אישורו ע"י מוסדות הרכבת – שיפוט מס' 2.

2.3. תכולת תכנון מפורט

תכנון מפורט הינו למעשה תיק תוכניות לביצוע שנעשה על בסיס תכנון מוקדם סופי ומאושר. בתכנון מפורט נעשית התאמה פרטנית של כל הפרטים לתנאי השטח, עדכון דו"ח הידרולוגי (במידה וצורך), לפרטים הסטנדרטיים, לתקנים ולהוראות תכנון אחרות. בנוסף כולל תיק התכנון המפורט גם מפרט מיוחד, אומדני כמויות ועלויות, מסמכי אישורי תוכניות. (רשימה מפורטת ומחייבת ראה במגדיר המשימות ותוצרים של הניקוז בפרק של התכנון המפורט).

טבלה 2-3. רשימה כללית של תוכניות עבור תכנון מפורט

| קנ"מ | תיאור | |
|------------------|---|---|
| 1:500/250 | תוכניות תנוחה, עם סימון כל מערכות ניקוז וייצוב סופיות | 1 |
| 1:200/1:100 | תוכניות חתכים לאורך המסילות, הכוללים גם מעבירי מים, חתכים לאורך מערכת הניקוז וגבהי הצטלבויות מערכות הניקוז השונות | 2 |
| 1:500/1:50 | תוכניות חתכים לאורך של מערכות הניקוז התך- קרקעיות | 3 |
| 1:100 | תוכניות חתכים טיפוסיים | 4 |
| 1:25, 1:10, 1:50 | תוכניות מעבירי מים, כולל ייצובים ופרטים אחרים | 5 |
| 1:10, 1:25, 1:50 | תוכניות פרטי ניקוז | 6 |

2.4. תיאומים ואישורים

תיאומים ואישור תכנון יבוצע בכל שלבי התכנון הן מול גורמים פנימיים (רכבת ישראל ומתכנניה) והן מול גורמים חיצוניים. תיאומים יבוצעו בהתאם לנדרש במגדיר המשימות.

תיאומים עם גורמים חיצוניים מחייבים התייחסות לדרישות תכנון כמקובל ולפי העניין. תכנון הניקוז מחייב ביצוע תיאומים עם הגורמים אשר גובלים עם השטח המתוכנן ועלולים להיות מושפעים מפתרון הניקוז במערכת האזורית הכללית. יש לקבל אישור מרשות הניקוז על תיאום שבשטחה עובר הקטע המתוכנן.

במקרים שבהם חוצים רשות נחל יש לתאם את פתרון הניקוז גם עם נציגי רשות הנחל הרלוונטיים. בנוסף לרשות הניקוז יש לאשר את תכניות הניקוז גם ברשויות המקומיות במקרים כאשר קיים או מתוכנן חיבור בין שתי המערכות.

מקרים כאשר המוצא ו/או התעלות עוברים בשטחים של בעלים פרטיים יש לתאם עם אותם גורמים. סיום תהליך התיאום הינו בהצגת מסמך של סיום התיאום.

פרק 3 - הנחיות לחישוב נגר עילי

כללי – הידרולוגיה וקביעת הסתברויות וספיקות התכן.

סילוק נגר עילי מהווה גורם חשוב להבטחת רמת שירות ובטיחות התנועה.

ניקוז נגר עילי כולל איסוף, הובלה, הוצאה וסילוק של הנגר העילי מפני השטח.

לקביעת הסתברות התכן קיימת השלכה מכריעה לתכנון מערכת קליטת הנגר כולה ובכל ההיבטים כגון בטיחות, רמת שירות, כדאיות כלכלית וכד'.

מתודולוגיה, עקרונות ותהליך החישובים ההידרולוגיים מפורטים בהמשך.

חישוב נגר עילי נעשה בשיטות רבות המקובלות בהידרולוגיה עילית בארץ ובעולם. הידרולוגיה עילית עוסקת בתנועת המים, בעיקר של גשם, על פני השטח ותחתיו ובסמוך אליו. תנועת המים בקרקע בעומקים גדולים הינה תחום של הידרוגאולוגיה, גם כאשר מים ממעמקים מגיעים אל פני השטח (מים ארטזיים וכו').

שכבות הקרקע העליונות הן אחד הגורמים המרכזיים בתהליך היווצרות הנגר, גורמים מרכזיים נוספים הם המשקעים (כמויות, עוצמות, משכים) ומערכת ההולכה. פיתוח בחלקים גדולים של אגני היקוות ומערכות ההולכה גורם לשינויים משמעותיים בנגר ולכן גדלות ספיקות שיא של עורכי הניקוז. נתון זה יש לקחת בחשבון בקביעת פרמטרים עתידיים של אגן הניקוז. בקביעת פרמטרים מורפרמטריים של אגן עבור חישוב ספיקות תכן יש לקחת בחשבון את כל הפיתוח העתידי שיש לגביו תוכניות סטטוטוריות מאושרות, כמו כן יש לפעול בהתאם להוראות "תמ"א 34 ב'3 לניקוז ונחלים", "תמ"א 43ב'4 לאיגום מים עליים", והגופים המוסמכים בתחום הניקוז.

אירועי גשם בעוצמות שלא נראו בעבר משנים גם הם, ולעיתים אף באופן דרסטי, את נתוני הזרימות.

3.1 שיטת חישוב ספיקות מכסימליות

כל שיטות הערכת ספיקות שיא עתידיות (שיטות סטטיסטיות ואמפיריות) מבוססות על נתוני העבר (ספיקות מדודות, מקדמים וכו'), השינויים המטאורולוגיים והגאומורפולוגיים גורמים לשינויים של שיטות ומקדמים בהתאם.

- מה שהיה זה מה שיהיה, דהיינו אם בניתוח סטטיסטי של נתוני מדידה מתקבלת ספיקת שיא Y בתדירות של X שנים הרי שגם בעתיד אמורה להיות ספיקת שיא Y בתדירות של X שנים, הנחה שלא מתחשבת בשינויים שציינו לעיל, הנחה זו גורמת כיום לקבלת ספיקות תכן נמוכות.

- לא תיתכן זרימת שיא בשני פלגים דומים של נחל בו-זמנית, אלא אם כן בתדירות גבוה מאוד, עד קיצונית. למרות זאת אירועים כאלה כן נצפו בפועל בארץ ובעולם (ואז הנזקים מההצפות קשים ביותר). הנושא אמור להיבחן בניתוח האגנים.

- שני נחלים סמוכים, שעל פי הנתונים המורפולוגיים יכולים לשמש כאנלוג אחד לשני, לשניהם יש נתוני מדידת ספיקות לתקופה די ארוכה, אלא שנתוני הזרימות שונים עד מאוד. ההנחה המקובלת כיום היא שספיקות תכן יקבעו על פי נתוני האגן עם הספיקות המדודות הגבוהות יותר.

- ספיקות תכן מחושבות (לפי שיטות חישוב אמפיריות שונות) ונקבעות (בחירה מנומקת של מתכנן) על בסיס הנחה של נגר מרבי אפשרי (פוטנציאל) מבלי להתחשב במגבלות השטח (חסימות, בעיות הולכה וכו')

3.1.1. שיטת הידרוגרפים

במקומות שהזרימה נמדדת אפשר להשתמש במישרין בהידרוגרף המדוד. בשאר המקרים יש ליצור הידרוגרף מלאכותי. אפשרות נפוצה ליצירת הידרוגרף של הנגר הישיר מסתמכת על הגשם שגרם להופעתו, או על הגשם שעשוי לרדת, על פני תחום ההתנקזות של האתר הנדון. השיטה הותיקה ביותר לקישור בין הגשם המועיל לנגר הישיר מביאה בחשבון את משך הזרימה על פני תחום ההתנקזות. בשיטה זו מתייחסים לגשם המועיל בלבד ומתעלמים מהמים האובדים במקום רדתם על הקרקע או במהלך זרימתם.

שיטה ליניארית אחרת ליצירת הידרוגרפים נקראת הידרוגרם היחידה. זה הידרוגרף שמתאר את מהלך הנגר הישיר במוצא תחום ההתנקזות בעקבות ירידה של גשם מועיל שעוביו יחידה אחת ומשכו יחידה אחת. יחידת העובי המקובלת במערכת המטרית היא מ"מ. יחידת הזמן נקבעת במיוחד לכל תחום התנקזות. השימוש בהידרוגרם היחידה מושתת על הנחות ליניאריות: ספיקת הנגר הישיר, שנוצר בעקבות גשם מועיל שמשכו יחידה, נמצאת ביחס ישר לעובי הגשם הזה; ספיקות הנגר הישיר, שנוצרות מגשמים מועילים שיוורדים ביחידות זמן שונות, ניתנות לסיכום אריתמטי אלה עם אלה. על כן,

כאשר ידוע ההידרוגרף שנוצר עקב גשם מועיל שעוביו יחידה ומשכו יחידה, אפשר לחשב את ההידרוגרף שייצור כל גשם מועיל אחר.

3.1.2. הלוך גאות

הלוך גאות הוא חישוב שבאמצעותו מתארים כמותית כיצד זורמים המים מאתר לאתר לאורך אפיק. הוא נחוץ כדי ליצור הידרוגרפים בנקודות חשובות של אפיקים. על סמך הידרוגרפים מדודים או מיוצרים בנקודות שנמצאות במעלה הזרם מהן. מקרה קלאסי הוא חיזוי ההתקדמות של אירוע שטפוני. שימוש שכיח נעשה לשם חישוב ציר הידראולי: מהלך קו העומד לאורך אפיק כאשר מופיעה בו גאות בעלת ספיקה גבוהה נתונה. ההילוכים המודרניים מיישמים משוואות דיפרנציאליות, אך עדיין נהוגים יישומים מיושנים פשוטים יותר. המשוואות מתבססות על חוק שימור המסה (משפט הרציפות) ועל חוק שימור התנע.

$$U = (A_2V_2 - A_1V_1)/(A_2 - A_1)$$

U - מהירות התקדמות הגל (מ"ר שנייה)

V_1 - מהירות הזרימה בחתך במעלה (מס' 1), (מ"ר שנייה)

V_2 - מהירות הזרימה במורד (חתך מס' 2), (מ"ר שנייה)

$A_2 - A_1$ - שטח החתך המורטב בחתכים 1 ו-2 (מ"ר)

מסקנה: מהירות התקדמות הגל אינה זהה למהירות הזרימה הממוצעת בחתך, אלא תלויה גם בקשר בין מהירות הזרימה לשטח החתך. בספיקות גבוהות, אין המהירות הממוצעת רגישה לשטח החתך ואז מהירות התקדמות הגל קרובה למהירות המים.

כאשר ספיקת הכניסה גבוהה מספיקת היציאה, גדל האוגר, פני המים במאגר עולים ולכן גדלה ספיקת היציאה. לעומת זאת, כאשר ספיקת הכניסה קטנה מספיקת היציאה יורדים פני המים במאגר וספיקת היציאה קטנה. בתחילת גאות, כל עוד לא נצבר די אוגר, קטנה ספיקת היציאה מספיקת הכניסה ולכן היא גדלה. בסוף הגאות קטנה ספיקת הכניסה מספיקת היציאה ולכן ספיקת היציאה קטנה. ספיקת השיא של היציאה מתקבלת כאשר ספיקת היציאה שווה לספיקת הכניסה וההידראוגרפים שלהן חותכים זה את זה.

מאגרים לריסון שיטפונות אינם חייבים לחסום את האפיק באמצעות סכר. אפשר גם לעבות פיסית את האפיק או להקים בצד האפיק מאגר שאליו מוליכה תעלת הטיה ויוצאת ממנו תעלת עודפים. מדידת מפלס המים במאגר צריכה להיעשות באזור הנמוך שלו, אך לא בקרבת המברץ כיוון ששם עשויים המים לזרום במהירות גבוהה ופניהם לא יהיו אופקיים. אפשר לבנות למאגר פתח ריקון ולהשתמש בו בין אירועי הגאות כדי להקטין את האוגר התחילי לקראת הגאות הבאה. במאגרים המשמשים גם לניצול מים לא רצוי

להשאיר אוגר נמוך, פן יחסרו מים לניצול, אולם אפשר לרוקנם במידה ראויה כאשר חזויה הופעה של גאות גדולה.

3.1.3 - ספיקות מרביות בשיטפון

הערכת גודל השיטפון נעשית בשיטות דטרמיניסטיות וסטטיסטיות. הארגון המטאורולוגי העולמי פרסם שיטות דטרמיניסטיות להערכת המשקעים המרביים הסבירים (נמצאת ביניהן גם שיטה סטטיסטית לשימוש במקרה שאין נתונים מספיקים ליישום השיטות הדטרמיניסטיות). על משקעים אלה אפשר להפעיל באורח מתאים מודל הידרומטאורולוגי ולקבל הידרוגרף של השיטפון המרבי הסביר.

שיטה דטרמיניסטית אחרת עוסקת בספיקות המרביות שנצפו באזור. להלן אופן הכנתה ויישומה. סורקים באזור נתון את כל האתרים בהם נמדדו אי פעם ספיקות של גאוויות, בין אם הם תחנות הידרומטריות סדירות ובין אם הם אתרים בהם בוצעה אחת בלבד. לכל אתר ואתר רושמים את הספיקה המרבית שנמדדה בו אי פעם ומודדים במפה טופוגרפית את שטח תחום ההתנקזות שלו. משרטטים את הספיקות האלה כנגד שטח תחום ההתנקזות ומעבירים קו עוטף. הקו הזה מתאר את הספיקות המרביות שנצפו באזור העבודה. לעתים אפשר למצוא בתוך האזור תחומי התנקזות בעלי תכונה משותפת שניתן להעביר לספיקותיהם המרביות קו עוטף נמוך יותר, ואז הקו הנמוך משמש לתחומי ההתנקזות בעלי תכונה זו והקו הכללי מיוחס לשאר תחומי ההתנקזות. מאחר שהמעטפת שנתקבלה אינה סטטיסטית, אין היא יכולה לשמש לשם הערכת מידת הסיכון, אולם היא משמשת לשלוש מטרות:

- * כדי לעמוד על תכונות תחום ההתנקזות שמשפיעות על גודל השיטפונות;
- * כבקרה על השיטות הסטטיסטיות;
- * כאשר חובה להשתמש בה לצרכים רשמיים במקביל לשיטות הסטטיסטיות.

שני אופני דילול ספיקות מקובלים בעולם, אחד לפי הזמן ואחד לפי הגודל. בדילול לפי הזמן, שהוא מקובל יותר, נבחרות ספיקות השיא הרגעיות הגבוהות ביותר שהופיעו בכל אחת משנות התצפית בתחנה (שנים הידרולוגיות). הסדרה המתקבלת נקראת סדרת שיאים שנתיים. יתרונה הוא בפשטות ההכנה ואי התלות בין הנתונים הנבחרים. חסרונותיה: אי התאמה להגדרה של תקופת החזרה, התעלמות מגאוויות גבוהות שלא היו הגבוהות ביותר בשנות הופעתן ולעומתה התחשבות בספיקות נמוכות שהיו הגבוהות ביותר בשנות הופעתן. באקלים שלנו, למקצת מנתוני הסדרה הזו בתחנות רבות ערך מספרי 0. בדילול לפי הגודל נבחרות לעבודה ספיקות השיא של כל הגאוויות ורק הגאוויות שערך גבוה מערך סף נבחר. הסדרה המתקבלת נקראת סדרה חלקית. יתרונותיה: התאמה להגדרה והתחשבות בכל הגאוויות הגבוהות ורק בהן. חסרונותיה: תלות אפשרית

בין הנתונים, העדר כללים מקובלים לבחירת ערך הסף והכבדה מסוימת בעיבוד הסטטיסטי (הכבדה כזו נחוצה גם במקרים בהם מופיעים אפסים בסדרה השנתית, אך רבים שוגים ומתעלמים ממנה). באזורים מדבריים, שם הגאוויות מעטות ואין תלויות זו בזו, אין מניעה מבחירת הסדרה המלאה של שיאי כל הגאוויות. העבודה בסדרה כזו זהה מהותית לעבודה בסדרה החלקית.

לכשנבחרה סדרת הנתונים יש להתאים לה פונקציות הסתברות. זאת נעשה על מנת להחליק תנודות אקראיות בנתונים המדודים וכדי לאפשר אקסטרפולציה אובייקטיבית אל מעבר לטווח הנתונים שנמדדו למעשה. לצערנו לא הוכח עדיין איזו היא הפונקציה הסטטיסטית הנכונה, או לפחות המתאימה ביותר באורח כללי, לתיאור ספיקות שיא של גאוויות. מצויות בשימוש פונקציות אחדות: לוג-נורמאלית, לוג-נורמאלית, גמבל, פרטו המוכללת, לוגיסטית, לוג-לוגיסטית, פירסון III, לוג-פירסון III, גמה, ועוד. השימוש בפונקציות שונות מוביל לתוצאות שונות, לכן יש להיזהר מאד בבחירת הפונקציה. מדינות אחדות הנהיגו כללים מחייבים לצרכים רשמיים. בארה"ב הונהגה לוג-פירסון III, בברית המועצות (לשעבר) הונהגה גמה, בבריטניה יש עדיפות לפרטו המוכללת. משיקולים תיאורטיים ובבדיקה אמפירית נמצא (Ben-Zvi & Azmon, 1997) כי פונקצית פרטו המוכללת היא המתאימה ביותר לתיאור ספיקות שיא בארץ, אם כי מתגלים קשיים בהתאמתה לנתוני תחנות אחדות. במקרים מעשיים מומלץ לנסות להתאים פונקציות אחדות ולבחור מביניהן את המתאימה ביותר לאזור העבודה.

ישנן שיטות אחדות להתאמת הפונקציה לנתונים, מקצתן גראפיות ומקצתן חישוביות. עדיף לנקוט בשני הסוגים גם יחד כדי לאפשר התאמה טובה וביקורת ברורה. לפונקציות אחדות ישנם ניירות שרטוט מותאמים במיוחד להן. נייר הסתברות רגיל (או לוגריתמי) הוכן כדי שהפונקציה הנורמאלית (או הלוג-נורמאלית, בהתאמה) תיצור עליו קו ישר. פונקציית גמבל יוצרת קו ישר על גבי נייר גמבל. אפשר להשתמש גם בנייר לוגריתמי למחצה או ליניארי, אלא ששם העבודה נוחה פחות, בדרך כלל.

לכל תרשים המציג התאמת פונקציה סטטיסטית לנתונים שני צירים ניצבים זה לזה, אחד לתיאור גודל הספיקה ואחד להסתברות השגתה. הסתברות ההשגה של ספיקה נתונה היא ההסתברות להופעת ספיקה גדולה לפחות כמוה. בשרטוט מסומנת כל ספיקה ע"י סמל נקודתי שמקומו נקבע לפי קנה המידה והטווח של השרטוט. לצורך השרטוט מסדרים את הספיקות בסדר יורד, שאינו קשור לסדר הופעתן, ונותנים להן מספרים סידוריים. הספיקה הגדולה ביותר בסדרה מקבלת את המספר הראשון, השנייה בגודלה את השני, וכן הלאה עד האחרונה שבהן. אם מופיעות שתיים, או יותר, ספיקות שוות גודל, כל אחת

מהן תופסת מספר סידורי משלה כאילו היו שונות בגודלן. הסתברות ההשגה של הספיקה מחושבת מתוך מספרה הסידורי.

לאחר שרטוט הנתונים יש להתאים להם פונקציה ולשרטט גם אותה על גבי הדף. מספר שיטות מקובלות להתאמה. אפשר להעביר קו ישר או עקום בהתאמת עין, באופן שיעבור באורח מיטבי בין הנתונים. {אין להעביר את הקו כמצולע פתוח דרך הנתונים כי אז נעלמים היתרונות שבבחירת פונקציה.} זו פונקציה אמפירית שמנוסחת באורח סובייקטיבי. התאמות אובייקטיביות נשענות על המומנטים הסטטיסטיים של הנתונים, על המומנטים המשוקללים הסתברותית (PWM), נראות מרבית ועוד. ההתאמות משמען קביעת ערכי הפרמטרים של הפונקציה מתוך מידע המופק מן הנתונים. השוואת עין של קו הפונקציה עם נקודות הנתונים מצביעה על טיב ההתאמה. רצוי להשתמש במבחן סטטיסטי לחישוב טיב ההתאמה. המבחן החזק ביותר הידוע כיום נוסח ע"י אנדרסון ודרלינג.

3.1.4 מודלים הידרולוגיים

הקישור בין ספיקה לתקופת חזרתה נעשה כאמור באמצעות קו הפונקציה של הסתברות לאתרים בהם מצויות תחנות הידרומטריות. כאשר אין בנמצא סדרות נתונים ארוכות מספיק עבור האתרים להם נדרשת ההערכה ההידרולוגית, השיטה המקובלת להכנת הערכות עבור אתרים בלתי מדודים מתבססת על מודל אזורי. משרטטים ספיקות מוערכות לתקופת חזרה נתונה באתרים מדודים שונים מול שטח תחומי התנקזותם של האתרים האלה. קו קשר שמועבר בין הנקודות השונות משמש כמודל אזורי להערכת ספיקות בעלות אותה תקופת חזרה באתרים בלתי מדודים. אם הפיזור גדול ואפשר להבחין בקבוצות של תחומי התנקזות בעלי תכונות משותפות (כגון אופי הקרקע או המסלע), אפשר להעביר קו מיוחד לכל קבוצה. בדרך זו ניתן להכין משפחה של תרשימים בהקשר לתקופות חזרה אחדות ולקבל מודל אזורי כולל יותר עבור אזור העבודה.

בארץ פותחו מספר מודלים לחישוב ספיקות שיא:

מודל תחל"ס פותח ע"י תחנה לחקר הסחף על בסיס השיטה הרציונלית כאשר מקדמי ספיקת שיא C חולצו מאגנים עם זרימות מדודות ושיוחו להסתברויות שונות של הגשם. במשך השנים יצאו מספר מהדורות מעודכנות והאחרונה בהכנה כעת.

המודל האזורי שפותח ע"י ש. פולק וק. גטקר בנוי על ניתוח סטטיסטי לפי אזורים עם זיקה לקבוצות של קרקעת. גם מודל זה מתעדכן מדי פעם.

שימוש במודלים מחייב ניתוח השוואתי של השוני הקיים (בנתוני גשם ותנאים גאומורפולוגיים) בין האזור במודל לבין האגן המנותח. בסופו של דבר תהיה זאת החלטה של המתכנן איזה מודל אכן מתאים לאגן המנותח.

3.1.5 הנוסחה הרציונאלית

הנוסחה הרציונאלית משמשת עד היום בכל העולם הן באורח ישיר, והן כבסיס לנוסחאות אחרות או כחלק פנימי של מודלים לתחומי התנקזות גדולים. עקרונות ואפשרויות השימוש השיטה הן:

* משך הגשם שווה למשך זמן ריכוז

* הסתברות הגשם שווה להסתברות הספיקה.

$$Q = C \times I \times A / 3.6$$

כאשר:

- **Q** - היא ספיקת שיא, מ"ק/שנייה

- **C** - מקדם ספיקת שיא בהסתברות מסוימת,

- **I** - עוצמת הגשם בהסתברות מסוימת, מ"מ/שעה

- **A** - שטח תחום ההתנקזות, קמ"ר

לשטחים עירוניים ערכו של מקדם C שווה בעיקרון לחלק היחסי של השטחים האטומים ומחוברים למוצא. לשטחים פתוחים ערכו של המקדם C אמפירי. המקדם מושפע פרט לאטימות השטח גם משיפועים לאורך הזרימה, עוצמת גשם, סוגי קרקע, שימושי קרקע וכ"ד.

היישום המקובל של הנוסחה אינו מאפשר הערכה של הספיקה המתקבלת מגשם שמשכו קצר או ארוך יותר ממשך הריכוז, משום כך השימוש מוגבל לאגנים קטנים שהגדרתם שונה בהתאם למקום.

למרות הנוסח האחד של השימוש בנוסחה הרציונאלית, ישנם הבדלים בבחירת ערכם של המקדם C ובהערכת משך הריכוז. קיימות טבלאות שונות של ערכי המקדם ונוסחאות שונות זו מזו להערכת משך הריכוז.

הנוסחה המוכרת והמקובלת הינה:

$$T_c = 5.4 \times L^{0.75} \times S^{(-0.375)}$$

כאשר:

T_c - משך הריכוז (דקות),

L- אורך האפיק הראשי (ק"מ),

S- שיפוע ממוצע של האפיק הראשי, אשר מחושב באמצעות הנוסחה:

$$S = (H_2 - H_1) / (0.75L)$$

כאשר:

H_2 - הרום הטופוגרפי של הנקודה שמרוחקת מנקודת הריכוז 0.85L לאורך האפיק, (מ').

H_1 - הרום הטופוגרפי של הנקודה שמרוחקת מנקודת הריכוז 0.1L לאורך האפיק, (מ').

L - אורך האפיק המרכז, (מ').

לאחר הערכת זמן ריכוז בתחילת העבודה לפי נוסחה זו, יש לחזור ולבחון את הנתונים לקראת סיום תכנון מוקדם. בשלב זה יש לבחון השפעת תעלות קיימות, שינוי זמני ריכוז עקב מהירויות זרימה בתעלות ומובלים מתוכננים. הערכה סופית של זמני ריכוז תשמש להתאמת עוצמות גשם.

נתוני הגשם המופיעים בניתוחים כיחסי עוצמה-משך-הסתברות הם נקודתיים ומקובל שכוחם יפה לתחומי התנקזות קטנים בלבד. מאחר שעוצמת גשם חזק אינה אחידה על פני שטחים גדולים יש להוסיף מקדם תיקון לעוצמה כאשר מרחיבים את יישום הנוסחה הרציונאלית לתחומי התנקזות גדולים יותר.

3.2 הסתברות תכן לתכנון מערכת ניקוז

חישוב ותכנון מערכות ניקוז נעשה עבור אירועי גשם די קיצוניים שתדירות הופעתם נחשבת לסבירה בעיני המוסד מבחינת יחסי עלות – תועלת / סיכון. תדירות זו היא תדירות תכן שעל פיה כאמור יבוצע התכנון.

קביעת הסתברויות תכן או תקופות חזרה נעשית ע"י מוסדות שונים בהתאם לדרישות.

3.2.1 הנחיות לתכנון תקופת חזרה.

הסתברות תכן לתעלות ניקוז או מיתקנים שונים מעבר לגבולות הרכבת-בהתאם לדרישות רשות הניקוז, נציבות המים או גורמים רלוונטיים. להלן טבלת הסתברויות על פי תמ"א 34/ב/3. (עדכון מאוקטובר 2008)

טבלה 3-1. (תמ"א 34/ב/3)

| שימוש בשטח | תקופת חזרה בשנים | הסתברות מרבית לאירוע בשנה מסוימת |
|--|------------------|----------------------------------|
| חקלאות: גידול שדה ומטעים, פארקים | 10 | 10% |
| בתי צמיחה ומבנים בשטחים פתוחים | 25 | 4% |
| כבישים ומסילות ברזל* | לפחות 50 | 2% לכל היתר |
| סוללות מאגרים וסכרים** | 100 | 1% |
| שטחים מבונים-כמפורט בטבלה שטחים מבונים מס' 3.2.2 | | |
| שטחים מבונים (רחובות, מגרשי חניה, חצרות בתים (כיו"ב) | 5 עד 50 | 20% עד 2% |
| הצפה פנימית של בתים מכל מערכת ניקוז | 100 | 1% |

הערות לטבלה:

*הצפה מיסעות וגשרים לפי תקני מע"צ ורכבת ישראל

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

טבלה 3-2. שטחים מבונים (תמ"א 34/ב/3)

| מס' | מאפייני השטח עירוני | גודל אגן ההתנקזות, דונם | גודל שקע מוחלט, דונם | תקופת חזרה בשנים |
|-----|---|-------------------------|----------------------|------------------|
| 1 | ניקוז מקומי בשכונות מגורים וכבישים משניים | עד 1000 | עד 5 | 5 |
| 2 | ניקוז מקומי (בינוני) באזורי תעשייה ומסחר ומרכזים עירוניים | עד 500 | עד 5 | 10 |
| 3 | ניקוז ראשי (בינוני) בשכונות מגורים וכבישים משניים | מל 500 עד 2,000 | מ-5 עד 10 | 10 |
| 4 | ניקוז ראשי באזורי תעשייה ומסחר ומרכזים עירוניים | מל 500 | מל 5 | 20 |

| | | | | |
|---|--|-----------|--------|----|
| 5 | ניקוז ראשי (נרכב) בשכונות מגורים וכבישים משניים | מעל 2,000 | מעל 10 | 20 |
| 6 | ניקוז עירוני ראשי ומעברי כבישים בין עירוניים וארציים | מעל 5,000 | | 50 |

3.2 הנחיות לתכנון תקופה חזרה מערכת ניקוז למסילות ברזל.

מערכות ניקוז של רכבת כוללות : מעבירי מים, גשרים על נחלים, תעלות, נחלים, מיסעות, מעברים תחתיים וכד'. תכנון מערכות ניקוז יעשה על בסיס ספיקות תכן בהתאם להסתברות תכן שנקבעה להלן (טבלה 3-3) עבור מתקנים ומצבים שונים.

טבלה 3-3. הסתברות תכן עבור מערכות ניקוז של מסילות ברזל

| מסילה ראשית | מסילה ראשית בחפירה (1) | שלוחות וקווים משנים | כבישי גישה לתחנות רכבת או מתקנים שונים (2) | תעלות ההגנה מעל המדרונות |
|-------------|------------------------|---------------------|--|--------------------------|
| 1% | 0.5% | 2% | 10% | 5% |

הערות.

(1) הסתברות תכן למסילה ראשית בחפירה-0.5%, רק במקרים שאגן ההיקוות של

המסילה סגור מבחינה טופוגרפית (ציר משוקע).

(2) הסתברות תכן לכבישי גישה יש לקבוע בתאום עם בעליהם.

- בתחום תוואי המסילה – נחלים ותעלות שחוצים את תוואי המסילה או עוברים במקביל בגבול השטח יתוכננו על פי הקריטריונים שמופיעים בטבלה 3-3.

- בכל מקרה החתך המזערי יתוכנן לפחות לתדירות של 1:10 שנים, אך זאת כאשר המסילות/הדרכים/התחנה מוגבהים מעל השטח שמסביבם ובספיקות גדולות יותר תיוצר השהיה זמנית בשטחים שמותרות לפי הגדרות תמ"א 3/ב/34. במקביל עבור המסילה תשמר התאמה לקריטריונים שמפורטים לעל של הצפת המסילה/התחנה בספיקות תכן.

- כאשר המסילה/התחנה בחפירה יתוכננו התעלות/נחלים לפי קריטריונים של אי הצפה כמפורט לעיל, כל תעלות ניקוז בתחום המסילה יתוכננו להסתברות 1%.

בכל מקרה מפלס המים בהצפה לא יגיע לרום תחתית המצעים גם בתדירות 1:200 שנה.

- תעלות הגנה בראש המדרון יתוכננו לפי תדירות תכן של 1:20 שנה.
- מחוץ לתוואי - הסדרה של נחלים ותעלות שנמצאים מחוץ לתחום הרכבת יתוכננו בהתאמה אופטימאלית למתקני חצייה תוך בדיקה יסודית של סכנת הצפה ממעלה הנחל (שבדרך כלל איננו מוסדר להסתברויות תכן של הרכבת).

בתכנון של הסדרת נחלים ותעלות מחוץ לרצועת רכבת ייבחנו הנושאים הבאים:

- השפעת ההסדרה או מצב קיים של הנחל/תעלה על מתקני החצייה
- השפעת ההסדרה של הנחל/תעלה על מדרונות הסוללות ומבנים אחרים
- עבודות מחוץ לתחום זכות הדרך חייבות בהליך סטטוטורי כנדרש ע"י רשות ניקוז

פרק 4 - הכנת דו"ח הידרולוגי

מטרת הסקר הינה לספק נתוני בסיס עבור תכנון מערכות ניקוז. המוצר הסופי של הסקר הינו קביעת ספיקות שיא בהסתברויות שונות עבור כל מתקן חצייה, תעלה, נחל או כל מתקן הידראולי אחר, קיים ו/או מתוכנן. התאמת ספיקות תכן עבור מרכיבים שונים בפרויקט נעשה ע"י מתכנן ניקוז על פי טבלת הסתברויות תכן – פרק 3.2.

4.1 תיאור הפרויקט

יש לציין באופן כללי את מטרת העבודה (מסילה חדשה, שידרוג, שיפור מערכות ניקוז וכ"ד) ומטרת הסקר – באופן מפורט יותר: בחינת חלופות, תכנון מוקדם, שינויים. בשלב תכנון מפורט, במקרים מיוחדים יש לציין את נושאי העבודה: חישוב ספיקות תכן, הידראוגרף תכן, נפחי זרימה וכו'. יש לציין מיקום של קטע מתוכנן, להציג מיקום מתקני ניקוז קיימים, להביא תמונות אגנים ומתקני ניקוז מהשטח בליווי הסברים, להציג מאפיינים של אגני ניקוז, לציין ולתאר בעיות מיוחדות כגון: הטיות, חסימות, מאגרי וויסות קיימים ומתוכננים, פיתוחים מתוכננים, תב"עות מאושרות וכו'. יש להציג את הנתונים על מפה מסכמת של מצב קיים.

4.1.1 מיקום קטע מתוכנן

בסעיף זה יש לציין :

- א. שם הקטע המדויק לפי קילומטרז' רכבת (במידה וקיים).
- ב. מיקום הקטע ביחס לצירים הקיימים במקרה של סלילה חדשה.
- ג. שייכות לרשויות ניקוז
- ד. שייכות לאגני היקוות ראשיים
- ה. לציין מקרים של חציית נחלים ראשיים

יש להציג תרשים סביבה בקנה מידה 1:100,000. בתרשים סביבה יש להדגיש את הקטע המתוכנן ואגנים ראשיים באזור.

4.1.2 תיאור מצב קיים של מערכת הניקוז.

בסעיף זה יש להציג:

- א. תיאור מצב קיים של מתקני חציה.
- ב. טבלת מעבירי מים קיימים מותאמת עם טבלת אגנים.
- ג. טבלה זאת תכלול העמודות הבאות:
- ד. מספר מעביר מים, רצוי כמספר האגן,
- ה. מספר אגן היקוות, אשר מתנקז למעביר מים זה,
- ו. מיקום של המעביר מים לפי קילומטרז' של הרכבת.
- ז. קואורדינטות של המעביר מים,
- ח. צורה של המעביר מים,
- ט. מידות של המעביר מים,
- י. גובה מילוי מעל התקרה של המעביר מים,
- יא. כושר הולכה (מ"ק/שנייה) של מעביר מים,
- יב. מצב תפקודי,
- יג. גובה סימני זרימות במתקן.
- יד. להלן מוצגת דוגמה של טבלת מעבירי מים הנדרשת.

טבלה 4-1. רשימת מעבירי מים קיימים

| סימני עומק זרימות מ' | מצב תפקודי | כושר הולכה מ"ק/שנייה | גובה מים מעל התקרה | מידות מ' 2x3x2 nxBxH | צורה | נ.צ | | מיקום לפי הציר ק"מ | מס' אגן | מס' מ"מ |
|----------------------|------------|----------------------|--------------------|----------------------|-------|-----|---|--------------------|---------|---------|
| | | | | | | Y | X | | | |
| 2.0 | סתום חלקי | 35 | 1.5 | 2x3x2 nxBxH | בוקס | | | 1.5 | 1 | 1 |
| | סתום | 2 | 1.8 | 1.25 | צינור | | | 3.4 | 2 | 2 |
| 1.5 | נקי | 60 | 1.0 | 20 | גשר | | | 6.8 | 3+4 | 3 |

הערות לטבלה:

- בין מידות הגשר יש להציג את האורך ובנספח יש להציג סקיצה מפורטת במידת הצורך.
- כושר הולכה יש לחשב לפי המעביר במצב תקין עם ובלי עומד מים מרבי בכניסה,

- במצב תפקודי יש להבדיל בין מצבים הבאים: תקין, הרוס, הרס בכניסה, הרס במורד, נקי, סתום, סתום חלקית, הפרעות בפנים.
- יש למדוד במעביר ולהציג בטבלה סימני זרימה הגבוהים ביותר בין אלה, שניתן לזהות על גבי קירות של מעביר מים ומתקן כניסה.

תמונות של מעבירי מים.

- יש להציג תמונות, אשר מתארות בעיות ספציפיות בתפקוד מעבירי מים ולתת הסבר מילולי קצר העוזר בהבנת התמונה.
- יש להציג תמונות סימני זרימות נדירות.

4.1.3 תיאור אגני היקוות בקטע הפיתוח המתוכנן.

מפת אגני היקוות יש להציג בקנה מידה 1:50000 - 1:10000 , בהתאם לגודל הקטע המתוכנן וגודל הנחלים החוצים.

במפה יש להציג:

- סימון התוואי המתוכנן של מסילת הרכבת.
- גבולות אגני היקוות המתנקזים לקטע המתוכנן,
- מספרי כבישים סמוכים,
- שמות נחלים שחוצים את הקטע המתוכנן או סמוכים אליו.
- אגני היקוות המתנקזים לקטע המתוכנן יש למספר במספור רץ החל מ- 1 במעלה השטח ואילך לכיוון המורד הכללי. אגנים שיווצרו מחיבור מספר אגנים שבמעלה, שמם יהיה דוגמת (2+3+5). במידה ותוך התכנון/שינויים יתווספו אגנים חדשים אשר למעשה מהווים חלקים מאגן גדול יותר אשר הוגדר קודם, יש למספר את התת-אגנים הנ"ל של מתקני חצייה בעזרת אותיות דוגמת 1-א, זאת אומרת תת-אגן 1-א הינו אחד החלקים של אגן מס' 1.

במפה יש להדגיש ערוצי זרימה ראשיים בכל אגן היקוות ולהדגיש במיוחד כיווני זרימה במקרים כגון נחל בקרבת המסילות, חיבור של מספר אגנים קטנים על ידי תעלות, חציית מקומות שטוחים ללא אפיק מודגש, חציית מניפות סחף עם זרימה מתפצלת למספר רב של ערוצים מישנים.

4.1.4 תמונות אגני היקוות.

יש להציג תמונות, אשר מאפשרות התרשמות כללית ממאפייני אגנים כגון:

א. שימושי קרקע אופייניים באגן,

- ב. מצב אפיקים - חתך זרימה, הסדרה, צמחיה, קטעי חתירה ושקיעת סחף,
 ג. מטרדים לזרימה,
 ד. סימני זרימות חזקות,
 ה. סימני סחיפת קרקעות,
 ו. מאגרי וויסות, מחצבות, חפירות של חומר וואדי.

אין צורך לצלם כל אגן ואגן – רק דברים אופייניים ומיוחדים.
 לכל תמונה יש לצרף מספר אגן המתואר והסבר מילולי קצר העוזר בהבנת התמונה.

4.1.5 טבלת אגני ניקוז (למספר ניתן להוסיף שם הנחל)

טבלת אגני היקוות תוכן עבור מערכת ניקוז מתוכננת שיכולה לכלול
 הן מתקנים חדשים והן חלקים מהמערכת הקיימת הטבלה תכלול העמודות הבאות:

- א. מספר מעביר מים, תעלה או מתקן אחר,
 ב. מספר אגן היקוות,
 ג. שטח אגן היקוות בק"מ/ר,
 ד. אורך אפיק הראשי בק"מ,
 ה. רום של נקודה עליונה ותחתונה באגן,
 ו. שיפוע האפיק הראשי בשבר עשרוני,
 ז. חבורות קרקע באחוזים משטח אגן,
 ח. שימושי קרקע באחוזים משטח אגן (בנוי, חקלאי, בור, חורשות וכו').

להלן מוצגת דוגמה של טבלת אגני היקוות הנדרשת.

טבלה 4-2. טבלת אגני היקוות

| מס' מעביר או תעלה | מס' אגן | שטח אגן קמ"ר | אורך אפיק ק"מ | רום (מ') | | שיפוע אפיק ראשי | חבורות קרקע ב-% משטח אגן | | שימושי קרקע ב-% משטח אגן | |
|-------------------|---------|--------------|---------------|----------|-------|-----------------|--------------------------|----|--------------------------|-------------|
| | | | | עליון | תחתון | | B1 | H2 | בנוי | חקלאי מעובז |
| 1 | 1 | | | | | | | | | |
| ת. 2-3 | 2 | | | | | | | | | |
| ב-7 | ב-7 | | | | | | | | | |

הערות לטבלה ראה דף 31.

- לאגנים עם ערוץ זרימה מרכזי יש לחשב שיפוע משוקלל לפי אחת מהשיטות המקובלות,
- לאגנים ללא ערוץ זרימה מרכזי יש לחשב שיפוע מרבי (הפרש גובה מרבי חלקי אורך זרימה) .
- בשטחים בנויים יש להבדיל בין שטח עירוני, שטח כפרי ושטחי אזורי תעשייה.
- בשטחים חקלאיים יש להבדיל בין שטח חרוש ושטח פרדס ומטעים או גידולים מכוסים.
- אם ידוע על שינוי עתידי של שימושי קרקע יש להציג את מספר האחוזים הצפוי בסוגריים.
- לאגנים קטנים (עד 5-6 קמ"ר) יש להגיע לדיוק סביר בהגדרת שימושי קרקע באגן.
- לאגנים גדולים (מ-6 קמ"ר ומעלה) מומלץ להימנע מדיוק מיותר בהגדרת שימושי קרקע.
- יש להתייחס לחבורות קרקע על פי מיון מקובל (יואל דן ואחרים)
- במקרה הצורך (כאשר מס' חבורות קרקע גדול ואינו נכנס לטבלה אחת) ניתן לפצל את הטבלה לשניים, כאשר חלק ראשון יכול מספרי אגן ופרמטרים מורפומטריים וחלק שני - מספרי אגן, חבורות קרקע ושימושי קרקע.
- מומלץ להציג אגנים גדולים בטבלה נפרדת.
- במקרה של חיבור אגנים יש לרשום מספור עם סימן "+".
- אין צורך להציג בנפרד אגנים המתחברים ולבצע חישובים כל שהם עבורם.
- יש להסביר במלל רק את הדברים הספציפיים אשר אינם ברורים מתוכן הטבלה (למשל צורך באיחוד אגנים או ניתוק חלקים קטנים ומרוחקים)
- יש להציג מפת קרקעות על רקע האגנים.
- רצוי להציג גבולות שימושי קרקע על רקע צילום אווירי בקנ"מ המתאים לגודל הפרויקט.

4.2 בעיות מיוחדות.

בסעיף זה יש להדגיש בעיות מיוחדות רלוונטיות לגבי קטע המסילה הנדון למשל:

א. מתקני ניקוז במעלה אגן, אשר אינם עומדים בקריטריונים של החברה ומשפיעים על ספיקות בקטע המתוכנן.

רצוי לצרף מפה עם סימון אזורי בעייתיים ותיאור אגני היקוות אגני ניקוז יוגדרו וינתחו עבור כל אותם המתקנים (מעבירי מים, גשרים, תעלות,

4.3 נתונים אקלימיים

בפרק זה יש להציג: נתוני גשם מאזור הפרויקט או אזורים סמוכים אליו, נתונים הידראומטריים מאזור הפרויקט או נתונים מאזורים הסמוכים, אשר ניתן להשתמש לצורך קביעת ספיקות תכן, סקיצה עם ציון מיקום תחנות גשם ותחנות הידראומטריות ביחס לאזור הפרויקט בקנה מידה המתאים.

4.3.1 משקעים

יש להציג מידע כדלקמן:

- תיאור של סופות גשם נדירות, אשר התרחשו באזור הפרויקט או סמוך אליו. יש להציג נתונים ותאריכים של סופות נדירות, מפות או סקיצות של פריסה מרחבית ולתת תיאור מילולי קצר שמסביר את האירוע ומאפשר להגיע להחלטה מבוססת לגבי פרמטרים שונים של גשם.
- יש להציג מקור המידע. במידה ואינפורמציה כזאת אינה קיימת או אינה נמצאת ברשותו של המתכנן יש להתייחס לסעיף זה.
- נתוני גשם מתחנות רושמות ותחנות רגילות, נתוני מכ"מ עננים כגון: עוצמות, עוביים ומהלכי גשם.
- יש להציג נתונים רלוואנטיים בלבד ולהימנע מהצגת נתונים מיותרים לחישוב ספיקות שיא (כמו עובי ממוצע רב שנתי וכדומה).
- יש להביא נימוקים לבחירת תחנת גשם מייצגת או שימוש בהכללה אזורית (מעטפות עוצמה-פרק זמן באזורים שונים).
- נתוני עוצמות גשם יש להציג בצורת טבלה כדוגמת טבלה שלהלן, לפרמטרים אחרים יש לבנות טבלאות דומות .

טבלה 4-3. עוצמות הגשם לפרקי זמן שונים בתחנה מייצגת/מעטפת אזורית.

| עוצמות גשם (מ"מ/שעה) לפרקי זמן שונים | | | | | | | הסתברות |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 5 ד' | 10 ד' | 15 ד' | 30 ד' | 45 ד' | 60 ד' | 90 ד' | |
| | | | | | | | 1% |
| | | | | | | | 2% |
| | | | | | | | 5% |
| | | | | | | | 10% |

הערה:

- לפי צורך מיוחד ניתן לצרף גרף של נתוני הטבלה.

4.3.2 נתונים הידרומטריים.

יש להציג מידע כדלקמן:

(1) נתונים הידרומטריים של אירועים מיוחדים אשר התרחשו באזור הפרויקט ובאזורים סמוכים. יש להציג נתונים ותאריכים של ספיקות שיא נדירות, מפות או סקיצות של מיקום אתרי מדידה ולתת הסבר מילולי קצר המאפשר להגיע להחלטה מבוססת לגבי ספיקות תכן בפרויקט. חובה להציג מקור האינפורמציה. במידה ואינפורמציה כזאת אינה קיימת או אינה נמצאת ברשותו של מחבר הסקר יש להתייחס לסעיף זה.

(2) נתוני ספיקות שיא והידרוגראפים מתחנות הידרומטריות רלוואנטיים לחישובים סטטיסטיים וקבלת החלטות לגבי ספיקות תכן בפרויקט הנדון.

(3) יש להביא נימוקים לבחירת תחנות הידרומטריות או שימוש בהכללה אזורית.

(4) יש להציג מקורות נתוני ספיקות שיא.

(5) נתוני ספיקות יש להציג בצורת טבלה המוצגת למטה (מכיוון, שברוב המקרים מדובר בספיקות שנתיות, נדגים רק טבלה מתאימה, במקרים אחרים יש לבנות טבלאות דומות).

טבלה 4-4. טבלת ספיקות השיא מדודות

| ספיקות שיא מדודות (מ"ק/שנייה) | | | שנה הידרולוגית |
|-------------------------------|-----------|---------|----------------|
| שם תחנה 3 | שם תחנה 2 | שם תחנה | |
| 123 | | 12 | 1950/51 |
| 56 | 1.2 | 23 | 1975/76 |
| | 2.8 | 34 | 1991/92 |
| 250 | 10 | 66 | 2004/05 |

הערה:

נתונים הידרוגרפים יש להציג גם בצורת טבלה וגם בצורת גרף.

4.4 חישוב ספיקות שיא וקביעת ספיקות תכן.

במרבית המקרים סקר הידרולוגי עוסק בקביעת ספיקות תכן למתקני ניקוז ובמקרים מיוחדים - בקביעת הידרוגרף תכן. פרק זה דן במקרים שונים של חישוב ספיקות שיא בהסתברויות שונות וקביעת ספיקות תכן. נדגיש כאן שספיקות שיא הן ספיקות המדודות או ספיקות המתקבלות כתוצאה של חישובים הידרולוגיים שונים, לעומת זאת ספיקות תכן הינן ספיקות, אשר נקבעו לצורך תכנון מערכות ניקוז (ספיקת השיא הינה פרמטר פיזי, ספיקת תכן – פרמטר תכנוני).

4.4.1 חישוב ספיקות שיא לפי שיטות שונות-כללי

בעיית חישוב ספיקות שיא מתחלקת ל-3 מצבים אופייניים כדלקמן:

1) אתר הפרויקט נמצא באגן היקוות סמוך לתחנה הידרומטרית. מקרה זה מתחלק לשני תת מקרים:

א. בתחנה קיימת סדרת תצפיות מספיק ארוכה (יותר מ- 25 שנות תצפיות) לביצוע ניתוח סטטיסטי אמין. הפתרון לבעיה- לבצע ניתוח סטטיסטי לפי אחד מהפילוגים המקובלים לשם קבלת ספיקות שיא בהסתברויות שונות.

ב. בתחנה קיימת סדרת תצפיות קצרה (16-25 שנות תצפיות), אשר אינה מאפשרת

ניתוח סטטיסטי אמין. הפתרון לבעיה- לנסות לשחזר (להשלים) את הסדרה לפי שיטה מקובלת ולבצע ניתוח סטטיסטי או להשתמש בשיטות ניתוח, אשר מאפשרות להגיע לפרמטרים סטטיסטיים אמינים, פחות או יותר, גם במקרה של סדרה קצרה. כדאי לבקר תוצאות ניתוח סטטיסטי כזה בעזרת מודלים לחישוב ספיקות שיא.

(2) אתר הפרויקט נמצא באגן שבו פועלת תחנה הידרומטרית. מקרה זה גם מתחלק לשני תת מקרים:

א. מאפייני אגן באתר הפרויקט דומים למאפייני אגן במקום הימצאות תחנה ההידרומטרית. הפתרון לבעיה- לבצע ניתוח סטטיסטי של נתוני התחנה ולהתאים תוצאה לאזור הפרויקט בעזרת שיטה מקובלת (למשל: נוסחה "יחס שורשים של שטחי אגנים").

ב. מאפייני אגן באתר הפרויקט שונים משמעותית ממאפייני האגן במקום הימצאות של תחנה הידרומטרית. הפתרון לבעיה- להתייחס לאגן באזור הפרויקט כאגן ללא מדידות (פירוט בסעיף הבא).

(3) אתר הפרויקט נמצא באגן שבו אין תחנות מדידה של ספיקות שיא. במקרה הזה קיימים שני פתרונות:

א. לחפש אגן אנלוגי שבו פועלת תחנה הידרומטרית, לבצע ניתוח סטטיסטי של נתוני התחנה ולהתאים תוצאות לאזור הפרויקט בעזרת שיטה מקובלת (למשל: נוסחה "יחס שורשים של שטחי אגנים").

ב. להשתמש במודלים קיימים לחישוב ספיקות תכן. מהנ"ל נובע צורך בהשוואה בין מאפייני אגן הנחקר ואגן שבו פועלת תחנה הידרומטרית.

. לכן יש להציג טבלת מאפייני אגנים בהם פועלות תחנות הידרומטריות, להלן דוגמה של טבלה נדרשת.

טבלה 4-5. השוואת מאפייני אגנים בפועל עם אגנים של תחנות הידראומטריות.

| שם הנחל | שטח אגן | אורך אפיק הראשי | שיפוע אפיק הראשי | הרכב קרקעות ב-% משטח אגן | שימושי קרקע ב-% משטח אגן |
|---------------|---------|-----------------|------------------|--------------------------|---|
| אגן של תחנה 1 | | | | A,B – 75%, H-20%,E-5% | שטח בור-70% שטח מעובד-30% |
| אגן של תחנה 2 | | | | E-100% | שטח עירוני 100% |
| אגן של תחנה 3 | | | | H-65%, AB-35% | שטח מעובד – 30% שטח עירוני – 20% שטח בור -50% |

הערות:

1. אין צורך בפרוט חבורות קרקע- יש להבדיל בין סוגים עיקריים בלבד (כמו: חבורות הרריות, חבורות גרמוסוליות וכ"ה)

2. אין צורך בפירוט ודיוק מיותר בהגדרת שימושי קרקע.

4.4.2. שיטות חישוב ספיקות שיא

שיטות חישוב ספיקות שיא ניתן לחלק ל-3 קבוצות בהתאם לגודל אגן היקוות:
א. אגנים קטנים מאוד עד קטנים (שטח אגן נע בין 0.01 קמ"ר עד 1-2 קמ"ר) ללא ערוץ זרימה מרכזי. חישוב ספיקות שיא עבור קבוצה זאת ניתן לבצע לפי שיטות אמפיריות בלבד, אשר מתבססות על הנחה של עוצמת גשם אחידה בכל שטח אגן (שיטה רצינאלית או הידרוגרף יחידה).

ב. אגנים קטנים (שטח אגן בין 1-2 ועד 5-6 קמ"ר), עם ערוץ זרימה מרכזי. חישוב ספיקות שיא עבור קבוצה זאת ניתן לבצע לפי שיטות אמפיריות, שיטת אנלוגיה הידרולוגית ושיטות סטטיסטיות:

- שיטות אמפיריות כוללות את השיטות המוזכרות בסעיף הקודם ומודלים לחישוב ספיקות שיא, אשר נמצאים בשימוש רחב בארץ: מודל תחל"ס דגם 2, מודל הידרולוגי סטטיסטי חישוב ספיקות שיא ומודלים אחרים. שימוש במודלים אמפיריים עבור קבוצה זאת דורש התאמה למגבלות נתוני אגן.
- שיטת אנלוגיה הידרולוגית כוללת- חיפוש אגן אנלוגי בו קיימת תחנה הידרומטרית והתאמת תוצאות של ניתוח סטטיסטי לשטח האגן הנחקר.
- שיטות סטטיסטיות כוללות חישוב סטטיסטי ישיר לפי פילוגים תיאורטיים שונים. מקרים כאלה מעטים מפני שכמות אגנים מדוידים עם שטח עד 6 קמ"ר קטן מעוד.

ג. אגנים בינוניים (שטח אגן נע בין 7-8 קמ"ר עד כ-100 קמ"ר) וגדולים (יותר מ-100 קמ"ר).
חישוב ספיקות שיא עבור קבוצה זאת ניתן לבצע לפי שיטות אמפיריות, שיטות סטטיסטיות ושיטת אנלוגיה הידרולוגית:

- שיטות אמפיריות לקבוצה זו כוללות את המודלים לחישוב ספיקות שיא, אשר נמצאים בשימוש רחב בארץ: מודל תחל"ס דגם 2 ומודל הידרולוגי סטטיסטי לחישוב ספיקות שיא ומודלים אחרים.
- שיטת אנלוגיה הידרולוגית כוללת- חיפוש אגן אנלוגי בו קיימת תחנה הידרומטרית והתאמת תוצאות של ניתוח סטטיסטי לשטח האגן הנחקר.
- שיטות סטטיסטיות כוללות חישוב סטטיסטי ישיר לפי פילוגים תיאורטיים שונים.

4.4.3 הצגת ספיקות מחושבות

- חישוב ספיקות שיא יש לבצע לפי קריטריונים המוצגים בסעיף הקודם.
- לכל השיטות המוזכרות מעלה (רציונאלית, תחל"ס 2, הידרולוגי-סטטיסטי) אין להביא תיאור מילולי של השיטה, יש להציג את תוצאות ביניים ותוצאה סופית בלבד.
- תוצאות ביניים כמו תוצאות ניתוח סטטיסטי יש להציג בתור טבלת הסתברויות וגרף של עקום ההסתברות. להלן דוגמה של טבלה נדרשת. יש לציין לפי איזה פילוג תיאורטי נעשה ניתוח סטטיסטי.

טבלה 4-6. טבלת ספיקות שיא בהסתברויות שונות בתחנות מדידה.

| שם התחנה | שם פילוג תיאורטי | פרמטרים סטטיסטיים | | | ספיקות שיא (מ"ק/שנייה) בהסתברויות שונות | | | | |
|-----------|------------------|-------------------|----|----|---|--|--|--|--|
| | | Avg | Cv | Cs | | | | | |
| שם תחנה 1 | Pearson III | | | | | | | | |
| שם תחנה 2 | LogPearson III | | | | | | | | |
| שם תחנה 3 | Chow | | | | | | | | |

הערות:

שם פילוג יש להציג בטבלה רק במקרה של שימוש בפילוגים שונים לתחנות שונות.

- במידה ותוצאות ביניים נלקחו מספרות מקצועית יש להציג מקור.

- תוצאות ביניים כמו דפי פלט של מודל תחל"ס דגם 2 יש להציג בנספח.
- לכל שיטות חישוב, אשר אינן מוזכרות מעלה יש להציג הסבר מלולי קצר ולהביא נימוקים לבחירת השיטה.

טבלה 4-7. ריכוז תוצאות חישוב לפי נוסחה רציונאלית.

| מס' אגן | שטח אגן (קמ"ר) | זמן ריכוז (דקות) | עוצמת גשם (מ"מ/שעה) | מקדם ספיקה | ספיקות שיא (מ"ק/שנייה) בהסתברויות שונות | | | |
|---------|----------------|------------------|---------------------|------------|---|----|----|----|
| | | | | | 10% | 5% | 2% | 1% |
| 1 | 0.05 | | | | | | | |
| 2 | 0.15 | | | | | | | |
| 3+4 | 1.5 | | | | | | | |

הערות:

לצורך קביעת זמני ריכוז ומקדמי ספיקות יש להתייחס לשימושי קרקע מטבלת האגנים.

טבלה 4-8. תוצאות חישוב ספיקות לפי מודל תחל"ס.

| מס' אגן | שטח אגן (קמ"ר) | ספיקות שיא (מ"ק/שנייה) בהסתברויות שונות | | | | |
|---------|----------------|---|-----|----|----|----|
| | | 20% | 10% | 5% | 2% | 1% |
| 5 | 8 | | | | | |
| 6 | 15 | | | | | |
| 7 | 90 | | | | | |

הערות לטבלה:

ביצוע חישוב לפי מודל הידרולוגי-סטטיסטי מחייב לחשב שטחים של קבוצות חבורות הקרקע השונות המוגדרות על ידי המודל.

טבלה 4-9. תוצאות חישוב שטחים לפי מודל תחל"ס.

| מס' אגן | שטח אגן (קמ"ר) | שטח קבוצות של חבורות קרקע (קמ"ר) | | |
|---------|----------------|----------------------------------|---|---|
| | | A,B | H | E |
| 5 | 9 | 5 | 2 | 2 |

| | | | | |
|---|----|----|----|---|
| 3 | 4 | 8 | 15 | 6 |
| 5 | 20 | 65 | 90 | 7 |

טבלה 4-10. ריכוז תוצאות חישוב לפי מודל הידרולוגי-סטטיסטי

| ספיקות שיא (מ"ק/שנייה) בהסתברויות שונות | | | | | שטח אגן (קמ"ר) | מס' אגן |
|---|----|----|-----|-----|-------------------|---------|
| 1% | 2% | 5% | 10% | 20% | | |
| | | | | | 8 | 5 |
| | | | | | 15 | 6 |
| | | | | | 90 | 7 |

הערות:

1. תוצאות חישוב לפי סטטיסטיקה של ספיקות שיא בנחלים מדודים יש לרכז בטבלה דומה לטבלה הקודמת.
2. יש לציין שיטת התאמה של ספיקות שיא מתחנות מדידה לאגני הפרויקט.

4.4.4 - קביעת ספיקות תכן

א. לצורך קביעת ספיקות תכן יש לרכז תוצאות חישוב ספיקות שיא משיטות שונות בטבלה אחת. מומלץ להשתמש בספיקות שיא בהסתברות 2% לצורך השוואה וקבלת החלטות לגבי ספיקות תכן. להלן דוגמה של טבלת השוואה הנדרשת.

טבלה 4-11. ריכוז תוצאות חישוב ספיקות השיא לפי שיטות שונות

| מס' אגן | שטח אגן (קמ"ר) | ספיקות שיא (מ"ק/שנייה) בהסתברות 2% | | | | ספיקה לפי שיטה מעודפת |
|---------|----------------|------------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|
| | | לפי שיטות חישוב שונות | | | | |
| | | מודל תחל"ס 2 | מודל הידרולוגי-סטטיסטי | סטטיסטיקה/ שיטת אנלוגיה | שיטה רציונאלית | |
| | | | | | | |

- בעמודה "ספיקה לפי שיטה מועדפת" יש לרכז הספיקות המועדפות בין כל השיטות ולהביא שיקולים לבחירה, אשר נעשתה.
- ב. הסתברות תכן נקבעת על פי טבלת הסתברויות לתכנון מתקני ניקוז (ראה טבלה מס' 3.3.) מטבלאות של תוצאות חישוב ספיקות תכן יש לבחור תוצאות בהתאם לשיטה הנבחרת שבסעיף קודם.

ספיקות תכן עבור מעבירי מים ותעלות ניקוז יש לרכז בטבלאות נפרדות. להלן דוגמאות
טבלאות מסכמות של ספיקות תכן למתקני ניקוז.

טבלה 4-12. ריכוז ספיקות תכן למעבירי מים

| ספיקת תכן מ"ק/שנייה | | | | | נ.צ. | | מיקום לפי מס' חתר | מס' אגן | מס' מ"מ |
|------------------------|----|-----|-----|-----|--------|--------|----------------------|---------|---------|
| 0.5% | 1% | 2% | 5% | 10% | Y | X | | | |
| | | 5.5 | 3.2 | | 751560 | 182340 | 820 | 1 | 1 |
| | 19 | 14 | 5 | | 749180 | 181560 | 1+600 | 2 | 2 |
| | 19 | 15 | | | 748570 | 180320 | 6.8 | 3+4 | 3 |

טבלה 4-13. ריכוז ספיקות תכן לתעלות לאורך המסילות.

| ספיקת תכן (מ"ק/שניה) | | | מיקום לפי מס' חתר בציר | מס' התעלה | מס' אגן |
|-------------------------|------|------|---------------------------|-----------|---------|
| 2% | 5% | 10% | | | |
| | 0.19 | 0.12 | 640-690 | 1L | 1 |
| | | | | אין | 2 |
| 19 | 12 | | 1+600-2+200 | 3R | 3+4 |

הערות:

- ספיקות תכן יש להציג רק להסתברות תכן לפי טבלת קריטריונים לתכנון מתקני ניקוז
ואחד מעל (למשל: כאשר הסתברות תכן 2% -להציג גם 1%).

- ספיקות תכן יש לעגל על פי כללים המקובלים בהידראולוגיה:
ספיקות קטנות מ- 1 מ"ק/שנייה – שתי ספרות אחרי נקודה עשרונית,
ספיקות בין 1 ל-10 מ"ק/שנייה – ספרה אחת אחרי נקודה עשרונית,
ספיקות בין 10 ל- 100 מ"ק/שנייה – מספרים שלמים
ספיקות גדולות מ-100 מ"ק/שנייה יש לעגל עד עשרות לכוון הגדלה.

4.5 חישובים הידרולוגיים במקרים מיוחדים

במקרים מיוחדים כגון:

- בניית מאגר וויסות לצורך הקטנת ספיקות שיא במורד האגן,
- חישוב הילוך גאות על ידי איגום לפני מעביר מים עם כושר הולכה קטן מספיקת תכן,
- תכנון מתקני ניקוז לקטעים משוקעים
- חישוב הילוך גאות במקומות שטוחים ועל מניפות סחף,
- הערכת ספיקות שיא בלבד אינה מספקת לתכנון אמין ויעיל. במקרים אלה נדרשת קביעת הידרוגרף תכן.

בפרק זה יש להציג:

- הסבר מפורט של שיטת קביעת הידרוגרף תכן ונימוקים לבחירתה,
- במקרה של שימוש במודלים הקיימים להביא הסבר קצר על עקרונות המודל,
- להציג נתוני הידרוגרף תכן גם בצורת טבלה וגם בצורת גרף. להלן דוגמה של טבלה הנדרשת:

טבלה 4-14. טבלת נתוני הידרוגרף תכן.

| זמן מתחילת הגאות (שעות) | ספיקה (מ"ק/שנייה) | נפח מצטבר (מלמ"ק/אלמ"ק) |
|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| 0 | 0 | 0.385 |
| 0.5 | 12 | 0.560 |
| 1 | 50 | 1.25 |
| 1.7 | 40 | 1.9 |
| 3.2 | 0.05 | 1.95 |

4.6 שינויים בסכמת ניקוז

במידה ומתוכננים שינויים בסכמת ניקוז (שינוי מיקום של מעבירי מים תעלות וכו') יש להציג מפת אגנים מעודכנת ובה גבולות אגנים מאוחדים/מחולקים לפי סכמה חדשה. על סמך הטבלה והמפה יש לבנות טבלת אגנים חדשה, אשר מותאמת לסכמה חדשה ולבצע עדכונים בחישוב הספיקות בהתאם..

יש לבצע חישוב ספיקות שיא עבור טבלת אגנים סופית .
חישובים מעודכנים יחליפו את הקודמים ויוצגו בטבלאות מתאימות

4.7 סיכום הדוח

בסיכום יש להתייחס בקצרה לאמינות התוצאות, אשר התקבלו ולהביא המלצות למתכנן הניקוז בקשר לבעיות הידראולוגיות מיוחדות של הקטע המתוכנן.

4.7.1 עריכה והגשה

יש להציג מפה מסכמת אשר תכלול:

- א. הקטע המתוכנן,
- ב. אגני היקוות ממוספרים,
- ג. שמות נחלים שחוצים את הקטע,
- ד. כיווני זרימה,
- ה. מיקום מעבירי מים ונתוני ספיקות תכן עבורם.
- ו. אין להציג חישובים הידראוליים כולל מידות מתקני ניקוז מתוכננים בסקר הידרולוגי.
- ז. סקר הידרולוגי יש להגיש גם בתור חוברת וגם בתור קובץ-בפורמט Doc או PDF .
- ח. בשלב הזה מפות של הסקר ניתן להגיש בתור קובץ בפורמט Jpeg או PDF .

4.7.2 דף פתיחה

דף פתיחה חייב לכלול:

- (1) שם הפרויקט.
- (2) נושא הסקר.
- (3) מספר הסקר.
- (4) פרטים של משרד מבצע הסקר.
- (5) פרטים של מנהל הפרויקט.
- (6) פרטים של מתכנן ראשי.
- (7) תאריך ביצוע הסקר.

ישנם מספר שלבים של אישורים במהלך העבודה על הסקר:

1. שלבי אישור סקר הידרולוגי ע"י המזמין- הרכבת.

- א- קבלת אישור לתחילת הכנת סקר הידרולוגי מהממונה על הידרולוגיה בחברה .
- ב- תיאום נתוני הסקר עם רשויות ניקוז, רשויות נחל, רשויות מקומיות ולעיתים גם עם הגובלים ישירות, הכול על פי תנאי השטח
- ג- אישור הסקר ע"י הרכבת.

2. נספח ניקוז

- א. לאחר אישור הסקר ע"י הממונים ברכבת יוגש מסמך "נספח ניקוז" לתיאום עם המוסדות הרלוונטיים (כמפורט בסעיף 2.4).
- התיאום מחויב על פי חוק הניקוז. הדרישות מפורטות בתמ"א 34/ב/3.
- ב. נספח הניקוז יוכן ע"י מתכנן ניקוז, הכול על פי המפורט במגדיר המשימות.
- ג. תכולת נספח ניקוז להגשה למוסדות: (תחולה בסיסית על פי מגדיר תוצרים)

- * תרשים סביבה עם ציון מרכיבי הפרויקט
- * תנוחת הפרויקט עם ציון זכות הדרך, קווי דיקור, רומים מיצגים של פני קרקע קיימת ומסילה, סוללות וקירות מכל הסוגים,
- * בחציית אורכי ניקוז-סימון מעבירי מים, גשרים ותעלות כולל רומים ומידות מייצגות, כיווני זרימה.
- * תוכניות של שינויים, הסדרות, הטיות של אורכי ניקוז במידה ומתוכננים מחוץ לתחום הרכבת.
- * תוכניות של פתרונות ניקוז תת"ק כמו גם לגבי פתרונות סחיפה במידה ורלוונטי עבור שטחים סמוכים לדרך.
- * ציון ספיקות תכן והסתברות שלהן ליד מעבירי מים, גשרים ותעלות (בצמתים) כולל רומי מים בספיקות תכן.

* תקציר התכנון והממצאים כולל התייחסות מפורטת לשינויים שהפרויקט גורם לסביבתו כגון שינויים במפלסי מים עיליים, ספיקות, נגישויות.

* יציאו מפורשות פעולות מתוכננות לשמירה על מצב או שיקום לרמה שקדמה להקמת הדרך.

בשלבי תכנון מוקדם/מפורט יוגש נספח עדכון במידה ויהיו שינויים.

פרק 5 - חישוב ותכנון תעלות ניקוז ונחלים.

כללי. עקרונות תכנון תעלות ונחלים.

התעלות אמורות לנקז את תחום הרכבת - מבנה המסילה, מדרונות המילוי והחפירה שבתחום המסילות והתחנות, כך שלא יגרום כל נזק לרכבת בתווך ספיקות התכן. כאשר מערכת מתוכננת גורמת לשינוי של מערכת הנגר החיצונית (האזורית או המקומית), על מתכנן הניקוז להתאים את התכנון (החתכים של התעלות ומתקנים) למצב של שמירה על מצב קיים במערכת החיצונית על מנת לא להרע אותו, דהיינו שמירה על מפלסי ההצפה וכושר הולכה במפלסים הקיימים, זאת כדרישת מינימום. בנוסף יש להתאים את תכנון התעלות, כמו גם מעבירי המים לדרישות של מוסדות תכנון כגון תמ"א 34/ב/3 וכ"ד.

לגבי התעלות מדובר באפשרות של צורך בקליטת נגר נוסף לזה של תחום המסילות. המקרים יכולים להיות כגון:

- תוואי הרכבת בחפירה מקבל נגר ממדרון שנחתך והשטח שמעליו.
- מסילה במילוי חוצה עמק או מערכות ניקוז של אחרים.
- הבטחת מפלסים בהתאם לדרישות תמ"א 34

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

הסדרת תעלות/נחלים חוצים תעשה בקטעים קצרים ככל האפשר (עד 50 מ"א מקו זכות הדרך) כהמשך אינטגרלי למעביר מים /גשר קיים או מתוכנן, כל זאת בתנאי ובמידה שההסדרה מאפשרת פתרון אופטימאלי / טוב יותר עבור מתקן החצייה או שתפקידה לשמור עליו.

סיבה נוספת להסדרת נחלים גם כאשר הם רחוקים מתחום הרכבת וקטעי הסדרה עלולים להיות ארוכים יותר, הינה כאשר קיימת (על פי בדיקת מתכנן הניקוז) סכנת הצפה או נזק אחר למסילות ו/או מבנים/מתקני רכבת והחלופות של הגבהת קו אדום ו/או מיגון סוללות קשות יותר ובעלויות גבוהות באופן משמעותי יותר. כל טיפול בנחל (גם בתחום רצועת הרכבת) מחייב אישור של רשות ניקוז ובמידת הצורך (מחוץ לתחום רצועת

הרכבת) גם טיפול סטטוטורי (כגון הכנת תכנית פרסום והכרזה עבור רשות ניקוז, הפקעות וקבלת אישור תב"ע).

התעלות יתוכננו כך שבהסתברויות תכן (המפורטים בתת-פרק 3.2) מפלס המים בתעלה יהיה לפחות 0.2 מ' מתחת למבנה עליון.

התאמת מהירויות הזרימה בתעלה אמורות להבטיח מצב תקין ויציב עם מינימום תחזוקה לאורך שנים, וזה אומר מינימום חתירות או הצטברות סחף, שמירה על צמחיה נמוכה מייצבת בתעלות עפר וניקוי עצמי בתעלות בטון ובדפנות.

5.1. קריטריונים לתכנון תעלות

5.1.1 סוגי תעלות

- תעלות עפר טרפזיות או משולשות.
- תעלות טרפזיות מדופנות אבן/בטון.
- תעלות משולשות/משולבת עם דרך, מדפנות בבטון
- תעלות מלבניות מבטון מזוין עם או בלי קירוי.
- תעלות מלבניות מבטון מזוין (מובלים), שיכולים להשתמש כמו דרכי מילות.
- תעלות באזור תחנות רכבת ובין המסילות.
- תעלות בטון "U" עם סבכת רשת עומס להולכי רגל בקטעים בין התחנות שדרך מלוט נמצאת מעל לתעלת ניקוז.

5.1.2 גורמי חתך רוחב ואורך של תעלות

חתך התעלות מושפע ממספר גורמים :

- מגבלות של רוחב זמין ברצועת הרכבת, בעיה אותה יש לפתור מראש ע"י תכנון טרום תב"ע
- תנאי הקרקע במקום.
- השיפוע האורכי של המסילה בהשוואה לשיפוע הטבעי של הקרקע.
- רום מוצאי הניקוז התת-קרקעי.
- רומי מעבירי מים שחוצים את המסילה.
- מבנים, קירות תומכים, מתקנים ודרכים שסמוכות לתוואי המתוכנן.
- שיקולים נופיים וסביבתיים
- שיקולים טכניים של תחזוקה-נוחיות, בטיחות, תדירות.
- עלויות ביצוע ותחזוקה.

במסגרת התכנון על מתכנן הניקוז לבחון את כל הגורמים שהוזכרו ולהתאים חתך אופטימאלי שעונה לדרישות התכנון, המפורטים בפרק זה.

הבחינה הראשונית של חתך רוחב תעלה שצמודה למסילה (בחפירה או במילוי ולא בין קירות) תעשה על פי השיקולים שלהלן:

החתך יהיה טרפזי בעל קרקעית ברוחב מינימאלי של 1.3 מ', במידה ורוחב השטח מאפשר עדיף להגיע לרוחב גדול יותר- עד לכדי 2.0 מ'. בכל מקרה רוחב התעלה יהיה לא פחות מ-0.6 מ' (באישור אגף תכנון רכבת ישראל).

החתכים המקובלים לפי סדר העדפתם הם :

- חתך טרפזי עם ייצוב צמחי עשבוני נמוך- זול יותר בהקמה, ידידותי לסביבה, מאפשר תחזוקה נוחה וזולה בדרך כלל.

- חתך טרפזי עם ייצוב קשיח מאבן או בטון בקטעים עם מהירויות זרימה גבוהות מדי או נמוכות מדי או במידה ובגלל חוסר מקום תעלה עם ייצוב חלק תאפשר העברת ספיקות גדולות יותר מבלי הצורך בהרחבה נוספת של התעלה.

- חתך מלבני בחציבה בסוג סלע מתאים או מבטון מזוין בחתכים בעלי קרקעית של 1.3 מ' לפחות.

- חתך משולשי יתאים לרוב כחתך של תעלות הגנה מנגר חיצוני בראש המדרון או כחתך בעל דפנות מתונות בשילוב עם דרך תחזוקה בתוכה לאורך המסילות (תעלה עם ייצוב קשיח).

ייצוב תעלות ידון בפרק "ייצוב תעלות ונחלים", אך בעיקרון הייצוב יתוכנן במקומות של סכנה מיידית למתקני הרכבת עקב חתירות או קטעים בעלי שיפועי אורך ו/או מהירויות קטנות ו/או גדולות מהמותר.

צורת החתך לרוחב התעלה נקבעת משיקולים הידראוליים, כלכליים ושיקולי תחזוקה, משום כך יש לשאוף לעומקים, רוחבים ושיפועי דפנות מינימאליים אפשריים, אך תקינים.

שיפועי הדפנות אמורים להיות תלולים עד כמה שניתן על מנת, כאמור, לחסוך ברוחב התעלות וכמויות החפירה 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 תלויים 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 יציב לאחר חפירה ובתנאי לחות/הרטבה קריטיים, דהיינו מצב די גבולי שמעבר לו (בשיפוע תלול יותר) המדרון איננו יציב עוד.

להלן שיפועי דפנות מומלצים כיציבים על פי הניסיון בארץ:

טבלה 1-5. שיפועי דפנות מזעריים מומלצים בהתאם לסוגי קרקע

| קרקע | שיפוע הדפנות 1:m | |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| | תעלות בעומק מים שעד 1.0 מ' | תעלות בעומק הגדול מ 1.0 מ' |
| כבול | 1:0.25 | 1:0.5 |
| חרסית | 1:1.5 | 1:2 |
| חמרה חרסיתית או טינית | 1:2 | 1:2.5 |
| חמרה חולית | 1:2.5 | 1:3 |
| חול /חוויר | 1:3 | 1:4 |

הערה: בתעלות/נחלים סמוכים לסוללת המסילה יש לתאם שיפוע דפנות עם יועץ קרקע/מתכנן מבנה של הפרויקט.

5.1.5 שיפועי אורך של התעלות

את השיפוע אורכי, כמו גם את צורת החתך הרוחבי יש לתכנן כך שמהירויות הזרימה יהיו בטווח בין המרבי והמזערי המותרים מבחינת משטר הזרימה הנוצר עד לספיקות התכן. הגדלת שיפוע אורכי עלולה ליצור תנאי זרימה על-קריטיים, מהירויות ארוזיביות ותופעות נוספות שמצריכות התייחסות תכנונית מיוחדת. שיפועים קטנים מידי יחייבו הגדלת חתך רוחב התעלה, ועלולים לגרום להצטברות/שקיעת סחף (במידה ומגיע עם הזרימות).

שיפוע אורכי מינימאלי של התעלות נקבע כ-0.3%, כשיפוע שעדיין בר ביצוע מבחינת דיוקים או סטיות מהמתוכנן בגבולות הסביר והמותר (פרטים במפרט הכללי). קיימים

מצבים ששיפוע מינימום נדרש יהיה גדול מ- 0.3%, 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 עלולה להגדיל עומק, רוחב ונפח החפירה מעבר לסביר ולכן מחייבת בדיקת אפשרויות אחרות (כגון מעבר לייצוב קשיח).

5.1.6 מהירויות זרימה מרבית מותרת בספיקות תכן בנחלים ותעלות עפר ללא ייצוב

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 האמור.

על מנת שתיווצר סחיפה צריכים להתקיים שני תנאים הכרחיים: האחד, כוח ניתוק והשני, כוח/גורם הסעה. מידת הסחיפה של הקרקע היא פונקציה של דרגת הקוהזיה שבין חלקיקי הקרקע – הקובע את כוח הניתוק הנדרש ושל גודל החלקיק הצפוי להיסחף – הנקבע ע"י גורם ההסעה. קרקע חרסיתית, היא בעלת קוהזיה גבוהה ולמרות החלקיק הקטן הבונה אתה, פוטנציאל הסחיפה שלה נמוך יותר קרקע חולית ללא קוהזיה כלל, היא בעלת חלקיקים גדולים יחסית לחרסית ובעלת פוטנציאל סחיפה גבוה.

סחיפה מואצת ביותר, עד כדי יצירת ערוצים, קיימת בקרקעות מלוחות. שם הסחיפה מתחילה בהתפתחות מנהרות תת-קרקעיות (tunneling ו-piping), ערעור כל השכבה וקריסה כוללת. מצב זה אופייני בעיקר באזורים מדבריים יבשים (קרקעות לס ודומים).

בתעלות, 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 טבלה מס' 5.2:

טבלה 5-2.

ערכי המהירות מרבית מותרת ללא ייצוב לפי סוג הקרקע לתעלה ישרה ועומק 1.0 מ'

| סוג הקרקע או התכסית | גודל גרגיר, מ"מ- או הצפיפות | מהירות מותרת מרבית מ/ש' |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| סילט/טין דק | 0.005 | 0.20 |
| חול דק | 0.25 | 0.45 |
| חול בינוני/חמרה חולית | 1.00 | 0.60 |
| חמרה | 2.50 | 0.90 |
| חרסית | 0.002 | 1.20 |
| חרסית קשה | | 1.60 |

| | | |
|------|------------------------|------------------------------|
| 1.45 | 25 | צרורות גדולים/אבנים קטנות |
| 1.85 | 40 | צרורות גדולים/אבנים בינוניות |
| 2.50 | 100 | אבנים |
| 3.20 | 300 | אבנים גדולות |
| 7.50 | 1000 | אבנים ענקיות |
| 3.50 | צמחייה צפופה ביותר | צמחייה מסוג B* |
| 2.50 | צמחייה טבעית גבוהה | צמחייה מסוג C* |
| 1.20 | צמחייה דלה בקרקע סחיפה | צמחייה מסוג E* |

* על פי הגדרות התחנה לחקר הסחף .

טבלה 5-3. מקדמי תיקון של המהירות המותרת לעומקי זרימה שונים .

| | | | | |
|------|------|-----|-----|----------------|
| 3.0 | 2.0 | 1.0 | 0.5 | עומק זרימה, מ' |
| 1.25 | 1.15 | 1.0 | 0.9 | מקדם תיקון |

טבלה 5-4. מקדמי תיקון המהירות המותרת לדרגת הפיתול .

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

מעבר לערכים הנ"ל שבטבלאות מס' 5.2 – 5.4 יש לייצב את התעלות.

5.1.7 תעלות מלבניות

מעבר לתכנון תעלות מלבניות לאורך המסילות יהיה לרוב במקומות עם רוחב שטח מצומצם שבו לא ניתן לתכנן תעלות בחתך טרפזי כמצוין לעיל. גודל התעלה יתוכנן בהתאם לספיקות בהסתברויות תכן (ראה פרק 3.2). עומק התעלה יהיה לפחות כעומק

המים בספיקת תכן בתוספת בלט של 20%. מעבר לעומק זה ובמידה ונוצרים הפרשי גובה עם שטח ליד התעלה, ניתן ליצור מדרונות בשיפועים כפי שנקבע לעיל (שיפועי צד יציבים) או להגיע עם קיר התעלה עד לדיקור עם המדרון (שיקולי שטח ועלות) ועוד 20 ס"מ לצורך עזירת הסחף/אבנים/חצץ של המדרון. הוצאת עודפי המים שיצטברו מאחורי בליטה זו של הקיר תעשה באמצעות פתחים בראש הקיר בגודל 20 x 40 ס"מ (b x h) כל 20 מ'. בכל מקרה רום תחתית של פתח ניקוז בצד המסילה לא יהיה גבוה מתחתית שכבות החצץ על מנת לאפשר ניקוז חופשי של המים מתוכן. כך גם לגבי קצה דיפון אטום בתעלות מדופנות.

פתחי ניקוז בתת-קרקע (לשחרור לחצים הידרוסטאטיים) או פתחי ניקוז מבנה יתואמו עם מתכנני קונסטרוקציה ומתכנן מבנה הסוללה.

תעלות מלבניות יתוכננו ברוחב מינימאלי של 1.30 מ' על מנת לאפשר תחזוקה ע"י כלים מכאניים ממספר סוגים קיימים.

משיקולים בטיחותיים וסביבתיים עומק תעלה פתוחה שלא בשטחים פתוחים לא יעלה על 1.5 מ'. יש למנוע גישה חופשית לתעלות מעל 0.5 מ' עומק ע"י גידור או אמצעים אחרים.

כאשר עומק התעלה באזור בנוי גדול מ-1.5 מ' יש לתכנן תקרת ביניים עם חריצים (אלמנט טרומי) אשר יוצרת מובל עם תעלת בטון רדודה במפלס העליון.

תקרת הביניים מחייבת פתחים נוספים עם רשת עבור בקרה. המרווח המקסימאלי בין הפתחים - 60 מ'.

במקרה שהתעלות 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.

כאשר עומקים של תעלות גדולות מ-2.5 מ' יש לשקול מעבר למובילים סגורים-מלבניים, טרומיים, או עגולים. מובילי התיעול במקרים אלה יתוכננו כך שמעליהם תתוכנן תעלה בעומק של כ-50 ס"מ מפני הסביבה-תעלת עפר על פי ההנחיות שלעיל.

במקרים של תעלות רדודות, כאמור, יש לבחון את צורכי הניקוז של המבנה. ניקוז שכבות יהיה במידת הצורך ישירות לתעלה מלבנית/מוביל תיעול או ע"י מערכת עצמאית.

המובילים המלבניים, מבחינת החתך, יתוכננו עפ"י אותם הכללים כמו תעלות בטון פתוחות. כן יש להקפיד בכל מובילי בטון ותעלות בטון פתוחות על בטון חלק ככל האפשר, (יציקות מול טפסנות חלקה לחלוטין), עיבוד תפרים בהתאם, לאחר הבטחת האטימות שלהם. מיקום המובילים, כולל פתחי בקרה וטיפול, יהיה מחוץ למיסעות על מנת לצמצם למינימום בעיות יציבות, בטיחות ותחזוקה.

ביצוע מובילים בסמוך לקירות אקוסטיים או אחרים מחייב לדאוג למעבר הנגר הן מתחום הרכבת והן מצד הגובלים אל המוביל.

מערכות סגורות שלא מאפשרות כניסה ישירה של נגר מהגובלים יצוידו במתקני קליטה מתאימים כגון קולטני שצ"פ/גינן (עם הגנה מכלי רכב) אשר יבוצעו עפ"י חישוב הספיקות וכושר הקליטה של הקולטן. מרחק מקסימאלי בין קולטנים לא יעלה על 100 מ'.

בחירת חלופה מועדפת בין אפשרויות שונות של תעלות ומובילים תעשה כאמור על בסיס של שיקולים הנדסיים, סביבתיים וכלכליים ובהתאם להנחיות שבפרק זה. תעלות בטון בין המסילות יתוכננו עם או בלי מכסה רשת על פי הצורך. שילוב תעלות עם דרכי השירות/מילוט. במקרה של דרך שירות צמודה למסילה תתוכנן תעלת ניקוז בצד החיצוני של הדרך.

במצבים שאין צורך בדרך הנ"ל תתוכנן ברמה בין המסילה לתעלה. הברמה תהיה ברוחב 1.0 מ', ושיפוע רוחב לצד התעלה יהיה מינימום 2%.

קריטריונים לתכנון נחלים

5.2

כללי

שיפועי אורך של קרקעית בנחלים אינם נקבעים כמו בתעלות ניקוז של מסילות (כל עוד השיפוע הוא תת-קריטי) אלא על פי אנרגיות ומהירויות זרימה, משום כך, יכול להיות השיפוע האורכי של קרקעית הנחל קרוב לאפס, אפס או שלילי. תכנון שיפוע אורכי צריך ליצר מהירויות זרימה כמוגדר עבור התעלות עם המקדמים.

חתך רוחבי- שיפוע דפנות של הנחל נקבע כמו עבור תעלות עפר (ראה טבלה א-1) מימדי החתך וצורתו קובעים את הרדיוס ההידראולי של התעלה. על פי נוסחת מנינג, 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.

בחירת החתך יעשה תוך כדי התחשבות מרבית באפשרויות התחזוקה שלו. צורת החתך היעילה ביותר מהבחינה ההידראולית, לא ימלא ייעודו ללא תחזוקה נאותה.

5.2.1 קביעת מיקומו של תוואי אפיק הזרימה

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

* כאשר התוואי הטבעי מתפצל, מתפתל, מתרחב ו/או משנה את מיקומו עם הזמן ועם גודל

ועוצמת השיטפון.

* מצב כאשר למען שילובו של אפיק הזרימה בסביבה ו/או של הסביבה במיקומו של אפיק הנחל, יש לערוך ולהתאים את תוואי הנחל עצמו.

* 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.

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

5.2.2 עקרונות התכנון

חתי רוחב ואורך יקבעו בהתאם לשיקולים ההידראוליים, תנאי שטח וקרקע כמפורט לעיל.

תכנון הנחל יכלול פתרונות שיקום לתחומים כגון נגישות, חצייה וצומח.

יבדקו מפלסי גאווית תכן הן במקרה של הסדרת הנחל והן כאשר משאירים אותו במצב טבעי.

הסדרת הנחלים במעלה המסילה כמו גם במורד תתוכנן במקרים ובקטעים על מנת למנוע הצפת המסילה בספיקות תכן וזאת כאשר פעולה זאת עדיפה על פתרונות חליפיים כגון הגבהת קו אדום של רכבת, ביצוע הגנות על מדרונות הסוללה וכו'.

הגנת מדרונות הסוללות צריכה לוקחת בחשבון סכנת חתירות בסוללות עקב נחשולי מים שעלולים לזרום לאורך הסוללה בזמן גאוויות.

במצבים של סכנת הצפה בלתי פתירה מהמעלה ו/או מהמורד של הנחל יש לתכנן אמצעי הגנה מתאימים כגון סוללות ו/או קירות הגנה. הסוללות יהיו עם קודקוד קשיח. במצבים בהם מפלסי גאוויות גבוהים אינם מאפשרים הוצאת נגר, יש להתאים פתרונות סילוק הנגר מתחום הרכבת ע"י הובלתם לאזורים מחוץ למפלסי הצפה.

החישובים ההידראוליים של הנחלים יהיו מלווים בחישוב והצגת עקום פני מים בספיקות בהסתברויות שונות במצב קיים ומתוכנן לפי חלופות של ההסדרה ומבנים בהתאם.

על תוכניות ההסדרה יוצגו טבלאות עם נתונים הידראוליים, כגון ספיקה, עומק זרימה, שיפועים, מהירויות זרימה ומהירויות גבוליות.

5.2.3 חישובים הידראוליים של תעלות/נחלים.

המשוואה הבסיסית המשמשת לחישוב, הינה משוואת מנינג. 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 מנינג מהירות הזרימה (V) שווה:

$$V = 1/n \times R^{2/3} \times I^{1/2} \quad (\text{מ'.שנייה})$$

כאשר,

R - הרדיוס ההידראולי, מ'

I - שיפוע התעלה או קו האנרגיה

n - מקדם המבטא את חספוס התעלה

הספיקה Q :

$$Q = V \times A \quad (\text{מ"ק/שנייה})$$

חישוב מדויק יותר המאפשר את חישובי עקום פני המים ובמיוחד השינוי שבהם, בין אם הדרגתי (כמו: הערמות או שפילה) ובין אם סוער (כמו: זנק הידראולי), נעשה באמצעות מאזן הפרשי האנרגיה.

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

את מקדמי החספוס הבסיסיים קובעים מתוך חילוצם ממשוואת מנינג. כאשר עבור חתך זרימה נתון ובשיפוע נתון, נמדדת מהירות הזרימה ואז מקדם החספוס:

$$n = 1/V \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

מכאן, עבור זרימה במהירות מסוימת גידול ברדיוס ההידראולי יגדיל את מקדם החספוס. מאידך, עומק גדל של זרימת המים מקטין את ערכו של הרדיוס ההידראולי ומכאן את מקדם החספוס ומהירות הזרימה. האינטראקציה שבין מימדי התעלה, צורת חתכיה, תכסית פניה ושפועה האורכי קובעים את מקדם החספוס. נדרש ניסיון אישי רב בקביעתו של מקדם החספוס.

ניתן למצוא בספרות ערכי n עבור מגוון של מצבים. כמו כן פותחו משוואות חישוב. להלן מספר דוגמאות בסיסיות:

טבלה 5-5. ערכים של מקדם החספוס (n)

| טווח ערכי- n | תכסית הדפנות |
|--------------------|---------------------------------|
| 0.017 - 0.025 | תעלת עפר חלקה ללא תכסית |
| 0.020 - 0.030 | תעלה מתפתלת חלקה 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 צמחייה סבוכה |
| 0.025 - 0.035 | תעלה מצופה באבני גוויל |
| 0.015 - 0.018 | תעלה עם ציפוי בטון |
| 0.032 - 0.034 | ציפוי אבן מדורגת לחציון 10 ס"מ |
| 0.040 - 0.048 | ציפוי אבן מדורגת לחציון 30 ס"מ |
| 0.046 - 0.059 | ציפוי אבן מדורגת לחציון 50 ס"מ |
| 0.057 - 0.087 | ציפוי אבן מדורגת לחציון 100 ס"מ |
| $0.030 R^{-1.601}$ | צמחייה צפופה ביותר מסוג B ** |
| $0.027 R^{-0.855}$ | צמחייה טבעית גבוהה מסוג C ** |

| | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 0.0234 R ^{-0.667} | צמחייה טבעית בקרקע קשיחה מסוג D** |
| 0.024 R ^{-0.191} | צמחייה דלה בקרקע סחיפה מסוג E** |

** - על פי הגדרות קבוצות צמחייה של התחנה לחקר הסחף

מתוך הנוסחאות והניסיון בארץ ובאולם, מקדם חספוס- n הוא פונקציה של עומק הזרימה ושל החספוס -קוטר (D) של האבן החיצונית שבא במגע עם הזרימה. n גדל ככל שהקוטר החיצוני גדל וקטן ככל שעומק הזרימה גדל. ישנן נוסחאות להערכת מקדם חספוס בתנאים שונים לפי משוואה של Calif. Highways ערך המקדם:

$$n = 0.0482D^{1/6}$$

5.3 ייצוב התעלות ונחלים

כללי

סוג הקרקע והמסלע של הנחל כמו גם של התעלה 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 הקרקע לצורך קביעה מיטבית של מהירויות גבוליות (ראה טבלה ב-5)

5.3.1 קריטריונים לתכנון של ייצוב תעלות

כאשר מהירויות הזרימה חורגות מנתונים גבוליים שנקבעו בטבלה מס' 5.2 לעיל יתוכנן ייצוב בהתאם להנחיות שלהלן.

ייצוב התעלה/נחל יעשה לגובה זרימה בהסתברות תכן כפי שהוגדרה בתת-פרק 3.2, אך לפחות ל-1:20 שנה (בתוספת בלט של 20%). רוחב תחתית התעלה המינימאלי כאמור- 1.3 מ'.

סוגי הייצוב יקבעו מתוך הסוגים המאפשרים בחברה בהתייחס לשכלול של צרכים הנדסיים, עלות, והשתלבות בתכנון הנופי - בזה הסדר. השיקול ההנדסי הינו הראשון והקובע בכל אותם המקרים שבהם יציבות הפרויקט או חלקים ממנו תלויים ביציבות התעלות/נחלים. זהו הכלל גם לגבי ייצוב מדרונות, עליהם ידובר בהמשך.

בהפעלת שיקולים הנדסיים תעשה בחינת האמצעים מהקל אל הכבד במובנים של מראה ועלות- הייצוב הצמחי הינו טבעי וזול יותר אך בעל סיכונים רבים ומהותיים יותר מייצובים ע"י אבן או בטון. על המתכנן להבטיח קודם כל את היציבות הנדרשת תוך השתלבות מרבית בסביבה.

5.3.2 ייצוב צמחי בתעלות ונחלים

ייצוב צמחי – השיטה הטבעית והזולה ביותר, מתאימה כללית לשיפוע אורכי עד 2% (4% במשרד החקלאות) תוך מהירות זרימה עד 2.0 מ"ש' (המחמיר בין השנים) בקרקעות היציבות יותר, ובתנאי שיהיה כיסוי מלא של הקרקעית והדפנות בצמחייה צפופה.

בנחלים ובתעלות שמתאימים (ללא חשש של היווצרות עומס יתר של צמחייה) מבחינה אקלימית וקרקעות ניתן להשתמש בצמחי ייצוב שנבחנו במשך עשרות שנים. שיטות ייצוב צמחי:

- זריעת תערובות של צמחים חד שנתיים ורב שנתיים (כגון שיבולת שועל, אספסת, תלתן, ואחרים)
 - דשאו ע"י מרבדים של צמחים כגון יבלית קרוס 1, פנגולה, פניקום (מתאים יותר לנחלים) ואחרים.
 - טיפוח צמחייה הקיימת במקום (קוקיה, יבליות) ע"י כיסוחים או טיפול בשטחים עם צמחים גושניים ע"י ריסוסים מכוונים.
- הצלחת ייצוב צמחי תלויה באחוזי נביטה או קליטת צמחים, כמויות הגשם או השקיה במועדים נכונים, סוג הקרקע, התאמת הצמחים לאזור העבודה, תחזוקה מקצועית, שמירה משריפות, רעיית יתר וכו'.

נתונים של שיפוע ומהירות גבוליים משתנים בהתאם לסוגי הקרקע, סוגי הצמחייה וצפיפותה.

ככול שהאדמה סחיפה יותר והצמחייה דלה יותר, כך יקטנו הנתונים הגבוליים. על המתכנן להתייחס בתכנון למצב הצפוי של ייצוב המדרון לקראת החורף הראשון שלאחר יישום פתרונות הייצוב כאשר הכלל המנחה הוא ששיטת הייצוב שנבחרה מספקת פתרון נדרש בהתאם לרמת הסיכון במקום המטופל. במידה וקיים ספק יש להעדיף פתרונות בטוחים יותר.

5.3.3 ייצוב קשיח בנחלים ותעלות.

ייצוב קשיח , בשונה מייצוב צמחי, מספק פתרונות מידיים עם גמר ביצועם. חומרי הייצוב הקשיח הם אבן ובטון ביישומים שונים. השימוש באבן מחייב התאמת גודל האבן לנתוני הזרם (ספיקה, מהירות) כמקובל בספרות. כך גם לגבי הבטון כאשר הפרמטרים הקובעים הם מהירות, עומק הזרימה (הכול בספיקות תכן) סוג הבטון והחצץ שבו, עובי הבטון ועיגונו.

כל ייצוב קשיח מונח על בד גאוטקסטיל, המשמש נקז לזרימות שבתווך בין הייצוב לקרקע. יש להתקין נקזים בייצובים אטומים על מנת לשחרר לחצים הידראוסטאטיים.

קיימים חומרים שונים שחלקם נבחנו במשך שנים וחלקם במספר רב של פרויקטים. בהמשך ראה שיטות וחומרים קשיחים.

5.3.4 שיטות וחומרים קשיחים

5.3.4.1 ייצובים ע"י גביונים

גביונים- ארגזים ומזרנים עשויים רשת מסוגים שונים עם מילוי אבנים. התאמה תכנונית ואופן הביצוע והפיקוח ההכרחיים להצלחת יישום אמצעי זה.

ניסיון העבר בארץ לאומת העולם, איננו מעודד עקב ליקויי ביצוע ופיקוח במקומות רבים. בנוסף יש לקחת בחשבון בעיות תחזוקה (קושי בניקוי פסולת וסחף ובמיוחד באפיקים רטובים). בעיות נוספות הן האברזיה-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.

ישנם גם גורמים נוספים כגון חומרים כימיים למיניהם המובלים באזורים מסוימים, אשר גורמים גם הם להרס הרשתות תוך מספר חודשים.

על המתכנן לבצע חקירת תנאי השטח- מקומיים ואזוריים לקראת בחירת אמצעי ייצוב זה. גביונים נחשבים לייצוב גמיש. זה נכון במידה מסוימת במקרים של קירות תומכים מגביונים. לא כך הדבר במקרה של תפקוד ייצוב זה בנחלים עם גורמים ארוזיביים קשים. גביונים ומזרנים, ברגע שהתשתית נשטפת תחתם, ניזוקים ולא מספקים עוד כל פתרון ייצוב, לכן על המתכנן לדאוג לפתרונות מניעת חתירות תחת הגביונים.

למזרני גביונים פוטנציאל שימוש רחב החל מתעלות קטנות (מזרן של 20 ס"מ עובי) ועד לנחלים גדולים אך בתנאים של התאמה נכונה לתנאי השטח וביצוע ופיקוח מקצועיים.

5.3.4.2 ייצובים מבטון

כל הייצובים מבטון שלהלן בעובי מזערי של 8 ס"מ מתאימים על פי הניסיון בשטח לתעלות בעומק עד 2.0 מ'. לתעלות גדולות יותר יש להתאים את עובי הבטון ועיגונו למשטר הזרימה בספיקת תכן.

כל הייצובים מבטון יהיו עם גמר מחוספס (אלה אם נדרש במפורש אחרת ע"י מתכנן ניקוז) ובגוון מתאים לסביבה (קביעה ע"י מתכנן נוף). יש לבחון ולתת פתרונות זרימות מתחת לבטון. יש להבטיח פתרון קצה ע"י קורות בטון במקומות שאין פתרון אחר.

בטון עם רשתות זיון רגילות או תלת ממדיות (JK) או רשת זיון עם בטון מותז או רגיל בעובי מינימאלי של 8 ס"מ על גבי בד גאוטכני.

כוורות פוליאטילן בגובה של 6.5, 7.5, 10, 15 ו-20 ס"מ במילוי בטון. הכוורות מעוגנות לקרקע באמצעות יתדות ומונחות ע"ג בד גאוטקסטיל לא ארוג במשקל מינימאלי של 200 גרם/סמ"ק.

בנחלים, השימוש בכוורת נעשה בעובי בטון לפי תנאי הזרימה ובתוספת כבלים, המושחלים דרך הכוורת ועיגון נוסף.

כוורות פוליאטילן במילוי בטון כמו ייצובי בטון אחרים, מהווים למעשה קליפת בטון עם מילוי זה או אחר, המשמשת 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 (תוספת פיגמנט). החתך בד"כ טרפזי מטעמי תחזוקה, גובה הריצוף כגובה המים בספיקת תכן בתוספת בלט כאמור. שיקול נוסף בקביעת קטעי ייצוב תעלות הינו נושא מזהמים מתשטיפים והחלטת המתכנן בהתאם לנסיבות /דרישות גופים סביבתיים באם להרחיק מזהמים או לכוון לשקיעתם במקום.

5.3.4.3 ריפ-ראפ

ריפ-רפ – ריצוף אבן על 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.

הריפ-רפ רגיש לאיכויות ביצוע במיוחד בנחלים, נכשל בעבר ברוב המוחלט של עבודות מע"צ בנחלים ותעלות ולכן איננו מומלץ בתכנון נחלים. כן ניתן להשתמש בו בדרכי מים בין מדרונות נופיים ובתעלות כביש קטנות במגבלות ספיקת תכן עד 1.0 מ"ק/שנייה ומהירות זרימה עד 3.0 מ/ש'.

במקומות בהם צפוי שיהיה צורך לנקות סחף בכלים מכאניים יש לדאוג לקרקעית חלקה על מנת שלא תהיה פגיעה בריצוף.

כל האמור כאן נכון גם ביחס למיגון גשרים, דפנות של תעלות, נחלים וכד', אשר נמצאים בתוך או בצמוד לסוללות והפגיעה בהן משמעותה פגיעה בסוללות. פרטי התקנה ראה במפרט ביצוע.

5.4 תחזוקת תעלות

תחזוקה של תעלות הינה מרכיב חשוב בשיקולי התכנון של תעלות. תכנון תעלה אמור להבטיח תפקוד במשטר זרימה מתוכנן לאורך שנים. בתעלות מצטברים פסולת, סחף, צמחייה שגדלה, ומים עומדים הן בתעלות עפר והן בתעלות בטון ולכן קיים צורך בתחזוקה.

מאידך, החתירות בתעלות עפר הורסות את התעלות ובהמשך גם את מבנים שלידם.

למעשה כל התעלות מחייבות מעקב ותחזוקה שוטפת בהתאם למצבם.

לתחזוקת תעלות מספר מטרות חשובות ביותר:

- למנוע נזקי חתירה וסחף למבנים סמוכים.
 - 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 תעלות הם :

- רמת הנזקים וחומרתם
- עלות תחזוקה כולל כנגד עלויות נזקים
- שמירה על נתוני חתך מתוכנן לתווך ארוך
- אופן שמירה על יציבות התעלה
- נגישות ומהירות הטיפול
- שמירה על בטיחות התנועה

עלות – תכנון תחזוקת תעלות צריך לכלול שיקולים כלכליים. מומלץ שתחזוקת תעלות תעשה באמצעות כלים שמישים ברשות החברות הקבלניות, כלים מיוחדים ונדירים (שלא

לצורך מיוחד), עלולים ליקר את העבודה וגם לגרום לעיקובים לעומת כלים נפוצים וזמינים

מהירות – עבודה לצד תנועה מחייבת ביצוע מהיר של פעולות תחזוקה כדי לגרום מינימום הפרעות. ניקוי ע"י כלים מכאניים הוא הפתרון הרצוי להגברת מהירות הניקוי.

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

דיפון תעלות, בהם צפויה פעילות כלים מכאניים לניקוי, תתוכנן ללא אבנים בולטות וכ"ד. הנושא חשוב במיוחד עבור תחתית התעלות.

תעלות שמתוכננות עם ייצוב צמחי יהיו בחתך מתאים למכסחות. ניקוי צמחייה בתעלות מיוצבות ע"י כלים לא מתאימים גורם להרס הצמחייה, הייצוב והתעלה בסופו של דבר.

טיפול בצמחייה ע"י ריסוסים בסוף עונת הגידול לפני הקיץ משאיר כמות גדולה של צמחייה יבשה בתעלה ובמדרונות ומשום כך מגביר מאוד את סכנת השריפות (ראה חוק השריפות). הפתרון הנכון הוא כיסוח ו/או ריסוסים סלקטיביים בעונות מתאימות, דהיינו מניעת הצצה או התפתחות של צמחים בלתי רצויים, טיפוח צמחים רצויים, בעיקר רב שנתיים. כיסוח בשונה מריסוס אינו משאיר נוף דליק.

נגישות – נגישות הכלים לניקוי, ומשאיות העמסה מהווה גורם חשוב בשיקולי התחזוקה. התכנון הגיאומטרי צריך לכלול נגישות מתאימה לתעלות ומובלים.

תכנון פעולות אחזקה הינו חלק משלים של תכנון הידראולי של התעלות.

פרק 6 - חישוב ותכנון מעבירי מים.

כללי

הגדרה של מעבירי מים וגשרים

מעבירי מים וגשרים משמשים כמתקני חצייה על אורכי ניקוז. מעביר מים הינו מבנה, בו הרצפה מהווה חלק ממבנה הקונסטרוקציה שלו, כל שאר מתקני החצייה הינם גשרים. בגשרים הביסוס של הגשר הוא באמצעות יסודות- כלונסאות, יסוד רדוד וכו'. רצפת הגשר איננה חלק קונסטרוקטיבי שנושא בעומסים המיסעות, אלה הגנה על הקרקעית בלבד על מנת לשמור על מפלסה.

6.1. שיקולים מנחים בתכנון .

התאמה לקריטריונים הנדסיים- התכנון יעשה עפ"י קריטריונים הנדסיים – הסתברות תכן, בלט, גדלים מינימאליים, שיפועים אורכיים גבוליים וכו'.

בין השיקולים הנדסיים בתכנון מתקני חצייה יש להתחשב בנתונים הבאים :

- * מיקום ציר של התעלה/נחל ביחס לתוואי המסילה הינו עקרוני וחשוב בתכנון המתקן.
- * זכויות הדרך – מתקן חצייה צריך להיות ככל האפשר בתוך זכות הדרך ובמידת הצורך יש להגדיל בתב"ע את אזור הכניסה והיציאה של מעביר המים או הגשר כדי להשלים את המתקנים האופטימאליים .

* מתקנים סמוכים – יש להימנע מתכנון מעבירי מים שמתקני הכניסה והיציאה שלהם מתקרבים או מפריעים למתקנים ומבנים קיימים סמוכים.

* שילוב מעבירים עם מעברים – שילוב של מעביר מים עם מעבר לכלי רכב, הולכי רגל וכו'.

איננו מקובל בדרך כלל, כן ניתן לשלב מעביר מים עם מעבר חיות בר.

* העמדה אופקית , אנכית ושיפוע אורכי של מעביר המים

-- שיקולים כלכליים – שיקולי עלות תועלת ברמות שונות של פתרונות כלכליים – הנדסה של מתקן חצייה צריכה להיבחן כלכלית ולבצע את האופטימיזציה הדרושה לבניה של המתקן הזול ביותר בהתחשבות כמובן באילוצים האחרים שמוזכרים.

-- שיקולים של בקרה ותחזוקה – שיקולי תחזוקה שוטפת - נוחות, בטיחות, עלויות וכו'.

-- בדיקה של השפעות סביבתיות – בעיית הצפות, שיקולים נופיים וכדומה.
-- השתלבות בסביבה – מעביר מים/גשר הם חלק של הסביבה ולכן צריך להשתלב מבחינה נופית תוך מניע ככל האפשר מפגיעה בסביבה.

תכנון מעבירי מים נעשה על פי הנוסחאות בספרות המקצועית וניסיון בתכנון הנדסי, אשר נצבר בארץ במשך השנים. מקור חומר נוסף בשימוש כיום הינו המדריך של HWA, (פרקים כגון culvert 820, culvert hds5 ואחרים). [15,19]

גורם נוסף בתכנון הינו הקריטריונים והמדיניות אשר נקבעים ע"י המוסד המזמין (רכבת ישראל), אשר קובעים את רמת השירות ו/או רמת הסיכון שהמוסד מוכן לקחת משיקולים שונים.

מעבירי מים או גשרים, משמשים לרוב להעברה של נגר מצד לצד של המסילות, הדרכים, להם חייב להיות מוצא מתאים הידראולית ומתואם סביבתית.

תכנון הידראולית של הפתחים נעשה בהתאם לספיקות התכן, מפלסי הצפה מרביים מותרים מבחינת הסוללות, המסילות, התחנות והסביבה שעלולה להיות מושפעת. בנוסף לכך משפיעים השיקולים של תכנון קונסטרוקציה על צורת המעבירים / הגשרים.

התכנון ההידראולית והתכנון הקונסטרוקטיבי של המתקנים החוצים מחייב תכנון הנדסי נכון וכלכלי של המתקנים. התכנון הוא שילוב של התכנון ההידראולית ותכנון של ההגנה בפני ארוזיה (שאחראי עליו מתכנן הניקוז) וכפוף להנחיות התכנון אשר מפורטים לעיל ויחד עם התכנון הקונסטרוקטיבי של המתקנים שבאחריות מתכנן הקונסטרוקציה.

6.2. עקרונות תכנון מעברי מים בחציית המסילות

קביעת מימדי מעברי המים נעשית על פי מספר עקרונות:

- קוטר מינימאלי הכרחי למעביר המים .
- גובה הערמות מים בכניסה למעביר יהיה כמפורט בהמשך תוך בדיקה שלא יגרם נזק למבנה של המסילות ולסביבה.
- זרימת מים במעבירי המים תהיה חופשית.
- מתקן כניסה ויציאה של מעביר המים בחציית מסילות יהיה מבטון מזוין כולל קירות כנפיים.
- מעבר למתקני כניסה ויציאה יבוצע לפי הצורך ייצוב להתאמת תנאי זרימה בין מעביר.
- לערוצים קיימים.

6.2.1. גודל מינימאלי של מעבירי מים

גודל מינימאלי של מעבירי המים יקבע בהשוואה בין נתוני החישובים של הספיקות ודרישות תחזוקתיות.

לצורכי תחזוקה תינתן עדיפות למעבירי מים בצורה מלבנית בעלי חתך מינימאלי 1.20×1.80 (B x H) מ'.

באישור מיוחד של הרכבת יותר תכנון מעבירי מים צינוריים בקוטר 1.80 (מ') מתחת למסילות הקיימות.

מעבירי מים במידות קטנות מאלו שנקבעו דורשים התייחסות ואישור של אגפי הרכבת הרלוונטיים.

בכל מקרה שיטת ביצוע מעבירי מים וקונסטרוקציה יתוכננו ע"י מתכנן קונסטרוקציה ויועץ ביסוס, המאושרים ברכבת ישראל.

טבלה 6-1. מימדים מינימאליים של מעבירי מים

| גודל מעביר מים מינימאלי $B \times H$ מ' או קוטר \emptyset | מיקום מעביר המים |
|--|--|
| 1.20×1.80 או $\emptyset 1.80$ (מ') | מעביר מים מתחת למסילות |
| 2.10×2.10 | מעבירי מים מתחת למסילות שאורכו יותר מי 60 מ' |
| $\emptyset 1.00$ (מ') | חציית של כבישים/ דרכי מע"צ |
| $\emptyset 0.80$ (מ') | חציית דרכי שרות ודרכים חקלאיות |

בלט הוא תוספת גובה מעל העמק המחושב על פי ספיקת התכן. הבלט בחציית המסילות יהיה ברמה של 30% - תוספת לגובה המחושב, בשאר המקרים - 20%. את הבלט יש להוסיף לגובה המים מחושב לאורך כל חתך הזרימה במתקני החצייה.

מתקני חצייה בדרכי שירות וחקלאים, אשר נמצאים במרחק, ו/או לא מסכנים ולא משפיעים על מתקני ניקוז מתוכננים או קיימים אחרים, יתוכננו ללא בלט. בצירים שבבעלות אחרים (כגון מע"צ) יותאם בלט לדרישות תכנון של אותו מוסד.

במקומות בהם יש חשש לסחף רב, (סחף צף או סחף קרקע), כגון מתקני חציה באזורים של מניפות סחף, אזורים אורבניים, בקרקעות חמרה וחול או אזורים שיש לגביהם מידע על סחיפה מוגברת, במקרים הנ"ל יש להגדיל את הבלט על פי חישובים והערכות של רומי הסחף הצפוי. בגשרים באגן נחלי ים המלח בלט מזערי יהיה 1.0 מ'.

6.2.2. מיקום אופקי ואנכי של מתקן חציה

קביעת ציר מתוכנן של הנחל/תעלה תעשה בהתאמה לציר קיים. לשם כך יש לבצע איתור ציר/מרכז הערוץ הקיים בזרימה בחתך מלא, במיוחד באזורים של אפיקים לא מוגדרים כגון מניפות סחף או נחלים רדודים.

עקרונית, המיקום המועדף הוא כאשר ציר מרכז המעביר נמצא מול ציר התעלה בכניסה וביציאה של המעביר. המעביר יתוכנן כאלמנט נמשך ללא פניות או שברים בציר.

זווית חצייה של התעלה/נחל עם המסילה- ככל שהמפגש בין המסילה לבין התעלה/ נחל הוא בזווית חדה יותר, הרי שמתקן החצייה מתארך ועלותו גדלה, על כן יש לשאוב לחצייה ניצבת ככל האפשר, תוך התאמת קשתות חיבור לאפיקים קיימים, במיוחד ביציאות.

הקו האדום של המסילה- יש להתאים ככל האפשר את צורת מתקן החצייה (יחסי גובה- רוחב) לדרישות מפלסי המסילה ותכנון הקונסטרוקציה. נושא זה יתואם במשותף עם מתכננים מתחומים סמוכים כפי שנדרש במגדיר המשימות.

מתקן החצייה ימוקם ככל האפשר בקו ישר ושיפוע אורכי קבוע בחציה של המסילה. 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 בדרכים אחרות.

במקרה כזה יש לתכנן מעבר הדרגתי או שוחת בקרה באזור השבר כאשר על פי החשובים מתקבל מצב קרוב לשקיעת סחף באותו מקום. כמובן שוחות מסוג זה ניתן למקם בתנאים שתהיה גישה אליהן והן לא מהוות מטרד.

השיפוע האורכי בתכנון מעביר מים אמור להיות אחיד לכל אורך מעבירי 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 וכאשר השיפוע יקטן בתוך מעביר המים (בכיוון הזרימה) יש צורך להוסיף שוחת ביקורת (כמו במקרה של שבר אופקי לעיל) בנקודת השבר של השיפועים לצורך בקרה ותחזוקה. מצב זה נוצר לעיתים תוך הארכת מעביר מים קיים. כל הכללים הנ"ל לגבי מעבירי מים חדשים חלים גם במצבים של הארכת מעבירי מים ישנים.

6.2.3. שיפוע מינימאלי ומקסימאלי של מתקן חצייה

שיפוע קטן של מתקן חצייה משפיע במיוחד על כושר ההולכה שלו וסיכון סתימתו בסחף. מתקן חצייה בעל שיפוע אורכי פחות משיפוע קריטי יחושב כצינור תוך בדיקת תנאי כניסה ויציאה.

מבחינת בעיות סחף, מתקן החצייה יתוכנן כך שהשיפוע המינימאלי שלו יאפשר התפתחות מהירות זרימה מתאימה לניקוי עצמי/לאי שיקוע סחף בהתאם למשטרי זרימה שונים וסוגי הסחף במקום.

ככלל, מומלץ שהמהירות המינימאלית בתוך מתקן חצייה לא תקטן מ 1.0 מ'/שנייה. במקרים חריגים, בהם מהירות הזרימה המינימאלית הנ"ל אינה מספיקה לניקוי עצמי יגדל בלט מעביר המים מעבר לדרישה של הבלט הסטנדרטי כפי שצוין לעיל.

בנוסף לבעיה של מהירות המינימאלית, על המתכנן לקחת בחשבון גם שיקולים של איכות ודיוק ביצוע של מתקן חצייה בשיפועים קטנים מדי (פחות מ-0.25%) במיוחד מתקן חצייה מאלמנטים טרומיים.

שיפוע מקסימאלי של מתקן חצייה עלול לגרום לשחיקת פני הבטון ו/או להרס ביציאה בתנאי מהירויות זרימה גבוהות ומשך זרימות כללי ארוך.

מהירות זרימה של 8.0 מ'/שנ' בספיקת התכן בתוך מעביר המים נחשבת למהירות מקסימאלית מוצעת לתכנון במבני בטון רגילים.

במקרים חריגים ניתן לתכנן מעל המהירות שהוזכרה תוך שינוי בתכן הבטון- עובי, מרכיבים, תוספים, כך שינתן מענה להגנה משחיקה כתוצאה מהמהירות הגבוהה שמתפתחת במעביר המים. כך גם במקרים של סכנת שחיקה מוגברת עקב נוכחות כמות גדולה של חול ואבנים חדות בתוך הזרם. התאמת מבנה הבטון תעשה ע"י הקונסטרוקטור על פי נתונים הידראוליים שיסופקו ע"י מתכנן ניקוז. במקרה של מתקן חצייה בשיפוע תלול

ואפיק מתון בהמשך המורד, עלולה להיווצר שקיעת סחף ביציאה או בתוך מתקן החצייה. על המתכנן לקחת זאת בחשבון בתכנון כך שלא תהיה פגיעה בחתך היציאה של מעביר המים.

מעביר מים בשיפועים תלולים מאלמנטים טרומיים מחייב ביצוע של עיגונים קונסטרוקטיביים על מנת להבטיח את יציבותו. העיגונים יבוצעו בהתאם לגודל מעביר המים, השיפוע האורכי וסוג הקרקע, התכנון ע"י יועץ הביסוס והקונסטרוקטור.

מעבירי מים בשיפועים תלולים עלולים לגרום למצב של מהירויות גבוהות מדי ביציאה, יש לבחון את הצורך במתקני אנרגיה מיוחדים כגון מפלים.

בנוסף לכך, בתנאים הנ"ל ישנה חשיבות יתרה למניעת זרימה תת-מבנית בטווח שבין המבנה לקרקע. לשם מניעת נזק באותה זרימה יתכן מתכנן הניקוז פתרונות הולכה מסודרים (מסננים) ומארכי אורכי זרימה (כגון סינורים). יש לשלב ככל הניתן פתרונות הידראוליים וקונסטרוקטיביים.

6.2.4. שיקולים בבחירת חתך וממדי מעביר המים

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

- מגבלות הקו האדום
- צורת האפיקים המתחברים
- מקום חצייה (מסילה או מקומות אחרים)
- מפלסי מים/הצפה הנוצרים במעלה
- מהירויות זרימה בכניסה, בתוך מעביר המים ובמוצאו
- שימוש באלמנטים טרומיים
- שיקולי ביצוע של מעביר, יש לקחת בחשבון עובי מילוי מינימאלי מעל המעביר (0.5 מ').
- שיקולי בקרה ותחזוקה
- שילובים עם צרכים אחרים
- כלכליות.

6.2.5. מעבירי מים בעל מספר פתחים

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

- העדר גובה - כאשר הקו האדום נמוך מדי
- התאמה לחתך הנחל
- הצורך בדרכי שירות ותחזוקה
- הקטנת ממדים של עובי התקרה לשם חיסכון בעלויות .

מעביר מים עם מחיצות באפיק עם סחף צף, ובמיוחד מעביר המורכב משני פתחים, יוצר הפרעה חלקית במרכז הזרימה של המעביר. כתוצאה מזה מצטברים במרכז המעביר בכניסה סחופת וצופת שנצמדים לקיר המשותף של שני הפתחים (המחיצה) וחוסמים חלקית את חתך הזרימה של המעביר, בגשרים גדולים הבעיה קטנה יותר. על מנת להקטין את השפעת הסחף המצטבר יש לבצע קירית המשך למחיצות בכניסה למעביר. גובה הקיר כגובה המים בספיקת תכן ואורכו לפחות 2.0 מ', החתך בקצה משולשי (על פי הדגם שפותח במעצ-ראה פרט סטנדרטי).

מעבירי מים בעלי מספר פתחים יתוכננו תוך התאמה מרבית לחתך רוחבי של תעלה /נחל עליהם נמצא המעביר. ברוב המקרים רוחב תחתית התעלה קטן מרוחב הפתחים שמתוכננים למעביר המים ולכן נדרש קטע מעבר.

במתקנים חוצים בעלי פתח מרכזי ומספר פתחים צידיים ואשר פועלים במשטר זרימה תת קריטי על המתכנן לבצע את הפתח המרכזי מול תחתית התעלה. הפתחים האחרים יהיו מוגבהים במדרגות בשיעור מינימאלי של 25 ס"מ בהתאמה מרבית לשיפוע דופן התעלה/נחל כדי לאפשר מעבר זרימות קטנות בתוך הפתח המרכזי ולהקטין שיקוע סחף בתוך הפתחים.
במצב על קריטי יש לבחון השפעת הסף המוגבה על משטר הזרימה במהירויות גבוהות.

6.2.6. שימוש במרכיבים טרומיים

שימוש במתקנים טרומיים אפשרי פרט לחציית מסילות. במקרה אחרון במצבים חריגים, יש לקבל אישור לכך מראש מאגף התכנון ברכבת ישראל.

היתרון של מתקן טרומי במהירות הביצוע – ביצוע מאלמנטים טרומיים מאפשר הרכבה של מעביר המים בשטח בזמן קצר וחוסך ביצוע פתרונות זמניים. במצבים של צורך בהתקנת מתקן תוך ימים ספורים הפתרון הטרומי הופך לפתרון אולטימטיבי.

6.3 מעבירי מים חצי-איריים

מעבירי מים סמי איריים בדרכי שירות או דרכים חקלאיות מוגדרים כמתקן חצייה שבו הפתח מתוכנן להולכת ספיקת נמוכה (עד הסתברות של 10%). בגלל הפתח הקטן יחסית הדרך חשופה להצפות בתדירות יותר גבוהה בהשוואה למעביר מים שתוכנן לספיקת תכן. מעבירי מים סמי איריים יתוכננו רק בדרכים חקלאיות ודרכי שירות במידה ורמת הדרך מצדיקה זאת והמעבר עליהן איננו מחויב בימי גאות. בתכנון מעביר מים סמי אירי המתכנן צריך לקחת בחשבון את קטעי הדרך שצפויים להיות מוצפים בהסתברויות של 5% ולתכנן הגנה מחתירות. מבנה הדרך המוצפת יתוכנן מחומרים מתאימים, כגון בטון מזוין, כדי למנוע הרס של הדרך במעבר המים מעליה.

6.4 מעבר אירי

מעבר אירי הוא מפגש של דרך עם נחל במפלס תחתית הנחל. מעבר אירי יתוכנן רק על דרכי שירות/דרך חקלאית שבהן לא צפוי מעבר של כלי רכב וכלים חקלאיים בעת הזרימות. מעבר אירי יתוכנן בדרכים שבהם בקיץ לא צפויה זרימה של מים. הירידה לתחתית הנחל דרך הגדות תתוכנן בשיפוע מינימאלי של 1:10. מבנה הדרך המוצף בהסתברות תכן של 1:10 שנים יתוכנן עם ציפוי קשיח כגון בטון מזוין או חומרים מתאימים או בהתאם להנחיות יועץ המבנה של הכביש. המדרונות של הדרך בקטע מעבר המים יתוכננו עם הגנות מתאימות למניעה של ארוזיה.

הנחיות בטיחות בגשרים מוצפים-איריים וחצי-איריים

בכניסה לקטע דרך העלולה להיות מוצפת יבוצע שילוט עם כיתוב של "סכנה דרך מוצפת".

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

סימון עמודים ויזואליים עם זוהרים (עמוד ו-11 בלוח התמרוקים) שמגדירים את רוחב הדרך משני צידי הנחל/תעלה.
הדרך בשני צידי החצייה של הערוץ תתוכנן עם קטעי מעקות בטון בגובה של כ 25 ס"מ למניעה סחיפה של כלי רכב.

6.5. אחריות תפעול בהצפות

מעבר מוצף (סמי אירי או אירי) מחייב אחזקה ותפעול כולל של השערים בעת גאותות. רכבת ישראל לא מתחזקת מתקנים מסוג זה שמחוץ לתחומה. יש לדרוש, כחלק מהתהליך הסטטוטורי, לקבל מהרשות/ הגוף שיתחזק את המעבר כתב התחייבות (לרשום בהנחיות סטטוטוריות).

6.6. חישוב מעבירי מים

6.6.1. קריטריונים לתכנון

חישוב מעבירי מים כולל חישוב המידות/הקוטר, חישוב נתוני זרימה באפיק בכניסה וביציאה של מעביר המים. השילוב בין מימדי חתך רוחב מעביר המים לנתוני האפיק יוצרים מספר רב של אפשרויות משטרי זרימה, לכל אחד דרך שונה לחישוב. נתון נוסף המשפיע על תפקוד/חישוב מעביר המים הינו האורך שלו-בהגדרה קיימים מעבירי מים קצרים וארוכים, שיטת החישוב שונה- מעביר ארוך מחושב כצינור מוביל. משטרי זרימה במעבירי מים תלויים במספר רב של גורמים והיחסים ביניהם, אשר משתנים תוך כדי הזרימה וכך נוצרת קשת רחבה של מהירויות, המשפיעות על כושר ההולכה של המעביר והתעלות, בעיות סחיפה ושקיעת סחף במעביר ו/או בתעלה לפני ו/או אחרי מתקן חציה. קו עקום פני המים בתעלה/נחל דרך המעביר/גשר נותנים ביטוי למשטר הזרימה במתקן חציה.

מבחינה הידראולית לפי תנאי קצה, מסווגים מעבירי המים לשתי קבוצות עקרוניות : מעביר מים מחושב לפי תנאי בכניסה (INLET CONTROL) – גובה המים במעלה מעביר המים נקבע לפי הגודל וצורת הפתח בכניסה למעביר בתנאי שאין השפעה של מורד הנחל/תעלה.

הספיקה במעביר המים לפי תנאי בקרת הכניסה נגזרת ממידות חתך מעביר המים ומסוג מתקן הכניסה של מעביר המים.

תנאי בקרת כניסה מתקיימים כאשר לאורך מעביר המים מתקיים מעבר של המים לזרימה בגובה הקריטי. במצב זה השפעת המורד על המעלה מתבטלת וערמות המים נוצרות כתוצאה מתנאי הכניסה של מעביר המים.

מעביר מים בתנאי בקרה ביציאה (OUTLET CONTROL) – גובה המים במעלה מעביר המים נקבע כתלות בגובה המים במורד מעביר המים.

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

במעביר המים, שבו מתקיימים תנאי בקרה ביציאה, מהירות המים נמוכה וגובה המים גבוה. הזרימה נחשבת לזרימה תת קריטית.

בנוסף לכך מבדילים כאמור בין מעביר מים קצר המתנהג כיחידה אחת מבחינת משטר הזרימה לבין מעביר מים ארוך. קיימות נוסחאות לקביעת סוג המעביר על פי יחסי עומק בכניסה ואורך הצינור, כללית מקובל לקחת אורך של 60 מ' כמרחק המקסימאלי למעביר מים קצר.

מעבירי מים ארוכים יש לחשב לפי כושר הולכה כצינור כולל הפסדים לאורכו. זרימה חופשית במעביר מים מתקיימת כאשר הערמות בכניסה למעביר לא יותר מ-20% מגובה המעביר וטיבוע ביציאה לא יותר מ-25% מעומק קריטי במעביר. תרשימי חישוב מעבירי מים ראה ניספח מס' 2.

בחישובים ניתן להיעזר במדריך תכנון של FHWA [19]

6.6.2. מתקני כניסה ויציאה

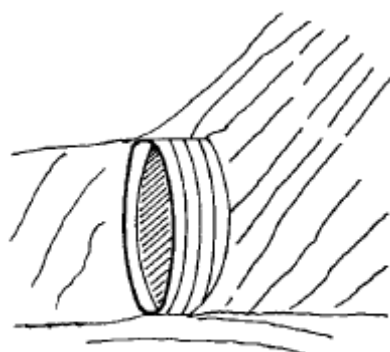
6.6.2.1 מתקני כניסה

מידות פתח בכניסה למעביר המים כאמור קובעים לרוב את גובה המים במעלה המעביר וכפועל יוצא את השטח שמוצף כתוצאה מערמות המים במעלה. מתקני הכניסה למעביר בצורות שונות גורמים להפסדי עומד בהתאם לצורתם. קיימים מספר טיפוסים של מתקני כניסה שנועדו לחבר בין הכביש, פני השטח והנחל שבמעלה מעביר המים.

להלן מספר סוגי מתקני כניסה:

א. מעביר מים ללא מתקן כניסה

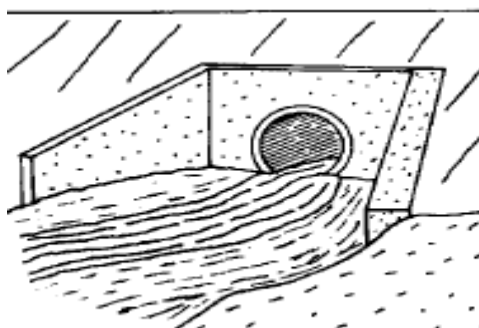
מעביר מים ללא טיפול בקצה הפתח. הפתח בולט מפני המדרון.
ניתן להשתמש במעבירי מים ללא מתקני כניסה כאשר מבצעים מעקפים זמניים בלבד
ולחציית דרכי אחזקה.



PROJECTING BARREL

ב. מתקן כניסה עם כנפיים נפתחות

מתקן כניסה שבו כנפיים משופעות לכיוון התעלה. מתקן כניסה זה הוא המועדף לשימוש בתכנון מעבירי המים. היעילות ההידראולית שלו גבוהה יותר. הכנפיים והכפופים בסוף המתקן תומכים את המדרון שקרוב אל הפתח ומקטינים את הצורך בדיפון המדרונות. זווית פתיחת כנפיים מומלצת $30-60^{\circ}$ כלפי ציר זרימה הנכנס למעביר, כלומר, בפועל הכנפיים אמורים להיות סימטריים לציר המעביר כאשר תעלה נכנסת בניצב לציר המסילה, בזווית או במצב קיצוני- כנף אחת מקבילה לציר הסוללה והשנייה ניצבת לה כאשר התעלה נכנסת בזווית 45% או פחות. יש לשאוב למצב שהמרחק בין פתח המעביר לכנף יהיה קטן ככל האפשר בתנאי שמקדם כניסה לא משתנה משמעותית. במתקן מסוג זה (כניסה ויציאה) יש קורות בטון שתפקידן להקטין חלחול תחת המעביר ו/או להגן על המעביר מארזיה. קורת כנ"ל יש בכל סוג מתקן יצוק מבטון. מומלץ להשתמש בדגם מתקנים שפותח במעצ או רכבת (ראה פרטים סטנדרטיים).



CAST-IN-PLACE CONCRETE
HEADWALL & WINGWALLS

מתקן כניסה עם כנפיים נפתחות

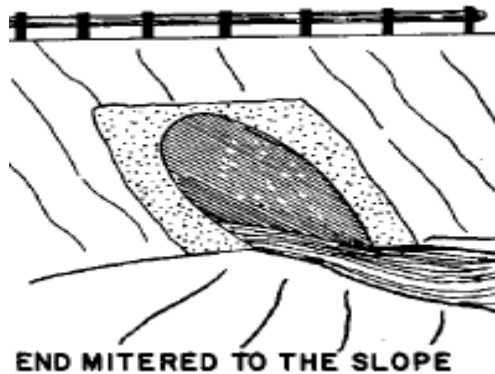
ג. מתקן כניסה של קיר מצח - (HEADWALLS)

מעביר מים ללא כנפיים עם קיר מצח בלבד. פתרון זה מתאים בד"כ כאשר מחברים תעלות מלבניות או במקומות שבהם יש בעיות של יציאה מתחום רצועת הרכבת כתוצאה ממילוי גבוה ומעבירי מים בממדים גדולים.

מבחינה הידראולית מעביר מים עם קיר מצח לרוב פחות יעיל ממעביר מים עם כנפיים נפתחות. ניתן להשתמש פרט במקרים של מגבלות כמתואר לעיל וגם כאשר מפתח המעביר/גשר גדול יחסית לגובהו ומבוצע ריצוף הקונוסים.

ד. מתקן כניסה מקביל לשיפוע במדרון

מתקן כניסה שבו קצה מעביר המים חתוך במקביל לשיפוע המדרון. בנוסף יש דיפון אוטם של המדרון ליד מעביר המים. הם פחות יעילים ממעבירי מים עם כנפיים, בד"כ מומלץ להשתמש בהם בדרכים חקלאיות, שירות וכד'.



התייחסות ליעילות של מתקני כניסה על פי הפסדי עומד בכניסה בהתאם לצורתם, רלוונטיות במהירויות גדולות ולהפך, כך שלא תמיד זה צריך להיות שיקול בבחירת סוג מתקן כניסה.

6.6.2.2 מתקני יציאה

רוב מתקני הכניסה משמשים גם כמתקני יציאה, כללי התכנון דומים, במיוחד המתקן עם כנפיים.

מתקן היציאה במעביר המים מיועד למספר מטרות כדלקמן:

שמירה על תקינות מעביר המים מחתירות שנובעות ממספר גורמים:

- חתירות לאורך התעלה- ירידת קרקעית התעלה עקב שיפוע ארוזיבי שבה.
 החתירה נעצרת ליד מתקן היציאה לפני שמפילה אותו אם לא נעשה בו עיגון מתאים.
 - חתירות מקומיות במעבר מהמעביר לתעלה עקב המהירות הגדולה של המים בתוך המעביר מים בהשוואה למהירויות גבוליות בתעלה או בערוץ הנחל הטבעי.
 - תמיכה של מדרון הסוללה ומניעת חתירות של מים במדרון הסוללה שקרובה למעביר המים.
 - הקטנת סכנת פייפינג- הוצאת חלקיקי קרקע ע"י זרמים תת- קרקעיים. במקרים מיוחדים במעברים ארוכים ומשופעים, בקרקעות נתונות לתהליך של מיחתור (סופוזיה) יש לתכנן חציצים (סינורים) לאורך המעביר (זה מוסיף עיגון ומאריך את אורך החלחול). מאותן הסיבות אין לפרק מתקן קיים במקרים של הארכה מתוכננת של המעביר. רצוי שמתקן היציאה של מעביר המים יהיה זהה למתקן הכניסה גם משיקולים של נוחיות ביצוע ואחזקה שוטפת (פרט לזווית הכנפיים). במקרים חריגים המתקנים יהיו שונים בגלל בעיות של מיקום וקירבה למתקנים אחרים, שמחייבים התייחסות פרטנית בהתאם למצב בשטח. קיימות מספר דרכים להערכת מידות הדיפוז הנדרש במעבר. נוסחאות שפותחו ע"י הסוכנות להגנה הסביבה בארה"ב ראה בנספח מס' 3.

6.6.2.3 ייצוב בקטע מעבר ביציאה ממעביר המים

ביציאה ממעביר המים יבוצע במידת הצורך ייצוב של קטע שמחבר בין כנפי מעביר המים והתעלה/נחל שבמורד.

לייצוב יש מספר מטרות :

- מניעה נוספת של מיחתור מתחת למתקן היציאה של מעביר המים
 - מעבר הדרגתי מחתך מתקן היציאה אל חתך תקין של התעלה וע"י כך התאמת מהירות הזרימה של מתקן היציאה לזו של התעלה בהמשך.
 - התאמות גיאומטריות בין מתקן היציאה לצורת התעלה/נחל.
- חשוב לשים לב שאורך הייצוב ביציאה מהמתקן וגם הרוחב קטנים ככל שקטן עומק המים בהמשך התעלה. זה מביא אותנו לפתרון אלטרנטיבי- במקום תעלה מדופנת בהמשך למעביר ניתן, במקומות מתאימים, לתכנן מתקן לפיזור אנרגיה. פתיחה מספיק רחבה של האפיק כך שעומק המים יהיה קטן שלא מצריך המשך דיפוזים.
- הנושא רלוונטי במיוחד במקרים בהם אין אפיק מוגדר בהמשך, או שקיים שקע שטוח בתוך שטח מעובד וכד'.

מתקנים לשבירת אנרגיה מיועדים להקטין את מהירויות הזרימה ואופי הזרימה של המים בתעלה אשר עלולים לגרום נזקים למתקני הניקוז ולתשתיות נוספות שסמוכות.

דוגמאות של סוגי מתקני השקטה:

- מפל בכניסה ו/או ביציאה של מעביר מים או גשר
 - הגברת חספוס בעיקר בקרקעית ע"י בנית קורות בטון, קוביות בטון, ארגזי גביונים רצופים או עם מרווחים, בשורה אחת או יותר.
 - בניית תללות (קטעי תעלות קצרים ותלולים) עם חספוס מיוחד ע"י אבנים גדולות בבטון
 - יצירת חזית זרימה ארוכה עם ספיקות סגוליות נמוכות
- חשוב להתאים אמצעי השקטה למשטר הזרימות, לא כולם מתפקדים בכל משטר זרימה. מיקום מתקני השקטה יכול להיות לרוב בתחום העבודה, קרוב למתקן חצייה אך לא בהכרח בתחום זכות הדרך ולכן מחייב התאמות בהתאם. בעקרון הקרבה של מתקני השקטה גדולים למתקני חצייה בדרך כלל אינה רצויה הן משיקולי תחזוקה והן משום היותו מתקן בסיכון גבוה לנזקים.

מפל במעלה מעביר המים / גשר עלול לגרום לסתימתו של המעביר/גשר בסחף רב. מפל במורד הגשר, במידה וניזוק, מסכן מאוד את הגשר עצמו. חספוס מלאכותי בקרקעית אינו מאפשר תחזוקה תקינה ואיננו יציב לאורך שנים (מגביונים או בטון מזוין בתנאי דרום הארץ). תכנון המתקנים הינו מורכב ודורש ניסיון רב. בספרות המקצועית קיים מגוון של מתקנים לשבירת אנרגיה שהם תוצאה של ניסויים שבוצעו במעבדות ואוניברסיטאות ברחבי העולם, ראה המדריך HEC14 של ה-FHWA שנכתב עבור נושא זה: [20] במדריך מפורטים הסוגים השונים ותנאי השימוש בהם בהתאם לתנאים.

6.7 נושאים מיוחדים בתכנון מתקני חצייה

הצורך בפתרון בעיות מורכבות בתכנון מתקני חצייה מחייב להיכנס לשיקולים הידרוליים לא שגרתיים. פתרונות כנ"ל חכמים יותר, נוחים יותר לביצוע, אינם מפריעים לתנועה וגם זולים יותר.

במקרים אחרים הם מבטיחים יציבות ומניעת נזקים לתקופות ארוכות.

1. התאמה של יחסי רוחב וגובה במעבירי מים.

ככלל, ניתן למצוא ביחסי רוחב- גובה של מעביר מים נתונים אשר יאפשרו כושר הולכה

מרבי באותו גודל שטח חתך המעביר. הכוונה שהמעביר יכול להיות בצורות שונות החל מרחב

מאוד ונמוך ועד צר וגבוה. מעביר מים רחב בתנאי inlet control מסוגל להעביר הרבה יותר מים במפלסים הרבה יותר נמוכים (יתרון גם לעצמו, גם לקו אדום של המסילה וגם לסביבה), אבל מאידך הוא יהיה רגיש יותר לנושא הסחף ולא נוח לתחזוקה.

מעביר מים גבוה כמעט ולא רגיש לסחף ולכן עדיף, באזורים בעלי פוטנציאל גבוה לסחף, אבל הוא מחייב מפלסי מים גבוהים מעליו, מתאים יותר בסוללות גבוהות, בעמקים צרים ושטחים פתוחים בדרום הארץ.

2. הפיכת ממעביר מים או גשר לתעלות, הן לגבי מתקנים קיימים והן לגבי מתוכננים- מאפשר חסכון אדיר בעלויות ומניעת הפרעות קשות לתנועה בזמן הביצוע או מניעת הצורך בפירוק מבנה קיים תחת המסילות.

מעביר מים מחושב בדרך כלל על פי הכללים שפורטו לעיל, כמבנה שמוגבל ע"י תנאי כניסה ו/או תנאי יציאה, מצב שלרוב אינו מאפשר ניצול מלא של חתך המעביר. צינור או מובל מלבני בעל אותו חתך רוחבי, המחושב לפי נתוני חתכי רוחב ואורך שלו, מסוגל להעביר עד פי כמה יותר ממעביר מים עגול בעל אותו חתך. על מנת לתכנן מעביר מים כבעל כושר הולכה כמו של מוביל, צריך לתת לו שיפוע אורכי מרבי אפשרי ולבטל מגבלות כניסה ויציאה ע"י הפיכת המעביר לתעלה /מובל כאשר בחלק של הסוללה המעביר- זה תעלה מקורה. ניסוי ראשון בארץ בוצע במחלף זיכרון ב- 1995. התוצאות נבחנו באירוע של שיטפון תכן ונמצאה התאמה מלאה לחישובים. במחלף זה במקום להרוס 3 גשרים גדולים בכביש וברמפות, הגשרים חוברו לתעלה ארוכה אחת, כושר הולכה גדל תוך קבלת מפלסי הצפה כנדרש בספיקות תכן.

ניתן בדרך זו לשדרג מעבירים קיימים או לתכנן חדשים במיוחד כאשר יש מגבלות קשות של שטח. העיקרון כאן כאמור לתכנן מתקן חצייה שמחשבים אותו כתעלה (מקורה בחלקה).

3. הוספה למעביר מים קיימים ותכנון חדשים עם מתקני כניסה משודרגים הידראולית ע"י הוספת

אלמנטים מיוחדים (כגון מדף בכניסה), המגבירים כניסת המים למעביר.

4. תכנון מתקן כניסה מוגדל, בעיקר מורחב, יכול לשפר מאוד תפקוד של מעבירי מים קיימים וחסכון במתקנים חדשים. מדובר במעבירי מים שמחושבים לפי תנאי כניסה על פי רוחב הסף. כאשר חתך המעביר בהמשכו איננו מנוצל במלואו הגדלת רוחב המעביר מגדילה

את כושר תפקודו. גם הגדלת גובה המעביר בכניסה יכולה להביא להגדלה משמעותית בתפקודו.

בשני המקרים מדובר בתכנון קטע שבכניסה למעביר מים (קיים או מתוכנן), בעל מידות גדולות יותר ברוחב ו/או בגובה הפתח. חשוב לתכנן מעבר הדרגתי לחתך הקטן יותר שבהמשך תוך התאמת זוויות פתיחה וסגירה.

דוגמת שימוש ברעיון זה יכולה להיות הוספה למעביר מים עגול בקוטר 80 ס"מ חולית מעבר לקוטר 1.0 מ'.

בכל המקרים חשוב לחזור ולוודא שסכמת חישוב המעביר לא השתנתה ומתאימה לשינוי.

5. אטימות מעבירי מים – נושא חשוב במיוחד למניעת שקיעות בסוללות עקב נזקים שעלולים להיווצר בסמוך למעביר מים במידה והתפרים לא אטומים. במצב זה עלולה להיות זרימה מהמעביר החוצה תוך גרימת נזק לתשתית המעביר תחילה, או זרימה לתוך המעביר דרך החיבורים תוך סחיפת חומר מילוי שמעל הצינור- במצב זה עלולים להתהוות סדקים אורכיים בצינור ו/או שקיעות הסוללה מעל הצינור.

6. טכניקת חיבור מערכות ניקוז אחרות (תעלות צד, מערכות סגורות, שוחות וכו') תוך ניצול נתוני עקום פני מים במעביר. בחיבור מערכות כנ"ל חשוב לאתר מקומות עם מפלים נמוכים ככל האפשר בתוך המעביר. במשטרי זרימה שונים במעבירים וגשרים מפלס המים איננו אחיד, במקרים רבים המפלס הנמוך ביותר איננו דווקא בכניסה או היציאה של המעביר, אלא אי שם לאורכו. במצבים של צרכים מיוחדים להתנקז למעביר מבלי להיות מטובע על ידו, מומלץ לבחון חלופות כנ"ל.

7. תכנון מעבירי מים קרובים. במצב זה המעביר שבמורד עלול לטבע את זה שבמעלה ולגרום להקטנת כושר הולכה שלו. במצב זה יתכן ויהיה צורך לבחון הגדלת המעביר שבמעלה, או זה שבמורד, או לחבר מעבירים ע"י תעלה בחתך מתאים לשני המעבירים ולבטל ע"י כך את ההפרעה.

8. יצירת מעבירי מים סטנדרטיים שמתאפשרת כיום עקב הנחיה לתכנן מתקני כניסה ויציאה עם בליטה אחידה של 20 ס"מ (תיקון וייצמן) מעל פני הקרקע משיקולי בטיחות, אך הדבר מאפשר גם לבסוף לתכנן מתקנים אחידים.

9. תכנון דרכי גישה לכלים אל מתקני המעבירים לצורך טיפול חרום. במקומות, בהם לפי בחינת המתכנן עלול להצטבר בזמן הגשמים סחף בכמויות שעלול לסכן את התפקוד התקין של המתקן, הרי שיש לתכנן פתרונות נגישות לטיפול חרום, כגון דרך בטון/אבן סלולה לירידה בנחל עד הגשר.

10. התייחסות לסוגי חומרי ריצוף ליד מתקני המעביר משיקולי תפקוד ותחזוקה. הייצוב אמור להיות מותאם ל משטר הזרימות והסחף. במצבים של צורך של ניקוי סחף מהאפיק הייצוב אמור להיות חלק ויציב ללא מרכיבים בולטים. במצבים כנ"ל בדרך כלל לא מתאימים גביונים, ריפ רפ, אבן שפוכה, ייצוב צמחי וכ"ד, וודאי לא בקרקעית.

11. זהות מתקני כניסה לאלה של היציאה עדיפה אך אפשרית רק במצבים של זוויות שוות ביחס לציר הזרימה.

12. כללי התאמה של משטרי זרימה של האפיק במעלה, במורד ובמעביר הם בהתאמה של מהירויות זרימה, כך שבאזור המעביר / הגשר לא ייווצרו מקומות של הפרעות, שקיעת סחף או חתירות.

13. ריבוי פתחים- מספר פתחים נקבע בהתאמה אופטימאלית לפי תנאים שונים של יחסי גובה מים וגובה המיסעה אך גם בהתייחסות /התחשבות בדרישות של גופים אחרים תמ"א, רשויות גובלות, התאמה לדרישות מינימאליות לצרכים אחרים כגון מעבר חיות, תחזוקה וכו'.

במתקני חציה בעלי מספר תאים יש לדאוג שזרימת בסיס תזרום קודם כל בפתח המרכזי. מצב זה יבטיח מהירויות זרימה גבוהות יותר גם כאשר הספיקה קטנה, כך ייווצרו תנאים טובים יותר למניעת שקיעת סחף במעביר או ניקוי עצמי בתנאי סחף רב בזרם.

פרק 7- תכנון מתקני ניקוז שונים

7.1 קליטת נגר עילי מפני מיסעות קשיחות.

מיסעות קשיחות הינן דרכים מסוגים שונים, מגרשי חנייה, שטחים תפעוליים וכו'. למיסעות הנ"ל יש בד"כ ציפוי אספלט, אבנים משתלבות וכד'. ניקוז השטחים הנ"ל מתבצע בעזרת מתקנים מתאימים – מתקני ניקוז מיסעות.

כללים לתכנון מתקני ניקוז מיסעות:

- כל המתקנים יהיו בהתאם לתקנים הקיימים, הנחיות תכנון, פרטים סטנדרטיים, והמפרטים- הכללי והמיוחד ובהתאם לעדיפויות שנקבעו ביניהם.
- השיקולים שנדרש לקחת בחשבון בבחירת חלופות תכנון הם עלות התקנה, עלות תחזוקה, נגישות ובטיחות תחזוקה, הפרעות לתנועה בעת תחזוקה וכד'.
- אין למקם מתקנים במעברי חציה להולכי רגל אלא לפני.
- בתחנות אוטובוס תפיסת מים מתבצעת לפני התחנה. אם נדרש ניקוז לאורך התחנה – מומלץ להשתמש באבן שפה מנקזת.
- שימוש בקולטנים במרחק מינימאלי גבולי יקבע ע"י השוואה כלכלית למתקן האורכי.
- בשיפועים קטנים מ-0.4% יש לקחת בחשבון התקנת אבני תעלה.
- באופן כללי מרחק מרבי בין מתקנים נקודתיים לא יעלה על 80 מ' (מפרשת המים), למאט מקומות לגביהן צוין אחרת בהנחיות תכנון.
- בשקעים מוחלטים נדרש לתכנן מתקן גלישת חרום/עודפים.
- רוחב הזרימה המרבי המותר (T) לאורך מעקות בטון או אבני שפה :
רוחב זרימה 0.6- מאבן השפה בהסתברויות גשם 10%, בהסתברויות 4% רוחב זרימה יכול להגיע עד 1.50 מ'.
- בקביעת רוחב זרימה יש להתחשב בעומק מים אשר לא צריכים לגלוש מעל אבן השפה.
גובה מים מרבי לתכנון ליד אבן שפה:
עבור אבן שפה בגובה 15 ס"מ- עומק מים מרבי מותר 12 ס"מ.
עבור אבן שפה בגובה 8 ס"מ- עומק מים מרבי מותר 6 ס"מ.
מקומות, בהם קיימת חובה לשים מתקני קליטה ללא תלות בגורמים אחרים:

- בשקעים
 - במעלה של גשרים ובמורד אם אין המשך של אבן שפה
 - במעלה הצטלבות כבישים (צמתים)-לפני הצומת
 - במעלה של מעברי חצייה
 - במורד/קצה קטע אבן שפה
- חישוב מתקנים לקליטת נגר ממיסעות של מעצ והנחיות תכנון בהרחבה ראה הנחיות תכנון של החברה הלאומית לדרכים.

7.2 תכנון מגלשים

תפקיד המגלש לחבר בין ריכוז נגר במפלס גבוה למוצא הניקוז במפלס נמוך. אורכו של המגלש בין מטרים ספורים ועד עשרות מטרים. המגלש הינו פרט קונסטרוקטיבי הנושא את עצמו גם במקרה של חתירה מתחתיו. מגלש עשוי בד"כ מבטון מזוין, משוקע מתחת לפני המדרון כ-5 ס"מ. גמר המגלש – עפ"י הנחיות אדריכל נוף. רצפת המגלש תהיה מחוספסת עם פיגמנט לקבלת צבע בגוון קרקע או מאבן מושקעת בבטון. חשוב להקפיד שהקצה המורדי של המגלש יהיה ברום בסיס הניקוז באותו מקום ושאינ שיפוע ארוזיבי בהמשכו.

השימוש במגלשים נעשה לשם ניקוז נגר ממיסעות, משטחים ודרכים, ניקוז ברמות, ניקוז נגר חיצוני כאשר המסילה או מיסעות אחרות הינם בחפירה באדמות ארוזיביות. במקרה אחרון בראש המגלש מתוכננת סוללה, שתפקידה לרכז את הנגר החיצוני ולכוון אותו לפתח המגלש. גובה סוללה, גודל פתח כניסה למגלש וחתך רוחב של המגלש לאורכו יש לחשב על פי גודל ספיקת תכן חיצונית. הסתברות תכן במקרה זה הינה 5%. פרטי מגלשים ראה בפרטים סטנדרטיים.

7.3 מערכות תיעול עירוני.

תיעול עירוני כהגדרתו כאן הינה מערכת בכל מקום המורכבת מקולטנים וצנרת הולכה.

7.31. צינורות ומובלים.

- צינורות, שוחות ושאר מתקנים יהיו בהתאם לתקנים הקיימים, מפרטי לעבודות ניקוז רכבת ישראל והיצרן (המחמיר ביניהם).

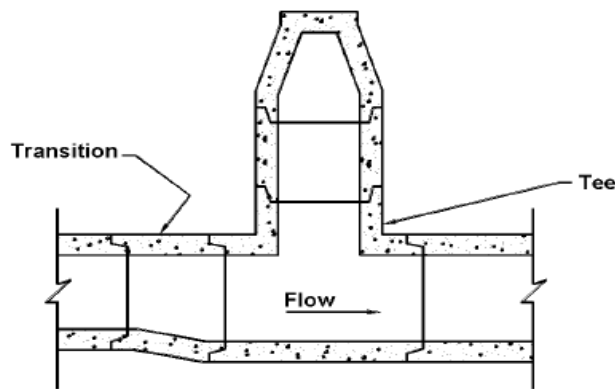
- בחישובים הידראוליים של קולטנים יש לקחת בחשבון את אחוז הסתימה ע"י סחף בשיעורים כדלקמן: בשקעים 50%, בשיפועים אורכיים 30%.
- מערכת ניקוז סגורה תהיה מצינורות המיועדים לקווי לניקוז, בהם נדרשת אטימות למים. כל החיבורים לתאים יהיו גמישים ואטומים.
- סוג הצינור, הכנת תשתית וצורת הנחתו יקבעו ע"י המתכנן ניקוז ויועץ קרקע בהתאם לעומס נייד, עומק הנחה, סוג הקרקע וכ"ד (פרט לקטעי חציית מסילות).
- קוטר מינימאלי של צינור בודד מתא קליטה יהיה 40 ס"מ. קוטר מינימאלי של צינורות כחלק ממערכת התיעול יהיה 50 ס"מ. במקרים חריגים ניתן להשתמש בצינור פלדה בקוטר 14" או בצינור פי. וי. סי. קשיח (לפי ת"י 532) בקוטר 355 מ"מ.
- יש לדאוג לשיפועים ומהירויות זרימה מספיק גדולים לשם ניקוי עצמי של המערכת. השיפוע המזערי בצינורות יהיה 0.2% או שמהירות הזרימה המזערית תהיה גדולה מ- 0.6 מ/שנייה כאשר עומק הזרימה שווה ל-25% מקוטר הצינור, המחמיר בין השניים.
- בחיבור של מערכת מתוכננת למערכת קיימת (לדוגמה, למערכת עירונית), יש לבדוק התאמת המערכת החיצונית הקולטת לתכן תכנון של רכבת ישראל.
- הקריטריונים לגבי צינורות תקפים גם לגבי מובלים- עגולים או מלבניים. מהירות זרימה מקסימאלית בצינורות ומובלי בטון – 8.0 מ'/שנייה. עומק מים מרבי בצינור / מובל – 0.9 מקוטר הצינור / המובל.
- בחישובי מערכת ניקוז יש לבדוק אפשרות תפקוד המערכת תחת לחץ מים.
- יש לבצע חישוב עקום פני מים לאורך מערכות הובלה כולל ניתוח הפרעות מקומיות בשוחות.

7.3.2. תאי בקרה ותאי קליטה

- תפקידם לאפשר תחזוקה והתוויה של מערכת התיעול.
- תכנון תאים יש להתאים למידות וסוגים של צינורות, עומק, סוג של הקרקע ומיקומה (שטח פתוח, כביש או מקום אחר).
- יש לתת עדיפות לשימוש בתאים טרומיים. במקרים של חוסר במידות מתאימות יש לתכנן תאים יצוקים במקום.
- חיבורי צינורות לתאים יהיו גמישים ואטומים לפי דרישת אטימות של קו הצינורות בהמשך, יש להשתמש באביזרי היצרן (אטמים וקטעי צנרת) המתאימים ומאושרים.

- התחברות בין שני קטעים של מערכות בגרביטציה בתוך השוחות מתבצעת באחד משלוש שיטות המוצגות בנספח מס' 3.

מומלץ לתכנן שוחות אינטגרליות שאינן יוצרות הפסדי עומד בשוחה במיוחד במהירויות זרימה גבוהות, משום כך יש להשתמש בהן בכל מקום אפשרי.



תרשים שוחה אינטגרלית:

מקומות בהם קיימת חובה להתקין שוחות ללא תלות בגורמים אחרים:

- התחברות שני צינורות ויותר.
- שינוי קוטר צינור.
- בעיקול או שינוי כיוון מעל 5 מעלות .
- שינוי שיפוע.

מרחק מרבי בין שוחות בקרה:

- קוטר צינור עד 60 ס"מ - 60 מ'
- קוטר צינור מ- 80 ס"מ עד 100 ס"מ - 100 מ'
- קוטר צינור מ- 100 ס"מ עד 150 ס"מ - 125 מ'
- בתכנון מאספי ניקוז מלבנים יש לתכנן פתחי בקורת לפחות כל 60 מ'.

מבחינת תחזוקה מבדילים בין שני סוגי שוחות - ללא או עם מקום לשיקוע סחף, כאשר הסוג השני דורש תחזוקה תמידית (ריחות, יתושים וכד'). עבור ניקוז משטחים ללא ציפוי קשיח, שטחים מגוננים וכ"ד יש לתכנן שוחה עם תחתית מונמכת בכ- 30 ס"מ עבור שיקוע סחף גס. בשוחות משטחים מיוצבים אין לתכנן ההנמכה הנ"ל, אך כן יש ליצור בשוחה תנאי זרימה רציפים ובלתי מעורערים דוגמת שוחה אינטגרלית (לתכנן איבוד התחתית). גובה העיבוד (בנצ'יק) יש לתכנן לפחות 0.5 מקוטר הצינור (ראה פרטים סטנדרטיים).

קולטנים

תאי-קליטה/קולטנים יהיו בעלי מספר רשתות קליטה עם או בלי אבן שפה מברזל יציקה כפי שיוגדר בתוכניות ו/או במפרט הטכני המיוחד. קולטן צמוד לאי-תנועה יהיה עם אבן שפה/פתח צד משופעים.

בקולטנים ליד מדרכות מומלץ להעדיף שימוש בקולטן ראשי רדוד. הקולטן ימוקם כך שרשת הניקוז תהיה ברום 3 ס"מ מתחת לרום פני האספלט הסופיים. רשת הקליטה תהיה בעלת נתונים תקינים על פי הנדרש ב-ת"י 489, כולל קולטנים שיידרשו כקולטני שטח (גינון) או קולטני גשר (כל מקום והדרישות שלו).

כל המרכיבים הנוספים לרשתות (מסגרת ואבני צד מיצקת) תהיינה מתאימות לדרגת עומס של הרשת עצמה לפחות, גם כאשר התקן הקיים לא חל עליהם.

בצד האחורי של אבן השפה מיציקה יש לצקת גב מבטון מזוין שיקושר לגוף הקולטן באמצעות עוקצים. אבן השפה תעוגן לגב הבטון באמצעות מסמרות שתרוכנה לפלדת הזיון, הכול על מת להבטיח הישארותו באופן יציב במקומו.

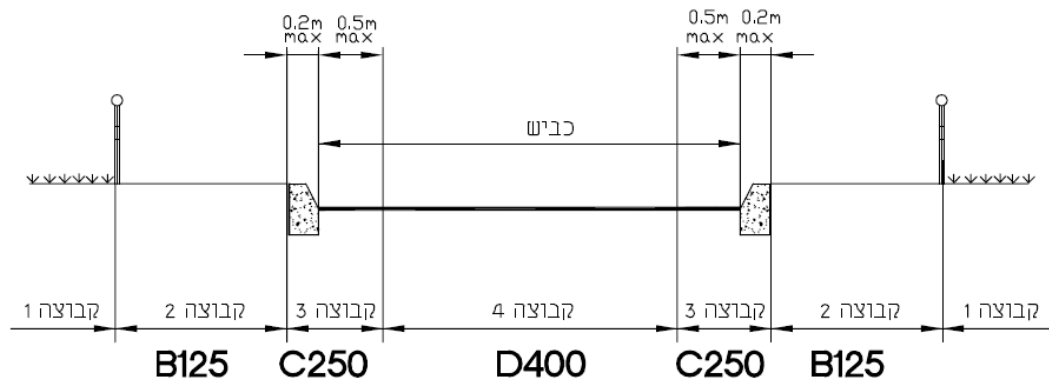
מכסים בתאי ניקוז.

- תקן למכסים ופתחי ניקוז.

התקן למכסים ולפתחי ניקוז בישראל הוא תקן רשמי מס' ת"י 489 (2003).

- מיון המכסים ופתחי ניקוז בהתאם למקום ההתקנה.

יש לבחור מין מכסה בהתאם לאזורי השימוש-מדרכה, מגרש חניה, כביש, שוליים ועוד. להלן חתר אופייני של דרך, עם ציון מקומות של כמה מקבוצות ההתקנה (סעיף 5 –ת"י 489).



- בחירת קוטר המכסה.

פתחים עם מכסים לתאי בקרה, שתוכננו לאפשר כניסת אדם, יתאימו לדרישות הבטיחות. בדרך כלל מקובל קוטר של 600 מ"מ לפחות. (סעיף 7.3-ת"י 489).

- קביעת הסגר/ הרשת בתוך המסגרת

הסגר/הרשת ייקבעו בתוך המסגרת בהתאם לתנאי התנועה הרלוונטיים (סעיף 7.8-ת"י 489). לצורך זה יש לתכנן מכסים עם סידור נעילה. סוג הנעילה יש לקבוע בתכנון מפורט.

המכסים יהיו מיצקת ברזל או מטבעת יצקת עם מילוי בטון (ב.ב.). על המכסים תהיינה מוטבעות הכתובות: "רכבת ישראל", "שם היצרן", מספר הדגם "שנת ייצור (בציון השנה)" וכינוי "ניקוז", על פי דוגמה המצויה במפרט מיוחד.

המידה בין תחתיות התקרות של שוחות/תאי-בקרה לבין המכסה, כולל ה"צווארון", לא תעלה על 40 ס"מ בכל מקרה.

בכל מקרה יותאמו במדויק הרום והשיפוע של פני המכסים לרום ולשיפוע של המיסעה ו/או המשטחים המרוצפים. ההתאמות הנ"ל יעשו מבטון מזוין על פי המפרטים שצוינו לעל.

כל המרכיבים של השוחות יתוכננו לעומסים שבתקן בהתאם למיקום השוחה, זאת גם כאשר אין תקן שדורש זאת.

סולם לירידה לשוחה/תא-בקרה

בכל שוחה/תא-בקרה יותקן סולם משלבי-ירידה במרחק אנכי של 33.3 ס"מ ביניהם (3 שלבים לכל 1 מ' עומק של השוחה/תא). השלבים והתקנתם יתאימו למוגדר בתקנים הישראליים העניינים.

בעומקים הגדולים מ-3.75 מטר יותקן סולם מפלב"ם 316L או פיברגלס, אלא אם יידרש אחרת במפרט הטכני המיוחד.

פרק 8-ניקוז מבנים מיוחדים

8.1 ניקוז גשרים

כללי

- קיימים נושאים מיוחדים רלוונטיים לגשרים בלבד. להלן מספר נקודות ספציפיות לגשרים:
- יש להשתמש בקולטנים שמתאימים לניקוז גשרים.
 - באופן כללי יש למנוע ככל האפשר זרימת מים מרוכזת לאלמנטים של הגשר (קורות פנים וחוף, אזור נציבי קצה ופלטות גישה),
 - מניעת זרימות ממיסעה דרך פתחים במעקות, ממתקני קליטה וממערכת תיעול (צינורות).
 - נקודת המוצא צריכה להיות במקום שלא תהווה מפגע לגשר, שימושי שטח מתחת לגשר, בעיה בטיחותית או פגיעה במראה הגשר.
 - יש להקטין ככל האפשר זרימות נגר לתפרים, תעלות כבלים/קשר שבמעקות וכד'.
 - יש למנוע זרימת מי גשם מי הגשרים לשטחים הציבוריים כמו כבישים, מדרכות, שבילים וכד'.
 - נגר מצטבר לפני הגשר יש לסלק ע"י מגלשים וכ"ד על מנת למנוע זרימתו על פני מיסעת הגשר.

8.1.1 ניקוז גשרים עם מיסעות.

כעיקרון, מבחינה הידראולית ניקוז הגשרים זהה לניקוז מיסעת הכביש.

חישוב ספיקות תכן מקובל לבצע לפי נוסחה רציונאלית כאשר מקדם ספיקת שיא $C=1$ ועוצמת גשם תכן לפי זמן ריכוז – 5 דקות (על פי המלצות CALTRANS) והסתברות תכן של 2% (עוצמת גשם בקליפורניה נקבעה ל-127 מ"מ/שעה).

מומלץ להגביל ספיקות מצטברות בין נקודות ניקוז עד $Q=0.02$ מ"ק/שנייה, רוחב זרימה מרבי (T) כרוחב השול.

תכנון הולכת הנגר לאורך הגשר, גודל הקולטנים והמרחקים ביניהם נעשה על פי אותן נוסחאות חישוב כמו של ניקוז מיסעות.

בתכנון דרכים כגון הפרדות מפלסיות יש לתכנן ניקוז מיסעות כבישים לפי הנחיות מעצ.

8.1.2 ניקוז גשרים של רכבת

פרק כללי של סעיף 8.1 חל גם על גשרי רכבת, בחלקים הרלוונטיים.

מי גשם ינקזו מפני הגשר באמצעות תעלות ונקזים אנכיים.

חלק התחתון של הנקז יתוכנן בצורה המבטיחה אי הרטבת פני חלק תחתון של מבנה הגשר, ואלמנטים אחרים הממוקמים תחתיו. לצורך הגנת פני אלמנטים כנ"ל (קורות,

קונסולות, ראשי נציבים וכד') מהרטבה יתוכננו מערכת הולכה של המים מהקולטנים ואף מים.

בגשרי רכבת עם חצץ, קוטר הנקזים לא יפחת מי 150 מ"מ, כמות הנקזים תחושב בצורה שהיחס בין שטח נקזים לשטח הגשר יהיה 1:2000. במפתח הגשר יהיה לפחות 3 נקזים. שיפוע רוחבי מינימאלי 2%.

8.2. ניקוז מנהרות הרכבת

על מנת להקטין ככל הניתן את כמות הנגר, המגיעה לתוך המנהרה, הניקוז יתוכנן כך שמי הנגר העילי ינוקזו לפני כניסתם למנהרה.

מקורות המים שיש צורך לנקזם בתוך המנהרה הם כדלקמן:

- דליפה דרך קירות ותקרת המנהרה, עיבוי מים.
- מי נגר עילי (גשם ישיר מעל לפתחים) בקטעים הפתוחים של המנהרה,
- מים ממערכת כיבוי אש או מקור אחר.

מערכת הניקוז המתוכננת בתוך המנהרה יכולה לכלול חלק מהרכיבים הבאים:

- שקע ברצפת הבטון לצורך איסוף מים, שיפוע תעלול אמור להיות לפחות 3%.
- צינור ניקוז שרשורי מחורר, שבהמשכו צנרת ניקוז אל תעלות חיצוניות או לתחנת השאיבה במידה והמנהרה נמצאת בקטע משוקע.
- מערכת גרביטציונית, תעלות פתוחות או מערכת ניקוז סגורה, תעלות או צינורות.
- תחנת שאיבה עם מאגר לריכוז הנגר.
- אין להעביר תעלות או צינורות ניקוז מתחת למסילות
- מאספי מים צריכים לכלול תאי ניקוי כל 50 מ' לפחות.
- במקרים של העברת רכבות משא במנהרות יש לתכנן כל 280 מ' לפחות תאים עם סיפון למניעת ההתפשטות חומר דליק.
- יש להקטין ככל הניתן את כמות הנגר, המגיעה לתוך המנהרה דרך פורטל כניסה רכבת למנהרה, יציאות חירום, פתחי אוורור ועוד. במקרה של כניסת מי גשם לתעלת ניקוז של מנהרה, חישוב חתך התעלה צריך להיות להסתברות 0.33%.
- בכל מיקרה גובה מים מקסימאלי בתעלות ניקוז צריך להיות לפחות 0.7 מ' רום פסי רכבת.

- במקומות הנמוכים של מהמנהרות, כאשר אין אפשרות לנקז מים בגרביטאציה, יש לתכנן מאגרי איסוף מים לנפח גאות שיטפון תכן. חישוב ייעשה לפי הידרוגרף תכן. תכנון תחנת שאיבה יש לבצע בהתאם להנחיות מעצ לתכנון תחנות שאיבה למי גשם בקטעים משוקעים.
- התחנה יכולה להיות הממוקמת מול הנקודה הנמוכה ביותר בתוך המנהרה, במגרעת שבדופן של המנהרה או במקום מיוחד (כדוגמה חיבור בין שני מנהרות). תחנת השאיבה סונקת את המים מהמנהרה אל מערכת ניקוז חיצונית. בתכנון בית המשאבות יש לבדוק כשר הולכה של מערכת הניקוז חיצונית.

8.3 ניקוז תחנות נוסעים

לאורך המסילות מתוכננות תחנות רכבת, בה מכלול מרכיבים המשרתים את הנוסעים ומאפשרים תפקוד הרכבות בסופו של דבר.

המרכיבים העיקריים של התחנה הם: מבנה תחנה, רציפים, מסילות, מעברים תת קרקעיים להולכי רגל, חניה למכוניות פרטיות וכ"ד.

פתרונות ניקוז צריכים לתת מענה שלם לתפקוד התחנה בזמן גשמי תכן ללא שום הפסקה בפעולות התחנה ולמנוע נזק לנוסעים ולמתקני הרכבת.

השטחים המנוקזים בזמן הגשם הם: גגות ורציפים של התחנה, מבנה של מסילות בין הרציפים ושטחים אחרים מעבר למבנה התחנה. פרק זה מתייחס לתכנון מרכיבי ניקוז של התחנה על מרכיביה. ניקוז מגרשי חנייה וכבישי גישה לתחנה ראה פרק 7.

בתכנון הניקוז בשטחים הנ"ל יש לבחון אפשרויות של ניהול נגר למען הקטנת ספיקות / כמויות מים וסחף.

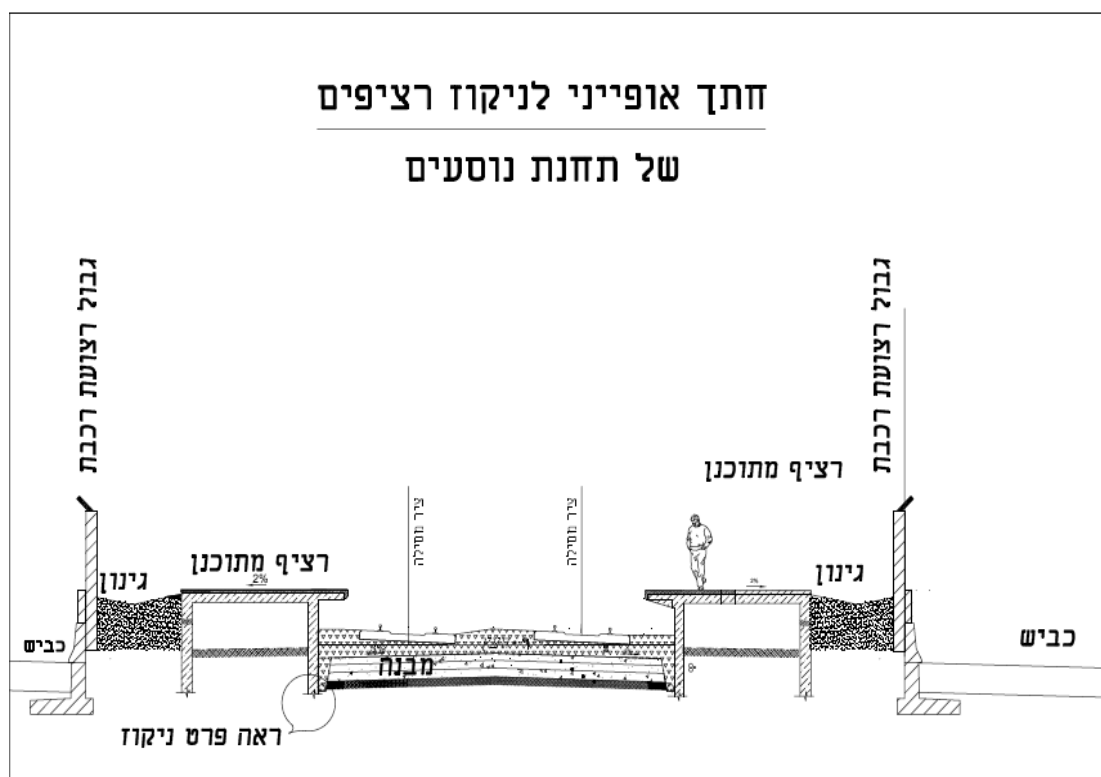
8.3.1 היבטים מיוחדים בתכנון ניקוז רציפים ותחום המסילות

מערכת ניקוז של רציפים תהיה מחוברת לקווי ניקוז הכללים של התחנה. במידת הצורך ניתן לחבר ניקוז הרציפים אל נקז תחום/מבנה המסילה. יש למנוע זרימה חופשית של מי נגר למבנה המסילה 8.1 ו-8.2.

ניקוז מבנה המסילה בין הרציפים בדרך כלל מתוכנן ע"י צינורות ניקוז מחוררים, מונחים בתעלה עם מילוי חצץ (ראה פרט בציור 8.2). מיקום ועומק הצינור צריכים להבטיח סילוק מסודר של המים ממבנה המסילה ואפשרות טיפול בו ותחזוקה. קוטר מינימאלי של צינור ניקוז הינו 150 מ"מ או גדול יותר בהתאם לחישובים, שיפוע מינימאלי של צינור ניקוז 4%

לצורך ניקוי הצינור יש לתכנן תאים לאורך הצינור כל 100 מ' לפחות. מידות התאים אמורים להיות מינימאליים על מנת למנוע כל הפרעה לתחזוקת המסילות אך לאפשר ניקוי ובקרה.

אין לחבר בשום אופן מים מגגות התחנה למערכת ניקוז של מבנה המסילות. במידה וקיים / מתוכנן גיבון לאורך הרציפים ניתן לנקז את הרציפים לשטח המגוון. חתכים אופייניים :

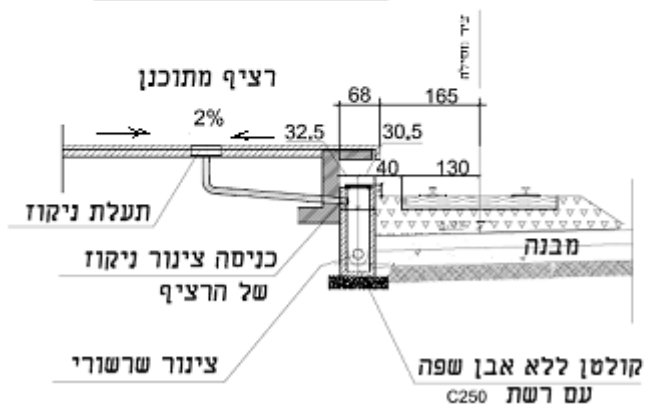


ציור 8.1

חיתוך אופייני לניקוז רציפים

של תחנת נוסעים
(פרטים לדוגמה)

פרט הנחה צנור ניקוז



פרט הנחה צנור ניקוז



ציור 8.2

פרק 9- תכנון מערכות ניקוז תת-קרקעיות

כללי:

לעודפי רטיבות עלולות להיות השפעות שליליות על התכונות ההנדסיות של הקרקע, במיוחד בקרקעות חרסיות. הן הופכות להיות בלתי יציבות, טופחות בהרטבה ומתכווצות בתהליכי הייבוש.

ברטיבויות גבוהות, חוזק הקוהזיה קטן ואיתו קטן החוזק לגזירה. סיבולת הקרקע קטנה ונטייתה לחוסר יציבות ושקיעה גוברת והולכת. ההליך פוגע בתשתית המיסעות ועקב כך עלולים להיווצר שקיעות וסדקים בפני המיסעה ו/או חוסר יציבות המדרונות של סוללות. הקטנת עודפי הרטיבות לשם הבטחת תשתית יציבה ניתן להסיג בין היתר באמצעות מערכות ניקוז תת-קרקעיות.

מערכות ניקוז תת-קרקעיות פועלות אך ורק כאשר קיים עומד מים בתת הקרקע. כלומר כאשר מאבחינים מים הנעים באופן חופשי בתווך הנקבובי של הקרקע. כל עוד לא מתקיים תנאי זה מערכות הניקוז התת-קרקעית לא תפעלנה ויש לייצב את התשתית בשיטות אחרות.

9.1 סוגי מים תת-קרקעיים.

מפלס מים פראטיים ייוצר בקרקע כאשר קיימת בתת הקרקע שכבה נושאת מים. השכבה יכולה להיות שכבה אטימה בעלת מוליכות הידרולית הנמוכה מ- 6 מ"מ/שעה או בפן המעבר בין שתי השכבות, כאשר מוליכותה של העמוקה יותר תהיה נמוכה בלפחות סדר גודל אחד (נמוכה פי 10) מזו שמעליה. במקרה ההפוך עשויה להיווצר רטיבות גבוהה ביותר בקרקע (עד כדי רוויה של 99.99%), ללא יצירת מים זורמים בקרקע.

מפלס מים בלחץ (מים ארטזיים) ייוצר בקרקע כאשר קיימת בעומק הקרקע שכבה הנושאת בתוכה מים בלחץ. מים אלו עוברים את שכבת הקרקע הכולאת את המים (בדרך כלל שכבה חרסיתית) ומגיעים בלחץ עד לשכבות הקרקע העליונות. מים הפורצים מדופן קו החפירה – אופייני למצב תשתיות במצב משוקע ו/או בחציבה.

9.2 בחינת הצרכים.

יש להבחין בין מערכת ניקוז שמטרתה למנוע מהמפלס האזורי (פראטי או ארטזי) מלהגיע אל שכבת שתית או מצע לבין מערכת שנועדה לנקז את שכבת המצע עצמה, ממים שהגיעו אליה ישירות מגשם הנופל על המיסעה ו/או ממקור אחר כל שהוא.

סקר קרקע (טקסטורה, סטרוקטורה, שכבתיות, מוליכות, נקבוביות)

סקר הקרקע יבוצע בהתאם ל"הנחיות תכנוניות לתכנית המבנה התחתון והעליון של מסילות ברזל" (חלק ב) ומפרט מיוחד של מתכנן הניקוז. רצוי לבצע את הסקר במועד הסמוך לתום תקופת הגשמים (סוף פברואר עד אמצע מרץ). באזורים קריטיים ובמיוחד באלו בהן קיימת תופעה ארטזית ו/או זרימת מים צדית, יש לבצע סקר נוסף לפני עונת הגשמים (בחודש ספטמבר).

סקר מי תהום (מפלסים, לחצים, תקופות):

סקר מי התהום חייב להיערך טרם התכנון, והוא כולל: קיומו של מפלס פראטי, רומם והשנויים החלים בו במהלך השנה. הבדיקה נעשית באמצעות קידוחי תצפית (הפיאזומטר – ראה "הנחיות תכנוניות לתכנית המבנה התחתון והעליון של מסילות ברזל" (חלק ב)). מדידת מים בלחץ (מים ארטזיים) חייבת להיערך לפני תקופת הגשמים, במהלכה ובתום תקופת הגשמים, לשם בחינת קיומם של מי לחץ בקרקע, עומקם, ערכם, כיוונם והשינויים החלים במהלך השנה. הבדיקה נעשית באמצעות פיאזומטרים בעלי פתח יחיד בתחתיתם, המוחדרים לקרקע לעומק השכבה הרוויה. פיאזומטרים בעלי פתח יחיד בתחתית הם צינורות שאינם מחוררים. שיטת החדרתם המועדפת היא באמצעות הקשה, כלומר באמצעות מכות הלמניה על ראשם, באופן כזה שסביבתם הקרובה לא תופר. קדיחה והכנסתו של הפיאזומטר בקידוח, פחות מומלץ אבל אפשרי, במיוחד כאשר נדרש עומק החדרה גדול מאוד. את הפיאזומטרים מתקינים באשכולות "נקודתיים" בעומקים שווים. הפרשי העומדים הנמדדים בתוך האשכול מצביעים על כיוון הזרימה האנכי ועל קיומו או אי קיומו של לחץ ארטזי. הפרשי העומדים הנמדדים בנקודות שונות במרחב, ובעומק זהה מצביעים על כיוון הזרימה האופקי.

9.3. סקר מקורות המים וכיווני זרימתם.

הסקר מתבצע באמצעות הפיאזומטרים. זרימה כלפי מעלה בלחץ (ארטזית) מתבטאת בעובדה שהעומד הפיאזומטרי גבוה מהעומד החופשי. כמו גם העומד הנמדד בתוך אשכול פיאזומטרים, אם רום של הפיאזומטר העמוק יותר גבוה מזה של הרדוד יותר- הדבר מעיד על כיוון זרימה כלפי מעלה. במקרה זה מקורות המים בשכבה בעומק ויש לטפל בנושא הניקוז של השכבה הזו.

כאשר העומד הפיאזומטרי זהה לעומד הפראטי ו/או כאשר בפיאזומטר העמוק באשכול נמדד לחץ נמוך יותר מזה שבעליון, הדבר מעיד שאין מקור מים בלחץ ושהזרימה היא

כלפי מטה. כלומר, שמקור הזרימה הוא עילי והמפלס הפראטי נשען על שכבה פחות חדירה בעומק הקרקע.

9.4. המוצאים (מיקומם, רומים, התאמתם ושילובם במערכות ניקוז כוללות).

המוצאים הם קצות צינורות מערכת הניקוז התת קרקעית. בסופו של דבר מים חייבים להגיע למערכות ניקוז אזוריות או מקומיות, הקיימות. המוצא יכול להתחבר אל צינור ניקוז קיים, שסופו במערכות ניקוז פתוחות קיימות (תעלות ניקוז ו/או נחלים מוסדרים או טבעיים) או ישירות למערכות ניקוז פתוחות קיימות. את המוצא לאפיקים פתוחים חייבים לעגן במקום יציאתו ולסמן אותו בצורה בולטת. כאשר המוצא מתחבר אל צינור תת-קרקעי, יש לעשות זאת דרך תא ביקורת.

על מנת להבטיח תפקוד תקין של מערכת ניקוז תת-קרקעית יש לוודא:

- * שרום המוצא יהיה מעל רום קרקעית המערכת הפתוחה הרלוונטית מינימום 40 ס"מ – למטרות תחזוקה ומניעת סתימות;
- * אי טיבוע של המוצא בספיקות תכן. במידה וכן יש לתת את הדעת לפרק זמן ההפרעה ולהתקין שסתום אל – חוזר בהתאם.
- במידה ואין התאמה חייבים ליצור אותה:
- * העמקת תעלות המוצא בין אם זה תעלת הרכבת או מערכות תעלות אחרות.
- * חיבור המוצא באמצעות צינור תת-קרקעי אטום, בכיוון השיפוע הכללי עד לנקודה בה לא קיימת המגבלה.
- יש להעלות על מפה את מתווה מערכות הניקוז הקיימות, במיוחד את תנוחתן ואת עומקן (רום תחתיתן ורום המים הזורמים בספיקת התוכן שלהן).

9.5. קביעת שיטת הניקוז.

שיטת הניקוז נקבעת על פי ארבעה שיקולים עיקריים:

- מקור המים- מי גשם החודרים בפני הקרקע, מי תהום רדודים, מי תהום עמוקים/ארטזי, או זרימת מים המגיעים מהצד,
- עומק השכבה הרוויה - רדודה או עמוקה,
- מידע על שיכוב הקרקע,
- מוליכותן של שכבות הקרקע ונקבוביותן האפקטיבית.

מקור עילי:

כאשר מקור המים הוא הגשם בלבד ללא כל מפלס מי תהום ברום המשפיעה על יציבות הסוללה, הפתרון המועדף הינו באמצעות תעלות, או צנרת ניקוז תת-קרקעי עקב מגבלות המקום.

• מקור תת-קרקעי רדוד (עומקים עד 5 מ'):

כאשר מקור המים הוא הגשם בלבד ונוצר מפלס מי תהום ברום די גבוה, הפוגע ביציבות המסילה ועומקה של השכבה האטימה (נושאת המים) אינו עולה על 5 מ'.

הניקוז יכול להתבצע באמצעות נקזים תת - קרקעיים (צינורות) ו/או תעלות עמוקות. בכפוף לתנאי השטח ולטופוגרפיה. עומק מרבי מוכתב ע"י הכלים לביצוע הנקזים ולכן במצבים מסוימים תהיה זו הורדת מפלס עליון בלבד.

מקור תת קרקעי עמוק:

כאשר מקור המים הוא שכבה מוליכה עמוקה, בה מצויים המים בלחץ, קיימת זרימה כלפי מעלה ואין כל אפשרות להטמין נקז בתוכה עקב העומק. נקז תת קרקעי מוטמן בעומק המרבי האפשרי כמתואר בסעיף הקודם. בנוסף מוסיפים ארובות חצץ - קידוחים במקדח כלונסאות לעומק השכבה המוליכה, הממולאים בחצץ עד לרום של לפחות 1 מ' מעל לרום הטמנת הנקז, כך מחברים את הנקז לשכבה המוליכה. רווחים בין הארובות כ- 20 - 50 מטר בהתאם לתנאי השטח ותכונות הקרקע.

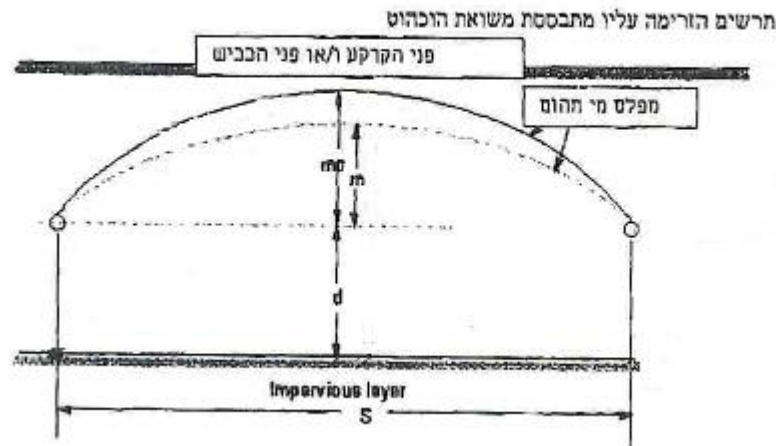
9.6. נקז צידי.

נקז צידי- מאחז -הינו נקז בודד המותקן כאשר קיימת זרימה צידית מובהקת, במיוחד כאשר התוואי עובר בתור חפירה. נקז זה נועד להוסיף יציבות למדרון חפור או מדרון במילוי, זאת כאשר המים התת-קרקעיים הינם בקרבה לרגל המדרון, ומסכנים את יציבותו. הנקז מותקן לאורך רגל המדרון בשכבה המוליכה, לעיתים מתחת לתחתית התעלה.

9.7. חישוב נקזים.

כללי 9.7.1

מקובל להשתמש במשוואת הוכהוט לחישוב פרמטרים של ניקוז תת-קרקעי כאשר הוא תואם לתרשים הבא.



ניתן לרשום את משוואת הוכחות בצורה הבאה:

$$q = (8Kmd/S^2) + (4Km^2/S^2)$$

כאשר:

q – מקדם הניקוז/ ספיקה סגולית, מ"מ/יום

K – מוליכות הידראולית, מ"מ/יום

m – גובה המרבי המתוכנן של מפלס פני המים מעל הנקזים, (מטר)

d – עומק השכבה האטימה מתחת לרום הנקזים, (מטר)

S – מרווח בין נקזים, (מטר)

מתוך משוואה זו ניתן לחלץ כל אחד מהמשתנים כאשר כל האחרים ידועים. ניתן לקבוע עומק נקזים ומרווחם כאשר ידועה המוליכות ההידראולית ועומקה של השכבה האטימה יחסית ולחשב את מקדם הניקוז.

חישוב במצב זרימה אופקית.

9.7.2.

מצב זרימה אופקית אופיינית עבור ניקוז שכבות המבנה.

ניקוז שכבות המצעים איננו אפשרי בכל מצב. על מנת לנקז שכבות המצעים עובי השכבות אמור להיות גדול מערך פריצת אוויר, דהינו עומד בו מתחילה זרימת מים מתוך שכבות. ניתן להתגבר על הבעיה ע"י הטמנת הנקז בעומק גדול יותר ויצירת קשר מוליך בין השכבות לנקז.

חישוב הספיקות במצב זה יהיה על פי נוסחת פוקוזה, שהיא משוואה לינארית

$$q = 1.5K \times h/l$$

כאשר h – עומק הנקז מתחתית שכבות המצע, מטר

l – מחצית המרווח שבין הנקזים/רוחב שטח מנוקז, מטר

K – מוליכות הידראולית, מ"מ/יום

כאשר חושבה ו/או נקבעה הספיקה הסגולית, המוגדרת כמקדם הניקוז, חישוב הספיקה של הנקז הינה מכפלת השטח המתנקז בערכה של הספיקה הסגולית. כלומר

$$Q = q \times S \times L$$

כאשר Q – הספיקה הזורמת בצינור הניקוז, במ"ק/שעה

q – מקדם הניקוז, מ"מ/שעה

L – אורך קטע הנקז במטרים, כלומר הספיקה משתנה לאורכו של הצינור.

S – מרווח בין נקזים/ רוחב שטח מנוקז, (מטר)

חישוב ספיקה נעשה ליחידת אורך צינור שנקבעות מראש בהתאם לתרשים מערכת ניקוז. חישוב קוטר של הצינור הניקוז (אשר משתנה בנקזים ארוכים) באמצעות הנוסחה הבאה:

$$D = (Q/C)^{0.38} \times J^{-0.205 \times 298}$$

כאשר:

D – קוטר צינור הניקוז, מ"מ

C – מקדם החיכוך בצינור (הנחה ראשונה 100-110 C)

J – שיפוע הצינור, פרומילים-%.

מאחר וקוטרי צינורות הניקוז הם סטנדרטיים – יבחר תמיד נקז שקוטרו גדול מהקוטר המחושב.

קביעת רום המים הרצוי וקצב הורדת המפלס.

9.8

רום המים הרצוי להורדה ע"י נקזים וקצב הורדת המפלס יקבעו ע"י מתכנן מבנה .
רום זה יקבע אם העלייה הקפילרית תגיע עד המצע ותגרום לפגיעה בתסבולת המצעים.
גובה העלייה הקפילרית מותנה בסוג הקרקע ומבנה הטבעי ו/או בשינויי המבנה שנבעו מפעולות הכנה מקדימות כמו החלפת הקרקע ו/או הידוק מבוקר – נתונים שברשותו של מתכנן המבנה.

קביעת קצב הורדת המפלס גם הוא מותנה בסוג הקרקע הטבעית, בסוג מצע ובסיבולת לרווית יתר.

החלטה בדבר מיגון צינור הניקוז – מיגון מכני ע"י חצץ בעובי של 15 ס"מ מעל לרום קמר הצינור, מומלץ בכל מקרה. מיגון זה מונע מעיכה, מאפשר "גילוי" קל יותר של הצינור וגרימה מזערית אפשרית של נזק לצינור, אם וכאשר נוצר הצורך לגלות אותו כחלק מפעולות התחזוקה. שכבה זו גם מגדילה את החתך האפקטיבי של הזרימה ומאפשרת התגברות על תקלות נצפות ובלתי צפויות.

מיגון כנגד סתימה (פילטר חצץ ו/או גיאוטקסטיל), נדרש בקרקעות חול ו/או בקרקע בלתי קשירה. הפילטר חייב להיות תואם להרכב המכאני של הקרקע באופן הבא:
על מנת להבטיח זרימת מים חופשית דרך המסננת ולמנוע סתימתה, היא חייבת להיות מורכבת מחלקיקים שבתחום:

$$5 \times d_{15} < D_{15} < 5 \times d_{85}$$

כאשר-

D 15 הינו קוטר הגרגר המקסימאלי של המסננת, אשר 15% מהגרגרים קטן ממנו .
d15 קוטר הגרגר המקסימאלי של הקרקע (בה מוטמן צינור הניקוז) כאשר 15% מהגרגרים קטנים ממנו.

תנאי נוסף הוא שגודלם של "חורי" הנקז (dp) יהיה קטן ממחצית D 85 או

$$D_{85} > 2 \times dp$$

באופן כללי, בקרקעות כבדות אין צורך בדרך כלל במעטפת חצץ למטרות סינון, אלא לצורך הגדלת פני שטח קולטי מים או כמיגון טכני כאמור- בכמויות קטנות- 15 ס"מ מסביב לצינור. בקרקעות קלות החצץ משמש גם כמסנן.

נקזים יותקנו בעומק שלא יפחת מ-80 ס"מ מפני השטח מתוך אילוצי קיים הנקז ומניעת הפגיעה בו.

מוליכות ויצירת קשר בין שכבתי: כאשר קיים שכוב מובהק או כאשר נוצר פער בין דרישות ומגבלות, יש לבצע קשר בין הנקז לבין השכבות מוליכות המים. קשר בין שכבתי נעשה באמצעות חצץ היוצר את הקשר בין השכבות השונות לצינור הניקוז.

במקרה של נקז רדוד, במיוחד כאשר שכוב הקרקע מורכב ורב- גווני, עדיפה תעלת עמוקה יחסית על פני נקז צינור טמון.

כאשר מוליכות הקרקע נמוכה מ 6-10 ס"מ/שנייה, יעילותו של הנקז פוחתת והולכת. יש לשקול האם הפתרון הבעיה הוא בדרך הניקוז התת- קרקעי או עדיף פתרון אחר.

בתכנון והתקנת נקזים חשוב להקפיד בין השאר על שיפועי אורך תקינים. על מנת למנוע הצטברות סחף בצינורות, השיפוע אמור להיות מספיק גדול כדי שתיווצר מהירות זרימה שתשטוף את המשקעים. כאשר הרכב החומר המנוקז כולל חול דק ואבק, המהירות בצינור חייבת להיות מעל 0.5 מ'/שנייה. עבור קרקעות קשירות ויציבות מהירות מזערית תהיה מעל 0.2 מ'/שנייה.

טבלה 9-1. שיפועים מזעריים מומלצים באחוזים על פי המלצות מדינת מינסוטה:

| קוטר פנימי, (אינץ') | | קוטר פנימי, (מ"מ) | | קרקע קשירה- מהירות מעל 0.2 מ'/שנייה | | קרקע קשירה- מהירות מעל 0.5 מ'/שנייה | |
|---------------------|------------|-------------------|------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|
| | | | | חלק | מחוספס | חלק | מחוספס |
| 3 | 76 | 0.08 | 0.10 | 0.60 | 0.81 | | |
| 4 | 102 | 0.05 | 0.07 | 0.41 | 0.55 | | |
| 5 | 127 | 0.04 | 0.05 | 0.3 | 0.41 | | |
| 6 | 152 | 0.3 | 0.04 | 0.24 | 0.32 | | |
| 12-8 | 305-203 | | 0.07 | | | | |
| גדול מ-12 | גדול מ-305 | | 0.05 | | | | |

התקנת הנקזים תעשה על פי המפרטים כללי/מיוחד. יחד עם זאת חשוב להדגיש נחיצות ההתקנה הנכונה- הנחת הצינור על תשתית, לפי פרטים מתוכננים, קיבוע ומילוי מסביב באופן שיבטיחו השארות הצינור במקומו. במידה ונוצרים גלים בחתך לאורך הצינור, הנקז לא יתפקד כלל עקב "כיסוי אוויר" במקומות הגבוהים ויהיה צורך לפרק ולהתקין מחדש.

קוטר מזערי לצינור עד 150 מ"א הינו 150 מ"מ, באורכים גדולים יותר – החל מ 200 מ"מ קוטר.

מומלץ להתקין מוצאים במרחקים שלא יותר מ-300 מ' המוצעים לתעלות ונחלים חייבים להיות מוגנים ע"י צינור פלדה באורך 3 מ' בתוך הגדה וריצוף אבן על פני המדרון מסביב לצינור, רצוי להוסיף סימון המוצא בחלק העליון של הגדה.

תאי בקרה יותקנו בנקודות מעבר של קוטר הצינור, שינוי כיוון ובקווים ישרים לצורכי תחזוקה.

בקרה ותחזוקה:

מערכת ניקוז תת-קרקעית, כמו שאר המערכות חייבת במעקב, בקרה ותחזוקה במידת הצורך.

יש לבחון תקינות התאים / שוחות, שלמות המוצאים, מצב הסחיפה ו/או הצטברות סחף במערכות הקולטות.

בדיקות אלה יש לבצע בקיץ על מנת להספיק לתקן במידת הצורך לפני עונת הגשמים, תקינות התפקוד (זרימות בשוחות ובמוצאים פתוחים) יש לבחון סמוך לאחר הגשמים.

פרק 10 - הנחיות כלליות לתכנון תחנות שאיבה למי נגר

כללי-שיקולי תכנון תחנות שאיבה

תחנות שאיבה למי גשם הנן הכרחי לניקוז מי גשם במקומות בהן אין אפשרות סבירה לבצע מוצא ניקוז גרביטציוני.

בחינת אפשרות מוצא ניקוז גרביטציוני מחייבת מספר חלופות שונות.

השוואת החלופות צריכה לכלול שיקולים כגון:

- יתרונות הנדסיים, רמת הפתרון ורמת הבטיחות
- ניתוח סיכונים
- שיקולים כלכליים לביצוע החלופות
- שיקולים כלכליים לתחזוקת המבנים
- בדיקת משך החיים של המבנים, בהתחשב בצפי לשינויים באגני ניקוז
- בדיקת חלופות ביצוע עם גורמים שונים כמו: עיריות, מעצ, משרד להגנת הסביבה, רשות הניקוז, או של גורם אחר הרלוונטי.

10.1. מיקום תחנות שאיבה

בדרך כלל תחנות שאיבה למי גשם מתוכננות במקומות נמוכים כגון צירים משוקעים, מנהרות לרכב או רכבת, מעברים להולכי רגל או מקומות אחרים, ההתאם לשיקולים הנדסיים, כלכליים או אחרים לביצוע התחנה.

תכנון התחנה צריך להיות מתואם עם כל הגורמים התכנוניים והרלבנטיים אחרים.

מיקום התחנה צריך לאפשר כניסה בטוחה של מים מהשטח המנוקז, גישה נוחה לתחזוקה, אפשרות לחיבור חשמל ומקור אנרגיה רזרבי וחיבור תחנה למיקום המוצא של מי הגשם.

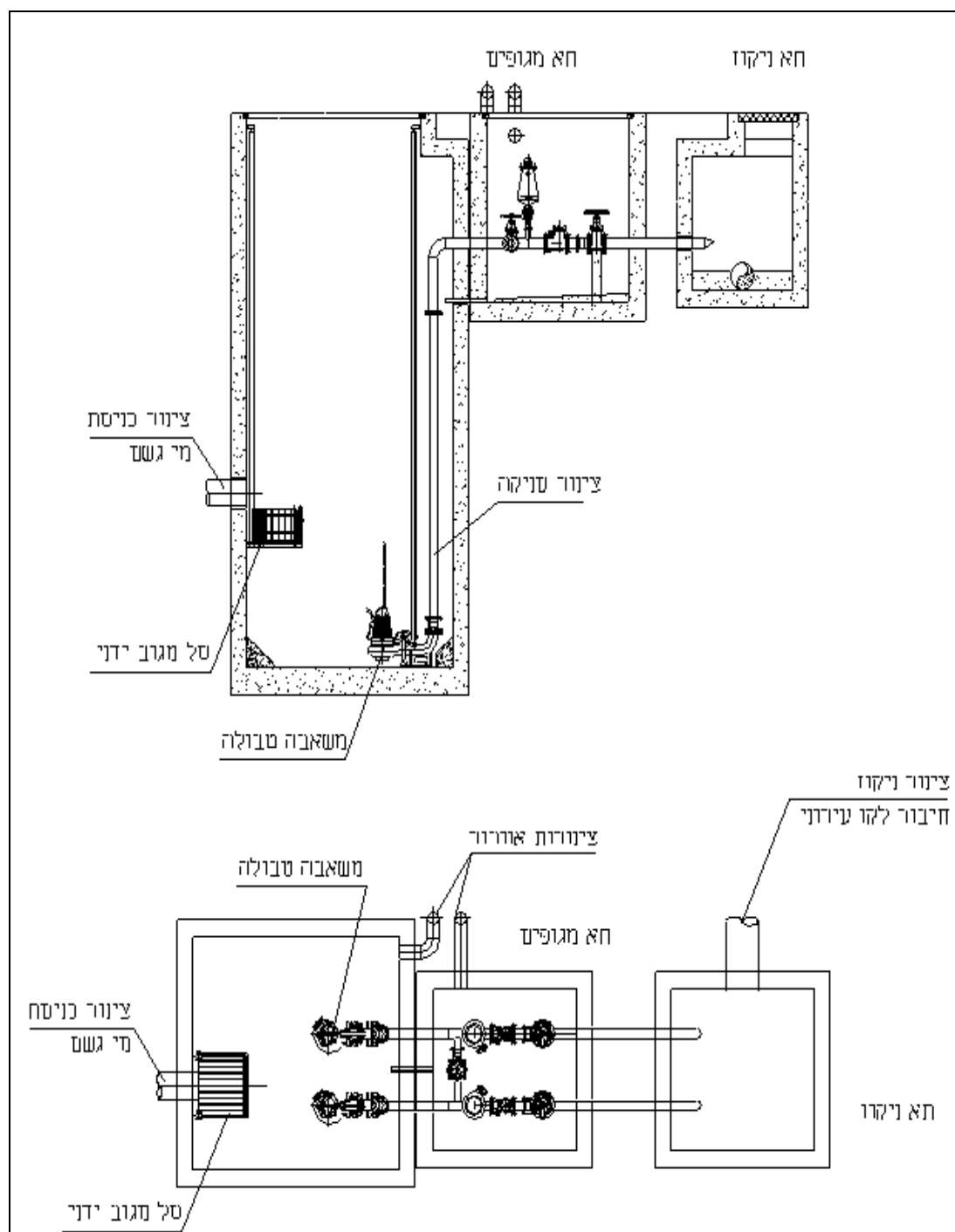
יש לתת עדיפות לביצוע תחנות בתוך מבנים (מנהרות), כדי להקטין את עלות הביצוע ולפשט את התחזוקה. בכל מקרה של ביצוע התחנה בשטח, צריך לדאוג לשילוב התחנה, מאגר המים, ואלמנטים הנדסיים אחרים עם נוף וסביבה, דרכי הגישה ומבנים סמוכים. יש לבדוק את השפעת תחנת השאיבה על סביבת האזור מבחינת רעש, ריחות וזיהום.

10.2. סוגים של תחנות שאיבה למי גשם

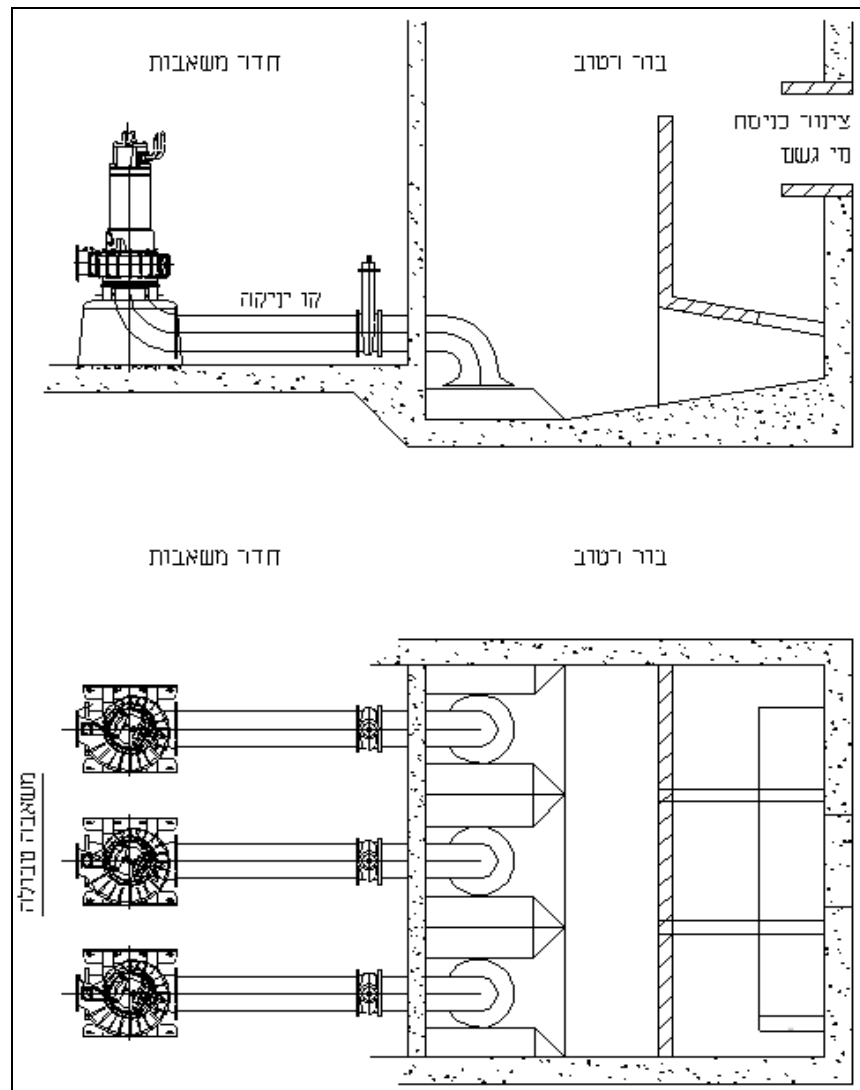
סוגים העיקריים של תחנות שאיבה למי גשם - תחנות שאיבה יבשות ותחנות שאיבה רטובות.

דגם התחנות תלוי בעיקר בספיקת התחנה, איכות מי הגשם שמתנקזים לתחנה, ציוד נלווה, גודל מאגר המים ואופן רצוי של תחזוקת התחנה. מרבית התחנות בארץ ובעולם הן תחנות מי גשם רטובות (ראה תרשים מס' 10.1). העדיפות לתחנות רטובות היא בשל מידות יותר קטנות, קונסטרוקציה יותר פשוטה וכתוצאה מכך עלות יותר נמוכה מהחלופה היבשה. תכנון תחנות יבשות (ראה תרשים מס' 10.2). נתן לבצע רק בנסיבות מיוחדות ונדרשת הצדקה כלכלית או אחרת.

במסמך זה אין התייחסות לתחנות מיוחדת שאת המים מהן ניתן לנצל, אחרי ניקוי, להשקיה ומטרות אחרות.



איור 10.1 תחנת שאיבה מדגם רטוב



איור 10.2 תחנת שאיבה מדגם יבש

10.3. מרכיבים עיקריים של תחנת שאיבה למי גשם

להלן המרכיבים העיקריים של תחנת השאיבה.

מבנה התחנה כולל: בור רטוב (מאגר מים), חדר משאבות, חדר חשמל ופיקוד, חדרים נוספים בהתאם לגודל התחנה ודרישות נוספות.

ציוד מכני כולל: משאבות, צינורות, אביזרים, רשת סינון, מתקני הרמה, פריטים שונים.

ציוד חשמלי כולל: מערכת חשמל, מערכת פיקוד ובקרה, כבלים, מתקנים שונים.

מערכת גיבוי אנרגיה- כולל דיזל-גנרטור עם מערכת דלק, מערכת קירור ומערכת פליטה.

המרכיבים של התחנה יכולים להשתנות מתחנה לתחנה ותלויים בספיקות, לחצים, דרישות לניקוי מי גשם, דרישות יזמים לתחזוקת התחנה ועוד.

10.3.1. מאגר מים של תחנת שאיבה.

מאגר מים הינה מבנה לקליטה וויסות הנגר שמגיע לתחנה מאגן הניקוז. לגודל המאגר השפעה ישירה על גודל ועלות תחנת שאיבה כולה. נפח אגירה מינימאלי יגרום להתקנת ציוד שאיבה מרבי, המותאם לספיקת תכן ועלויות גבוהות בהתאם. זהו מצב גם בעל סיכון גבוה יותר במקרה של תקלות.

יצירת נפח אגירה מרבי (בהתאם להידרוגרף של שיטפון תכן) יאפשר שיאבה וסניקה בספיקות מזעריות, אך מידות מאגר אגירה עלולות להיות גדולות מהסביר ועלויות בהתאם. לחלופה זו סיכון נמוך יותר לתקלות ולכן יש לה עדיפות ברורה ברמות של עלויות סבירות.

לעיתים ניתן ליצור נפח אגירה נוסף בתוך צנרת הובלה של מערכת איסוף נגר. שיטפון תכן הינו אירוע מרבי אפשרי אשר בתנאי נפח אגירה מרבי סביר יחייב ספיקת סניקה מרבית. לצורך קביעת שיטפון תכן על המתכנן לנתח הידרוגרפים של גשם יומי, גשם סופתי וייתכנות של אירועי גשם תכן צמודים בתווך זמן הורקה של נפח אגירה אשר תלוי בכושר השאיבה שנבחר.

על המתכנן להכין ולהציג מספר חלופות של שילובים שונים של נפח מאגר אגירה ביחס למערך שאיבה, (נתוני ספיקה-עומד שאיבה, קוטר ואורך צינורות סניקה) בהתאם, מהן ניתן יהיה לגזור חלופה אופטימאלית (הנדסית-כלכלית).

בהשוואת חלופות לפי יחסי אגירה – שאיבה תבחר חלופה הזולה עם העדפה לחלופה עם נפח אגירה גדול יותר כל עוד הפרש בין עלויות של חלופת (עלות כוללת מבנה) יהיה עד 20%.

10.3.2. משאבות לתחנות שאיבה של מי גשם

לתחנות שאיבה למי גשם מתוכננות משאבות כמו לשאיבת ביוב עירוני, עם מעבר חופשי מינימאלי דרך המשאבה 100 מ"מ, מדגם המשאבות הטבולות או משאבות אופקיות צנטריפוגליות.

נתונים כגון - דגם התחנות, ספיקה כוללת, אורך קו סניקה (לחצים) מגדירים את סוג המשאבות.

כמות משאבות מינימאלית הינה 2, כולל משאבה רזרבית. כמות מומלצת 3 או יותר בהתאם לסכמה של התחנה. ריבוי משאיבות עם דירוג ביניהם בעוצמת הסניקה יאפשר הפעלה הדרגתית יעילה יותר. מומלץ גם לתכנן משאבת קטנה להורקה סופית של מאגר מים, שטיפות וכו'.

10.3.3. צנרת פנים בתחנות השאיבה

הצינורות בתחנה ברוב המקרים הם צינורות פלדה בהתאם לת"י 530. עובי דופן הצינורות תלוי בקוטר הצינורות, לצינורות בקוטר "6"-24" עובי דופן "3/16", לצינורות יותר גדולים עובי דופן "1/4". הצינורות מסופקים עם ציפוי פנים בצמנט אלומינה, ללא עטיפה חיצונית. לאחר גמר הרכבת מערכות בתחנה, הצינורות יצבעו מבחוץ. צינורות לאספקת מי שתייה (אם המערכת מתוכננת בתחנה), יהיו מצינורות מגולוונים.

10.3.4. אביזרים בתחנה

כל האביזרים והאוגנים יהיו אביזרים מתאימים לביוב. המגופים יהיו מגופי טריז ללחץ עבודה 16 אט' מבנה CAST IRON עם צפוי פנימי וחיצוני באפקוסי קלוי בתנור. המגופים יהיו מטפוס T-2000 או ש"ע. שסתומים אל-חוזרים - השסתומים המסופקים לתחנות שאיבה למי גשם אמורים להיות שסתומים המותאמים לשאיבת ביוב, עם מדף אוטם ופתח בקורת עם מכסה. בציר של השסתום מורכב זרוע עם משקולת ומפסק גבול. מנומטר יהיה מפלב"ם, מתאים לעבודה במי ביוב גולמי, המנומטר יחובר לקו העליה באמצעות צינורות מגולבנים $\phi 1\frac{1}{2}$ - 1" עם מגוף.

10.3.5. מסגרות בתחנה

כל המסגרות כמו מגוב סינון, סולמות ירידה, מכסים מתוכננים בדרך כלל מפלב"מ 316L או מי פיברגלס.

10.3.6. ציוד חשמלי.

ציוד חשמלי כולל: מערכת חשמל, מערכת פיקוד ובקרה, כבלים, מתקנים שונים. כל הציוד החשמלי יש לתכנן לפחות 1.0 מ' מעל מפלס ההצפה האפשרי בהסתברות תכן 0.5%. בנוסף, למקרה חירום תותקן מערכת גיבוי אנרגיה- דיזל-גנראטור כולל:

גנראטור עם מערכת דלק, מערכת קירור ומערכת פליטה.

הנחיות מפורטות לתכנון תכנות ניקוז למי גשם ראה [18]

פרק 11 - הנחיות להגנת מדרונות

כללי

בבסיסה של הפרדיגמה הנוכחית, המוצגת כאן, נמצאת הנחה שהיציבות של הסוללות חשובה ביותר לבטיחות משתמשי הרכבת ולכן קודמת לכל. טרם הגענו לעידן של יציבות מדעית בתחום עקב לחצים של בעלי מקצוע מתחומים אחרים, להם חשיבות עליונה למראה, גם עם זה בא על חשבון יציבות או לפחות מגביר סיכונים. מדובר כמובן על בחירה טוטלית בין ייצוב צמחי לייצוב הנדסי שזו גישה קיצונית. הגישה התכנונית המפורטת בהמשך בנויה על עיקרון של שלוב. במקומות בהם עיצוב צמחי מתאים פוטר גם בהיות ייצוב באירועי תכן-לא יתוכנן פתרון הנדסי נוסף. כאשר לדעת המתכנן שימוש קרקע העיצוב איננו מספק, אזי יש הכרח לשלב פתרונות הנדסיים והשילוב הוא הפתרון.

ההנחיות שלהלן מבוססות על תורת שימור קרקע- יחסי גשם-קרקע-צומח וניסיון של עשרות שנים של פיתוח ויישום פתרונות בשטחים חקלאיים, ייצוב תעלות ונחלים ברשויות ניקוז וייצוב מדרונות כבישים של מע"צ.

תנאי הקרקע והאקלים שונים מאוד ממקום למקום, משום כך ישנם מקומות בהם ייצוב צמחי טבעי (צמחייה שקיימת במקום ללא התערבות יד אדם) מצליח ומספק פתרון כנדרש ויש מקומות בהם אין כל סיכוי לצמחיה טבעית (גשם לא מספיק וכו'). הבעיה עם ייצוב טבעי היא שקשה לנבא סיכויי הצלחת הייצוב הצמחי הטבעי ברמה הנדרשת ורמת הסיכון בהתאם.

ייצוב ע"י זריעה או שתילה תלויים במים זמינים לאורך זמן מחד והאופי ואיכויות יישום מאידך. גורמים אלה קובעים את הצלחת הפתרון ובסופו של דבר את התאמת השיטה לרמת הסיכונים המקובלת על רכבת ישראל.

ההנחיות שלהלן כוללות בעיקר שיטות ייצוב שעברו את מבחן התוצאה. מטרת ההנחיות היא ליצור מסגרת אחידה של כללי תכנון בנושאי ייצוב, בהתייחס לכל אחד מהפרקים שלהלן. יש לראות את ההנחיות כדרישות מינימום. מסגרת זו של הנחיות תכנון ייצוב תחייב את כל המתכננים לפעול בהתאם להנחיות או לנמק מדוע תוכננו פתרונות אחרים.

באחריות המתכנן להתאים את פתרונות הייצוב הסבירים אך מבטיחים את יציבות המדרונות ללא נזקי חתירות ולאורך זמן.

התפתחות נושא הייצוב.

בתחילת שנות ה-90 עם תחילת תנופת בנית תשתיות, בעיקר כבישים, התחיל העיסוק המסודר בפתרון בעיות סחיפת קרקע במדרונות בתחום התשתיות. פתרונות הייצוב שהתפתחו במשך שנים ברשויות הניקוז, היו ייצוב צמחי, ייצוב באבן (בניה יבשה בעיקר) ומבנים מבטון. ייצוב צמחי שהתפתח במשרד החקלאות ורשויות הניקוז, היה ע"י זריעה או דשאו (בשתילה וגטיבית או הנחת מרבדים). באותה תקופה הוכנסה לארץ גם היבלית מסוג $X 1$ (בשנות ה-80 ע"י דר' טל קיפניס, שתילה וגטיבית) שאמוצה כאמצעי ייצוב. פתרונות הייצוב הצמחי כפי שנעשו בנחלים בשטחים חקלאיים לא התאימו לצורת העבודה בפרויקטים של תשתיות והיה צורך דחוף למצוא פתרונות מתאימים.

11.1 מדיניות הייצוב

בניית סוללות מחומר ארוזיבי לגובה רב, כאשר על גביהן נמצאת מסילה מחויבת פתרונות של יציבות מערכות לשם הבטחת בטיחות ורציפות התנועה מחד ושמירה על ערך ההשקעות בתשתיות מאידך. משום כך ומתוך האחריות של כל הגורמים המעורבים בתכנון וביצוע ייצוב, המדיניות הינה תפקוד מלא של מערכות ייצוב מתוכננות לפני תחילת הפעלת מסילה חדשה. גורמי היציבות של מדרונות המסילות הינם:

- היציבות הסטטית של המדרון - באחריות מתכנני קרקע וביסוס ולכן לא נדונה כאן.
- ייצוב המטפל בהקטנת נזקי סחיפה, מיחתור וסחף באמצעים המקובלים בחברה (ראה קריטריונים בהמשך). הנושא באחריות מהנדס ניקוז וייצוב קרקע.
- עיצוב נופי במראה פני השטח, מבוצע הן במקומות ללא צורך בייצוב והן בנוסף או בשילוב עם פתרונות ייצוב אך אינו בא במקומו כפי שיוסבר בהמשך.
- הפתרונות המומלצים להלן הם במסגרת הסביר לכל מקרה ועניין ומביאים בחשבון גורמים הנדסיים, כלכליים ואת רמת השירות הנדרשת / מקובלת.
- ברוב המקרים לא נדרשת מניעה מוחלטת של סחיפה, אלא מספיקה הקטנה של הסחיפה.

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 בתכנון ובביצוע.

11.2 עקרונות הייצוב

מטרות הייצוב הינן הקטנת סחיפת הקרקע (ארוזיה) במדרונות מילוי וחפירה, בכל מקום בו הסחיפה מסכנת את היציבות והסחף מהסחיפה בתחום הפרויקט ו/או מהשטחים הגובלים, מצטבר בתעלות ומעבירי מים, מצב שיגורם בהמשך לסתימות והצפות. נדרש למנוע גם כניסת סחף לתחום הפרויקט משטחים גובלים.

עקרונות הייצוב והפתרונות יהיו שונים לפי סוג המבנה ורמת הסיכון שהסחיפה עלולה לגרום:

- סכנת פגיעה ביציבות עקב סחיפה ערוצית ומיחתור במדרון המסילה חמורה יותר במסילות על סוללות מילוי גבוהות. בעיית ההצפה כאן היא משנית.
- מסילות בחפירה- סכנה של פגיעה ממפלסי הצפות גבוהים חמורה יותר ולכן הצטברות סחף מסוכנת.

הגורמים המשפיעים על סוג הפתרון הינם:

- סוגים של מסילות בחשיבותן כגון – מסילות ראשיות על סוללה, מסילות ראשיות בחפירה, כולל קטעים משוקעים (קטעים ללא מוצא מי גשם טבעי), שלוחות וקווים משניים.
- סוג המדרון, חפירה, מילוי, (עם או בלי מסילות עליו), נופי, אקוסטי וכד'.
- סוג הקרקע
- המשקעים והצומח שבמקום הפרויקט.
- שיקולים נופיים, כגון- נצפות, חזות וכו'.
- שימושי קרקע גובלים,
- נתונים הנדסיים-גובה, אורך המדרון.

11.3 קבוצות הסיכון

כאמור, שילוב של גורמים שונים יוצר מצבים רבים המחייבים פתרונות שונים.

ניתן לחלק את המקרים לקבוצות בעלות רמת סיכון דומה ולהתאים לכל קבוצה פתרון בהתאם לשילוב גורמי הסיכון.

קבוצות הסיכון על בסיס מיון המסילות שנקבע בתת-פרק 3 ראה בטלה מס' 11.1:

טבלה 11.1 . קבוצות סיכון

| סוג מסילה | מסילה ראשית-קטעים משוקעים | מסילה ראשית בסוללה | שלוחות וקווים משניים | דרכי גישה לתחנות, מתחמים או מתקנים שונים | מדרונות בחפירה של מסילה | סוללות, הסתרה, אקוסטיות, נופיות |
|-------------|---------------------------|--------------------|----------------------|--|-------------------------|---------------------------------|
| קבוצת סיכון | א | ב | ג | ד | ה | |

הערה:

סיווג תפקידי של מסילות רכבת ראה פרק 1.3.

קבוצה א – קטעים משוקעים (קטעים ללא מוצא מי גשם טבעי), עם או בלי תחנות שאיבה לניקוז, על כל סוגי המדרונות שבהם. אלה מקרים בהם נדרש למנוע כל סוג של סחיפה עד כמה שניתן באמצעים קיימים בעיקר עקב חשש של הצפות בגלל הצטברות סחף במערכות ניקוז/השאיבה.

קבוצה ב – מסילה ראשית על סוללה, מחייבת פתרונות אמינים נגד סחיפה ערוצית משום שבהם תלויה בטיחות הנוסעים. התמוטטות פתאומית של קטע עלול להסתיים באסון ולכן יש לבחור בפתרונות יציבים בכל מצב וברי קיים אורך (ללא תלות בהשקיה, הצלחת הצמחייה וכו').

שיקום ושדרוג מסילה, עקב סחיפה והתמוטטויות במדרונות המילוי, הינו מבצע מורכב ויקר ולכן יש למנוע זאת ע"י פתרונות ייצוב מתאימים, תוך העדפת פתרונות פחות רגישים לליקוי ביצוע (פתרונות סלחניים) ויותר יציבים לאורך הזמן. חשוב שיהיו אלה פתרונות שתבדקו במספר רב של פרויקטים דומים ולאורך רב של שנים (10 שנים לפחות).

קבוצה ג - שלוחות וקווים משניים, כבישי גישה לתחנות, מתחמים ומתקנים אחרים, המאפשרים פתרונות שלוקחים בחשבון תיקון מקומי ו/או תחזוקה שוטפת עקב רמת פתרון ייצוב נמוכה יותר.

קבוצה ד - מדרונות בחפירה. כמות סחף גדולה מהמדרון שתחסום תעלה ותגרום להצפה או נזק אחר שמהווים סכנה בטיחותית חמורה, ולכן הטיפול בהם יהיה כמו בקבוצה ב' או ג' בהתאמה.

קבוצה ה - פיתוח נופי מחוץ לגבולות ההכרזה כגון סוללות הסתרה, סוללות אקוסטיות ו/או נופיות שלא צפויה כל השפעת נזקיהם על המסילה .
במידה וכן קיים סיכון להצפת המיסעה, יש להתייחס כמו בקבוצה ד'.

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

11.4 בעיות וסוגי סחיפה

תפקיד פעולות ייצוב הינו להקטין נזקי סחיפת קרקע (ארוזיה) עקב חתירות, מיחתור ונזקי סחיפה אחרים, אשר עלולים לגרום לחוסר יציבות של סוללות, או להצטברות סחף במקומות ובכמויות העלולות לגרום להצפות.
חומרת הנזק תלויה בהיקפו ובמקום היווצרותו. סחיפה באזורים קרובים למסילה, בראש מדרון של סוללה או בסמוך לגשרים, ובמעברים ומעברי מים, היא חמורה 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 חומרתם:

סחיפה ערוצית הינה כאמור גורם הנזק הנפוץ והחמור ביותר בין גורמי הסיכון המשפיעים על יציבות המדרונות ולכן מחייבת התייחסות מיוחדת.
סחיפה ערוצית הינה תוצאה של ריכוז זרמים של מי נגר על פני מדרונות עפר.
הזרם המרוכז גדל לאורך המדרון והופך די מהר לערוצים עקב הוצאת והסעת חומר המדרון. התעמקות והתרחבות של חריצים ראשוניים עלול בהמשך ליצור רשת די מסועפת של ערוצים בעומקים של סנטימטרים בודדים ועד עשרות סנטימטרים בעונה אחת ולעיתים אף בגשם אחד, תלוי בעיקר בנתוני הגשם והקרקע.
עוצמת הבעיה משתנה ממקום למקום בארץ בהתאם לסוג הקרקע וכמות הגשמים.

מרכז הארץ, כמו גם הדרום, מהווים מבחינה זו את המקום בעייתי ביותר עקב השימוש הרב בקרקעות ארוזיביות ביותר (חמרות, לס וכד') תוך הקמת מבנים גבוהים, כגון מעבר מעל כבישים, כאשר מצב תקין של מסילה בגובה רב תלוי ביציבות המדרונות ובייצוב.

מחתור נגרם בתנאים מסוימים עקב זרימה בתוך הקרקע על פני שכבה אטומה או בנקודת בצבוצ של הקו הפראטי, מופיע בעיקר במדרונות חפורים בקרקעות עם נזז או חוור, קרקעות מלוחות, לס וכד'.

בתנאים מסוימים תופעת מחתור עלולה להיווצר גם במדרון מילוי גבוה עקב פערים גדולים בנתוני החלחול של שכבות המילוי השונות.

אם בקרקעות רגילות המחזור גורם להוצאת חלקיקי קרקע קטנים עם או בלי הרס בפני המדרון באזור בצבוצ, הרי שבקרקעות לס בגשם אחד עלולים להיווצר חללים גדולים מאד, שהופכים די מהר למובילי מים (תופעת ה-TUNELLING) והאזור נהרס די מהר. מחתור הינו סוג של ארוזיה שמצריך טיפול מקומי בדרך כלל ע"י נקזים, מסננים ולעיתים קירות תמך.

סחיפה משטחית הינה תוצאה של פגיעת טיפות גשם בפני קרקע חשופה, עקב כך מתפרקים תלכידים הקרקע שבפני השטח וחלק מהחומר מוסע עם הנגר. סחיפה משטחית גורמת נזק מזערי במדרונות, לעמת הסחיפה הערוצית, ולכן ברת טיפול ותחזוקה, ובכל מקרה איננה מסכנת מידית את המדרון על מתקניו, בשונה מסוגי הסחיפה האחרים. הפתרונות המקובלים והמספיקים לטיפול בסחיפה משטחית הם צמחייה נמוכה וצפופה לעתים בתוספת פולימר או כיסוי אחר עד להתבססות של הצמחייה.

11.5 הפתרונות הקיימים

כיום קיימים אמצעי ייצוב קרקע רבים אשר חלקם נבדקו במשך עשרות שנים בפרויקטים של מע"צ, נתיבי איילון ואחרים. האמצעים השונים מתאימים למצבים השונים ולכן יש להשתמש בהם באחריות בהתאם למדיניות ולהנחיות שבהמשך.

ניתן לחלק את פתרונות הייצוב, כולל החומרים והשיטות לשני סוגים:

פתרונות גמישים- ממשיכים לתפקד באופן תקין גם במקרה של שקיעות או חתירות בסביבתם הודות ליכולתם להתאים את עצמם לתנאי שטח משתנים. חומרי הייצוב עצמם יכולים להיות גמישים או קשיחים, כמו לדוגמא אבן ללא אמצעי מקשר.

פתרונות קשיחים- אינם מתאימים את עצמם לתנאי שטח משתנים, ויציבותם ופעילותם התקינה נפגעות עם היווצרות חתירות מספיק גדולות בסביבתם. כתוצאה מהפגיעה נדרשים בדרך כלל פירוק ובניה מחדש, על מנת לשקם אותם.

11.5.1 שיטות וחומרים גמישים

א. שיטות ייצוב צמחי.

- זריעת תערובת של צמחים חד שנתיים ו/או רב שנתיים (כגון שיבולת שועל, אספסת, תלתן, ואחרים) הזריעה יכולה להיות בהתזה, עם תוספות של מיצבים או ללא מייצבים. בשלב זה מדובר בצמחייה עשבונית בלבד.
- שתילה של צמחי כיסוי מלא- צמחיה נמוכה, משתרעת ומשתרשת.
- דשאו ע"י מרבדים של צמחים מתאימים.
- טיפוח צמחים מקומיים – שימוש בשכבת חישוף, כיסוחים ו/או ריסוסים מכוונים (סלקטיביים).
- עצים ושיחים אינם נכללים בין צמחי הייצוב. ייצוב קרקע ע"י חורשות ויערות נובע משכבת העשבים שמכסים את פני הקרקע.
- הצלחתו של ייצוב צמחי תלויה בגורמים רבים ומשתנים- התאמה נכונה של סוג הצמחים, מועד ואיכות הביצוע (הצמח ואיכותו, העונה, השתילה או הזריעה, השקיה והתחזוקה). בכל מקרה לפני הופעת הגשמים חייב להיות כיסוי מלא וצפוף של הצמחייה בהתאם לסוג המדרון, המתוכנן לספק פתרון נגד הסחיפה. הייצוב הצמחי יתוכנן ע"י אדריכל נוף כעיצוב, על כל פרטיו, מתואם עם מהנדס מתכנן שימור קרקע, היות והעיצוב חייב לתפקד גם כייצוב.
- ייצוב צמחי זול יותר בד"כ משאר האמצעים, אבל החיסרון העיקרי שלו הוא ברמת הסיכון הגבוה יותר של כשל בתוצאה עקב בעיות אחזקה ובעיות אחרות.
- הצמחים אמורים להיות כאלה שלא פולשת לכיוון מסילה לא יהוו מפגע אקולוגי במקום, מפגע בממשק החקלאי של שטחים סמוכים (כמו הפצת זרעים), סכנת שריפות, בעלי צריכת מים נמוכה וכד'.
- קיימים תהליכים טבעיים של ניוון ותמותה של צמחייה במדרונות בשטחים די גדולים, או תמותת צמחייה עקב הפסקת השקיה, מחלות, שריפות וכו'. בשלבי התאמת הייצוב יש להתייחס לכל הנתונים הנ"ל.
- בעיה נוספת שיש לוקחת בחשבון הינה רעיה במדרונות- כך חוסלה צמחייה זרוע כליל בעבר בלא מעט פרויקטים.

זריעה מתאימה יותר למדרונות חפירה, סוללות הסתרה, חלקים עליונים של מדרונות נחלים וכד'. בסוללות חרסיתיות לא גבוהות בצפון הארץ יכול אמצעי זה להיות מספיק גם לסוללות של המסילות (למעט לגשרים).

בכל מקרה, לגבי קבוצת סיכון א' ו-ב' - במקרה של ייצוב צמחי בלבד, נדרש כיסוי מלא וסופי כאמור לפני החורף הראשון.

לגבי קבוצות ג' ו-ד' הדרישות של כיסוי מלא וסופי תהיינה לגבי חורף שני כאשר לפני חורף ראשון יהיה כיסוי מינימאלי של 80%. בקבוצה ה' יספיק כיסוי של 60% לפני חורף ראשון, 80% לפני חורף שני, וכיסוי מלא וסופי לפני חורף שלישי.

לא מומלץ לתכנן ייצוב צמחי טבעי או בזריעה באזורים, בהם ממוצע הגשם השנתי קטן מ- 300 מ"מ.

מרבדי דשא - ברוב המקרים הינו פתרון ייצוב מושלם מבחינת יציבות המדרון, (אך לא בהכרח מבחינה נופית). 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 חלופיים, יש לזכור שעצים לא רק שלא עוזרים למנוע סחיפה אלא אף מגבירים אותה (מתוך ניסיון בארץ ובעולם).

בעיה נוספת של שימוש בדשא הינה הביצוע והתחזוקה, משום כך אמצעי זה בכמויות גדולות מתאים יותר לסוג פרויקטים של ביצוע עם תחזוקה לטווח ארוך - מעבר ל- 5 שנים. בכל מקרה שימוש בדשא במדרונות גבוהים מחייב בדיקת היציבות לאור העבדה שהדשא רדום בחורף ואיננו צורך כמעט מים, בו בזמן יורדות כמויות גשם גדולות אשר הודות לדשא יחלחלו לתוך המדרון באופן מוגבר. עודפי מים אלו עלולים לגרום להאצת תהליכים גבוליים של גלישות במדרונות. מצב זה מחייב את המתכנן לנהוג במשנה זהירות בשימוש.

במרבדי דשא או אמצעים אחרים שעלולים לסכן סוגים מסוימים שבמדרונות. בכל מצב כזה יש לקבל את התייחסותו של מתכנן המדרון, יתכן ויהיה צורך למתן אותו.

גידולי שורה על מדרונות חפורים

ישנם צמחים 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 לדוגמא, יתרון נוסף של שורש עמוק וחזק (על פי נתוני מחקר רב שנתי של

מכון וולקני), 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.

במדרונות עפר, שמבחינת יציבותם נמצאים במצב קרוב לגבולי, בין השאר ובדרך כלל ובעיקר בגלל עודפי רטיבות, הרי שצמח הוויטבר יכול לעשות מספר פעולות מאוד חשובות:

- הצמח זקוק לכמויות של מים לגידול מהיר, דבר שיקטין את כמות המים בקרקע עם עודפי מים שמסכנים את יציבות המדרון.

- בגידול מהיר בקרקע ללא סלעים הצמח מפתח שורש עמוק (2.0 מ') וחזק מאוד (היחידי שעומד בכוחות הגזירה של הקרקע).

שתי התכונות מועילות ליציבות המדרון, כאשר במקביל על פני השטח הצמח מטפל במניעת סחיפה.

ב. כוורות עם מילוי עפר

כוורות פוליאיתילן (בגובה של 10 ס"מ וכ- 40 תאים למ"ר עבור מדרונות בעלי שיפוע 1:2 וגובה של 15- ס"מ עבור שיפוע 1:1.5) עם מילוי עפר מקומי, עדיף משכבת חישוף מקומית או מובא (במגבלות אקולוגיות), רצוי חרסיתי. בכל מקרה אין להשתמש בחול. היתרון הגדול של אמצעי זה בכך שהוא מספק פתרון מיידי עם התקנת הכוורות ללא תלות בצמחייה. הכוורות (מערכת תאים גאוטכניים) נותנות פתרון מלא לבעיית סחיפה ערוצית שזו כאמור עיקר הבעיה. בשימוש עם מסנן (בד גאוטקסטיל) מתחת לכוורות מספקת המערכת בו זמנית פתרון למחתור. בנוסף לכך מוסיפות הכוורות ליציבות המדרון, מאפשרות תכנון נופי מגוון עם חיסכון במים – הצמחים זקוקים לפחות ממחצית כמות המים בשנים הראשונות ובהמשך על פי ניסיון במע"צ. רוב הצמחים לא מקבלים השקיה כלל.

במקומות עם בעיה בקבלת מים להשקיה הופכות הכוורות לאמצעי אולטימטיבי.

יתרון נוסף של הכוורות הינו בוויסות כמות המים שחודרים למדרון המסילה.

זאת תחביר בניגוד לפולימרים ולדשא, הגורמים לחדירה מוגברת של מי גשם לתוך המדרון, אשר כתוצאה מכך עלול לקבל סדקים, לגלוש, לפתח שקיעות וגליות במבנה המסילה. מצב זה עלול להיות הרסני עבור אותו מדרון.

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.

מטרת הצמחייה על הכוורת היא בעיקר לעיצוב ואיננה נדרשת כאמצעי חובה משלים לייצוב (פרט קבוצת סיכון א').

התפתחות הצמחייה עד לכיסוי מלא של הכוורות הינו תהליך טבעי שלוקח לפחות כשנתיים (תלוי בסוג הצמחייה, איכויות השתילים, הקרקע, השקיה וכו'). לפני היוצרות כיסוי שטח מלא של הצמחייה, ניתן לראות את סימני הכוורות במדרון אולם מצב זה עדיף על פני מצב בו אין כוורות ואין צמחיה, ונוצר סיכון לשלמות המדרון. לעיתים יש בעיה לגדל צמחים בתנאי שטח קשים (הגזים, הרעידות, אדמה שלא נבדקה, התאמה אגרו אקלימית של צמחים וכו').

הכוורת מספקת בית גידול משופר, כפי שמלמדים המחקרים והתוצאות בשטח. (ראה מחלף אלוף שדה, גנות ואחרים- נוף מטופח על גבי כוורות). הצורך בשימוש בבד מסנן מתחת לכוורת אינו אחיד ומחייב בדיקות התאמה לצרכים במקום. בכל מקרה הבד אינו מפריע לחדירת שורשים או להתפתחות הצמח.

לפני פריסת הכוורת יש להדק, לישר ולהחליק את המדרון. רצוי שחומר המילוי בכוורות יהיה כמה שיותר דומה לחומר ממנו מורכב המדרון על מנת למנוע פערים שליליים במעבר המים מתא הכוורת אל תוך המדרון. חשוב שהעפר בתאים יהיה חרסיתי ומהודק עד כמה שניתן. הוספת בד מסנן עושה פעולה הפוכה- משמשת חיץ בין מילוי הכוורת לקרקע המדרון. קיים חשש רב שרוב המים יזרמו בפן הביניים הזה כלפי מורד המדרון, הצמחייה תקבל פחות מים בחלק העליון, המדרון יקבל תוספת מים בחלקו התחתון, מצב שעלול להשפיע על יציבות רגל המדרון. היתרון של בד מסנן הוא במקרים של חשש לבעיות מחתור או חשש של הזרמת נגר מיבנה המסילה אטומה ישירות אל מדרון עפר עם כוורות, בשני המקרים האחרונים חייבים להשתמש בבד מסנן. השימוש בכוורות וצמחייה משתנה בהתאם לאזורים ולקרקעות השונות, ולכן אין התאמה בין השימוש בחרסיות הצפון למדבריות הדרום.

פולימרים

ג.

השימוש בפולימרים בארץ פותח במע"צ בשנות ה-90 והם מהווים פתרון יעיל בשנתיים הראשונות במידה ולא נהרסו ע"י דריכה. 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 לצמחייה (בהנחה שבתקופת קיום הפולימר הצמחייה תיצור כיסוי מלא של השטח) או ללא צמחייה לתקופה קצרה עבור שלבי ביניים של ביצוע. שימוש חלקי יכול להיות גם באזורים דרומיים ללא צומח.

בשימוש יחד עם ייצוב צמחי מלא, 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.

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. אופן יישום הפולימרים ראה בטבלה מס' 5-11.

טבלה מס' 11.2 - התאמת הפולימרים

| עדיפויות | מקדם שינוי חידור [**] | סוג הפולימר | | סוג הקרקע |
|---|--------------------------|-------------|-----------|-----------|
| | | שם | יחס מיהול | |
| עדיפים כאשר לא מעוניינים בצמחייה | 0.75 | G2 | 1:16 | חול |
| | 0.65 | G2 | 1:17 | |
| | 0.6 | M3 | | |
| | 0.8 | SS | 1:30 | |
| | 0.8 | אקוטקס | | |
| עדיף לצמחים | 1 | SM | 1:16 | |
| 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 לקרקע מסוכנת | 1.1 | M3 | | |
| | 1.1 | SS | 1:16 | |
| | 0.6 | SM | 1:16 | |
| לעידוד צמחיה אם אין סכנת גלישה למדרון | 15 | אקוטקס | | לס |
| | 6 | G2 | 1:5 | |
| | 0.9 | M3 | | |
| מתאימים לצמחים אך לא במדרון רגיש לתוספת מים | 20 | G2+G1 | | חרסית |
| | 15 | G2 | 1:11 | |
| | 30 | SS | 1:16 | |
| עדיפים כאשר תוספת מים לקרקע מסוכנת | 6 | אקוטקס | 1:16 | |
| | 3 | SM | | |

הערות לטבלה:

[*] ההמלצות על פי נתוני עבודת מחקר של מע"צ 2/2000

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

רשתות כגון יוטה, קוקוס, קש, סינטטי ואחרים, משמשות, בדומה לפולימר, כאמצעי זמני לשלבי ביצוע או לתמיכה בצמחייה עד להיווצרות כיסוי צמחי מלא. היות והרשתות מתכלות בפרק זמן קצר, כמוגדר ע"י היצרן (בין חצי שנה עד 3 שנים), הרי שהצלחת האמצעי תלויה בהצלחת הצמחייה, (בדומה לפולימרים). הרשתות מיוצרות באחוזי הצללה שונים והתאמתן המוצלחת לתנאי השטח וסוגי הצמחייה תבטיח נביטה מלאה וכיסוי מלא בהמשך.

רשתות הכיסוי השונות בולמות את אנרגיית טיפות הגשם ועל ידי כך מקטינות את היווצרות הקרום על פני השטח ומאפשרות חדירת המים טובה יותר. כתוצאה מכך הסחיפה המימושית קטנה יותר. אלא שהמטרה העיקרית כזכור שונה והיא למנוע או להקטין היווצרות ערוצים. כל עוד שהצמחייה איננה, התפקיד הזה מוטל על הרשת עצמה. הערוצים נוצרים כזכור עקב ריכוז זרימת הנגר על פני המדרון, עוצמת הנגר תהיה קרובה לעוצמת הגשם במקרים של עוצמות תכן משום שהחלחול במצב כזה זניח.

בשונה מפולימר, ברשתות עלולה להיווצר זרימת נגר מתחת לרשת ואז נוצרים ערוצים וחיתירות. התנאים המתאימים לשימוש 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). קיים מוצר נוסף שנקרא רצועות קוקוס, בצורתו הוא מזכיר כוורות אלה שהתפקוד שלו אחר, התאים גדולים מאוד ולכן יכול לתפקד בשיפועי מדרונות מתונים בלבד, שבוודאי יהיו מתונים בהרבה מ-1:2 הרגיל. המוצר מתאים יותר לסוללות נופיות וכ"ד'.

חיפוי באבן

ה.

שימושים באבן כייצוב גמיש על מדרון:

- אבנים משתלבות
- אבן שפוכה (ללא טיט מקשר, פיזור ע"י כלי מכני)
- חצץ
- אבנים גדולות (בולדרים)
- כוורות עם חצץ

אבנים בגדלים שונים וצורות שונות יכולות לשמש לייצוב מדרון נגד סחיפה ממי גשם. גודל האבן יכול להיות החל מחצץ ועד לאבנים במידות גדולות (מטעמי עיצוב). כאשר משתמשים באבנים גדולות יש למלא את המרווחים בין האבנים באבן קטנה או חצץ, בהתאם לגודל אבן החיפוי. מתחת לאבן יותקן בד מסנן על אותו עיקרון כמו במקרה של

כוורת עם מילוי חצץ. שימוש בחצץ (לרוב צבעוני) מקובל בעולם במיוחד באזורים עם מעט מדי גשם על מנת לקיים צמחייה (כגון מדינות דרומיות של ארה"ב).
אבנים משתלבות משמשות יותר בעיצוב וייצוב גשרים (לא בחתך זרימה)
התקנת ייצובים מאבן יש לתכנן לפי המפרט ופרטים סטנדרטיים של רכבת ישראל.

1. השוואת אמצעי מיגון גמישים במדרונות

מכל סוגי רשתות הכיסוי ניתן למצוא בארץ בעיקר רשת קוקוס (ממספר יצרנים בעולם).
לרשת תפקיד דומה לזה של הפולימרים- תמיכה זמנית עד להתבססות הצמחייה.
תקופת הקיום דומה, בהשוואה ביניהם לפולימר יש עדיפות ברורה בהקטנת סחיפה מישורית וערוצית, פשטות ומהירות היישום ומחיר זול משמעותית, כל זאת בתנאי יישום נכונים. לרשת יתרון על פני הפולימר בשטחים של פני קרקע רכים וצורך בדריכה מרובה (כגון הצורך בגיזום שיחים). הרשת מתאימה יותר למדרון קצר ומתון (במקרים כאשר אכן צריך ייצוב) מאשר למדרון ארוך ותלול.
הכוורת הינה אמצעי הבטוח ביותר- עצמאי ללא תלות בהצלחת הצמחייה, אמצעי לטווח ארוך (למעשה, לא מוגבל) כך שאם הצמחייה נפגעת או נעלמת מסיבה זו או אחרת פתרון הייצוב נשאר במלואו בשטח, בניגוד לאמצעי ייצוב אחרים. כוורת בשילוב עם צמחייה מאפשרת עיצוב נופי רצוי.
היות ועל פי העיקרון של הכוורת, בתוך התאים נוצרים שיפועי מדרון יציבים שהם מתונים יותר ממדרון הסוללה, הרי שהכוורת צריכה לרוקן חלק מהמילוי עד להתייצבות השיפוע הפנימי בתאים (בגשמים ראשוניים). תגובה זו של הכוורת צפויה ומתוכננת ורק במקרים של דרישה של "אפס סחף" כמו באזורי תחנות שאיבה, בהם יש להוסיף לכוורת ריסוס פולימרי ואז תגובת הכוורת לסחיפה היא אפסית.

11.5.2 שיטות וחומרים קשיחים

א. החומרים

ייצוב מחומרים קשיחים מתייחס לשימוש 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 ומרצפות בטון, בטון בהזרקה בתוך בד המוכר כ-HYDROFLEX.
תיאור של השיטות וחומרים ראה בתת-פרק "ייצוב תעלות".
תיאור מפורט של החומרים והדרישות אליהם מופיע במפרט הכללי.
תכנון ייצובים קשיחים יש להתאים לדרישות קונסטרוקטיביות בהתאם ל"הנחיות תכנוניות למעבירי מים ומעברים תחתיים של מסילות ברזל". [10]

- ייצוב קשיח על המדרון יבוצע במקרים הבאים :
- כאשר קיימת סכנת פגיעה במדרון עקב מפלסי מים גבוהים לידו, זרמים מתפלגים מנחלים בעת שיטפונות וכו'.
 - בסמוך למבנים כגון גשרים, מעברים וכו', כאשר בתכנון מתקן החצייה יש להגן על המדרון כפתרון משלים או חליפי זול יותר.
 - מיגון קונוסים של נציבי קצה בגשרים נגד חדירת מים.
 - הזרמת נגר רב משטחים ישירות למדרון.
 - מתקנים על המדרונות כגון מגלשים ואחרים.
 - כאשר נקבע על פי שיקולים של קונסטרוקטור או יועץ קרקע ויתוכנו על ידם [10] אופן ביצוע העבודות הנ"ל הינו על פי פרטים סטנדרטיים והמפרט.
 - בתכנון של האמצעים הנ"ל יש לקחת בחשבון את הצרכים המקומיים.
 - בהגנת מדרון השיקולים הם בעיקר שמירה על יציבות המדרון, שיקולים נופיים (כולל התאמת צורת פני השטח וצבע) ושיקולים כלכליים.
 - כאשר יש צורך להגן על המדרון ממים גבוהים או גולשים יש לקחת בחשבון את השיקולים כמו אטימות ויציבות סטטית של האלמנט המייצב במצב של מים עומדים, יורדים וגולשים.
 - בייצוב מדרונות הדרישה היא ליציבות סטטית של המתקנים גם במצב של חתירה סביב המתקן.
 - בכל האמצעים הנ"ל יש לדאוג לנקזים, כדי למנוע מצב של הצטברות מים מאחורי המבנה.
 - במגע בין החומרים לקרקע תמיד יהיה מסנן, עם עדיפות לבד גאוטכני .
 - בשימוש בבטון חשוב שפני הבטון יהיו מחוספסים וצבועים כך שיתאימו בצורה מרבית לסביבתו, במיוחד בקטעים נצפים. התוכניות יכללו דרישה להכין דוגמאות בשטח לאישור אדריכל נוף.

11.6 עקרונות ושיקולים בטיפול בסחף רוח

סחף רוח הינו תוצאה של השאת חול ע"י הרוח (לא כולל סופות חול/אבק). הדבר מתרחש באזורים עם שטחים נרחבים של חולות ובעיקר באזורים של חוליות (דיונות). יש מצבים שהחולית מיוצבת באופן טבעי או ע"י פעולות ייצוב (תרומתו הרבה של דר' צוראל בתחום זה).

בחולית לא יציבה (או לא מיוצבת) החול ממשיך להתגלגל תוך שהוא סותם וחוסם כל דבר שבדרכו. הצטברות החול יכולה להיות בגובה של עשרות סנטימטרים ועד מטר ויותר באירוע אחד ובגלישות החולית גם הרבה יותר.

היות וקיימים עדיין בארץ אזורים לא מעטים עם חולות נודדים, חשוב לבחון את המצב של קטעי מסילות באזורים הנ"ל.

לחוליות פעילות יש התנהגות צפויה הניתנת להערכה של כיוונים וכמויות סחף רוח, ומאידך קשה למנוע המשך פעילותן באמצעים הנדסיים סבירים. מצב זה יש לקחת בחשבון בעת קביעת מיקום ציר המסילה והקו האדום שלה, זה אומר להתרחק מהקצה הפעיל של החולית (בחוליות גבוהות זהו גם אזור הגלישה), בחוליות פעילות נמוכות יש לנסות למקם את הקו האדום מעל קו הרכס של החולית. במצבים של חולית פעילה קיימת בסמוך לאתר מתוכנן, אין לחסום את תנועת הרוח עם החול אחרי מעבר פסי רכבת. יש לתת תשומת לב מיוחדת בתכנון בין קירות.

כאשר לא ניתן לעמוד בתנאים המפורטים לעיל, עדיין ניתן לנסות פתרון חלופי והוא – ייצוב החוליות. ייצוב שדות חול בדרך כלל נדרש לבצע בשטחים גדולים, מחוץ לתחום זכות הדרך בשיטות מתאימות, (המפורטות בעבודות דר' א.ד. צוריאלי) כגון שילוב ייצוב פולימרי (קרום אמולזול המחזיק 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".

11.7 הנחיות תכן

בפרק זה נדונים פתרונות מומלצים למניעת/ הקטנת סחיפה ערוצית במדרונות תוך שימוש בחלק מהאמצעים שנסקרו בפרק זה. שימוש בחומרים ושיטות אחרים הינו מקומי ובדרך כלל מחייב תכנון פרטני בהתאם לתנאי המקום. הפתרונות אמורים להיות סבירים מבחינת בטיחות, אמינות ויציבות לפני כל שיקול אחר.

11.7.1 ייצוב מדרונות, שיקולים ועקרונות

תכנון הייצוב ייעשה בהתחשב בשיקולים הבאים:

- קבוצת רמת סיכון
- נתונים אקלימיים - אזורים, קרקע, גשם, צומח
- נתונים פיסיים של המדרון
- שיקולים נופים
- סוג שטחים גובלים
- עלויות הקמה ותחזוקה

חלוקה לרמות סיכון, כמפורט בפרק 11.3 לעיל, באה להדגיש את הצורך השונה ברמת הייצוב בהתאם לחומרת המצב שנזקי סחיפה עלולים לגרום לתשתיות ולמשתמשים בהן. למעשה שיקולי בטיחות הנוסעים בהסעה המונית והסכנה לחיי אדם במקרה של כשל הם שקבעו את הדירוג (כפי שמופיע בטבלה מס' 11.3) והפתרונות המומלצים בהמשך. קיים שוני רב בין אזורי הארץ השונים מבחינת כמות המשקעים ובהתאמה גם שוני בקרקע ובצומח, על כן גם הפתרונות יהיו שונים.

תנאי הקרקע (חרסיתית) והצמחייה הטבעית בצפון הארץ מאפשרים במקרים רבים שימוש בייצוב טבעי (כגון כיסוי באדמת חישוף חרסיתית) ללא צורך באמצעים נוספים.

בדרום הארץ אין ייצוב צמחי טבעי ולכן אין לתכנן עליו, אבל בשל כמויות הגשם הקטנות יחסית, הרי שכמות וקצב סחיפה ממוצעים נמוכים דיים אך עדיין קיימים. ברוב המקרים הצורך בתיקוני חתירות הינו ברמה סבירה. הסיכון קיים, אם כי בסבירות נמוכה יותר.

בין הנתונים הפיסיים של המדרון יש חשיבות ראשונה לאורך המדרון ומיקומו במערכת. לגבי 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-1:3), עוצמת החתירות איננה מושפעת משינוי שיפועי מדרונות בטווח זה של שיפועים ולכן לא תהיה לכך התייחסות בהנחיות.

מדרונות מתונים מאוד מתוכננים בדרך כלל משיקולים של נוף, עודפי עפר, צמצום שטחי גינון בין שתי סוללות, תחזוקה וכד'.

מדרונות שצמודים למבנים כגון גשרים, מחייבים התייחסות פרטנית ללא קשר למיקום הגיאוגרפי.

- מבחינת מיקום ותפקוד, המדרונות מחולקים לשתי קטגוריות כדלקמן :
- המדרון של סוללת המילוי או באופן כללי יותר- מדרון שבראשו נמצאת מסילה, להלן "מדרון המסילה"
- המדרון חפור באדמה מקומית

11.7.2 קריטריונים לתכנון

כללי .

הקריטריונים שלהלן מתייחסים למדרונות בעלי שיפועי צד 1:3 ותלול יותר. לאמצעים גמישים עדיפות ראשונית בבדיקת התאמת ייצוב לשטח.

תכנון הגנה על מדרון נגזר משלושה הפרמטרים הבאים :

- מיקום ותפקיד המדרון לפי המיון בקבוצות סיכון.

- סוג הקרקע של פני המדרון

- גובה המדרון, המבטא את אורכו:

ייעוב צמחי ללא השקיה המומלץ בטבלאות הינו לאזורים מעל 300 מ"מ גשם שנתי, מתחת לכך קשה להבטיח ייעוב צמחי ובהמשך לא ניתן כלל.

קריטריונים לבחירת ייעוב מדרונות בקטע משוקע, קבוצת סיכון א'

קטע יחשב למשוקע כאשר התוואי קעור ללא מוצא טבעי לניקוז.
ההתייחסות תהיה זהה לכל המדרונות המתנקזים לקטע תוואי משוקע.

טבלה 3-11 א קריטריונים לבחירת ייעוב מדרון, קבוצת סיכון א' – מסילות בשיקוע
ההתייחסות כאן למדרונות הן בחפירה והן במילוי.

| גובה הסוללה | | סוג הקרקע |
|--|--|---|
| עד 2.5 מ' | מעל 2.5 מ' | |
| פולימר+ כיסוי צמחי מלא | כוורות פוליאטילן עם אדמה פלוס פולימר פלוס כיסוי צמחי מלא או דשא | חרסית (רק במדרון חפור) |
| פולימר+ כיסוי צמחי מלא | כוורות פוליאטילן עם אדמה + פולימר +כיסוי צמחי מלא או דשא | חמרה |
| שכבת חרסית בעובי של 20 ס"מ+ כיסוי צמחי מלא | כוורות פוליאטילן עם אדמה + פולימר +כיסוי צמחי מלא או דשא | חול באזורים מעל 300 מ"מ גשם |
| פולימר + כיסוי צמחי מלא | כוורות פוליאטילן עם אדמה או חצץ+ פולימר +כיסוי צמחי מלא או דשא | לס באזורים מעל 300 מ"מ גשם (רק במדרון חפור) |
| פולימר | חצץ | מ300 עד 200 מ"מ גשם |
| סירוק | סירוק +פולימר | קרקעות מתחת ל 200 מ"מ גשם |

טבלה 3-11-ב. - קריטריונים לבחירת ייצוב מדרון, קבוצת סיכון ב' -

מסילה ראשית על סוללה.

פני המדרונות לאחר סלילה בדרך כלל באזורים מעל 300 מ"מ גשם שנתי ממוצע הן מאדמת חמרה.

| גובה הסוללה | | | סוג אזור |
|---|--|--|---|
| מעל 4.0 מ' | 2.0-4.0 מ' | עד 2.0 מ' | |
| כוורות פוליאטילן עם אדמת חישוף+ כיסוי צמחי | שכבת אדמת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ + כיסוי צמחי מלא | שכבת אדמת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ + כיסוי צמחי מלא | אזורים מעל 500 מ"מ גשם אזור אקלימי לח |
| כוורות פוליאטילן עם אדמת חישוף + כיסוי צמחי | שכבת חרסית בעובי של 20 ס"מ + כיסוי צמחי מלא | שכבת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ + כיסוי צמחי מלא | באזורים מ- 300 עד 500 מ"מ גשם- אזור צחיח למחצה |
| אדמת חישוף + סירוק+ פולימר. ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם חצץ או מזרן גביונים או חצץ רכבת | תוספת אדמת חישוף חרסיתית+ סירוק | תוספת אדמת חישוף חרסיתית+ סירוק | חמרה וחול באזור בין 200 מ"מ ל300 מ"מ גשם |
| סירוק+פולימר , | פולימר | סירוק | חמרה וחול מתחת ל200 מ"מ גשם |

טבלה 3-11-ג. - קריטריונים לבחירת ייצוב מדרון, קבוצת סיכון ג' –קווים משניים

בסוללה

| גובה הסוללה | | | סוג הקרקע |
|--|--|--|---|
| מעל 5.0 מ' | 2.0-- 5.0 מ' | עד 2.0 מ' | |
| כוורות פוליאטילן עם אדמת חישוף+ כיסוי צמחי | שכבת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ + פולימר+כיסוי צמחי מלא | שכבת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ + כיסוי צמחי מלא | אזורים מעל 500 מ"מ גשם אזור אקלימי לח |
| שכבת חרסית בעובי של 20 ס"מ + כיסוי צמחי מלא | שכבת חרסית בעובי של 20 ס"מ + כיסוי צמחי מלא | שכבת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ + כיסוי צמחי מלא | באזורים מ- 300 עד 500 מ"מ גשם- אזור צחיח למחצה |
| אדמת חישוף +סירוק+ פולימר. ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם חצץ או מזרן גביונים או חצץ רכבת | תוספת אדמת חישוף חרסיתית+ סירוק | תוספת אדמת חישוף חרסיתית+ סירוק | חמרה וחול באזורים בין 200 מ"מ ל300 מ"מ גשם |
| סירוק+פולימר , | פולימר | סירוק | חמרה וחול באזורים מתחת ל200 מ"מ גשם |

טבלה מס' 3-11-ד.- קריטריונים לבחירת ייצוב מדרונות חפורים קבוצת סיכון ד"

מדרון חפור באדמה מקומית

| עומק חפירה | | סוג הקרקע |
|--|---|--------------------------------|
| עד 2.0 מ' | מעל 2.0 מ' | |
| ייצוב צמחי | | חרסית |
| שכבת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ | שכבת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ | חומר אבני לא מלוכד מעורב באדמה |
| פולימר+ כיסוי צמחי או שכבת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ | פולימר+ כיסוי צמחי או שכבת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ | חמרה |
| שכבת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ | שכבת חישוף חרסיתי בעובי של 20 ס"מ | חול באזורים מעל 300 מ"מ גשם |
| ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם עפר וכיסוי צמחי או חצץ רכבת , שאר המדרונות -פולימר | סירוק | לס באזורים מעל 300 מ"מ גשם |
| ליד הגשרים- כוורות פוליאטילן עם חצץ או מזרן גביונים או חצץ רכבת, שאר המדרונות –פולימר או סירוק | | חול ולס מתחת ל200 מ"מ גשם |

- מומלץ להשתמש בקרקע של חישוף שטח חרסיתי כדי לאפשר כיסוי מהיר של המדרון בצמחייה. אדמת החישוף מומלצת גם ליישום כקרקע למילוי הכוורות. שימוש בחישוף אפשרי כאשר אינו נוגד תוכניות עיצוב, יש לתאם זאת עם אדריכל הנוף.
- בשום מקרה לא יהיה שימוש בחול כחומר מקומי לכיסוי ו/או למילוי כוורות.
- במונח כיסוי צמחי מלא, פרט לדשא, הכוונה לעשבים חד- ו/או רב-שנתיים, נמוכים עם כיסוי כל פני הקרקע.

באשר לקבוצת סיכון ה', כהגדרתה בטבלה מס' 11.1, יתוכנן עיצוב בלבד, אלה אם יידרש אחרת ע"י מתכנן הנוף.

הצמחייה תתוכנן במסגרת תכנון נופי בהתאמה לקריטריונים שבטבלאות 11.3.

11.8 הגנת מדרונות מנגר חיצוני, ברמות, סוללות הגנה ותעלות הגנה

פעולות הייצוב שבסעיף 7.5.2 מתוכננות לטפל בנגר מגשם ישיר על המדרון ובשום אופן לא בנגר שמגיע ממשטחים, מיסעות, זרמים מרוכזים משטחים גובלים וכ"ד-נגר חיצוני כל שהוא. נגר חיצוני יש למנוע ע"י פתרונות מתאימים. לשם כך בשולי משטחים, מיסעות וכ"ד ניתן להתקין אבני שפה. כהגנה על מדרון מנגר חיצוני משטחים חקלאים, שטחי בור וכ"ד ניתן להתקין תעלות מגן ו/או סוללות הגנה.

מדרונות ארוכים מחולקים לעיתים לקטעים קצרים ע"י ברמות, אשר עלולות להיות נקודות תורפה למדרון או בתכנון נכון –פיתרון ששומר על המדרון.

תכנון תעלות הגנה

מדרונות שבנוסף לשטח המדרון עצמו מנקזים גם שטחים שמעליהם חייבים כאמור באמצעי הגנה על מנת למנוע זרימה של הנגר חיצוני אל המדרון.

הגנת המדרון הנגדי נגזרת מהגורמים הבאים :

* הקרקע/סלע ממנו מורכב המדרון

* אגן ההיקוות שמתנקז אל המדרון

אמצעי ההגנה הם תעלות וסוללות הגנה, קירות מוגבהים או כל פתרון הנדסי אחר שמונע זרימה של נגר מהשטח אל המדרון.

תעלות מגן יתוכננו במקרים של מדרון ארוזיבי ויחושבו לספיקה של 1:20 שנה.

כאשר לפי הערכת המתכנן צפוי סחף מוגבר, יש להגדיל חתך התעלה בהתאם ולהתאים את צורת החתך לאפשרויות תחזוקה סבירות.

ייצוב תעלות הגנה יעשה במקרים הבאים:

- כאשר מהירות הזרימה אינה תואמת הנחיות שבתת-פרק 5
- כאשר חלחול המים המתעלה לתוך הקרקע עלול לגרום למחתור או הרטבת יתר של המדרון תוך סיכון יציבותו (התייחסות מיוחדת לקרקעות לס וחוויר).
- אופן ייצוב תעלות הגנה ראה בפרק מס' 5.1.5 ייצוב תעלות"
- במדרונות לא ארוזיביים בדרך כלל אין צורך בתעלת מגן. למרות זאת, כאשר קיים פוטנציאל לסחף רב בנגר חיצוני יש לבחון מספר אפשרויות לפיתרון :
- עצירת הסחף במעלה המדרון , חשוב יותר במקרה של מדרון מגונן, אך לא רק.
- תכנון "שטח ניקיון" בין רגל המדרון לתעלה, שטח שיאפשר הצטברות סחף עליו עם אפשרות גישת כלים לניקוי.

תכנון ניקוז ברמות

במדרונות גבוהים מתכננים כאמור 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 במדרון ארוזיבי להרס של המדרון אשר תחתיה ולכן יש לתכנן את הברמות כך שימנעו נזקי חתירה והתמוטטויות.

ניקוז הברמות יתוכנן כדלקמן :

- במדרונות, שבהם אין סכנה לארוזיה ע"י זרימת נגר חיצוני, הברמות ינוקזו לכיוון המדרון היורד בשיפוע רוחבי של 2% לפחות, אין הכרח בשיפוע אורכי של הברמות.
- ברמות בקרקעות סחיפות, ינוקזו אל המדרון שמעל הברמה (ברמה הפוכה), תוך יצירת שיפוע רוחבי של 5% בחרסיות ועד-10% בקרקעות חול וחמרה. השיפוע האורכי של הברמה חייב להבטיח זרימת נגר לאורך הברמה ללא נזקי חתירה או שקיעת סחף (ראה הנחיות תכנון בתת-פרק מס' 5.1). לצורך חלוקה וסילוק נגר מצטבר על הברמה יש לתכנן לאורך הברמה מגלשים . במצבים של סיכון המדרון עקב חדירת מים מוגברת מהברמה לתוך המדרון (בדומה לתעלות מגן), יש לדפן את הברמה או להתקין נקז שרשורי לאורכה תוך מתן פתרון סילוק מתאים.
- רוחב הברמה הוא כ-3.0-5.0 מ', והוא נקבע כאמור ע"י מתכנן המדרון.
- יש לתכנן במידת האפשר נגישות לברמות עבור כלים מכאניים לצורך תחזוקה.

ראש סוללות - נופיות, אקוסטיות וכ"ד

קודקוד סוללות לא סוללות 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.

מילוי שטחים זמניים , במעברים בין שלבי ביצוע , או בהכנת תשתיות להרחבה בעתיד וכ"ד יש להבטיח שהשיפוע הרוחבי של המילוי יהיה גדול יותר מהשיפוע האורכי ב-2% לפחות , זאת על מנת להבטיח שלא ייווצרו ערוצי סחיפה לרוחב המילוי העלולה לסכן את המבנים שלידם.

פרק 12. נספחים

חלק מנספחים נלקחו מספרות וחלק פרסומים שונים

נספח מס' 1 - היבטים חוקתיים של תכנון הניקוז בישראל

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 הרכבת כגון רשויות הניקוז ורשויות הנחל. בחלק מהמקומות התעלות ומובלי התיעול הינם באחריות המערכות המוניציפאליות השונות. משרד החקלאות ולעיתים המשרד להגנת הסביבה ומשרד הפנים מעורבים אף הם בתהליכי אישור התכנון של מערכות הניקוז השונות.

הגורמים השונים מחולקים כדלקמן :

משרדי ממשלה:

משרד החקלאות – האגף לשימור קרקע ומשרדי חקלאות אזוריים, 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 סטטוטוריים / ציבוריים:

רשויות הניקוז
רשויות נחל
רשות הטבע והגנים

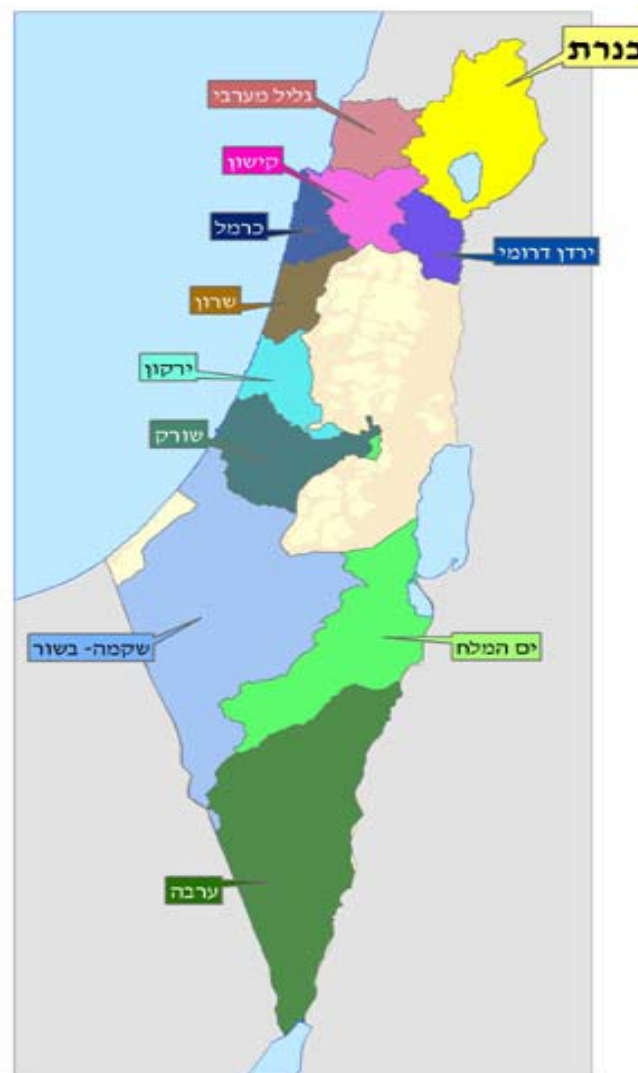
גופים מוניציפאליים:

מועצות אזוריות
עיריות ומועצות מקומיות

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

2. רשויות הניקוז

רשות ניקוז היא גוף סטאטוטורי אשר בתוקף אחריותו לדאוג לתקינותן של מערכות ניקוז ראשיות בשטח בגבולות השיפוט של כל רשות. להלן פריסה ארצית של רשויות הניקוז בישראל:



הרשויות הוקמו ופועלות מתוקף חוק הניקוז שיפורט בהמשך הפרק. בישראל נכון לכתיבת הנחיות אלו יש 11 רשויות ניקוז בחלוקה גיאוגרפית בהתאם לאגני ההיקוות של הנחלים הראשיים.

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 והסדרת 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 שטפונות ומניעתם, אך למעט טיפול במי-ביוב ;

בראש המועצה ראש 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

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.

חוק רשויות נחלים ומעיינות התשכ"ה -1965

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

- תפקידי רשות נחל 3. (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) ניקוזו 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 המשתנת 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. פרויקטים 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.

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, בהם יש פתרונות של החדרת נגר לקרקע, על מתכנן הניקוז לתכנן את המערכות השונות בכפוף להנחיות התמ"א וחוקי המים והניקוז. חשיבות ההחדרה וכיווני הפתרון בהתאם למפת רגישויות הקרקע שהוכנה לשטחי הארץ.

נספח מס' 2 - מעבירי מים

מעביר מים מחושב לפי תנאי בקרה בכניסה (INLET CONTROL) הספיקה במעביר המים 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 וערמות המים נוצרות כתוצאה מתנאי הכניסה ושטח החתך של מעביר המים.

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

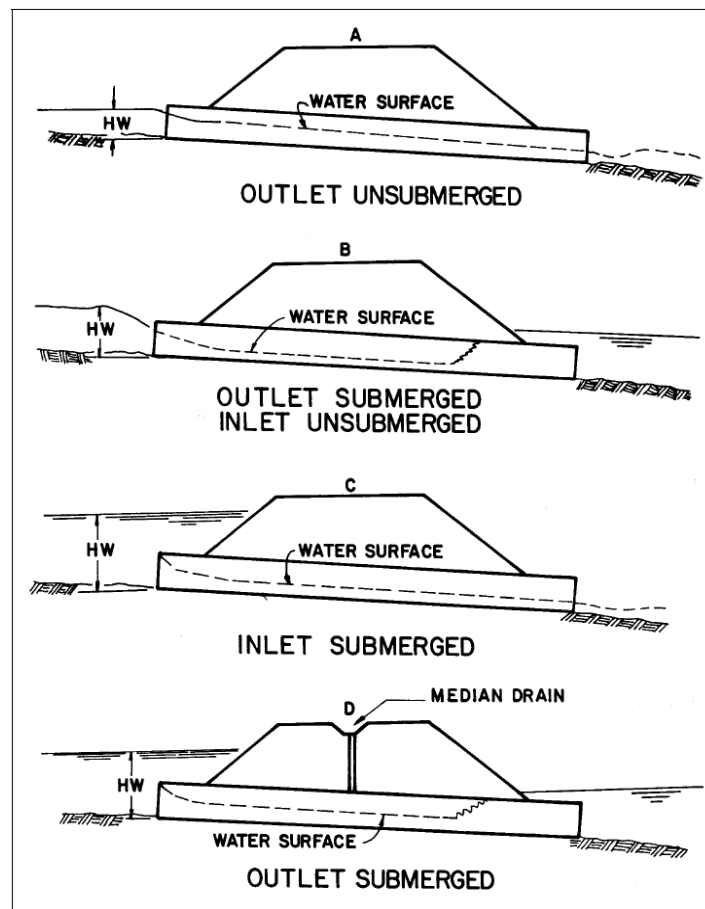


Figure III-1--Types of inlet control

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. ליד היציאה המוביל מגיע לגובה התקין של חתך מעביר המים.

מצב B – מצב 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 אופייני יותר לתנאי תכנון כאשר הכניסה למעביר המים מטובעת והזרימה בתוך מעביר המים היא חופשית במהירות על קריטית כאשר יש מעבר דרך הגובה הקריטי בתוך מעביר המים. ליד היציאה המהירות מתייצבת על גובה 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 אוויר 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.

מעביר מים בתנאי בקרה חופשיים.

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

$$(1) \quad \frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[\frac{K_u Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S^2$$

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

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

$$(3) \quad \frac{HW_i}{D} = c \left[\frac{K_u Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S^2$$

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 המהירות

בגובה הקריטי $(d_c + V_c^2 / 2g)$

Q - ספיקה (מ"ק/שנ')

- A שטח חתך מלא של מעביר המים (מ"ר)
- S שיפוע אורכי (מ'/מ')
- K, M, c, Y מקדמים
- K_u מקדם תיקון והמרה ליחידות מטריות – 1.811

הערות :

נוסחאות מס' 1 ו 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 $Q/AD_{0.5} = 2.21$

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 עפ"י רוב כאשר מעביר המים מונח בשיפוע מתון פחות מ 1% או כאשר גובה המים של התעלה סמוך למתקן היציאה (TW) משמעותי.

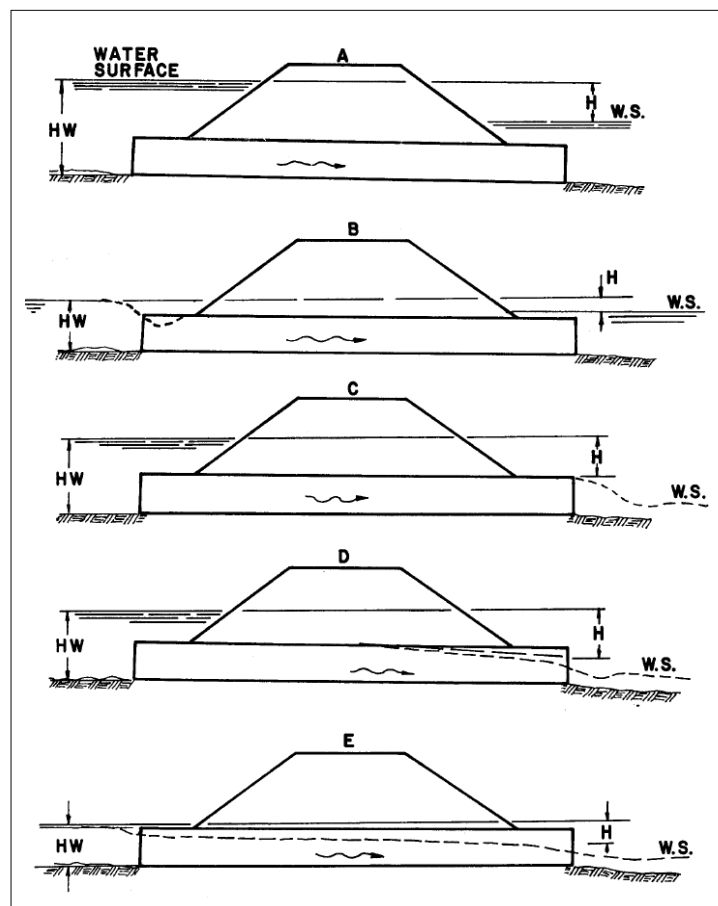


Figure III-7--Types of Outlet Control

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 :

מצב **A** – מראה את המצב הקלאסי של מעביר המים בזרימה מחתך מלא כאשר גם המוצא וגם הכניסה מטובעים פיסית.

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

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

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

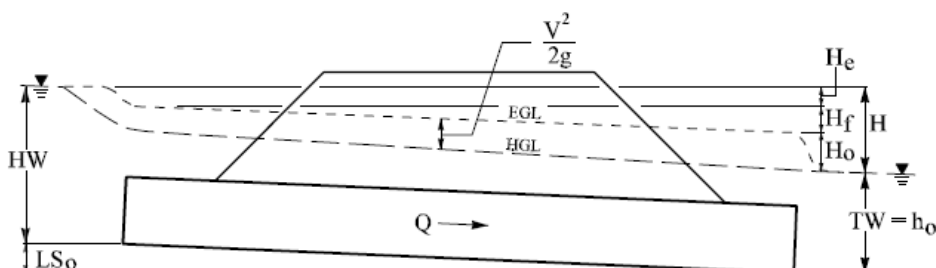
מצב **E** – במצב זה גם הכניסה וגם היציאה של מעביר המים לא מטובעים, מעבר המים בתוך המעביר גם כן חופשי.

חישוב הערמות המים במצב של תנאי בקרה ביציאה (OUTLET CONTROL)-

הנוסחה לקביעת הגובה במעלה היא נוסחה של השוואת האנרגיה בין המעלה למורד.
הנוסחה הבסיסית לחישוב היא כדלקמן :

$$(4) \quad HW = H + h_o - LS_o$$

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 :

$$(5) \quad H = H_e + H_f + H_o + H_b + H_j + H_g$$

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_o - הפסדים ביציאה ממעביר המים (מ')

H_b - הפסדים מעיקולים במעביר המים (מ')

H_j - הפסדים מהצטלבויות במעביר המים (מ')

H_g - הפסדים מסבכות (מ')

על הפסדים שנובעים מעיקולים, הצטלבויות וסבכות מומלץ למתכנן לקרוא במדריך תכנון של FHWA מספר [19]

הפסדי כניסה:

חישוב הפסדי הכניסה למעביר מים בהתאם לנוסחה הבאה :

$$(6) \quad H_e = K_e \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

כאשר :

H_e - הפסדים בכניסה למעביר המים (מ')

K_e - מקדם פתח

V - המהירות בתוך מעביר המים (מ'/שנ')

g - תאוצת הכבידה (9.81 ממ'/שנ' שני)

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

הפסדים ביציאה:

חישוב הפסדים נעשה בהתאם לנוסחה הבאה :

$$(7) \quad H_o = 1.0 \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

כאשר :

H_o - הפסדים ביציאה ממעביר המים (מ')

V - המהירות בתוך מעביר המים (מ'/שנ')

g - תאוצת הכבידה (9.81 מ'/שנ' שני)

הפסדי חיכוך:

הפסדי החיכוך מבוססים על נוסחת מנינג, חישוב ההפסדים בהתאם לנוסחה הבאה :

$$(8) \quad H_f = \left(\frac{19.63n^2L}{R^{1.33}} \right) \frac{V^2}{2g}$$

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 מתקני הכניסה והיציאה) (מ')

n - מקדם מנינג

g - תאוצת הכבידה (9.81 מ'/שנ' שני)

סיכום הפסדי הכניסה, היציאה והחיכוך בנוסחה אחת שמשלב את נוסחאות 6, 7, ו 8 כדלקמן :

$$(9) \quad H = \left[1 + K_e + \frac{19.63n^{2L}}{R^{1.33}} \right] \frac{V^2}{2g}$$

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 (מעביר המים מטובע מורד) אזי,

$$(10) \quad h_o = TW$$

כאשר גובה המים שווה לגובה הפתח בהתאם למצב C אזי

$$(11) \quad h_o = D$$

במצב D ובמצב E אפשר להשתמש בקירוב ראשוני לגובה המים במורד לפי הנוסחה הבאה :

$$(12) \quad h_o = \frac{d_c + D}{2}$$

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 נמוך יותר של הערמות המים יש צורך בביצוע של פרופיל זרימה בתוך מעביר המים לחישוב יותר מדויק של הערמות המים במעלה.

מהירות הזרימה בתוך חתך מעביר המים

מהירות הזרימה המחושבת המשמשת לחישוב ההפסדים השונים, מחושבת לפי גובה המים בחתך מעביר המים

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

$$(13) \quad V = \frac{Q}{A}$$

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 :

$$(14) \quad V = \frac{Q}{A_{TW}}$$

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

$$V = \frac{Q}{A_c} \quad (15)$$

חישוב מידות מתקן יציאה

לפי נוסחאות שפותחו ע"י הסוכנות להגנה הסביבה בארה"ב:

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

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

כאשר :

D_0 - הקוטר הפנימי של מעביר המים (מ')

Q - ספיקת תכן (מ"ק/שנייה)

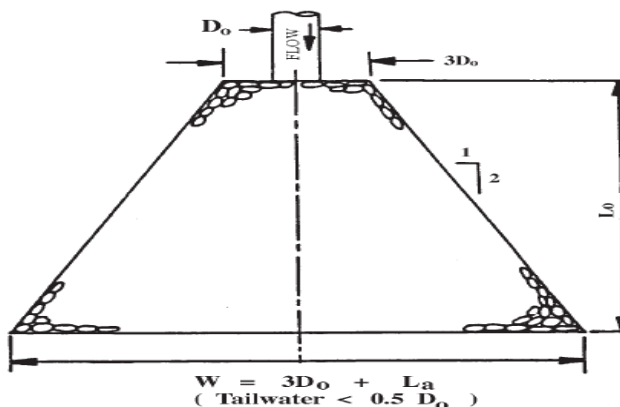
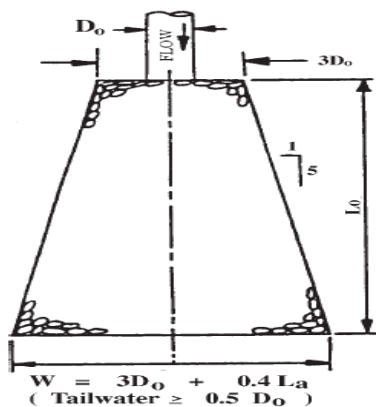
TW - גובה המים בתעלה במורד מעביר המים (מ')

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

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

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

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.



נספח מס' 3

שיטות התחברות בין שני קטעים של מערכות בגרביטציה בתוך השוחות :

1. בהתאם למפלס מים- (ראה איור 3).

בשיטה הנ"ל משתמשים במקרה שעומק המים במורד גדול יותר מעומק מים במעלה -

$$h_2 > h_1$$

גובה מים בשני צינורות שווה : $Z_1 = Z_2$

גובה תחתית של צינורות (I.L.)

$$Z_{k2} = Z_{k1} - \Delta h$$

$$\Delta h = h_2 - h_1$$

2. בהתאם לתחתית הצינור - (ראה איור 1).

בשיטה הנ"ל משתמשים במקרה שעומק המים במעלה גדול יותר מי עומק מים במורד-

$$h_1 > h_2$$

גובה מים בשני צינורות שווה : $Z_1 = Z_2 + \Delta h$

גובה תחתית של צינורות (I.L.) $Z_{k2} = Z_{k1}$

$$Z_{k2} = Z_{k1} - \Delta h$$

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

3. בהתאם ל-T.L הצינור (ראה איור 2).

(השיטה המקובלת ביותר)

בשיטה הנ"ל משתמשים במקרה חיבור צינורות עם קוטר שונה. עומק המים במעלה קטן

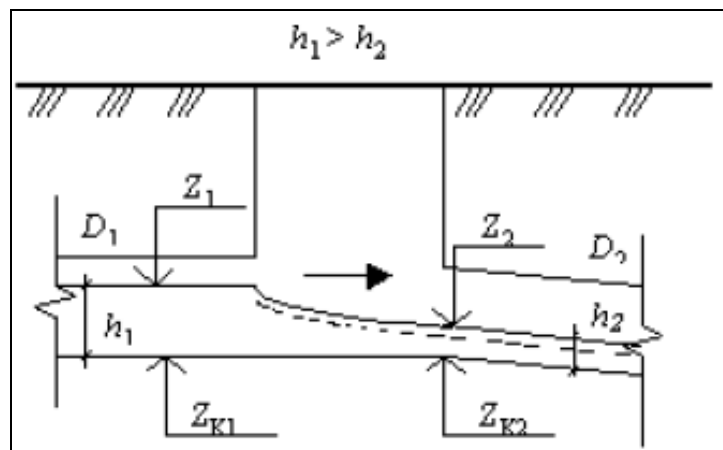
מעומק מים במורד.

$$D_1 < D_2, h_2 > h_1$$

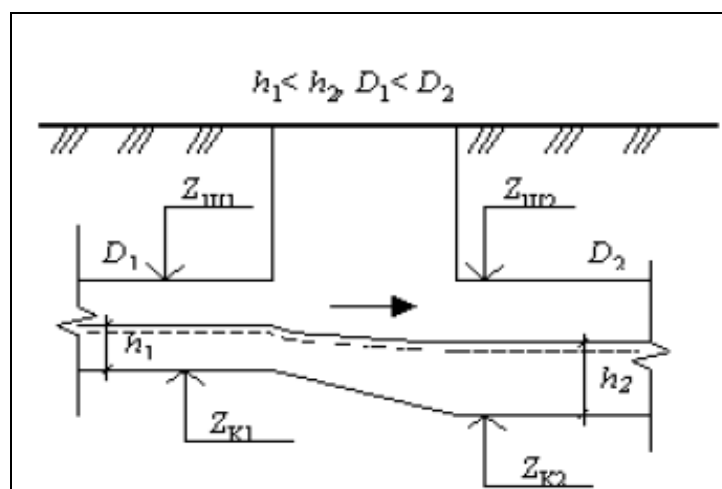
גובה מים $Z_2 = Z_1 + (h_2 - h_1) + (D_1 - D_2)$

גובה תחתית של צינורות (I.L.)

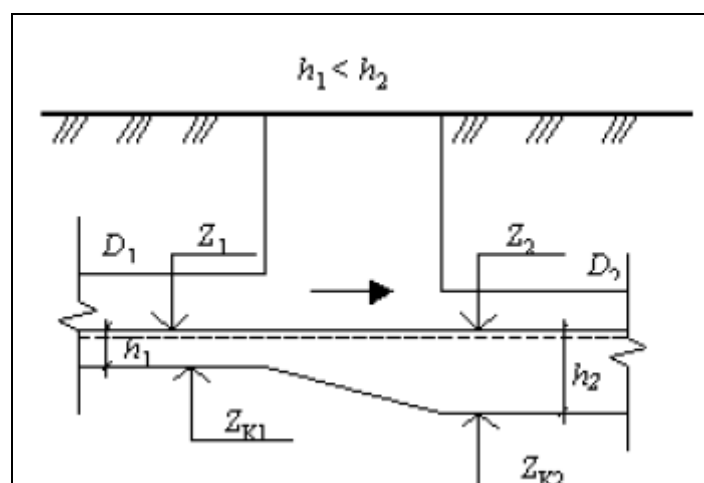
$$Z_{k2} = Z_{k1} - (D_1 - D_2)$$



איור 1



איור 2



איור 3

ניספח מס' 4

הנחיות לאופן ביצוע והגשת תוכניות תשתיות (מים, ביוב וניקוז)

במסגרת פרויקט תכנון קו חדש או שדרוג מסילת רכבת

1. כללי

1.1. את תוכניות אמורים לבצע כחלק בלתי ניפרד מהפרויקט הכולל.

1.2. התכניות כוללות:

- תכנית כללית בקנ"מ 1:1000 או 1:2500,
- תכניות מפורטות בקנ"מ 1:500 או 1:250,
- תכניות חתכים לאורך קווים גרביטציוניים וקווי לחץ ,
- תכניות חציית רכבת,
- פרטים להנחת קווים , מתקנים ועוד..
- פרטים מפורטים על חציות רכבת וכבישים.

1.3. תיק תכניות כולל אומדן ומפרט מיוחד.

1.4. מקרא לתשתיות יש לתכנן בהתאם להנחיות הנ"ל .

1.5. הרקע לתכניות אמור להיות מתואם עם תכניות של תכנון מסילות.

2. תכניות מפורטות

2.1. תכניות מפורטות של מערכת ניקוז (כמו מערכות אחרות , הקשורות לתכנון

תשתיות של רכבת) יתוכננו על רקע מדידה ותכנון מסילות או כבישים.

2.2. על התכניות יש לסמן:

- קווים ומתקנים קיימים כולל קוטרים ועומקים,
- בקווים מתוכננים: קוטרים, שיפויים, מרחקים בין התאים או נקודות מיוחדות, מספרי תאים ונקודות,
- סימון חציות מסילות או כבישים,
- קטעים בעטיפת בטון,
- חיבורים לקווים קיימים כולל הנחיות לביצוע החיבור,
- השלכות על תכניות פרטים מיוחדים, חיבורים לתכנון במסגרת פרויקט אחר,
- טבלת קואורדינאטות קווים מתוכננים,
- מקרא עם סימון קווים קיימים ומתוכננים,
- הערות מיוחדות לקבלן לצורך ביצוע ועוד..

2.3. מותר לתת במקום תכנית בקנ"מ 1:250, תכנית בקנ"מ יותר קטן עם תכנון קטעים

יותר מפורטים.

3. חתכים לאורך

3.1. יש לתת חתכים לאורך לכל הקווים הגרביטציוניים וקווי הלחץ (באישור של המזמין אפשר לוותר על ביצוע חתכים לאורך קווי מים בקוטרים עד 6").

3.2. על החתכים יש לסמן :

- מתקנים תת קרקעיים ועיליים החוצים את התוואי,
- סימון קידוחים עם סוגי קרקע ומפלסי מים,
- נתונים של קווים מתוכננים-קוטר, שיפוע, אורך, סוג הצינורות,
- חיבורים קווים מהצדדים או מי קולטנים,
- נתוני מתקנים מתוכננים-תאים, נקודות ניקוז או אוויר,
- שרוולים בחציית מסילות וכבישים,
- חיבורים לקווים קיימים כולל הנחיות לביצוע החיבור,
- סימוני עטיפת בטון ועוד..

3.3. חתכים יש לבצע בקנ"מ מתואם עם התכנית (חתך לאורך), קנ"מ אנכית 1:100 או אחרת בתאום עם המזמין.

4. תכניות של חציות רכבת ישראל (תכניות לצורך קבלת אישור) התכנית אמורה לכלול:
קטע מתרשים כללי במקום החצייה בקנ"מ 1:250, עם סימון אורך החצייה, אורך השרוול, קוטר וסוג הצינור

- חתך לאורך בקנ"מ 1:250/1:250, עם סימון פסי רכבת, כולל גובה הפס, סימון תעלות ניקוז, כבלי תקשורת ומתקנים אחרים,
- פרטי קידוח, כולל פרט התקנת צינור בשרוול, תאי ניקוז או צינורות אוויר.

5. פרטים לתכניות

5.1. יש לתכנן את כל הפרטים הדרושים לביצוע עבודה נכונה ובטיחותית.

5.2. הפרטים אמורים לכלול:

- פרטי התקנת צינורות בהתאם למיקום הנחת הצינור וסוג הקרקע,
 - פרטי מתקנים -תאים וקולטנים , פרטי עטיפת צינורות בבטון, הגדרות לאופי חיבור צינור לתאים ולחיבור בין אלמנטים של התאים, הגדרות של מכסים ורשתות,
 - פרטים להתקנת מתקני מים-מגופים, הידרנטים, נקודות אוויר ועוד..
- פרטים מיוחדים בהתאם להחלטת המתכנן או דרישות המזמין.

ניספח מס' 5 מבנה קרקעות וסחף מים

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, צמחייה וכד'.

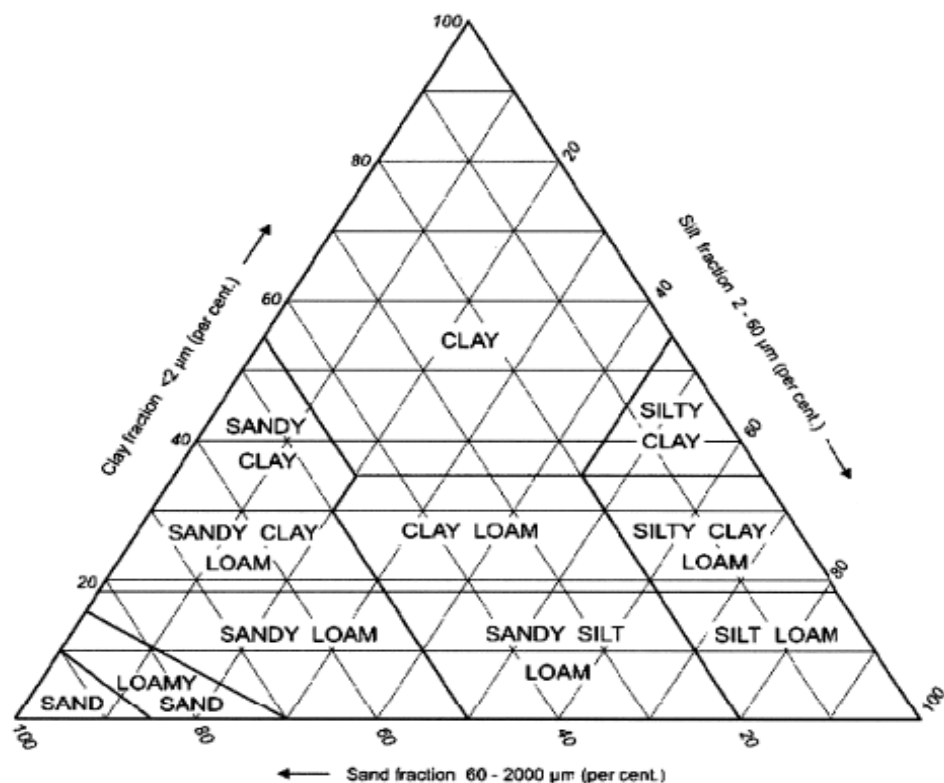
הקרקע נוצרת מהתפוררות של סלע האם. האופי של סלע האם הוא הגורם העיקרי לסוג הקרקע הנוצרת.

הקרקע מורכבת מגרגרים המופרדים מסלע האם.

בקרקעות שונות היחסים הכמותיים בין המרכיבים (הפרקציות) הם שונים ולפי כך נקע מרקם הקרקע והתכונות בהתאם.

מבחינים בארבע פרקציות של קרקע לפי גודל הגרגרים:

| שם המרכיב | גודל גרגרים |
|-----------|--|
| חרסית | עד 2 מיקרומטר (0.002 מילימטר) |
| טיין | 2 – 60 מיקרומטר (0.002 – 0.06 מילימטר) |
| חול | 60 מיקרומטר עד 2 מילימטר |
| חצץ | גדולים מ- 2 מילימטר |



דיאגרמה של מרקם הקרקעות על פי הפרקציות המרכיבות אותן.

לקרקעות בלי חצץ מוגדר מרקם הקרקע לפי אחוז מכל פרקציה- חרסית, טין וחול. הגדרת הטקסטורה של הקרקע לפי "משולש ההגדרה" המוצג בזה, לדוגמא: קרקע עם 20% חרסית, 40% טין ו-40% חול נקראת חמרה חרסיתית (clay loam). אנו רואים כי, למעט חרסית, יש השפעה ניכרת על תכונות הקרקע. המשקל הנפחי של הקרקע תלוי בטקסטורה ובמידת הדחיסות של הקרקע. והוא בין הערכים 1.2 ו-1.8.

הגרגרים נדבקים זה לזה בכוחות משיכה חשמליים ועל ידי מציאת 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, הקוהסיביות (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.

2. מיון קרקעות

ניתן להבחין בקרקעות בהתאם לאופן היווצרותן:

- קרקע מקורית – הקרקע במקום היווצרותה מהתפוררות 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 היווצרותן, 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. כבר 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.

3. סחף מים

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

- מים ספחים – מולקולת 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.

3. - דרכי המניעה של סחף מים

מניעת סחף על ידי המים אפשרית 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 בשלוליות 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 חדור ואוגר ההשהיה.

צמחייה צפופה מונעת זרימה הן על ידי כך שנאגרים מים על פני העלים, והן עקב הגבשושיות שיוצרים הצמחים.

מקורות

| | |
|--|----|
| הנחיות ניקוז , משרד הביטחון, שמואל רוניק, מהדורת 1 ו-2 - 2000 | 1 |
| הנחיות ניקוז, מהדורות מע"צ - 1995- שמואל רוניק | 2 |
| פרופ' אריה בן צבי, אוסף מאמרים | 3 |
| התחנה לחקר הסחף, פיתוח מודלים הידרולוגיים | 4 |
| גטקר ק., מע"צ, פיתוח שיטות ונהלים | 5 |
| דר' אבנר קסלר-סקר הסתברויות תכן בארץ ובעולם | 6 |
| חוק הניקוז וההגנה מפני שטפונות, התשי"ח-1957 | 7 |
| תכנית מתאר ארצית , נחלים וניקוז, תמ"א 34/ב/3 | 8 |
| הנחיות לתכנון מסילות ברזל, רכבת ישראל, גרסה מס' 1, מרץ 2009. | 9 |
| הנחיות תכנוניות למעבירי מים ומעברים תחתיים של מסילות ברזל, רכבת ישראל, אוקטובר 2006. | 10 |
| הנחיות לתכנון ניקוז, מעצ, מהדורה ראשונה-אוגוסט 2008. | 11 |
| מודל הידרולוגי –סטטיסטי לחישוב ספיקות מכסימליות בנחלים, ק.גטקר, ש.פולק, נובמבר 2003 | 12 |
| מדריך לתכנון ובניה משמרת נגר עילי, משרד הבינוי, אוקטובר 2004. | 13 |
| HEC 22, Urban drainage design manual. FHWA, august 2001 | 14 |
| Highway Design Manual, Chapter 830- Roadway drainage. California, may 2001 | 15 |
| Hydraulic manual WSDOD, march 2007 | 16 |
| HEC 21, Design of Bridge Deck Drainage FHWA, may 1993 | 17 |
| HEC 24, Highway Stormwater Pump Station Design, FNWA, February 2001. | 18 |
| Hydraulic Design of Highway Culverts, Second Edition, FNWA, MAY 2001 | 19 |

| | |
|--|-----------|
| Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels, Third Edition, FNWA, July 2006 | 20 |
| Practical Guide to Railway Engineering. Charter 5. The American Railway Engineering and Maintenance of AREMA2003 | 21 |