



יוקנעם

שכונת שער הגיא

תב"ע 9680 / ג'

תכנית כללית לניקוז משמר נגר

וועדת שיפוט - משרד החקלאות

הוכן על ידי אינג' א. פלנר – הנדסה בע"מ (דצמבר 2010)

עדכון: ליגמ 2013

תוכן עניינים

1.	הקדמה	3
2.	מבוא	4
3.	ניקוז שטח הפרויקט – מצב טרום בינוי	5
3.1	תיאור השטח	5
3.1.1	מיקום השטח המיועד לשכונת שער הגיא	5
3.1.2	התבליט	5
3.1.3	סוג הקרקע	5
3.1.4	מסקנות	5
3.2	חישוב הספיקות המרבית בשטח המיועד לפיתוח	6
3.2.1	קביעת שטח אגני ההיקוות	6
3.2.2	זמן ריכוז	6
3.2.3	עוצמת הגשם הסופתי	6
3.2.4	מקדם הנגר הבסיסי	8
3.2.5	מקדם התיקון	8
3.2.6	חישוב ספיקת השיא	8
4.	שכונת שער הגיא ביוקנעם – מצב לאחר בניה	11
4.1	תיאור השטח	11
4.1.1	תיאור הפרויקט	11
4.1.2	סוג הקרקע	11
4.1.3	התבליט	11
4.2	בדיקת אפשרויות לביצוע בניה משמרת נגר בשכונת שער הגיא יוקנעם	12
4.2.1	פריסת השטחים הירוקים	12
4.3	חישוב הספיקות המרביות בשכונת שער הגיא	13
4.3.1	זמן ריכוז לצורך החישוב הונח זמן ריכוז אחיד של 10 דקות עבור כל המגרשים	13
4.3.2	מקדם הנגר הבסיסי	13
4.3.3	מקדם התיקון	13
4.3.4	חישוב נפח אגירה לצרכי השהיה	13
4.4	איגומי השהיה	14
4.4.1	איגומי השהיה בתוך המגרשים של השכונה	14
4.4.2	איגומי השהיה בשטחי ציבור	15
4.4.3	איגום השהיה מחוץ לשטח הפרויקט	15
4.5	מסקנות והמלצות	17



18.....	תכנית מפורטת לאיגומי השהיה	4.6
18.....	החלופה הנבחרת	4.6.1
18.....	תכנית איגומי ההשהיה	4.6.2
19.....	ספיקות שיא נכנסות ויוצאות ונפחי האיגום המתוכננים	4.6.3

1. הקדמה

תכנית כללית לניקוז משמר נגר עילי בשכונת שער הגיא ביוקנעם הוכנה בשנת 2010 ע"י משרד א. פלנר הנדסה בע"מ, עבור משרד השיכון. בעבודה זו הוכנה תכנית כללית בה נקבעו עקרונות התכנון לניקוז משמר נגר עילי של שכונת ההרחבה שער הגיא ביוקנעם.

בתכנית הכללית הוצעו 3 פתרונות משמרי נגר לניקוז השכונה :

1. איגומי השהייה בתוך המגרשים

2. איגומי השהייה בשטחי ציבור בתוך השכונה

3. איגומי השהייה מחוץ לשטח הפרויקט

פתרון מס' 3 של איגום השהייה מחוץ לשטח הפרויקט נמצא ע"י אינג' א. פלנר כפתרון מומלץ, עקב תנאי השטח בפרויקט ושימויות מוגבלות של הפתרונות האחרים. נמצא כי האזור שמתאים לפתרון זה נמצא דרומית לשכונה החדשה, בחלקו העליון של אגן ההיקוות של נחל השניים. איגום השהייה באזור זה ייתן מענה לספיכת היתר של הנגר מחלקה הדרומי של השכונה המתוכננת.

הוצעו 2 חלופות לאיגום השהייה מחוץ לשטח הפרויקט :

1. הקמת מאגר השהייה אחד גדול עבור הנגר מחלקה הדרומי של השכונה.

2. הקמת 3 מאגרים קטנים יותר להשהיית הנגר מחלקה הדרומי של השכונה.

אינג' א. פלנר המליץ להפוך את איגומי השהייה לשלוליות חורף כחלק מתכנון נופי, ולשתף אדריכלות נוף בתכנון האיגום על מנת להפכו לחלק מפארק עירוני, עם תכנון נופי הולם.

לאחר לימוד התכנית הכללית, שנערכה ע"י אינג' א. פלנר, הוכנה בשנת 2013 ע"י משרד "ליגמ" תכנית מפורטת לטיפול בתוצרי הנגר השכונתי והפיכת השטח לפארק שצ"פ המשרת את תושבי השכונה והסביבה. התכנית המפורטת משלבת תכנון הנדסי של שימור נגר, עם תכנון נופי של פארק עירוני.

התכנית המפורטת מבוססת על מסקנות והמלצות התכנית הכללית של אינג' א. פלנר, ובנויה על העקרונות שהתוותה התכנית הכללית :

1. איגום השהייה מחוץ לשטח השכונה, בחלקו העליון של אגן ההיקוות של נחל השניים, דרומית לשכונה המתוכננת.

2. נבחרה ההצעה להקמת 3 מאגרי השהייה, ותוכנו מאגרים שישמשו כאלמנט נופי עם נחלים המחברים בין המאגרים, על מנת לאפשר השתלבות טבעית ככל האפשר של המתקנים בנוף.

3. בסיס התכנון ההנדסי הינו בהתאם להמלצות התכנית הכללית, לפיהן האיגום יחושב לסופה שאורכה 15 דקות ולהסתברות של 2% (תקופת חזרה של אחת ל-50 שנה).

המסמך להלן מציג את התכנית הכללית ועקרונות התכנון שהוכנו ע"י אינג' א. פלנר, ובנוסף פרק המציג את התכנית המפורטת והתאמתה לצרכי השהיית הנגר של השכונה החדשה (פרק 4.6 – תכנית מפורטת לאיגומי השהייה).

2. מבוא

במסגרת תהליך הפיתוח האורבני העובר על יקנעם, קיימת תכנית להקמת שכונה חדשה בצידה הדרום-מערבי של העיר. שכונה זאת, הנקראת בשם שער הגיא, מיועדת בעיקר למבני מגורים רבי קומות ולמוסדות נלווים כגון בתי ספר, מרכז ספורט, מתנ"ס וכו'. בכוונת משרד השיכון לתכנן את מערכת הניקוז של השכונה בהתאם למגמה ההולכת ומשתרשת בארץ בנוגע לבנייה משמרת נגר עילי, תוך התחשבות בתנאים המיוחדים של השטח בהקשר לתבליט ולתכסית.

מבחינת הנדסת הניקוז, המטרה העיקרית של שיטת תכנון משמרת נגר היא לוודא שהספיקה המרבית היוצאת משטח מסוים לאחר הפיתוח העירוני בו, לא תעלה על הספיקה המרבית היוצאת מאותו השטח במצבו הטבעי לפני הבנייה. בהתאם לכך, תהליך התכנון של מערכת הניקוז בשיטה הנ"ל מורכב משני שלבים בסיסיים:

א. בשלב הראשון יחושבו כמויות הנגר העילי הסופתי (ספיקות מרביות ונפחים) הקיים, הנוצר בשטח המיועד לפיתוח העירוני לפני הבינוי.

ב. בשלב השני תתוכנן מערכת ניקוז הכוללת קולטנים ומובלים למי הנגר העילי הסופתי, לרבות סידורים ומתקנים למיניהם לאיגום הנגר העילי לצורכי השהייה, ובמידת האפשר גם לצורכי החדרה למי תהום.

3. ניקוז שטח הפרויקט – מצב טרום בינוי

3.1 תיאור השטח

3.1.1 מיקום השטח המיועד לשכונת שער הגיא

שטח הפרויקט נמצא בפאתיה הדרומיות-מערביות של יקנעם, כקילומטר אחד מדרום מזרח לצומת אליקים. השטח משתרע על כ-476 דונם וממוקם ברובו בין קווי אורך 207,250 ו-208,150 וקווי רוחב 726,600 ו-727,500. מבחינה הידרולוגית, שטח הפרויקט מצוי באגן ההיקוות של נחל הקישון.

3.1.2 התבליט

הטופוגרפיה באזור הפרויקט היא גבעית, ופני הקרקע ברוב שטח הפרויקט הינם בעלי שיפוע גדול יחסית. במרבית השטח השיפוע משתנה בין 5% ל-11% אולם קיימים שטחים המשופעים אף יותר מזה. הצמחייה דלה באזור, ופני השטח הינם חלקים יחסית, ושקעים היוצרים איגומים מקומיים כמעט ולא קיימים.

הפרויקט ממוקם על ראש גבעה, לפיכך ניקוז המים הינו מהמרכז לכיוון ההיקף. חלקו הדרומי של השטח מתנקז לעבר כביש הגישה ליוקנעם מכיוון כביש מס' 672, חלקו הצפוני מתנקז לעבר כביש 70 ואילו חלקו המזרחי לעבר השטחים הבנויים של יקנעם. רומי פני הקרקע נעים בין 203+ ו-260+ מ'.

3.1.3 סוג הקרקע

הקרקע בשטח הפרויקט, על פי דו"ח יועץ הקרקע, הינה בעיקר סלע קירטון עם שכבה עליונה של נארי (קרום לבנבן נוקשה שעוביו פחות ממטר). הקירטון מורכב מפחמת סידן וממאובנים מיקרוסקופים, והוא נוצר בים תטיס כסלע משקע המורכב ברובו מקונכיות של בעלי חיים זעירים שמתו, שקעו והצטברו ברבדים בתחתית הים העמוק. הקירטון מצוי כמעט בכל חלקי הארץ. בעבר נהגו לחצוב בורות בתוך סלעי קירטון לצורכי אגירת מים, כיוון שסלעים אלה לא מחלחלים (כמתואר בפסוק "בור סוד שאינו מאבד טיפה" – פרקי אבות). הקירטון כמעט ואינו חדיר למים, ובגשמים זורם מעליו נגר עילי הגורם לו לבלייה מהירה. האדמה הנוצרת מבלייה של סלעי קירטון (רנדזינה) עשירה בגיר ואינה טובה לחקלאות. בתנאים אלה הצמחייה עניה, אין כמעט עצים, ורק שכבת עשב מכסה את השטח. כיום מדובר על שטח בור נעדר כל בנייה.

3.1.4 מסקנות

- כתוצאה מתכונות פני השטח יחד עם כושר חלחול נמוך, ניתן להצביע על שתי תופעות:
1. שיפועי הקרקעות החדים יחסית גורמים לזרימה מהירה על פני הקרקע, כתוצאה מכך הנגר העילי שוהה שהות קצרה מאד, דבר המצמצם רבות את יכולת החלחול.
 2. מהירות זרימה גבוהה פרושה כוחות גריפה גדולים אשר גורמים לשיטפת הקרקע. ואכן, בביקור בשטח ניתן יהיה להיווכח ברדידות שכבת הקרקע שמעל לסלע ולנארי.

3.2 חישוב הספיקות המרבית בשטח המיועד לפיתוח

3.2.1 קביעת שטח אגני ההיקוות

אגני ההיקוות בתוך שטח הפרויקט נקבעו באמצעות מפה טופוגרפית בקני"מ 1:1,000 עם קווי גובה במרווחים של 0.25 מ'. אגני הניקוז של השטחים החיצוניים נקבעו בעזרת המפות הממשלתיות בקני"מ 1:50,000.

על פי התכונות הטופוגרפיות, שטח הפרויקט מחולק ל-9 אגני היקוות (ראה תכנית 21997 המצורפת), כאשר הקטן מביניהם שטחו כ- 15 דונם והגדול ביותר שטחו כ-123 דונם. כמקובל בפרויקטים של ניקוז, כאשר שטח אגני ההיקוות קטנים מ-800 דונם (200 אקר) ניתן להשתמש בנוסחה הרציונלית לחישוב ספיקות השיא כתלות בתדירויות שונות. שטח אגני ההיקוות מספיק קטן על מנת לאפשר שימוש בשיטה הרציונלית לחישוב ספיקות ונפחי הנגר העילי הסופתי המתהווה בהם. עקרונות השיטה הרציונלית מתוארים בפרוט בנספח א' המצורף.

הערה: הערוץ הראשי של שני אגני ההיקוות הנמצאים בצדו המערבי של שטח הפרויקט מקבל נגר עילי גם משטח חיצוני. במקרה זה, תחושב ספיקת השיא הנובעת אך ורק מתרומתו של אותו חלק מאגן ההיקוות המצוי בתוך שטח הפרויקט.

3.2.2 זמן ריכוז

השימוש בנוסחה הרציונלית מותנה בכך שאם זמן הריכוז המחושב קטן מערך מינימלי מסוים מסוכם מראש, יילקח בחשבון זמן ריכוז שהוא שווה לערך מינימלי זה. בפרויקט הנוכחי זמן הריכוז הנו 10 דקות. ואמנם, כפי שמתברר מנתוני השטח, בכל אגני ההיקוות שבפרויקט זה, זמן הריכוז המחושב על ידי Kirpich (ראה נספח א') הינו קטן מ-10 דקות. לפיכך זמן הריכוז לחישוב עוצמת הגשם הסופתי הינו אחיד לכל אגני ההיקוות ושווה ל-10 דקות.

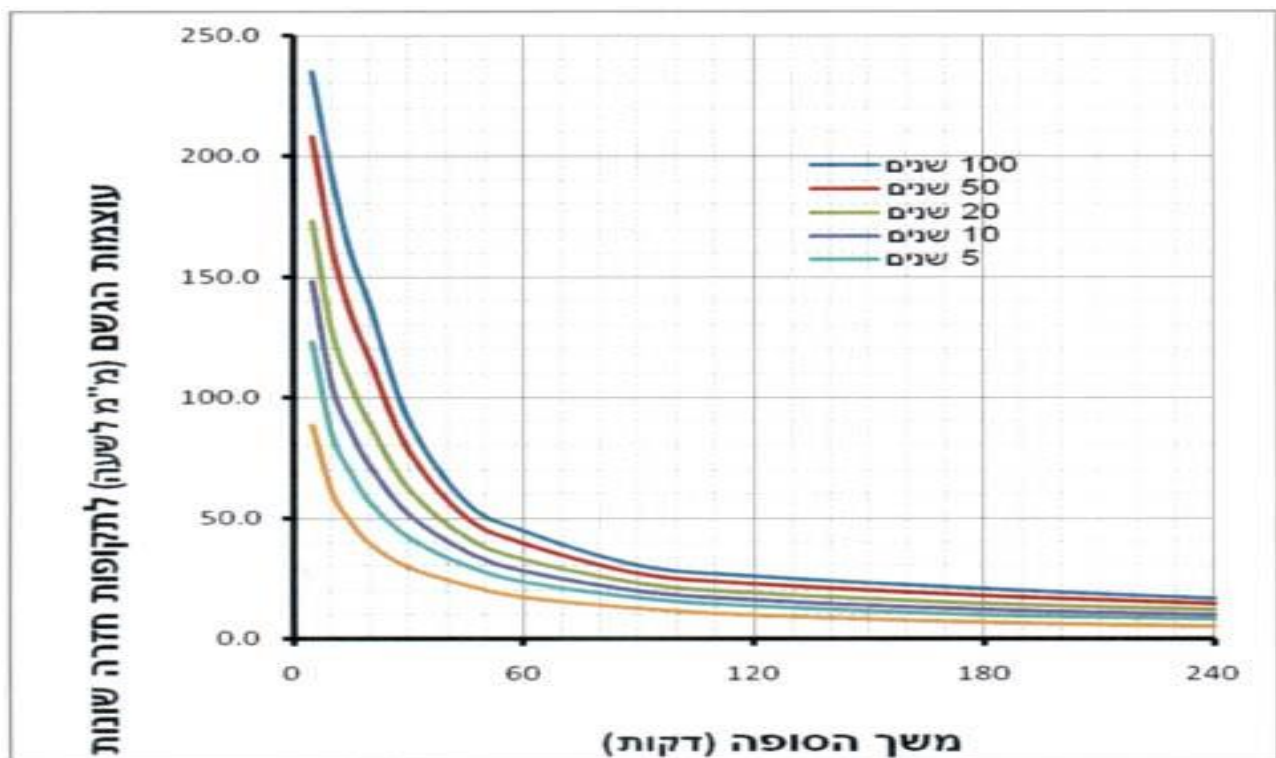
3.2.3 עוצמת הגשם הסופתי

טבלה 2.1 ואיור 2.1 בהמשך מציגים את יחסי משך-עוצמה-תדירות של סופת הגשם בשטח הפרויקט לצורכי תכנון. המידע שבטבלה נלקח מתוך נתוני התחנה המטאורולוגית הממוקמת באבן יצחק (גלעד) המבוססים על 45 שנות מדידה בין השנים 1956 ו-2002.

טבלה 2.1 : יחסי משך-עוצמה-תדירות של סופת התכן

עוצמה (במ"מ לשעה) עבור תדירות אירוע של:						משך הסופה (דקות)
1:100	1:50	1:20	1:10	1:5	1:2	
235.3	208.0	173.1	148.3	123.0	88.4	5
192.5	162.9	128.6	105.6	85.2	61.0	10
160.2	134.9	105.6	86.1	68.9	48.4	15
138.4	115.4	88.9	71.8	56.7	39.2	20
90.8	78.1	62.4	51.9	42.0	29.4	30
56.9	50.5	42.3	36.4	30.4	22.1	45
44.7	39.6	32.9	28.2	23.5	17.1	60
30.3	27.0	23.0	19.9	16.9	12.5	90
25.8	22.8	19.0	16.3	13.6	9.7	120
20.7	18.0	14.7	12.3	9.9	6.7	180
16.7	14.7	12.1	10.1	8.2	5.1	240

איור 2.1 יחסי משך-עוצמה-תדירות של סופות התכן של הפרויקט



3.2.4 מקדם הנגר הבסיסי

ערכי הנגר הבסיסי C_0 בנוסחה הרציונלית תלויים במספר גורמים כגון: התבליט, חדירות הקרקע (כושר החלחול), התכסית הצמחית, נפח אוגר השקעים, יעילות מערכת הניקוז וכו'. קיימות המלצות רבות בספרות המקצועית באמצעותן ניתן להעריך את ערכו המספרי של מקדם זה. טבלה מס' 1 בנספח א', הלוקחה מהספרות המקצועית, שימשה כבסיס לקביעת ערך מקדם הנגר הבסיסי לצורך חישובי הספיקות ונפחי הנגר העילי הסופתי. על פי טבלה זו, ובהתבסס על תכונות השטח מבחינת התבליט, תכסית וסוג הקרקע, ובהסתמך על המלצות מהספרות המקצועית הרלוונטית, ערכו של מקדם הנגר הבסיסי בשיטה הרציונלית הוערך עבור שטח הפרויקט במצב הקיים לפני הקמת שכונת שער הגיא כ- $C_0=0.35$.

3.2.5 מקדם התיקון

המסקנה שהצטברה בעולם בהקשר לשימוש בנוסחה הרציונלית לחישוב ספיקות הנגר הסופתי, היא שערכו של מקדם הנגר הכוללני עולה ככל שהסופות הנן בעלות עוצמה חזקה יותר, כלומר הסתברות האירוע שלהן קטן יותר. בספרות המקצועית נהוג לבטא מקדם תיקון C_f של מקדם הנגר הבסיסי. טבלה 2.2 מביאה את ערכו של מקדם התיקון כפי שמקובל בעולם ובארץ.

טבלה 2.2 : ערכי מקדם התיקון C_f בנוסחה הרציונלית

תקופת חזרה (שנים)	עד 10	20	50	100
הסתברות האירוע	גדול מ-5%	5%	2%	1%
מקדם התיקון C_f	1.00	1.10	1.20	1.25

3.2.6 חישוב ספיקת השיא

כאמור לעיל חישוב ספיקות השיא נעשה על פי הנוסחה רציונלית (ראה נספח א'). בהתאם לנוסחה הרציונלית, תדירות האירוע מתייחסת לתדירות הגשם הסופתי ולא לתדירות אירוע ספיקת השיא. שתי תדירויות אלה אינן זהות אך בהעדר נתונים מדודים אודות ספיקות שיא, אין אפשרות ליחס את התדירות לספיקה זו.

טבלה 2.3 וטבלה 2.4 להלן מביאות את פרטי חישוב ספיקות השיא השנתיות הצפויות בכל אחד מ-9 אגני ההיקוות שבשטח הפרויקט, במצב הקיים, ללא פיתוח. לצורך הקלה על הבנת הטבלאות, הובאו להלן הגדרת המשתנים המופיעים בהן.

טבלה 2.3 : סכום נתוני אגני היקוות ועוצמות הגשם הסופתי

אגן ניקוז									1	2	3	4	y5	6	7	8	9
נתונים גיאומטריים ופיזיים	A	(דונם)	59.8	78.2	17.1	90.1	20.5	123.0	14.6	22.7	49.9						
	L	(מ')	480	415	440	490	295	670	220	228	278						
	S	%	4.5	9.1	7.8	10.5	7.6	7.3	8.2	9.0	7.1						
	t _c	(דקות)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0						
	C _s		0.35	0.41	0.40	0.42	0.40	0.40	0.41	0.41	0.41						
תדירות 1:2	I	(מ"מ/שעה)	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0						
תדירות 1:5	I	(מ"מ/שעה)	85.2	85.2	85.2	85.2	85.2	85.2	85.2	85.2	85.2						
תדירות 1:10	I	(מ"מ/שעה)	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6						
תדירות 1:20	I	(מ"מ/שעה)	128.6	128.6	128.6	128.6	128.6	128.6	128.6	128.6	128.6						
תדירות 1:50	I	(מ"מ/שעה)	162.9	162.9	162.9	162.9	162.9	162.9	162.9	162.9	162.9						
תדירות 1:100	I	(מ"מ/שעה)	192.5	192.5	192.5	192.5	192.5	192.5	192.5	192.5	192.5						

כאשר:

A = שטח אגן ההיקוות	C_0 = מקדם הנגר הבסיסי
L = אורך ערוץ הניקוז הראשי	C_t = מקדם התיקון כופל מקדם הנגר הבסיסי בגין תדירות אירוע הגשם
S = שיפוע ממוצע של ערוץ הניקוז הראשי	I = עוצמת הגשם הסופתי
t_c = זמן הניקוז	Q = ספיקת השיא השנתית הצפויה בתדירות אירוע נתון

טבלה 2.4 : ספיקות שיא (מ"ק/שניה) הצפויות במוצא אגני הניקוז בשטח השכונה במצב הקיים

הסתברות האירוע של סופת התכן						תקופת החזרה של סופת התכן (שנים)
1%	2%	5%	10%	20%	50%	
100	50	20	10	5	2	
1.40	1.14	0.82	0.61	0.50	0.35	אגן מס' 1
1.83	1.49	1.08	0.80	0.65	0.46	אגן מס' 2
0.40	0.32	0.24	0.18	0.14	0.10	אגן מס' 3
2.11	1.71	1.24	0.93	0.75	0.53	אגן מס' 4
0.48	0.39	0.28	0.21	0.17	0.12	אגן מס' 5
2.88	2.34	1.69	1.26	1.02	0.73	אגן מס' 6
0.34	0.28	0.20	0.15	0.12	0.09	אגן מס' 7
0.53	0.43	0.31	0.23	0.19	0.13	אגן מס' 8
1.17	0.95	0.69	0.52	0.42	0.30	אגן מס' 9

הערות :

(1) באגנים מס' 6, 7, 8 ו-9 (ובמיוחד שני האגנים האחרונים) קשה היה לקבוע את המסלול הראשי של הנגר העילי הסופתי, כך שמדובר על ספיקת השיא הכוללת (הסכומית) של הנגר העילי הסופתי הנוצר באגן.

(2) באגני ההיקוות מס' 1 ו-9 (האגנים המערביים), ערוץ הניקוז הראשי מקבל נגר משטחים הנמצאים מחוץ לגבולות הפרויקט. הספיקה המחושבת מתייחסת לזו הנוצרת על ידי הנגר העילי הנוצר בתוך שטח הפרויקט.

4. שכונת שער הגיא ביוקנעם – מצב לאחר בניה

4.1 תיאור השטח

4.1.1 תיאור הפרויקט

שכונת שער הגיא, על-פי תב"ע, משתרעת על שטח של כ-535 דונם, וממוקמת בצד הדרום מערבי של יוקנעם. השכונה תהווה את הכניסה החדשה ליוקנעם ממערב. על פי ייעודי הקרקע מתוכננות בשכונה כ-1460 יחידות דיור וכן שטחי מסחר, משרדים, שרותי רווחה, ובנייני ציבור. בשכונה מיועדים שטחים ציבוריים פתוחים אשר יכללו פארק עירוני ושטחים טבעיים ומיוערים. תכנית פיתוח השטח כוללת התווית דרכים חדשות לרבות דרכים משולבות ומעברים להולכי רגל. בשכונה הוקצה שטח לתכנון עתידי.

4.1.2 סוג הקרקע

כפי שצוין לעיל, סוג הקרקע בשטח הפרויקט, בהתאם לדו"ח יועץ הקרקע, הינו סלע קירטון, בעל כושר חדירות נמוך, עם שכבה עליונה של נארי. במבט ראשון לא נראה כמעשי לחפש פתרונות בכיוון של הקטנת כמות הנגר על בסיס החדרת נגר בתחום הפרויקט, אפילו אם שכבת הנארי תוסר בעקבות ביצוע עבודות עפר בהיקף משמעותי. ואכן, שטח הפרויקט ממוקם באזור בעל עדיפות החדרה נמוכה. אולם על מנת להחליט סופית לגבי היתכנות או אי היתכנות החדרת הנגר, מומלץ לבצע סקר גאו-הידרולוגי יסודי, כולל קידוחים ומבחני חלחול, כדי לקבל תמונה גיאולוגית שלמה של שטח הפרויקט ואפשרויות ביצוע החדרה אם בכלל. כל עוד תכונות השטח אינן תומכות החדרת נגר עילי כאמצעי להפחתת ספיקות ונפחים, מומלץ אפוא השימוש באיגום השחייה כאמצעי העיקרי להשגת מטרת שימור נגר עילי.

4.1.3 התבליט

פני הקרקע במרבית שטח הפרויקט הינם בעלי שיפוע גדול יחסית. ברוב שטח השיפוע נע בין 5% ל-11%, אך ישנם שטחים משופעים אף יותר מזה. לכן, כדי ליישם לו באופן חלקי את עקרונות הבנייה המשמרת נגר בעזרת שימוש בשיטת איגום השחייה, יהיה צורך בביצוע עבודות יישור שטח בהיקף נרחב, כולל שימוש בטרסות, על-מנת שפני הקרקע במגרשים עצמם יהיו בעלי שיפוע מתון יחסית, דבר הכרחי ליישום איגומי השחייה.

4.2 בדיקת אפשרויות לביצוע בניה משמרת נגר בשכונת שער הגיא יוקנעם

4.2.1 פריסת השטחים הירוקים

על-פי התכנון המוצע של הפרויקט, פריסת השטחים הירוקים אינה מתאימה ליישום בנייה משמרת מים, עקב הסיבות הבאות:

1. השטחים הירוקים מחולקים ליחידות קטנות אשר אינן מאפשרות הקמת איגום השהיה משמעותי.

2. חלק מהשטחים הירוקים ממוקמים באזורים הגבוהים של אגני הניקוז, ומרבית הנגר העילי יתהווה במורד שלהם.

3. השטחים הירוקים הגדולים נחצים על ידי שבילי הולכי רגל או שבילי אופניים, דבר המקשה על הכשרת שטח איגום להשהיית הנגר העילי.

מלבד מקרים שיתוארו בהמשך, ניתן ליישם באופן חלקי את עקרונות הבנייה המשמרת נגר באמצעות הכשרת איגום השהיה בתוך המגרשים עצמם. לשם כך יש לבצע עבודות עפר בהיקף משמעותי על מנת ליצור משטחים בעלי שיפוע קטן של 2%, ובמידת האפשר אף פחות מזה. שטחים אלה בעיקרם מיועדים לגינון ויהיו נמוכים מ השבילים ומשטחי החניה של המגרשים.

בשטחים הירוקים הציבוריים קיימים שלושה אזורים בלבד בחלקו הצפוני של הפרויקט, בהם ניתן יהיה ליישם את עקרונות הבנייה המשמרת מים בתחום הפרויקט.

אפשרות נוספת היא יצירת איגום השהייה מחוץ לפרויקט עצמו.

4.3 חישוב הספיקות המרביות בשכונת שער הגיא

4.3.1 זמן ריכוז

לצורך החישוב הונח זמן ריכוז אחיד של 10 דקות עבור כל המגרשים.

4.3.2 מקדם הנגר הבסיסי

על פי טבלה 1 בנספח א' ועל סמך סוג הקרקע, הטופוגרפיה, התכנית ויתר התכונות הרלוונטיות מבחינה הידרולוגית של אגני ההיקוות בשטח הפרויקט, נקבעו להלן ערכי מקדם הנגר הבסיסי הממוצע לצורך חישובי הספיקות ונפחי הנגר העילי הסופתי:

1. בשטח השכונה..... $C_0=0.60$

2. בשטח אגן ההיקוות שמחוץ לגבולות השכונה..... $C_0=0.30$

4.3.3 מקדם התיקון

ערכו של מקדם הנגר הכולל עולה ככל שהסופות הנן בעלות עוצמה חזקה יותר כלומר הסתברות האירוע שלהן קטן יותר. בספרות המקצועית נהוג לבטא זאת על ידי מקדם תיקון C_f של מקדם הנגר הבסיסי. טבלה 3.1 מביאה את ערכו של מקדם התיקון כפי שמקובל בארץ ובעולם.

טבלה 3.1: ערכי מקדם התיקון C_f בנוסחה הרציונלית

תקופת חזרה (שנים)	עד 10	20	50	100
הסתברות האירוע	גדול מ-5%	5%	2%	1%
מקדם התיקון C_f	1.00	1.10	1.20	1.25

4.3.4 חישוב נפח אגירה לצרכי השהיה

כפי שצוין לעיל, היות ושטח הפרויקט מורכב משטחי אגני היקוות הקטנים מ-800 דונם, ניתן להשתמש בנוסחה הרציונלית לחישוב נפחי נגר עילי סופתי. הסברים על עקרונות הנוסחה הרציונלית ועל אופן החישוב העקרוני של נפחי האגירה הדרושים מובאים בסעיף 1 ו-4 בהתאמה של נספח א' המצורף בזה.

לגבי הסתברות האירוע של סופת התכן, ישנן גישות שונות, וההחלטה לגבי שימוש באיזה מהן תתקבל בהתאם למוסכם בין המתכנן, מחלקת ההנדסה של משרד השיכון והבינוי ורשות הניקוז.

4.4 איגומי השהיה

4.3.1 איגומי השהיה בתוך המגרשים של השכונה

עקב מאפייני השטח בו תוקם השכונה, ישנה אפשרות ליישם בניה משמרת נגר בתוך המגרשים עצמם. צמצום ספיקת הנגר העילי, בהעדר אפשרות מעשית להחדרת מים למי התהום, יושג על ידי השהייה זמנית של הנגר ושחרורו למערכת הניקוז בקצב איטי יותר, כך שספיקת השיא של המגרשים הבנויים לא תעלה על ספיקת השיא של אותו השטח בטרם הפיתוח העירוני.

טבלה 3.2 מציגה סיכום של נפחי אוגר ההשהיה והספיקה המרבית היוצאת עבור דונם אחד של מגרש בנוי בתוך שכונת שער הגיא. החישוב המפורט של נפחי האוגרים נמצא בנספח ב'.

טבלה 3.2 סיכום ערכי ספיקה מרבית יוצאת ונפח איגום מינימלי לדונם שטח מגרש

$(Q_{MAX})_{OUT}$ ו- $(Q_{MAX})_{IN}$: ספיקה מרבית נכנסת ויוצאת מהמאגר, בהתאמה ו- $St.Vol.$: נפח איגום מינימלי

מקדם הנגר הבסיסי			ספיקה מרבית נכנסת נפח אגירה מינימלי	$(Q_{MAX})_{OUT}$ (מ"ק/שניה/דונם)	=תקופת חזרה (שנים)
$C_0=0.70$	$C_0=0.60$	$C_0=0.50$			
0.017	0.014	0.012	$(Q_{MAX})_{IN}$ במ"ק/שניה/דונם	0.008	5
5.85	4.12	2.40	$St.Vol.$ במ"ק/דונם		
0.021	0.018	0.015	$(Q_{MAX})_{IN}$ במ"ק/שניה/דונם	0.010	10
7.51	5.22	3.06	$St.Vol.$ במ"ק/דונם		
0.028	0.024	0.020	$(Q_{MAX})_{IN}$ במ"ק/שניה/דונם	0.014	20
10.44	7.20	4.21	$St.Vol.$ במ"ק/דונם		
0.038	0.033	0.027	$(Q_{MAX})_{IN}$ במ"ק/שניה/דונם	0.019	50
15.44	10.59	6.03	$St.Vol.$ במ"ק/דונם		
0.047	0.040	0.033	$(Q_{MAX})_{IN}$ במ"ק/שניה/דונם	0.023	100
19.31	13.55	7.78	$St.Vol.$ במ"ק/דונם		

תכנון מערכת האגירה בכל מגרש ומגרש צריכה להיעשות כדלהלן :

1. איתור מקום מתאים למאגר האגירה על פי התכונות הטופוגרפיות של המגרש, פריסת השטחים, אפשרויות ההזרמה החוצה של הנגר היוצא מהמאגר
2. קביעת נפח האגירה הדרוש על פי גודל המגרש, קביעת מקדם הנגר, והסתברות (תקופת חזרה של סופת התכן). חשוב לציין שנפח האגירה הנ"ל צריך להיחשב החל ממפלס תחילת הגלישה מהמאגר.
3. קביעת ממדי המאגר (שטחו ועומקו המרבי כך שיתקבל נפח המאגר הדרוש).
4. חישוב הספיקה היוצאת המרבית כך שהיא לא תעלה על הספיקה המרבית הקיימת של השטח כפי שהייתה לפני הבנייה.
5. תכנון מידות מגלש היציאה כך שהספיקה היוצאת המרבית תהיה זו שחושבה עבור מפלס המים במאגר בנפח האגירה הדרוש.

4.4.2 איגומי השהייה בשטחי ציבור

כ-76 דונם של החלק הצפוני המיועד לשכונת שער הגיא מתנקז צפונה לעבר נחל יוקנעם (העובר במקביל לכביש מס' 70). ביצוע איגום השהייה מרוכז עבור אזור זה הינו בעייתי, מכיוון שמבחינה טופוגרפית השטח שבין הגבול הצפוני של השכונה ואפיק נחל יוקנעם הינו בעל שיפוע גדול, דבר המצריך ביצוע עבודות עפר בהיקף נרחב, ולפיכך אינו מתאים להקמת מאגר השהייה בעל כושר אגירה משמעותי. לכן בשלב זה נראה כי הפתרון לנגר העילי בחלק זה של השכונה יהיה ביצוע מספר איגומי השהייה קטנים בשטח הירוק הקיים לאורך הגבול הצפוני של השכונה (ראה תכנית 21998 המצורפת). איגומים אלה יקלטו את הנגר העילי אשר ישוחרר באופן מווסת לעבר נחל יוקנעם, תוך כדי פיזורו על פני שטח נרחב ככל האפשר על מנת שיגיע אל נחל יוקנעם כזרימה עילית לא מרוכזת.

בחלקו הדרומי של הפרויקט נמצא מספר קטן של אזורים אשר אפשר יהיה להשתמש בהם לצורכי איגום השהייה:

1. שני איגומים קיימים בפינה הצפון מזרחית של הפרויקט. איגומים אלה יתנקזו אל תוך מערכת ניקוז קיימת סמוך לרחוב ארבל.
2. מיקום מצומצם נמצא בפינה הדרומית מערבית ביותר של השכונה.
3. אזור המתנ"ס.
4. צפונית לבריכת השחייה.

4.4.3 איגום השהייה מחוץ לשטח הפרויקט

בהעדר אפשרות לביצוע איגומי השהייה משמעותיים בתוך שטח הפרויקט, נבחנה האפשרות לביצוע איגומים בשטח הנמצא דרומית לכביש הגישה ליוקנעם מכיוון צומת אליקים, אשר מהווה את גבולו הדרומי של הפרויקט. איגום זה יאפשר לקלוט ולווסת רק את הנגר העילי שמקורו בחלק הדרומי של השטח המיועד לשכונת שער הגיא (כ-403 דונם).

המיקום המועדף למאגר ההשהייה המוצע נמצא בחלקו העליון של אגן ההיקוות של נחל השניים, שהינו יובל משני של נחל הקישון העובר מדרום ליוקנעם. גבולות אגן ההיקוות של המאגר נקבעו בעזרת המפות הממשלתיות בקנה מידה 1:50,000. לפיהן סה"כ אגן ההיקוות משתרע על שטח של 640 דונמים, מתוכם 240 דונמים נמצאים בתוך השטח המיועד לשכונת שער הגיא. שאר השטח כ-400 דונם הנמצא מחוץ לשטח המיועד לשכונת שער הגיא הינו ברובו בעל אופי חקלאי, ובחלקו, לאורך הגבול הדרומי של אגן ההיקוות, הינו שטח בנוי בעל אופי כפרי. תכנית 21998 המצורפת מראה את המיקום המוצע לביצוע מאגר ההשהייה ואת גבולות אגן ההיקוות של מאגר זה. מאגר זה יקלוט את הנגר העילי המתהווה בתוך השטח המיועד לשכונת שער הגיא, ובנוסף מהשטח הצמוד הגובל בצד המזרחי של השכונה.

העיקרון המנחה את קביעת מאפייני מאגר ההשהייה הוא, שעבור הסתברות אירוע שתיבחר כהסתברות תכן, ספיקת השיא בנחל במורד אתר מאגר ההשהייה, המחושבת על סמך תנאי השטח שלאחר הפיתוח העירוני המלא של הפרויקט, לא תעלה על ספיקת השיא שנוצרה בתנאי

השטח הקיימים עבור סופה בעלת הסתברות זהה באגן ההיקוות לפני הפיתוח העירוני של שטח הפרויקט. הגדרת הסתברות האירוע של ספיקת השיא הינה הכרחית כיוון שככל שהסתברות קטנה יותר (תקופת החזרה ארוכה יותר), האוגר האופרטיבי של המאגר צריך להיות גדול יותר. טבלה 3.3 מציגה את תוצאות חישוב האוגר האופרטיבי המינימלי המומלץ עבור סופות בעלות הסתברויות אירוע של 10%, 5%, 2% ו-1% (תקופות חזרה של 10, 20, 50 ו-100 שנים). עקרונות החישוב מוצגים בסעיף 4 שבנספח א', ופרטי החישוב בנספח ב' המצורפים להלן.

טבלה 3.3 סיכום אוגר אופרטיבי מינימלי מומלץ למאגר הממוקם מחוץ לשטח

הפרויקט

100	50	20	10	תקופת חזרה של סופת תכן (שנים)
1%	2%	5%	10%	הסתברות האירוע של הסופה
11.4	9.2	6.6	4.9	ספיקה מרבית יוצאת למורד (מ"ק/שניה)
3,200	2,500	1,700	1,250	אוגר אופרטיבי מינימלי (מ"ק)
4,300	3,300	2,300	1,700	אוגר אופרטיבי מומלץ לתכנון (מ"ק)

יש להדגיש שעל מנת למנוע ככל האפשר התמוטטות המאגר ושחרור גל גאות הרסני למורד העשוי לגרום לנזקי רכוש ואף לסכן חיים, יש לתכנן את המאגר כך שהנגר העילי הנוצר בעקבות סופה בעלת הסתברות חריגה יוכל לעבור דרך המאגר מבלי לגרום להתמוטטות. הדבר דורש הקניית מספיק כושר אגירה למגלש המאגר. כמו-כן יש לבצע עבור הסוללה ההיקפית של המאגר בלט של, לפחות 1.0 מ' מעל מפלס המים המרבי במאגר. שתי דרישות אלה הינן מהלך תכנוני רגיל ומקובל למהנדס שיתכנן את המאגר, אולם לשם כך דרוש מידע טופוגרפי מדוד אודות הטופוגרפיה של השטח המיועד למאגר.

יש לציין שנפח האגירה האופרטיבי המומלץ המוצג בטבלה 3.3 לעיל מתייחס לנפח הפנוי הנמצא מעל למפלס סף הגלישה מהמאגר (מדובר על מאגר שאינו מווסת על ידי שערים אלא מצויד במגלש קבוע). מתחת לסף הגלישה יש להקצות נפח לצבירת הסחף שמקורו מהנגר העילי הנכנס למאגר ואשר יצטבר בתוכו.

מומלץ מאוד לשלב את המאגר עם תכנון נופי כך שישמש כשלולית חורף (ואם אפשר אף כשלולית לאורך כל השנה). כלומר, כל נפח האיגום שמתחת למפלס סף הגלישה ישמש לאיגום מים לצורכי נוי. על-כן, יש לשתף אדריכל נוף בתכנון מאגר ההשהיה.

4.5 מסקנות והמלצות

בפרויקט הנוכחי, הוצעו שתי חלופות: מאגר אחד האוסף את כל הנגר הדרומי לכדי מאגר אחד וחלופה שניה האוספת את הנגר לשלושה מאגרים. בשתי החלופות מוצע שהסתברות התכן לתכנון איגומי ההשהיה תהיה 2% (תקופת חזרה של 50 שנים).

חלופה 1: (מאגר בודד) יש לתכנן מאגר השהיה לאוגר אופרטיבי של כ-3,300 מ"ק עם מגלש המשחרר ספיקה של כ-9.2 מ"ק עם השגת נפח אוגר זה במאגר. לפי נספח ב.

את הנפח המצטבר יש לחשב לפי ספיקה נכנסת פחות ספיקה יוצאת כפול זמן הסופה (15 דקות) לכל מאגר בנפרד.

חלופה 2: מציעה את הנפחים האופרטיביים הנדרשים לוויסות כל ספיקת השיא למשך של 15 דקות עם ספיקות הכניסה המרביות.

בכל המאגרים יש צינור יציאה בקוטר 60 ס"מ, בכושר יציאה של כ-1 מ"ק/שניה בעומד מים מלא. הצינור ממוקם 70 ס"מ מעל הקרקעית למניעת סתימה בסחף, אם כי לא צפוי סחף רב עקב מיעוט בשטחים פתוחים באגנים התורמים.

נפחי האוגר מחושבים בנספח ב' טבלה מס' 2. הנפחים המוצעים הינם מינימאליים ויש להקפיד על פרוטוקול תחזוקה לפיו יש ניקוי מוצאי מאגרים פעמיים בשנה.

בכל המאגרים יש מגלש עודפים מדופן אבן וליבת חרסית שמנה בכל קוטר המאגר.

4.6 תכנית מפורטת לאיגומי השהיה

4.6.1 החלופה הנבחרת

מבדיקת אופי השטח המיועד לפיתוח בשכונת שער הגיא ביוקנעם, נמצא כי הפתרונות של איגום השהיה במגרשים ו/או איגום השהיה בשטחי ציבור בשטח הפרויקט אינם פתרונות מעשיים. לפיכך ובהתאם להמלצתו של אינג' א. פלנר, נבחר הפתרון של איגום השהיה מחוץ לשטח הפרויקט.

השטח המתאים ביותר למטרת איגום השהיה הינו השטח שמדרום לכביש הגישה ליוקנעם מכיוון צומת אליקים, אשר מהווה את גבולו הדרומי של הפרויקט. שטח זה נמצא בחלקו העליון של אגן ההיקוות של נחל השניים, שהינו יובל משני של נחל הקישון.

4.6.2 תכנית איגומי השהיה

בהתאם להמלצתו של אינג' א. פלנר איגומי השהיה תוכננו כחלק מפארק עירוני, כבריכות נוי ואגירה למטרות נוי. איגומי השהיה תוכננו לקלוט את הנגר מחלקה הדרומי של שכונת שער הגיא, ששטחו כ-400 דונם.

כחלק מהתכנון הנופי תוכננה סדרה של 3 בריכות איגום בטור, וביניהן מעבירי מים ונחלים. הבריכות נמוכות זו מזו, וכך מתקיים קשר גרביטציוני ביניהן. להלן תיאור בריכות השהיה ותפקודן כמשמרות נגר.

בריכה מס' 1 – מערבית:

בריכה בנפח 2500 מ"ק, שמוסתת את הנגר מאגן מס' 2. מתוכנן מוצא ניקוז בקוטר 1 מ' מאגן מס' 2 לבריכה זו, צינור ניקוז בקוטר 60 ס"מ לנחל מתוכנן שיזרום לכיוון בריכה מס' 2, ומגלש עודפים מהבריכה לנחל השניים.

בריכה מס' 2 – מרכזית:

בריכה בנפח 3000 מ"ק, שמוסתת את הנגר מאגן מס' 4. מתוכנן מוצא ניקוז בקוטר 1 מ' מאגן מס' 4 לבריכה זו, כניסת הנחל מבריכה מס' 1, צינור ניקוז בקוטר 60 ס"מ לנחל מתוכנן שיזרום לכיוון בריכה מס' 3, ומגלש עודפים לכיוון נחל השניים.

בריכה מס' 3 – מזרחית:

בריכה בנפח 5700 מ"ק, שמוסתת את הנגר מאגן מס' 5. מתוכנן מוצא ניקוז בקוטר 1 מ' מאגן מס' 5 לבריכה זו, כניסת הנחל מבריכה מס' 2, צינור ניקוז בקוטר 60 ס"מ לכיוון נחל השניים, ומגלש עודפים לכיוון נחל השניים. הריקון והגלישה מבריכה זו לנחל השניים הינם במורד הנחל, כך שאין השפעה על בריכה מס' 2.

4.6.3 ספיקות שיא נכנסות ויוצאות ונפחי האיגום המתוכננים

טבלה 3.4 להלן מציגה את ספיקות השיא באגנים תורמי הנגר לבריכות ההשהיה, במצב הקיים (לפני פיתוח ובניה עירונית) ובמצב עתידי (לאחר פיתוח).

על פי החישובים, ההפרש בין ספיקת השיא לפני ואחרי פיתוח עירוני עומד לסופה של 15 דקות בהסתברות 2% על כ-1.6 מ"ק/שניה. במונחים של נפח מים להשהיה מדובר על כ-1500 מ"ק.

טבלה 3.4: ספיקות שיא באגנים לסופה של 15 דקות בהסתברות 2%, לפני ואחרי פיתוח ובניה

אגן היקוות	שטח האגן (דונם)	ספיקת השיא לפני פיתוח (מ"ק/שניה)	ספיקת השיא לאחר פיתוח (מ"ק/שניה)
2	80	1.5	2.1
4	90	1.7	2.5
5	20	0.4	0.6
סה"כ	190	3.6	5.2

טבלה 3.5 להלן מציגה את הספיקות הנכנסות והיוצאות בכל אחת מבריכות ההשהיה המתוכננות, את נפח ההשהיה הנדרש על מנת להקטין את ספיקת הנגר מהשכונה כך שלא יעלה על הספיקה הטבעית של נגר עילי באזור, ואת נפח ההשהיה המתוכנן.

נפח האיגום הנדרש בכל בריכה חושב עפ"י ההפרש בין ספיקת השיא הנכנסת לספיקה היוצאת דרך צינור הריקון. ניתן לראות שהמאגרים תוכננו בעודף לעומת נפח האגירה הדרוש, מה גם שבכל מאגר יהיה מגלש אל נחל השניים, למקרה של הצפה חריגה.

טבלה 3.5 ספיקות ונפחי איגום לבריכות המתוכננות, לסופה של 15 דקות בהסתברות 2%

בריכה	ספיקת שיא נכנסת (מ"ק/שניה)			נפח איגום נדרש (מ"ק)	נפח איגום מתוכנן (מ"ק)
	מוצא ניקוז שכונה	כניסה מבריכה קודמת	סה"כ		
1	2.11	-	2.11	1000	2500
2	2.43	1	3.43	2200	3000
3	0.55	1	1.55	500	5700

נפחי האיגום המתוכננים גדולים משמעותית מהנפחים הנדרשים. פעולה זו נובעת מטעמים אקולוגיים ונופיים ולצורכי פיתוח הפארק. המאגרים המשמשים כאוגר מווסת ייספגו מים לתת הקרקע ויזינו את הצמחייה שתשתל בתוכו ויקטינו את הצורך בהשקיית עזר לאורך השנה.

נספח א':

עקרונות שיטת חישוב ספיקות ונפחי האגירה

נוסחת חישוב ספיקות הנגר העילי הסופתי (1)

עקרונות הנוסחה הרציונלית לחישוב ספיקות השיא הצפויות בתדירויות שונות¹ :

$$Q_{MAX} = C_f C_o I (t_c) A / 3600$$

כאשר :

A : שטח אגן ההיקוות (דונמים)

I : עוצמת הגשם הסופתי (מ"מ/שעה) אשר משכו שווה לזמן הריכוז t_c של אגן ההיקוות,

C_o – מקדם הנגר הבסיסית חסר ממד

C_f – מקדם תיקון בגין הסתברות סופת התכן.

Q_{max} - היא ספיקת השיא (מ"ק/שניה)

זמן הריכוז (2)

זמן הריכוז חושב באמצעות נוסחת Kirpich :

$$t_c = 0.0195 L^{0.77} S^{-0.385}$$

כאשר:

L – אורכו של מסלול זרימת הנגר העילי הראשי באגן ההיקוות (מטרים).

S – שיפועו הממוצע של מסלול הזרימה הנ"ל, חסר ממד, מחושב בעזרת המפות הטופוגרפיות.

t_c - זמן הריכוז (דקות).

¹ על פי המלצות הספרות המקצועית הרלוונטית, השימוש בנוסחה הרציונלית מומלץ עבור אגני ניקוז ששטחם אינו עולה על כ-200 אקר כלומר, כ-800 דונם

3) ערכי מקדם הנגר הבסיסי :

טבלה מס' 1: הנחיות לקביעת ערכו של הנגר בשטחים לא בנויים

Runoff Coefficient for Rural Watersheds				
	Extreme	High	Normal	Low
Relief (C_r)	0.28-0.35 steep, rugged terrain with average slopes above 30%	0.20-0.28 hilly, with average slopes of 10-30%	0.14-0.20 rolling, with average slopes of 5-10%	0.05-0.14 relatively flat land, with average slopes of 0-5%
Soil Infiltration (C_i)	0.12-0.16 no effective soil cover either rock or thin soil mantle of negligible infiltration capacity	0.08-0.12 slow to take up water, clay or shallow loam soils of low infiltration capacity or poorly drained	0.06-0.08 normal, well drained light or medium textured soils, sandy loams	0.04-0.06 deep sand or other soil that takes up water readily, very light well drained soils
Vegetal Cover (C_v)	0.12-0.16 no effective plant cover, bare or very sparse cover	0.08-0.12 poor to fair, clean cultivation, crops or poor natural cover, less than 20% of drainage area over good cover	0.06-0.08 fair to good, about 50% of area in good grassland or woodland, not more than 50% of area in cultivated crops	0.04-0.06 good to excellent, about 90% of drainage area in good grassland, woodland, or equivalent cover
Surface (C_s)	0.10-0.12 negligible, surface depression few and shallow, drainageways steep and small, no marshes	0.08-0.10 well defined system of small drainageways, no ponds or marshes	0.06-0.08 normal, considerable surface depression storage lakes and ponds and marshes	0.04-0.06 much surface storage, drainage system not sharply defined, large floodplain storage or large numbers of ponds or marshes

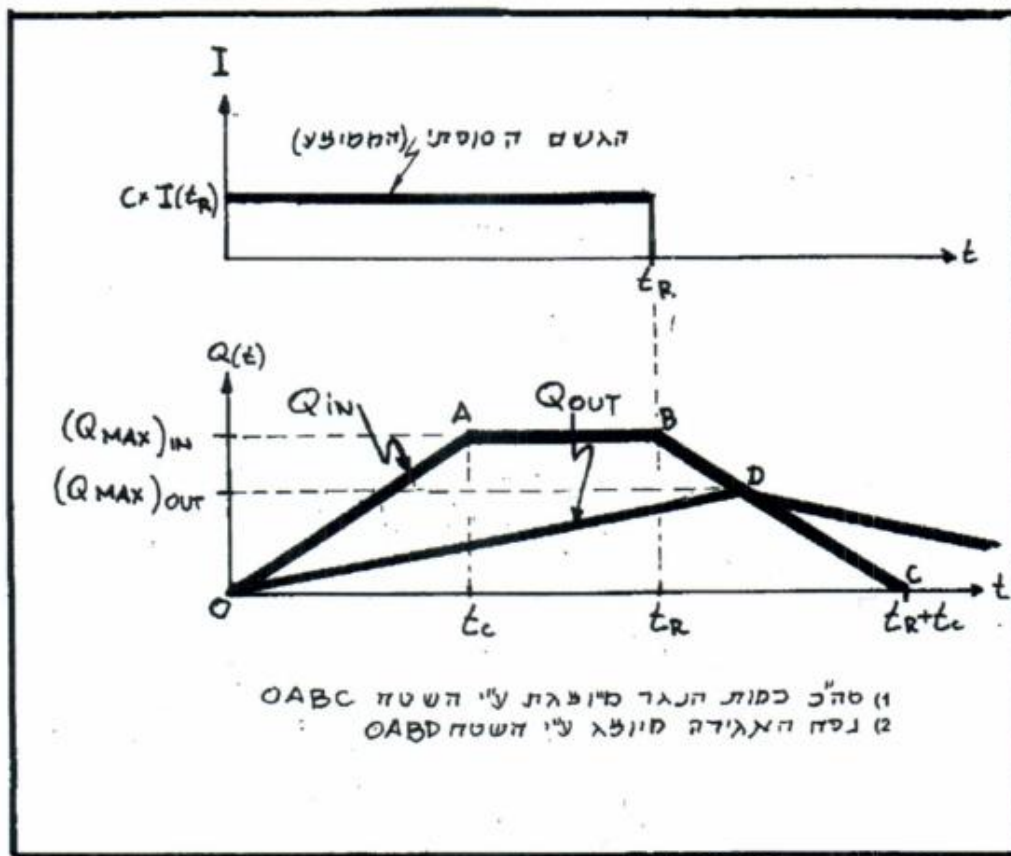
Note: The total runoff coefficient based on the four runoff components is: $C = C_r + C_i + C_v + C_s$

4) חישוב נפחי אגירה לצורכי ההשחיה

ציור X שלהלן מציג, ברמת דיוק של תכנון עקרוני, את אופן החישוב של נפחי האגירה הדרושים. עבור סופות שמשכן ארוך מזמן הריכוז של נקודות החישוב, הידרוגרמת הספיקה הנכנסת Q_{IN} למאגר ההשחיה ניתנת לתיאור על ידי טרפז שבסיסו שווה לסכום של משך הגשם וזמן הריכוז, גובהו שווה לספיקת השיא הנכנסת למאגר $(Q_{MAX})_{IN}$ ואורך צדו העליון שווה להפרש שבין משך הסופה וזמן הריכוז. הידרוגרמת הספיקה היוצאת מהמאגר ניתנת לתיאור על ידי משולש אשר בסיסו בציר הזמן וקדקודו נמצא על הזרוע היורדת של הידרוגרמת הספיקה הנכנסת, כשגובה המשולש שווה לספיקת השיא היוצאת ממאגר ההשחיה² והמשוואה לספיקה היוצאת שהייתה קיימת לפני ביצוע הפרויקט $(Q_{MAX})_{OUT}$.

² תיאור מפורט של עקרונות שיטת החישוב ניתן למצוא בפרסום :

Aron G.&Kibler,D.F.: "Pond Sizing for Rational Formula Hydrographs "Water Resources Bulletin,26(2),1190



ציור X: תיאור גרפי של חישוב נפח האגירה האפקטיבי

מבחינה מתמטית החישוב הינו כדלהלן :

נפח האגירה האופרטיבי (V_{op}) מחושב על ידי :

$$V_{op} = 60 \times (Q_{MAX})_{IN} \times t_R - 30 \times (Q_{MAX})_{OUT} \times (t_R + t_C)$$

כאשר ספיקת השיא הנכנסת למאגר ההשהיה וספיקת השיא היוצאת ממנו נתונות על ידי :

$$(Q_{MAX})_{IN} = C_f \times C_{OU} \times I(t_R) \text{ A/3,600}$$

$$(Q_{MAX})_{OUT} = C_f \times C_{OI} \times I(t_C) \text{ A/3,600}$$

t_C - זמן הריכוז מחושב על ידי נוסחת Krich : כמתואר בסעיף 2) לעיל.

$I(t_C)$: עוצמת הגשם בעלת משך של t_C , במ"מ לשעה

t_R - משך הסופה, בדקות.

$I(t_R)$: עוצמת הגשם בעלת משך של t_R , במ"מ לשעה.

C_{OU} : מקדם הנגר הבסיסי המשוקלל של אגן ההיקוות לאחר התממשות תהליך העיור.

C_{OI} : מקדם הנגר הבסיסי של השטח במצב הנוכחי, לפני תהליך העיור.

A : שטח אגן ההיקוות בדונמים

$(Q_{max})_{IN}$: ספיקת השיא הנכנסת למאגר ההשהיה

$(Q_{max})_{OUT}$: ספיקת השיא היוצאת למאגר ההשהיה.

קביעת הנפח האופרטיבי הדרוש נעשית על ידי חישוב הנפח האופרטיבי עבור משך שונה של הסופה t_R ובחירת הנפח המרבי שביניהם. החישוב נעשה, כמובן, עבור סופות בעלות משך שווה או גדול מזמן הריכוז כלומר: $t_R \geq t_c$.

נספח ב' :

חישוב מפורט של נפח איגומי ההשהיה

1. חישוב נפח איגומי ההשהיה בתוך המגרשים

חישוב נפח איגומי ההשהיה בתוך המגרשים הבנויים מבוסס על עקרונות החישוב כפי שתוארו בסעיף 4 שבנספח א'. היות ועבור המגרשים זמן הריכוז המחושב על פי נוסחת Kirpich תמיד יהיה קצר מ-10 דקות, נלקח בחשבון זמן ריכוז של 10 דקות כזמן ריכוז לצורכי חישוב. הטבלאות הבאות מציגות את החישוב של נפח אוגר ההשהיה ל-1.00 דונם מגרש.

לגבי ערך מקדם הנגר הבסיסי (C_o) של השטח לאחר הבנייה, הונח שהיות וישנם מגרשים בעלי צפיפות בניה שונה, ומהסתכלות על תכנית הבנייה, ניתן להסיק שבמרבית המגרשים ערכו של מקדם הנגר הבסיסי בנוסחה הרציונלית נמצא בין 0.50 ו- 0.70 (ראה טבלה 1 שבנספח א'). לפיכך החישוב נעשה עבור שלושה ערכים שונים של המקדם הנ"ל : 0.50, 0.60 ו- 0.70 עבור ערכי ביניים של המקדם, ניתן לחשב את המשתנים השונים על ידי אינטרפולציה.

טבלה 1.1: ספיקות מרביות ונפחי אגירה דרושים באיגומי ההשהיה שבתוך המגרשים

Return Period: 5 Yrs				$(Q_{MAX})_{OUT} = 0.008 \text{ m}^3/\text{s}$			
$C_f = 1.00$		$C_{OU} = 0.50$		$C_{OU} = 0.60$		$C_{OU} = 0.70$	
t_R (min)	$I(t_R)$ (mm/hr)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. (m^3)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. (m^3)
10	85.2	0.012	2.13	0.01 ₄	3.55	0.01 ₇	4.97
11	81.1	0.011	2.21	0.01 ₄	3.70	0.01 ₆	5.18
12	77.4	0.011	2.28	0.01 ₃	3.83	0.01 ₅	5.37
13	74.3	0.010	2.33	0.01 ₂	3.94	0.01 ₄	5.55
14	71.4	0.010	2.37	0.01 ₂	4.04	0.01 ₄	5.70
15	68.9	0.010	2.40	0.01 ₁	4.12	0.01 ₃	5.85
16	66.0	0.009	2.33	0.01 ₁	4.09	0.01 ₃	5.85
17	63.3	0.009	2.26	0.01 ₁	4.05	0.01 ₂	5.84
18	60.9	0.008	2.18	0.01 ₀	4.00	0.01 ₂	5.83
19	58.7	0.008	2.09	0.01 ₀	3.95	0.01 ₁	5.81
20	56.7	0.008	2.00	0.00 ₉	3.89	0.01 ₁	5.78
22	52.8	0.007	1.73	0.00 ₉	3.67	0.01 ₀	5.61
24	49.5	0.007	1.46	0.00 ₈	3.44	0.01 ₀	5.42
26	46.7	0.006	1.17	0.00 ₈	3.19	0.00 ₉	5.22
28	44.2	0.006	0.87	0.00 ₇	2.93	0.00 ₉	5.00
30	42.0	0.006	0.56	0.00 ₇	2.66	0.00 ₈	4.76
Required Storage		2.40 m^3		4.12 m^3		5.85 m^3	

טבלה 1.2: ספיקות מרביות ונפחי אגירה דרושים באיגומי השהייה שבתוך המגרשים

Return Period: 10 Yrs

$(Q_{MAX})_{OUT} = 0.010 \text{ m}^3/\text{s}$

$C_r = 1.00$		$C_{OU} = 0.50$		$C_{OU} = 0.60$		$C_{OU} = 0.70$	
t_R (min)	$I(t_R)$ (mm/hr)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)
10	105.6	0.015	2.64	0.018	4.40	0.021	6.16
11	100.7	0.014	2.76	0.017	4.60	0.020	6.45
12	96.3	0.013	2.86	0.016	4.78	0.019	6.71
13	92.5	0.013	2.94	0.015	4.95	0.018	6.95
14	89.1	0.012	3.01	0.015	5.09	0.017	7.17
15	86.1	0.012	3.06	0.014	5.22	0.017	7.37
16	82.7	0.011	3.01	0.014	5.22	0.016	7.42
17	79.6	0.011	2.95	0.013	5.21	0.015	7.46
18	76.7	0.011	2.89	0.013	5.19	0.015	7.49
19	74.2	0.010	2.81	0.012	5.16	0.014	7.51
20	71.8	0.010	2.73	0.012	5.12	0.014	7.51
22	66.5	0.009	2.34	0.011	4.78	0.013	7.22
24	62.0	0.009	1.94	0.010	4.42	0.012	6.90
26	58.2	0.008	1.52	0.010	4.04	0.011	6.57
28	54.8	0.008	1.09	0.009	3.65	0.011	6.21
30	51.9	0.007	0.66	0.009	3.25	0.010	5.85
Required Storage		3.06 m^3		5.22 m^3		7.51 m^3	

טבלה 1.3: ספיקות מרביות ונפחי אגירה דרושים באיגומי השהייה שבתוך המגרשים

Return Period: 20 Yrs

$(Q_{MAX})_{OUT} = 0.014 \text{ m}^3/\text{s}$

$C_F = 1.10$		$C_{OU} = 0.50$		$C_{OU} = 0.60$		$C_{OU} = 0.70$	
t_R (min)	$I(t_R)$ (mm/hr)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)
10	128.6	0.020	3.54	0.024	5.89	0.028	8.25
11	122.8	0.019	3.72	0.023	6.19	0.026	8.67
12	117.7	0.018	3.87	0.022	6.46	0.025	9.05
13	113.2	0.017	4.00	0.021	6.70	0.024	9.40
14	109.2	0.017	4.11	0.020	6.91	0.023	9.72
15	105.6	0.016	4.21	0.019	7.11	0.023	10.01
16	101.6	0.016	4.17	0.019	7.15	0.022	10.13
17	98.0	0.015	4.13	0.018	7.18	0.021	10.24
18	94.7	0.014	4.07	0.017	7.20	0.020	10.32
19	91.7	0.014	4.00	0.017	7.19	0.020	10.39
20	88.9	0.014	3.92	0.016	7.18	0.019	10.44
22	81.8	0.012	3.29	0.015	6.59	0.017	9.89
24	75.8	0.012	2.65	0.014	5.99	0.016	9.32
26	70.7	0.011	2.00	0.013	5.37	0.015	8.74
28	66.3	0.010	1.33	0.012	4.73	0.014	8.14
30	62.4	0.010	0.66	0.011	4.09	0.013	7.52
Required Storage		4.21 m^3		7.20 m^3		10.44 m^3	

טבלה 1.4: ספיקות מרביות ונפחי אגירה דרושים באיגומי השחייה שבתוך המגרשים

Return Period: 50 Yrs

$(Q_{MAX})_{OUT} = 0.019 \text{ m}^3/\text{s}$

$C_r = 1.20$		$C_{OU} = 0.50$		$C_{OU} = 0.60$		$C_{OU} = 0.70$	
t_R (min)	$I(t_R)$ (mm/hr)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)
10	162.9	0.027	4.89	0.033	0.033	0.038	11.40
11	155.8	0.026	5.17	0.031	0.031	0.036	12.03
12	149.7	0.025	5.42	0.030	0.030	0.035	12.60
13	144.2	0.024	5.63	0.029	0.029	0.034	13.13
14	139.3	0.023	5.82	0.028	0.028	0.033	13.62
15	134.9	0.022	5.98	0.027	0.027	0.031	14.08
16	130.3	0.022	6.02	0.026	0.026	0.030	14.35
17	126.0	0.021	6.03	0.025	0.025	0.029	14.60
18	122.2	0.020	6.03	0.024	0.024	0.029	14.83
19	118.7	0.020	6.01	0.024	0.024	0.028	15.03
20	115.4	0.019	5.98	0.023	0.023	0.027	15.21
22	109.1	0.018	5.75	0.022	0.022	0.025	15.35
24	103.6	0.017	5.48	0.021	0.021	0.024	15.43
26	98.8	0.016	5.17	0.020	0.020	0.023	15.44
28	94.6	0.016	4.82	0.019	0.019	0.022	15.41
30	90.8	0.015	4.43	0.018	0.018	0.021	15.33
Required Storage		6.03 m^3		10.59 m^3		15.44 m^3	

טבלה 1.5: ספיקות מרביות ונפחי אגירה דרושים באיגומי השהייה שבתוך המגרשים

Return Period: 100 Yrs

$(Q_{MAX})_{OUT} = 0.023 \text{ m}^3/\text{s}$

$C_i = 1.25$		$C_{OU} = 0.50$		$C_{OU} = 0.60$		$C_{OU} = 0.70$	
t_R (min)	$I(t_R)$ (mm/hr)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)	$(Q_{MAX})_{IN}$ (m^3/s)	ST. Vol. (m^3)
10	192.5	0.033	6.02	0.040	10.03	0.047	14.04
11	184.4	0.032	6.39	0.038	10.61	0.045	14.84
12	177.2	0.031	6.71	0.037	11.15	0.043	15.58
13	170.9	0.030	7.00	0.036	11.63	0.042	16.26
14	165.3	0.029	7.26	0.034	12.08	0.040	16.90
15	160.2	0.028	7.49	0.033	12.49	0.039	17.50
16	155.0	0.027	7.59	0.032	12.76	0.038	17.93
17	150.3	0.026	7.67	0.031	12.99	0.037	18.32
18	146.0	0.025	7.73	0.030	13.20	0.035	18.68
19	142.1	0.025	7.76	0.030	13.39	0.035	19.01
20	138.4	0.024	7.78	0.029	13.55	0.034	19.31
22	125.3	0.022	6.27	0.026	12.01	0.030	17.76
24	114.5	0.020	4.76	0.024	10.49	0.028	16.21
26	105.4	0.018	3.27	0.022	8.98	0.026	14.68
28	97.6	0.017	1.78	0.020	7.47	0.024	13.16
30	90.8	0.016	0.30	0.019	5.98	0.022	11.65
Required Storage		7.78		13.55		19.31	

2. חישובי נפחי אגירה לאיגומי השהייה מחוץ לשטח הפרויקט

בסעיף זה מובאים החישובים לקביעת נפחי האגירה האופרטיביים הדרושים להשהיית הנגר הסופתי לאחר הקמת שכונת שער הגיא ושחרור המים באופן הדרגתי למורד בקצב איטי יותר, כך שהספיקה המרבית המשוחררת למורד תהיה שווה לספיקה המרבית שהייתה מתקבלת, עבור אותה הסתברות אירוע, במצבו הנוכחי של אגן היקוות, כלומר, לפני הקמת הפרויקט. הפרמטרים הרלוונטיים ששימשו לחישוב הנם כדלהלן:

1. סה"כ שטח אגן ההיקוות..... 640 דונם
2. מזה, בתוכו חלקו הדרומי של פרויקט שער הגיא..... 240 דונם
3. אורך הערוץ הראשי..... 1.25 ק"מ
4. שיפוע ממוצע של הערוץ הראשי..... 5.2%
5. מקדם הנגר המשוקלל בחלק המעוייר של אגן ההיקוות..... $C=0.60$
6. מקדם הנגר בשטח שכונת שער הגיא לפני הבנייה..... $C=0.35$
7. מקדם הנגר בחלק הנותר של אגן הניקוז..... $C=0.30$

על סמך נתונים אלה:

זמן הריכוז, המחושב באמצעות נוסחת Kirpich הוא 14.8 דקות, ולצורך החישוב 15 דקות.
מקדמי הנגר המשוקללים הם:

1. לפני הקמת שכונת שער הגיא..... $C=0.35$
2. לאחר התממשות תהליך העיור בפרויקט שער הגיא..... $C_u=0.6$

מקדמי התיקון C_f בנוסחה הרציונלית (ראה טבלה 3.1 בסעיף 3.3.3 בדו"ח לעיל).

הטבלאות להלן מציגות את פרטי חישוב האוגר האופרטיבי הדרוש בעקבות סופות בעלות הסתברויות של 10%, 5%, 2% ו- 1% (תקופת חזרה של 10, 20, 50 ו-100 שנים בהתאמה).

טבלה 2.1: חישוב נפח האגירה הדרוש

עבור תקופת חזרה של 10 שנים

וספיקה יוצאת מרבית של 4.9 מ"ק/שניה

t_R min	$I(t_R)$ mm/h	$(Q_{MAX})_{IN}$ m ³ /s	Required Storage m ³
15	86.1	6.28	1,240
16	82.7	6.03	1,229
17	79.6	5.80	1,213
18	76.7	5.59	1,192
19	74.2	5.41	1,166
20	71.8	5.23	1,137
21	69.0	5.03	1,052
22	66.5	4.85	986
23	64.2	4.68	979
24	62.0	4.52	972
26	58.2	4.24	957
28	54.8	4.00	942
30	51.9	3.78	927

Required Storage= 1,240

טבלה 2.2: חישוב נפח האגירה הדרוש

עבור תקופת חזרה של 20 שנים

וספיקה יוצאת מרבית של 6.6 מ"ק/שניה

t_R min	$I(t_R)$ mm/h	$(Q_{MAX})_{IN}$ m ³ /s	Required Storage m ³
15	105.6	8.47	1,673
16	101.6	8.15	1,675
17	98.0	7.86	1,669
18	94.7	7.59	1,657
19	91.7	7.35	1,639
20	88.9	7.13	1,615
21	85.2	6.83	1,470
22	81.8	6.56	1,345
23	78.7	6.31	1,317
24	75.8	6.08	1,291
26	70.7	5.67	1,242
28	66.3	5.31	1,198
30	62.4	5.00	1,158
Required Storage=			1,675

טבלה 2.3: חישוב נפח האגירה הדרוש

עבור תקופת חזרה של 50 שנים

וספיקה יוצאת מרבית של 9.2 מ"ק/שניה

t_R min	$I(t_R)$ mm/h	$(Q_{MAX})_{IN}$ m^3/s	Required Storage m^3
15	134.9	11.80	2,331
16	130.3	11.39	2,373
17	126.0	11.02	2,404
18	122.2	10.69	2,426
19	118.7	10.38	2,438
20	115.4	10.09	2,443
21	110.1	9.63	2,188
22	105.3	9.21	1,933
23	100.9	8.82	1,862
24	96.8	8.47	1,796
26	89.6	7.84	1,678
28	83.5	7.30	1,576
30	78.1	6.83	1,486



Required Storage= 2,443

טבלה 2.4: חישוב נפח האגירה הדרוש

עבור תקופת חזרה של 100 שנים

וספיקה יוצאת מרבית של 11.4 מ"ק/שניה

t_R min	$I(t_R)$ mm/h	$(Q_{MAX})_{IN}$ m ³ /s	Required Storage m ³
15	160.2	14.60	2,884
16	155.0	14.12	2,965
17	150.3	13.70	3,034
18	146.0	13.30	3,090
19	142.1	12.94	3,135
20	138.4	12.61	3,170
21	131.6	11.99	2,799
22	125.3	11.42	2,430
23	119.7	10.90	2,295
24	114.5	10.43	2,184
26	105.4	9.60	1,990
28	97.6	8.89	1,825
30	90.8	8.27	1,684



Required Storage=

3,170

כּוֹשֵׁר הוֹלְכֵת מַעְבִּיר מִיָּם צִנּוּרִי

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.

טבלה מס' 2 חישוב ספיקות ונפחי איגום דרושים בהסתברות 2% לאגנים 2,4,5

חישוב ספיקת שיא בהסתברות 2% לאחר הבניה ונפח דרוש לאיגום						
אגן היקוות	Co	Cf	A	I(Tc=15)	Qmax	Vmax
	-	-	דונם	מ"מ/שעה	מ"ק/שניה	מ"ק
2	0.6	1.2	78.2	135	2.11	1900
4	0.6	1.2	90.1	135	2.43	2189
5	0.6	1.2	20.5	135	0.55	498