

מדינת ישראל
משרד הבינוי והשיכון
תכנון והנדסה

המלצות לתכנון ניקוז עירוני



מלווה המחקר: אינג' ירון שלומי- מנהל תחום כבישים, ניקוז ופיתוח
הוכן על ידי חברת הידרומודול – פולק שמואל בע"מ

מרץ 2007

תוכן העניינים

עמוד

2	1. כללי
3	2. נתוני בסיס הידרולוגיים
8	3. הסתברויות ונתוני תכן
8	3.1-רמת נתוני זרימה
10	3.2-חלוקת ניקוז עירוני
11	4. אמצעי ניקוז עירוני
11	4.1-ניקוז ראשי
12	4.2-מערכת משנית
13	4.2.1-קליטת המים
13	4.2.1 ב-הובלת המים
14	5. מתקני קליטה והובלת מים עירוניים
14	5.1 – רשתות קליטת מים
14	5.1.1 –מצב קיים
15	5.1.2 –הגדלת כושר קליטה
18	5.1.3 – כושר קליטה מתקני ניקוז עירוניים
20	5.2 –מתקני קליטה חדשים
21	5.3- הצבה נכונה של מתקני ניקוז
22	5.4- מתקני הובלת המים
22	5.4.1 –מובילי מים פתוחים
23	5.4.2 –מובילי מים סגורים
24	5.4.3 – הובלת מי ניקוז בעיר
25	5.4.4-מעבירי המים
25	6. אזורי מיתון תנועה
28	נספח 1-רשתות קליטת מים
29	1.1 רשתות לניקוז המיוצרות בארץ
30	1.2 אבני שפה המיוצרות בארץ
31	1.3 רשתות ירושלמיות
32	1.4 פלטה חדשה מבטון עם זיזים מברזל להפניית זרימת מים לתוך פתח אבן שפה מברזל יצוק
33	1.5 רשת חדשה לקליטה חלקית והפניית זרימה לתוך פתח אבן שפה יצוקה
34	1.6 רשת חדשה 25 טון להצבה בגאטר
35	1.7 שת כובע מוגבהת כפתרון נגד הצטברות לכלוך
36	נספח 2 –מתקני קליטה
37	2.1 מערכת קולטנים זוגיים בגאטר או רחוב הולנדי

38	2.2 מערכת קולטנים זוגיים על צינור ראשי בגאטר או רחוב הולנדי
39	2.3 תא קליטה במגרשי חניה משולב עם מעבר הולכי רגל
40	2.4 פתח קליטת המים מוגבה במקומות נמוכים אבסולוטי למניעת סתימה בשילוב עם גשרון להולכי רגל
41	2.5 א מתקן ניקוז מדרה (טרומי)
42	2.5 ב מתקן ניקוז מדרה זמני –מבוסס על פלטת ברזל מכוסה באספלט או באבנים משתלבות
43	2.6 מתקן קליטה ליד מעקה (בטיחות, קיר אקוסטי וכו')
44	2.7 מתקן קליטת מים משטחי השהיה קטנים
45	2.8 מתקן קליטת מים משטחי השהיה גדולים
46	2.9 מתקן קליטת מים ביציאה מהחניה
47	2.10 מתקן שבירת אנרגיית מים
48	2.11 קידוח החדרת מים על בסיס חוליות בטון מחוררות
49	2.12 קידוח החדרת מים על בסיס מילוי בחומר גרנולרי
50	2.13 קידוח החדרת מים משולב עם מוצא עודפי מים למערכת עירונית.
51	נספח 3 –הצבת מתקני ניקוז.....
52	3.1 הצבת מתקני קליטה בכביש בשיפוע רוחב מעל 2% ולפחות 40 מ' לאחר מעבר שיפועי.....
53	3.2 מתקני קליטה בצומת מומלצים לפני מעבר חציה
54	3.3 הצבת מערכת ניקוז באי-מרכזי בכביש בעל שיפוע רוחבי פנימה
55	3.4 הצבה לא נכונה של מתקני ניקוז ליד ה"אוזן"
56	3.5 קולטן ב"אוזן" מיקום מומלץ
57	3.6 מתקן קליטה מוסט קולטנים ושוחת חיבור נפרדים
58	3.7 מתקן קליטה מוסט שוחת קליטה על קו ראשי בפס ירוק.....
59	נספח 4 –חישוב צינורות להובלת המים
60	4.1 כושר הולכת מעביר מים צינורי.....
61	4.2 כושר הולכת מעביר מים מלבני
62	4.3 –נומוגרמה לחישוב נתוני צינור להובלת מים
64	4.4 – נומוגרמה לחישוב ביבים לפי נוסחת מאנינג.....
65	נספח 5 –מעברי צינורות
66	5.1 יחידת מעבר בין צינורות בקטרים 80-125
67	5.2 יחידת מעבר בין צינורות בקטרים 80-150
68	5.3 יחידת מעבר בין צינורות בקטרים 100-150
69	נספח 6 –מתקני ניקוז אזורי מיתון תנועה.....
70	6.1 ניקוז מבנה ריסון תנועה חלופת ניקוז באמצעות קולטנים
71	6.2 ניקוז מבנה ריסון תנועה חלופת ניקוז באמצעות צינור מלבני.
72	6.3 ניקוז מבנה ריסון תנועה חלופת ניקוז באמצעות נקזים מחורצים

דיווח-3828-339
עדכון 20/03/07

1. כללי

ניקוז עירוני מהווה חלק מתהליך מורכב בין ירידת הגשמים לקליטת הנגר העילי בערוצי זרימה והובלתם למקום איסוף.

התהליך כולו מורכב מהחלקים הבאים:

§ ירידת גשמים המוצגת על-ידי כמות הממטרים ועוצמת הגשם לפרקי זמן שונים.

§ תהליכי קליטת המים בשטחים פתוחים, חצרות בתים, גגות, משטחים ציבוריים וכד'. תהליך זה כולל נושאי בנייה משמרת נגר עילי, שבפני עצמו הינו בעייתי ומורכב מאוד, כאשר מטרתו העיקרית - הקטנת ספיקות מכסימליות רגעיות, שמירת המים לפני ניקוזם על-ידי תהליכי השהיית המים ומילוי חוזר של אקוויפר תת-קרקעי בעזרת תהליכי החדרת מים טבעיים או מלאכותיים.

כל זאת- לפני הפעלת מערכת ניקוז עירוני.

§ מערכת ניקוז עירוני עצמה כוללת מתקנים רבים לאיסוף, קליטה והובלת המים למקום איסופם. תכנון מערכת ניקוז עירוני מתבצע בהתאם לספיקת תכן שנבחרה לפרויקט.

§ מטרת מערכת זו מנוגדת לתהליך הקודם - שמירת המים ומתבטאת בניקוז מהיר של הנגר העילי משטחי העיר, כדי להבטיח נוחיות התושבים ותפקודן התקין של כל המערכות העירוניות. מערכת קליטה ראשונית ומערכות הניקוז יכולות להשתלב זה בזה וליצור מערכת משותפת אחת, כאשר לכל חלק מטרות שונות.

§ הובלת המים מהעיר למקומות איסופם הסופי.

תהליך זה יכול להיות חלק ממערכת ניקוז עירוני או חלק עצמאי לחלוטין - הכל בהתאם לאפשרויות וצורכי המשך השימוש במים אלה.

בדרך כלל מערכות אלו שייכות לרשויות ניקוז עצמאיות המטפלות בהובלת מים סדירה או לארגונים אחרים המשתמשים במים לאחר שיצאו ממערכת עירונית.

ברוב המקרים מערכת שמירת המים בשטחים פתוחים כל כך משתלבת עם מערכת הניקוז העירוני, שקשה להפריד ביניהם וניגוד האינטרסים ביניהם בולט מאוד:

בראשונה - נדרש להקטין עד למינימום האפשרי ספיקות מכסימליות המגיעות אל שטחי העיר החקלאיים, לשכונות או מרכזי ערים ופוגעים ברכוש ובנפש.

בשניה – מערכת תיעול עירוני בשילוב עם מקומות השהיה מקומיים, צריכים להבטיח תפקוד תקין של אוכלוסיה והשרותים העירוניים ע"י הוצאת המים מהירה.

המלצות תכנון ניקוז עירוני מטפלות בשתי המערכות מבחינה הנדסית ללא טיפול משמר נגר עילי, עבורו הוכנו הנחיות מיוחדות.

סכמות הליך ניתוח וטיפול בנגר עילי מוצג **בתרשים 1**.

2. נתוני בסיס הידרולוגים

נתוני בסיס הידרולוגים לתכנון מערכות עירוניות או מתקני ניקוז מבוססים בדרך כלל על חישובי ספיקות ונפחי זרימה המבססות על שיטות המקובלות בתחום זה, כל זאת בהתאם לתנאים טופוגרפיים ואקלימיים בהתחשב בקיום נתוני מדידות ישירים.

בתור נתון קריטי לקביעת נתונים הידרולוגיים נלקחת תקופת חזרה של אירוע הידרולוגי (פעם ב - xx שנים) או הסתברות האירוע (באחוזים), כאשר בדרך כלל החישוב מתבסס על נתוני גשם בהנחת שווי הסתברויות הגשם והספיקה .

את החישוב ההידרולוגי מומלץ לבסס על שיטות המותאמות לתנאי הארץ- במידה וקיימות.

אפשר להשתמש בשיטות מיובאות, לאחר התאמת הפרמטרים.

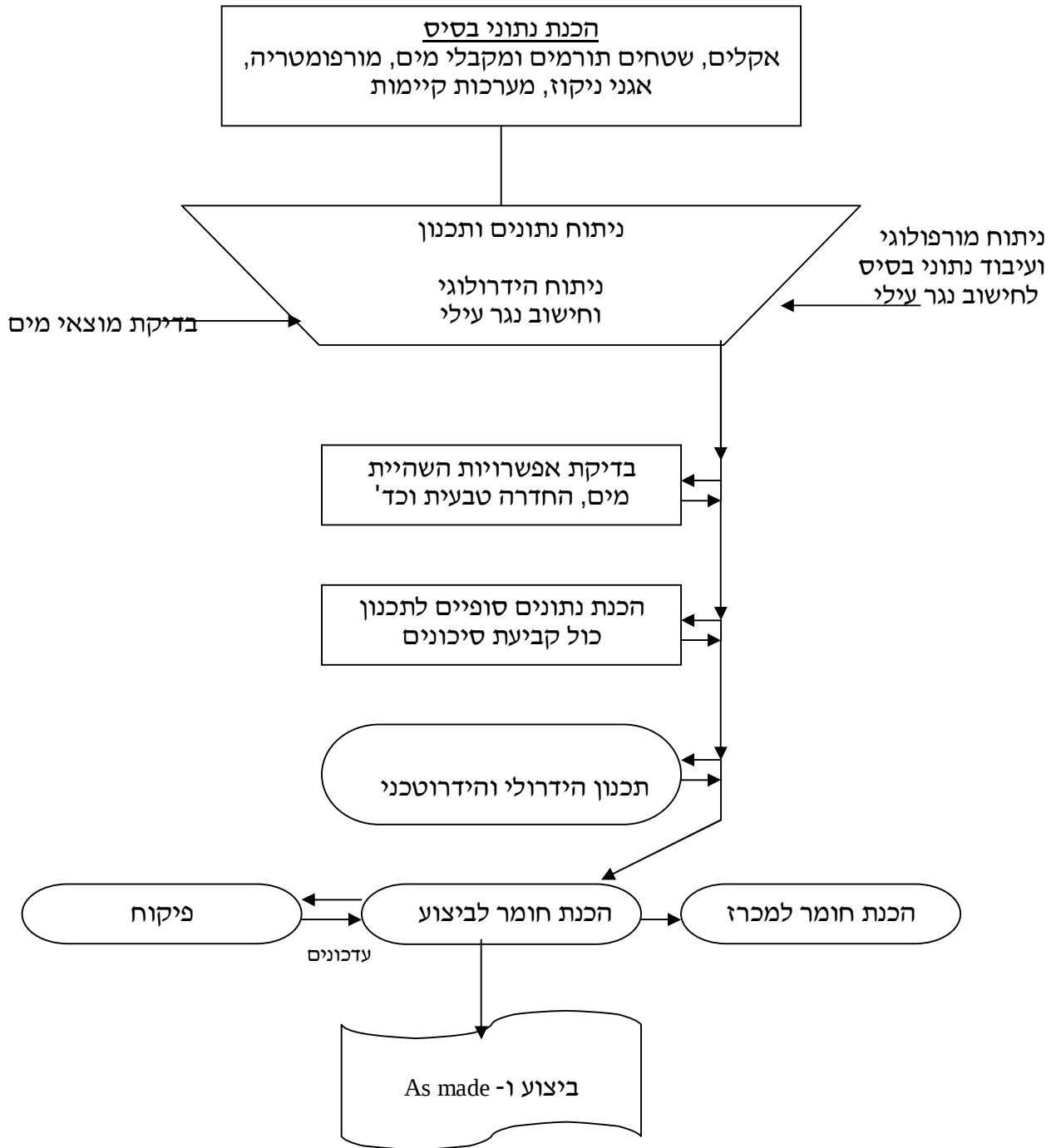
חישוב הידרולוגי אפשר לבסס על:

מדידות ישירות בקרבת אזור התכנון והעברתן למקום התכנון בעזרת שיטה אנלוגית, כאשר

נתונים הידרו-אקלימיים ומורפולוגיים ורמת הניקוז באגנים דומים.

סכימת תהליך ניתוח טיפול בנגר עילי

תרשים 1



שימוש במודלים הידרולוגיים :

מודל רציונלי (נוסחת CIA) לאגנים קטנים מאוד עד 1.3 קמ"ר. מודל זה שימושי מאוד בארץ עבור שטחים עירוניים עקב פשטותו וקיום פרמטרים הנדרשים לחישוב. דעתם של מספר הידרולוגים היא שטווח החישוב באזורים עירוניים אפשר להגדיל עד 2-5 קמ"ר בידיעה שעם הגדלת השטח, הטעות גדלה בצורה סבירה.

מודל השירות ההידרולוגי לאגני ניקוז גדולים (אריה בן צבי ואיזבלה שנציס) - בשימוש בעיקר לאגני ניקוז גדולים ללא התחשבות בשטח עירוני.

מודל תחל"ס - מודל התחנה לחקר הסחף לאגנים מעל 4 קמ"ר (רמי גרתי וצוות התחנה). המודל לא מיועד לחישוב בשטחים עירוניים, אלא שטחי אגני ניקוז בהם השטח העירוני קטן יחסי. מודל "תחלסון" - (רמי גרתי וצוות התחנה) - להערכת ספיקות ראשונית בתחום עד 4 קמ"ר ללא אפשרות חישוב עבור שטחים עירוניים.

מודל "פולגט" - מודל הידרולוגי-סטטיסטי עבור אגני ניקוז מעל 2-4 קמ"ר (ק. גטקר - ש. פולק) - מאפשר שימוש עבור שטחים עירוניים בערי גוש דן בלבד.

מודלים גשם-נגר או מודלים אמפיריים אזוריים או מודלים פיסיקליים "מיובאים" - לאחר התאמת פרמטרים או מקדמים לתנאי הארץ. קיימים מספר מודלים פיסיקליים שנבדקו בארץ על ידי הטכניון והתוצאות לא משביעות רצון. מדובר בשתי שיטות עיקריות:

מודל SCS שפותח על ידי השרות האמריקאי לשימור קרקע (U.S Soil Conservation Service), ומודל SWMM שפותח עבור השרות האמריקאית לאיכות הסביבה (Storm Water Management Model).

שתי השיטות דורשות מגוון רחב של פרמטרים שלא תמיד נמצאים בהישג יד ודורשות חישובים נרחבים.

בשלב זה, שתי השיטות עדיין לא הוכנסו לעבודת התכנון בארץ, עקב קשיי ביצוע החישובים. לפי המלצת הטכניון התוצאות אינן מדויקות מספיק לתכנון מערכת ניקוז וההבדל בין השיטות עדיין טעון בדיקה.

מודל הידרוגרף אחיד - המודל לא קיים בארץ עקב חוסר נתוני בסיס באגנים קטנים מאוד עליהם בד"כ מבוססים מודלים מסוג זה. בשלב זה מתבצע מחקר בהזמנת החברה הלאומית לדרכים (מע"צ) בנושא זה, אולם הוא עדיין בתחילת דרכו.

המודל אמור לתת מענה לקבלת נתונים אמינים לאגני ניקוז קטנים כאשר נגר עירוני הוא חלק מהמערכת.

עקומי מעטפת אזורית - למקרי צורך בהגנה מרבית או בדיקת גבולות אפשריים של ספיקות השיא. שימוש בעקומי מעטפת לשטחים עירוניים בעייתי ויכול להביא לנתונים בלתי סבירים. לדוגמה, בנייה כפרית על קרקעות גרומוסוליות מקטינה נגר מכסימלי ולא מגדילה כפי שנהוג לחשוב באופן כללי.

סבירות הנתונים יש לבדוק על-ידי השוואת נתונים מחושבים במודלים שונים ולהקפיד על שמירת גבולות השימוש במודלים. אין לעבור גבולות שימוש במודל, אלא לאחר הוכחה מבוססת. לחישוב ספיקות מכסימליות באגנים קטנים מאוד בשיטות רציונליות חשוב מאוד לקבוע נכון מקדם נגר עילי במתחם הנחקר והאזור מבחינת עוצמת הגשם.

טבלה מס' 2.1 מציגה הערכה ראשונית לספיקות סגוליות ומאפשרת תמרון קל בין הפרמטרים. לקביעת ספיקה מכסימלית עבור איזור עירוני נבחר, יש להכפיל ספיקה סגולית בשטח (דונמים). הטבלה חושבה עבור תקופת חזרה פעם ב- 5 שנים המקובלת בתכנון תיעול עירוני לזמן ריכוז 10 דקות באגנים קטנים.

במידה ויהיה צורך בתקופות חזרה שונות, מוצגים ב**טבלה 2.2** מקדמי מעבר מספיקה סגולית, אשר בטבלה 2.1 להסתברויות שונות (תקופות חזרה שונות). נתונים אלה מיועדים להערכה ראשונית, כאשר החישוב הסופי יתבצע ע"י המהנדס בהתאם לנתונים פיסיו-גיאוגרפים, מורפולוגים, מטאורולוגים והידרולוגיים באזור.

טבלת עזר לחישוב ספיקות מכסימליות לפי נוסחה רציונלית

עד 1300 דונם Q = CIA

טבלה מס' 2.1

ספיקה מכסימלית סגולית ל / שניה /דונם					
הסתברות 20% - תקופת חזרה 5 שנים. זמן ריכוז - 10 דקות				מקדם נגר עילי	הגדרת מקום בעיר
				C	
הנגב והערבה	אזור ההר	צפון הארץ	מרכז הארץ - אזור החוף	שמות האזורים	
6.7	8.9	11	13.3	0.80	מע"ר
5	6.7	8.3	10	0.60	שכונת מגורים
3.3	4.5	5.5	6.7	0.40	שכונת קוטג'ים
2.5	3.4	4.2	5	0.3	שולי ערים, שולי כבישים
6.5	8.7	10.8	13	0.75	אזורי תעשיה קלה
5.5	7.4	9.1	11	0.65	אזורי תעשיה קשה
1.5	2.0	2.5	2.9	0.17	פארקים עירוניים, בתי קברות, מגרשי משחקים
0.85	1.1	1.4	1.7	0.10	קרקעות קלות עד מאוד
1.7	2.3	2.8	3.4	0.20	קרקעות כבדות מישוריות
7.5	10.0	12.5	15	0.80-0.9	שטחים בלתי חדירים למים

הערה: נתוני ספיקות סגוליות חושבו על בסיס איחוד אזורים הידרולוגיים ומהווים

הערכה ראשונית בלבד.

מקדמי מעבר לספיקות סגוליות

מהסתברות 5% (פעם בעשרים שנה) להסתברויות שונות

טבלה 2.2

הסתברות	20%	10%	5%	3%	2%
תקופת חזרה, שנים	5	10	20	33	50
אזור מרכז	0.53	0.76	1	1.16	1.31
אזור צפון	0.54	0.65	1	1.28	1.47
אזור ההר	0.40	0.57	1	1.30	1.60
אזור נגב וערבה	0.16	0.50	1	1.42	1.82

הערה: הנתונים חושבו על בסיס עקומות הסתברות איזוריים והנם להערכה ראשונית.

3. הסתברויות ונתוני תכן.

3.1 רמת נתוני זרימה

אין בארץ תקן רשמי הנוגע לגבולות שימוש בנתונים הידרולוגיים לצורכי תכנון. ההמלצות הקיימות בנושא רוכזו **בטבלה 3.1** בהתאם לסיכונים ולנזקים הצפויים. הטבלה מתייחסת לנגר העילי מבלי להתחשב בצורת קליטת המים. למבנים בדירוג גבוה (דרגות 3-5) מומלץ להוסיף מקדם בטחון. רמת מקדם בטחון בארץ מגיעה עד בערך 25-30% עבור ערוצי זרימה בהם מקדם השתנות ספיקות יחסית גבוה (בתחום $2 \div 1$) ורמת ידע הידרולוגי טובה. למקדם השתנות נמוך רמת מקדם בטחון 15-20%. אזורי מקדם השתנות גבוה: נגב, ערבה, בקעה. אזורי מקדם השתנות נמוך: צפון הארץ ואגנים מערביים לפרשת מים ארצית.

רמת נתוני הזרימה הנדרשת

טבלה 3.1

<u>דרגת סיכון ותיאור</u>	<u>תקופת חזרה, שנים</u>
דרגה 1 תיעול עירוני בשכונות חדשות ושיפור מצב שכונות קיימות, באזורי תעשייה ומסחר, מרכזי ערים. מתקני קליטה מומלצים לתקופת חזרה 5 שנים לפחות ומתקני הובלת המים בין 5 ל-10 שנים או יותר. ניקוז פארקים, תעלות משניות וחקלאיות בגבולות העיר ללא סכנת פגיעה בחיי אדם.	עד 10
דרגה 2 מבנים מאוכלסים בצפיפות וסביבתם הקרובה, נחלים ותעלות ראשיות בעיר מעבר למרכזי הערים וסכנת הצפת מגורים, מתקני איגום קטנים בתוך העיר ללא סכנת פגיעה ישירה בבני אדם.	עד 50
דרגה 3 מרכזי ערים ושכונות צפופי אוכלוסייה, נחלים או תעלות ראשיות החוצים מרכזי ערים או שכונות צפופי אוכלוסייה, שילוב שתי הגדרות קודמות, מתקני איגום גדולים בעיר ללא סכנה ישירה לחיי אדם, כבישים בינעירוניים העוברים בתוך העיר.	עד 100
דרגה 4 מבנים חשובים בהשקעה גדולה המשרתים אוכלוסייה מעבר לעיר (אזורים שלמים)	200 >
דרגה 5 מבנים מיוחדים ברמת הגנה מכסימלית אפשריים כגון מבנים ביטחוניים ברמה מיוחדת, מאגרי מים במעלה ערים מאוכלסות בצפיפות וחוסר נתיב זרימה חלופי וכד'	שיטפון מכסימלי אפשרי + חישוב גל פורץ בנחלים

3.2 חלוקת ניקוז עירוני

ניקוז עירוני מתחלק לשני חלקים:

ניקוז ראשי - ניקוז עילי גרביטציוני המתבטא בדרך כלל בזרימה בתעלות, נחלים ולאורך הכבישים. כדי למנוע נזקים כבדים, מומלץ לתכננו לתקופת חזרה פעם ב- 50 שנה ומעלה.

ניקוז משנה - תיעול עירוני וניקוז שטחים פתוחים המגיע לכל היותר עד תקופת חזרה של 10 שנים.

בניקוז משנה ניתן להפריד בין תיעול עירוני וכל שאר המתקנים.

תיעול עירוני בערים וותיקות נבנה בעבר לתקופת חזרה פעם בשנתיים. ההמלצה המקובלת היום בערים היא לדאוג להפעלת תיעול עירוני בהסתברות 20% (תקופת חזרה פעם בחמש שנים) וניקוז כללי מרחובות העיר ושטחים פנויים - בהסתברות 2% (תקופת חזרה פעם בחמישים שנה) למניעת סכנת ההצפה.

באזורי תעשייה ומרכזי ערים ההמלצה היא להגיע עד פעם ב- 10 שנים לתיעול ופעם ב- 100 שנה לניקוז ראשי, כאשר ההחלטה צריכה להתקבל בהתאם לרמת הסיכונים הצפויים בכל מערכת הניקוז העירוני בשלמותה.

היחס בין הספיקות המכסימליות לניקוז ראשי ולניקוז משנה הוא בתחום בין $2 \div 4$.

לכן טעות חמורה להציג ניקוז העיר או חלקי העיר כתיעול מים בלבד מבלי להתחשב בנוק שיכול להיגרם ע"י מים הזורמים במערכת ראשית (בשטחים פתוחים, רחובות וכד').

חשוב לציין, שתכנון מתקני קליטה ומערכת הובלת המים תת-קרקעית לאותה ספיקת תכן ובאותה הסתברות בעיתי בפני עצמו באירועי גשם חזקים ונדירים. עם עליית כמויות המים בכבישים מעבר למתוכנן, כושר קליטת מים בקולטנים גודל משמעותי (פי- 2-3), ואז **מערכת הובלת המים** מתמלאת כבר בחלקם העיליים ובמורד הזרם מפסיקה המערכת לקלוט מים נוספים. עומס יתר על צנרת הובלת המים באיזורים מורדיים גורם ליציאת מים דרך הקולטנים על הכביש בחזרה והצפת שטחים נרחבים. לכן בחלקים המורדיים ובהתאם לחשיבות המקום מומלץ להגדיל קוטר הצינורות לספיקה מכסימלית גדולה יותר המתאימה לתקופת חזרה 10-20 שנה לפחות. תוספת עלות במקרה זה היא קטנה.

4. אמצעי ניקוז עירוני

4.1 ניקוז ראשי - מהווה זרימת מים בגרביטציה כזרימה שטחית, זרימה בתעלות, זרימה ברחובות העיר ובעזרת מתקנים הידרוטכנים במגוון רחב של מעבירי מים שונים, מגלשים, מפלים, גשרים, מתקני הפניית המים, שימוש בהשהיית המים וכד'. הדברים מוצגים בספרות מקצועית רבה. המתקן ההידרוטכני השימושי ביותר במערכת ניקוז ראשית - מעבירי מים מסוגים שונים. גודל מעבירי מים מחושב לתנאי כניסה למעביר לפי נוסחאות, טבלאות מיוחדות או תוכנות מחשב מיוחדות.

מספר טבלאות שימושיות מוצגות בנספח 4 ומאפשרות לבצע פעולות חישוב הנדרשת. אנו מעדיפים **טבלאות 4.1, 4.2** בהן אפשר לבצע מגבן רחב של בדיקות כגון: חישוב גודל פתח המעביר בהתאם לספיקת תכן שנקבעה, התאמת גובה המעביר למרווח קיים בין תחתית הערוץ וגובה הכביש, חישוב כושר הולכה עבור גודל המעביר מים קיים, מהירות זרימה, עומק מים יחסי וגבולות סבירות החישוב. הטבלאות בנויות בנפרד למעבירי מים מלבניים וצינוריים. חשוב לציין שמעביר המים מתחלק לשלושה חלקים: מתקן כניסה, תעלת בטון, מתקן יציאה. השוני העיקרי ביחסי השפעת פרמטרים שונים במעביר על כושר הולכתו וגובה פני המים בו. זרימת מים במעבירי מים יכולה להיות זרימה חופשית, זרימה בלחץ חלקי או לחץ מלא. מומלץ לתכנן מעביר מים לזרימה חופשית. זרימה חופשית במעביר נשמרת עדיין, כאשר גובה פני המים בכ- 20% גבוה מעומק המעביר. לכן בחישוב מעביר המים יש להתחשב באפשרות זו לצורכי הקטנת גובה מעביר המים, כאשר שימוש בהגבהת המים מעל TOP המעביר יהיה רק בספיקות נדירות. חלקו האמצעי של מעביר המים עובד כתעלת בטון רגילה וחלה עליו כל ההשפעה בחישוב תעלות, כגון: יחסי רוחב- גובה, חספוס קירות, שיפוע תחתית, התמלאות יחסית. בכל מקרה, שני תהליכים אלה שונים במהותם ולכן כושר הכניסה למעביר תמיד קטן מכושר ההולכה של תעלת בטון ולכן גובה פני המים בתוך המעביר תמיד קטן יותר מהגובה בכניסה ויחס זה מגיע עד בערך 0.75.

תיאורטית מותר לתכנן מעביר מים לשיפוע הקטן ביותר .

באופן פרקטי מומלץ שיפוע מעל 0.007 כדי להבטיח מהירות זרימה מינימלית מעל 0.5 מ/שניה בזרימות קטנות ולמנוע הצטברות סחף במעביר. מצד השני, אם נישמר חתך אחיד במעביר המים

לאורכו, נוצר ניגוד מימדים: המים בתוך המעביר נמוכים בכ- 25% מאשר בכניסה למעביר. לכן מומלץ לבדוק הנדסי וכלכלי אפשרות תכנון גודל שונה (מוקטן) בבחלקו האמצעי במעביר או שימוש בכניסות מיוחדות (לדוגמה- כנפיים מתכנסות) להסגת אותה מטרם – הקטנת גוף המעביר או התאמתו למצבי כביש קיים שלא מאפשר הקמת מעביר רגיל לספיקת תכן שהתקבלה.. בתכנון מעבירי המים יש לקחת בחשבון סכנת הצפת שטחים במעלה המעביר. אין לתכנן מעבירי מים מבלי להתחשב בגובה הצפת שטחים עקב התרוממות מים שנגרמת ע"י המעביר. במתקן יציאה מהמעביר מתבצעת ירידה נוספת של גובה פני המים, בעיקר עקב התרחבות אפיק, ולכן מהירות זרימה גדלה משמעותית. יש לקחת בחשבון צורך בייצוב וחיזוק מורד המעביר והשקטת הזרימה בהמשך למניעת נזקי גריפת קרקע בהמשך התעלה ומתחת לשן המעביר.

4.2 מערכת משנית – תיעול עירוני גם כן מהווה מערכת גרביטציה.

מערכת זו מחושבת בשנים האחרונות לתקופת חזרה 5 שנים (ספיקת תכן בהסתברות 20%) ובמקרים מיוחדים לתקופת חזרה של 10 שנים (ספיקת תכן בהסתברות 10%). בעבר מערכת זו תוכננה לתקופת חזרה של 2 שנים (ספיקת תכן בהסתברות 50%). בערים ותיקות קיים שילוב הדברים ולכן חיבור בין מערכת ישנה וחדשה הוא בעייתי ודורש תשומת לב מיוחדת. מערכת ניקוז משנית מיועדת לניקוז העיר באופן חלקי בלבד בסופות גשם שכיחות ויצירת תנאים נוחים יותר לתושבים. מערכת ניקוז משנית אינה מסוגלת לקלוט סופות גשם חזקות ונדירות ללא התערבות מערכת ראשית ושימוש בשטחי השהייה טבעיים או מלאכותיים. מערכת ניקוז משנית צריכה להיות פשוטה בתחזוקה, יעילה, זולה ומוגבלת בתנאי הקמתה לספיקת תכן בלבד. מערכת תיעול מתחלקת למתקני קליטה ומתקני הובלת מים.

4.2.1. קליטת המים

קליטת המים מתבצעת בעיקר ע"י קולטנים לאורך הכבישים, תעלות עם רשת מיוחדת בניצב לכביש (לדוגמה בכניסה/יציאה למגרשים וחניות ושוחות מיוחדות (עם רשת-כובע, לדוגמה) לאיסוף מים משטחים הירוקים ושדות.

כמות מתקני הקליטה נקבעת לאחר חישוב כמויות המים האמורות להגיע למקום בהתחשב בהתפתחות האזור.

שיטות החישוב הן לרוב מסובכות וכוללות פרמטרים רבים המקשים על מלאכת התכנון. בהמשך ניתנות המלצות פשוטות להערכה ראשונית של ספיקות מכסימליות משטחים קטנים וכושר קליטת מים במתקנים שונים.

ב. הובלת המים

הובלת המים מהווה חלק אינטגרלי של מערכת הניקוז וכוללת צינורות, מובלי מים, שוחות חיבור ומתקנים אחרים.

גודל הצינורות מחושב בהתאם לספיקת התכן שנקבעה בתכנון מערכת תיעול. לחישוב גודל הצינור קיימים בספרות המקצועית עשרות נוסחאות, טבלאות, סרגלי חישוב ותוכנות מחשב, שברובם מבוססים על מודלים דומים.

5. מתקני קליטה והובלת מים עירוניים

קליטת מים בעיר מתבצעת בעזרת רשתות קולטנים מסוגים שונים, שוחות שטח בעלות רשת-כובע, מתקני ניקוז שוליים, מתקני ניקוז מדרכה וכד'.
תיאור מתקני קליטת מים עיקריים מוצגים בהמשך סעיף זה, כולל דוגמאות ותרשימי המתקנים.

5.1 רשתות קליטת מים.

5.1.1 מצב קיים

בארץ נמצאים בשימוש 3 סוגים עיקריים של רשתות:

דגם תל אביב, (ישן וחדש)

דגם חיפה,

דגם ירושלים.

דגמי הרשתות השונות ואבני צד לידם אשר בשימוש מוצגים על גבי **תרשימים 1.1, 1.2, 1.3**

בנספח 1.

הרשתות פועלות בדרך כלל בצורה הבאה:

עבור הרשתות שבשימוש בארץ, רוב המים נכנסים מצד מעלה הרשת-הצד הצר מכוון זרימת

המים, כאשר יתר המים נכנסים מצד הרחב של הרשת הפונה לכביש.

חלוקת קליטת המים היא בערך 70%-80% בחלק הצר מול 20%-30% בחלק הרחב שלאורך

הכביש. בהתחשב בכך, נבדק שילובם של מספר רשתות במערכת קליטת המים.

מתקן קליטה בעל רשת בודדת שהוצב בצורה תקינה ונקי מלכלוך נלקח כדגם של 100% כושר

קליטת המים.

כל השילובים האחרים הוצגו בהמשך ביחס לדגם זה:

(א) שתי רשתות צמודות צריכות להעביר:

רשת בודדת – 100%,

ברשת נוספת פועל רק צד הכביש שזה כ- 20% נוספים של מים.

בסה"כ כמות המים תהיה 120% מקולטן בודד.

(ב) שלוש רשתות צמודות לפי אותו היגיון:

רשת ראשונה – 100%,

רשת שניה - 20% נוספים,

רשת שלישית 20% נוספים,

סה"כ 140% לרשת בודדת לכל היותר.

המסקנה: הוספת רשת נוספת מגדילה את כושר הקליטה של המתקן ב- 20% בלבד ביחס

לקולטן בודד ולא מכפילה אותו, כפי שצפוי ולכן יעילות הוספת רשת שניה מוטלת בספק.

הפתרון המתבקש נבדק בשני כיוונים:

הגדלת כושר קליטה על-ידי שינוי צורת רשתות הקליטה,

שינוי צורת הצבת מתקני קליטה,

המלצות לגבי מתקנים יעילים יותר.

5.1.2 הגדלת כושר קליטה

להגדלת כושר קליטה מומלצות מספר רשתות חדשות.

(א) פתח צד (אבן שפה מברזל יצוק) בשילוב עם הרשת. אבן שפה יצוקה כמעט אינה עובדת

במצבי רשת נקיה ומצליחה לקלוט לכל היותר כ- 10% מהמים בקצוות הרשת או בין שתי

הרשתות.

אבן שפה יצוקה מברזל ללא רשת, מעבירה לפי חישוב תיאורטי בין 20% בשיפועים גדולים

לבין 40% בשיפועים קטנים מקולטן בודד.

יעילותה של אבן שפה יצוקה קטנה ולכן כלכלית אין בה צורך, אלא שנצליח להפנות את

המים אל פתח באבן שפה יצוקה – בכוח.

מכסה חדש (פלטה חדשה) בעל 2 בליטות, אמור לפתור את הבעיה.

המכסה תוכנן במידות הרשת הקיימת מסוג מסוים, דבר המאפשר החלפת רשתות ישנות

פחות יעילות ללא החלפת תושבת (תרישים 1.4 בנספח 1).

שתי בליטות מעל המכסה מובילות את המים לתוך אבן שפה מיציקת ברזל.

כך יגדל כושר הקליטה של הפתח באבן שפה בצורה משמעותית ביותר. בדיקת קליטת

המים ע"י קולטן בעל מכסה חדש ניסיוני נעשתה בשלב זה כהתרשמות ראשונית.

מהתרשמות בשטח נראה שמכסה חדש אחד מסוגל להפנות לפתח צידי כמות מים לפחות

כפולה מזאת שנכנסת לרשת רגילה.

עקב כושר הולכה גדול של המכסים החדשים שמפנים כמות גדולה של מים לכיוון אבן שפה מיציקת ברזל, מומלץ במתקנים חדשים להשתמש בקולטן בודד ולתת לעודפי המים לחזור לתהליך זרימה רגיל.

במקרה של החלפת 2 רשתות צמודות ישנות במכסים חדשים, אין ברירה אלא להחליף את שניהם. בקולטנים קיימים בעלי מספר רשתות גדול יותר (4-5) מומלץ להחליף רשת שניה ואחרונה במכסה חדש ורשתות קיימות לסגור בעזרת מילוי בטון. אין בהם כל תועלת אלא להפך - במקרה זה הרשתות רק מפריעות לזרימת מים תקינה. בשלב זה תוכננו שני סוגים של מכסים חדשים: שמאלי וימני. ייצור פלטה חדשה יכול להיעשות מברזל יצוק או מבטון.

דגם הפלטה הורכב בשני מקומות והתוצאות מצוינות: כמות מים המופנית לאבן השפה כפולה לפחות מקליטה על-ידי רשת רגילה.

במקומות נמוכים אבסולוטי בהם המים מגיעים משני הכיוונים, מומלץ להחליף רשתות קיצוניות במכסים מנוגדים (אחד ימין ואחד שמאל) ואת הרשתות ביניהם למלא בבטון ולהפוך לפלטה ישירה. כך נצליח לקבל תועלת מרבית משילוב מערכת קיימת עם מכסה חדש.

ב) רשת נוספת להצבה ליד אבן צד במדרכה מוצגת בתרשים 1.5 בנספח 1.

הרשת מבצעת שתי פעולות בעת ובעונה אחת:

קליטת מים על-ידי שני חריצים מוגדלים המוקמים בצורה דומה למכסה הקודם והפניית עודפי מים פנימה לתוך אבן שפה יצוקה.

הרעיון הוא שכל פתח קליטה מהווה גם מטרד למים והמים מנסים למצוא דרך קלה יותר להיקלטותם, דהיינו לפנות לתוך אבד צד.

כושר קליטת הרשת היא בערך פי 1.5 מרשת רגילה.

ניתן לבצע את הרשת מבטון מזוין.

ג) רשתות בגאטר.

בשנים האחרונות נהוג לתכנן פס חניות בין המדרכה והכביש בשיפוע כלפי הכביש וכך נוצר ביניהם גאטר.

רשת בגאטר ללא אבן שפה מברזל יצוק קולטת יותר מים מאשר קולטן "סטנדרטי" רגיל ליד מדרכה.

כושר הקליטה בערך 140% מקולטן בודד רגיל ליד מדרכה, מכיוון שנכנס לפעולה צד נוסף של הרשת - צד המדרכה.

לשיפור קליטת המים בגאטר מומלצת רשת חדשה המוצגת ב**תרשים 1.6 – בנספח 1**. השינוי המהותי - הפניית פתחי קליטה בניצב לזרימת המים או בזווית קלה לכיוון זרימתם.

למרות הקטנת מספר פתחים ביחס לרשתות רגילות, הצורה החדשה מאפשרת יעילות רבה. בנוסף, מומלץ להשתמש במקרה זה באבן תעלה חדשה - אבן קצה לפני הרשת. שני הדברים יחד מאפשרים להגדיל באופן משמעותי את כושר הקליטה ביחס לרשת רגילה.

(ד) בתרשים 1.7 מוצגת סבכה (גדולה וקטנה יחסית) לקליטת מים משטחים פתוחים. הרשת חייבת להיות מונמכת מפני השטח כ- 20-40 ס"מ בהתאם לגודלה וסביבה נדרשת מעטפה מיוצבת בבטון לניקוי מסחף ולכלוך.

הגודל המומלץ מתחיל מ- 60×60 ס"מ או 60ø,

86×47 ס"מ המתאים לשוחת קולטן ראשי וצינור מוצא 60ø.

109×89 ס"מ המתאים לשוחה 100×80 ס"מ וצינור מוצא 80ø או רשתות בגודל מיוחד.

יש לזכור שאין התאמה במתקנים אלה בין כושר ההולכה של צינור מוצא ורשת קליטה.

הרשת בנויה על שוחה בגודל מינימלי המתאימה לחיבור צינור מוצא.

כושר קליטת הרשת במקרה זה בדרך כלל פי 3-4 מכושר כניסה לצינור מוצא מים.

הוצאת עודפי מים משטחים ירוקים לאחר השהייתם מומלצת על-ידי דגם "ב" לכל היותר.

5.1.3. כושר קליטה מתקני ניקוז עירוניים

בטבלה 5.1.1 ריכוזו נתוני כושר הולכה לרשתות כדוגמה למקרה שיפוע אורך בכביש 0.02 ושיפוע רוחב 0.02 הנפוץ בערי השפלה, כדי להמחיש את ההבדלים בין המצבים השונים שהוצגו לעיל כדי להדגיש יעילות יחסית של מתקנים חדשים.

כושר הולכה מתקני קליטה **טבלה 5.1.1**

מספר	נחון	פרטי כביש
1	שיפוע אורך	0.02
2	שיפוע רוחב	0.02
3	כביש ברוחב - כושר קליטה בליטר/שניה	14 מ' ~
	פרטי מתקן קליטת המים	כושר קליטה לרשת בודדת
4	ספיקת תכן 2% מכביש באורך 100 מ'	57
5	ספיקת תכן 20% מכביש באורך 100 מ'	23
6	קולטן בודד למצב נקי להסתברות ספיקה 2%	23
7	2 קולטנים צמודים	30
8	3 קולטנים צמודים	40
9	קולטן זוגי *	44
10	קולטן בודד ללא אבן שפה - בגאטר	28
11	אבן צד שליד רשת במדרכה	2-3
12	אבן צד במדרכה - ללא רשת	9
13	אבן צד במדרכה ללא רשת בשיפועים גדולים	~5
14	רשת חדשה HM-3 לקלטה והכוונה ליד מדרכה	35
15	מכסה חדש HM-2 בודד להכוונת המים מעל	46
16	רשת חדשה בגאטר HM-1+אבן תעלה בכניסה	40

* קולטן זוגי כולל שני קולטנים בודדים מחוברים ע"י צינור ביניהם.

נתוני הטבלה הם למצב מתקן תקין, מוצב נכון וללא לכלוך על הרשתות והצפת מסעת הכביש המורשית עד 1 מ' מהמדרכה.

הדברים משתנים עם שינוי שיפועים בכביש: ברוב מתקני הקליטה כושר ההולכה גדל עד גבול מסוים שהוא בערך 6-7% שיפוע אורך ומעבר לכך המצב נשאר ללא שינוי.

הבעיה של רשתות קליטת המים היא שהמים לא מסוגלים לעבור את הפתח הראשון בדרכם וזה בעצם קובע את כושר הקליטה של הרשת. הפתחים הפנימיים של הרשת אינם פועלים כלל במצבים רגילים, אלא ייתכן שרק במצבי עוצמות גשם נדירות. יש לזכור שמתקני קליטה מתוכננים לתקופת

חזרה של עוצמות גשם פעם ב- 5 שנים ולכל היותר לפעם בעשר שנים במקרים נדירים, כך שאין בכלל צורך בפתחים הפנימיים.

הנתונים בטבלה 5.1.1 הם ארעיים ויעודכנו לאחר ביצוע בדיקת כושר ההולכה במעבדה. הרשת החדשה (מכסה חדש) תוכננה כדי להעמיס קליטת המים על אבן צד שעומדת ללא מעשה, כל זאת ע"י הפניית המים בעזרת בליטות-מובילי מים.

לאחר בדיקת נתוני כושר ההולכה ברשתות קולטנים שונים (קולטן בודד, כפול, זוגי וכד') בשיפוע נתון כפי שמובא בטבלה לעיל, אנו מציגים בהמשך הערכה של אותם הנתונים בשיפועי כביש שונים הנפוצים בשטח העירוני.

חשוב לציין שמערכת תיעול עירונית שחושבה לספיקת תכן 20% (תקופת חזרה פעם ב- 5 שנים), פועלת גם באירועים נדירים יותר ואז כושר ההולכה של הקולטנים גדל. כתוצאה מכך הצינורות מתמלאים מעבר למתוכנן ומערכת התיעול מפסיקה לקבל מים נוספים ובמקומות הנמוכים המים אפילו יוצאים בחזרה מהרשתות או דרך מכסים בשוחות חיבור ומצב זה תקין לחלוטין. לכן במקומות עם קשיי פינוי מים גרביטציוני על פני הכבישים, מומלץ לתכנן צינורות הובלת מים לספיקה גדולה יותר. לדוגמה, התיעול יתוכנן להסתברות 20% כאשר גודל צינורות הובלת המים יתוכנן להסתברות 10% או פחות.

המסקנה החד-משמעית מהטבלה, שהצבת קולטנים צמודים אינה כדאית כלל וכושר ההולכה של אבן צד במדרכה זניח.

לעומת זאת, שימוש בקולטנים זוגיים יעיל בהרבה ושימוש בהפניית מים לתוך אבן צד ע"י מכסה הפניית המים ורשתות חדשות אחרות מגדילים בהרבה את כושר ההולכה של הקולטנים.

כפי שהוסבר בסעיף 5.1.1 - מצב קיים, יעילותם של קולטנים צמודים הכוללים מספר רשתות רגילות מוטלת בספק.

לקולטן הראשון מצטרף אך ורק צד אחד של קולטן נוסף והדבר מגדיל את כושר הקליטה לכל היותר בכ- 20% (לכל רשת נוספת).

הפתרון המתבקש ביצירת קולטנים זוגיים, דהיינו בהפרדת הרשתות והנחת קולטנים בודדים הקשורים ביניהם על-ידי צינור קצר – ראה **תרשימים 2.1, 2.2 בנספח 2**.
אם המרחק ביניהם יהיה כ- 4-8 מ', תלוי ברוחב הכביש ובשיפוע אורכי, המים מספיקים לחזור לנתיב הרגיל ואז מופעל הצד המעלי של הרשת השנייה, דהיינו המערכת של שני הקולטנים תעבוד בהספק 200% מרשת בודדת וזאת בהשקעה מינימלית נוספת של הצינור המחובר. כנראה נדרש צינור פלדה עקב חוסר כיסוי מתאים עד פני הכביש או החלפת קולטן רדוד לקולטן ראשי.
תרשים 2.1 מציג הצבת קולטנים צמוד למדרכה ושימוש בפלטה חדשה להפניית המים.
תרשים 2.2 מציג הצבת קולטנים בגאטר ושימוש ברשת ישנה או חדשה (עדיף) ואבן קצה.
הצבת קולטנים **זוגיים** יעילה מאוד ומגדילה כושר קליטת המערכת מ- 120% לקולטן כפול צמוד ל- 200% בקולטן זוגי וזאת עדיין מבלי להתחשב ביעילות הרשתות החדשות.

5.2 מתקני קליטה חדשים

מתקנים אלה, המוצגים בנספח 2 מומלצים לשימוש בתאמתם למקום קונקרטי בפרויקט.
תרשים 2.3 – תא קליטה במגרשי חניה משולב עם מעבר הולכי רגל.
המתקן תוכנן לקליטת המים על-ידי תא תפיסה סטנדרטי ללא רשת, כאשר מעליו פח מחורץ למעבר הולכי רגל (אפשרי פלטת בטון).
המתקן באופן מעשי קולט את כל המים המגיעים אליו והמגבלה היא גודל צינור המוצא.
תרשים 2.4 – פתח קליטת המים מוגבה במקומות נמוכים אבסולוטי למניעת סתימות.
המתקן מהווה גשרון להולכי רגל (מבטון, ברזל, עץ) המאפשר קליטה יעילה על-ידי פתח מוגדל ומוגבה מעל גובה המדרכה להעברת חפצים צפים על פני המים.
אפשרות חיבור לתעלת מוצא או קולטן חיבור לצינור.
נבנה במספר מקומות והוכח כיעיל ביותר.

תרשים 2.5 – מתקן ניקוז מדרכה.

בתרשים 2.5 א מוצג מתקן טרומי בשילוב פלטה חדשה להפניית מים (ראה תרשים 1.4). ראש המתקן ויחידות הובלת המים הן טרומיות כאשר חלקם העליון יכול להיות בצורת אבן משתלבת.

בתרשים 2.5 ב – מוצג מתקן מדרכה זמני עד הוצאת המתקן הטרומי על-ידי בית חרושת.

תרשים 2.6 – מתקן קליטה ליד מעקה בטיחות.

המתקן מורכב מזוג קולטנים סטנדרטיים (תא תפיסה ראשי ורדוד ופתח מתחת למעקה ניו-ג'רסי). הפניית המים מתבצעת על-ידי פלטה חדשה 1.4.

תרשים 2.7 - מציג מתקן קליטת מים משטחים ירוקים או שטחים פתוחים. אפשרי גדלים שונים של רשתות כובע, אולם ההמגבלה היא בקוטר הצינור ולא בגודל הרשת.

תרשים 2.8 - מתקן קליטת מים משטחים גדולים.

תרשים 2.9 - מתקן קליטת מים ביציאה מהחנייה.

תרשים 2.10 – מתקן שבירת אנרגיית מים ביציאתם למדרון או שטח חקלאי להקטנת ארוזיית קרקע על-ידי מחסום, הקטנת מהירות זרימה כמעט עד אפס ותחילת תהליך זרימה כביכול מחדש. רוב מים עוברים דרך גביונים ורק במקרה קיצוני יעברו מעל המתקן.

תרשימים 2.11, 2.12 - קידוחי החדרת מים משני סוגים:

בעזרת חוליות בטון מחוררות ובעזרת שרוולי גיאוטקסטיל ממולא בחצץ.

במקרה של חוליות, נפח קליטה ראשוני הוא גדול בהרבה ושווה לנפח הקידוח. במקרים רבים נפח זה קולט את כל הגיאות.

תרשים 2.13 – אפשרות חיבור עודפי המים למערכת ניקוז עירוני.

5.3 הצבה נכונה של מתקני ניקוז

בנספח 3 מוצגים מספר תרשימים המתארים אופן הצבת מתקני ניקוז בצורה לא מקובלת ובצורה נכונה ומומלצת.

תרשים 3.1 - מציג הצבת מתקני ניקוז בקטע מעבר שיפועים בכביש עירוני בו הטעויות נפוצות ביותר.

יש להציב את מתקן הקליטה במקום בו קו הגובה בכביש פחות מ- 45° מקו המדרכה. ככל שהזווית גדולה יותר, כך פוחת הסיכוי לתפוס את המים.

תרשים 3.2 - מתקני קליטה בצומת יש להציב לפני מעבר חצייה כדי לאפשר חצייה "יבשה" להולכי רגל.

תרשים 3.3 – דוגמת הצבת מתקני קליטה מוסטים באי-מרכזי או במדרכה. קולטנים מוסטים יעילים מאוד בלי קשר לסוג הרשת. המים "נדבקים" לאבן שפה ומשנים כיוון זרימה לתוך הקולטן.

כמובן במקרה זה רצוי להשתמש בפלטה חדשה להפניית מים לאבן צד. הנחת קו ניקוז מרכזי באי-הפרדה והפניית שיפוע הכביש פנימה לכיוון האי יעיל ביותר וחוסך כ- 50% בעלות מערכת הניקוז (או) צורך בחציות והקולטנים מוצמדים לשחות חיבור.

תרשים 3.4 - הצבת קולטנים ב"אוזניים" בעייתי מאוד. המים זורמים בגאטר ברוחב מסוים ונתקעים באבן שפה הדוחפת אותם לכיוון ציר הכביש. המים פשוט עוקפים את הרשתות מבלי להיכנס למתקן. ההצבה היעילה מוצגת בתרשים 3.5.

תרשים 3.6 - מציג שימוש נכון בהצבת מתקן קליטה מוסט לתוך המדרכה, כמובן בתנאי שרוחב המדרכה מאפשר זאת.

תרשים 3.7 - שילוב קולטן מוסט עד פס ירק לאורך המדרכה: קליטת מים טובה, חיסכון בשוחה מתאימה לחיבור ולרשת קליטה.

5.4 מתקני הובלת המים

הובלת מים מתבצעת בעזרת מובילי מים פתוחים וסגורים.

5.4.1. **מובילי מים פתוחים** הם ערוצי זרימה טבעיים ותעלות מלאכותיות מסוגים שונים.

חישוב מובילי מים מתבצע בדרך כלל בעזרת נוסחאות שזי או מננינג ומוצגים בספרי הידרוליקה רבים. לשימוש בהם חשוב להגדיר נכון תנאי זרימה, לבחור חתך אופטימלי, לבדוק צורך בייצוב מפני ארוזיה, לבחור נכון מקדמי חספוס וכד'.

5.4.2. **מובלי מים סגורים** מוצגים על ידי מובלים מלבניים מבטון יצוק או צינורות בקטרים שונים. בטבלה 5.4.1 מרוכזים גבולות מומלצים לפרמטרים העיקריים בתכנון מובלי מים סגורים כגון מילוי יחסי, מהירות מינמלית למניעת סתימות במערכת, שיפוע מינימלי אפשרי.

המלצות לתכנון צינורות לספיקת התכן

טבלה 5.4.1

רוחב מובל או קוטר צינור, מ'	מילוי יחסי מכסימלי h/d	מהירות מינימלית מ'/שניה	שיפוע מינימלי גבולי	שיפוע מינימלי מומלץ
0.2	0.6	0.7	0.0045	0.007
0.3	0.6	0.8	0.0035	0.007
0.4	0.7	0.8	0.002	0.007
0.5	0.75	0.9	0.002	0.007
0.6	0.75	1.0	0.002	0.007
0.8	0.75	1.0	0.0065	0.005
1.0	0.8	1.2	0.0065	0.005
1.25	0.8	1.2	0.001	0.005
1.5	0.8	1.3	0.001	0.005
2.0	0.8	1.5	0.001	0.005

שמירה על נתוני טבלה 5.4.1 בתכנון הכרחית בהחלט מסיבות הידרוליות:

- § שמירה על מילוי יחסי מינימלי מאפשר למים לא להידבק על תקרת המוביל המקטין כושר הולכה בצורה משמעותית ומאפשר אספקת אוויר סדירה לצינור ומניעת גלי ויברציה מיותרות.
- § שמירה על מהירות מינימלית מונעת סתימת הצינור בסחף דק אשר עלול להידבק לתחתית בהפסקת זרימת המים וקשה לניקוי.

§ השיפוע בטבלה הינו שיפוע מינימלי אפשרי, שלא מומלץ לתכנון. שיפוע זה הינו גבולי ועלול לגרום למהירויות קטנות מאוד מתחת למינימום.

השיפוע בתחום 0.007 לפחות מומלץ להבטחת תנאי זרימה טובים. שיפוע זה מונע סתימות בצנרת ומגדיל בצורה משמעותית את כושר ההולכה בצינור.

עבור צינור בקוטר 1 מ' השינוי בכושר ההולכה בין שיפוע מינימלי אפשרי. לדוגמה, עבור צינור בקוטר 0.3 מ' הגדלת השיפוע עד 0.007 מגדילה את כושר ההולכה ב- מומלץ – פי 1.8. בצינור הובלת מים נדרשים תאי ביקורת במרחקים הנעים בין 50 עד 300 מ' כפונקציה מקוטר הצינור:

מרחק בין שוחות ביקורת - טבלה 5.4.2

קוטר צינור, מ'	מרחק בין תאי ביקורת
0.5 <	50
0.5-0.8	75
0.8-1.0	100
1.0-1.5	150
1.5-2.0	200
מעל 2.0	250-300

חישוב גודל המוביל/קוטר מתבצע בעזרת נוסחאות הידרוליות כפונקציה של ספיקה, שיפוע, מקדם חספוס המופיעים בספרי הידרוליקה רבים. כמוכן יש להתחשב במהירות מינימלית למניעת סתימות ומהירות מכסימלית שהצינור מסוגל לשאת.

בספרות מקצועית קיימים אמצעי חישוב מובלי מים שונים בצרת גראפים ונומוגרמות, נוסחאות בצורות שונות, תוכנות מחשב שונות. **בנספח 4** מוצגות מספר דוגמאות לכך.

הנומוגרמה הנוחה מאוד מוצגת בנספח 4 - **גרף 4.3**. הנומוגרמה מאפשרת להתחיל חישוב מכל מקום ולבצע הישובים להתחשב בפרמטרים שונים של זרימת המים:

חישוב גודל הצינור לפי ספיקה ושיפוע, בדיקת מהירות זרימה, בדיקת מידת מילוי הצינור, בדיקת סכנה להיותה זרימה מעבר לגבולות המקובלים והבטוחים.

הגרף מאפשר בזמן קצר מאוד לבדוק ולהשוות אפשרויות שונות ומצבי זרימה שונים. יתרונו של הגרף בכך, שאפשר להגיע לתנאים הטובים ביותר בקביעת נתוני הצינור בהתחשב במצב קיים (שיפוע אפשרי) מבלי לגלוש לאזורי זרימה לא תקינה.

נומוגרמה זאת הוכנה ע"י המכון לתחבורה במוסקבה על בסיס נוסחה שזי.

5.4.3. הובלת מי ניקוז

להובלת מי-ניקוז בעיר משתמשים בדרך כלל בצינורות בטון מזוין בגדלים שונים עקב אורך חיים גדול ואפשרות לעומסים גדולים. צינורות בטון לניקוז לפי תקן ישראלי קלאס 4 או 5.

בשנים האחרונות הוגבר השימוש בצינורות P.V.C או פוליאטילן. צינורות אלה עומדים בלחצים הנדרשים בדרך כלל בקטרים קטנים יחסית, אשר בקושי מגיעים עד 70-80 ס"מ. לדוגמה, צינורות פוליאטילן להובלת מים גם בלחץ לפי ת"י 499, ת"י 884 P.V.C-U, P.V.C-4, דופן מבני לתיעול לפי ת"י 5062 ואחרים.

לכל סוגי הצינורות בדרך כלל יש חיבורים מיוחדים משלהם.
צינורות פלדה לריתוך לפי ת"י 530 בקטרים שונים מקובלים גם בניקוז, אולם השימוש בהם מוגבל רק למקרים מיוחדים עקב עלותם הגבוהה יחסית.

5.4.4. מעבירי המים.

גודלם של מעבירי המים בעיר בדרך כלל קטן והוא גדל כשמתרחקים לכיוון מורד הזרם בקצוות העיר עם התגברות כמויות המים.
גודל מעבירי המים נקבע לפי כניסה בהתאם לספיקת התכן. במקרים רבים אין צורך בהמשך מעביר בגודל המחושב לפי הכניסה, בעיקר באזורי שטחים משופעים משמעותית.
במקרים אלה ניתן לחשב העברת ספיקת התכן כזרימה בצינור ובנפרד לחשב גודלו בכניסה. כעת נשאר לחבר את שני הצינורות על ידי קטע מעבר - החיסכון ברור והוא לא רק בעלות, אלא בנוחות השימוש בצינורות קטנים יותר בעיר.
לצורך כך תכננו שלושה מעברים בין קטרים שונים, הנראים לנו שימושיים ביותר בעיר:
100/80 ס"מ, 125/80 ס"מ, 150/100 ס"מ - ראה **תרשימים** 5.1, 5.2, 5.3.
באותה מידה אפשר לבצע מעברים למעבירי מים מלבניים.

6. אזורי מיתון תנועה

הטיפול בנושא בא בעקבות הוצאת הנחיות מפורטות של משרד התחבורה מינואר 2002.
בהנחיות מומלצות צורות מיתון תנועה רבות המסתכמות במספר טיפוסים עיקריים:

§ אמצעי ריסון ע"י פסי האטה שונים,

§ צמתי האטה כולל ככרות והתכנסויות בצורות שונות,

§ שערים ושילוב עם האמצעים הקודמים.

בכל המקרים המטרה היא כמובן להקטין את מהירות הנסיעה.

אמצעי ריסון ע"י פסי האטה הם העיקריים, כאשר בהם נוצרת הגבהה מעל פני הכביש או מקום צר כדי למתן תנועה. הגבהה זו מקשה על הניקוז ודרשה התייחסות מיוחדת לנושא. כדי להבטיח מעבר עגלות ילדים, כסאות נכים, מעבר אנשים מוגבלים במפלס אחד ללא הנמכות לזרימת המים, אנו ממליצים על שילוב מספר מתקנים בקרבת מתקני מיתון תנועה, המיועדים לנקז מים שעשויים להצטבר לפני ההגבהה.

קודם כל יש להבטיח ניקוז יעיל בכביש טרם הגעת מים למבנה מיתון תנועה. מתקן ניקוז צמוד למבנה מיתון תנועה מטרתו להשלים הוצאת מים בצמוד לו בלבד. בהנחיות משרד הבינוי והשיכון מוצגות אפשרויות רבות מאוד למיתון התנועה, אשר לכל אחת מהן יצטרך מתכנן הניקוז להצמיד מתקן להשלמת ניקוז הכביש ליד המבנה. לצורך הדגמה אנו מציגים 3 אלטרנטיבות לקליטת המים ליד האזור המהווה חלק ממבנה מיתון תנועה.

המתקנים הם בצורות שונות ומוצגים על גבי **תרשימים 6.1, 6.2, 6.3 בנספח 6**.

מתקן 6.1 הינו תעלה טרומית בעלת אבן שפה מבנה וחרץ לקליטת המים, כאשר מתחת למבנה מיתון תנועה החרץ מכוסה וסגור לכניסת המים. מטרת המתקן לקלוט את המים לפני מבנה מיתון התנועה ולהעבירם מעבר להמשך טיפול.

ברור שבקרבת המקום חייבת להיות מערכת ניקוז הכביש.

מתקן 6.2 גם מעביר את המים מצד לצד של מבנה מיתון תנועה והוא מבוסס על צינור מלבני בגודל לדוגמה 20x15 ס"מ חתוך בקצוות בהתאם לזווית אבן השפה ב"אוזן". צינורות מלבניים מיוצרים בארץ במידות שונות ובעובי דופן שונה. המתקן יעיל גם אם אין בכביש זה מערכת ניקוז.

מתקן 6.3 מבוסס על שוחת קולטן סטנדרטי לפני המבנה והעברת מים ישירות למערכת הניקוז. השוחה עומדת בזווית לאבן שפה וכוללת מכסה חתוך בזווית בצמוד לאבן שפה יצוק ומאפשר הרמתו לניקוי השוחה.

שלושת הדגמים מתאימים לרוב מבני מיתון התנועה המומלצים בהנחיות למיתון תנועה.

במעגלי תנועה מומלץ לא להתקין מתקנים בחלקו הפנימי של המעגל עקב עומסים דינמיים מוגברים בקשת חדה.

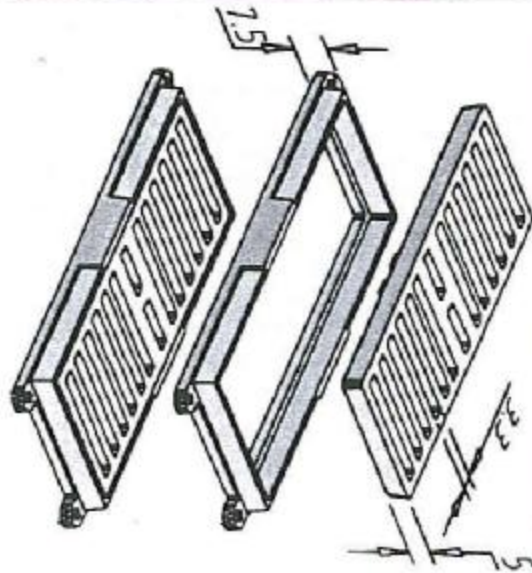
מומלץ להוריד את המים לפני מעגל התנועה מבלי להיכנס לקשתות ועודפי מים זניחים להעביר להמשך הכביש ע"י הסדרת שיפוע במעגל.

שמואל פולק
מהנדס - הידרולוג

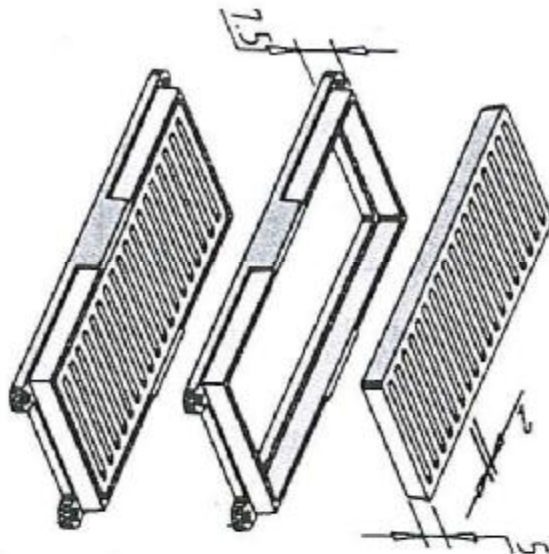
נספח 1

רשתות קליטת מים

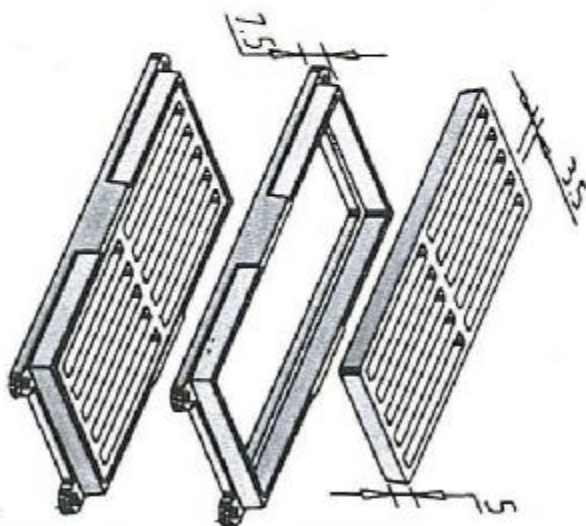
1.1 רשתות לניקוז המיוצרות בארץ



רשת תל-אביבית
חדשה תיקנית 25 ס"מ

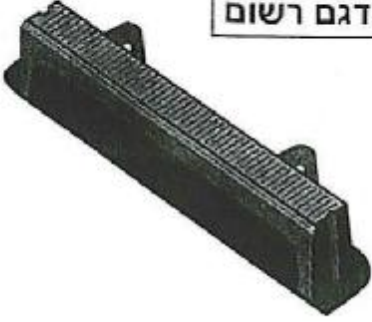
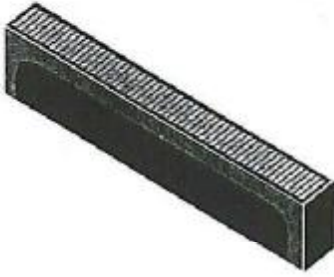


רשת תל-אביבית
חריצים צרים, תיקנית
למדרחוב 8 ס"מ



רשת תל-אביבית
דגם ישן

1.2 אבני שפה המיוצרות בארץ

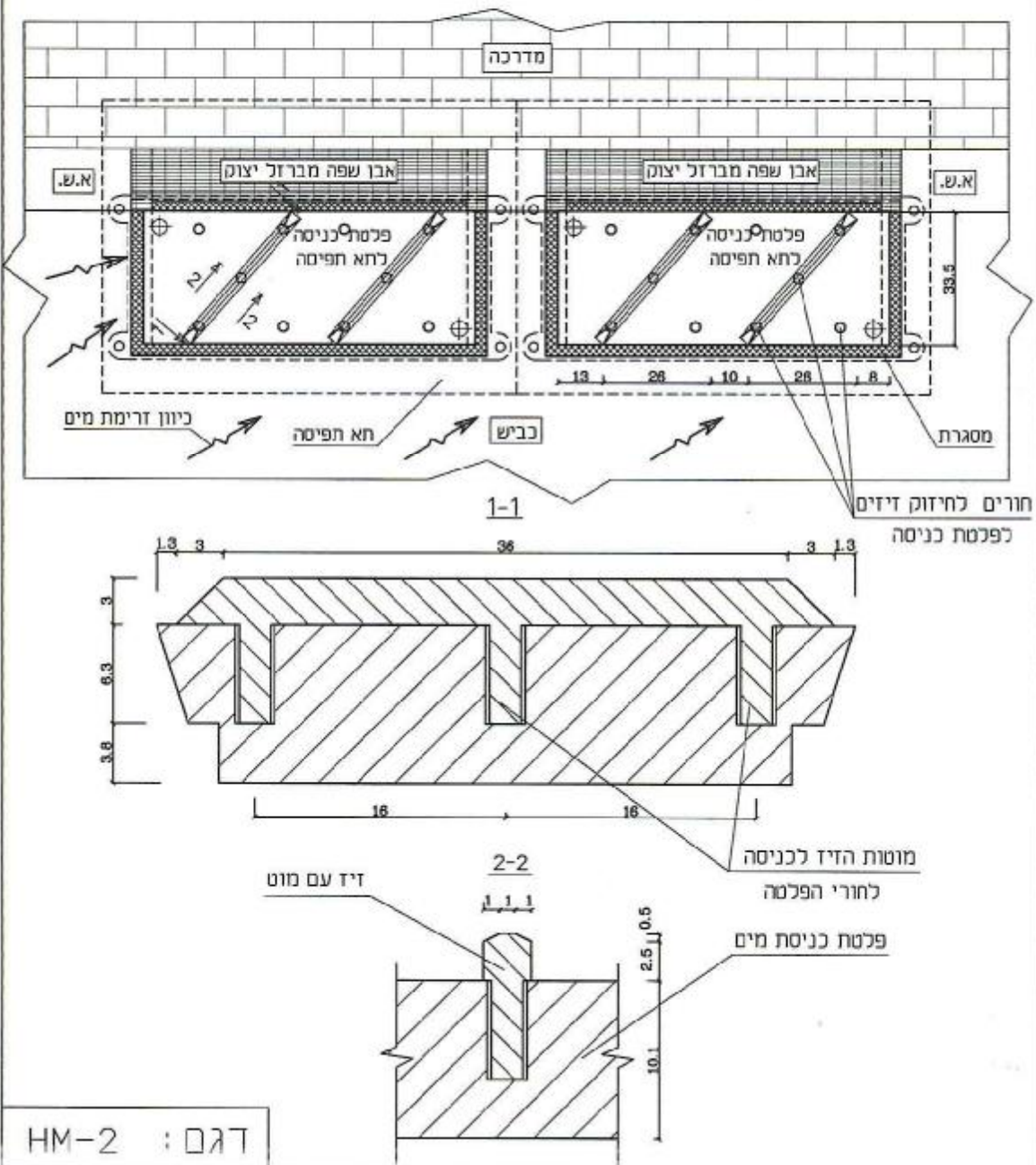
אבן שפה דגם "אביב"	מדגם רשום 
אבן שפה דגם "ת"א"	
אבן שפה דגם "חיפה"	
אבן שפה לאי תנועה דגם "גיל"	



רשתות ירושלמיות 1.3

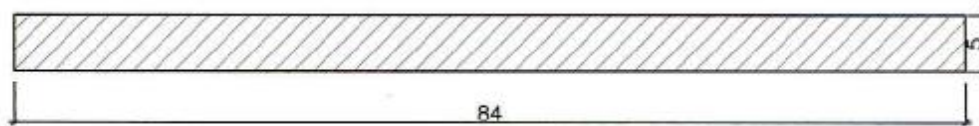
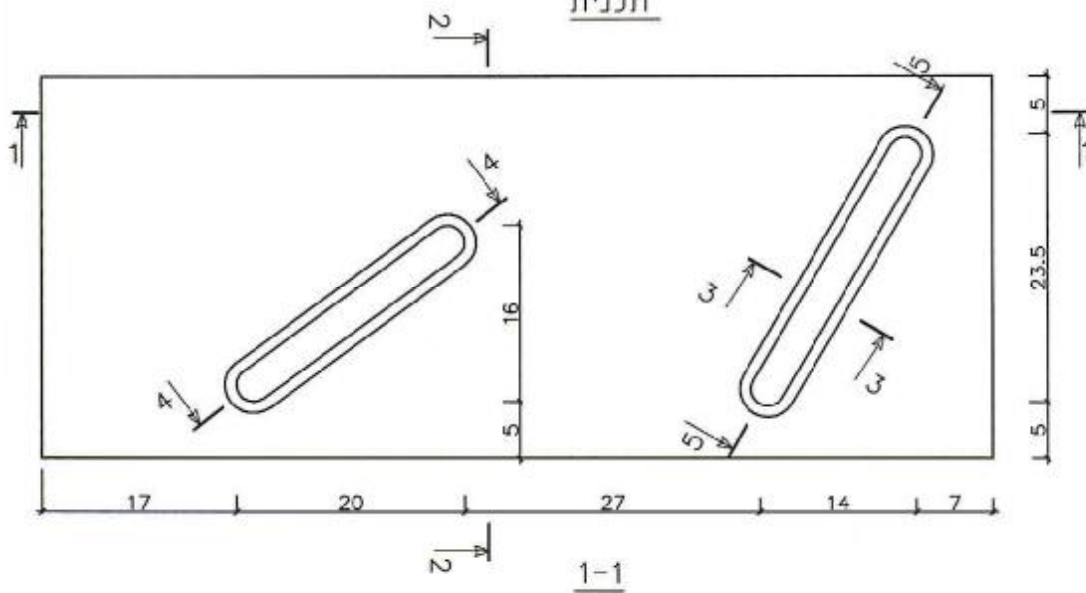
1.4 פלטה חדשה מבטון עם זיזים מברזל להפניית זרימת מים לתוך פתח אבן שפה מברזל יצוק

פלטת כניסה לתא תפיסה
לשני כיווני זרימת מים

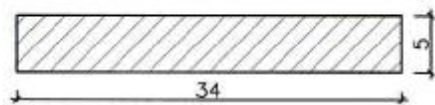


1.5 רשת חדשה לקליטה חלקית והפניית זרימה לתוך פתח אבן שפה יצוקה

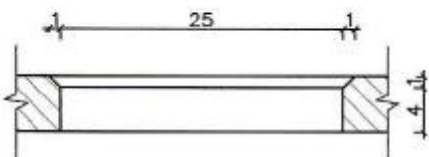
תכנית



2-2



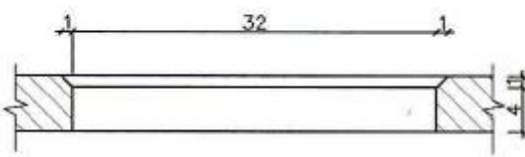
4-4



3-3



5-5



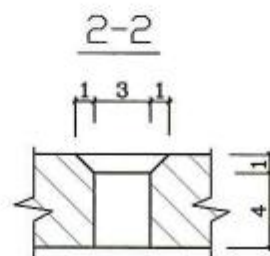
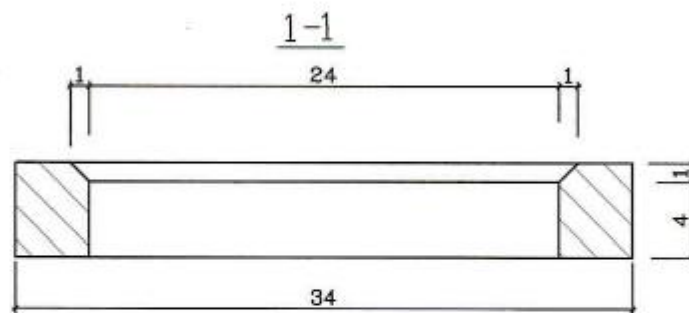
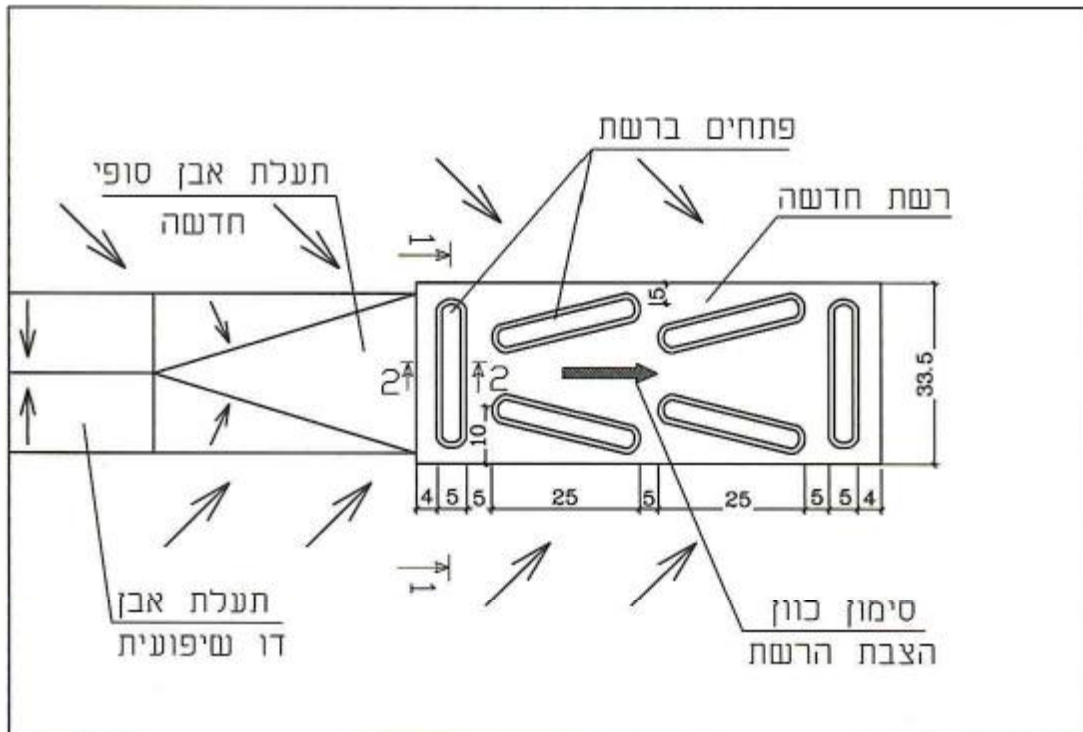
הערות:

1. מידות בס"מ
2. סוג עומס פלסט כניסה-כבד (25 טון)

דגם : HM-3

1.6 רשת חדשה 25 טון להצבה בגאטר

תנוחה

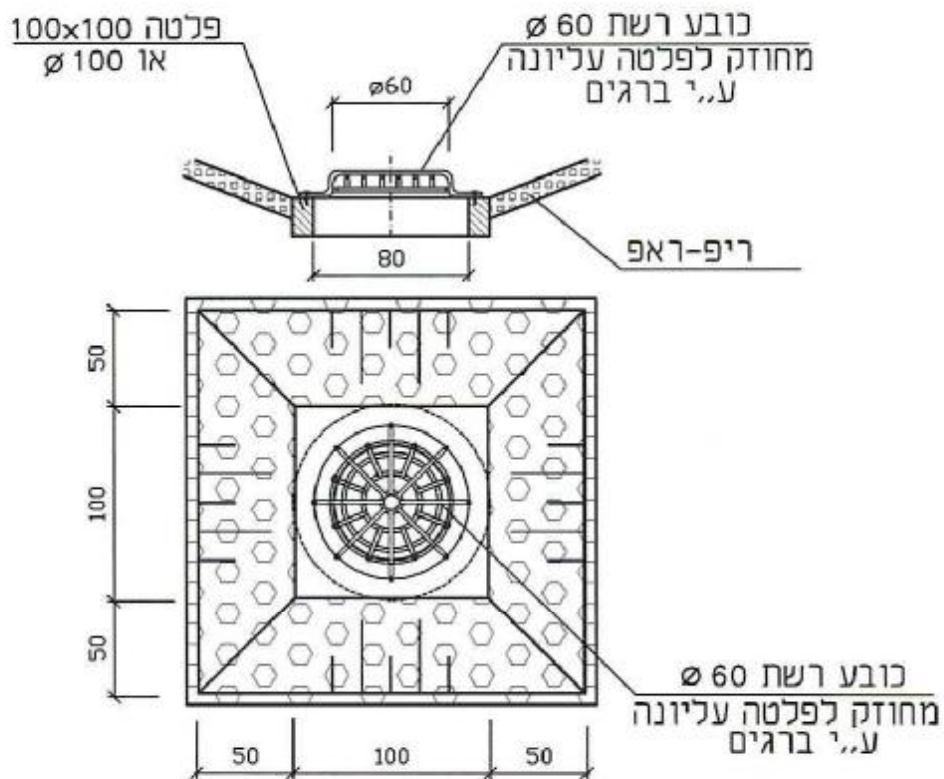


דגם : HM-1

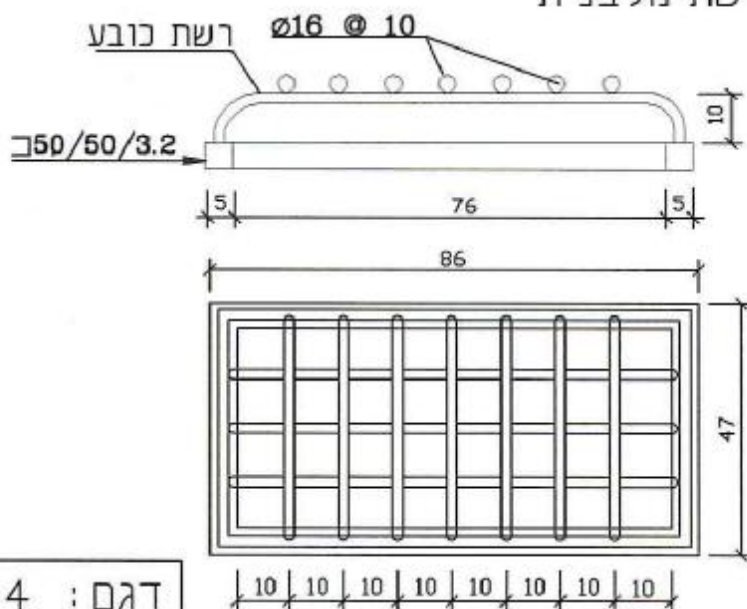
1.7 רשת כובע מוגבהת כפתרון נגד הצטברות לכלוך

פרטי סבכת ברזל

א. רשת עגולה



ב. רשת מלבנית



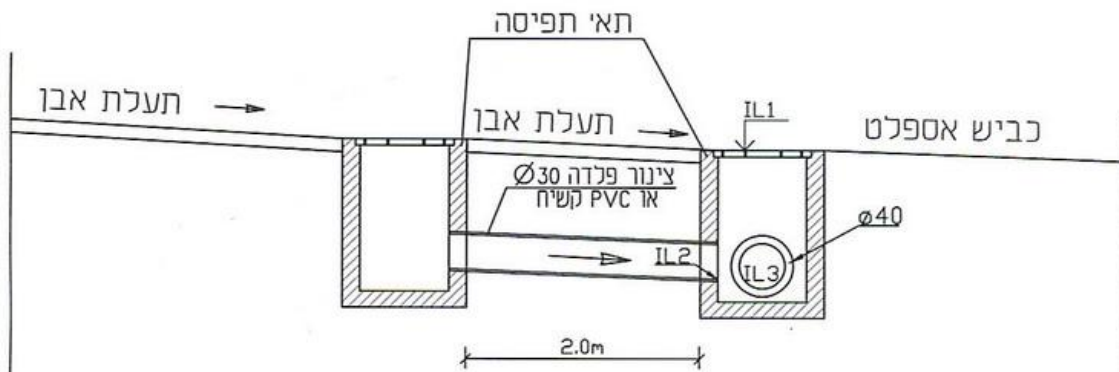
דגם : HM-4

נספח 2

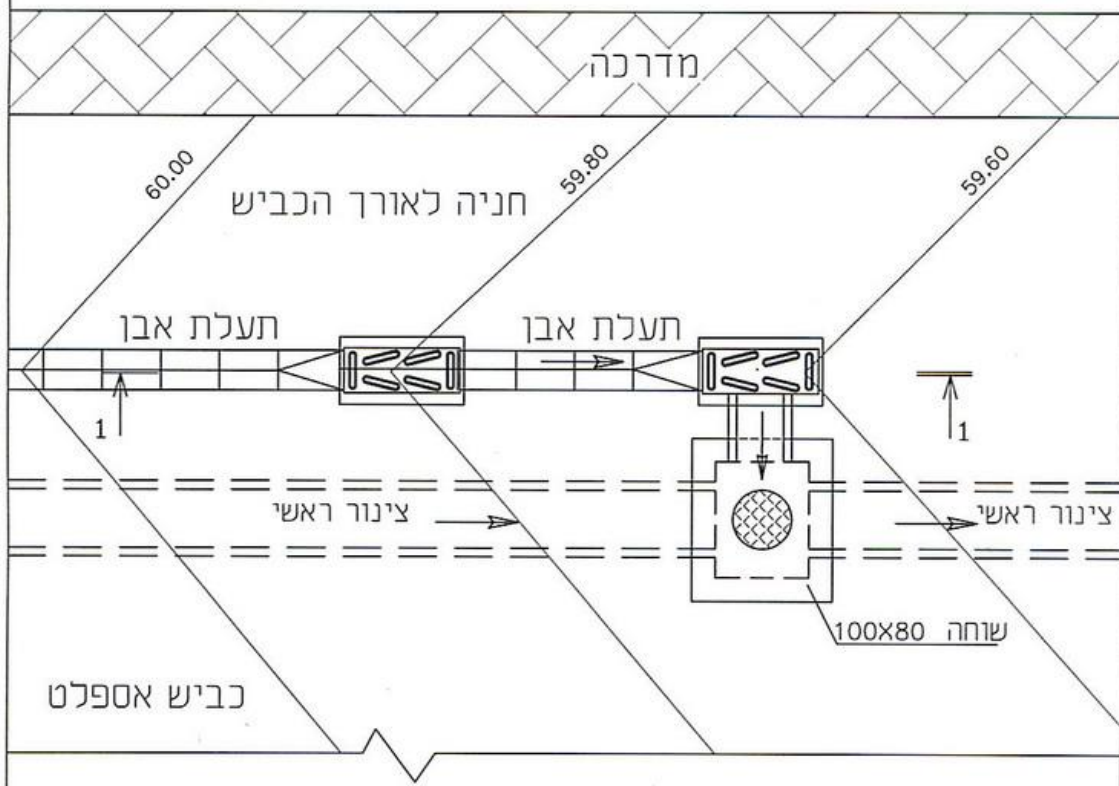
מתקני קליטה

2.1 מערכת קולטנים זוגיים בגאטר או רחוב הולנדי

חתך 1-1

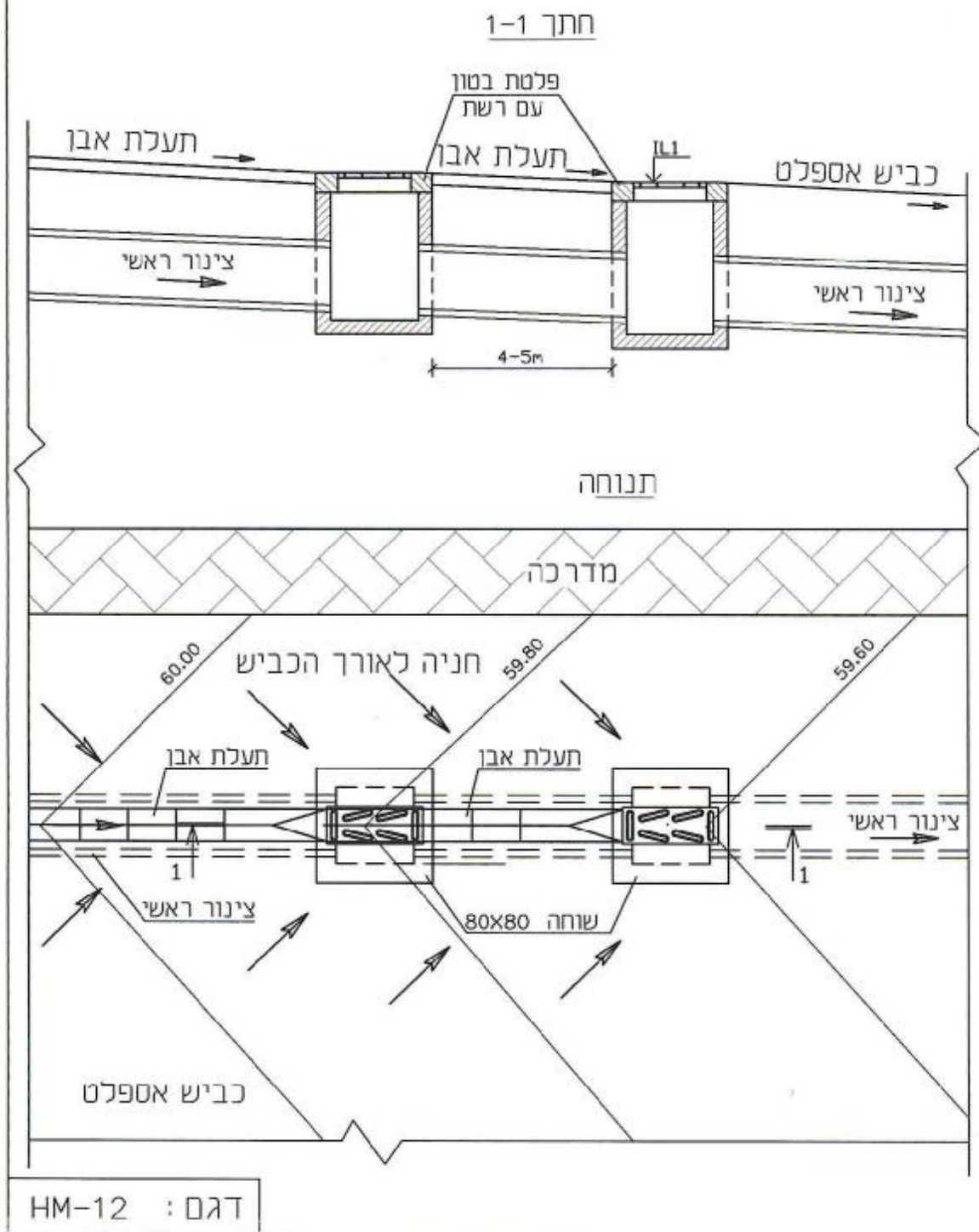


תנוחה

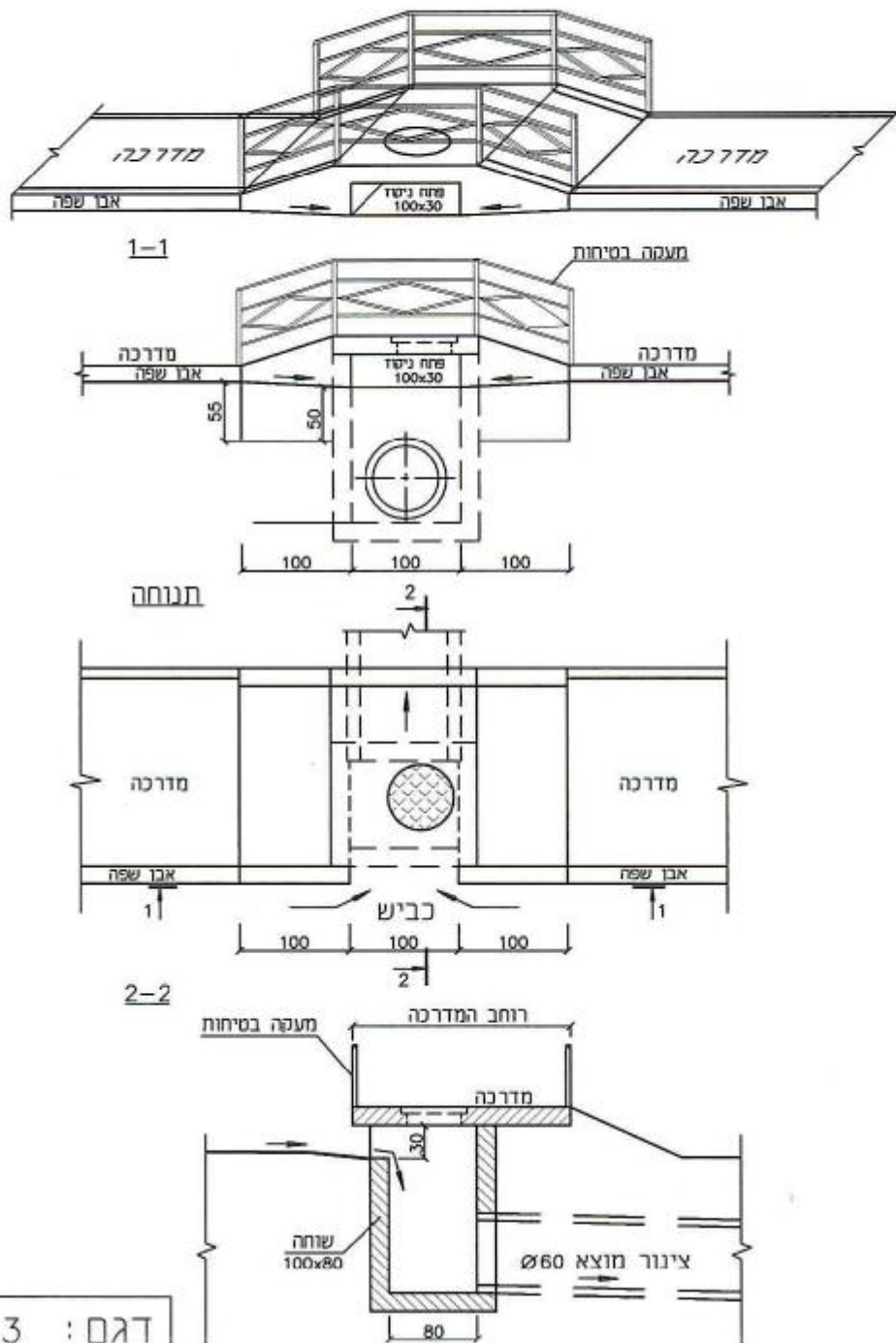


דגם : HM-11

2.2 מערכת קולטנים זוגיים על צינור ראשיבגאטר או רחוב הולנדי

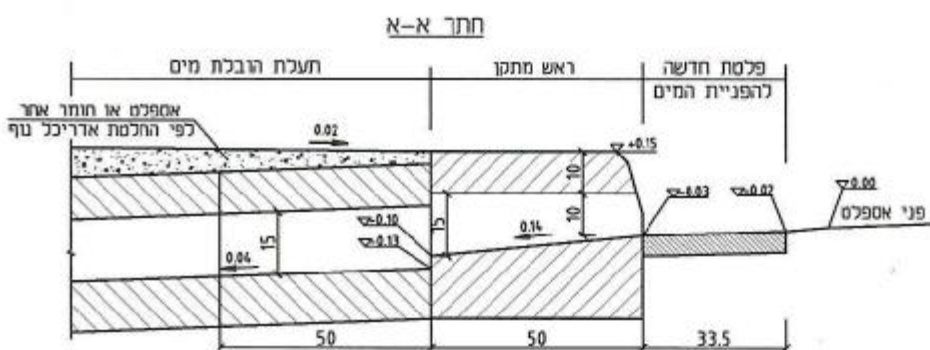
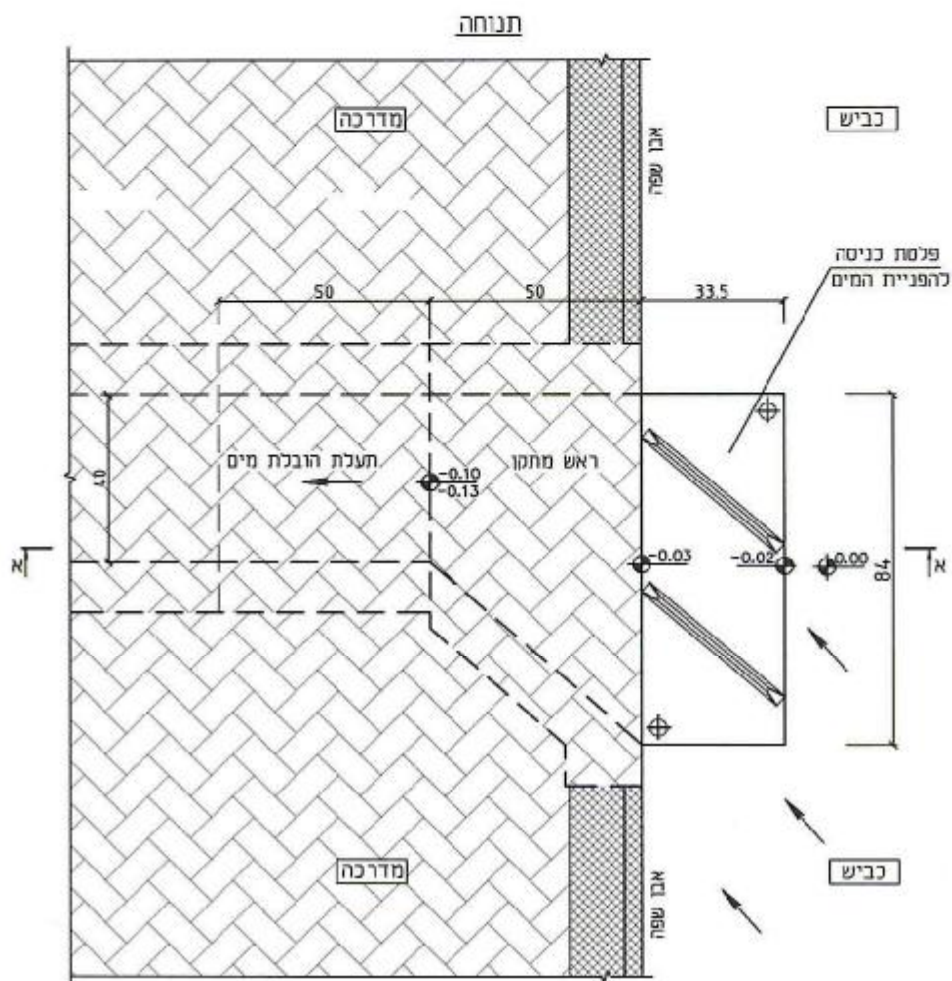


2.4 פתח קליטת המים מוגבה במקומות נמוכים אבסולוטי למניעת סתימה בשילוב עם גשרון להלכי רגל



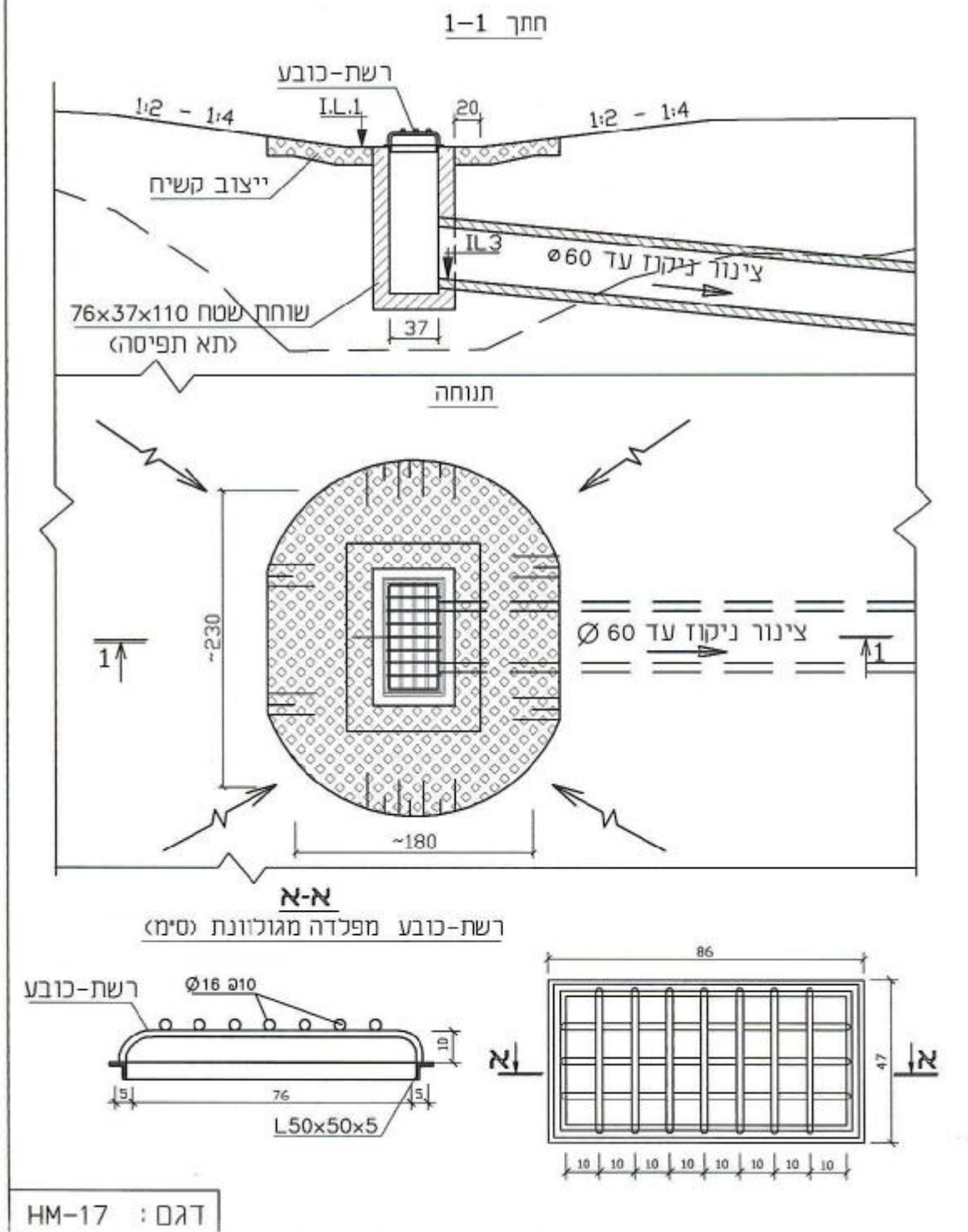
דגם : HM-13

2.5 מתקן ניקוז מדרכה (טרומי)

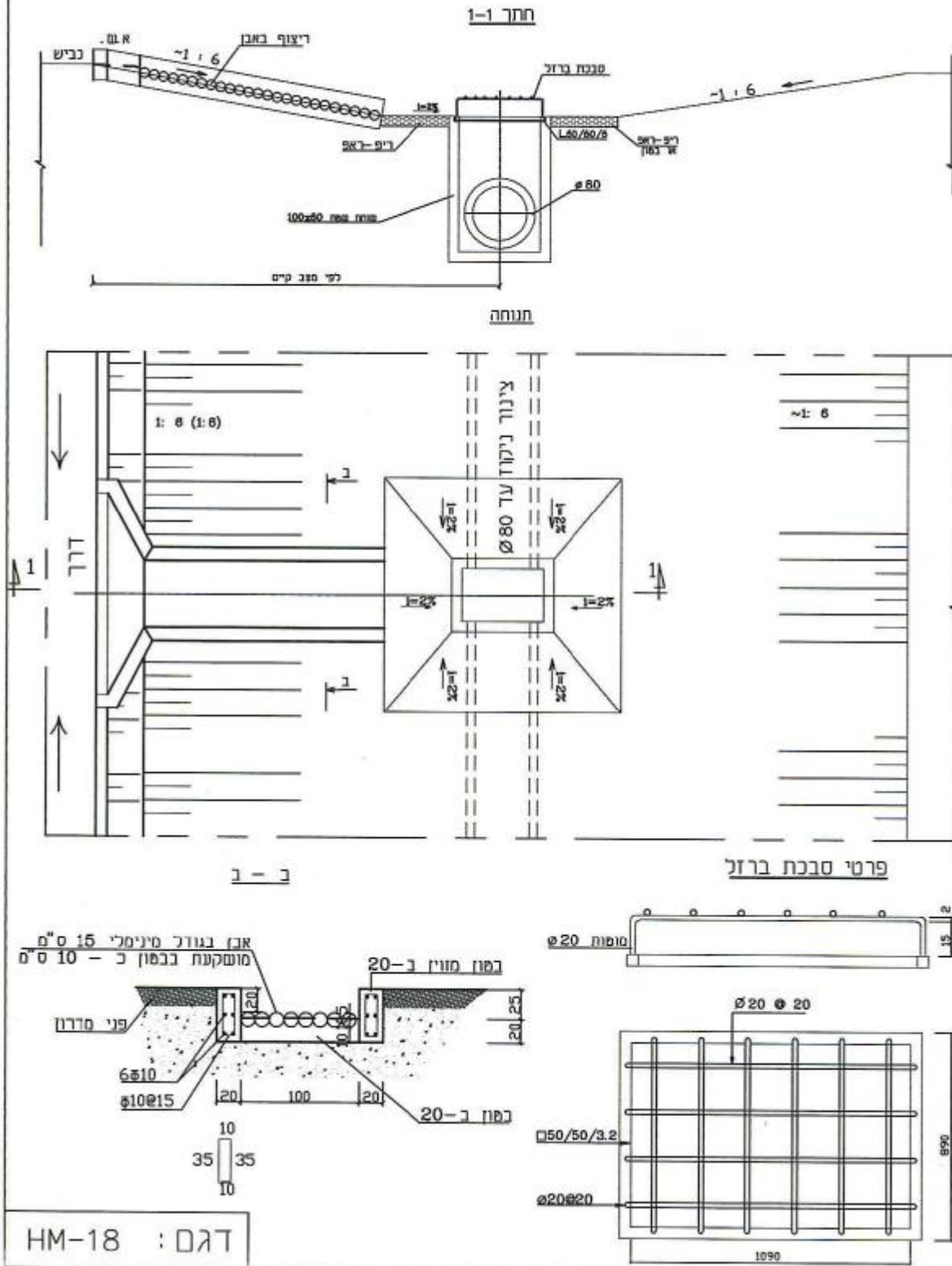


דגם : HM-14

2.7 מתקן קליטת מים משטחי השהיה קטנים

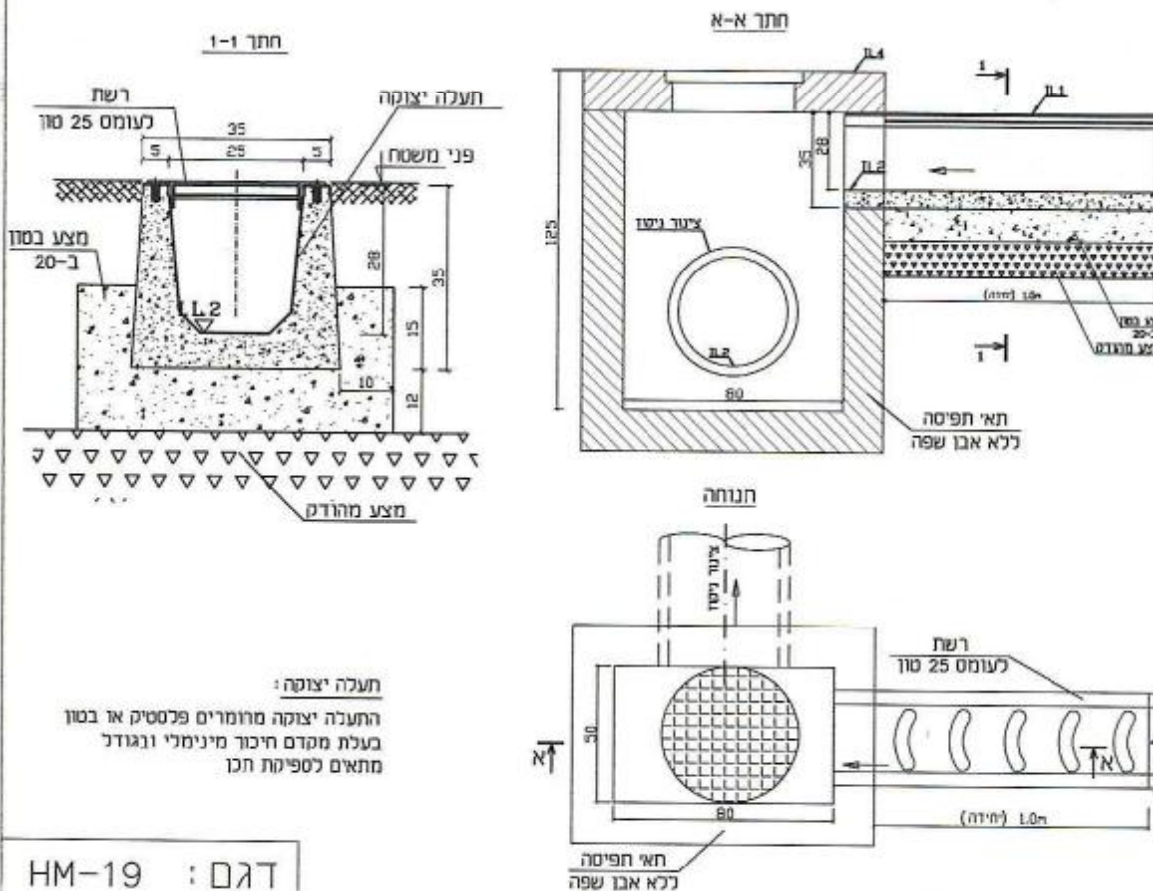
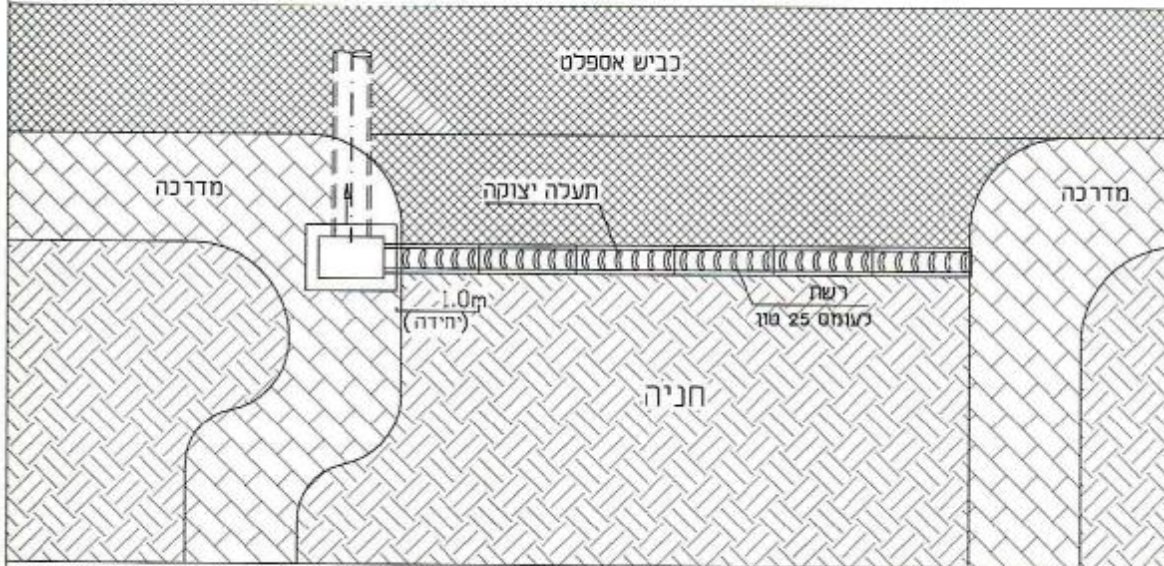


2.8 מתקן קליטת מים משטחי השהיה גדולים



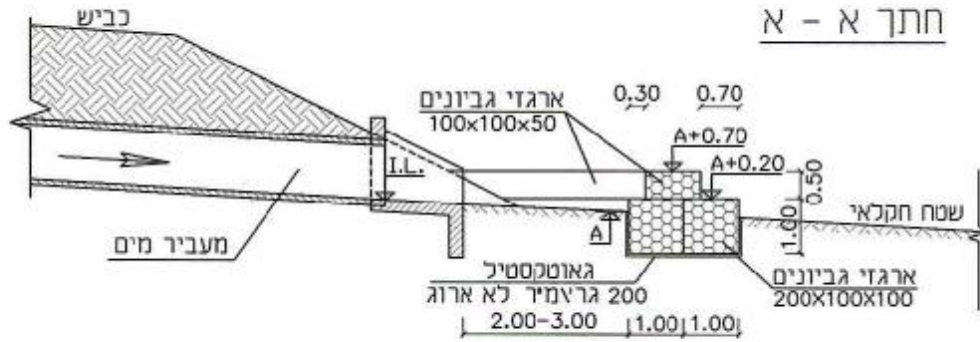
2.9 מתקן קליטת מים ביציאה מהחניה

תנוחה

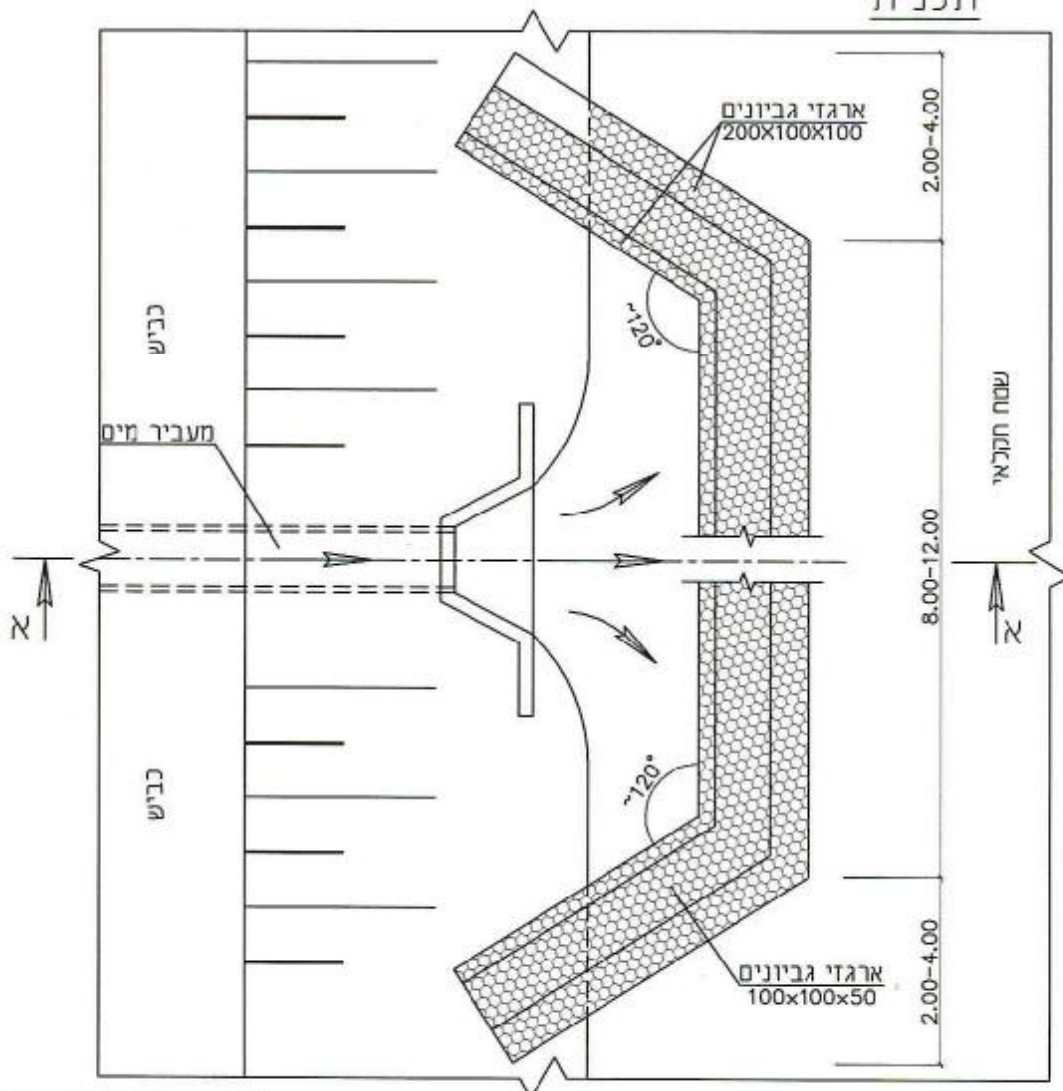


2.10 מתקן שבירת אנרגיית מים

חתך א - א

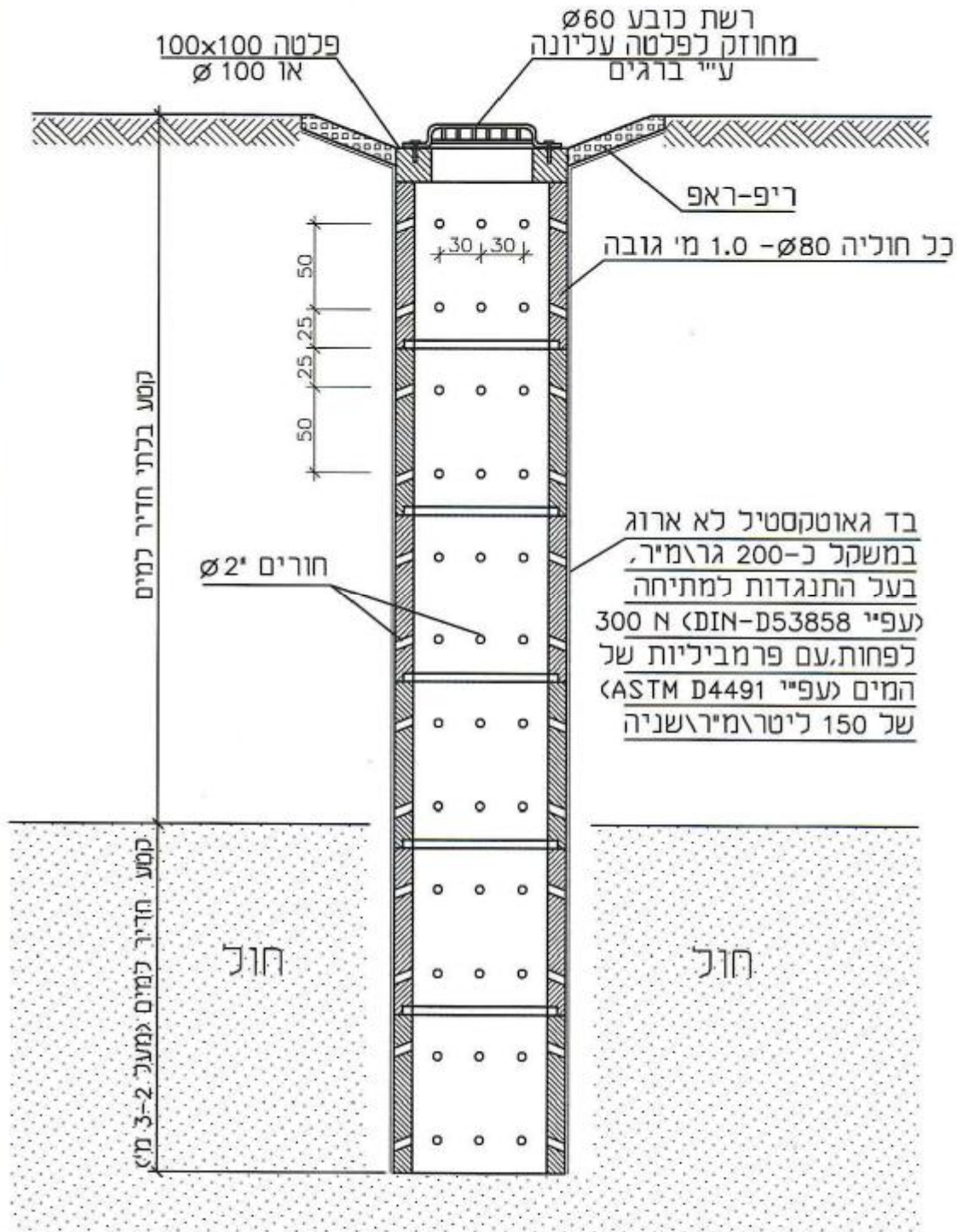


תכנית



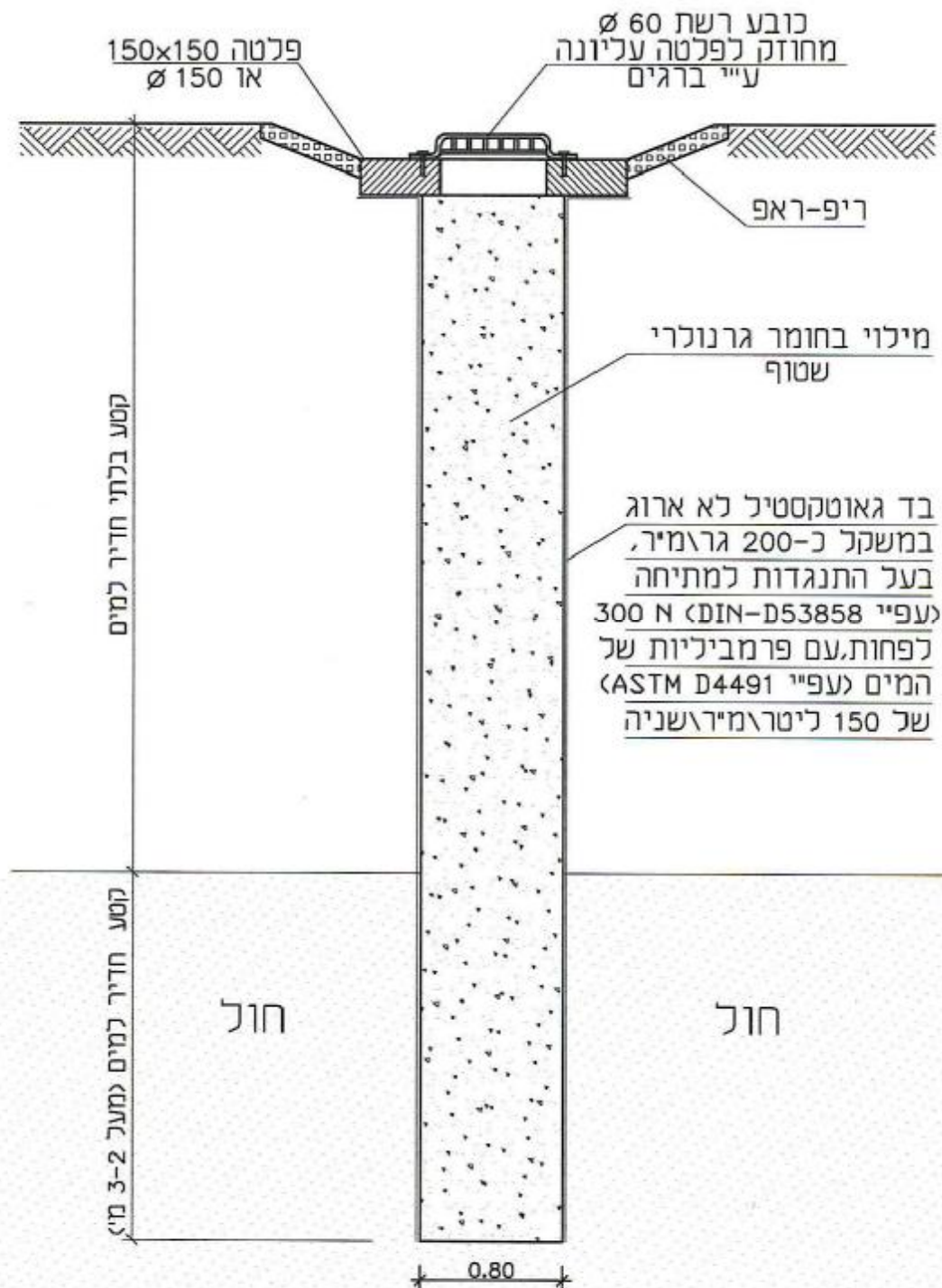
דגם : HM-20

2.11 קידוח החדרת מים על בסיס חוליות בטון מחוררות



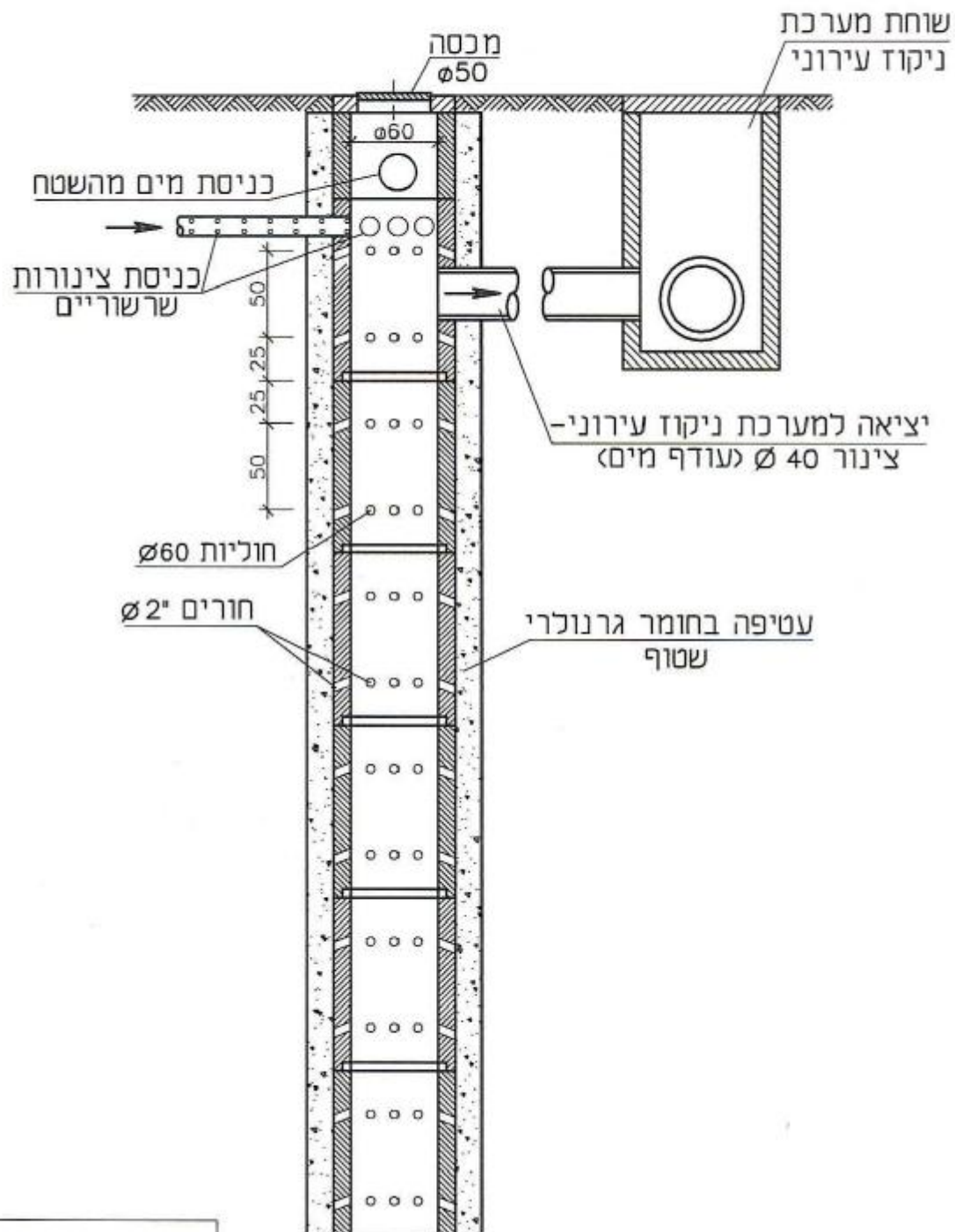
דגם : HM-21

2.12 קידוח החדרת מים על בסיס מילוי בחומר גרנולרי



דגם : HM-22

2.13 קידוח החדרת מים משולב עם מוצא עודפי מים לצערכת עירונית

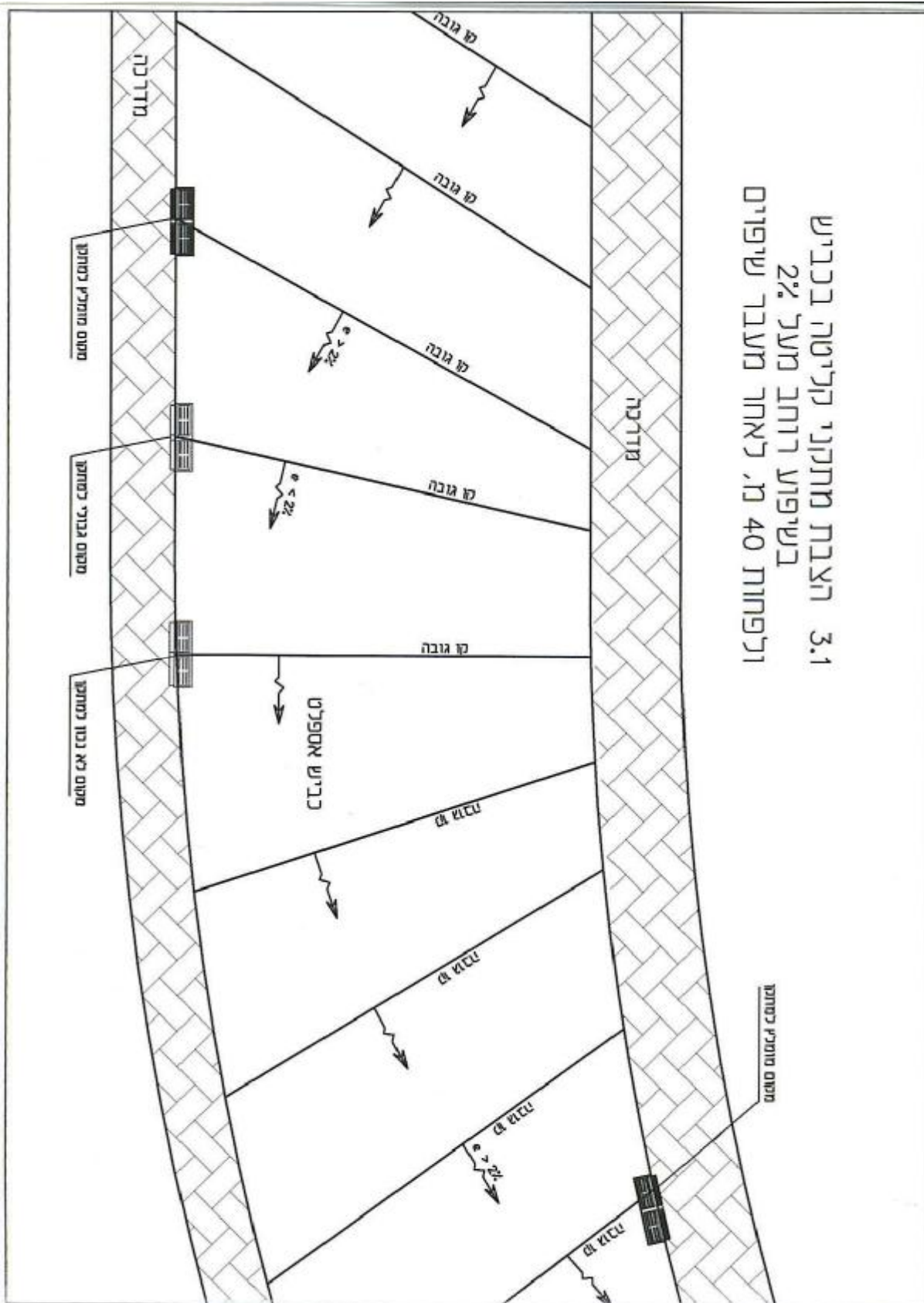


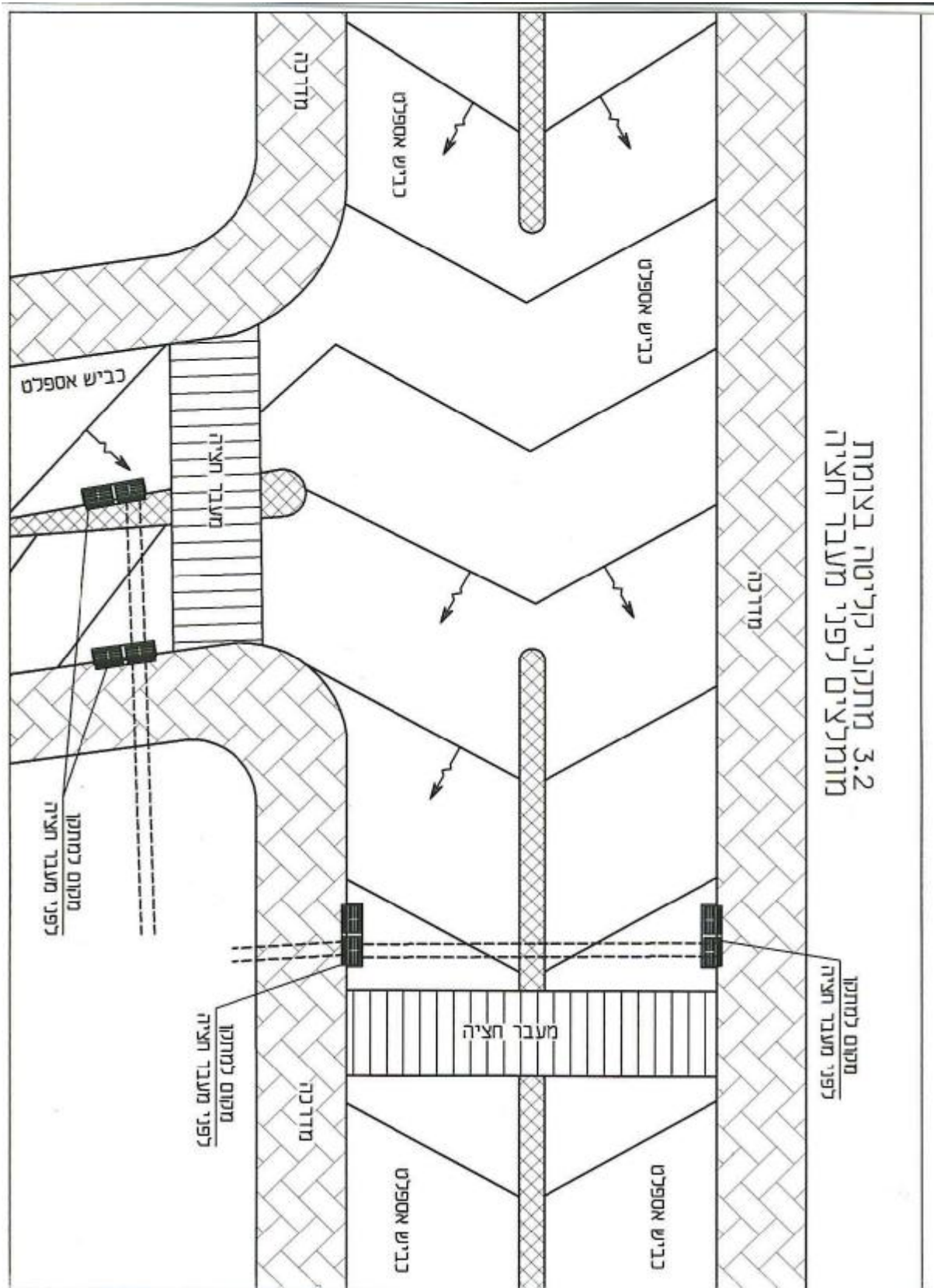
דגם : HM-23

נספח 3

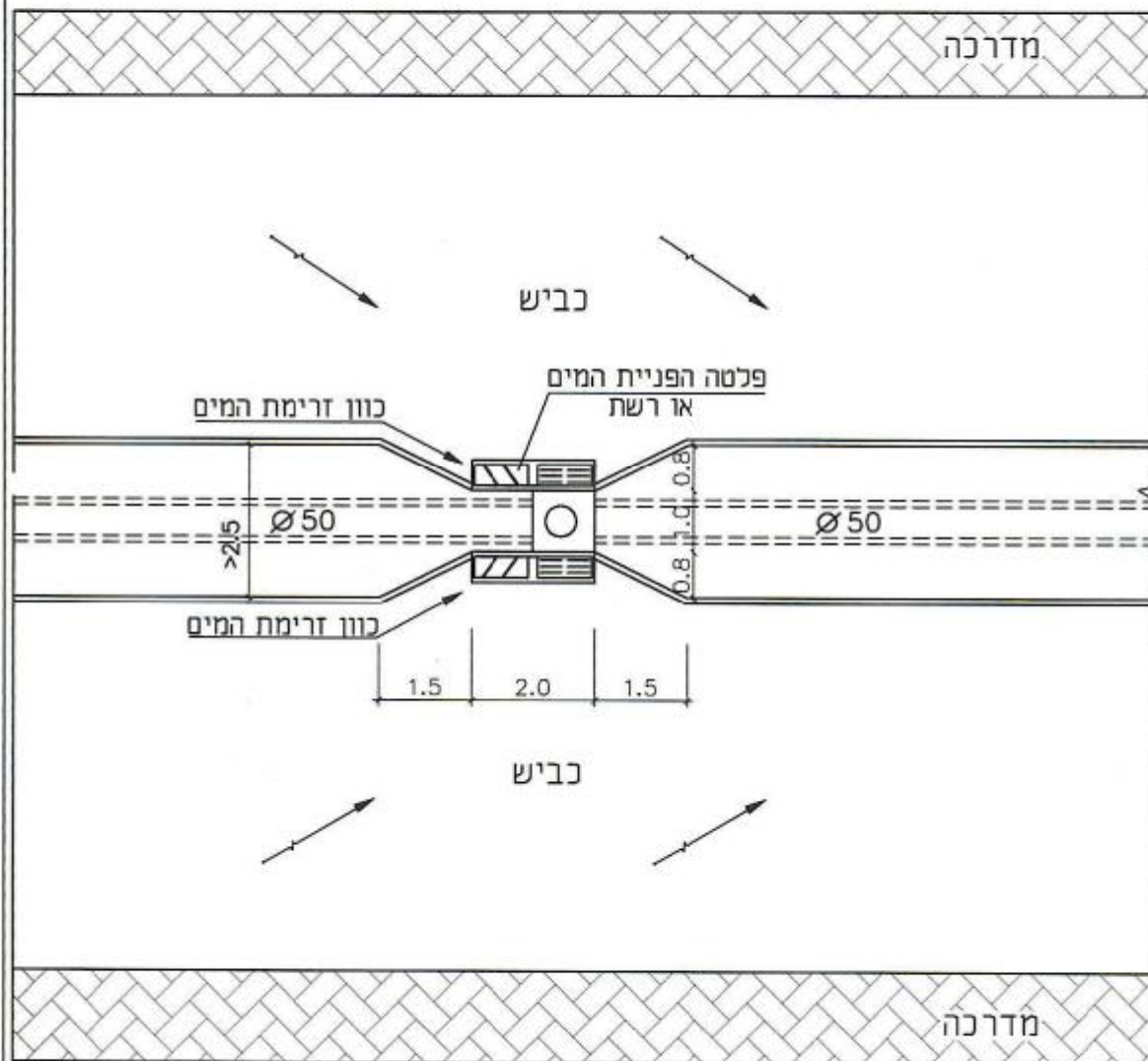
הצבת מתקני ניקוז

3.1 האבטחתני קליטה בכביש
בשיפוע רוחב מעל 2%
ולפחות 40 מ, לאחר מעבר שיפועים

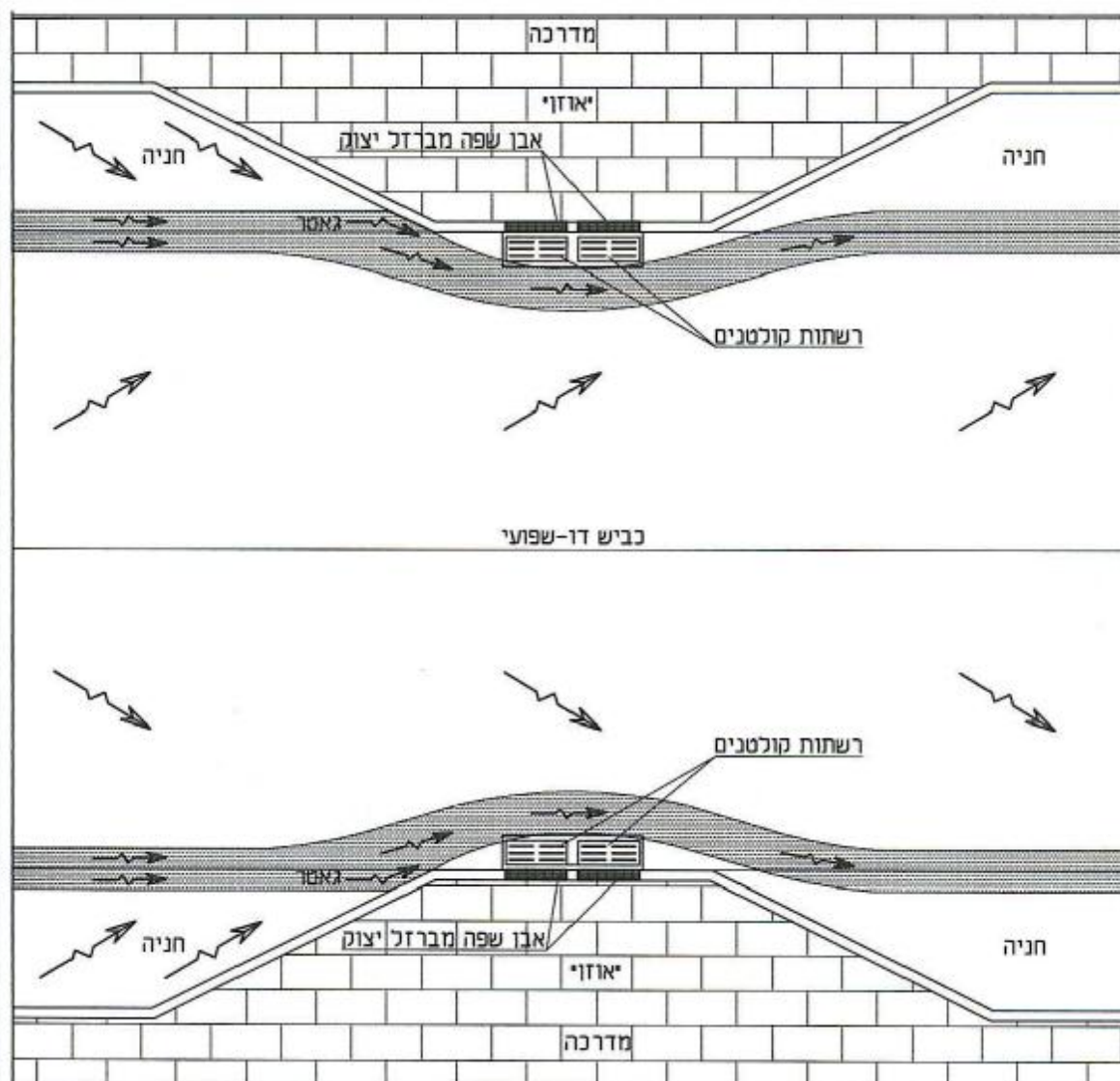


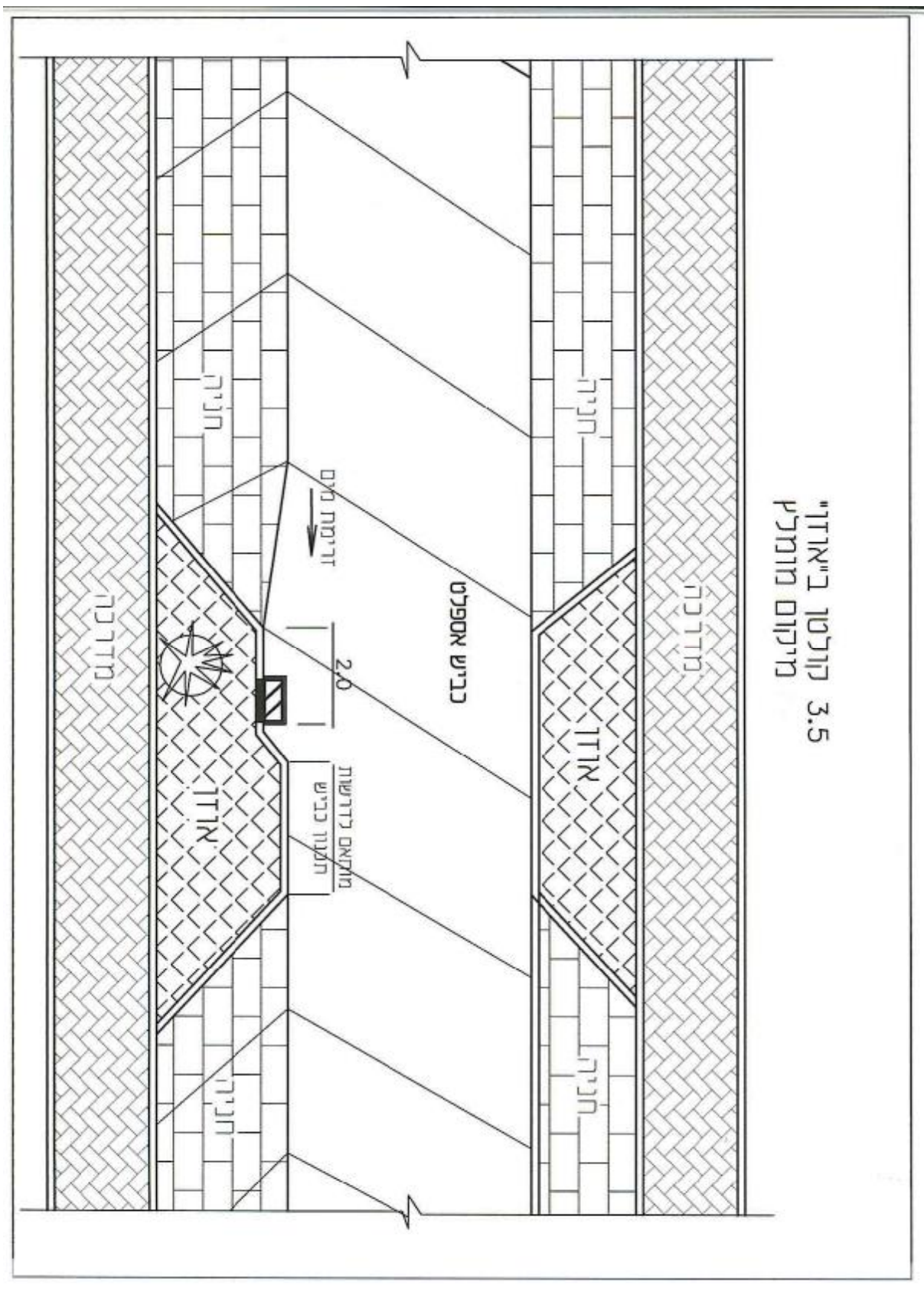


3.3 הצבת מערכת ניקוז באי-מרכזי
בכביש בעל שיפוע רוחבי פנימה.
תכנון יעיל וחסכוני.

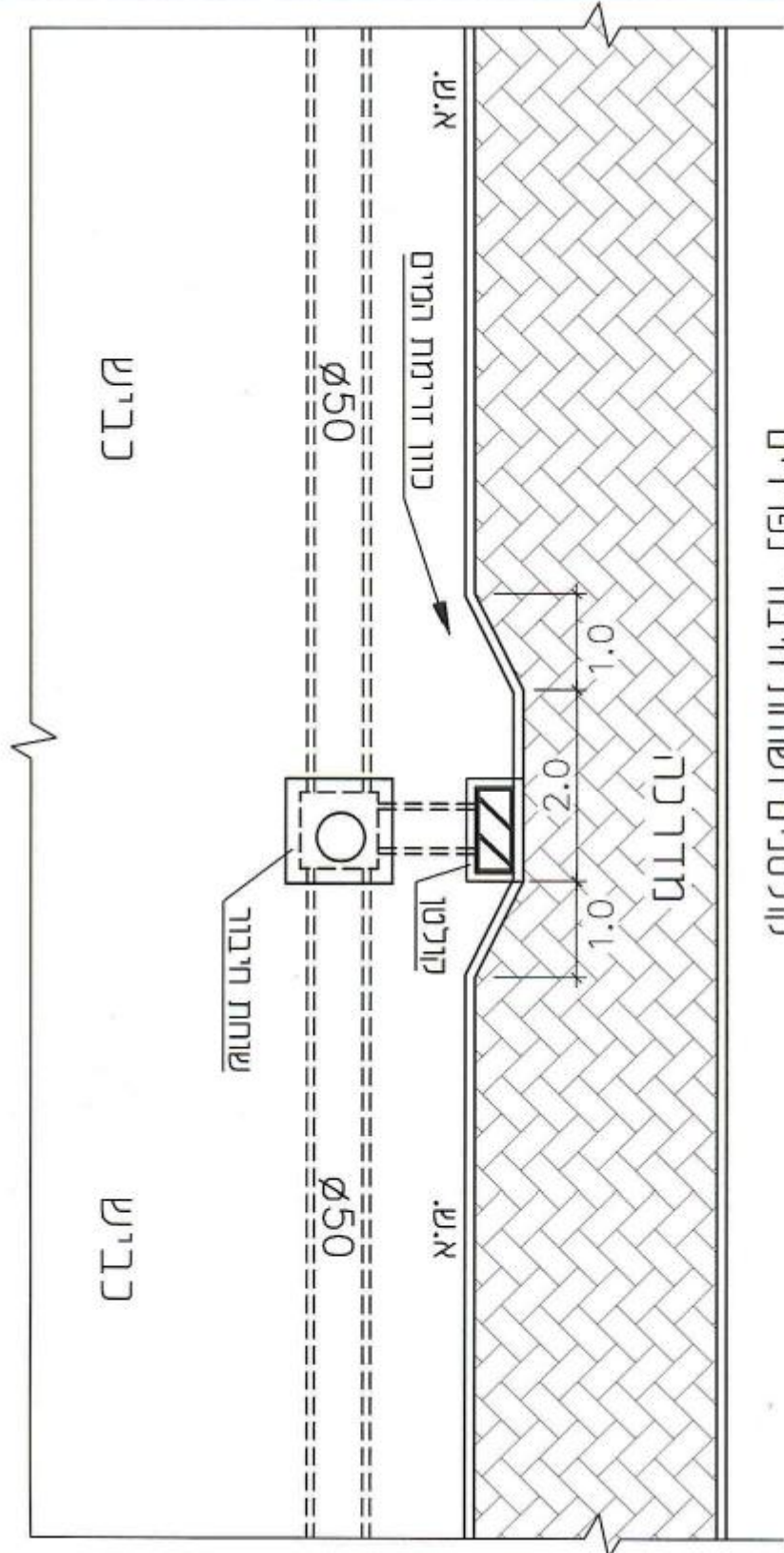


3.4 הצבה לא נכונה של מתקני ניקוז ליד ה"אוזן"





3.6 מתקן קליטה מוטט
קולטנים ושוחת חיבור נפרדים



נספח 4

חישוב צינורות להובלת המים

טבלה 4.1 כושר הולכת מעביר מים צינורי

ספיקה	d = 0.80 מ'		d = 1 מ'		d = 1.25 מ'		d = 1.5 מ'		d = 2 מ'	
מ"ק/שניה	h מ'	מ/שניה V	h מ'	מ/שניה V	h מ'	מ/שניה V	h מ'	מ/שניה V	h מ'	מ/שניה V
0.4	0.61	1.7	0.55	1.6	0.51	1.5	0.48	1.5	0.45	1.5
0.6	0.79	1.9	0.70	1.8	0.62	1.7	0.60	1.7	0.55	1.6
0.8	1.00	2.9	0.82	2.0	0.73	1.8	0.69	1.8	0.67	1.7
0.9	1.17	3.1	0.88	2.0	0.76	1.9	0.74	1.8	0.69	1.8
1.0	1.33	3.5	0.94	2.1	0.82	1.9	0.78	1.9	0.73	1.8
1.1	1.51	3.8	1.00	2.2	0.86	2.0	0.82	1.9	0.77	1.9
1.2	1.72	4.2	1.06	2.3	0.91	2.1	0.87	2.0	0.81	1.9
1.4	2.19	4.9	1.17	2.5	1.00	2.2	0.93	2.1	0.89	2.0
1.6	2.69	5.6	1.37	3.4	1.09	2.3	1.00	2.2	0.93	2.1
1.8			1.59	3.7	1.16	2.4	1.08	2.2	0.99	2.1
2.0			1.80	4.1	1.26	2.5	1.15	2.3	1.05	2.2
2.2			2.04	4.6	1.33	2.6	1.21	2.4	1.11	2.2
2.5			2.47	5.1	1.43	2.8	1.30	2.5	1.19	2.3
3.0					1.86	3.8	1.47	2.7	1.30	2.4
3.5					2.24	4.6	1.63	2.9	1.41	2.6
4.0					2.66	5.2	1.75	3.1	1.53	2.7
4.5					3.26	5.9	2.07	4.2	1.65	2.8
5.0							2.38	4.6	1.75	2.9
5.5							2.67	5.0	1.86	3.0
6.0							2.99	5.5	1.97	3.1
6.5							3.32	5.9	2.06	3.2
7.0									2.16	3.3
7.5									2.26	3.4
8.0									2.34	3.6
8.5									2.38	3.6
9.0									2.66	4.6
9.5									2.86	4.9
10.0									3.07	5.1
11.0									3.46	5.6
12.0									3.83	6.1

d - קוטר המעביר, מ',
h - גובה פני המים כ- 1-2 מ' לפני הכניסה למעביר, מ'
V - מהירות זרימה מ/שניה.

נושר הולכת מעביר מים מלבני טבלה 4.2

ספיקה סגולית מ"ק/שניה ל-1מ' רוחב	H = 1 מ'		H= 1.5 מ'		H= 2 מ'		H= 2.5 מ'		H= 3 מ'		H= 3.5 מ'			
	h	V	h	V	h	V	h	V	h	V	H	V	h	V
0.4	0.44	1.60	0.44	1.60	0.44	1.60	0.44	1.60	0.44	1.60	0.44	1.6	0.44	1.6
0.6	0.58	1.80	0.58	1.80	0.58	1.80	0.58	1.80	0.58	1.80	0.58	1.8	0.58	1.8
0.8	0.70	2.00	0.70	2.00	0.70	2.00	0.70	2.00	0.70	2.00	0.70	2.0	0.70	2.0
1.0	0.82	2.10	0.82	2.10	0.82	2.10	0.82	2.10	0.82	2.10	0.82	2.1	0.82	2.1
1.2	0.93	2.30	0.93	2.30	0.93	2.30	0.93	2.30	0.93	2.30	0.93	2.3	0.93	2.3
1.4	1.02	2.40	1.02	2.40	1.02	2.40	1.02	2.40	1.02	2.40	1.02	2.4	1.02	2.4
1.6	1.11	2.50	1.11	2.50	1.11	2.50	1.11	2.50	1.11	2.50	1.11	2.5	1.11	2.5
1.8	1.21	2.9	1.21	2.60	1.21	2.60	1.21	2.60	1.21	2.60	1.21	2.6	1.21	2.6
2.0	1.35	3.2	1.31	2.70	1.31	2.70	1.31	2.70	1.31	2.70	1.31	2.7	1.31	2.7
2.5	1.76	4.0	1.51	2.90	1.51	2.90	1.51	2.90	1.51	2.90	1.51	2.9	1.51	2.9
3.0	2.27	4.8	1.68	3.10	1.68	3.10	1.68	3.10	1.68	3.10	1.68	3.1	1.68	3.1
3.5	2.88	5.6	1.93	3.8	1.88	3.30	1.88	3.30	1.88	3.30	1.88	3.3	1.88	3.3
4.0	3.56	6.4	2.23	4.3	2.05	3.40	2.05	3.40	2.05	3.40	2.05	3.4	2.05	3.4
4.5	4.24	7.2	2.59	4.8	2.23	3.50	2.23	3.50	2.23	3.50	2.23	3.5	2.23	3.5
5.0			2.97	5.4	2.39	3.70	2.39	3.70	2.39	3.70	2.39	3.7	2.39	3.7
5.5			3.40	5.9	2.54	4.4	2.54	3.80	2.54	3.80	2.54	3.8	2.54	3.8
6.0			3.87	6.4	2.89	4.8	2.70	3.90	2.70	3.90	2.70	3.9	2.70	3.9
6.5			4.38	7.0	3.18	5.2	2.86	4.00	2.86	4.00	2.86	4.0	2.86	4.0
7.0					3.50	5.6	3.02	4.10	3.02	4.10	3.02	4.1	3.02	4.1
7.5					3.81	6.0	3.20	4.80	3.16	4.20	3.16	4.2	3.16	4.2
8.0					4.18	6.4	3.43	5.20	3.30	4.30	3.30	4.3	3.30	4.2
9.0					4.97	7.2	3.95	5.80	3.56	4.80	3.56	4.4	3.56	4.4
10							4.48	6.40	3.90	5.40	3.83	4.6	3.83	4.6
11							5.11	7.10	4.35	5.90	4.07	4.9	4.07	4.7
12									4.80	6.40	4.34	5.5	4.30	4.9
13									5.31	7.00	4.72	6.0	4.55	5.0
14											5.12	6.5	4.78	5.1
15											5.56	6.9	5.05	6.0
16											6.04	7.4	5.42	6.4
17													5.79	6.8
18													6.18	7.2

H - גובה המעביר, מ', h - גובה פני המים כ- 1-2 מ' לפני הכניסה למעביר, מ' V - מהירות זרימה מ/שניה

טבלאות 4.1,4.2 הוכנו על בסיס טבלאות פרופ' בולשקוב ה.
לכנפיים מעוגלות כושר קליטה גדול בכ- 20% .
עבור כנפיים בזווית אחידה, עומד המים 1.2h עדיין נחשב כזרימה חופשית

הסבר לקביעת פרמטרים בצינור:

Q - ספיקה במ"ק/שניה,

d - קוטר הצינור במטרים,

i - שיפוע אורך צינור,

$\frac{V}{d^{0.5}}$ - קו מהירות יחסית

$\frac{h}{d}$ - קו מילוי צינור יחסי לקוטר,

קו $\frac{hk}{d}$ - מהווה גבול בין זרימה למינרית (צד שמאל) לבין זרימה טורבולנטית - (צד ימין).

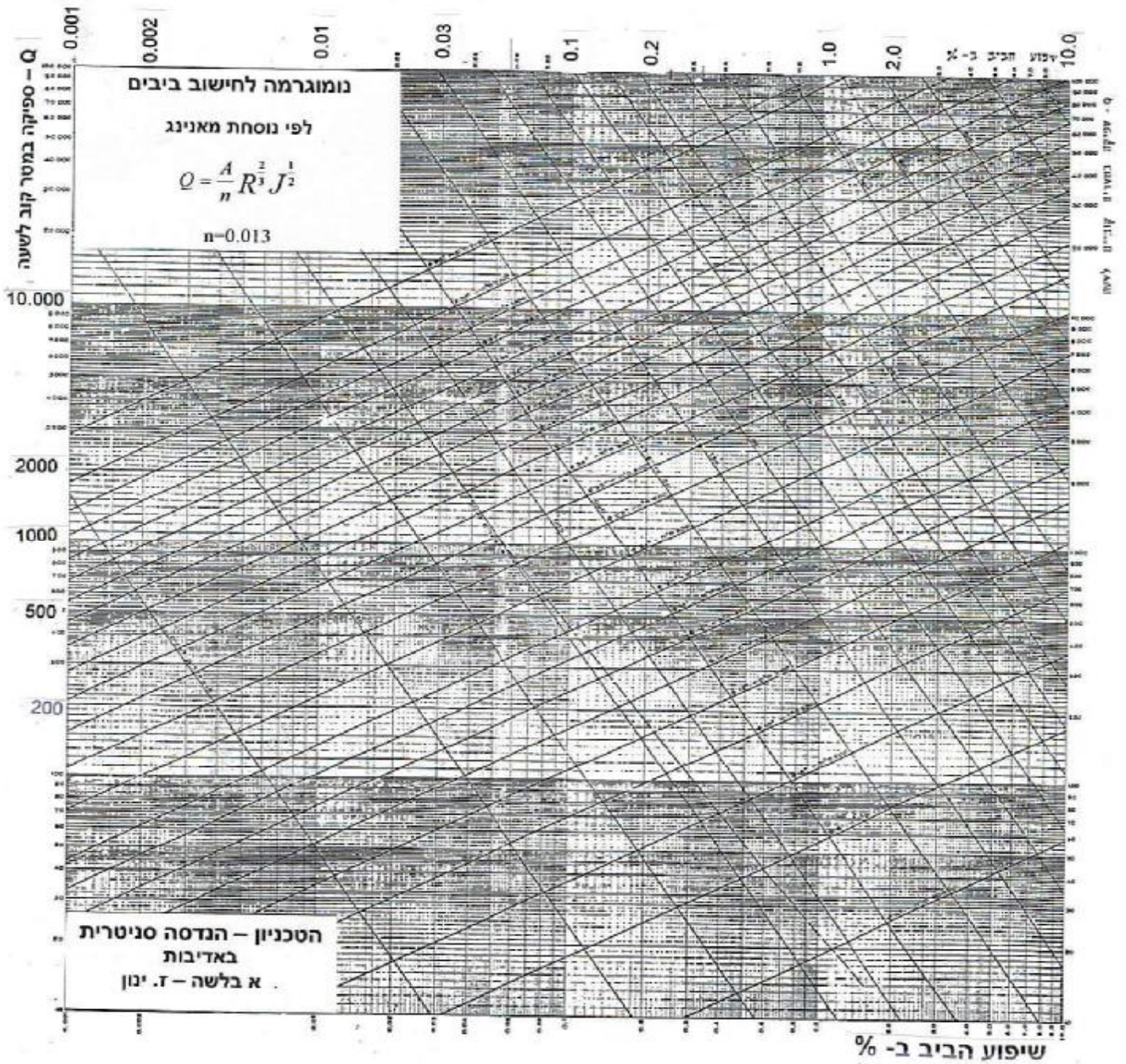
קו $\frac{h^*}{d}$ מסמן גבול פרמטר מילוי צינור יחסי $\frac{h}{d}$ שמעליו תהליך זרימה מתחלף בזרימה סעורה,

פורצת ומסוכנת לצינור מכיוון שמעל קו זה זרימה תמציתית אינה קיימת, קווי פרמטרים סומנו במרוסק.

להלן פרמטר $d^{2.5}$ לצינורות המקובלים בישראל:

$d^{2.5}$	d , מ'
0.28	0.6
0.57	0.8
1.0	1.0
1.75	1.25
2.76	1.5
5.66	2.0

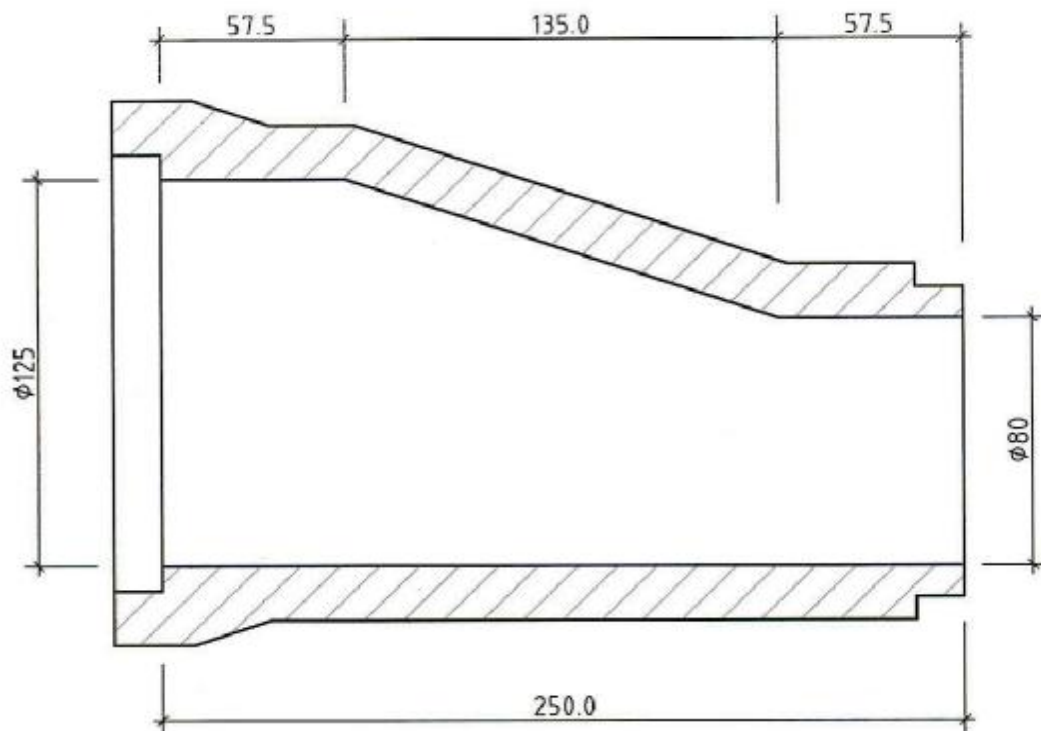
גרף 4.4



נספח 5

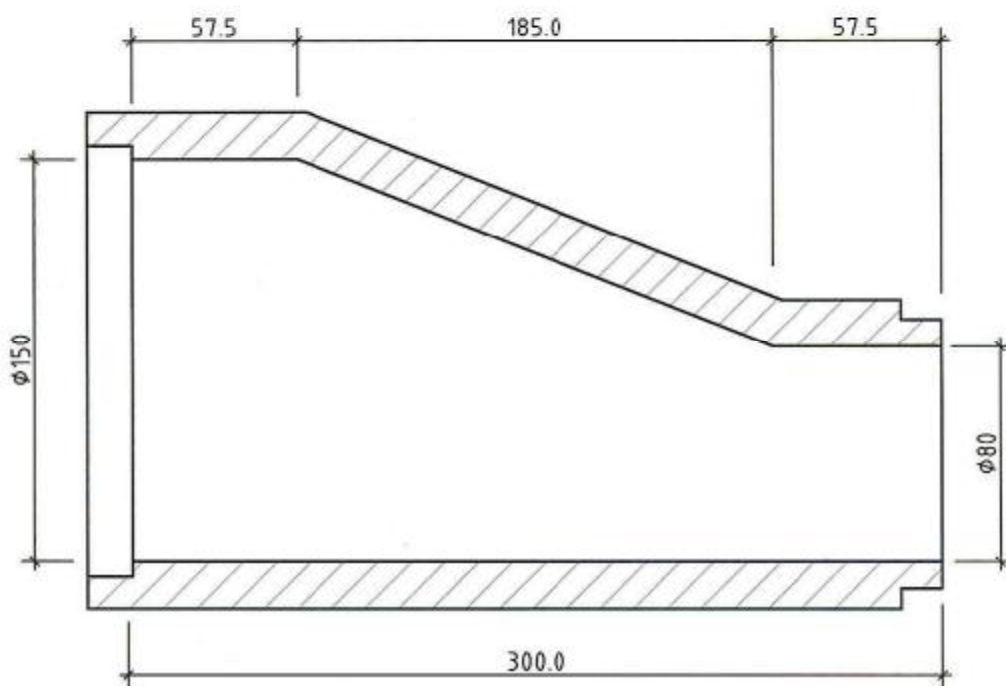
מעברי צינורות

5.1 יחידת מעבר בין צינורות בקטרים 80-125



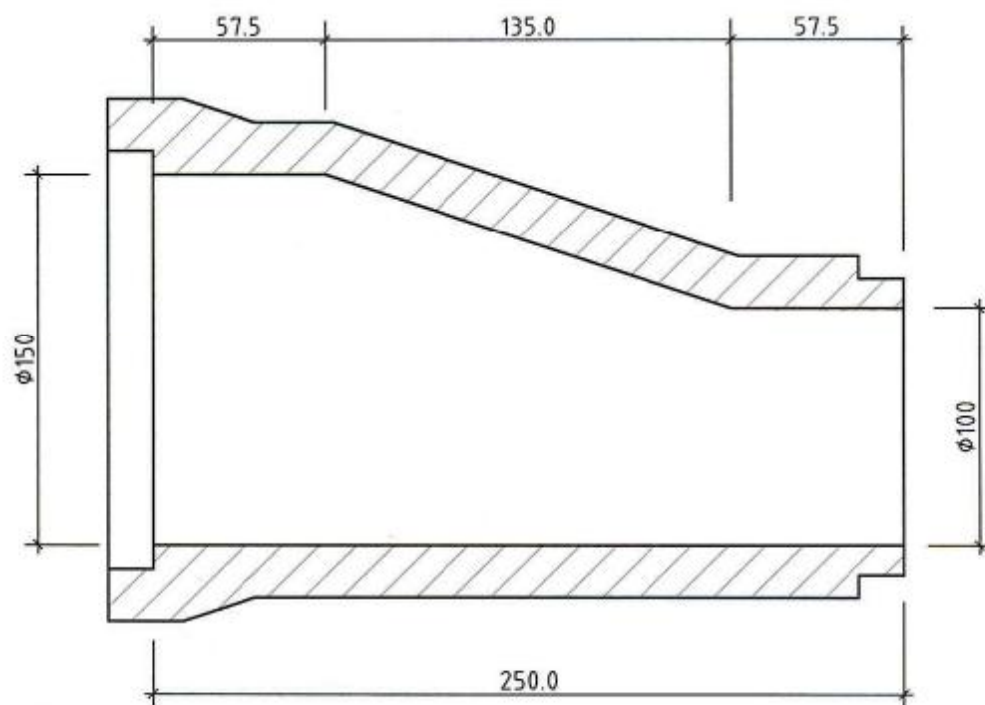
דגם : HM-5

5.2 יחידת מעבר בין צינורות בקטרים 80-150



דגם : HM-6

5.3 יחידת מעבר בין צינורות בקטרים 100-150

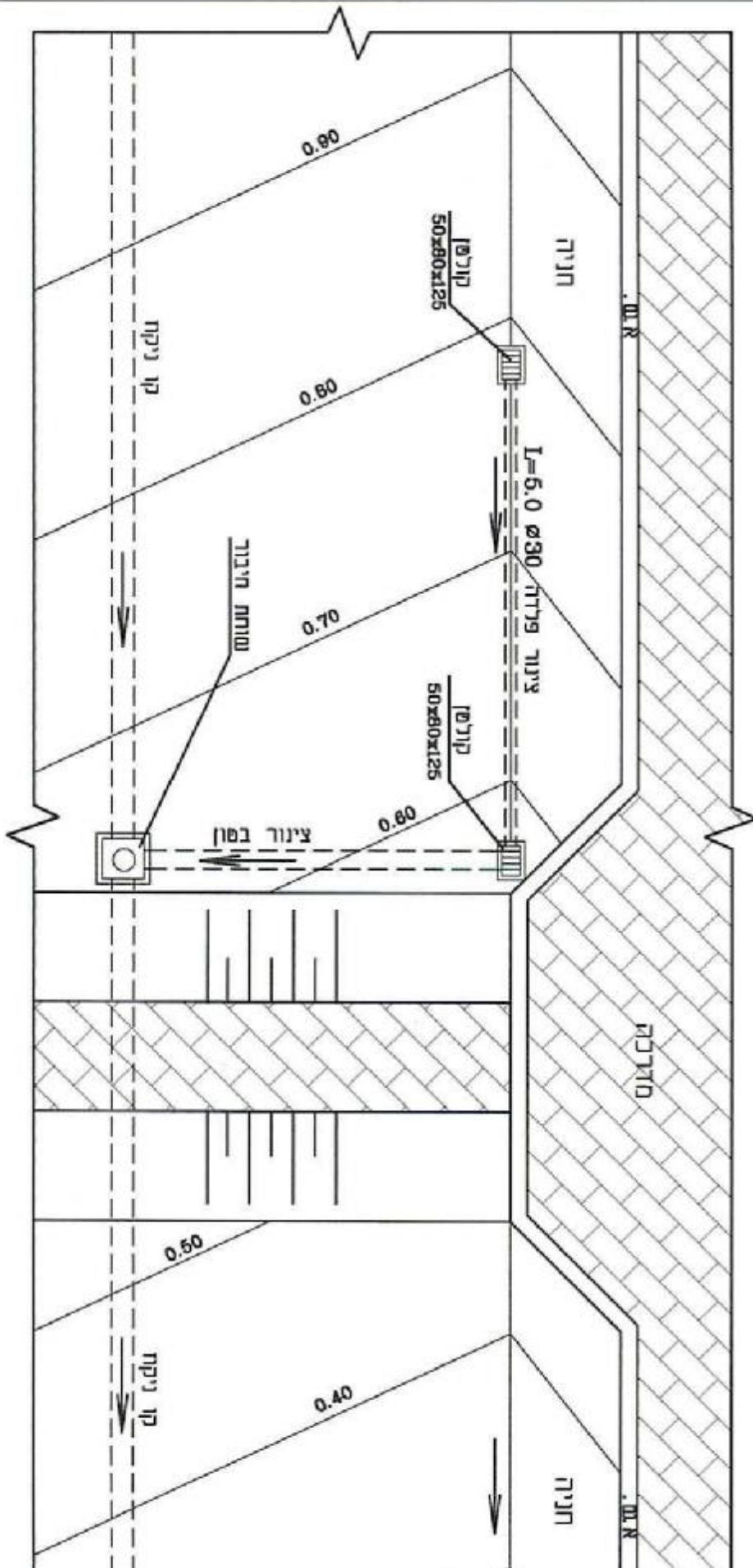


דגם : HM-7

נספח 6

מתקני ניקוז אזורי מיתון תנועה

6.1 ניקוז מבנה ריסון תנועה חלופת ניקוז באמצעות קולטנים



6.2 ניקוז מבנה ריסון תנועה חלופת ניקוז באמצעות צינור מלבני

