



שימוש בקולחים במגזר העירוני

דו"ח סופי

ד"ר דן רום
פרופ' ישראלה רבינא
אורי להב

המחקר מומן בשיתוף עם נציבות המים

משרד החקלאות - מדינת ישראל

מרץ 1995



שימוש בקולחים במגזר העירוני

דו"ח סופי

ד"ר דן רום
פרופ' ישראלה רבינא
אורי להב

המחקר מומן בשיתוף עם נציבות המים

משרד החקלאות - מדינת ישראל

מרץ 1995

שימוש בקולחים במגזר העירוני

דו"ח סופי

ד"ר דן רום • פרופ' ישראלה רבינא • אורי להב

דו"ח זה הוכן על ידי החוקרים ועל אחריותם. הדעות המובעות בפרסום זה הינן אלה של החוקרים ואינן משקפות בהכרח את עמדתו של מוסד ש. נאמן. אין המוסד אחראי למידע ולשיטות בהן השתמשו החוקרים במחקר זה.

מוסד ש. נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה

קרית הטכניון, חיפה 32000

טל. 04-237145, פקס 04-231889

המחקר בנושא שימוש בקולחים במגזר העירוני, בוצע במימון משותף של מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה, ושל נציבות המים.

מוסד שמואל נאמן בטכניון ונציבות המים במשרד החקלאות רואים את האתגר והתועלת מצד אחד, ואת הבעיות המדעיות-הנדסיות והחברתיות מצד שני, הכרוכים בשימוש חוזר בקולחים במגזר העירוני.

הדו"ח המוגש בזה הינו הבסיס לבירור מקיף של האספקטים החברתיים-כלכליים ולפיתוח מדעי וטכנולוגי של פרויקטים להשבת קולחים במגזר העירוני בישראל.

החוקרים מודים לכל הגורמים שעזרו להם בעבודתם, לעובדי נציבות המים, משרד הבריאות, "מקורות" ומוסדות אחרים על הסיוע בניתוח האפשרויות והמגבלות בשימושים השונים בקולחים.

למהנדסי העיר ועובדיהם בבאר שבע ובמעלה אדומים על האינפורמציה והנתונים שנמסרו על ידם ושימשו כבסיס לתכנון הפרויקטים של השבת הקולחים.

תכן עינינים

עמוד	
I	תקציר ומסקנות
3	מבוא
6	מטרות הפרוייקט
7	מושגי בסיס
8	1. שימושים בקולחים במגזר העירוני - איפיון, פוטנציאל כמותי וקריטריונים לאיכות
8	1.1 רשימת השימושים העירוניים המקובלים בעולם
8	1.1.1 שימוש פנים עירוני (בדגש על השקיית נוי)
10	1.1.2 שימושי קולחים מושבים בתעשיה
14	1.1.3 כיבוי אש באמצעות קולחים מושבים
15	1.1.4 השבה וסחרור מקומי בביניני משרדים
16	1.1.5 שימוש חוזר במתקנים צבאיים
16	1.1.6 מילוי חוזר של מי תהום
17	1.1.7 שימוש בקולחים למטרות נופש
19	1.2 המלצה לקריטריוני איכות קולחים לשימוש עירוני
20	1.2.1 קריטריוני איכות קולחים - המלצת המחקר
21	2. שימוש חוזר עירוני והגנה על בריאות הציבור
21	2.1 הערכת הסיכון הבריאותי
22	2.2 גורמי סיכון בקולחים לבריאות האדם
22	2.2.1 גורמי סיכון מיקרוביאליים
23	2.2.2 גורמי סיכון כימיים
23	2.3 הערכת הטיפוליים בשפכים להקטנת הסיכון הבריאותי
24	2.4 אמצעים לשמירה על בריאות הציבור בפרוייקטים של שימוש חוזר עירוני
26	3. תהליכי הטיפול בשפכים להגעה לאיכות הנדרשת לשימוש חוזר עירוני
27	3.1 סקירה כללית של תהליכי הטיפול
31	3.2 שילוב יחידות הטיפול להשגת האיכות הרצויה
	4. סקירה חלקית של פרוייקטי שימוש חוזר מתקדמים בעולם (Case Studies)
32	4.1 חלוצת השימוש החוזר העירוני: העיר סט. פטרסבורג בפלורידה
32	4.2 שימוש בקולחים להשקיה ולאגמי נפש באתר Las Colinas בטקסס
33	4.3 אספקת קולחים לקירור בתחנת הכח הגרעינית ב - Palo Verde, אריזונה
33	4.4 החזרה ישירה של קולחים לאקוויפר שפיר ב - Orange county, קליפורניה
35	4.5 שימוש ישיר בקולחים כחלק ממערכת האספקה העירונית - מתקן ההדגמה בדנבר קולורדו
36	4.6 שימוש ישיר בקולחים כחלק ממערכת האספקה העירונית בעיר ווינדהוק בדראיפ

עמוד

37	גישה לתיכנון פרוייקטים לשימוש חוזר בישראל	5.5
37	שימוש חוזר בארץ נכון להיום	5.1
38	גישה לתיכנון פרוייקטים לשימוש חוזר עירוני	5.2
39	בחירת מודלים לתיכנון שימוש חוזר עירוני בארץ	5.3
40	הערכת התנגדות/תמיכת דעת הקהל בישראל לשימוש חוזר עירוני	6
40	תמיכה ציבורית וחשיבות דעת הקהל בפרוייקטי שימוש חוזר	6.1
41	נקודות כלליות לתכנית הסברה	6.2
41	חשיבות הערכת דעת הקהל בארץ	6.3
41	מטרות המחקר	6.4
41	השערות המחקר	6.5
42	שיטת המחקר	6.6
42	נבדקים	6.6.1
42	מכשירים	6.6.2
42	מהלך המחקר	6.6.3
43	תוצאות המחקר	6.7
43	מידת התמיכה באחחים לשימושים המוצעים	6.7.1
44	תמיכת כלל המדגם בשימושים הישיר, חצי עקיף ועקיף	6.7.2
45	חלוקת המדגם לתומכים, חסרי עמדה ומתנגדים	6.7.3
46	התפלגות תוצאות הסקר לפי מאפיינים ביוגרפיים	6.7.4
48	התפלגות תוצאות הסקר כפונקציה של אמונות הנסקרים	6.7.5
49	דיון ומסקנות	6.8
51	מבוא לתיכנון הנדסי של מערכות השבה עירוניות	7
51	מידע כללי הנוגע לתיכנון מערכות השבה עירוניות	7.1
52	תזרים כללי של תהליך הטיפול בשפכים - הצעת המחקר	7.2
54	בחירת שיטת הטיפול השניוני הבסיסי	7.3
54	תהליך בוצה משופעלת קונבנציונלי	7.3.1
54	תהליך איזור נמשך	7.3.2
55	מתקן הטיפול המשלים	7.4
55	הסיבות לבחירת יחידות הטיפול בתזרים המוצע	7.4.1
56	הערכת איכות קולחי מתקן הטיפול המשלים	7.4.2
57	עקרונות תיכנון מערכות האגירה, הולכה וחלוקת הקולחים לשימוש חוזר עירוני	7.5
57	מערכות חלוקה כפולות	7.5.1
58	מערכות חלוקה מסוג "עץ" ו"טבעת"	7.5.2

עמוד

60	8	תיכנון מערכת לשימוש חוזר מתקדם בעיר בגודל בינוני - באר שבע
60	8.1	חלק ראשון: תקציר נתוני התיכנון, המתקנים המוצעים ועלויות
67	8.2	חלק שני: תיכנון מערכת ההשבה לב"ש (מורחב). העיר ב"ש נתונים כלליים
67	8.2.1	טופוגרפיה וחלוקה לאגני ביוז
67	8.2.2	תחזיות גידול אוכלוסייה וצריכות מים ע"פ שלבי התיכנון
68	8.2.3	תיאור מערכות האיסוף והטיפול הקיימות
68	8.2.4	מיקום מתקני הטיפול ופוטנציאל ההשבה בקירבתם
69	8.2.5	שפיעת שפכים
70	8.2.6	חלוקת ספיקות השפכים בין המתקן המזרחי למערבי
70	8.2.7	נתוני איכות השפכים בב"ש
70	8.2.8	צרכני הקולחים ופוטנציאל ההשבה הכללי
72	8.2.9	סכימת הטיפול המתצע לפרוייקט ההשבה בב"ש
76	8.3	תיכנון מתקן הטיפול הבסיסי
76	8.3.1	חלופות הטיפול הבסיסי
77	8.3.2	ניתוח הנדסי של חלופות הטיפול
79	8.3.3	עלויות הקמת והפעלת מתקני הטיפול בחלופות הנבדקות
81	8.3.4	השוואת חלופות ובחירת חלופה נבחרת
82	8.4	תיכנון מתקן הטיפול המשלים
82	8.4.1	תיכנון רכיבי המתקן
89	8.4.2	תמחור מתקן הטיפול המשלים
91	8.5	מערכת הובלת וחלוקת הקולחים לצרכנים
91	8.5.1	מבוא
91	8.5.2	מערכת סניקה, הובלה וחלוקת הקולחים לצרכנים פנים עירוניים
101	8.5.3	מערכת ההולכה לרמת חובב
105	8.6	סיכום עלויות כולל למע' ההשבה בב"ש
108	9	תיכנון כללי והערכת עלויות למע' השבה ליישוב קטן - שכונת צמח השדה
108	9.1	מבוא
110	9.2	תקציר תוצאות התיכנון
110	9.3	תיכנון מע' ההשבה לשכונת צמח השדה במעלה אדומים - מורחב
110	9.3.1	שכונת צמח השדה - נתונים כלליים
110	9.3.2	תיכנון מע' חלוקה כפולה
117	9.3.3	מתקן הטיפול בשפכים
118	9.3.4	שוני בתיכנון בין חלופות 1 ו- 2
119	9.3.5	הערכת עלויות למערכת ההשבה בצמח השדה

עמוד

120	9.3.6 ריכח נתונים ובחירת חלופה נבחרת
121	10. גיתוח תוצאות התיכנון, דיון ומסקנות
121	10.1 מבוא לדיון
121	10.1.1 בדיקת היתכנות הנדסית - כללי
121	10.1.2 בדיקת כדאיות כלכלית - כללי
123	10.2 הערכת היתכנות הנדסית לפרוייקטי ההשבה המוצעים
125	10.3 הערכת הכדאיות הכלכלית בפרוייקטים המוצעים
126	10.3.1 בדיקת כדאיות כלכלית בפרוייקט ההשבה בבאר שבע
127	10.3.2 בדיקת כדאיות כלכלית בפרוייקט ההשבה במעלה אדומים
127	10.3.3 קביעת נק' איזון לכדאיות פרוייקט כפונקציה של הספיקה (דוגמא: ב"ש)
129	10.4 מסקנות והמלצות להמשך

נספחים

135	נספח מס' 1: הערכת עלויות
140	נספח מס' 2: שיטות להכנת סקר דעת קהל
143	נספח מס' 3: פרסומים רלוונטים
151	ביבליוגרפיה

רשימת טבלאות

עמוד	
9	טבלה מס' 1.1: ריכח קריטריונים עיקריים להשקיה עירונית
10	טבלה מס' 1.2: קריטריוני מקסימום למזהמים אנאורגנים לשימושי השקיה עירונית
11	טבלה מס' 1.3: צרכנים תעשייתיים עקריים לקולחים בארה"ב (Teweek, 1982)
11	טבלה מס' 1.4: יתרונות וחסרונות לקירור בקולחים
	טבלה מס' 1.5: קריטריונים ממקורות שונים לאיכות קולחים למערכות קירור
12	תעשיתיות עם רסירקולציה
14	טבלה מס' 1.6: גורמי זיהום, הבעיות הנובעות מהם והטיפול הפוטנציאלי בשפכים לש.ח בתעשייה
15	טבלה מס' 1.7: קריטריוני איכות קולחים למס' סוגי תעשיות
18	טבלה מס' 1.8: קריטריוני איכות להחדרת קולחים בפחור על פני הקרקע לאקוויפר שאינו לשתיה
19	טבלה מס' 1.9: קריטריוני איכות קולחים לשימושי נופש
20	טבלה מס' 1.10: המלצת המחקר לקריטריוני איכות קולחים לשימוש חוזר עירוני (ערך מקסימלי מומלץ)
27	טבלה מס' 3.1: יעילות הרחקה של מיקרואורגניזמים בטיפול ראשוני ושניוני (%), (לא כולל חיטוי)
28	טבלה מס' 3.2: יעילות טיפוסית ממוצעת (באחחים) להרחקת מזהמים כימיים בטיפול ראשוני ושניוני
29	טבלה מס' 3.3: יעילות סילוק מזהמים ממוצעת (ב%) ע"י סינון גרנולרי
31	טבלה מס' 3.4: איכויות קולחים כפונקציה של שילוב תהליכי טיפול בסיסיים
37	טבלה מס' 5.1: שימוש חוזר בישראל כחלק מכלל הצריכה
37	טבלה מס' 5.2: תחזית לשימוש חוזר בארץ בעתיד הקרוב ע"פ תוכנית האב
43	טבלה מס' 6.1: מידת התמיכה לשימושים החוזרים המוצעים (%)
48	טבלה מס' 6.2: התפלגות תוצאות הסקר לשימוש חוזר עקף כפונקציה של אמונות הנסקרים
56	טבלה מס' 7.1: איכויות הקולחים הצפויות ממתקן הטיפול המשלים
60	טבלה מס' 8.1: תחזית גידול אוכלוסיה, צריכות מים ושפיעות שפכים בב"ש לפי שלבי תיכנון
64	טבלה מס' 8.2: ריכח עלויות מע' ההשבה בבאר שבע
67	טבלה מס' 8.3: שלבי תיכנון, תחזית גידול אוכלוסיה וצריכת מים בבאר-שבע (מורחב)
69	טבלה מס' 8.4: פרוט ספיקות שפכים בב"ש לפי שלבי תיכנון
70	טבלה מס' 8.5: ספיקות תכן למתקני הטיפול המורחגי המערבי בב"ש
71	טבלה מס' 8.6: צרכני קולחים פוטנציאליים וצריכותיהם בבאר-שבע
77	טבלה מס' 8.7: סיכום נתוני תכן למתקן טיפול בסיסי לחלופות 1 ו- 2
79	טבלה מס' 8.8: ריכח עלויות השקעה למתקן הטיפול הבסיסי
80	טבלה מס' 8.9: ריכח עלויות שנתיות למתקן הטיפול הבסיסי
85	טבלה מס' 8.10: נתוני מצע הסינון
89	טבלה מס' 8.11: עלויות השקעה למתקן הטיפול המשלים
90	טבלה מס' 8.12: עלויות שנתיות למתקן הטיפול המשלים. בסוגריים - עלויות מתקן ללא ספיחה
95	טבלה מס' 8.13: נתוני צנרת לחלופת הובלה מס' 1
96	טבלה מס' 8.14: תחום לחצי העבודה לצרכנים בחלופת הובלה 1 בב"ש
97	טבלה מס' 8.15: ריכח עלויות שנתיות ועלויות הקמה - חלופת הובלה 1 לצרכנים פנים עירוניים בב"ש
98	טבלה מס' 8.16: השוואת עלויות בין חלופות הובלה 1 ו- 2 בב"ש
101	טבלה מס' 8.17: ריכח נתוני צנרת לצרכנים בספיקת תכן, בחלופת הובלה מס' 3 לב"ש
101	טבלה מס' 8.18: ריכח לחצי עבודה בחלופת הובלה מס' 3 לב"ש
99	טבלה מס' 8.19: ריכח עלויות שנתיות ועלויות הקמה - חלופת הובלה 3 לצרכנים פנים עירוניים בב"ש
102	טבלה מס' 8.20: ריכח נתוני תיכנון לחלופות ההובלה לצרכנים פנים עירוניים בב"ש

עמוד

104	טבלה מס' 8.21: פרוט עלויות לחלופת הובלה מס' 1 לרמת חובב
106	טבלה מס' 8.22: ריכח נתוני חלופות הובלה לרמת חובב
107	טבלה מס' 8.23: סיכום עלויות לפרוייקט השבת שפכים עירונית בבאר-שבע
112	טבלה מס' 9.1: צרכני קולחים בשכונת צמח השדה וצריכות צפויות
112	טבלה מס' 9.2: ריכח ספיקות תכן לאספקת מים וקולחים לשכונת צמח השדה
113	טבלה מס' 9.3: פירוט הספיקות מהצמתים במע' החלוקה הכפולה ובמע' הרגילה
114	טבלה מס' 9.4: נתוני צמתי החלוקה ברשת החלוקה הכפולה בספיקת תכן, ב"צמח השדה" (פתרון תוכנית Loop)
119	טבלה מס' 9.5: עלויות ההשקעה בחלופות מע' ההשבה בצמח השדה
120	טבלה מס' 9.6: עלויות שנתיות במע' ההשבה בשכונת צמח השדה לחלופות 1 - 2
120	טבלה מס' 9.7: ריכח נתונים על חלופות ההשבה 1 - 2 לצמח השדה
132	טבלה מס' 10.1: קביעת ספיקות לניתוח נקודת האיזון הכלכלית

רשימת ציורים

עמוד

25	תקנות הפרדת צנרת קולחים ומים שפירים במדינת פלורידה	ציור מס' 2.1
26	ריכוח תהליכים לטיפול בשפכים	ציור מס' 3.1
34	תרשים זרימה של שלבי הטיפול בשפכים במתקן הטיפול Water Factory 21 בקליפורניה	ציור מס' 4.1
35	תרשים הטיפול במתקן ההדגמה בדנבר	ציור מס' 4.2
44	שכיחות ציוני הנבדקים לתמיכה בשימושים חצי - עקיפים בקולחים	ציור מס' 6.1
44	שכיחות ציוני הנבדקים לתמיכה בשימושים עקיפים	ציור מס' 6.2
45	שכיחות ציוני הנבדקים לתמיכה בשימושים ישירים	ציור מס' 6.3
45	חלוקה כללית למתנגדים, חסרי עמדה ותומכים לסוגי השימוש השונים	ציור מס' 6.4
46	התפלגות תוצאות הסקר באחחים לשימוש חצי-עקיף לפי מינים	ציור מס' 6.5
46	התפלגות תוצאות הסקר לשימוש החצי-עקיף לפי קבוצות גיל (%)	ציור מס' 6.6
47	התפלגות תוצאות הסקר לשימוש חצי-עקיף לפי קבוצות השכלה	ציור מס' 6.7
53	סכימת תהליכי הטיפול המוצע לשימוש חחר עירוני	ציור מס' 7.1
55	התזרים המוצע למתקן הטיפול המשלים	ציור מס' 7.2
66	אגני הניקח, תחנות השאיבה ומתקני הטיפול הקיימים והמתוכננים בבאר שבע	ציור מס' 8.1
73	צרכני קולחים עיקריים בבאר שבע	ציור מס' 8.2
74	תרשים סכמטי של מע' ההשבה המוצעת בבאר שבע	ציור מס' 8.3
75	תצלום אוויר של התחום המתוכנן לפארק ב"ש חצרים	ציור מס' 8.4
83	תנחת המתקן לטיפול משלים בבאר שבע	ציור מס' 8.5
87	מערכת מינון אלום	ציור מס' 8.6
88	מערכת החיטוי כחלק ממתקן הטיפול המשלים	ציור מס' 8.7
93	תוואי צנרת החלוקה בחלופות הובלה מס' 1 ו- 2 לבאר שבע	ציור מס' 8.8
100	תוואי צנרת החלוקה בחלופות הובלה מס' 3 לבאר שבע	ציור מס' 8.9
105	מפת תוואי ההולכה לרמת חובב	ציור מס' 8.10
109	מפות מיקום אתר התיכנון - שכנת צמח השדה במעלה אדומים	ציור מס' 9.1
111	מפת חלוקת שטחים בשכנת צמח השדה	ציור מס' 9.2
115	רשת אספקה כפולה - צנרת הקולחים, שכנת צמח השדה במעלה אדומים	ציור מס' 9.3
116	רשת אספקה כפולה - צנרת השפירים, שכנת צמח השדה במעלה אדומים	ציור מס' 9.4
120	תרשים משבצות לניתוח כדאיות כלכלית של פרויקט השבה עירונית	ציור מס' 10.1
132	קביעת נקודת ספיקת האיון הכלכלית במע' ההשבה בב"ש	ציור מס' 10.2

תקציר ומסקנות

1. שימוש חוזר בקולחים במגזר העירוני יקטין במידה מסוימת את הדרישה הגוברת למים שפירים של מגזר זה, אך תרומתו העיקרית היא בפתרון בעיות של יישובים ספציפים המרוחקים ממקורות המים במדינה והנמצאים בסביבה בה קיימות דרישות מחמירות לסילוק השפכים. עבודה זו בוחנת את האפשרות והכדאיות של הפניית חלק מכמות השפכים לצריכה עירונית מגוונת, כפי שמתבצע במקומות שונים בעולם.

2. למעלה מ-50% מהמים המסופקים לעיר יכולים להיות באיכות שאינה לשתיה. מים אלה יכולים לשמש להשקיית גינות ציבוריות ופרטיות, שימוש חוזר בתעשייה, בניה, אגמים לנוי ונופש (ללא מגע ישיר), ניקיון ושטיפה (כולל הדחת אסלות). קולחים שטופלו לאיכות מי שתיה משמשים להחדרה למי תהום ואף למיחזור ישיר.

3. קיימים כמה יתרונות בולטים לאספקת קולחים לצריכה עירונית:

1. הקולחים ינצלו בסמוך למקום היווצרותם ובכך יחסכו עלות הובלתם לצרכנים החקלאיים המרוחקים מהם לעתים עשרות ק"מ (כמו למשל, בפרייקט השפדין והקו השלישי, פרייקט תשלוכת הקישון).
2. השימוש בקולחים יחסוך למשק את עלויות ההולכה הגבוהות של מים שפירים מהכינרת לעיר, עלויות המגיעות למספר שקלים למ"ק במקומות מסוימים בארץ.
3. רמת הטיפול הגבוהה במערכות השבה עירוניות, תשפיע בכיוון של מניעת זיהום סביבתי בעוד שהשבת קולחים שעברו טיפול שניוני בלבד (לאיכות בסיס 20/30), גורמת עדיין לזיהום בקטרילוגי וכימי.
4. מערכות השבת קולחים עירוניות המחליפות חלק (20-30%) ממי האספקה, עשויות לדחות השקעות גדולות לפיתוח מקורות מים חדשים, שידרשו בעתיד הקרוב בערים רבות בארץ.
5. רמת החיים בעיר צפויה לעלות כתוצאה מיישום פרייקט לשימוש חוזר עירוני. עלייה זו תנבע בצפוי, מהאפשרות להזרמת כמויות מים גדולות לגינון ונוי עירוני גם באזורים ארדיים ומהאפשרות להזרמת מים לצרכי נופש ותיירות.
6. התמורה ממ"ק קולחים בעיר, גבוהה בהרבה מהתמורה ממנו בחקלאות. הגידולים הרווחיים אינם מסוגלים ממילא לקלוט קולחים ברמת איכות בסיסית, ורווחיות הגידולים המושקים כיום בקולחים, נמוכה. לעומת זאת, התמורה ממ"ק קולחים בתעשייה או כחיסכון של מים שפירים בעיר - גבוהה.
7. ספיקת הקולחים היא קבועה למדי, ואינה רגישה לכמות המשקעים היורדת ולהחלטות על קיצוץ אספקת המים לתעשייה או לנוי, בשנים שחונות.

למרות יתרונות אלה, לא עלה השימוש החוזר העירוני לדין רציני בארץ עד היום. לדעתנו יש לכך שלש סיבות עיקריות:

- א. הערכת אנשי המקצוע, כי הציבור בארץ אינו מעונין בהבאת קולחים לסביבתו הקרובה, וכי התנגדות זו תביא לדחייה ציבורית של הפרוייקט.
- ב. החשש כי אספקת קולחים לעיר עלולה לגרום לתחלואה ולפריצת מגפות כתוצאה משתיית קולחים מקרית, או חדירה של מי קולחים לצנרת אספקת המים.
- ג. ההערכה האינטואיטיבית של רבים, כי העלויות הכרוכות במע' השבה עירונית, הכוללות טיפול לרמה גבוהה, מע' אספקת מים כפולה ומע' בקרה וניטור, גבוהות מאד והופכות את הפרוייקט ללא כדאי.

5. פרויקטים להשבת קולחים לשימושים עירוניים פועלים במספר רב של מדינות בעולם: ארה"ב (פלורידה, קליפורניה ובמדינות הדרום מערביות), דרום אפריקה, יפן ועוד. תאור חלק ממפעלים אלה מובא בחלקה הראשון של העבודה.

6. קריטריוני האיכות עבור קולחים לשימושים השונים כפי שנקבעו במדינות שונות ועבור מפעלים ספציפיים מובאים בחלק הראשון של העבודה. על בסיס הקריטריונים המובאים בספרות, ובהתאם להוראות משרד הבריאות ביחס לשימוש בקולחים להשקיית גינות ציבורי, מוצעים (לדיון) קריטריוני איכות הקולחים לשימושים השונים במגזר העירוני (טבלה 1.10 בגוף הדו"ח).

7. הנושא החשוב ביותר בתכנון הפעלת מערכת למיחזור שפכים הוא בריאות הציבור. הסיכון שמספר רב של אנשים יבואו במגע עם קולחים במיחזור עירוני - גבוה. הבטחת בריאות הציבור נעשית בשני מישורים:

א. הקולחים, לכל שימוש עירוני, יהיו באיכות שתמנע הפצת מחלות עקב מגע ואף שתייה מקרית מהם.
ב. בתכנון רשתות ההובלה ומערכות השימוש ינקטו כל האמצעים הפיזיים וההסברתיים למניעת חיבורים צולבים לרשת המים השפירים, וכן לצמצם למינימום אפשרות מגע של הציבור עם הקולחים.

למרות שמפעלי השבה עירוניים פועלים כבר למעלה מ- 30 שנה, לא דווח בספרות על מפגעים תברואתיים, גם במקומות בהם הגיעו הקולחים המושבים, בעקיפין או במישרין, לרשתות הספקת המים.

8. סקר מצומצם של דעת הקהל ביחס לאפשרות השימוש החוזר, הראה כי כ- 90% מהנשאלים תומכים בפרויקט ההשבה המבוסס על שימוש "בלתי ישיר", כמו השקיית גינות ופארקים, הדחת אסלות וניקיון ושימוש בתעשייה. בשימושים ישירים הכרוכים במגע או בהחדרה לאקוויפר מי שתייה, הסכימו רק כ- 1/3 ופחות מהנשאלים. תוצאות אלה, הדומות לעמדת הציבור בארצות אחרות, מראות כי דעת הקהל תתמוך בחלק גדול מהשימושים האפשריים במגזר העירוני ובפרט אם הפרויקט ילווה בהסברה מתאימה.

9. הטיפול בשפכים להשגת האיכויות הדרושות חולק לשני שלבים: הטיפול הבסיסי - להשגת איכות של 20 מג"ל צח"ב ו- 30 מג"ל מ.מ. הטיפול המשלים - להשגת האיכות הגבוהה הנדרשת לשימוש החוזר הספציפי.

הטיפול הבסיסי יעשה ע"י אחת הוריאציות של תהליך הברוצה המשופעלת, שתאפשר ניטריפיקציה של הקולחים. בתכנון הכללי תושאר אופציה להוספת יחידת דניטריפיקציה לסילוק מלא של תרכובות החנקן.

הטיפול המשלים

א. להשקיית גינות ופארקים - צח"ב 5 מג"ל, מ"מ 5 מג"ל, אמתיה 2 מג"ל, חיידקי קולי 2.2 ל 100 מ"ל. האיכות תושג ע"י סינון הקולחים השניוניים במצע רב שכבתי וחיטוי ע"י הכלרה בשתי נקודות - לפני ואחרי המסנן. יבנו מאגרי תפעול וריסות שיאפשרו בין היתר גם זמן מגע עם הכלור, לפני השאיבה לרשת ההשבה.

ב. עבור שימוש כללי בתעשייה - נדרשת בנוסף לנ"ל, הרחקה של תרכובות חנקן חרוץ. הרחקת החנקן - ע"י דניטריפיקציה במתקן הביולוגי הרחוקת החרון ע"י תוספת אלום או מלח דומה, בכניסה למסנן הגרנולרי.

ג. לשימוש לניקיון בתוך הבית (הדחת אסלות ועוד) וכן שימושים מיוחדים בתעשייה - נדרשת הרחקה של תרכובות אורגניות נמסות (רפרקטוריות) והרחקת צבע. איכות זו תושג ע"י ספיחה על פחם פעיל.

10. בדיקת ההיתכנות ההנדסית והכדאיות הכלכלית נעשה ע"י תכנון שני מפעלי מיחזור: אחד עבור העיר באר שבע כמייצגת עיר בגודל בינוני (כ- 200,000 נפש) ואחד עבור שכונת מגורים בעיר מעלה אדומים, כמייצגת מפעל המבוסס על רשת מים כפולה המתחלת יחד עם התשתית הכללית של השכונה בעיר, או של ישוב בודד קטן. שני הפרויקטים נבחרו באזורים המרחקים ממקורות מים שפירים.

11. צרכני הקולחים שאותרו בבאר שבע היו גנים עירוניים, גינות במוסדות ציבור וספורט, פארקים וחורשות ותעשייה. הכמות השנתית נאמדה ב 2 מליון מ"ק, המהווים (בשנת 1997) כ - 15-20% מכמות השפכים וכ - 10% מצריכת המים החזויה.

מתקן הטיפול המשלים נחנך ממאגר הקולחים השניוניים. העלויות המחושבות של הטיפול והספקת הקולחים (כולל החזר הון לפי 5%): טיפול בסיסי (לאיכות 20/30 - ספיקה 16,000 מ"ק/י) - 0.7 שקל למ"ק, טיפול משלים (סינון + חיטוי, ספיקה 9,600 מ"ק/י) - 0.2 שקל למ"ק. רשת החלוקה (כולל שאיבה וויסות יומי) - 0.45 שקל למ"ק. פיקוח, בקרה ובדיקות (תוספת עקב השימוש החוזר) - 0.15 שקל למ"ק. סה"כ - עם הטיפול הבסיסי: 1.50 שקל למ"ק. סה"כ - ללא הטיפול הבסיסי: 0.80 שקל למ"ק. עלות הספקת המים לבאר שבע (לפי תחשיב מקורות): 1.23 שקל למ"ק (בלי לכלול את ערך המים עצמם).

מערכת לבאר שבע מתוכנן פארק אזורי. מוצע לכלול בפארק מאגר מים למטרות נופש, אשר ישולב בצריכה החקלאית של הקולחים.

12. בפרוייקט ההשבה במעלה אדומים הצריכה העיקרית היא להשקיית גנים ציבוריים ופרטיים. הצריכה השנתית להשבה נאמדה 200,000-250,000 מ"ק, המהווים כ - 25-30% מצריכת המים הרגילה. הטיפול הבסיסי תוכנן כמתקן קומפקטי לספיקה של 1,000 מ"ק ביום (250 ימי השקיה בשנה), הוא מיועד לספק קולחים לטיפול המשלים (סינון + חיטוי). עלות הקולחים המושבים כולל שאיבה לשכונה (ליישוב), אגירה (24 שעות) ורשת החלוקה נאמדה ב - 1.5-2.0 שקל למ"ק (המחזיר מושפע במידה רבה ממיקום מתקני הטיפול ביחס לשכונה/ישוב ורום השאיבה). במידה וניתן יהיה להפחית את עלות הטיפול הבסיסי, תהיה עלות מ"ק שפכים 0.7-1.2 שקל למ"ק. עלות זו נמוכה מעלות הספקת המים השפירים למעלה אדומים, שנאמדה ב 1.2-1.3 שקל למ"ק.

על מנת להגיע לפרוייקט השבה כלכלי, תכנון המערכת צריך להיות בגי כן שניתן (ומצדק) להוריד את עלות הטיפול הבסיסי, חאת כאשר מתקן הטיפול הבסיסי יטפל בכל כמות השפכים המגיע מהשכונה/ישוב. במקרה הספציפי יהיה צורך להגדיל את ספיקת המתקן הבסיסי מ 1,000 מ"ק ל 1,500 מ"ק, ולטפל בסילוק הברצה.

13. בעבודה נעשה אומדן של עלות הטיפול בקולחים ע"י תהליך ספיחה על פחם פעיל. בהעדר ניסיון בישראל בשימוש בפחם פעיל לספיקות גדולות, ובעיקר בטיפול בקולחים, נעשו האומדנים על בסיס נתונים מארה"ב. תוספת העלות של 0.45 שקל למ"ק מבוססת על הנחות "אופטימיות" לגבי משך הזמן בין רענון (רגרציה) לרענון של הפחם ועל שימוש בטכנולוגיות מתקדמות (רענון באתר ע"י קרינה אולטרה-אדומה). בהנחות יותר זהירות עלולה העלות להגיע עד 1.0 שקל למ"ק. נתונים מבוססים לגבי עלות שיפור איכות הקולחים ע"י טיפול בפחם פעיל יוכלו להתקבל רק ע"י הפעלה מבוקרת של מתקן השבה ניסיוני, שיכלול גם יחידה של פחם פעיל.

מסקנות

1. באזורים מסוימים בארץ, כדאי ליישם שימוש חוזר עירוני, כאמצעי לחיסכון במים שפירים, לחיסכון בעלויות הולכה ותשתית וכאמצעי למניעת זיהום סביבתי.
 2. אזור הנגב הצפוני, אזור אילת ואזור הרי ירושלים, הם בעלי סבירות גבוהה לכדאיות פרויקט השבה עירונית, עקב ריחוקם היחסי הפרש הרום הטופוגרפי שלהם ממקורות המים העיליים הגורמים לעלות מים שפירים גבוהה, המצאות ריכחי אוכלוסיה עירונית בהם, צחיחותם היחסית, התפתחותם הצפויה בעתיד הקרוב וריחוקם מאתר נופש מימי. במרבית הערים באזורים אלה, לא קיימת מערכת טיפול והשבת שפכים מסודרת וניתן עדיין בשלב זה, לשלב את מערכת ההשבה בתיכון הכולל.
 3. מלבד האזורים שהחכרו בסעיף 2, ניתן ליישם שימוש חוזר עירוני מקומי כגון מיחזור דלוחים במגרשי ספורט, השבה בבנייני משרדים, השקיית פארקים וכדו'. כדוגמאות ניתן להביא את השימוש החוזר להשקיה במלונות שפך זהר, אצטדיון הספורטן בפ"ת, גן החיות החדש בירושלים, אתר תחנת הכח רוטנברג באשקלון ועוד.
 4. מבחינה טכנית, ניתן להגיע לאיכויות הקולחים הנדרשות לצורך שימוש עירוני שאינו לשתייה. שילוב תהליכי טיפול ביולוגים עם מתקני סינון גרנולרים וחיתוי בכלור עונה על כל הפרמטרים המיקרוביולוגים והכימיים הדרושים לצורך השקיית גינות ונוף. במידה ויישם שימוש חוזר למטרות נוספות ובעיקר שימוש חוזר פנים ביתי, יש להוסיף לתהליך הטיפול ספיחה על פחם פעיל. יישום זה דורש בחינה בתנאי שדה. עבור קולחים שייצרכו ע"י התעשייה, יהיה צורך בטיפולים ספציפים נוספים, אך אלה נדרשים בדיכ גם עבור מים שפירים.
 5. מתוך ניתוח העלויות בעבודה נמצא כי כאשר מורידים את עלות הטיפול הבסיסי, פרויקט ההשבה במגזר העירוני הינו כלכלי, הן לגבי ערים בינוניות והן לגבי שכונות בודדות או ישוב קטן. אולם, גם אם נכלול את עלות הטיפול הבסיסי בעלות המים המושבים, תהיה עלותם נמוכה מהמחיר שמשלם הצרכן לרשות המקומית. יש לזכור כי עלויות המים השפירים ביישובים שנבדקו, לא כללו את הוצאות הובלתם ממרכז הארץ מהכינרת וכן לא נכלל ערך המים עצמם (עלות התפלה).
 - ליישום פרויקט השבה יתרונות כלכליים נוספים לטוח הארוך, הקשים למדידה כמותית, כגון היתרון שבמניעת זיהום סביבתי, דחיית ההשקעות לפיתוח מקורות מים, העלאת רמת החיים, פתוח התיירות ועוד, התורמים גם הם לכדאיות הפרויקטים.
 6. מתוך מקורות הספרות הרבים המפורטים שניסקרו, נמצא, כי למרות שאין להפחית מחומרת הסכנה הבריאותית שבשימוש החוזר העירוני, לא נתגלו כל סימנים להרעה בבריאות הציבור כתוצאה מיישום פרויקט מעין זה, גם בפרויקטים שהשיבו קולחים ישירות לאוכלוסיה כמו בווינדהוק, דרא"פ, או בבאלה שהחזירו קולחים לאקוויפר שפיר כמו באורנג' קאנטני, קליפורניה ובמקומות אחרים. יש כמובן להבטיח, אמצעי בקרה וניטור יעילים למע' ההשבה להבטחת בריאות הציבור.
 7. מתוך המחקר הנוכחי ומסקר הספרות מחו"ל, נובע כי לא קיימת התנגדות בסיסית של הציבור לשימוש החוזר העירוני. כללית ניתן לומר שאפילו קיימת תמיכה מסוימת בשימושים החוזרים שאינם באים במגע ישיר עם העור או מע' העיכול. לגבי שימושים נוספים, כגון רחצה באגם נופש מקולחים או החזרה לאקוויפר שפיר, נמצא בחו"ל שהציבור נוטה לקבלם, אם מופעלת הסברה נאותה להדגשת חשיבותם וההכרח שבהם.
- העבודה מראה כי השבת קולחים במגזר העירוני היא פרויקט ישים מבחינה הנדסית, וכדאי מבחינה כלכלית. בתנאים של גידול מהיר בצריכת המים העירונית וסכנה של זיהום מקורות המים, ההשבה העירונית עשויה לפתור בעיות מקומיות של מחסור או עלויות מים גבוהות וכן להקטין את הדרישה הכללית למים שפירים.
- השלב הבא בקידום הנושא הוא בחינה מפורטת של פרויקט השבה עירוני מסוים ויישומו כמפעל הדגמה.

מבוא

ישראל הינה מדינה סמי-ארידית עם מקורות מים מוגבלים. המקורות הטבעיים העיקריים - דהיינו הביצרת ומאגרי מי התהום הגדולים, הגיעו לקצה גבול יכולת המצוי ואף עברו אותו. בנוסף, ממקמים מקורות המים בארץ בחלקה הצפוני - מרכזי בלבד בעוד חלקה הדרומי יבש, דבר הגורר הוצאות גבוהות להובלת מים דרומה.

כתוצאה מסיבות אלה ומהצורך הגדול במים לחקלאות דווקא בעונת הקיץ השחונה, הפכה ישראל לחלוצה בתחום השימוש התחר בשפכים לחקלאות היא ממוקמת במקום הראשון בעולם הן מבחינת החלק היחסי של שפיות השפכים המנוצלים לחקלאות והן מבחינת החלק היחסי של הקולחים בצריכה החקלאית.

איטוף, טיפול וסילוק מבוקרים של שפכים עירוניים מוגדרים כחובת הרשות המקומית. חובה זו נובעת מהצורך לשמור על בריאות הציבור והצורך להגן על איכות הסביבה ובמיוחד על גופי המים הטבעיים, העיליים התת-קרקעיים. אחת משיטות הסילוק של השפכים היא השימוש התחר. שימוש תחר בקולחים נעשה משני טעמים:

1. כפתרון סילוק ע"י השקית גידולים חקלאים - ההשקיה תורמת טיהור טבעי לקולחים ומשמשת כחלק מהטיפול, דבר המאפשר תיכונן לרמה נמוכה יותר ביציאה ממכון הטיהור.
2. באזורים בהם קיים מחסור במים, החלו להשתמש בקולחים כמקור מים נוסף וכאלטרנטיבה למים שפירים. באופן טבעי, הצרכן הגדול למים אלה היא החקלאות, אך ניתן להשתמש בהם גם למטרות אחרות.

הפניית קולחי הערים להשקיה הייתה פתרון יעיל לבעיית המחסור במים בעיקר משום הזמינות של גידולי שדה כגון כותנה לקליטת קולחים ברמת טיפול נמוכה יחסית ומודעות לא גבוהה להשלכות הסביבתיות של השימוש בקולחים ובמיוחד לסכנת זיהום האקוויפרים.

כיום מתחילה להסתמן מגמה של שינוי בתנאים אלה. לפי התקנות החדשות מוגדרת חובת טיפול בשפכים לרמת בסיס (20/30) על כל רשות מקומית בעלת אוכלוסייה של מעל ל 10,000 נפש.

למרות זאת, עדיין מכילים קולחי טיפול הבסיס חלק משמעותי מהמזהמים הכימיים המצויים בשפכים. בנוסף, תהליך הכלורינציה מוסיף לקולחים מזהמים הלז-אורגניים הנחשבים מסרטנים וריכחם מוגבל בתקן. לכן באזורים נרחבים (מעל הקרסט ובקרקעות החוליות בשפלת החוף) צפויה הגבלה על השימוש בקולחים שניתיים להשקיה, דבר שיגרור צורך בהובלת הקולחים למרחקים גדולים יחסית, או מעבר לטיהור ברמה גבוהה מאד, שאינה כלכלית עבור רב הגידולים החקלאיים.

במקומות רבים בעולם משמשים הקולחים כאלטרנטיבה למים שפירים גם עבור צריכה עירונית מגוננת. בערים קיים שוק למים ממחוזים, בתנאי שאלה יעברו טיפול מתאים. בישראל כמעט ולא קיים כיום שימוש תחר למטרות עידיתיות אך נבדקות אפשרויות ליישום פרויקטים כאלה באילת ובירושלים. השימוש במים ממחוזים צפוי לחסוך מים שפירים ברמת משק המים הלאומי, אך התועלת המירבית ממנו תושג בישובים ואזורים ספציפיים בהם יש להביא את המים השפירים לעיר ממרחקים ולשאבם לגובה של מאות מטרים, בעלות ריאלית של מספר שקלים למ"ק. השימוש במים מושבים יחסוך למשק המדינה סכומים רבים ויעל את משק המים.

עם הגידול באוכלוסייה האורבנית והעלייה ברמת החיים, יהיה צורך בכמויות מים גדולות והולכות לאספקת הצריכה הערתית (ביתית, ציבורית ותעשייתית). העליה בצפיפות האוכלוסין תחייב רמת טיהור גבוהה יותר של השפכים, מטעמים חברואתיים וסביבתיים. למגמה זו תורמת עובדת אי הרוחיות של הגידולים המושקים בשפכים המטופלים לרמות הנמוכות, (כותנה, אספסת וכו') דבר העשוי לגרום לדרישה מצד החקלאים לקבלת קולחים ברמה גבוהה יותר, או ליתור על המים. שילוב מגמות אלה יקטין את תוספת עלות הטיפול בקולחים לשימוש תחר במגור העירתי, ביחס לשימוש החקלאי האלטרנטיבי.

מטרת עבודה זו לבצע בחינה ראשונית של כדאיות השימוש התחר והעירתי חאת ע"י ניתוח הנדסי וכלכלי של פרויקטי השבה בשני מקומות בארץ והשוואתם למצב הקיים היום.

כאשר דנים בשימוש חוזר עירוני, קיימת קשת רחבה של אפשרויות שימוש, החל מהשקיה אקסטנסיבית, הדורשת איכות נמוכה יחסית ועד אספקה ישירה של הקולחים לאוכלוסייה לצרכים ביתיים, אחרי מהילתם במים שפירים.

עבודה זו לא תמליץ על שימוש ישיר בקולחים כמים שפירים לצרכים ביתיים חאת למרות שטכנולוגיה להבאת הקולחים לאיכות מתאימה, קיימת. להשבה הישירה לצורכי שתיה יתרונות הנדסיים וכלכליים רבים שהעיקרי ביניהם הוא שאין צורך במערכות כפולות על מנת ליישמה, אולם הרעיון נדחה בשלב זה משתי סיבות עיקריות:

1. הציבור אינו בשל לקבלו עתה וידרש זמן רב ואמצעי הסברה חנוך רבים על מנת לגרום לו לשנות את דעתו.

2. קיים חשש גדול בקרב המדענים ליישום שימוש חוזר לשתיה מכיוון שאין ודאות שהמחקר הקיים מתייחס לכל סוגי המזהמים בשפכים ואין לדעת בודאות מה תהייה השפעת שתיית הקולחים המושבים על בריאות האדם לאורך זמן.

למרות האמור לעיל, פועלים בעולם מס' מתקנים הממחזרים שפכים לשימוש ישיר לשתיה. בין הבולטים שבהם ניתן להזכיר את הפרוייקטים בדנבר קולורדו ו - ווינגהוק בדראפ, המפיקים קולחים ברמת איכות העולה במובנים אחדים על זו של המים השפירים המקומיים.

פרט לשימוש ישיר לשתיה, קיים בעיר מגוון אפשרויות לשימוש במים ממחזורים ברמה גבוהה. בין אפשרויות אלה ניתן לכלול השקיית פארקים וגינות, שימוש לתעשייה מסוגים שונים, שטיפת מכונות ורחובות, כבוי אש, שטיפת אסלות בבנייני משרדים, שימושים בתהליך הבנייה (הידוק קרקע, השקיית בטון, ייצור בטון וכו'), שימוש למתקני נופש (אגם מלאכותי, ברכות דגים, מזרקות וכו') שימושים חוזרים למטרות צבאיות ועוד.

במידה ותיושם תוכנית שימוש חוזר באופן מלא ההערכה היא, שגם ללא יישום שימוש חוזר פנים ביתי, צפויה הקטנה של כ- 20%-30% בכמויות המים שיוספקו לעיר. הקטנה זו משמעותית מעבר לחסכון המים שבצידה ושיפור מאזן המים בארץ. משמעות רבה נודעת לדחיית המועד לפיתוח והרחבת מערכת המים השפירים הקיימת. במקומות המרוחקים ממקורות המים הטבעיים ובעיקר בנגב ובאזור הרי ירושלים יחסוך כמצופה פרויקט כזה סכומים גדולים שהיו מושקעים במערכת הובלה ארוכה ועלויות אנרגיה גבוהות לסניקת המים לגובה של מאות מטרים.

רבים מאנשי המקצוע מתייחסים כמעט בביטול לאפשרות של שימוש חוזר עירוני, בטענה שעלות פרויקט כזה גבוהה מדי ושהוא לא ניתן ליישום פרקטי בתנאי הארץ. הנחה זו נובעת מהעובדה שכדי לקיים מערכת שימוש חוזר שאינה קשורה למערכת אספקת המים השפירים יש צורך במערכת אגירה, סניקה והובלה נוספת המקבילה למערכת הקיימת. על פניו אכן נראה שהקמת מערכת חלוקה כפולה אינה כלכלית, אך הנחה זו אינה נכונה בהכרח בכל המיקרים.

בעבודה זו נעשה ניסיון לבדוק את העלויות הקשורות במערכת הטפול, ההובלה חלוקת הקולחים לצרכנים חאת ע"י שני מודלי תיכנון: הראשון, תיכנון מערכת שימוש חוזר בעיר בינתית עד גדולה - לצורך המודל נבחרה העיר באר-שבע, והשני, תיכנון שימוש חוזר במודל מצומצם של שכונה בעיר קטנה - לצורך המודל נבחרה שכונת "צמח השדה" בעיר מעלה אדומים.

מתוך התיכנון ניתוח העלויות התקבלה עלות ממוצעת למק' להשבה עבור כל אחד מהמודלים. עלות זו הושוותה עם העלות הריאלית הממוצעת של הובלת המים השפירים לנק', בתוספת עלות הטיפול בשפכים לרמת בסיס כפי שקבוע בחוק וסילוקם. במידה והשפכים/קולחים משמשים כיום לחקלאות יש לבדוק את ההשלכות הנובעות מצימצום התפוקה החקלאית ולפצות בהתאם את הנפגעים. בהקשר זה יש לציין כי התרעלת הכלכלית המתקבלת בשנים האחרונות מחקלאות המושקית בקולחים שניוניים, קטנה יחסית.

מתוך חישוב עלויות הפרוייקט, נבנה מודל להערכת כדאיות כלכלית ראשונית שעיקרו: במידה ועלות מערכת השימוש החוזר (על כל היבטיה), גבוהה יותר מעלות המים השפירים בעיר (על כל היבטיה), הרי שהפרוייקט אינו כדאי. במידה והתוצאה חיובית, יש הגיון לעבור לשלב של תיכנון ובדיקה מפורטים יותר.

הגישה במקומות רבים ובעיקר בארה"ב לקולחים אינה כאל מוצר חסר ערך המיועד לסילוק, אלא להפך, כאל מוצר העומד למכירה. כאמור, בעיר קיים שוק למים זולים, אמינים וטובים. בעניין האמינות, יש לזכור שאספקת קולחים הינה קבועה ואינה תלויה כמעט לחלוטין במידת המשקעים היורדת, או בתכניות קיצוץ כאלה או אחרות, הפוגעות באספקת מים שפירים לצרכנים מסוימים. אם מתייחסים לקולחים כאל משאב ולא כאל פסולת המחויבת בסילוק, יש סיכוי טוב שפרויקט השבה יהיה כדאי. הסיבה היא שערך המים בשימושים עירוניים ותעשייתיים גבוה בהרבה מאשר ערכו בחקלאות ולכן קיים פוטנציאל להחזיר הון וניתן לנהל מערכת מים רווחית לעיר, עובדה המבטיחה ניהול טוב יותר והתייחסות רצינית יותר מאשר במקרה של השבה לחקלאות.

אחת הבעיות הקשות ביותר בתיכנון מתקני שימוש חוזר עירוני, היא בעיית דעת הקהל. דעות קדומות, חוסר מודעות, חוסר ידע ושמרנות פוגעים באפשרות לגייס תמיכה ציבורית ופיננסית לרעיון השימוש החוזר העירוני. במקומות שונים בעולם ובעיקר בארה"ב, נדרשה העיריה למסע פירסום, הסברה וחינוך רחבי היקף וארוכי שנים ע"מ להתגבר על בעיית דעת הקהל. בארץ, למיטב ידיעתנו, לא נעשתה מעולם עבודה מסודרת להערכת דעת הקהל בנושא זה. במסגרת עבודה זו התבצע סקר מדגמי סטטיסטי להערכה ראשונית של דעת הקהל לגבי מגוון סוגים של שימוש חוזר עירוני.

הערות יסוד למבנה העבודה

1. המחקר והתיכנון של פרוייקט שימוש חוזר בשפכים, מבוסס על מציאות בה קיים מחסור במים זמינים חולים. זוהי אקסיומת יסוד של העבודה ולפיכך, אין בהיקף העבודה התייחסות לנושא הכללי של מאון המים בארץ.
2. הפרוייקט-מחקר של שימוש בשפכים מושבים במגזר העירוני, הינו פרוייקט חדשני במובן שלא קיימים לו תקדימים בישראל ולא נוצרה בנושא "פרקטיקה הנדסית" מסודרת. לכן חייב הפרוייקט להיות מבוסס על איסוף אינפורמציה ראשוני וקביעת הנחות יסוד המתאימות לארץ, תוך התבססות על פרוייקטים דומים שהוקמו במקומות אחרים בעולם.
3. שלב התיכנון ההנדסי, יעשה על בסיס הפרקטיקה ההנדסית המקובלת ואין בכונתנו להיכנס לדיון בשיטות התיכנון ההנדסיות ושיטת אומדן העלויות. פירוט מהלך התיכנון מובא בנספח בסוף העבודה.
4. סקר הספרות ישולב בתוך פרקי העבודה ובעיקר בארבעת הפרקים הראשונים. תוצאות הסקר ישמשו כקריטריוני תיכנון לפרוייקט.

מטרות הפרוייקט

מטרת הפרוייקט

בחינה ראשונית, הנדסית וכלכלית, של האפשרות ליישום שימוש חוזר עירוני בישראל.

מטרות ספציפיות

1. הגדרת השימושים הפוטנציאליים בקולחים, בנוסף לשימוש המקובל להשקיה חקלאית.
2. קביעת קריטריונים לאיכות הקולחים למטרות הצריכה השונות בהתבסס על קריטריונים קיימים בארץ ובעולם.
3. הערכת הסיכון הבריאותי הנובע ממערכות השבה עירונית, והאמצעים לשמירה על בריאות הציבור.
4. הערכת דעת הקהל בארץ בנוגע לשימוש החוזר העירוני.
5. בחינה של תהליכי הטיפול להשגת איכויות הקולחים הנדרשות ואיתור התהליכים האופטימליים בארץ למטרת שימוש חוזר שאינו לשתייה.
6. הגדרת התנאים בארץ המתאימים ליישום פרויקט השבה עירונית ובחירת שני מודלים לתיכנון.
7. תיכנון מלא של מערכת השבה עירונית לשני המודלים שנבחרו.

התיכנון יכלול:

- איתור צרכני קולחים פוטנציאליים וקביעת ספיקת התיכנון ונתוני תכן נוספים.
 - תיכנון מתקן הטיפול בשפכים להגעה לאיכות הקולחים הנדרשת.
 - תיכנון מערכות הסניקה, האגירה וחלוקת הקולחים לצרכנים.
 - תמחור מלא של מערכת ההשבה.
8. ניתוח האספקטים ההנדסיים הכלכליים של מערכות ההשבה בשני המודלים.
 9. ניתוח כדאיות הפרוייקטים כפונקציה של תוצאות התיכנון ובהשוואה למצב הקיים היום האלטרנטיבות השונות לפתרון בעתיד.

מושגים בסיסיים

מיחזור (Recycling): שימוש מחדש במים ע"י אותו משתמש לאחר טיפול (מיושם בעיקר בתעשייה).

שימוש חוזר (Reuse): שימוש מחדש במים מטופלים שלא נפלטו במקור ע"י אותו משתמש.

שימוש חוזר ישיר (Direct water reuse): העברת המים היוצאים ממתקן הטיפול ישירות לצרכנים ללא השהייה בגוף מים טבעי או מלאכותי.

שימוש חוזר עקיף (Indirect water reuse): העברת המים לרשות הצרכנים לאחר שעברו שלב ביניים כגון החדרה או מיהול בגוף מים אחר (טבעי או מלאכותי).

שימוש חוזר שאינו לשתייה (Non potable water reuse): שימוש חוזר בקולחים לכל מטרה פרט לשתייה, רחצה ובישול.

מערכת חלוקה כפולה (Dual distribution system): מערכת חלוקה בעלת צנרת נפרדת ומקבילה למים שפירים ולמים אחרים (קולחים, מי שטפונות וכד'), המשרתות את אותם הצרכנים.

מים שפירים (Potable water): מים מאיכות מעולה הניתנים לשימוש לכל מטרה כולל למטרות שתייה, רחצה ובישול.

מים שאינם שפירים (Non potable water): מים למטרות שאינם לשתייה, רחצה ובישול. לכל יתר השימושים ניתן להשתמש במים בתנאי שעברו טיפול מתאים.

מים ללא סיכון תברואי: מים שאינם מהווים סיכון תברואי משתייה מיקרית.

פרק 1. שימושים בקולחים במגזר העירוני - איפיון, פוטנציאל כמותי וקריטריונים לאיכות

1.1 רשימת השימושים העירוניים המקובלים בעולם

רשימת השימושים מסודרת לפי פוטנציאל כמותי יורד, כאשר ארבעת השימושים הראשונים הם בעלי פוטנציאל השבה גדול יחסית והאחרים בעלי פוטנציאל השבה מקומי בלבד.

1. שימושים פנים עירוניים. בעיקר השקיית נוי עירונית (פארקים, מגרשי משחקים, גינות פרטיות וציבוריות, איזורים ירוקים בעיר וכד'). בנוסף, קיים שימוש לדקורציה (מחרקות, ברכות נוי) ולשטיפה (מכוניות, רחובות, אתרי בניה, ביבים וכד').
2. שימוש תעשייתי מגוון: א. כמי קירור ב. מים לדודי קיטור ג. לתעשיות נייר ד. לתעשייה כימית ה. לתעשיית הטקסטיל ו. לתעשיית נפט ופחם. ז. לתעשיית הבניה.
3. מילוי חחר של מי תהום.
4. שימוש למטרות נופש (שחייה, דיג, שיט, נוף).
5. כיבוי אש.
6. השבה וסחרור מקומי.
7. שימוש חחר במתקנים צבאיים.

בסעיפים הבאים יובא פירוט על השימושים הנ"ל תוך התייחסות לפוטנציאל השימוש, איכויות הקולחים הנדרשות לשימושים הרלוונטים בארץ, הבעיות הכרוכות בשימוש ומיקרים לדוגמא.

1.1.1 שימוש פנים עירוני (בדגש על השקיית נוי)

זהו השימוש הנפוץ ביותר לקולחים במערכות השבה עירוניות. שטחים נרחבים בערים מיועדים לפארקים, למתקני נופש ולגינות צבורי לאורך כבישים ומדרכות. בנוסף מושקות גינות בבתי מגורים פרטיים ומשותפים.

צריכת המים לגינון מהווה מרכיב נכבד מצריכת המים העירוניים. מים אלו אינם חייבים להיות באיכות של מי שתייה. מבדיקה שנערכה "Manatee County", פלורידה נמצא כי צריכת המים השפירים פחתה ב - 78% כתוצאה מהקמת מע' קולחים להשקייה. (E.P.A Guidelines for W.R, 1991)

הקריטריונים להשקייה עירונית בלתי מוגבלת, זהים לקריטריונים המקובלים עבור השקייה בלתי מוגבלת לחקלאות. בטבלה מס' 1.1 מרוכזים הקריטריונים העיקריים להשקייה בלתי מוגבלת ממספר מקורות.

בנוסף לפרמטרים אלה, ישנה התייחסות בספרות לריכוזי מקסימום של מזהמים אנאורגנים שונים העלולים להופיע בשפכים. קריטריונים אלה נקבעו משיקולים אגרונומיים, והם תקפים גם למים שפירים. בטבלה מס' 1.2 מרוכזים קריטריוני המקסימום הללו. (Wastewater reuse & recycling tech. Pollution tech, review, 1980)

(Crook, 1991).

להשקייה בקולחים גם כמה חסרונות: לריכוז הנוטריאנטים הגבוה הקיים בשפכים, דבר הנחשב בדיכ ליתרון כיון שהוא חוסך בדשנים, יש לעיתים השפעות שליליות על הצמח כגון גידול וגטטיבי מואץ, עיכוב הבשלת איזורים מסוימים בצמח או צמיחה לא שווה של כל חלקי הצמח. ריכוז כלור גבוה מדי (מעל 5 מג'ל כלור נותר), עלול לפגוע בצמיחה. בנוסף, ידועות בעיות של סתימות צנרת ואבחרים עקב גידול חחר ביולוגי של חיידקים ואצות.

הטיפול בשפכים להגעה לאיכויות הנדרשות לצורך השקייה עירונית, כולל לכל הפחות סינון על מצע גרנולרי וחיטוי אחרי הטיפול השניתי. [E.P.A Guidelines for W.R, 1991]

הדוגמא הבולטת לשימוש בקולחים לצרכי נוי היא העיר סנט פטרסבורג בפלורידה, בה פועלת מאז 1978 המערכת הכפולה הגדולה ביותר בארצ'יב. הקולחים בעיר משמשים להשקיית 20,000 דונם שטחי נוי, כולל כ 6,500 דונם גינות פרטיות. צרכן מתחבר לרשת הקולחים משלם רק עבור הארכת הקו (1,200-500 \$

לצרכן) ועבור החבור הכולל אל חזר (300 \$). הצרכן משלם כ- 10 דולר עבור השקיית 4 הדונם הראשונים ו- 1.5 \$ עבור כל דונם נוסף. הצריכה להשקיה בסנט פטרסבורג היא כ-1,000 מ"מ בשנה (Johnson 1991). קיימות דוגמאות רבות נוספות. להלן רשימה חלקית ואקראית: אלטמונטה ספרינגס-קליפורניה, אפוקה-פלורידה, אאורורה-קולורדו, בוקה רטון-פלורידה, מחח אירוין פלורידה.

טבלה מס' 1.1: ריכוז קריטריונים עיקריים להשקיה עירונית

Table No. 1.1: Summary of reclaimed water quality standards for urban irrigation

איכות קולחים לפי רום/רבהון	הנחיות משרד הבריאות 1991	הנחיות משרד הבריאות דו"ח שלף 1978	תקן באריזונה	תקן בפלורידה	תקן בקליפורניה	פרמטר
לא יעלה על 2.2 ב 100 מ"ל ב 50% מהמקרים. לא יעלה על 12 ב 80% מהמקרים		לא יעלה על 2.2 ב 100 מ"ל ב 50% מהמקרים. לא יעלה על 12 ב 80% מהמקרים			ערך חציץ: 2.2 ב 100 מ"ל. ערך מירבי: 23 ב 100 מ"ל	קוליפורם
	לא יעלה על 10 ב 100 מ"ל ב 90% מהמקרים. הממוצע הגאומטרי לא יעלה על 5.		ערך ממוצע גאומטרי קטן מ 2.2 ב 100 מ"ל.	העדר חיידקי קוליפקאלי ב 75% מהבדיקות. בדגימה בודדת לא יעלה על 25 ב 100 מ"ל		קולי פקאלי
			רמה מירבית: 1 p.f.u ב 40 ליטר.			וירוסים
קטן מ 5 מג"ל.	קטן מ 15 מג"ל ב 80% מהבדיקות. בשום מקרה לא יותר מ 30 מג"ל.	קטן מ 15 מג"ל ב 80% מהבדיקות		ממוצע שנתי: עד 20 מג"ל. ממוצע חודשי: עד 30 מג"ל. ממוצע שבועי: עד 45 מג"ל. דגימה בודדת: 60 מג"ל.		צחיב כללי
קטן מ 5 מג"ל	קטן מ 15 מג"ל ב 80% מהבדיקות. בשום מקרה לא יותר מ 30 מג"ל	קטן מ 15 מג"ל ב 80% מהבדיקות		5 מג"ל		מוצקים מרחפים
			1 יח' N.T.U		ממוצע 2 יח' N.T.U ולא יעלה על 5 יח' ביזור מ 5% מהדגימות ב 24 שעות	עכירות
	לפחות 0.5 מג"ל	לפחות 0.5 מג"ל			יש התייחסות ללא ערך מספרי	חמצן מומס

התקנים הפלורידה, אריזונה וקליפורניה לפי אריק שאו, תחת מגיסטר 1992.

טבלה מס' 1.2: קריטריוני מקסימום למזהמים אנאורגנים לשימושי השקיה עירונית

Table No. 1.2: Summary of water unorganics quality criteria for urban irrigation

ריכוז מקסימום עבור חשיפה קצרה	ריכוז מקסימום עבור חשיפה ממושכת	יחידות	פרמטר
20	5	מג"ל	אלומיניום
2	0.1	מג"ל	ארסניק
0.5	0.1	מג"ל	בריליום
2	0.1	מג"ל	בורן
0.05	0.01	מג"ל	קדמיום
—	100-200	מג"ל	כלורידים
1	0.1	מג"ל	כרום
5	0.05	מג"ל	קובלט
5	0.2	מג"ל	נחושת
15	2	מג"ל	פלואוריד
20	5	מג"ל	ברזל
2.5	2.5	מג"ל	ליתיום
10	0.2	מג"ל	מנגן
0.05	0.01	מג"ל	מוליבדן
2	0.2	מג"ל	ניקל
—	6-9	מג"ל	חנקן
—	50	מג"ל	פנולים
—	0	מג"ל	שמן וגרזן
0.02	0.02	מג"ל	סלניום
8-18	8-18	יחידות	S.A.R
200-400	200-400	מג"ל	סולפט
1	0.1	מג"ל	ונדיום
10	2	מג"ל	זינק
10	5	מג"ל	עופרת

1.1.2 שימושי קולחים מושבים בתעשייה

התעשייה יכולה לשמש כשוק נרחב למים מושבים. שימוש במים מושבים הוא אידיאלי כאשר תהליך הייצור בתעשייה אינו דורש מים באיכות שתיה והיות ומירב התעשיות מרוכזות באזור הערים הגדולות, הרי שגם מרחקי ההובלה אליהן קטנים. הקולחים המושבים לתעשייה יכולים להיות קולחי אותה התעשייה הממוחזרים אליה לאחר טיפול במקום, או קולחים ממתקן טיפול מרכזי. עבודה זו אינה עוסקת במיחזור פנימי (סירקולציה) של מים.

ניתן לחלק את השימושים בקולחים לתעשייה לשלושה מרכיבים עיקריים, לפי סדר יורד מבחינת תפוצת השימוש וכמות הקולחים הנצרכות: 1. שימוש בקולחים לתהליכי קירור. 2. שימוש בקולחים לדודי קטור. 3. שימוש בקולחים כמרכיב בתהליך הייצור בתעשייה רטובה אחרת.

בטבלה מספר 1.3 נתנים הצרכנים העיקריים לקולחים בארה"ב באמצע שנות השמונים. באופן בולט כמותית מעל כולם נמצאים מפעלי הפלדה בעיר בית לחם בבולטימור עם צריכה לקרור של כ 50% מסך הצריכה של כל הצרכנים הגדולים.

טבלה מס' 1.3: צרכנים תעשייתיים עקריים לקולחים בארה"ב (Teweek, 1982)

Table No. 1.3: Inventory of industrial reuse in the United States

המשתמש	סוג השימוש	מקור הקולחים	ספיקה (מק"י)
תעשיית מתכת בית לחם	קירור	העיר בולטימור	400,000
תחנת הכח נוודה	קירור	לאס וואגס	102,000
City Electric M.D plant	קירור	קולורדו ספרינגס	80,000
S.W public service company	קירור	העיר אמריליו	40,000
S.W public service company	קירור, דודי קיטור	העיר לובוק	24,500
El Paso products Co.	קירור, דודי קיטור	העיר אודסה	18,000

1.1.2.1 שימוש בקולחים לתהליכי קירור

השימוש בקולחים לקירור תעשייתי אינו יישום חדש והוא קיים במפעלים רבים ברחבי העולם. החלו בו עוד משנות ה-40 של המאה הוא מתרחב משנה לשנה. קיימת ואריאביליות רבה בשימוש בקולחים לקירור. התהליכים נעים בין קירור חד פעמי ללא מגע, בו משתמשים בתחנות כח הקרובות לים, לבין מגע ישיר בתעשיית המתכות ומגע לא ישיר + רסיקולציה בתעשיות הרחוקות מהים באזורים חסרי מים. ניתן לחלק את תהליך הקירור לשני סוגים עקריים: חד פעמי ורסיקולציה. בקירור חד פעמי מועבר חום התהליך למים שאח"כ מסולקים. בתהליך הרסיקולציה הולכים צעד קדימה ומעבירים את החום מהמים לאוויר על מנת שהמים יחזרו לסיבוב קירור נוסף (Comeille 1985, asano, 1989).

טבלה מס' 1.4: יתרונות וחסרונות לקירור בקולחים

Table No. 1.4: Advantages & disadvantages of cooling with treated sewage

יתרונות	חסרונות
מחיר מים גולמיים נמוך	תוספת מתקני טיפול להשגת איכות נדרשת
אפשרות לעזרה ממשלתית	חשש לבעיות איכות מים (נדיר)
אמינות אספקה גבוהה בהווה ובעתיד	ייצור בוצה בתהליך הטיפול

איכות הקולחים הנדרשת לתהליכי קירור - באופן כללי התהליך רגיש לבעיות איכות המים הבאות: הוצרות משקעים על מחליף החום (כתוצאה מקשיות מים), קורחיה וגדול ביולוגי (Comeille 1985). קיימים קריטריונים לשימוש חוזר לקירור חד פעמי ומע' קירור עם רסיקולציה פנימית. באופן טבעי, הקריטריונים למערכות עם רסיקולציה חמורים יותר והם מרוכזים בטבלה מס' 1.5. יש לשים לב לכך שההמלצות המופיעות במקורות האמריקאים כמעט זהות וסביר להניח שהן מתבססות על מקור אחד. תהליך הטיפול להגעה לקריטריונים לקירור - תהליך טיפול שיענה על הקריטריונים למי קירור יכולול הרחקה טובה של מ.מ, זרחן ומקראורגניזמים. בנוסף יתכן ויהיה צורך גם בטיפול כימי להקטנת קורחיה הנגרמת משאר מרכיבי השפכים והנמדדת כ T.D.S ולא מורחקת בטיפול קטבנציונלי. עבור קירור חד פעמי נדרשת איכות של טיפול שניוני בלבד. עבור תהליכי רסיקולציה יש צורך בטיפול שלישוני + תוספת הרחקה גורמי קורחיה ספציפיים. טיפול הקדם לפני קירור כתוספת לטיפול קטבנציונלי, יכולול בדיכ הצללת סיד, שקוע עיי אלום או מחליף יונים. כמו כן תיכלל בו הוספת חומצה לשם שליטה על ה PH.

עלות מוערכת לשימוש בקולחים לקירור - עלות הטיפול הגבוהה היא המכשול העיקרי להרחבת השימוש בקולחים למטרות קירור. מתוך ניתוח עליות בארה"ב וכסדר גדול התקבלה עלות של 0.15 דולר למ"ק עבור ספיקה של 8 מ"ק/דקה. העלות מתחלקת לפי הסעיפים הבאים: 55% הפעלה ואחזקה בשלב הטיפול

הראשוני, 18% החזר הון על תהליך הטפול הראשוני ו 27% עבור הטיפול במערכת הקירור עצמה (Comeille, 1985).

טבלה מס' 1.5: קריטריונים ממקורות שונים לאיכות קולחים למערכות קירור תעשייתיות עם רסיקולציה
Table No.1.5: Summary of effluent criteria from different sources for recirculation reuse

פרמטר	יחידות	E.P.A W.R guidelines 92	A.W.W.A guidelines 89	pollution tech. review	רום - רבהון
צ.ח.ב	מג"ל	—	—	—	10
צ.ח.ב	מג"ל	75	75	75	60
מ. מרחפים	מג"ל	100	100	100	10
מ. נמסים	מג"ל	500	500	500-800	1000
עכירות	N.T.U	50	—	—	—
איכות מיקרוביאלית	מג"ל	—	—	—	הרחקה לרמה של מגע מקרי
P.H	—	6-9	—	—	—
קשיות	מג"ל	650	650	650	—
אלקליניות כ - CaCO ₃	מג"ל	350	350	350	—
אלומיניום	מג"ל	—	0.1	0.1	—
ביוקרבוט	מג"ל	—	24	24	—
קלציום	מג"ל	50	50	50	רצוי רכוך
כלורידים	מג"ל	500	500	500	300
נחשת	מג"ל	—	—	לא מוגבל	—
ברזל	מג"ל	0.5	—	0.5	—
מגנזיום	מג"ל	0.5	—	לא מוגבל	—
מנגן	מג"ל	0.5	0.5	0.5	—
סיליקה	מג"ל	—	50	50	—

1.1.2.2 שימוש בקולחים כמי הזנה לדודי קיטור

השימוש בקולחים לדודי קיטור שונה רק במעט מהשימוש בהם עם מים שפירים. עבור שניהם יש צורך בטיפול קדם יסודי. רמת הקריטריונים לאיכות המים היא פתקציה של הלחץ בו פועל הדוד. כללית, ככל שהלחץ גבוה יותר כך גבוהה רמת האיכות הנדרשת. דודים הפועלים בלחצים גבוהים מאד, נזקקים אף למים מזוקקים לפעילותם. הטיפול העיקרי הנדרש למים הוא הקטנת ערך הקשיות עד קרוב לאפס, כלומר הרחקת קלציום, מגנזיום, סיליקה ואלומיניום.

בתלות בתכונות השפכים, יידרש טיפול בסיד (הכולל פלוקולציה, שיקוע וקרבונציה), אחריו סינון במצע רב שכבתי, ספיחה על פחם פעיל והרחקת חנקן. עבור דודים הפועלים בלחץ גבוה, תידרש בנוסף התפלה ע"י אוסמחה הפוכה, או העברת המים דרך מחליף יונים.

תכונות נוספות שאינן רצויות (חוץ מקשיות): אלקליניות כללית גבוהה ואלקליניות ביוקרבוטית גבוהה. לסיכום: הטיפול הבעייתי וכמויות המים הקטנות יחסית הנצרכות בטיפול התפלות את דודי הקיטור לצרכן לא אטרקטיבי למיחזור קולחים (Teweek, 1982).

1.1.2.3 שימוש תעשייתי מגוון

תחת כותרת זו ניתן לכלול בעיקר את השימוש החוזר בתעשיית הניר, בתעשייה הכימית ובתעשיית הטקסטיל. קיימים שימושים בתעשיות נוספות כגון תעשיית המזון, הדלק, הפחם, הבניה ועוד, אך הם זניחים מבחינה כמותית.

שימוש חוזר בקולחים בתעשיית הניר

ייצור נייר תלוי בכמויות גדולות של מים לחימום וגריסת חתיכות העץ ליצירת מוך הננייר, לשטיפת המוך הסעתם של סיבי הננייר לתהליך ההלבנה ותהליך יצירת הדפים.

איכות המים לתעשיית הננייר ומצרריה הנלווים משתנה מתהליך לתהליך, בהתאם לאיכותו של המוצר הסופי. עקרונית, יש להקטין למינימום את רכח המוצקים המרחפים, היות שהם משפיעים על צבע ובהירות המוצר. באופן דומה יש להקטין את עבירות וצבע המים למינימום. מתכות כגון סיליקה, אלומיניום ויונים קשים, יכולים לגרום לאיכול כימי של הציוד ולשיקוע של אבנית וצריך לשמור אותם בריכוזים נמוכים. בנוסף יש להרחיק מיקרואורגניזמים מהתהליך, כיוון שהם יכולים לגרום להוצרות גידולים ביולוגיים שילכלכו את הניר בכתמים ויתנו לו ריח רע. מוגדרת שארית כלור של 3 מ"ג/ליטר כמספקת למניעת גדול ביולוגי. לעיתים קרובות בגלל אופיים של שפכי מפעל הניר עצמו, ובגלל כמויות המים הגדולות המשתתפות בתהליך, מבצע המפעל מיחזור עצמי של מים (Osantowski, 1978, Teweek, 1982).

תהליך הטיפול הנדרש תלוי כאמור באיכות הננייר המיוצר. עבור נייר באיכות גבוהה יש צורך בנוסף לטיפול השניוני הקונבנציונלי בסינון גרנולרי, ספיחה על פחם פעיל, חיטוי ולעיתים אף טיפול ע"י מחליף יונים או ריכוך כימי. ההערכה היא שבשנת 2000 תהווה תעשיית הננייר כ-27% מכלל צריכת המים התעשייתיים בארה"ב ומכאן נובע פוטנציאל ההשבה הגדול שלה (Wyvill, 1984).

שימוש בקולחים בתעשייה הכימית

התעשייה הכימית תהיה לפי ההערכות צרכן המים השני בגודלו בארה"ב בשנת 2,000 - כ-26% מסך הצריכה. מכאן נובעת חשיבותו הרבה של השימוש החוזר בתעשייה זו. בסביבות 80% מקולחים אלה ינוצלו בתהליכי קירור וכתוצאה מכך קריטריוני האיכות למים יקבעו ע"פ טמפרטורת התהליך. בד"כ הטמפר' בתעשייה הכימית גבוהות אף מאשר באפליקציות של קיטור או בתעשייה הפטרוכימית ולכן נדרשת רמת איכות גבוהה. רכח המ.מ לא יעלה על 5 - 10 מג"ל ואי אפשר להשתמש במים עם ריכוז כלורידים גבוה. ע"מ להמנע מקורחיה במחלפי החום, המים צריכים להיות רכים, חסרי צבע ובעלי רכח נמוך של סיליקה. למרות זאת ובגלל הואריאביליות הרבה בתהליכים בתעשייה הכימית ובין המוצרים השונים, קיימים מקומות בהם משתמשים במים מאיכות נמוכה יותר.

במידה ואכן המים צריכים לעבור את כל הטיפולים ע"מ לעמוד באיכות הגבוהה ביותר, בד"כ לא תהיה הצדקה כלכלית בתנאים של היום לשימוש החוזר (Teweek, 1982).

שימוש בקולחים בתעשיית הטקסטיל

בנוגע לשימוש בתעשיית הטקסטיל מחלקים את איכות המים לארבע קטגוריות: עכירות, צבע, ברזל ומנגן, אלקליניות וקשיות.

עכירות, צבע, ברזל ומנגן גורמים לכתמים במוצרים הרחוקתם הכרחית. הקשיות משפיעה על סבונים אחדים המשתתפים בתהליך, דבר הגורם לקרישים על המוצר הסופי. האלקליניות חשובה במובן שהיא עוזרת להרחקת הברזל והמנגן. אם המים אינם אלקליניים מספיק, יכולים להוצר הידרוקסידים לא מסיסים של ברזל ומנגן במקרה של הוספת סיד או סודה. ניטרטים וניטריטים גם יוצרים בעיות בתהליך הצביעה. מתוך כלל הקריטריונים ניתן לראות שאיכות המים הנדרשת גבוהה מאד, דבר המקשה על יישום אפליקציות שימוש חוזר במקרים רבים.

בטבלה מס' 1.6 מרוכזים גורמי הזיהום העיקריים בשפכים הפוגעים ביישום תעשייתי, הסכנות הנובעות מהם ותהליך הטיפול המוצע (Water Reuse, W.P.C.F, 1989).

טבלה מס' 1.6: גורמי זיהום, הבעיות הנובעות מהם הטיפול הפוטנציאלי בשפכים לש.ח בתעשייה

Table No.1.6: Industrial water reuse quality concerns and potential treatment processes

המזהם	הבעיה	הטיפול המוצע
שארית חומר אורגני	גידול מחדש של חיידקים יצירת משקעים ביולוגיים	ניטריפיקציה ספיחה על פחם פעיל חילוף יונים
אמוניה	מפריע ליצירת כלור חופשי נותר. גורם לקורוזיה. מזרז גידול ביולוגי.	ניטריפיקציה חילוף יונים
זרחן	יצירת משקעים מזרז גידול ביולוגי	שיקוע כימי חילוף יונים הרחקת זרחן ביולוגית
מוצקים מרחפים	שיקוע, סתימות משמש כמצע לגדול ביולוגי	סינון
קלציום, מגנזיום, ברזל וסיליקה	יצירת משקעים	שיקוע כימי חילוף יונים

הקריטריונים לאיכות הקולחים לתעשייה

תעשיות רבות ומגוונות מיישמות שימוש חוזר בשפכים בעולם. בסעיף זה אתרכו בעיקריות ביניהן ובכאלו הניתנות ליישום בארץ. בטבלה 1.7 יפורטו קריטריונים לשימושים הבאים: תעשיית הניר, תעשיית הטכסטיל, התעשייה הכימית ותעשיית הצמנט (E.P.A guidelines, 1992, Water Reuse, W.P.C.F,1989) (Pollution tech. review, 1980). באופן טבעי, אלו ערכים ממוצעים בלבד הנותנים קנה מידה לרמת האיכות הנדרשת ואיתם עונים על צרכי כל מוצר ספציפי בתעשייה.

מטבלה 1.7 ניתן להסיק על השונות הרבה הקיימת בין דרישות האיכות לשימושים החרים לתעשייה, דבר המקשה על קביעת קריטריון איכות כללי לתעשייה.

1.1.3 כיבוי אש באמצעות קולחים מושבים

כיבוי אש יכול להכלל כחלק מספיקת התכן לתיכנון קו צנרת הקולחים במסגרת מערכת החלוקה הכפולה. קימות שתי אפשרויות בעניין זה: 1. הקולחים ישמשו כמקור היחיד לכיבוי אש. 2. הקולחים ישמשו כמערכת עזר לכיבוי אש, כאשר המערכת הראשית מושתתת על קו המים השפירים. קיים הבדל הנדסי ניכר בין שתי האפשרויות. המקרה הראשון מחייב פריסה של צנרת הקולחים בכל העיר ללא יוצא מן הכלל וגם באזורים בהם לא קיימת צריכה משמעותית של קולחים. כמו כן מחייב מקרה זה אמינות מחלטת של מערכת הטיפול וחלוקת הקולחים ופעילות רצופה 24 שעות ללא הפסקה, כאשר צנרת הקולחים תתוכנן להובלת ספיקה הכוללת תוספת של 50 מק"ש לכיבוי אש במספר צמתים בעיר. האפשרות השנייה קלה יותר ליישום. במקרה זה ישמשו הקולחים כעזר בלבד למערכת הכיבוי, עובדה המאפשרת יותר תופש בקריטריונים לתיכנון המתקנים הצנרת. כדוגמה ליישום ניתן לציין את העיר סט. פטרסבורג בפלורידה בה משמשים הקולחים כחלק ממע' כיבוי האש לשעת חירום (Eingold, 84).

חשוב לציין כי בארצה נצרכות כמויות מים גדולות בהרבה מאשר בארץ לכיבוי אש, בעיקר עקב שכיחות הבניה בעץ ומכאן החשיבות לשימוש זה בקולחים. בארץ - חשיבות שימוש חוזר זה, פחותה.

טבלה מס' 1.7: קריטריוני איכות קולחים למס' סוגי תעשיות

Table No. 1.7: Quality criteria for several industries

תעשית הצמנט	התעשייה הכימית	תעשית הטכסטיל	תעשית הניר	יחידות	פרמטר
600	1,000	100	—	מג"ל	מ. מומסים
500	5	5	10	מג"ל	מ. מרחפים
—	250	25	100	מג"ל	קשיות
400	125	—	—	מג"ל	אלקליניות
—	20	5	10	יחידות	צבע
6.5-8.5	6.2-8.3	—	6-10	—	P.H
2.5	0.1	0.1	0.1	מג"ל	ברזל
0.5	0.1	0.01	0.05	מג"ל	מנגן
—	70	—	20	מג"ל	קלציום
—	20	—	12	מג"ל	מגנזיום
250	500	—	200	מג"ל	כלורידים
—	130	—	—	מג"ל	HCO ₃
—	5	—	—	מג"ל	NO ₃
250	100	—	—	מג"ל	SO ₄
35	50	—	50	מג"ל	SiO ₂

1.1.4 השבה וסיחור מקומי בביניני משרדים

מערכות השבה וסיחור מקומיות, מטפלות בשפכי בניין או מוסד כלשהו לרמה מספקת למטרות של שטיפת אסלות, נקיין וגינן. השיטה מבוססת על מתקן טיפול מתקדם לשפכים המותקן באתר עצמו (מרתף או מבנה מתאים בקירבת האתר) והחזרתם לבניין באמצעות צנרת נפרדת בעלת צבע וסימונים שונים מאלה של צנרת השתיה.

מערכות מיחזור מקומי פועלות ברחבי ארה"כ ובטוקיו, יפן, שם חובה להתקנה בבנינים הגדולים מ- 10,000 מ"ר. מתברר שעלות מערכת כפולה מהוזה כ 0.23 אחוז ממחיר הבנייה ומדובר על חסכון של 70-80 אחוז במי הצריכה לבניין וחסכון של כ 95% בסילוק השפכים. בעיר פוקוקה ביפן, חובה להתקין מע' השבה מקומית בבינינים שקוטר צנרת אספקת המים שלהם עולה על 50 מ.מ. ו/או שטחם גדול מ- 5000 מ"ר (Asano, 1981). במחוז אירוזן בקליפורניה, נמצא כי עלות המים במע' הכפולה נמוכים יותר מעלות מים שפירים גם כאשר רק 50% מפותנציאל ההשבה מיושם (Lewinger, 1987).

קיימות מספר חברות בעולם המייצרות מתקני טיפול קומפקטיים מתאימים. לשיטה נצבר נסיון חיובי של יותר מעשר שנים בארה"כ וביפן.

שימוש חוזר מקומי הוא אטרקטיבי בתנאים הבאים (Asano, 1981):

1. כאשר יש בעיית אספקת מים מקומית או אזורית. יש לצפות לבעיה כזאת בעיקר במקומות בהם התפתחות התעשייה והאוכלוסייה מהירות מקצב התפתחות תשתית המים.
2. כאשר קיימת בעייה עם תשתית הביוב. מערכת הביוב אינה מסוגלת לקלוט כמויות את שפכי הביניין או שפתרון קליטת שפכים אלה - יקר.
3. כאשר יש הגבלה על איכות השפכים הזורמת לביוב ושפכי הביניין אינם עומדים בקריטריונים.
4. כאשר לטווח הארוך עלות הקמת מתקן הטיפול ומע' הסחרור המקומי, קטנה מהעלות האלטרנטיבית.

שימוש חוזר בתוך בניינים יכול להיות מיושם במספר דרכים: סחרור מים אפורים, סחרור מקומי של שפכים או שימוש במים מושבים מבחוץ, דרך מערכת הובלה כפולה. מעבר להדחת אסלות יכולים המים לשמש כמי קירור וכיבוי אש בבניין ולשטיפת רצפות וחלונות, אבל הדחת האסלות היא עדיין השימוש העיקרי.

ביישום סחרור מקומי חובה להבטיח את מניעת עירבוב הקולחים עם המים השפירים. דבר זה ניתן להבטיח בכמה דרכים, הכוללות סימון שונה לשתי המערכות או סוגים שונים של חומרי גלם לצנרת. כדוגמה לכך ניתן להביא את מחוז אירוויין בקליפורניה, בו קיים מחזור בכמה בנייני משרדים החל משנת 1989. צנרת המים השפירים בבניינים מוקפת נחושת בעוד צנרת הקולחים עשויה P.V.C וצבעה סגול. כל האבזרים יצבעו גם הם בצבע שונה. בנוסף, יש לבדוק שגרתית בכמה מקומות קריטיים מדי זמן קצר שלא יתבצע כל חיבור לא חוקי לרשת הקולחים חאת ע"י צוות עובדים מיומן.

רצוי ליצור הפרש לחצים בין מערכת הקולחים למערכת המים השפירים, כאשר הקולחים בלחץ נמוך יותר ולבסוף יש להחזיק את הבניינים בצורה טובה ולפקח כל הזמן על המערכות למניעת תקלות ויישום לא נכון (Water Reuse, W.P.C.F, 1989). איכות הקולחים הנדרשת מקבילה לאיכות להשקיה עירונית.

1.1.5 שימוש חוזר במתקנים צבאיים

מחקרים רבים התפרסמו בארה"ב בנוגע לאפשרות ולתועלת שבשימוש חוזר בשפכים במתקנים צבאיים. הגורם הממריץ לעניין הוא צבא ארה"ב, המשקיע משאבים רבים בנושא. המסקנות העיקריות הן כי השימוש החוזר בשפכים במערכת סגורה הוא ישים, הן במתקני קבע בזמן שלום והן במתקנים ארעיים בזמן מלחמה. החסכון המשמעותי ביותר של השימוש החוזר צפוי במתקני הקבע - סדנאות, מתקני ייצור, מחסני ייצור, מחסני ציוד ונשק, רחיצת טנקים, מטוסים וכו', בסיסי אספקה, מגורי יחידות ובמיוחד באזורים מרחקים עם מחסור במים. יש לזכור שמידת השימוש במים בצבא לצרכים שלא לשתיה גדולה בהרבה מאשר במתקנים אזרחיים. יתרון נוסף הוא שהצבא יכול לכפות יישום מהיר של מערכות מיחזור ללא בירוקרטיה רבה ובמשמעת מלאה של המשתמשים (Schmidt, 1982). נחקרו גם האפשרויות לשימוש חוזר במי מקלחות, מכבסות ושמושים סניטרים נוספים עבור מתקני שדה הנמצאים בתנועה כל זמן קצר. נושא זה חשוב מאד לתנועת צבא לחם באזור מדברי אך אינו משמעותי מבחינת כמויות מים (Scholze, 1987).

1.1.6 מילוי חוזר של מי תהום

החדרת קולחים למאגרי מי תהום מיועדת להגנה על איכותם כנגד חדירת מי ים, לשמירה על המפלס ולאגירתם כמי שתיה או השקיה. ההחדרה, המוגדרת כשימוש חוזר לא ישיר, נעשית ע"י הרשויות המקומיות במזרח, מרכז ומערב ארה"ב. שיטת מיחזור זו דורשת בדיכ רמת טיהור גבוהה מאד וברב המקומות כוללת אף שימוש באוסמוזה הפוכה.

היתרונות הקשורים בהחדרה למי תהום (Water Reuse, W.P.C.F, 1989)

- עלות ההחדרה עשויה להיות נמוכה מעלות מאגרים עיליים בעלי אותה תכולה.
- האקופר משרת כמעין מערכת הובלה ועשוי להקטין את הצורך בתוספת צנרת או תעלות הולכה.
- מי תהום אינם חשופים לאובדנים כגון אידי או חילחול, או לזיהומים של צבע וריח, להם חשופים מים עיליים.
- לעיתים קרובות אין בקרבת הערים מקום מספק או מתאים לאגירה עילית. מקום כזה עלול להיות יקר מאד בעיר מאוכלסת בצפיפות ועלות ההובלה למרחק עלולה להיות גבוהה.
- מיהול הקולחים במי תהום משפר את איכותם. שיקול זה חשוב כאשר מדובר על שימוש חוזר לא ישיר לשתיה.
- מעבר המים דרך שכבות הקרקע מוסיף לטיפול בדרך של סינון וספיחה על הקרקע.

החסרונות הקשורים בהחדרה למי תהום (E.P.A guidelines, 1992)

- עלות האנרגיה לשאיבת המים מהאקוויפר עלולה להיות גבוהה.
- יש צורך בשטחים נרחבים עבור אגני ההחדרה.
- במידה האקוויפר מזדהם עלולות לעבור שנים עד לשיקומו.
- לא את כל המים המוחזרים ניתן להפיק חזרה.
- תנועת המים למי התהום איטית יחסית. במקרה של עליה פתאומית בצריכה, לא יהיה ניתן לספק את הדרישה.

הטכניקות למילוי חוזר של מי תהום

קיימות שלוש טכניקות להחדרת קולחים:

1. פזור על פני השטח לחילחול (Surface spreading).
 2. החדרה ישירה (Direct injection).
 3. החדרה על גדות נהר (Stream bed infiltration).
- בטכניקה של פיזור על פני השטח, השפכים המטופלים מחלחלים דרך הקרקע למי התהום. יתרון השיטה הוא בטיפול הנוסף בקולחים דרך שכבת הקרקע ובהוצאות האנרגיה הנמוכות. חסרונה בזמן התגובה ובשטח הדרוש לאגני ההחדרה.
- בהחדרה ישירה מוחזרים הקולחים בלחץ ישירות למי התהום. בשיטה זו משתמשים בדרך כלל כאשר מי התהום עמוקים, או כאשר הטופוגרפיה או חוסר בשטח לא מאפשרים פיזור על פני השטח לחילחול. שיטה זו מקובלת בהגנה על מאגרי מי תהום בקירבת החוף מפני סכנות המלחה.
- החדרה על גדות נהר היא שיטה הנהוגה בעיקר בארופה (Water Reuse, W.P.C.F, 1989), ולא נדון בה כאן. עבור שתי הטכניקות הראשונות, יש למקם את בארות ההפקה במרחק גדול ככל האפשר מאתר ההחדרה. המרחק מגדיל את זמן שהיית הקולחים באקוויפר, דבר התורם לאיכותם ומוסיף למהילתם.
- ניתן להזכיר מקומות רבים בעולם המחדרים קולחים. כדוגמאות טיפוסיות נציין את פרוייקט ההחדרה הגדול באל-פסו, טקסס, שם מוחזרים 40,000 מק"י קולחים לעומק של כ - 120 מטר (Knorr, 1982), את פרוייקט ההחדרה הישירה באורנג' קאונטי, קליפורניה, (Rowney, 1987), (ראה פרק 4), ואת פרוייקט ההחדרה בשפדין.

קריטריוני איכות לקולחים המוחזרים למי תהום

קיים שוני בקריטריוני האיכות בין החדרה ישירה לאקוויפר לבין החדרה לא ישירה (כלומר, פיזור על פני הקרקע וחלחול). כמו כן קיים שוני בין החדרה לאקוויפר המיועד לשתיה לבין החדרה לצורכי השקיה. באופן כללי, טיפול ביולוגי שניוני וסינון בנוסף להרחקת מזהמים ספציפיים מספיק עבור החדרה לא ישירה, כיון שהקולחים עוברים סינון נוסף בשכבות הקרקע לפני הגיעם לאקוויפר. עבור החדרה ישירה, הקריטריונים חמורים הרבה יותר ומגיעים לאיכות מי שתיה מכל הבחינות.

בטבלה 1.8 מוצגות איכויות הקולחים הנדרשות להחדרה לא ישירה לאקוויפר שאינו לשתיה (Pollution tech. review 1980).

הטיפול בשפכים לפני ההחדרה

קיים שוני גדול מאד בין פרוייקט החדרה אחד למשנהו, בתלות בייעוד המים לאתר ההחדרה. עבור החדרה לאקוויפר המשמש כמקור מי שתיה נדרש טיפול שניוני בתוספת חימצון כימי, חיטוי, פלוקולציה, סינון, חילוף יונים, פחם פעיל ואוסמחה הפוכה (Knorr, 1987). כלומר, הטיפול האולטימטיבי. עבור החדרה לצרכים אחרים - לפי הצורך.

טבלה מס' 1.8: קריטריוני איכות להחדרת קולחים בפיזור על פני הקרקע לאקוויפר שאינו לשתיה

Table No. 1.8: Quality criteria for surface spreading to non-potable aquifer.

פרמטר	יחידות	ערך
צ.ח.ב.	מג"ל	15
כלל מ. מומסים	מג"ל	800
קשיות	מג"ל	400
קוליפורמים	l/100 ml	23
אמוניה	מג"ל	5
ניטרט	מג"ל	30
עכירות	N.T.U	1
פוספט	מג"ל	5
כלורידים	מג"ל	175
ארסניק	מג"ל	0.05
ברום	מג"ל	2
קדמיום	מג"ל	0.02
כרומום	מג"ל	0.05
נחושת	מג"ל	10
ציאניד	מג"ל	0.4
פלואוריד	מג"ל	1.5
עופרת	מג"ל	0.1
סלניום	מג"ל	0.05

1.1.7 שימוש בקולחים למטרות נופש

במקומות רבים בעולם משמשים הקולחים ליצירת אתרי תיירות ונופש. יישום זה קיים בדיכ באזורים הסובלים מחסור טיבעי במים או נתקלים בקושי לסלק את קולחיהם בנידרש. בדיכ משמשים המים הן כמשאב ליצירת אתר הנופש (אגם, נחל וכו') והן כמקור למי השקיה לחקלאות. רמת הטיפול הדרושה לפרוייקט נופש תלויה במידת המגע הישיר של המים עם בני אדם.

היישומים המקובלים (Water Reuse, W.P.C.F. 1989)

- אגמי נופש לשחיה (מגע ישיר).
- אגמי נופש לדייג ושייט (מגע מיקרי).
- תוספות לזרימה בנחלים.
- הצלת אתרי טבע כגון ביצות החיים בהם בעיתות בצורת.
- אתרי מים אסטתיים כגון יצירת אגמים לנף בלבד (ללא מגע אדם).

היתרונות הנובעים משמוש בקולחים למטרות נופש

- אנשים שהיו נוסעים למרחקים גדולים למקורות מים יכולים להנות מהם באזור מגוריהם.
- ערך הקרקע באזור יעלה במידה הפרוייקט יצלח.
- רוח כלכלי לאזור כתוצאה מתיירות ופיתוח אתרי תיירות נלווים.

קריטריונים לאיכות הקולחים למטרות נופש

כאמור איכות המים הנדרשת תלויה בסוג השימוש ובעיקר בשאלה האם יש או אין מגע ישיר עם בני האדם. כאשר השימוש הוא למטרות נף בלבד, ניתן להסתפק בטיפול שניוני ללא חיטוי.

במידה וההרחקה היא למקור מים בו חיים דגים, יש להרחיק נוטריאנטים על מנת לא לגרום לאוטרופיקציה ומות הדגים מחוסר חמצן או מהרעלת אמוניה. עבור מגע לא ישיר, כלומר יצירת אגמים לדיג ושיט נדרשת דרגת טיפול גבוהה יותר הכוללת חיטוי. עבור מגע ישיר, כלומר מים למטרות שחיה, יש להגיע לרמה גבוהה מאד של הרחקת פתוגנים (רמת מי שתיה), על המים להיות נעימים ואסתטיים, חסרי ריח ועליהם להיות נקיים ממרכיבים טוקסיים או כאלה הצורבים עור או עיני אדם.

ניתן לחלק באופן כללי את השימוש החוזר למטרות נופש לשלש קבוצות:

1. קולחים המשמשים למטרות נוף ללא מגע אדם.
 2. קולחים המיועדים למטרות נופש המשלבות מגע מיקרי עם בני אדם (אתרי דיג ושיט).
 3. קולחים המיועדים למטרות נופש הכוללות מגע גופני מלא עם בני אדם (שחיה).
- בטבלה מס' 1.9 מובאים קריטריוני האיכות מהספרות (Teweek, 1982, Ohgaki, 1991), לשימושי הנופש השונים.
- יש לציין כי לשימוש זה לא נמצאו קריטריונים מוגדרים ואלה המובאים פה, נגזרו ממקומות בהם השימושים מיושמים.
- מעניין להשוות בין קריטריונים מחמירים אלה לבין הקריטריונים התברואיים הנהוגים בחופי רחצה בארץ - 1000 חיידקי קולי ל - 100 מ"ל מים.

טבלה מס' 1.9: קריטריוני איכות קולחים לשימושי נופש

Table No. 1.9: Summary of water quality criteria for ornamental and recreational reuse

שימושים היוצרים מגע ישיר	שימושים היוצרים מגע מיקרי	שימוש חוזר למטרות נוף	יחידות	פרמטר
3		10	מג"ל	צ.ח.ב
	30		מג"ל	צ.ח.ב
	5		מג"ל	מ. מרחפים
10		10	יח' ג'קסון	עכירות
	10		מג"ל	חנקן כללי
	0.2		מג"ל	פוספט
חסר צבע	חסר צבע		יחידות	צבע
ללא ריח	ללא ריח	ללא ריח	יחידות	ריח
50	200	1,000	1/100 ml	קוליפורמים

1.2 המלצה לקריטריוני איכות קולחים לשימוש חוזר עירוני

בארץ לא קיימות תקנות מסודרות המגדירות קריטריוני איכות לשימוש חוזר עירוני. כן קיימות המלצות ועדת משרד הבריאות מהשנים 78 - 91 בנוגע לאיכות קולחים לשימוש חוזר לחקלאות (ראה סעיף 1.1). בארה"ב, בדומה לארץ, לא קיים תקן פדרלי מחייב אלא המלצות המשרד לאיכות הסביבה האמריקאי ותקנות שפותחו במס' מדינות בהן מיושם שימוש חוזר כגון פלורידה, קליפורניה ואריזונה. תמצית תקנות אלה מופיע בסעיף 1.1 בעבודה.

במסגרת עבודה זו, אנדיר קריטריוני איכות המבוססים על הניסיון האמריקאי הישראלי. יוגדרו איכויות נדרשות עבור השימושים הבאים:

1. השקיה עירונית בלתי מוגבלת.
2. שימוש כללי בתעשייה.
3. נופש וקייט (מגע ישיר).

בנוסף, יוגדר קריטריון איכות כללי לשימוש חוזר עירוני. בקריטריון זה ישתמש המהנדס לתיכנון מתקן הטיפול לשימוש חוזר עירוני, ההנחה היא, כי קריטריון האיכות הכללי יהווה איכות מתאימה ל 90% יותר מהשימושים העירוניים הסטנדרטים. עבור השימושים הלא סטנדרטים, הצורכים בדיכ כמות מים מועטה יחסית - יעברו הקולחים טיפול נוסף, כימי, ביולוגי או ממברני, שלא במסגרת מתקן הטיפול, שיביא אותם לאיכות הנדרשת לאותו שימוש.

קריטריון האיכות הכללי יתאים למערכות השבה הכוללות אספקת קולחים לשימושים ביתיים כגון הדחת אסלות ונקיונות ביתיים, לשימושים תעשייתיים שונים ולמטרות נופש, כולל מגע אדם ישיר.

1.2.1 קריטריוני איכות קולחים - המלצת המחקר

בטבלה 1.10 מובאים קריטריוני האיכות המומלצים בעבודה זו. קיימים פרמטרים נוספים לקביעת איכות, בעיקר עבור קולחים המיועדים לשימושים ספציפים לתעשייה. קריטריונים אלה לא יטופלו בעבודה, אך עקרונית, לא יהיה שוני גדול בין טיפול במים שפירים המיועדים לתהליך תעשייתי, לטיפול בקולחים באיכות גבוהה לאותו תהליך.

טבלה מס' 1.10: המלצת המחקר לקריטריוני איכות קולחים לשימוש חוזר עירוני (ערך מקסימלי מומלץ)

Table No.1.10: Quality criteria for urban reuse - the research proposal (maximum values)

קריטריון איכות כללי	שימושי קיט ונופש	שימוש כללי בתעשייה	השקיה בלתי מוגבלת	יחידות	פרמטר
2	3	1-5	5	מג"ל	איכות כללית
2		1-5	5	מג"ל	צ.ח.ב כללי
15	30	30-60	60	מג"ל	צ.ח.ב נמס
1	2	1-5	5	מג"ל	צ.ח.ב כללי
1,100	—	בתלות בתהליך	700	מג"ל	כלל מ. מרחפים
					כלל מ. מומסים
					נוטריאנטים
לא מוגבל	5	10	לא מוגבל	מג"ל	חנקן קלדל
2	0.5	—	2	מג"ל	NH3-N
לא מוגבל		—	לא מוגבל	מג"ל	NO3-N
לא מוגבל	0.5	0.5	לא מוגבל	מג"ל	זרחן כללי
					פרמטרים פיזיקלים
6.5-8.5	6-8.5	בתלות בתהליך	6.5-8.5	—	P.H
לא מוגבל	0	10	לא מוגבל	יחידות	צבע
2	5	בתלות בתהליך	2	N.T.U	עבירות
לא מוגבל	לא מוגבל	בתלות בתהליך	לא מוגבל	מג"ל	קשיות
500	לא מוגבל	75-500	200-400	מג"ל	כלורידים
					איכות מיקרוביאלית
איכות מי שתיה	2	2	12 - (80%)		קולי כללי
	1	1	2.2 - (50%)	1/100 ml	קולי צואתי
			ממוצע > 2	1/100 ml	וירוסים
	0.5	0.5	1	PFU/40 L	כלור נותר
			0.5	מג"ל	

פרק 2. שימוש חוזר עירוני והגנה על בריאות הציבור

החשש לפגיעה בבריאות הציבור כתוצאה משימוש חוזר עירוני, הוא אחד המיכשולים הגדולים ליישום הפרוייקטים. הטכנות הבריאותיות לאדם קשורות לחשיפה למרכיבים מיקרוביולוגיים וכימיים הקיימים בשפכים. תוצאות חשיפה זו אינן ברורות לחלוטין משתי סיבות: האחת, ההרכב הכימי והמיקרוביאלי של השפכים אינו ידוע לחלוטין והשנייה היא, שגם אם ההרכב ידוע הרי שהשפעתו בדיכ לא נחקרה עדיין במלואה.

שימוש חוזר עירוני, גם כאשר אינו לשתייה, יכול להוביל לחשיפה מסוימת לקולחים ע"י עיכול, נשימת הקולחים כתרכיס, או מגע עם העור.

הימצאות גורם המחלה בקולחים אינה גורמת בהכרח למחלה. הידבקות האדם תלויה בגורמים רבים כגון מידת החשיפה, מינון גורם המחלה במים, פתוגניות גורם המחלה ועמידות האדם הנחשף. גורמים אלו שונים ממקום למקום והם הקובעים את הקריטריונים המקומיים לטיפול, המבטיחים שימוש בטוח.

2.1 הערכת הסיכון הבריאותי

מחקרים רבים נערכים בעולם, במטרה לקבוע את הסיכון הבריאותי לציבור, הנובע מהאפליקציות השונות של השימוש החוזר בשפכים. Asano (1992), בדק בקליפורניה את הסיכוי לחלות כתוצאה מחשיפה לארבעה יישומים של שימוש חוזר. כאינדיקטור לבדיקה נלקח וירוס המעיים, העמיד יותר מחיידקים לתהליך הטיפול בשפכים. ארבעת סוגי השימוש שנבדקו: השקיית ירקות, השקיית נוף במגרשי גולף, מתקני נופש המשתמשים בקולחים והחדרה למי תהום. ניתוח התוצאות הראה שהסיכוי להדבקות בוירוס אחרי טיפול שלישתי המוריד את ריכוז הווירוסים הממוצע לוירוס אחד למאה מ"ל, הוא 10^{-7} - 10^{-2} , עבור שחייה במי קולחים והשקיית נוף ומגרשי גולף, וסיכוי של 10^{-11} - 10^{-5} , עבור שימושים להחדרה ואכילת ירקות מושקים בקולחים (Asano, 1992).

ניתוח נתוני בריאות מהשנים 1980-1985 מאזור סט. פטרסבורג בפלורידה, שם מיושמת מע' הולכה כפולה, הראה שלא היתה כל עליה בתחלואת האוכלוסיה כתוצאה מהפרוייקט. בכ - 200 בדיקות שנערכו להמצאות וירוסים, נמצא כי במקרים בודדים נמצאו ריכוזים מעל המותר, אבל במקרים אלה היה קשר ישיר עם פעילות לא תקינה של מתקן הטיפול ופרמטרי איכות אחרים המים הורחקו להחדרה ולא נשלחו למע' הכפולה (Crook, 1991).

מחקר ממצה ביותר בנוגע להשפעות על בריאות הציבור, נערך בלוס-אנג'לס, בין השנים 1978-1985, הוא התייחס לפרוייקטי החדרת הקולחים לאקוויפר בלוס אנג'לס ובאורנג' קאונטי (Health Effects Study, 1985). המחקר התמקד בעיקר בפרוייקט Whittier Narrows, בו מחזרים קולחים שניתנים שנמחלו במי שטפונות ומי נהר סמוך ועברו סינון גרנדלרי, מאז שנת 1962.

מטרת המחקר הבסיסית הייתה לקבוע אם ניתן להרחיב את פרוייקט ההשבה, להשאירו כפי שהוא כעת או לבטלו כליל. ע"מ להגיע למטרה היה צריך להשיג שני יעדים. הראשון, לקבוע אם מידת ההחדרה עד תחילת המחקר פגעה באיכות האקוויפר או בבריאות הציבור, והשנייה, להעריך את ההשפעה ארוכת הטווח של מיהול הקולחים במי התהום.

לצורך השגת היעדים התפרס המחקר לכמה כיוונים: 1. איפיון איכויות כימיות, טוקסיות ומיקרוביולוגיות של מי התהום והקולחים. 2. מחקר על יעילות הסינון והספיחה של הקרקע בתהליך ההחדרה. 3. מחקר הידרולוגי למעקב אחר תנועת הקולחים בתוך האקוויפר ומיהולם בתוך מי האספקה העירונית. 4. מחקר אפידמיולוגי סטטיסטי לקביעה אם חל שינוי בבריאות הציבור כתוצאה מצריכת מים מושבים.

להלן ממצאי ומסקנות המחקר:

1. הן מי התהום והן מי ההחדרה עמדו בכל התקנות הפדרליות למי שתיה בארה"ב, בנוגע למיקרואורגניזמים וכימיקלים אורגניים ואנאורגניים.
2. לא נמצאו כל וירוסים באקוויפר או בקולחים לאחר החיטה בכלור.
3. ריכוז התרכובות האורגניות הקרצינוגניות, לא עלה על תקנות המקסימום המומלצות של ה - E.P.A. לשתייה לטווח הארוך.

4. מחקר הנוגע לבריאות האוכלוסייה שנערך ב - 1981 באזור, לא הצביע על כל עליה בתחלואה ספציפית או כללית כתוצאה משתיית המים המושבים.
5. מחקר סטטיסטי מקיף שנערך בין השנים 1969 ל - 1980, הראה כי תושבי האזור שנחשפו למים מושבים, לא פיתחו עליה בתחלואה של - מחלות מדבקות, מצב בריאות כללי, תמותת ילדים, מקרים של סרטן הבטן, סרטן הדם וסרטן רקטאלי, מיקרים של התקפות לב או מיקרי שבץ, בהשוואה לתושבים משני אזורים בקרה אחרים שלא היו חשופים למים המושבים.
6. נמצאו עיקבות של שני סוגי כימיקלים הידועים ככימיקלים מוטנטים במי התהום. הכימיקלים שנמצאו שייכים לקבוצת ההלידים (Halides), ולקבוצת האפוקסידים (Epoxides). לכימיקלים אלה אין הגדרה בתקנים האמריקאים לאיכות מים אך הם ידועים כמסרטנים לחיות מסוימות.
- היות ולא נמצאו כל סימנים לעליה בתחלואת האדם באזור היות ולא ידוע אם חומרים אלה אחראים גם לסרטן אצל בני אדם, הונח כי רמת הסיכון מהם בריכחם הנוכחי נמוכה מאד. בנוסף, לא ידוע אם קיים קשר בין חומרים אלה לקולחים שהחדרו או שמקורם אחר, מכיון שהם דווחו בספרות כקיימים גם באקוויפרים בהם לא החדרו קולחים.
- במחקר נוסף, להערכת ההשלכות הבריאותיות על האוכלוסייה כתוצאה מהזרמה ישירה של קולחים לאוכלוסייה עם מי השתיה, בווינדהוק, דראיפ, נמצא כי (Isaacson, 1987): מתוך 15,000 מקרים של מחלות מעיים שנבדקו בין השנים 1976-1983, שכחות המחלה באזורים בהם לא סופקו קולחים, הייתה גדולה יותר ובאופן כללי הוסק במחקר כי: "צריכת הקולחים בווינדהוק, אינה גורמת למחלות הקשורות למוזמים שמקורם במים".
- בארץ נחקרו ההשלכות של ההשקיה החקלאית בקיבוצים על מידת התחלואה. קצנלסון (1976) מצא שבקיבוצים המשקים כהתזה בקולחים לא מחוטאים, עלתה תפוצת המחלות הנגרמת ע"י חיידקי הטיפוס, הסלמנלה והשיגלה פי 2 עד 4 מהממצע. למרות זאת, עקב בעיות מחקריות שונות, אין המחקר מצביע חד משמעית על מגמה. שובל ושות' (1984), לא מצאו קשר חד משמעי בין השקיה בקולחים למידת התחלואה. לא נמצאו שינויים בתחלואה בין חודשי ההשקיה לבין שאר חודשי השנה בקיבוצים בהם משקים ולא תחלואה גבוהה יותר בקיבוצים אלה יחסית לקיבוצים אחרים שאינם משקים בקולחים.
- לפני ההתייחסות לתוצאות, יש לזכור כי במחקרים אלה מדובר על קולחים אחרי טיפול מינימלי (בריכות ייצוב), שלא עברו כלל חיטוי ושחלק גבוה יחסית מאוכלוסית הקיבוץ היה חשוף להם.
- לסיכום, רובם המוחלט של המחקרים המתפרסמים בעולם בשנים האחרונות, מצביעים על אי עליה במידת התחלואה כתוצאה מיישום השבת קולחים מתקדמת. בהקשר זה יש להדגיש, כי חלק מהמחקרים מתייחסים לשימושים המיועדים לשתיה (עקיפה או ישירה). כאשר דנים בשימושים חחרים שאינם לשתיה והסכנות הנובעות מהם מקורם רק בשתיה מיקרית, ניתן להניח כי ההשלכות על בריאות הציבור - קטנות עוד יותר.

2.2 גורמי סיכון בקולחים לבריאות האדם

נוכחות חומרים כימיים טוקסיים ומיקרואורגניזמים פאתוגנים בקולחים, מהווה פוטנציאל סיכון לבריאות האדם, במידה ותוצר מגע בין הקולחים לאדם. צורות המגע האפשריות הן מגע עור ישיר, נשימת הקולחים בתרסיס ובליעה ישירה של הקולחים.

הטיפולים בשפכים מסוגלים להפחית את הסיכון הבריאותי עד למינימום בתלות בייעוד הקולחים ובסוג הטיפול.

2.2.1 גורמי סיכון מיקרוביאליים

גורמי הסיכון המיקרוביאליים מתחלקים לארבע קבוצות עיקריות (Shertzer, 1986): חיידקים, חד תאיים, תולעים וזירוסים.

קבוצות החיידקים הפאתוגנים העיקריות הן: שיגלה (*Shigella*), (4 מינים), סלמונלה (*Salmonella*), (סלמונלה טיפוי ועוד כ - 1700 מינים), ויבריו כולרה (*Vibrio cholerae*), אשריכיה קולי (*Escherichia coli*), ליגיונלה (*Legionella*) ועוד.
 קבוצת החד תאיים כוללת בעיקר את האנטאמואבה היסטולטיקה (*Entamoeba histolytica*), הגיארידיה למביה (*Giardia lamblia*) והקריסטופורידיום (*Cryptosporidium*).
 קבוצת התולעים כוללת בעיקר את תולעת האסקריס (*Ascaris lumbricoides*), הטאניה (*Taenia*) והאנסילוסטומה (*Ancylostoma duodenale*) ועוד.
 קבוצת הוירוסים כוללת 72 סוגים של וירוס המעיים (*Enteroviruses*) ווירוסים נוספים.

2.2.2 גורמי סיכון כימיים

גורמי הסיכון הכימיים מתחלקים לאורגנים ואנאורגנים.
 ריכח הגורמים האנאורגנים בקולחים תלוי במקור הקולחים ובסוג הטיפול שעברו. גורמי הזיהום האנאורגנים נמדדים בעיקר כ - T.D.S, ריכח נוטריאנטים (חנקן חרחן), וכריכח מתכות כבדות. ב - 1976 פרסם ה - E.P.A האמריקני רשימת ריכחי מקסימום (M.C.L's) במי שתיה, למאות תרכובות אנאורגניות החשודות כמזיקות לבריאות האדם.
 המרכיבים האורגנים בשפכים כוללים: חומרים הומיים, חומר פקאלי, שאריות מזון, שמנים וגריח חומרים סינטטיים ממקור תעשייתי. כ - 90% מהתרכובות האורגניות בשפכים עדיין לא זוהו. בעייתיות החומרים האורגנים לבריאות האדם מעבר לרעילות ישירה של חלק מהם, נעוצה בתהליך החיטוי. הבעייתיות בתהליך החיטוי נובעת משלושה גורמים: 1. נוכחות ח. אורגני בקולחים צורכת חלק מהמחטא. 2. ח. אורגני מרחף מהווה מסתור למיקרואורגניזמים בפני החומר המחטא. 3. חומרים אורגנים מגיבים עם המחטא העיקרי, הכלור, ליצירת תרכובות אורגניות מוכלרות, המוכרות בשם טריהלומתאנים (T.H.M's), החשודות כמסרטנות. כדוגמא ניתן להביא את הכלורופורם, שהוא ה - T.H.M הנפוץ ביותר, הידוע כגורם לסרטן הכבד והכליות.

2.3 הערכת הטיפוליים בשפכים להקטנת הסיכון הבריאותי

גורמי המחלה המיקרוביאליים מתחלקים כאמור, לארבע קבוצות עיקריות: וירוסים, חיידקים, חד תאיים ותולעים (בסדר כמותי יורד). ניתן להרחיק כ - 90% מהאוכלוסיה המיקרוביאלית ע"י טיפול קונבנציונלי. חיידקים מורחקים בשיעור של 90-98% במתקן בוצה משופעלת ובשיעור של 90-95% במרבגים ביולוגים (Metcalf & Eddy, 1991). מידת הרחקת פרויטים (חד תאיים ווירוסים), משתנה בהתאם לסוג הטיפול השניוני בו משתמשים, כאשר תהליך בוצה משופעלת מרחיק בצורה מוגבלת בלבד ומרבגים ביולוגים מרחיקים 99-10% (Water Reuse, W.P.C.F, 1989). וירוסים חד תאיים מורחקים פחות בטיפול הקונבנציונלי. חיטוי אחרי טיפול שניוני יקטין מאד את אוכלוסית המיקרואורגניזמים. רוט וקוט (1992), מצאו כי ריכח של 2 מג"ל כלור נותר יביא לירידה של שני סדרי גודל במספר החיידקים ואילו ריכח של 4 מג"ל יביא לירידה של ארבעה סדרי גודל. במקורב, נמצא במחקר כי כל 1 מג"ל כלור נותר גורם לירידה של סדר גודל אחד במספר החיידקים עבור זמן מגע של 20 דקות.
 הוירוסים לעומת זאת, עמידים הרבה יותר לחיטוי בכלור. רק בזמן מגע של מעל 6 שעות וריכח כלור נותר של 4 מג"ל הושגה ירידה משמעותית במספרם (רוט וקוט, 1992). עם זאת, נמצא כי (Dryden, 1979), קיימת הרחקה של כ - 5 סדרי גודל באוכלוסיית הוירוסים בטיפול הכולל סינן +חיטוי עם 5 מג"ל כלור נותר או יותר, או פחם פעיל בשילוב עם כלור (5 מג"ל כלור נותר).
 ביצי תולעים וציסטות של פרוטחואה עמידות לחיטוי בכלור, אך הם מורחקות באחחים גבוהים בתהליך הסינן.

קיים קשר הדוק בין סוג הטיפול בשפכים לבין מידת הרחקת המיקרואורגניזמים המתקבלת, בעיקר לכל הקשור להרחקת וירוסים, תולעים חד תאיים. וירוסים לדוגמא, מורחקים טוב יותר בתהליך טיפול הכולל

טיפול ראשוני ובריכות חימצון מאשר בתהליך מתקדם של ברצה משופעלת הכולל סינון גרנדלרי וחיטוי בכלור (Gerba, De-Leon, 1987).

לפיכך, רצוי לקבוע את סוג הטיפול גם תוך התחשבות בגורמי הזיהום הבקטריאליים הנוספים, מעבר לחיידקים ולוירוסים. גישה כזאת מיושמת במדינת קליפורניה, המחייבת תהליכי טיפול דרושים ולא מסתפקת בהגדרת קריטריוני איכות בלבד. הטיפול הנדרש בקליפורניה כולל חימצון, סינון וחיטוי לשפכים המיועדים להשקיה בלתי מוגבלת.

תהליכי הטיפול בשפכים הם בעלי פוטנציאל להרחקה יעילה של מרבית המזהמים הכימיים בשפכים עד לאיכות המתאימה לתקני מי שתיה, אך על מנת להשיג הרחקה כזאת, יש צורך בטיפול המשלב מספר מכאנזמים של הרחקה. טיפול ביולוגי לבד לדוגמא, אינו יעיל להרחקת מזהמים לרמות נמוכות מאד ויש צורך בטיפולים פיזיקו כימיים אחריו (Engelhardt, 1982). דרגת ההרחקה אם כך, תלויה בשיקולים של ייעוד הקולחים, סכנת הזיהום הסביבתי והשיקול הכלכלי. ברמה של טיפול המיועד לשימוש חוזר עירוני שאינו מיועד לצריכת אדם, לא ישולבו בדיכ טיפולים להרחקת מתכות כבדות, חנקות חומרים אנאורגנים אחרים, אך רמת הסיכון הנובעת משתיה מיקרית של קולחים כאלה היא נמוכה בכל קנה מידה.

2.4 אמצעים לשמירה על בריאות הציבור בפרוייקטים של שימוש חוזר עירוני

השמירה על בריאות הציבור מפני שתיית קולחים מיקרית או עירבוב של קולחים עם מים שפירים, היא נושא דאגה עיקרי בפרוייקטים של שימוש חוזר ומשפיעה על התיכנון, ההתקנה ואחזקת המתקנים. המאמץ העיקרי מושקע במניעת "חיבורים צולבים". חיבורים צולבים הם נקודות קשר פיזיות העלולות להיווצר בין מע' המים השפירים לבין מע' הולכת הקולחים, דבר העלול לגרום לזיהומים ומגיפות. נושא נוסף להתייחסות בהקשר זה הוא האפשרות לשימוש לא רצוי בקולחים, אם במקרה ואם בזדון, כתוצאה מהתחברות פיראטית לרשת או כתוצאה מטעות אקראית.

ע"מ להמנע משתי בעיות אלה, יש לתכנן מראש תקנות לחיבור וניתוק קוים, תקנות הנוגעות לפיקוח על המערכת ותקנות לאחזקה שוטפת. כחלק מהתיכנון, רצוי לפתח שיטה מסודרת לסימון רכיבי מע' הולכת הקולחים, להכין תכנית שיגרה לבדיקת תקינות המע' ולפתח צוות מיומן האחראי על הפעלה, אחזקה, פיקוח ושיפור המתקנים.

בשל חשיבות הנרש יובאו להלן כמה דוגמאות לאמצעי ביטוח המיושמים בפרוייקטים בארה"ב.

אמצעי זיהוי לצנרת ואבחרים:

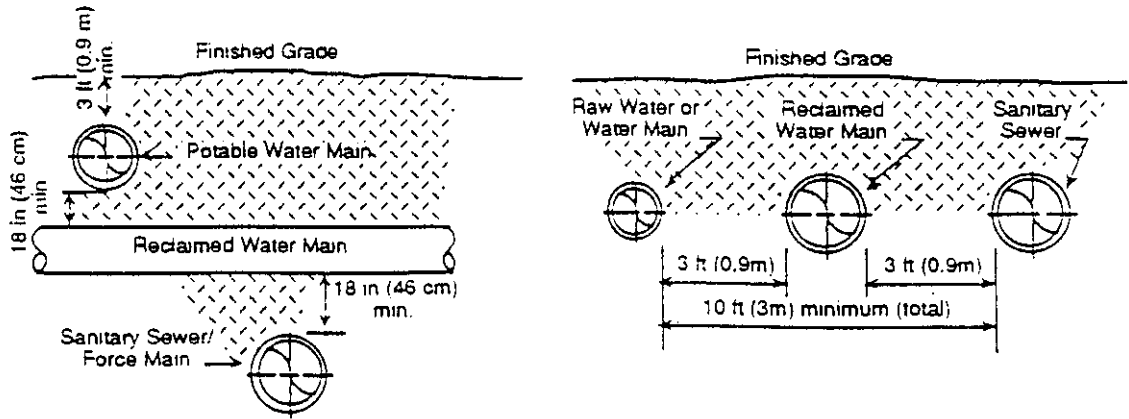
במחוז אירוויין בקליפורניה (E.P.A guidelines, 1992), נצבעת צנרת הקולחים בסגול בולט או מסומנת ע"י כתובת בולטת - "Caution, non-potable water - do not drink". חלק מהצנרת עטוף גם בפוליאיתילן בצבע סגול.

בעיר סנט. פטרסבורג נצבעים צנרת ואבחרים הקולחים בחום. קיימות כתובות אזהרה על שלטים במירווחים קצרים זה מזה ועל הצנרת באותיות גדולות מספיק יחסית לגודל הצינור (לפי תקן), ומשני צדדיו. בנוסף, כל אבחרים מע' ההולכה כגון מגופים ואבחרים הידראולים אחרים כולל הידרנטים, נעולים ע"י מנעול בתוספת לאזהרה בכתב ("Treated wastewater") לציבור לא להתעסק איתם (AWWA, D.D.S, 1976).

הפרדה אופקית ואנכית של צנרת הקולחים המים במע' חלוקה כפולה:

הכלל המחמיר (E.P.A guidelines, 1992), הוא מרווח אופקי מינימלי של 3 מ' ומרווח אנכי מינימלי של 0.3 מ' בין קו קולחים לקו מים שפירים מקבילים, כאשר קו הקולחים מולבשים על מערכת הולכת מים קיימת (AWWA, D.D.S, 1976). תקנות מדינת פלורידה מ - 1990 מגדירות מרווח אופקי מינימלי של 0.9 מ' בין צנרת הקולחים לצנרת המים ומרווח אנכי של 46 ס"מ (18"), כאשר צנרת המים השפירים למעלה. בסנט. פטרסבורג לעומת זאת, מוגדר מרווח אופקי של 1.2 מ'. באיור 2.1 מוצגות תקנות מדינת פלורידה בנוגע למירווחים הדרושים (E.P.A guidelines, 1992).

ציור מס' 2.1 תקנות הפרדת צנרת קולחים ומים שפירים במדינת פלורידה. מקור: E.P.A guidelines, 1992
 Figure No. 2.1: Florida separation requirements for reclaimed water reuse. source: E.P.A guidelines, 1992

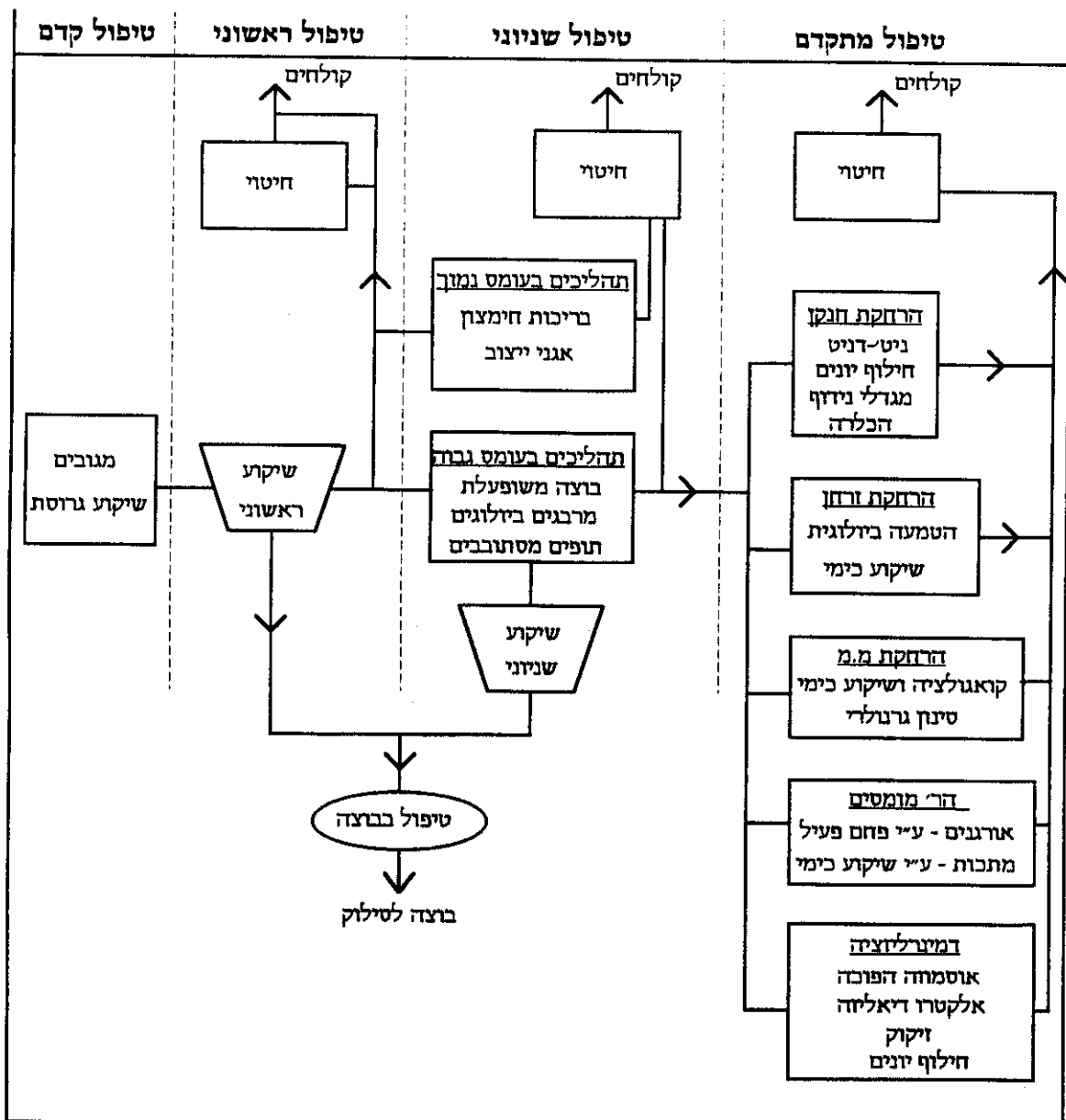


פרק 3. תהליכי הטיפול בשפכים להגעה לאיכות הנדרשת לש.ח עירוני

איכות הקולחים הדרושה למטרת ש.ח עירוני, משתנה כאמור לפי סוג השימוש. עקרונית, מתבסס הטיפול למטרות ש.ח על הטיפולים הקונבנציונליים המוכרים, בתוספת יחידות לטיפול במזהמים כימיים או ביולוגיים ספציפיים, המוגדרים כבעייתיים לאותו השימוש. לטובת הסדר הכרונולוגי של הדברים וכהקדמה לפרק התיכנון, נסקור כאן בקצרה את המתקנים השיטות הקיימים לטיפול מתקדם בשפכים, את מידת הרחיקת המזהמים השונים בכל תהליך ואת הקומבינציות המקובלות במתקני טיפול המיועדים לשימוש חוזר מתקדם. נהוג לחלק את הטיפולים בשפכים לטיפול קדם, טיפול ראשוני, שניוני שליוני וכד'. בציור מס' 3.1 נתון תרשים השיטות השונות ע"פ חלוקה זו.

ציור מס' 3.1: ריכח תהליכים לטיפול בשפכים

Figure No. 3.1: Generalized flowsheet for wastewater treatment



3.1 סקירה כללית של תהליכי הטיפול

טיפול קדם - מטרת הטיפול הקדם היא להרחיק גופים גדולים המוסעים בשפכים ועלולים לפגוע מכאנית בהמשך הטיפול. טיפול הקדם כולל את ההרחקה הפיזיקלית של הגופים הגדולים ע"י המגנבים ושל החול והגרוסת באגן שיקוע הגרוסת. באגן הגרוסת מורחקים חלקיקים כבדים כגון: חול, חצץ, קליפות ביצים, עצמות, זרעים, גרעיני קפה ושאריות מזון אחרות. שאר החומרים האורגניים המרחפים לא יורחקו כתוצאה ממהירות זרימה גבוהה המקובלת באגן.

טיפול ראשוני - הטיפול הראשוני הוא תהליך פיזיקלי להרחקת חומר מרחף, אורגני ואנאורגני ע"י שיקוע ו/או פלוטציה. התהליך יעיל גם להרחקת חלק מהחנקן האורגני, הזרחן האורגני ומתכות כבדות מסוימות. חומר קולואידי ומומס אינו מורחק בתהליך. לעיתים מוסיפים פלוקולנטים (מלחים או פולימרים), המסייעים להרחקת מ.מ, זרחן ומתכות כבדות מסוימות. הטיפול הראשוני מרחיק חלק קטן בלבד (כ - 30%) מהחומר האורגני בשפכים וכ - 60% מהחומר המרחף. בנוסף, מורחקים בטיפול חד-תאי, ציסטות של פרויטים ומיקרואורגניזמים נוספים המורחקים עם החומר השוקע. מידת ההרחקה הממוצעת של המזהמים השונים, כימיים ומיקרוביאליים נתנה בטבלאות 3.1 ו - 3.2.

טיפול שניוני - טיפול המיועד בעיקר להרחקת חומר אורגני מהשפכים ולעיתים גם חנקן זרחן בתהליך ביולוגי אירובי. בתהליך, מחמצנים חיידקים אירוביים, בנוכחות חמצן, את החומר האורגני הופכים אותו לאנרגיה המושקעת במטאבוליזם ובגידול אוכלוסיתם.

קיימים מספר תהליכים שניתיים. המקובלים שבהם הם תהליך הברצה המשופעלת, על נגזרותיה השונות, תהליך המירבגים הביולוגים, תהליך תופים מסתובבים (R.B.C) ובריכות הייצוב.

ברצה משופעלת, מירבגים ותופים מסתובבים הם תהליכים בעומס גבה המשתמשים בריכח חיידקים גבה (קבוע או מרחף) לעיכול החומר האורגני בתהליכים אלה, החימצון הביולוגי נעשה באגני איזור קטנים יחסית, משם עוברים הקולחים לאגן שיקוע שניוני בו מורחקת הביומסה המרחפת.

בריכות הייצוב הוא תהליך בעומס נמוך וכשל כך דורש זמן שהיית שפכים ארוך ובהתאמה - שטח גדול. נהוג להשתמש בתהליך בארצות מתפתחות בעלות אקלים חם. איכות הקולחים בתהליך - נמוכה למדי, אם כי דוחו בספרות איכויות צ.ח.ב של 15-30 מג"ל ומ.מ 40-15 מג"ל, בתיכנן ותיפעול נכונים.

מידת ההרחקה הממוצעת של גורמים פאתוגנים ושל מזהמים שונים בתהליך הברצה המשופעלת המירבגים הביולוגים, מובא בטבלאות 3.1 ו - 3.2.

טבלה מס' 3.1: יעילות הרחקה של מיקרואורגניזמים בטיפול ראשוני ושניוני (%), (לא כולל חיטוי)

Table No. 3.1: Typical removal of microorganisms by primary & secondary treatment (%)

סוג המזהם	טיפול ראשוני	ברצה משופעלת	מירבגים ביולוגים
קוליפורם פקאלי	<10	90-98	85-99
סלמנלה	0-15	70-99	85-99
שיגלה	15	5-90	85-99
אנטמואבה היסטוליטיקה	0-50	מוגבל	מוגבל
ביצי תולעים	50-98	מוגבל	60-75
וידוס	מוגבל	75-99	10-20

טבלה מס' 3.2: יעילות טיפוסית ממוצעת (%) להרחקת מזהמים כימיים בטיפול ראשוני ושניוני

Table No. 3.2: Typical mean constituent removal efficiencies for primary & secondary treatment (%)

המזהם	טיפול ראשוני	בוצה משופעלת	מירבנים ביולוגים
צ.ח.ב	42	89	69
צ.ח.כ	38	72	58
כלל מוצקים מרחפים	53	81	63
אמוניה כחנקן	18	בהתאם לנתוני התפעול	—
צבע	15	55	56
חומרים יוצרי קצף	27	—	—
עכירות	31	—	—
T.O.C	34	—	—
זרחן	27	45	—
שמן וגריז	65	86	—
ארסניק	34	83	—
קדמיום	38	28	—
כרום	44	55	5
נחושת	49	70	19
ברזל	43	65	56
עופרת	52	60	46
מנגן	20	58	40
כספית	11	30	16
סלניום	0	13	0
כסף	55	7	—
זינק	36	75	55

מקור: Water Reuse, W.P.C.F, 1989

טיפול מתקדם - תחת כותרת זו מרוכזים טיפולים המוגדרים כטיפול שלישי ורבעוני כגון: סינון גרנולרי, ניטריפיקציה-דניטריפיקציה, הרחקת זרחן, שיקוע כימי, ספיחה על פחם פעיל, חילוף יתים ואוסמחה הפוכה.

סינון: תהליך להרחקת חומר מרחף ע"י לכידתו על מצע גרנולרי. מצע טיפוסית מורכב מחול, אנטרציט ומצע תמיכה המורכב ממינרל סיליקטי (גרניט בדיכ). יעילות ההרחקה בסינון ניתנת לשיפור ע"י הוספת פלוקולנטים. בטבלה 3.3, נתונה יעילות ההרחקה של מזהמים שונים בתהליך הסינון לאחר טיפול פחיוק-כימי ולאחר טיפול שניוני.

ניטריפיקציה-דניטריפיקציה: תהליך להרחקת חנקן משפכים המבוסס על המרת אמוניה לניטריט וניטרט בנוכחות חמצן וחידקים ניטריפיקנטים הפיכתם שלך אלה בתנאים אנוקסים ובנוכחות חידקים דניטריפיקנטים לחנקן גזי, הנפלט לאטמוספירה. תהליך ניטריפיקציה יעיל, ירחיק אמוניה לרמה של עד 12 מג"ל כחנקן (NH₄-N) ופחות. תהליך דניטריפיקציה יעיל ירחיק ניטרט לרמה של 2-12 מג"ל כחנקן.

הרחקת זרחן: חנקן ניתן להרחקה משפכים בשיטה ביולוגית, כימית או בקומבינציה של שניהם. בחירת השיטה היא בהתאם לריכוז הזרחן הדרוש בקולחים. שיקוע כימי של זרחן נעשה ע"י הוספת מלחי ברזל, אלומיניום או קלציום. הרחקה ביולוגית נעשית ע"י חיידק הסופח זרחן בתנאים אנאירוביים ואירוביים

לסירוגין. יעילות הרחקת הזרחן ע"י התהליך הכימי היא עד 0.1 מג"ל בקולחים ואילו התהליך הביולוגי מרחיק עד ריבחים של 1-2 מג"ל. קואגולציה ושיקוע כימי: תהליך יעיל להרחקת מ.מ, מתכות כבדות, זרחן ועכירות. חסרונו העיקרי ביצירת נפח ברצה גדול ובעייתי לטיפול. ספיחה על פחם פעיל: תהליך יעיל להרחקת חומרים אורגנים מומסים וכמה חומרים מינרלים ע"י ספיחה על עמודות פחם פעיל גרנולרי. מסוגל להרחיק 75-85 אחוז מהחומר האורגני בקולחי הטיפול השניוני. בין המינרלים המורחקים בספיחה נכללים: קדמיום, כרום, כסף, סלניום סולפידים ועוד. מחליף יונים: תהליך בו יונים מסוימים בתמיסה מחלפים ביונים אחרים. השימוש המקובל ביותר בתהליך זה הוא לריכוך מים שם מחלפים יוני הקלציום והמגנזיום ביוני נתרן. במידה ומעונינים בהקטנת ה - T.D.S צריך להעביר את הקולחים דרך מחליף אניוני וקטיוני. הקולחים עוברים קודם דרך מחליף קטיוני שם היונים החיוביים מחלפים ביוני מימן ואח"כ הם מועברים למחליף אניוני שם מחלפים האניונים ביוני ההידרוקסיל. יוני המימן וההידרוקסיל מגיבים לבסוף ליצירת מולקולות מים. אוסמחה הפוכה: אוסמחה הפוכה היא תהליך להפרדת מים ממלחים. המים מסוננים דרך ממברנה חדירה למחצה בלחץ גבוה מהלחץ האוסמוטי (הנובע מריכוז המלחים במים). יתרון האוסמחה ההפוכה בהרחקת מינרלים שאינם מורחקים בכל דרך אחרת. חסרונותיו - עלות ציוד והפעלה גבוהים וחוסר נסיון בעבודה עם קולחים.

טבלה מס' 3.3: יעילות סילוק מזהמים ממוצעת (ב%) ע"י סינון גרנולרי

Table No. 3.3: Typical filtration process removal, average performance (%)

סינון קולחי טיפול פיזיקו-כימי	סינון קולחי טיפול שניוני	המזהם
36	39	צ.ח.ב
22	34	צ.ח.ב
42	73	כלל מוצקים מרחפים
—	33	אמוניה כחנקן
—	56	ניטרט כחנקן
—	57	זרחן
—	83	אלקליניות
0	67	ארסניק*
38	32	קדמיום*
9	53	כרום*
—	56	ברזל*
26	16	עופרת*
—	80	מנגן
0	33	כספית*
0	90	סלניום*
—	31	צבע*
31	71	עכירות
26	33	T.O.C

* אחרי הפתחה

חיטוי

חיטוי שפכים להשמדת מיקרואורגניזמים מתבצע בעיקר ע"י הכלור ונגזרותיו, אך גם ע"י אחון וקרינה אולטרא סגולית.

יתרון הכלור הוא ביעילותו הגבוהה לקטילת חיידקים, בעלותו הנמוכה, ביציבותו (בעל שארית יציבה) ובכך שהתהליך מוכר וידוע. חסרונותיו הם יצירת T.H.M's, יעילות נמוכה לקטילת וירוסים בזמני מגע קצרים ורעילותו לאדם במקרה של תקלה (Wastewater Disinfection, WPCF, 1986).

האחון משמיד חיידקים ווירוסים במהירות רבה (מס' דקות), אינו בעל שארית רעילה ומעלה את ריכוז החמצן במים. כמו כן יעילותו אינה מושפעת מ - PH המים והוא אינו יוצר THM's בעצמו אם כי נבדקת מידת השפעתו על חימצון יון הברומיד, דבר העלול לסייע ביצירת תרכובות ברומואורגניות קרצינוגניות במים. חסרונו בעלות גבוהה, חוסר שארית יציבה ותהליך מסובך למדי. בתהליך הקרינה אולטרא סגולית, חודרת לתוך התא קרינה באורך גל של 254 מ"מ, נספגת בתוכו וגורמת להשמדתו. הקרינה האולטרא סגולית זוכה לתשומת לב בשנים האחרונות למרות עלותה הגבוהה, היות והיא בטוחה יותר לשימוש מאשר כלור גזי, קורחיבית פחות ובעיקר אינה יוצרת T.H.M's. חסרון השיטה בשארית לא מדידה ובבקרה לא מפותחת עדיין על התהליך. כיום, נמצא השימוש בקרינה אולטרא סגולית למתקני טיפול בשפכים עדיין בשלבי התפתחות ראשוניים (Wastewater Disinfection, WPCF, 1986).

השפעת איכות הקולחים על יעילות החיטוי:

יעילות הקטילה של המיקרואורגניזמים כתוצאה ממינון מסוים של חומר מחטא מושפעת משני גורמים עיקריים:

1. גורמים המשפיעים על הכלור הנותר ועל התפרוסת של נגזרות החומר המחטא - כלור נותר חופשי, כלור נותר קשור וכד'.

2. גורמים המשפיעים על יעילות הקטילה הישירה של החומר הפעיל.

סוגי המזהמים העיקריים המשפיעים על יעילות החיטוי הם ריכוז המ.מ. ריכוז הצ.ח.ב. וריכוז האמוניה. המ.מ. המצויים בקולחים פוגעים ישירות ביעילות הקטילה חאת ע"י יצירת מיסתור פזי למיקרואורגניזמים מפעולת המחטא. נמצא כי באופן מקורב, כל עליה של 10 מג"ל בריכוז המ.מ. בקולחים, מגדילה בסדר גודל אחד את מספר המיקרואורגניזמים השורד (רום וקוט, 1992).

ריכוז הצ.ח.ב. והאמוניה המצויים בקולחים משפיע בעיקר על שיעור צריכת הכלור ולא ישירות על יעילות החיטוי. למרות כי צריכת הכלור מושפעת מגורמים נוספים חוץ מאשר הצ.ח.ב., כמו ריכוז האמוניה, P.H, סולפידים ועוד, נמצאה קורלציה מקורבת ע"י רום וקוט, 1992, בין ריכוז הצ.ח.ב. לצריכת הכלור, הנכונה לריכוזי כלור נותר של עד 2.5 מג"ל. הקורלציה שנמצאה: $cl_{\text{con}} = 1.5 + 0.1 \cdot B.O.D$.

3.2 שילוב יחידות הטיפול להשגת האיכות הרצויה

בסעיף 3.1 סקרנו את התהליכים הבדידים לטיפול בשפכים. על מנת להגיע לאיכויות הגבוהות הנדרשות לשימוש החוזר העירוני, יש צורך בשילוב של מספר תהליכים בטור. מתקני הטיפול המטפלים בקולחים לאיכות המיועדת להחזרה או לצריכה ישירה, משלבים מס' רב של תהליכים להבטחת איכות הקולחים. תרשימים של תהליכי הטיפול בדנבר, קולורדו ובאורנג' קאונטי, קליפורניה, מובאים בפרק 4. בסעיף זה נטפל בשילובי תהליכים פשוטים יותר, המתאימים למערכות השבה שאינן מיועדות לשתיה. בהנחה שהטיפול השניוני מתבצע ע"י תהליך בוצה משופעלת, ניתן להגדיר שש קומבינציות טיפול להשגת איכות קולחים שלישונית. בטבלה מס' 3.4 נתונות איכויות הקולחים כפונקציה של שילוב תהליכי הטיפול הנ"ל.

טבלה מס' 3.4: איכויות קולחים כפונקציה של שילוב תהליכי טיפול בסיסיים

Table No. 3.4: Effluent quality with various combinations of unit processes

צבע	עבירות	PO ₄ -P	חנקן כללי	צ.ח.ב.	צ.ח.ב.	מ.מ.	התהליך
יחידות	N.T.U	מג"ל	מג"ל	מג"ל	מג"ל	מג"ל	יחידות
15-80	5-15	6-15	20-60	40-80	15-25	20-30	בוצה משופעלת בלבד
15-60	0.3-5	4-12	15-35	30-70	5-10	5-10	ב.מ. + סינון גרנולרי
5	0.3-3	4-12	15-30	5-15	1	3	ב.מ. + סינון + ספיחה על פחם פעיל
10-30	10	1-2	15-30	40-70	5-10	5	ב.מ. + שיקוע כימי
10-30	0.1-1	0.1-1	15-30	30-60	5	1	ב.מ. + שיקוע כימי + סינון גרנולרי
10-30	0.1-1	0.1-1	2-10	30-60	5	1	ב.מ. + שיקוע כימי + סינון גרנולרי + נידוף אמוניה או הרחקת חנקן ביולוגית
5	0.1-1	0.1-1	2-10	1-15	1	1	ב.מ. + שיקוע כימי + סינון גרנולרי + נידוף אמוניה או הרחקת חנקן ביולוגית + ספיחה על פחם פעיל

מקור: Water Reuse, W.P.C.F, 1989

המקורות העיקריים לפרק:

1. Wastewater Engineering, Metcalf & Eddy, 1991

2. E.P.A guidelines for water reuse, 1992

3. Water Reuse, W.P.C.F, 1989

פרק 4. סקירה של חלק מפרוייקטי השימוש חוזר המתקדמים בעולם (Case Studies)

רב הפרוייקטים המתקדמים בעולם בנושא שימוש חוזר עירוני, מיושמים בארה"ב, אם כי קיימים פרוייקטים דומים במקומות שונים בעולם, כאשר הבולטים שבהם בדרום אפריקה, יפן, גמביה וארצות המפרץ הפרסי. בסעיף זה יובאו חמש דוגמאות בולטות מארה"ב דוגמא מדרא"פ לשישה שימושים שונים: הזרמת קולחים לשימוש ביתי וציבורי רחב היקף בטט. פטרסבורג, פלורידה, שימוש להשקיה ולאגמי נופש באתר Las Colinas בטקסט, אספקת קולחים לקירור תחנת כח ב - Palo Verde אריזונה, החדרת קולחים לאקוויפר ב - Orange County קליפורניה, מחקר ליישום השבת קולחים ישירה בעיר דנבר בקולורדו ושימוש חוזר ישיר לשתייה בעיר Windhoek בדרא"פ.

4.1 חלוצת השימוש החוזר העירוני: העיר טט. פטרסבורג בפלורידה

העיר טט. פטרסבורג הייתה הראשונה ליישם שימוש חוזר עירוני בארה"ב כבר בשנת 1978. ההחלטה על הקמת הפרוייקט התקבלה כתוצאה מפרסום תקנות פדרליות שחייבו את העיריה להרוזק את שפכיה עד למפרץ טמפה המרוחק או לחילופין, לטפל בשפכיה לרמה גבוהה המאפשרת סילוק מקומי. כתוצאה מכך החליטה העיריה על מדיניות של "אפס סילוק" (Zero Discharge), כלומר השארת השפכים לאחר טיפול במסגרת העיר, וניצולם לצרכים פנים עירוניים שונים.

היום מספקת טט. פטרסבורג קולחים מושבים ליותר מ 7,000 צרכנים ביתיים ועסקיים. ב 1991 סיפקה העיר כ - 3,300 מ"ק/שעה בממוצע להשקיה ביתית, השקיית פארקים ציבוריים, מדשאות בתי ספר, ומגרשי גולף, למגדלי קירור בתעשייה ולתמיכה בכיבוי אש.

מע' הטיפול בעיר מורכבת מ - 4 מתקני טיפול בעלי ספיקה כוללת של כ - 260,000 מק"י. התהליך כולל טיפול ביולוגי (בוצה משופעלת) ואחריזו סינון מגע (עם אלום כפלוקולנט) חיטוי. מע' החלוקה הכפולה מורכבת מ - 420 ק"מ של צנרת להולכת קולחים בקטרים של 2" - 48", 9 תחנות שאיבה (5 ציבוריות ו - 4 פרטיות) ובריכות ויסות מקומיות.

אין במע' אגירה עילית עונתית. עודף קולחים וקולחים שאינם עומדים בקריטריוני האיכות החמורים, מחוזרים לאקוויפר מליח, דרך 10 בארות החדרה לעומק 300 מ'. בסביבות 60% מהקולחים מחוזרים לבארות אלה.

קריטריוני האיכות על פיהם מחלט אם הקולחים יחזרו למע' העירונית או יחזרו לאקוויפר המליח כוללים ריכח כלור נותר, עבירות, ריכח מ.מ וריכח כלורידים. הקולחים נידחים לשימוש עירוני אם ריכח הכלור הנותר הוא פחות מ - 4 מג"ל, העבירות עולה על 2.5 N.T.U, ריכח המ.מ עולה על 5 מג"ל, או שריכח הכלורידים גבה מ - 600 מג"ל.

לסיכום, למרות כי המניע העיקרי לפרוייקט היה במקור מניעת זיהום סביבתי, הרי שיתרונו הגדול לעיר הוא בחיסכון במים. כתוצאה מהפרוייקט ממשיכה טט. פטרסבורג להסתמך על אותם מקורות מים כמו בשנות השבעים למרות שאוכלוסיתה גדלה ביותר מ - 10% ובכך נידחו לעתיד השקעות כבדות לפיתוח מקורות מים חדשים.

מקורות: Crook, 1991, Johnson, 1991, Eingold, 1984.

4.2 שימוש בקולחים להשקיה ולאגמי נופש באתר Las Colinas בטקסט

לאס קולינס הוא פרוייקט בשטח של כ - 50,000 דונם הכולל שטחי נופש, בינייני משרדים, מלונות פאר ו - 4 מגרשי גולף גדולים. מע' אספקת הקולחים המשולבת עם מי נהר הטריניטי הסמוך, מספקת מי השקיה לכ - 900 דונם שטחים פתוחים ול - 19 אגמי נופש הפזורים באזור.

תחילת הפרוייקט ב - 1987. הקולחים מופקים במתקן טיפול מרכזי בספיקה של 430,000 מק"י זהם זמינים כל ימות השנה. הטיפול במתקן כולל שיקוע ראשוני, תהליך בוצה משופעלת, שיקוע שניוני, סינון, ספיחה על פחם פעיל חיטוי בכלור. הקולחים עומדים בקריטריונים של לפחות 10 מג"ל צ.ח.ב ו - 15 מג"ל מ.מ.

קריטריוני הבדיקה כוללים בנוסף בדיקת קולי צואתי, ריכח חמצן מומס, SAR, PH, רמת מליחות, ריכח זרחן בקולחים וריכחי אצות.

עירבוב הקולחים עם מי הנהר לפני אספקתם מקטין את ערך ה SAR שלהם מ - 3.85 ל - בערך 2.0 (כאשר ערך SAR = 3 מקובל כמספק להשקייה), ומשפר פרמטרי איכות נוספים כגון מליחות וריכח זרחן (המשמש כאינדיקטור מפני סכנת אאוטרופיקציה באגמים אליהם מחרמים הקולחים). עד כה בשבע שנות קיום הפרוייקט, לא דווחו בעיות אאוטרופיקציה.

הקולחים המסופקים למע' האגמים עוברים סירקולציה פנימית בין האגמים. בנוסף ועל מנת להבטיח אי הוצרות תנאים ספטיים, הוספו באגמים מאוורים מכאניים.

הצלחת הפרוייקט נזקפת לזכות 3 גורמים עיקריים: איכותם הגבוהה של הקולחים המיוצרים; הדילול המתבצע בעזרת מי הנהר; הסירקולציה המתבצעת כתוצאה ממעבר הקולחים בין האגמים.

מקורות: Smith, 1991, Water Reuse, W.P.C.F, 1989

4.3 אספקת קולחים לקירור בתחנת הכח הגרעינית ב - Palo Verde אריזונה

תחנת הכח הגרעינית ב - Palo Verde היא הגדולה בארה"ב. התחנה ממוקמת באיזור מדברי כ - 90 ק"מ ממערב לעיר פניקס באריזונה, ומשתמשת בקולחים לקירור התהליך. מקור הקולחים הם מתקני הטיפול הסמוכים בערים פניקס וטולסון, המטפלים לרמה שניונית בלבד ולפני ההזרמה לתחנת הכח יש להעלות את איכותם בכמה אספקטים.

ההחלטה על שימוש בקולחים למטרות קירור התחנה, התקבלה לאחר שהתברר כי זו האלטרנטיבה הזולה והאמינה ביותר מכל מקורות המים באיזור.

הספיקה המשולבת של שני מתקני הטיפול המיועדת לתחנת הכח היא כ - 500,000 מק"י. הקולחים מובלים ממתקני הטיפול בגרויטציה לאורך 45 ק"מ בקוים בקוטר 96" - 114" ואח"כ נסנקים 13 ק"מ נוספים בקו סניקה בקוטר 66".

הטיפול המשלים בקולחים לפני אספקתם למפעל, כולל מירבגים ביולוגים להרחקת אמוניה, ריכוך ע"י סיד להרחקת קלציום, מגנזיום, סיליקה ופוספטים וסינון גרנולרי גרויטציוני להורדת ריכח מ.מ מתחת ל - 10 מג"ל.

מקורות: Blackson, 1988, E.P.A guidelines, 1992.

4.4 החדרה ישירה של קולחים לאקוויפר שפיר ב - Orange County, קליפורניה

פרוייקט שהחל בשנת 1965 כמחקר ראשוני להערכת הכדאיות של החדרת קולחים לאחר טיפול מתקדם לאקוויפר, ע"מ לעזור במניעת המלחת האקוויפרים באיזור ממי ים. ב - 1972 הוחל בבניית מתקן הטיפול הידוע בשם "Water Factory 21". בשנת 1976 החלו להחדיר קולחים לאקוויפר (Rowney, 1987).

כמות השפכים המטופלת ב - Water Factory 21 הינה כ - 57,000 מק"י בממוצע. המתקן קולט קולחים מתהליך בוצה משופעלת ממתקן סמוך ומוסיף את יחידות הטיפול הבאות: הצללת סיד להרחקת מ.מ ומתכות כבדות, מגדלי נידוף להרחקת אמוניה, רקרבותיציה לשליטה על ה - PH, סינון גרנולרי להרחקת מ.מ, ספיחה על פחם פעיל להרחקת מוצקים אורגניים מומסים, אוסמוזה הפוכה לדמינרליזציה וכלורניציה לחיטוי.

קולחי מתקן הטיפול מחודרים דרך 23 בארות החדרה ל - 4 אקוויפרים במטרה ליצור מחסום הידרולוגי לחדירת מי ים לאקוויפר המלחתי. בארות החדרה ממוקמות במרחק של 5.5 ק"מ מהחוף הפסיפי.

לפני החדרת הקולחים לאקוויפר, הם עוברים מיהול עם מי תהום נקיים, המופקים מבאר עמוקה שאינה חשופה לזיהום. אחרי החדרתם, נרדדים הקולחים המהולים ומתערבבים בגוף המים התת קרקעי ושואבים כחלק ממנו לאוכלוסיה כמים שפירים.

Water Factory 21 מייצר קולחים באיכות גבוהה מאד. מבחינה תברואית למשל, לא נתגלה כל קוליפורם באף אחת מ 179 בדיקות שנערכו בשנת 1988. תבנית למעקב אחרי וירוסים שנערכה בשנים 1975 - 1982,

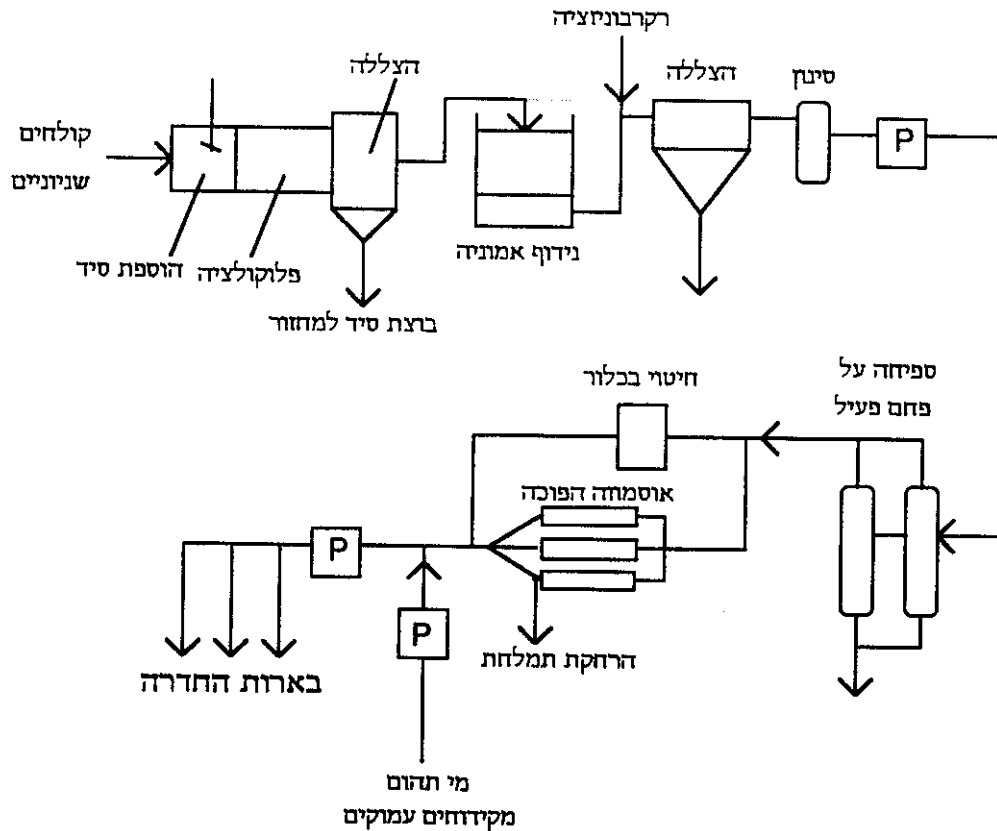
הובילה למסקנה כי המפעל מייצר מים נקיים לחלוטין מוירוסים, לפחות ע"פ אמצעי התצפית והמדידה המוכרים בזמן עריכת המחקר.

מדדים נוספים לאיכות הקולחים במפעל: הצ.ח.כ הממוצע בשנת 1988 היה 8 מג"ל, ריכוז ה- TOC היה 2.6 מג"ל בלבד.

בציור מס' 4.1 מוצג תרשים הטיפול המתקדם בשפכים במתקן הטיפול Water Factory 21.

ציור מס' 4.1: תרשים זרימה של שלבי הטיפול בשפכים במתקן הטיפול Water Factory 21 בקליפורניה

Figure No. 4.1: Flow diagram of treatment processes used at Water Factory 21, Orange County, California



מקורות: Barlleta, 1986, E.P.A guidelines, 1992, Metcaif & Eddy, 1991.

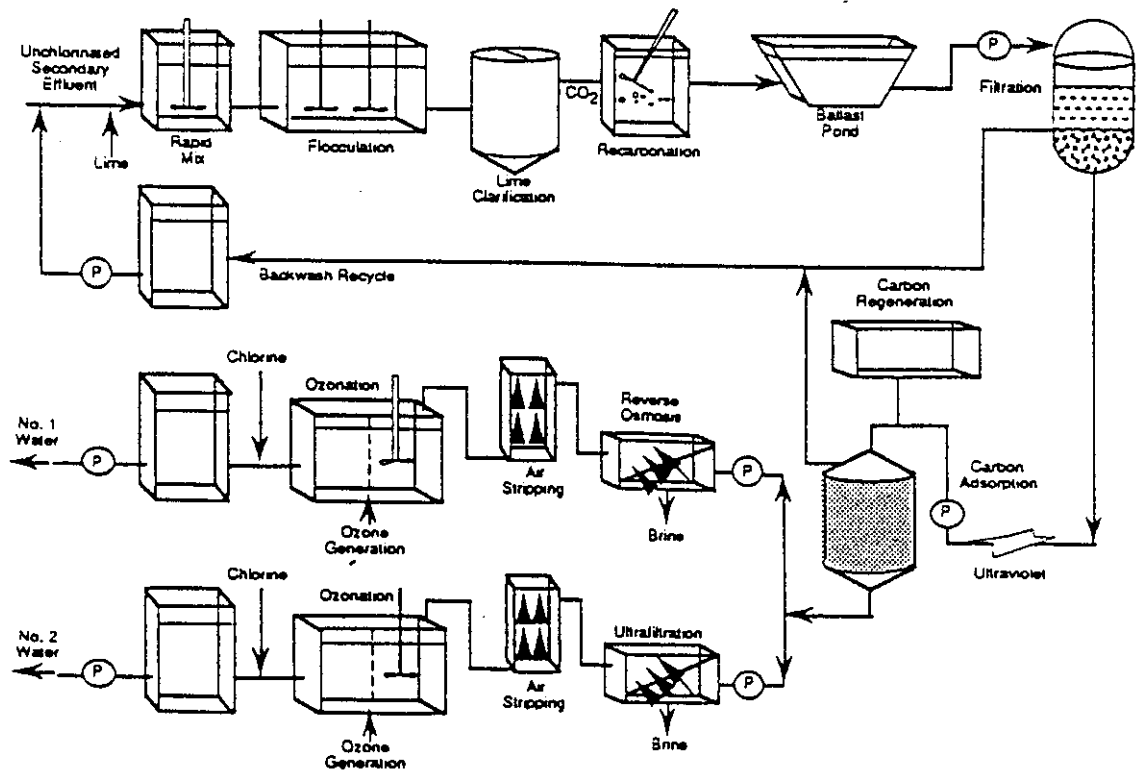
4.5 שימוש ישיר בקולחים כחלק ממע' האספקה העירונית - מתקן ההדגמה בדנבר קולורדו

העברה ישירה של קולחים ממתקן הטיפול לצנרת האספקה העירונית מיושמת בקני"מ הנדסי רק במקום אחד בעולם - העיר ווינהוק בדראי"פ וגם שם רק לסירוגין. בארה"ב מבוצעים מחקרים בכיוון זה בערים דנבר קולורדו, טמפה פלורידה, וסאן דייגו קליפורניה. המחקר המתקדם ביותר מתבצע בדנבר שם הוא נערך כבר יותר מ- 20 שנה. בעיר הוקם מתקן לספיקה של 3,800 מק"י המשלב תהליכים רבים ומגוונים לטיפול בשפכים. איכות הקולחים המופקת במתקן גבוהה מאד ולעיתים אף גבוהה משל מקורות המים השפירים באזור. המתקן כולל מעבר לטיפול שניוני רגיל גם: הצללה בסיד, רקרבוניזציה, סינון על מצע גרנולרי, חיטוי ע"י אולטרא סגול, ספיחה על פחם פעיל, אוסמחה הפוכה, הרחקת אמוניה ע"י מגדלי נידוף, אחונציה וכלורינציה.

למרות תוצאות המחקר המצויינות, לא מיושם שימוש חוזר ישיר בדנבר או בכל מקום אחר בארה"ב. לכך יש שתי סיבות עיקריות: האחת, סקרי דעת קהל הוכיחו כי בעוד שהאולוסיה תתמוך בשימוש חוזר למטרות השקיה, שטיפה, תעשייה וכד', היא תתנגד במובהק לאספקת קולחים ישירה, והשניה, שימוש ישיר בקולחים ידרש רק לעיתים רחוקות מאד כפתרון הכרחי היות וכמויות המים לצרכים לא ישירים בעיר גדולות בהרבה ולכן חבל להשקיע באיכות קולחים לשתיה, אלא כדאי לנצל את הקולחים למטרות עירוניות אחרות ובכך לחסוך מים שפירים שיתפנו לשימושים הישירים. בציור מס' 4.2 מובא תרשים תהליך הטיפול במתקן ההדגמה בדנבר. מקורות: Linstedt, 1982. Lauer 1991, Rodgers, 1992.

ציור מס' 4.2: תרשים הטיפול במתקן ההדגמה בדנבר.

Figure No. 4.2: Denver potable reuse demonstration treatment process.



4.6 שימוש ישיר בקולחים כחלק ממע' האספקה העירונית בעיר Windhoek בדרא"פ

העיר וינדהוק ממוקמת באזור ארידי בחלקה הדרום מערבי של דרא"פ. בעיקבות קצב גידול אוכלוסייה מהיר וחשש שעתודות המים בעיר לא יענו על דרישות המים השפירים בעתיד הקרוב, הוחלט באמצע שנות השישים להקים מתקן טיפול לשפכים, שקולחיו יופנו לאחר מיהול, חזרה למע' האספקה העירונית. בשנת 1968 הוקם מתקן טיפול לספיקה של 4,500 מ"ק, בו נכללים רכיבי שלבי הטיפול הבאים: כיו-פילטר, אגן שיקוע שניוני, בריכות השהייה ל-14 יום, אגן קרבונציה, אגן פלוטציה להרחקת אצות, אגן להרחקת קצף, מצלל סיד, מסנן חול מהיר, מסנני פחם פעיל ומתקן לחיטוי בכלור. קולחי המתקן נמהלים עם מים עיליים שעוברים טיפול הכולל פלוקולציה, כלורינציה, שיקוע, סינון חול וסינון על פחם פעיל.

בשנתיים הראשונות לפעולתו, סיפק המתקן 13.5% מסך צריכת העיר והאיכות התברואית של קולחיו עתה על דרישות ה- World Health Organization. מעקב אחרי רשומות בתי החולים והמעבדות בעיר, העלה כי לא נגרם כל שינוי משמעותי בבריאות הציבור במשך 2 שנות ההפעלה הראשונות. יתר על כן, דעת הקהל בעיר בנוגע לפרוייקט היתה בד"כ חיובית.

בהמשך, כתוצאה מכמה שנים מרובות משקעים וכתוצאה מכמה ליקויים בתיכנון שעלו, ירד השימוש במתקן בהדרגה ובשנת 1973, הוא פעל רק 70 ימים בהשוואה ל-8 חודשי פעולה בשנה, בשנתיים הראשונות. לפיכך, הוחלט על שיפור המתקן והוספו לו הרכיבים הבאים: משקעי סיד נוספים, מגדל לנידוף אמתיה, שיפור מתקן הפלוטציה להרחקת אצות, שיפור המתקן להרחקת קצף, שיפור מסנני הפחם הפעיל והוספת מערכת לרגרציה מקומית של הפחם הפעיל. כתוצאה מהשינויים חזר המתקן לספק כ-50% מתצרוכת העיר בשנים 1977-1978. בשנים האחרונות, פועל המתקן לעיתים בהתאם לצרכי העיר, אך פעילותו יורדת בהדרגה עקב פיתוח מקורות מים שפירים חדשים לעיר.

איכות קולחי המתקן לפני המיהול במים העיליים: $P.H=7-8$, $T.D.S=780$ מג"ל, $0-2=PO_4$ מג"ל, $0.1 < NH_3-N < 22$ מג"ל, $NO_3-N < 20$ מג"ל, $COD > 20$ מג"ל, $E.coli=0$.
איכות קולחי המתקן לאחר מיהול במים עיליים: $P.H=6-7$, $T.D.S=510$ מג"ל, $0-2=PO_4$ מג"ל, $NH_3-N < 0.1$ מג"ל, $NO_3-N < 11$ מג"ל, $COD > 20$ מג"ל, $E.coli=0$.

מקורות: Odendaal, 1987, Linstedt, 1982.

פרק 5. גישה לתיכנון פרויקטים לשימוש חוזר בישראל

5.1 שימוש חוזר בארץ - מצב קיים

ישראל היא המדינה המובילה בעולם מבחינת אחוז המים המושבים מתוך כלל הצריכה. לעובדה זו כמה סיבות: 1. מחסור גדול במים 2. חקלאות אינטנסיבית ומושקה 3. בעיית זיהום קשה המאיימת על מקורות המים הקיימים 4. ריכוז עירוני גדול וצפוף באזורים קטנים יחסית 5. מודעות גבוהה יחסית של הציבור הרשויות לשימוש חוזר למטרות חקלאיות (Shelef, 1991). בטבלה 5.1 מוצג מאזן השימוש החוזר בישראל ביחס לצריכה הכללית ולצריכה החקלאית בשנה ממוצעת ובשנת בצורת (shelef, 1991).

טבלה מס' 5.1: שימוש חוזר בישראל כחלק מכלל הצריכה.

Table No. 5.1: Wastewater reuse as a part of Israel's water resources

שנת בצורת	שנה ממוצעת	יחידות	
1250	2050	מלמ"ק	סה"כ אספקת מים
600	640	מלמ"ק	אספקת מים עירונית
740	1280	מלמ"ק	אספקת מים כללית לחקלאות
120	130	מלמ"ק	אספקת מים לתעשייה
210	190	מלמ"ק	מים מושבים (קולחים) לחקלאות
16.8	9.2	%	אחוז מים ממחוזים מסה"כ צריכה
28.4	14.8	%	אחוז מים ממחוזים בצריכה חקלאית

בהתאם לתכנית האב למים לישראל (שוורץ 88, ת.ה.ל), יגדל חלקם של המים הממוחזרים עד שנת 2010 ויגיע לכ- 19% מכלל הצריכה וכ- 1/3 מהצריכה החקלאית. בטבלה 5.2 מובאת תחזית השימוש החוזר בעתיד הקרוב, ע"פ תוכנית האב למים.

טבלה מס' 5.2: תחזית לשימוש חוזר בארץ בעתיד הקרוב ע"פ תוכנית האב

Table No. 5.2: Evaluation of water reuse in the near future

מי קולחים מושבים					
אחוז מאספקת לחקלאות	% מסה"כ הצריכה	כמות	אספקת מים לחקלאות	סה"כ אספקת מים שנתית	שנה
%	%	מלמ"ק	מלמ"ק	מלמ"ק	יחידות
14.8	9.3	190	1,280	2,050	1989
21.8	13.2	275	1,260	2,090	2000
33.6	18.8	420	1,250	2,240	2010

כפי שניתן לראות בטבלה 5.2, הרב המוחלט של הקולחים המתוכננים להשבה בארץ בעתיד הנראה לעין, מיועד לחקלאות. בשנת 1991, שנת הבצורת הגדולה, החלו לעלות רעיונות לניצול קולחים גם למטרות עירוניות ואף דרך מערכות כפולות. הועלו רעיונות לטיפול שלישני ורבעוני להפקת מים באיכות גבוהה עבור הערים ירושלים ואילת. במישור המקומי, פועלים מספר פרויקטי השבה, כגון השקייט נוי באזור המלונות בנאות הכיכר, השקייט גן החיות התניכי החדש בירושלים או השקייט נוי באתר תחנת הכח רוטנברג באשקלון, אולם אפליקציות אלה מוגבלות במספרם ובכמות הקולחים המושבת בהם. בנוסף,

עולים מדי פעם בפעם רעיונות הקשורים לטיפול וניצול שפכים אפורים בבתי פרטיים לצורך השקייית גינות, שאינם מיושמים באופן מסחרי, בעיקר עקב בעיות כלכליות.

5.2 גישה להיבנות פרויקטים לשימוש חוזר עירוני

שימוש חוזר מתבצע בדיכ משתי סיבות עיקריות: האחת, דרישות איכות הקולחים החמרו וכתוצאה מכך לא ניתן או לא כלכלי לסלק קולחים כבעבר השנייה, מקורות המים במקום אינם מספיקים לדרישה הגוברת (Asano, 1990). בישראל, באיזורים רבים, מתקיימים שני התנאים גם יחד בתוספת סיבה חשובה: עלויות מים ריאליות גבוהות הנובעות מהצורך בהובלת מים שפירים למרחק מאות ק"מ מהכינרת דרומה במערכות הקיימות, ועלויות גבוהות עוד יותר להרחבת מערכות אלה בעתיד. אם מוסיפים על שיקולים אלה את העובדה כי הרווח מחקלאות, המושקית בקולחים מאיכות נמוכה עד בינונית - נמוך, את היתרון שבשימוש בקולחים במקום היוצרותם ללא צורך בהשקעת אנרגיה רבה להובלתם לצרכנים ואת הרווח הסביבתי הנובע מטיפול ברמה גבוהה בשפכים, נגיע למסקנה ששימוש חוזר עירוני יכול להיות פתרון או לכל הפחות, שהוא ראוי לבדיקה.

תיכנון פרויקט לשימוש חוזר, אף יותר מפרויקטים רחבי היקף אחרים, חייב להיות מבוסס על סקר שוק יסודי ובדיקת היתכנות מפורטת ומקצועית. בפרויקט כזה יכולים להיווצר קשיים שאינם קשורים כלל להנדסה או למים ועלולים לגרים לביטולו בכל שלב משלבי התיכנון.

תיכנון כולל של מערכות שימוש חוזר כולל שלושה שלבים עיקריים (Asano, 1991, Okun, 1991):

1. בדיקות מקדימות לבדיקת היתכנות הנדסית וכלכלית ואתור בעיות צפויות.
2. קביעת מדיניות לפרויקט, תיכנון עקרוני קונספטואלי הערכת עלויות מקורבת.
3. תיכנון מפורט של המתקנים לטיפול, אגירה וחלוקת הקולחים.

בפרק זה נטפל בשלב הבדיקות המקדימות וקביעת המדיניות. שלב התיכנון העקרוני הערכת העלויות יטופל בפרקים 8-9.

1. שלב הבדיקות המקדימות הוא שלב קריטי בתיכנון פרויקט השבה. מטרת שלב זה היא להעריך הערכה ראשונית את פוטנציאל השימוש החוזר במקום מבחינת הביקוש לקולחים, מקורות השפכים, מגבלות סביבתיות, מגבלות חוקתיות, מגבלות מבחינת בריאות הציבור ובעיות הנובעות מדעת קהל וקבוצות לחץ בשלטון המוניציפלי/מרכזי. איתור נקודות המכשול בשלב ראשוני חיונית, ראשית, להחלטה אם יש טעם להתקדם בתיכנון ושנית, ע"מ לאפשר תיכנון פרקטי יותר של הפרויקט.

על הבדיקות המקדימות להתמקד בחמישה נושאים:

- צרכנים פוטנציאליים בעיר ובאיזור הקרוב לעיר - ספיקות מקסימום דרושות בהווה ובעתיד, האיכויות דרושות לצרכנים, מיקום נוכחי והאם צפוי שינוי במיקום בעתיד, מידת האמינות הדרושה באספקת המים, מידת נבנות הצרכנים להשתתף בפרויקט, עלות הקולחים האטרקטיבית למפעל, האם הצמחיה המיועדת להשקיה בקולחים, יכולה להסתגל להרעה באיכות המים המסופקים לה, או שיהיה צורך להחליף אותה בזנים עמידים יותר וכד'.

- נתונים הנדסיים - חיזוי התפתחות האוכלוסיה וצרכות המים בעיר בעתיד ע"פ שלבי תיכנון הפרויקט, מקורות השפכים ומערכות הטיפול, ההולכה והסילוק הקיימות, הטופוגרפיה העירונית והשלכותיה על הפרויקט, השלכות הנדסיות של הקמת מתקני הטיפול ומערכות החלוקה לקולחים בעיר. תשובות על חלק משאלות אלה ניתן לקבל מתוך שאלון שיופץ בין הצרכנים הפוטנציאליים באיזור המיועד.

- השלכות בריאותיות, חוקתיות וסביבתיות הנובעות ממע' ההשבה המתוכננת.

- נתונים כלכליים: עלות המים הריאלית הנוכחית ובעתיד, עלות מוערכת לפיתוח מקור מים חדש בעתיד, עלות הקולחים הצפוי (טיפול + חלוקה), הערכת הרווח הצפוי מיישום התכנית, האם קיים שימוש אלטרנטיבי לקולחים ומה התמורה עבורו.

- מה היא גישת הציבור בנוגע לתוכנית ומה הסיכוי שתאושר ע"י הועדות המתאימות. תשובה לשאלה הנוגעת לגישת הציבור, ניתן לקבל מתוך סקר דעת קהל.

2. שלב קביעת המדיניות. שלב זה משפיע ישירות על שלבי התיכנון הכללי המפורט. בשלב קביעת המדיניות רצוי להתרכז בנקודות הבאות:
 - החלטה על נקודת המוצא ומטרת הפרוייקט: חיסכון במים, שיקולי כדאיות כלכלית ו/או שיקולי מניעת זיהום סביבתי. נקודת המוצא תשפיע על התיכנון העקרתי במובנים רבים כגון, מדיניות חיבור צרכנים (האם לחבר צרכנים "שאינם כלכליים", עיקרון הטיפול בשפכים, אמינות המערכת, אחח השפכים שיטופלו מתוך הסה"כ, האם לקיים אגירה עונתית ועוד.
 - קביעת איכות הבסיס לקולחים בפרוייקט. קביעה זו תשפיע ישירות על כמות הצרכנים הפוטנציאליים, על תיכנון קונספצית הטיפול הדרושה ועל עלויות הפרוייקט.
 - במידה יש צורך בטיפול נוסף לצרכן לפני השימוש בקולחים, האם תוטל האחריות לכך על הרשות או על הצרכן. במידה ועל הרשות, האם לטפל במרכזו לרמה גבוהה מאד מראש או לבצע טיפול לפני החיבור לצרכן. במידה והאחריות תוטל על הצרכן, כיצד לתגמל את הצרכן כך שהשימוש בקולחים יהיה אטרקטיבי.
 - האם לחייב בשימוש בקולחים גם צרכנים שאינם מעונינים להשתתף בפרוייקט.
 - קביעת תמחיר קולחים (אספקה חיבור לרשת) אטרקטיבי הצגתו לצרכנים בראשית הפרוייקט.
 - תיכנון מדיניות הסברה המתאימה לפרוייקט בהתאם לבדיקות המקדימות.

5.3 בחירת מודלים לתיכנון שימוש חוזר עירוני

- מתוך מיכלול השיקולים הנוגעים בשימוש החוזר העירוני, ובעיקר מתוך השיקול הכלכלי, עולה כי האיזורים בישראל בהם קיימת סבירות ליישום פרויקט השבה עירוני הם איזור הנגב הצפוני, איזור ירושלים - הרי יהודה ואזור אילת.
- אנו בחרנו להתמקד בשתי אתרים אופייניים, אחד באיזור הנגב הצפוני השני באיזור ירושלים.
- לצורך הבדיקה נבחרו שתי ערים, בינונית וקטנה, עבור תוכנה באופן כללי מערכת השבה, כולל הערכת עלויות. הערים שנבחרו לצורך התיכנון הן באר שבע ומעלה אדומים.
- הסיבות לבחירת שתי ערים אלו:
1. עלות המים המובלים אליהן גבוהה יחסית בשל ריחוק גאוגרפי ממקורות המים, ובשל אנרגיה רבה הנדרשת לסניקת המים.
 2. שתי הערים בשלבי פיתוח מואצים והיוו כך כניראה גם בעתיד הקרוב, עובדה המאפשרת תיכנון מערכות כפולות מראש, דבר המחיל מאד את מערכת השבה.
 3. שתי הערים ממוקמות באזורים יבשים, דבר הגורם לצריכת מים גבוהה, בכדי לשמור על מראה ירוק.
 4. שתי הערים מרחקות מאתר מים טבעי לנופש, עובדה המעלה את ערך הקולחים לשימוש זה.
 5. בשתי הערים לא קיימות מערכות טיפול והשבה מסודרות. לבאר שבע בריכות חימצון המטפלות לרמה נמוכה, ואילו מעלה אדומים מתחברת לקו הביוב היורד מהשכונות המזרחיות של ירושלים תשפך ללא טיפול לכיוון ים המלח.
 6. התיכנון ההנדסי בשתי הערים מייצג שני סוגים שונים של מערכות השבה עירוניות. עבור כ"ש, מתוכננת מע' השבה המבוססת על רשת הולכה מסוג "עץ" המתלכשת על אזור קיים ורווי המיועדת לצרכנים בודדים ברמת אמינות בינונית. במעלה אדומים, לעומת זאת, מתוכננת מערכת הולכה טבעית, ביישוב חדש, המיועדת לכלל הצרכנים הביתיים והציבוריים כולל כיבוי אש ומחויבת עקב כך להיות ברמת אמינות גבוהה.

פרק 6. הערכת התנגדות/תמיכה דעת הקהל בישראל לשימוש חוזר עירוני

6.1 תמיכה ציבורית וחשיבות דעת הקהל בפרוייקטי שימוש חוזר

בשנות השמונים התשעים נכנס גורם נוסף למכלול השיקולים המשפיע על כדאיות פרוייקט הנדסי - דעת הקהל. הצרכן המערבי קשוב יותר כיום לבעיות סביבתיות מאשר בעבר ולעיתים קרובות, התנגדות ציבורית יכולה להכשיל פרוייקט מוצע (Okun, 1991).

לנושא זה חשיבות מיוחדת בתיכון פרוייקט השבה ובעיקר השבה עירונית. למעשה, לא ניתן להריץ פרוייקט מסוג זה, המשפיע על חיי כלל האוכלוסייה, ללא תמיכה ציבורית רחבה. כאמור, יש לאוכלוסייה כיום רגישות גבוהה לנושאי זיהום סביבתי ובעיקר כאשר מדובר על שילוב של מים ושפכים, נושא אשר דיעות קדומות רבות וסלידה טבעית קשורים אליו (Wegner-Gwidl, 1991).

רב אנשי המקצוע מודעים לחשיבות נושא ההשבה. הבעיה היא להעביר ההבנה זאת לציבור, הבנוי מקבוצת פרטים בעלי רקע, השכלה ואינטרסים שונים.

חומר רב פורסם בנושא זה ועיקרו כיצד לתכנן ולבצע תוכנית להסברה וקשר עם הציבור והעיתונות ע"מ "להעביר" את התוכנית המוצעת. מטבע הדברים, רב החומר בא מארה"ב, שם קיימת מודעות גבוהה לבעיות זיהום סביבתי השפעה גדולה של הציבור על קובעי המדיניות.

חשיבות גדולה נודעת לבדיקה מוקדמת של רמת התנגדות הציבור לשימושים החחרים המוצעים והגדרת הגורמים המטרידים את הציבור כחלק מתיכון הפרוייקט. בשנים האחרונות פורסמו בארה"ב מס' מחקרים הנוגעים לנושא (Bruvald, 1984, Gallup, 1973). מחקרים אלה בודקים את מידת ההתנגדות לקשת שימושים רחבה, החל מצריכה ישירה של קולחים לשימוש ביתי, דרך שימושים כגון השקיית הגינה הביתית והדחת אסלות בבית ועד לשימושים כהשקיית יערות או החדרה למי תהום לצרכי השקיה. Olson et al (1979), סקר 244 איש בשיטת סקר דאר. ממצאי הסקר העיקריים היו, כי משיבים בעלי תאר גבוה, תמכו באופן כללי בשימוש חוזר יותר מאשר קבוצות אוכלוסייה אחרות. בתוך קבוצת ההשכלה הגבוהה - גברים תמכו יותר מנשים, אם כי בקבוצות השכלה אחרות לא היה הבדל בין המינים, והגורמים המשפיעים משמעותית על ההתנגדות היו חוסר-אמון בטכנולוגיה הקיימת לטיפול בשפכים וחשש מבעיות בריאותיות כתוצאה משימוש החוזר. Stone & Kahle (1974), ביצעו סקר טלפוני בקליפורניה שכלל 1,000 נסקרים. ממצאיהם העיקריים היו כי מידת ההתנגדות בציבור לשימושים הישירים (שתייה, בישול, רחצה) היא בתחום 36-46 אחוז. לשימושים פחות ישירים הייתה התנגדות בתחום 6-16 אחוז. Bruvald (1984), מסכם 9 מחקרים שונים וקובע כי למרות שסקרים אלה שונים זה מזה בפרמטרים שונים: מיקום הסקר, מס' הנסקרים, מגמת השאלות (חיובית, נייטרלית, שלילית) וסוג השאלות, הם משקפים באופן כללי התייחסות דומה: ככל שהשימוש בעל פוטנציאל גדול יותר למגע גופני עם בני אדם - ההתנגדות גדולה יותר. מסקרים אלה נובע כי המתנגד הטיפוסי הוא בעל מעמד סוציו-אקונומי נמוך, מבוגר ובעל מודעות נמוכה לבעיות מים וסביבה. בנוסף, בחלק מהסקרים התנגדו נשים יותר מגברים באופן כללי למיחזור.

מסקנות נוספות הנובעות מניתוח הסקרים (Bruvald, 1984): 1. מתוך כ - 25 שימושים שלא לשתיה ובדרגות שונות של מגע אדם, ל - 14 הייתה התנגדות של פחות מ 20% ול - 11 המשלבים מגע אדם גבוה יותר - 20% או יותר. בין השימושים שעוררו פחות התנגדות ניתן למנות את השקיית הגינות, שטיפת אסלות, השקיית פארקים עירוניים וגינתן רחובות, השקיית ספורט, שימושי קולחים לנף ושיט השקיה חקלאית. 2. ההתנגדות הרבה ביותר הייתה לשתיה ישירה (44-63%). לשימושים הבאים הייתה התנגדות בינונית (20-50%): א. הכנת אוכל במסעדות ב. בישול ביתי ג. שטיפת ירקות למאכל ד. רחצה ביתית ה. שחיה בגוף מים מקולחים ו. החדרה ישירה למי תהום ז. כביסה ביתית ח. כביסה ציבורית ט. השקיית ירקות למאכל י. החדרה עקיפה למי תהום ע"י פזורים על פני הקרקע.

במחקר הוגדרו שלושה סוגי שימוש בקולחים - שימוש עקיף, חצי עקיף וישיר. שימוש עקיף = שימוש בעל קשר עקיף בלבד עם אוכלוסייה עירונית. (שאלות מס' 5, 8 ו - 19 בסקר).

שימוש ישיר = שימוש היוצר קשר ישיר (מגע, שתייה עקיפה) עם אוכלוסייה עירונית. (שאלות 6, 13, 14 ו 16 בסקר).
 שימוש חצי עקיף = שימושים המיושמים בקירבת אוכלוסייה עירונית אך לא יוצרים מגע קולחים מכון עימה. (שאלות 1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 15, 17, 18, 20 - 1 בסקר). (21 בסקר).

6.2 נקודות לתכנית הסברה

לאחר שידועה התייחסות הציבור לשימושים המוצעים ובהנחה שקיימת התנגדות מסוימת לפרוייקט, יש להכין תכנית הסברה וחינוך לקידום הפרוייקט. מתוך סקר דעת הקהל ניתן להסיק על הבעיות עליהן צריך לתת את הדגש בפרסום, הסברה וחינוך. מטרת התוכנית תהיה לשכנע את המתנגדים כי שימוש בקולחים בעיר (Wegner-Gwidt, 1991): 1. לא יפגע בבריאות הציבור 2. בעל חשיבות כלכלית לקהילה 3. נתמך ע"י שכבות רחבות בציבור 4. יעזור להתגבר על מחסור במים בהווה ובעתיד 5. יחסוך הוצאות כבדות הכרוכות בחפוש אחרי מקורות מים שפירים אלטרנטיביים 6. יש לספק הוכחות ויזואליות לכך שקיימת טכנולוגיה לטיפול בשפכים לרמה הנדרשת.

6.3 חשיבות הערכת דעת הקהל בארץ

בסעיף 6.1 הדגשנו את חשיבות קביעת מידת ההתנגדות בדעת הקהל לשימוש החדש. ניתן להניח בסבירות גבוהה, כי גם בארץ, לא יאושר פרוייקט כזה ללא תמיכה ציבורית. לפיכך, כחלק מקדים לתהליך תיכנון הפרוייקט יש צורך בהשגת תמיכה ציבורית ע"י הסברה שתתרכז בחשיבות הנושא ותענה על חששות הציבור. על מנת לקבל תמונה מדויקת על מידת ההתנגדות ועל הגורמים לה, יש לבצע סקר דעת קהל. בדרך כלל, רצוי לבצע את סקר דעת הקהל במקום המיועד לפרוייקט ההשבה, כלומר במקרה זה בב"ש או במעלה אדומים, אך מפאת בעיות חוסר תקציב התבצע הסקר בחיפה, ונסקרו בו 120 תושבים.

6.4 מטרות המחקר

מטרות המחקר היו:

1. להעריך את מידת ההתנגדות הקיימת לשימושים השונים המוצעים.
2. להסיק על הנקודות הבעייתיות עליהם צריך לתת דגש בפרסום, הסברה וחינוך.
3. להסיק על מאפייניו הביוגרפיים של המתנגד הישראלי הטיפוסי לשימוש החדש (אם אכן ניתן להגדירו) ע"מ להדק את ההסברה במקומות בהם היא נחוצה יותר.

סקר דעת הקהל שהתבצע בעבודה זו, התבסס על סקרים דומים שנעשו בארצה"ב. הסקר הקיף כמעט את כל אפשרויות השימוש החדש הקיימות, כאשר הדגש הושם על שימושים פנים עירוניים שאינם מוגדרים כצריכה ישירה, שהוגדרו במחקר כשימושים חצי עקיפים. בנוסף, נשאלו שאלות על שימושים שהוגדרו כעקיפים ועיקרם שימוש חקלאי שאינו קשור ישירות לאוכלוסייה, ועל שימושים שהוגדרו כישירים התעסקו במגע ישיר של האוכלוסייה עם הקולחים אם כי לא כצריכה ישירה.

במחקר נכללו שלש קבוצות משתנים: קבוצה ראשונה - משתנים בלתי תלויים (שימוש ישיר, חצי- עקיף ועקיף). קבוצה שנייה ושלישית יהיו המשתנים התלויים: משתנים ביוגרפיים (השכלה, גיל, מין) ומשתני אמונות הבודקים את אמונות הנחקר בנושאים הבאים: מצב משק המים, רמת טכנולוגיה נוכחית לטיפול במים, סכנה בריאותית כתוצאה משימוש חדר, יתרון כלכלי הנובע משמוש חדר התייחסות לדעת הקהל הרווחת בנושא. לפירוט נוסף על המשתנים ראה נספח מס' 4.

6.5 השערות המחקר

במחקר הוגדרו 9 השערות על בסיס מחקרים קודמים בארה"ב:

1. מידת התמיכה הכוללת תעלה ככל שהקולחים יבואו במגע קטן יותר עם האוכלוסיה. לפיכך, נצפה לתמיכה גבוהה לשימושים שהוגדרו כעקיפים, תמיכה נמוכה יותר בשימושים החצי עקיפים ותמיכה נמוכה מאד בשימושים הישירים.
2. גברים יתמכו יותר מנשים.
3. מידת התמיכה תרד עם עליית גיל הנסקרים.
4. מידת התמיכה תעלה עם עליית רמת ההשכלה.
5. מידת התמיכה תעלה עם רמת המודעות לבעיות מים וסביבה.
6. מידת התמיכה תעלה עם עליית מידת האמון בטכנולוגיה לטיפול במים.
7. מידת התמיכה תעלה עם האמונה שהשימוש החוזר יביא לרווחה כלכלית.
8. מידת התמיכה תעלה עם האמונה שדעת הקהל תומכת בפרוייקט.
9. מידת התמיכה תרד עם מידת האמונה שהשימוש מהווה סכנה בריאותית לאוכלוסיה.

6.6 השיטה

6.6.1 נבדקים

אוכלוסיית היעד של המחקר נקבעה ככלל תושבי העיר חיפה. אוכלוסית המדגם כללה 117 נבדקים שנדגמו במדגם אשכולות. האוכלוסיה חולקה לקבוצות ע"פ שכונות מגורים ומתוך השכונות נדגמו מספר קבוע מראש של נבדקים בדגימה אקראית. העיר חולקה לחמישה אזורים באופן לא אקראי ומספר הנבדקים מכל איזור נקבע ע"פ גודל האוכלוסיה היחסי ע"מ לא להטות את הדגימה. בכל איזור נדגמו רחובות ומספרי בתים באקראי ע"י תוכנת מחשב. בכל רחוב נדגמו 4 אנשים - הראשונים שפתחו את הדלתות בבנינים שנבחרו, מקסימום 2 אנשים בבנין. במידה והמראיינים לא הצליחו למצוא 4 נבדקים מתוך שלוש הבתים שנבחרו הם בחרו בצורה אקראית בית נוסף. חלוקת האזורים ומספר הנבדקים בכל איזור מופיעים בנספח מס' 4.

קיים חשש לדגימה מוטת של האוכלוסיה. אחוז אי המשיבים היה גבוה, ביחס של כ - 2.5 סרבנים על כל תשובה חיובית. שיעור אי התגובה של בני המעמד התחתון והעליון היה גבוה. למעמד הבינוני היה איפוא ייצוג יתר במדגם. כמו כן שיעור המשיבים בעלי השכלה על-תיכנית מכלל המדגם היה 50.4%, שיעור גבוה בהרכב מאחוז בעלי השכלה על תיכנית באוכלוסיית היעד.

6.6.2 מבשורים

המחקר כלל שאלון שמופיע בנספח מס' 4.
תוצאות המחקר נותחו בעזרת תוכנה סטטיסטית - SAS.

6.6.3 מהלך המחקר

במחקר שדה זה, נאספו הנתונים הגולמיים ע"י 5 מראיינים בשיטת הראיון האישי. המראיינים קבלו תדרוך שכלל הבהרת מושגי יסוד בנרשאי מים ואופן ביצוע הראיון - תודרכו לא לחשוף עמדות אישיות ע"מ לא להטות את תשובות הנבדק. הוראות לנבדק צורפו לשאלון (ראה נספח 4) וכללו הוראות כלליות בלבד בתוספת הערת הסבר על נושא המחקר: "המונח שפכים מטופלים פירושו, שפכים שטופלו לדמה

הנדרשת לאותו שימוש, כך שלא יגרם נזק בריאותי או אחר למשתמש או לסביבה" שנועדה להסביר באופן כללי את המונח שפכים מטופלים. הנתונים הגולמיים קודדו ע"פ הנוסחאות המופיעות בנספח 4 והוכנסו לעיבוד בתוכנת SAS, רמת המובהקות הנדרשת 95%.

6.7 תוצאות המחקר

תוצאות המחקר מאוששות את ההשערות הבאות: 1. מידת התמיכה תעלה ככל שהקולחים באים במגע קטן יותר עם האוכלוסייה. 2. מידת התמיכה תעלה עם רמת ההשכלה. 3. מידת התמיכה תעלה עם האמונה כי השימוש בקולחים אינו מסוכן לבריאות. 4. מידת התמיכה תעלה עם האמונה כי הציבור בעיר יתמוך בפרויקט שימוש חוזר.

6.7.1 מידת התמיכה באחוזים לשימושים המוצעים

בטבלה מספר 6.1 מרוכזות שאלות הסקר בסדר בו הם הוצגו במחקר ונתונה התפלגות התמיכה עבור כל אחת מהן כאשר המונח תמיכה מייצג את אחוז הפרטים מכלל האוכלוסייה שתמכו או תמכו מאוד, המונח התנגדות מייצג את אחוז הפרטים מכלל האוכלוסייה שהתנגדו או התנגדו מאוד.

טבלה מס' 6.1: מידת התמיכה לשימושים החוזרים המוצעים (%)

Table No. 6.1: Support degree for proposed reuse applications (%)

התנגדות	חסר עמדה	תמיכה	השימוש
%	%	%	שימושים כלליים
6.0	4.3	89.7	השקיית פארקים ציבוריים בעיר
4.2	2.6	93.2	כיבוי אש בעיר
6.8	2.6	90.6	גינן מדרכות ואיי תנועה
5.1	17.1	77.8	שימוש בתעשייה אלקטרונית
11.1	9.4	79.5	השקיית גידולי שדה (כותנה, מספוא)
41.0	15.4	43.6	שימוש במכבסות ציבוריות
18.8	16.2	65.0	שימוש לצרכי מזוג אוויר
35.9	17.1	47.0	החדרה למי תהום לשימוש חקלאי
10.2	12.0	77.8	שימוש בתעשיית הכותנה
5.1	1.7	93.2	שימוש למטרות בנייה
18.8	4.3	76.9	הדחת אסלות וניקיון בניני משרדים
			שימושים אישיים
52.1	14.6	33.3	שחיה באגם נופש מקולחים
71.8	10.3	17.9	אכילת שמורים שלהכנתם השתמשו בקולחים
70.1	7.7	22.2	שתיית מי תהום שנמהלו בקולחים
11.1	2.6	86.3	שטיפת מכותיות במכון שטיפה המשתמש בקולחים
46.2	9.4	44.4	כביסה ביתית בקולחים
29.9	15.4	54.7	דיג ושיט באגם נופש מקולחים
6.0	4.3	89.7	השקיית הגינה הפרטית בקולחים
32.5	17.1	50.4	אכילת פרי הודר מפרדס המושקה בקולחים
17.1	8.5	74.4	הדחת אסלות בבית בקולחים
5.4	6.9	42.7	אכילת ירקות שהושקו בקולחים

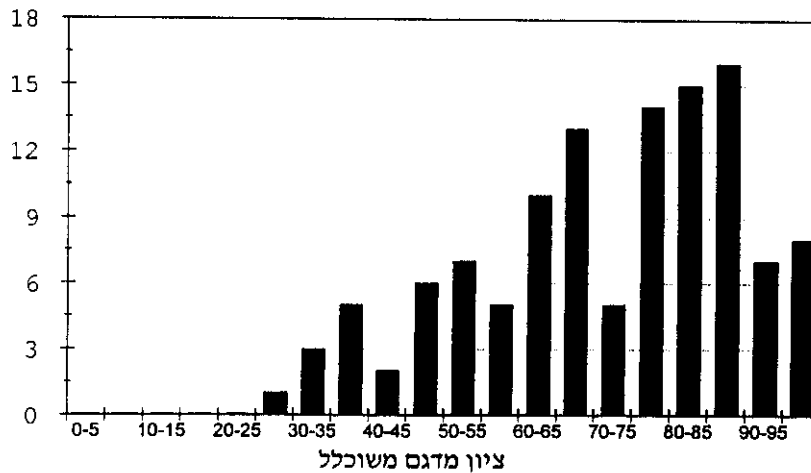
6.7.2 תמיכת כלל המדגם בסוגי השימוש השונים

התוצאות מוצגות בצורה של גרף שכיחויות.

ציור מס' 6.1: שכיחות ציוני הנבדקים לתמיכה בשימושים חצי - עקיפים בקולחים

Figure No. 6.1: Grades frequency of the sample regarding the support for the semi-direct reuse

מס' נבדקים



ניתוח סטטיסטי לציוני שימוש חצי עקיף: ממוצע הציונים: 71.0

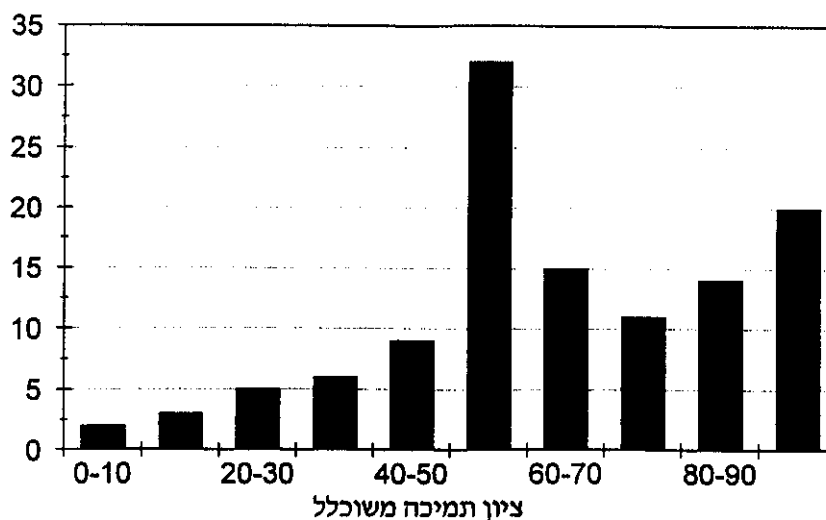
סטיית התקן: 18.0

החציון: 79

ציור מס' 6.2: שכיחות ציוני הנבדקים לתמיכה בשימושים עקיפים.

Figure No. 6.2: Grades frequency of the sample regarding the support for the indirect reuse.

מס' נבדקים



ניתוח סטטיסטי לציוני השימוש העקיף:

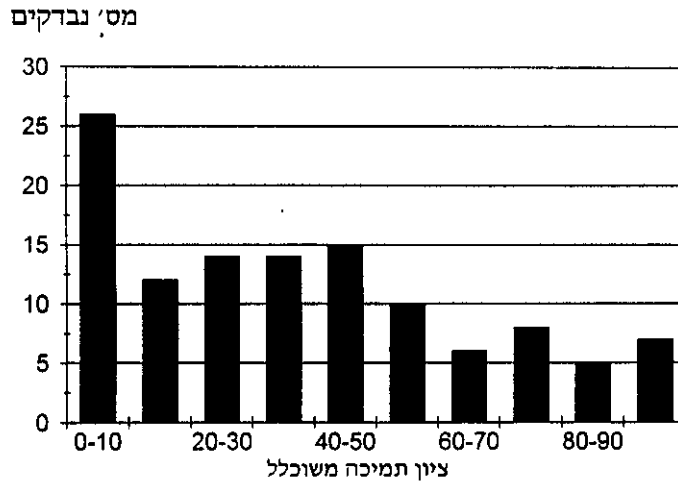
ממוצע המדגם: 63.4

סטיית התקן: 23.6

החציון: 66.6

ציור מס' 6.3: שכיחות ציוני הנבדקים לתמיכה בשימושים ישירים.

Figure No. 6.3: Grades frequency of the sample regarding the support for the direct reuse.



נתוח סטטיסטי לציוני שימוש ישיר:

ממוצע המדגם: 37.2

סטיית התקן: 28.6

החציון: 30.5

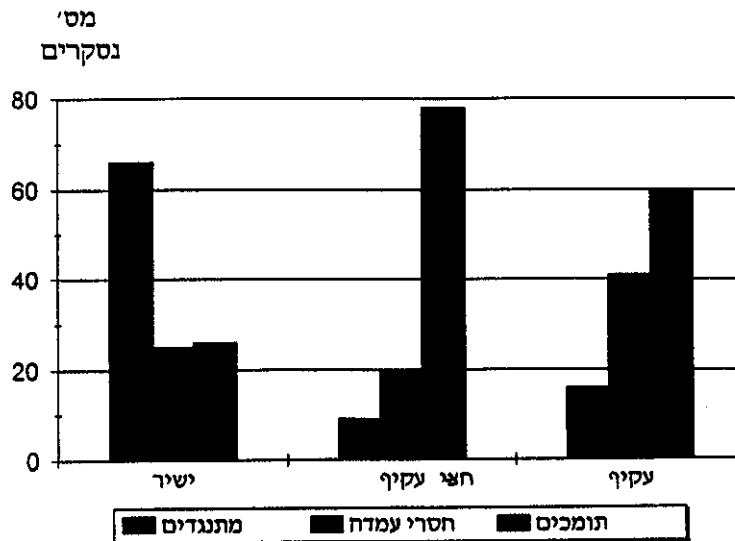
6.7.3 חלוקת המדגם לתומכים, חסרי עמדה ומתנגדים

החלוקה התבצעה על פי המפתח הבא:

1. תומכים - בעלי ציון משוכלל של 60 ויותר.
2. חסרי עמדה - בעלי ציון משוכלל בתחום (40-60).
3. מתנגדים - בעלי ציון משוכלל נמוך מ-40.

ציור מס' 6.4: חלוקה כללית למתנגדים, חסרי עמדה ותומכים לסוגי השימוש השונים

Figure No. 6.4: General distribution of supporters, objectors & opponents to reuse options



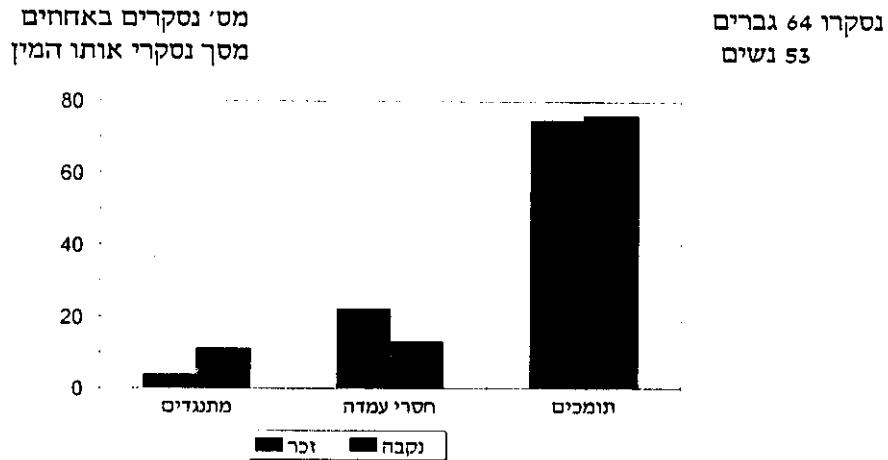
6.7.4 התפלגות תוצאות הסקר לפי מאפיינים ביוגרפים

תוצאות התפלגות לפי מאפיינים ביוגרפים ואמונות יזבאו רק עבור השימוש החצי-עקיף.

6.7.4.1 התפלגות התוצאות לפי מינים

ציור מס' 6.5: התפלגות תוצאות הסקר באחחים לשימוש חצי-עקיף לפי מינים

Figure No. 6.5: Distribution by gender of the survey results (%) for the semi-direct usage



ניתוח סטטיסטי

מבחן: χ_{max}

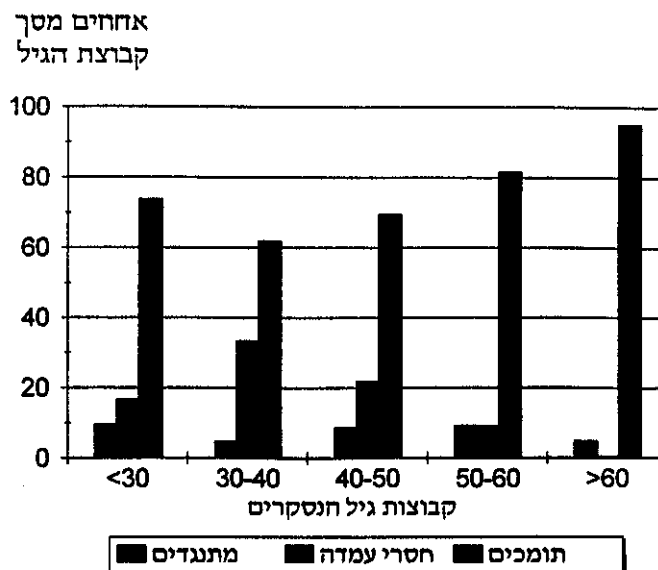
מתאם: 0.23

מובהקות: 0.185 לא מובהק

6.7.4.2 התפלגות תוצאות הסקר לשימוש חצי-עקיף לפי קבוצות גיל

ציור מס' 6.6: התפלגות תוצאות הסקר לשימוש החצי עקיף לפי קבוצות גיל (%)

Figure No. 6.6: Distribution by age of the survey results (%) for the semi-direct usage



מס' הנסקרים לפי קבוצת גיל:

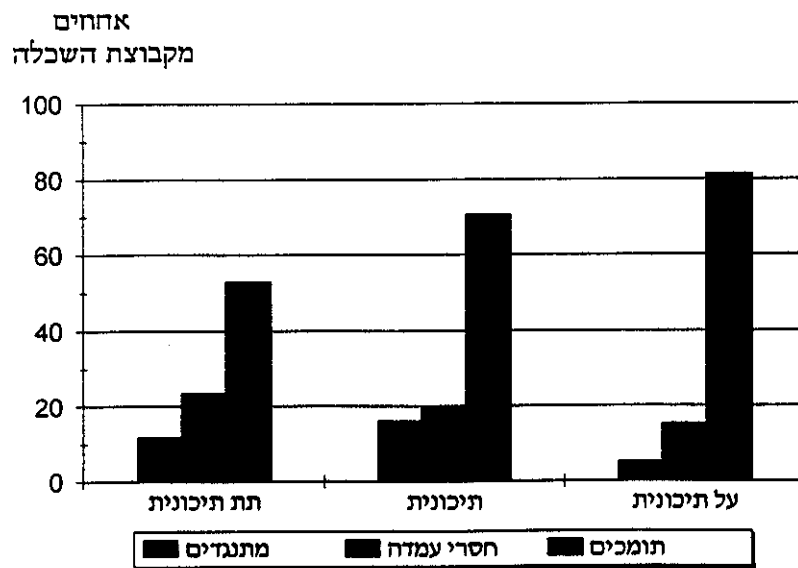
מס' נסקרים	קבוצת גיל
42	> 30 שנה
21	30 - 40
23	40 - 50
11	50 - 60
20	< 60

ניתוח סטטיסטי

מבחן: ספירמן
מתאם: 0.09495
מובהקות: 0.3085 , לא מובהק

6.7.4.3 התפלגות התוצאות לפי השכלה

ציור מס' 6.7: התפלגות תוצאות הסקר לשימוש חצי-עקיף לפי קבוצות השכלה
Figure No. 6.7: Distribution by education of the survey results (%) for the semi-direct usage



מס' הנסקרים לפי קבוצות השכלה:

מס' נסקרים	קבוצת השכלה
17	תת - תיכונית
31	תיכונית
59	על - תיכונית

ניתוח סטטיסטי

מבחן: ספירמן
מתאם: 0.23115
מובהקות: 0.0122 , מובהק

6.7.5 התפלגות תוצאות הסקר כפונקציה של אמונות

טבלת מס' 6.2: התפלגות תוצאות הסקר לשימוש חצי עקיף כפונקציה של אמונות הנסקרים
 Table No. 3.2: Distribution by beliefs of the survey results (%) for the semi-direct usage

מובהקות	מתאם	מבחן סטטיסטי	סד"כ נסקרים	תוצאים	ללא	מתגוררים	האמונה
				בשמוש חוזר (%)	עבודה (%)	לשמוש חוזר (%)	
0.6721	0.0395	ספירמן	74	79.8	13.5	6.7	מורעות לבטיות מים וטביכה
			37	67.6	27.0	5.4	נסקרים המודעים לבעיות מים וטביכה
			5	60.0	20.0	20.0	נסקרים בעלי מודעות בינונית
							נסקרים שאינם מודעים לבעיות מים וטביכה
0.0515	0.1805	ספירמן	28	85.7	3.6	10.7	קיום/אי קיום טכנולוגיה מתאימה לטיפול בשפכים
			48	75.0	22.9	2.1	נסקר המודע לקיום טכנולוגיה
			41	68.2	21.9	9.7	נסקר המאמין שלא קיימת טכנולוגיה מתאימה
0.1559	0.0132	ספירמן	69	79.3	15.9	4.3	רווחה כלכלית לעיר כתוצאה מפרוייקט שמוש חוזר
			27	66.6	22.2	11.1	נסקר המאמין שוועדה רחבה
			21	71.4	19.0	9.5	נסקר ללא עמדה
							נסקר המאמין שותיק נסעה כלכלית כתוצאה מהפרוייקט
0.0001	-0.4986	ספירמן	58	87.9	10.3	1.7	בעיות בריאות להשבים כתוצאה מהשמוש החוזר
			32	87.5	12.5	0.0	נסקר המאמין שלא תהיינה בעיות בריאות
			27	33.3	40.7	25.9	נסקר ללא עמדה
							נסקר המאמין שכן תודיעו בעיות בריאות
0.0191	0.2164	ספירמן	40	90	7.5	2.5	נטיית דעת הקהל
			37	70.2	21.6	8.1	נסקר המאמין שרעת הדעה תקרה לתמוך בפרוייקט
			40	65	25	10	נסקר ללא עמדה
							נסקר המאמין שרעת הדעה תקרה תסתייג מהפרוייקט

הערדה: המדרת מתגוררים: בעלי ציין משוכלל בתחום (40-10).

המדרת הסיר עמדה: בעלי ציין משוכלל בתחום (60-40).

המדרת תומכים: בעלי ציין משוכלל בתחום (100-60).

תוצאות הסקר מאוששות 4 מתוך 9 השערות המחקר ברמת מובהקות $\alpha < 0.05$. הוערכה מידת ההתנגדות הקיימת לשימוש חוזר בקולחים ומידת ההתנגדות הספציפית לכל שימוש והוכחה ההשערה כי מידת התמיכה הכוללת תעלה ככל שהקולחים יבואו במגע קטן יותר עם האוכלוסיה. כמו כן נמצא כי מידת התמיכה בשימוש החצי עקיף תעלה עם רמת ההשכלה ועם האמונה שדעת הקהל תתמוך בפרוייקט מעין זה. נמצא נוסף המאשש את השערות המחקר - מידת התמיכה בפרוייקט תרד עם האמונה שהשימוש מהווה סכנה בריאותית לאוכלוסיה.

סקלול תוצאות הסקר לשימושים השונים בקולחים, כפי שמתואר בציורים 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, מצביע על תמיכה של 51.2 אחוז מהאוכלוסיה לשימושים שהוגדרו כעקיפים, 75.2 אחוז לשימושים שהוגדרו כחצי עקיפים ו- 22.2 אחוז לשימושים שהוגדרו כישירים. מידת ההתנגדות בהתאמה הייתה 12.8%, 7.7% ו- 55.5%. תוצאות אלו דומות במגמתן למחקרים שנערכו בארה"ב, פרט לכך שמידת ההתנגדות בארץ לשימוש ישיר היתה גבוהה במקצת (10% יותר). ניתן לנסות להסביר את השוני הזה בכך שהאוכלוסיות אינן זהות לחלוטין, ובהערה שהתקבלה במהלך ביצוע הסקרים מהנבדקים, שעיקרה חוסר אמון במערכת המיסודית שתשמור על רמת בטיחות מספקת, פקטור המשפיע פחות בארה"ב. התוצאות לגבי השימושים העקיפים והחצי עקיפים - דומות מאד.

מניתוח התוצאות המופיעות בטבלה 6.1, בה מוצגים מידת התמיכה לכל אחד מהשימושים שנבדקו בסקר, עולה בבירור כי ככל שהשימוש המוצע בקולחים בא במגע נמוך יותר עם האוכלוסיה, התמיכה בו עולה. התמיכה הגבוה ביותר (סביב 90%) התקבלה עבור שימושים בהם אין כל מגע אדם כגון השקיית פארקים ציבוריים, כיבוי אש, שימוש למטרות בניה וכו'. מנגד, לשימושים ישירים - אכילת שמורים שלהכנתם השתמשו בקולחים, שתית מי תהום שנמהלו בקולחים ושחיה באגם נפש ממי קולחים, היתה תמיכה נמוכה מאוד (סביב 30% - 20%). לעומת זאת, בניגוד להשערת המחקר, התמיכה בשימושים החצי עקיפים היתה גבוהה במעט מהתמיכה לה זכו השימושים שהוגדרו על ידינו כעקיפים (ראה ציורים 6.1 ו 6.2). שתי סיבות עיקריות יכולות להסביר ממצא זה: א) הסקר בדיק בעיקר את מידת ההתנגדות/תמיכה של הנבדק לשימושים החצי עקיפים (16 מתוך 21 שאלות) בעוד מידת ההתנגדות/תמיכה של הנבדק לשימושים כוסתה ע"י 3 שאלות בלבד. כתוצאה מכך, תשובות קיצוניות בשימוש העקיף עלולות להטות יותר את התוצאה מאשר בשימוש החצי עקיף. הסבר זה נתמך ע"י שונות המשתנים (ראה ציורים 6.1, 6.2). ב) יתכן כי שאלה 8 בסקר "החדרה למי תהום לשימוש חקלאי" שהוגדרה כשימוש עקיף גרמה להתנגדות גבוהה שלא נצפתה במהלך תיכנון הסקר. אחוז התמיכה בשימוש זה היה רק 47% לעומת 63.4% תמיכה כללית לשימוש העקיף. סביר להניח כי חלק מהנבדקים הביע ע"י התנגדות זו חשש כי קולחים אלה יתערבבו במי התהום המיועדים לשתיה.

הנסיון לקבוע מאפיינים ביוגרפיים למתנגד, לא הצליחו. השערת האפס, שהניחה כי המתנגד הטיפוסי הינו בקבוצת גיל מבוגרת יחסית, בעל השכלה נמוכה וממין נקבה לא התקבלה. למרות זאת, הוכח כי קיים קשר חיובי חלש (מתאם = 0.23, מובהקות $\alpha < 0.05$), בין השכלה לבין תמיכה בשימושים החצי עקיפים. קשר זה מוסבר ע"י ידע, מודעות גבוהה יותר וגישה רציונלית לנושאי סביבה ומים. לא הוכח קיום קשר בין גיל ומין למידת התמיכה - $\alpha > 0.05$ (ראה ציורים 6.5, 6.6).

בקבוצת משתני האמונה, לא ניתן להסיק על קיום קשר (ברמת מובהקות $\alpha < 0.05$) כלשהו בין מודעות האוכלוסיה לבעיות מים וסביבה, אמונה על קיום/אי קיום טכנולוגיה מתאימה לטיפול בשפכים ואמונה כי תיגמר רווחה כלכלית כתוצאה מהשימוש החוזר (ראה טבלה 6.2). לא נמצא הסבר לתוצאות האמונות הנוגעות בטכנולוגיה ורווחה כלכלית. לגבי מודעות לבעיות מים וסביבה, יש לציין כי מידת המודעות לבעיות מים בארץ גבוהה ומושרשת מאוד בכל שכבות האוכלוסיה דבר הנובע כנראה מפרסומים באמצעי התקשורת ומחינוך לנושא בארץ. מניתוח תשובות הנסקרים, ניתן לראות כי רק 1 מתוך 117 הנבדקים הוגדר כ"לא מודע" (ראה טבלה 6.2). מסתבר כי מידת מודעות גבוהה אינה מצביעה בהכרח על הסכמה לפתרונות אופרטיביים הקשורים ישירות לאוכלוסיה.

המתאם הגבוה ביותר במובהקות הגבוהה ביותר (מתאם = -0.498, $\alpha < 0.01$), התקבל עבור האמונה כי שימוש בקולחים גורם לבעיות בריאות. המתאם הוא שלילי, כלומר ניתן להסביר בצורה חלקית את

התנגדות האדם לשימוש חוזר בקולחים באמונה כי שימוש זה גורם לבעיות בריאות. קשר חיובי חלש מובהק נוסף (מתאם = 0.21 , $\alpha < 0.05$) התקבל עבור האמונה כי דעת הקהל תומכת בשימוש חוזר, כלומר ניתן להניח, כי ככל שהאדם מאמין שקיימת תמיכה ציבורית לנושא, כך תמיכתו האישית עולה. קיים חשש לתקיפות התוצאות בגלל דגימה מוטה של האוכלוסייה. 50.4% מכלל המדגם היו בעלי השכלה על תיכונית, דבר העלול לגרום ל"תמיכת יתר" בשימוש חוזר במיוחד כשהזכח קשר חיובי בין מידת התמיכה לרמת ההשכלה. כמו כן יש לזכור, כי סקר זה נערך בחורף 4-1993, חורף בו כמות המשקעים היתה נמוכה מהממוצע השנתי, דבר העשוי להגביר את מודעות הציבור לבעיות מים ולהטות את התוצאות (אם כי לא נמצא במחקר קשר בין פרמטרים אלו).

מהניתוח הנ"ל ניתן להצביע על הנקודות הבעיות עליהם יש לשים את הדגש בפרסום והסברה לציבור:

- 1) הסבת תשומת לב הציבור לכך שאין בשימושים המוצעים כל סכנה בריאותית.
- 2) ההסברה צריכה להתרכז במיוחד בשכבות האוכלוסייה בעלת השכלה תיכונית ותת תיכונית.
- 3) יצירת דעת קהל אוהדת ע"מ לקדם את התמיכה הכוללת בפרוייקט.

תוצאות המחקר מוכיחות כי בניגוד לדיעה הרווחת, מידת ההתנגדות לשימושים חוזרים לא ישירים נמוכה למדי ואינה מהווה מכשול לישום פרוייקט מעין זה.

פרק 7. מבוא לתיכנון הנדסי של מערכות השבה עירוניות

בפרק זה תובא סקירה כללית על החלופות ההנדסיות לטיפול, אגירה וחלוקת הקולחים לצרכנים במערכות השבה עירוניות חאת כמבוא לפרקים 8 ו-9 בהם יובא התיכנון ההנדסי הספציפי לשני המודלים.

7.1 מידע כללי הנוגע לתיכנון מערכות השבה עירוניות

תיכנון הנדסי של מערכת השבה עירונית מתחלק באופן כללי לשלושה מרכיבים עיקריים: מערכת איסוף השפכים, מתקן (או מתקני הטיפול) ומתקני האגירה, הסניקה וחלוקת הקולחים לצרכנים. מעבר למרכיבים קבועים אלה, קיימת ואריאביליות גדולה בין מערכת השבה עירונית אחת לשניה חאת מפאת השוני בתנאי התיכנון מאתר לאתר.

הפרמטרים העיקריים המשפיעים על טיפוס מערכת ההשבה מוצגים להלן לפי סדר חשיבותם:

1. הרכב הצרכנים. בהקשר זה ישאלו השאלות הבאות: האם פוטנציאל ההשבה הוא לצרכנים בדידים או לכלל הצרכנים העירוניים, האם המערכת מגבה כיבוי אש, האם יש לתכנן אספקת מים אלטרנטיבית לצרכנים העלולים להפגע במקרה של מחסור וכד'.
2. פרמטרים הנקבעים ע"י הצרכנים, דהיינו ספיקת הקולחים הדרושה והאיכויות הנדרשות ע"י כל צרכן וצרכן. פרמטרים אלה קובעים את אופי הטיפול, את האמינות שתידרש מהמערכת ואת מימדי המע' וכדאיותה הכלכלית.
3. מיקום גיאוגרפי (פיזור) של הצרכנים הפוטנציאליים בעיר. נתון זה קובע את אופי ומבנה מערכת ההולכה. בהקשר זה יש לשקול כלכלית את חיבורם של צרכנים קטנים ומרחקים.
4. מבנה העיר המיועדת לתיכנון. קיים הבדל גדול בין תיכנון צנרת הולכה כפולה בעיר קיימת לבין תיכנונה מראש בשטח עירוני המיועד להקמה.
5. טופוגרפיה כללית של אתר ההשבה המיועד.
6. אילוצי מערכות האיסוף והטיפול (במידה והם קיימות).

בהתייחס לפרמטרים מנחים אלה מוצגים להלן מספר סכימות לתיכנון מערכת השבה עירונית. סכימות אלה אינן מכסות את כל מגוון המצבים האפשרי אך הם מהוות בסיס טוב לרוב המיקרים.

סכימה מס' 1:

איסוף כלל השפכים במתקן (או כמה מתקנים) טיפול מרכזי (בהתאם לשיקולי תיכנון מע' האיסוף), טיפול בשפכים לרמה בסיסית (20/30) ואיגומם במאגר קולחים מרכזי. מתוך המאגר יסנקו חלק מן הקולחים ללא טיפול נוסף, להשקיה חקלאית. החלק האחר יעבור טיפול שלישי לרמה הנדרשת לצרכנים העירוניים וייסנק לאותם צרכנים. מערכת ההולכה במקרה זה תהיה מסוג עץ או לולאה, בהתאם לכמות הצרכנים ומיקומם, ובהתאם לרמת האמינות הדרושה מהמערכת.

סכימה זאת נראית כאפשרות הסבירה ביותר ליישום ברב המיקרים משתי סיבות: האחת, היא מאפשרת גמישות בוויסות הספיקות למע' ההשבה מכיון שהשפכים מרוכזים במע' אגירה מרכזית משם הם נשאבים בצורה מבוקרת לטיפול המשלים, והשניה היא, שכתוצאה מהטיפול הדו-שלבי (טיפול בסיסי ואחריו טיפול משלים) מתקבלת מערכת הנותנת מענה אמין לרמות האיכות הנדרשות עם אפשרות בקרה וניטור טובים בכל שלב.

חיסרון אפשרות זו הוא העלות גבוהה יחסית הנובעת מהקמת מתקן מיוחד לטיפול המשלים.

סכימה מס' 2:

איסוף השפכים המיועדים לשימוש החוזר העירוני במתקן טיפול נפרד משאר שפכי העיר, וטיפול בהם לרמה הנדרשת בתהליך חד שלבי. שאר השפכים יופלו לרמת בסיס ויחזמו לחקלאות. בהתאם לכמות

המיועדת להשבה העירונית ולטופוגרפיה, יש לקבוע את הכדאיות הכלכלית של ביצוע הטיפול בברצה במתקן הנפרד או העברה לטיפול מרכזי במתקנים האחרים. סכימה זו מתאימה בעיקר במיקרים בהם מתנקזים חלק משפכי העיר לנק' ממנה נדרשת סניקתם למתקן המרכזי ובקירבת נקודת האיסוף קיימים צרכני קולחים פוטנציאלים. חסרונותיה העיקריים של שיטה זו הם כי רמת האיכות המתקבלת בתהליך החד-שלבי נמוכה יותר מזו המתקבלת בתהליך הדו-שלבי (אם כי היא בדיכ זולה יותר) וכי רמת הגמישות בתפעול מע' ההשבה נמוכה יותר מאשר בסכימה 1.

סכימה מס' 3:

הקמת מתקן טיפול מקומי (קומפקטי או אחר) בנקודה טופוגרפית גבוהה בעיר והזרמת הקולחים ממנו (בגרויטציה) לצרכנים. במקרה זה, ישאבו השפכים הגולמיים מקו ביוב סמוך, הנחל יטופל לרמה הנדרשת הברצה תחזור לקו. שיטה זו תתאים בעיר בעלת טופוגרפיה מתאימה ובדיכ במיקרים של מערכות השבה קטנות יחסית. יתרונה של אופציה זו בעלויות השקעה ותפעול נמוכות, הנובעות מקוי הולכה קצרים לצרכנים, מכך שלא מתקיים טיפול בברצה ומעלות אנרגיה נמוכה עקב הזרמת רב (או כל) הקולחים בגרויטציה לצרכנים. חיסרון אפשרות זו נובע מהעובדה שהמתקנים ממוקמים בלב אזור מיושב, בו מחירי הקרקע גבוהים ומימדי המתקן מוגבלים מראש ובנוסף צפוייה התנגדות אוכלוסייה להקמתו.

סכימה מס' 4:

הקמת מערכת שפכים סגורה, כלומר השבת השפכים לאחר איסוף וטיפול חזרה לצרכנים מהם הם נפלטו. אופציה זו תתאים ליישוב מבודד או לשכונה מבודדת בעיר ועבור מקרה של מערכת כפולה מלאה המספקת קולחים לכלל האוכלוסייה. במקרה זה, כל שפכי היישוב ירוכזו ויטופלו במתקן טיפול מרכזי לרמה גבוהה וייסנקו למערכת האספקה הכפולה. אופציה זו אפשרית רק עבור יישובים חדשים, להם תתוכנן מראש מע' אספקה כפולה. יתרון אופציה זו, הוא בהקטנה משמעותית של כמויות המים השפירים המסופקים ליישוב ומכאן הקטנת מערכות ההולכה ליישוב ובתוך היישוב, בשימוש בקולחים במקום היווצרם ללא צורך בהובלתם לצרכנים, במוטיבציה גבוהה של הרשות המקומית לטיפול מתוך ידיעתה שהקולחים חחרים אליה ובשליטה מלאה של הרשות על אספקת המים לצרכי ציבור, כגון גינון ונוי המאפשרת שיפור פני היישוב דבר המשפיע על רמת החיים, תיירות, ערך הקרקע וכד'. חסרון השיטה נובע בעיקר מעלות מע' החלוקה הכפולה ומכך שיעבור עוד זמן רב עד אשר הציבור בארץ יהיה בשל ליישום מע' כפולה, הכוללת שימושים ביתיים.

7.2 תזרים כללי של תהליך הטיפול בשפכים - הצעת המחקר

השיקולים לתיכנון מתקני טיפול לשימוש חוזר, שונים ממתקני טיפול רגילים בכמה אספקטים:

1. מיקום המתקן לשימוש חוזר נקבע בהתאם לשוק הצרכנים בעיר, בנוסף לשיקולים הרגילים הקשורים לרשת האיסוף, צרכני החקלאות, ההשלכות הסביבתיות, אפשרות ההגלשה וכד'.
2. הברצה המיוצרת אינה מטופלת בהכרח במתקן. ניתן להחזירה במקרים מסוימים לרשת ולטפל בה במתקן טיפול אחר.
3. במקרים מסוימים יטופלו במתקן רק המים המיועדים למיחזור. שאר המים המיועדים לחקלאות או לסילוק יטופלו לרמת בסיס בלבד.
4. הקולחים יוגדרו כסחורה העוברת לצרכן. תיכנון המתקן לשימוש חוזר עירוני חייב לכלול אביזרים לבקרת איכות וניטור רציפים, אמצעי אבטחה וגיבוי במקרה של תקלה ואפשרות למעקף והגלשה במקרה של איכות נמוכה מהסטנדרט.

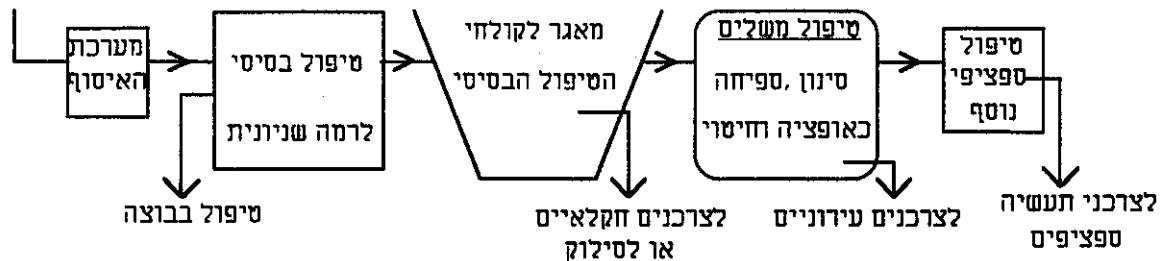
בהסתמך על מסקנות סעיף 1.8 (קביעת קריטריונים לאיכות קולחים לשימושים עירוניים) וסעיף 3.2 (שילוב יחידות הטיפול להשגת האיכות הרצויה), מוצע כי תהליך הטיפול הרצוי למטרת השבה עירונית יהיה כדלקמן:

1. טיפול שניוני לרמת בסיס לכל השפכים, כולל טיפול בבוצה.
2. טיפול שלישוני הכולל סינון מגע על מצע גרנולרי חיטוי בכלור, לקולחי הטיפול השניוני המיועדים להשקיה עירונית בלתי מוגבלת.
3. טיפול שלישוני הכולל סינון מגע על מצע גרנולרי, ספיחה על פחם פעיל חיטוי בכלור, לקולחים המיועדים לשימושים פנים ביתיים כגון הדחת אסלות בבתי מגורים או בינייני משרדים ועבודות נקיון ביתיות אחרות. בנוסף, מומלץ טיפול זה גם עבור קולחים המיועדים להחדרה ישירה לאקופרים המיועדים לשתייה ועבור קולחים המיועדים לשימושי נופש עם מגע אדם.
4. טיפול שלישוני ורבעוני ספציפי לקולחים המיועדים לשימושים ספציפיים בתעשייה. טיפולים אלה יוגדרו באחריות הצרכן, ולא יבוצעו ע"י הרשות.

בציור 7.1 נתונה סכימה כללית של תהליך הטיפול לשימושים חזרים לצרכנים השונים.

ציור 7.1: סכימת תהליכי הטיפול המוצע לשימוש חוזר עירוני

Figure No. 7.1: Generalized flow sheet for water reuse purposes



7.3 בחירת שיטת הטיפול השניוני הבסיסי

קיימות כמה שיטות טיפול ביולוגיות מכאניות המייצרות קולחים ברמת הבסיס 20/30 וגבהה מזו, המתאימה (בתוספת טיפול שלישוני משלים) לשימוש חוזר עירוני בלתי מוגבל. בין שיטות אלה ניתן למנות את קבוצת שיטות הברצה המשופעלת, שיטות R.B.C (תופים ביולוגים טובבים או מטובעים), שיטת המסנן הביולוגי המאוורר ושיטות אחרות הרשומות כפנטטים ומשוקות ע"י חברות ספציפיות. מבין שיטות אלה, המקובלת ביותר בעולם ובארץ היא שיטת הברצה המשופעלת על צורותיה השונות. בתהליך הברצה המשופעלת ניתן לקבל איכות קולחים 20/30 ואף טובה יותר. שיטות הברצה המשופעלת השונות נבדלות ביניהן במידת העומס האורגני וההידראולי, בשיטת אספקת החמצן (איזור פעפוע או איזור שטח) ובמשטר הזרימה באגן האיזור (זרימת בוכנה, עירבוב מלא או ראקטור מנתי). בארץ מקובלות בעיקר שיטת הברצה המשופעלת הקונבנציונלית ושיטת האיזור נמשך. בשלב התיכון בעבודה זו, יבחנו שתי חלופות אלה.

7.3.1 תהליך ברצה משופעלת קונבנציונלי

בשיטה זו עוברים השפכים טיפול ביולוגי מואץ ע"י איזור מכאני, תוך עירבובם עם הברצה, המחזרת בחלקה אל אגן האיזור. התהליך עושה שימוש בתרבית חיידקים הטרוטרופיים מרחפים לפירוק החומר האורגני שבשפכים הגלמיים. המיקרואורגניזמים אחראיים להפיכת החומר האורגני לביו-מסה חדשה, לזו תחמוצת הפחמן ולמים. המיקרואורגניזמים מרוחקים מהמים כפתייתם באגן השיקוע השניוני. שיטת הטיפול כוללת ארבע יחידות פעולה עיקריות לטיפול בשפכים ושלוש עיקריות לטיפול בברצה. יחידות הטיפול בשפכים כוללות טיפול קדם, שיקוע ראשוני, איזור ושיקוע שניוני. יחידות הטיפול בברצה כוללות הסמכה, עיכול וייבוש.

יתרונות הטיפול: משך הטיפול קצר, נפח המתקנים קטן, התהליך מוכר ונצבר נסיון רב בהפעלתו. קיימים מספר פרמטרים המאפשרים בקרה על התהליך, ומהווים מענה לבעיות תפעוליות העלולות להתעורר. פרמטרים אלו הם: הגדלה באספקת החמצן, שינוי גיל הברצה וריכוז המצפים הנחלת המעורב ע"י שינוי בכמויות הברצה המסולקת מהמערכת ועוד. חסרונות העיקריים:

1. המערכת מורכבת למדי וכוללת מס' יחידות ופרמטרי תפעול רבים ולכן לצורך הפעלתה התקנה נדרשים מפעילים מיומנים ברמה גבוהה. כאשר יש מחסור במפעילים מיומנים, ביצועי המכון יהיו בדיכ נמוכים.
2. נדרשת אנרגיה רבה לתהליך האיזור.
3. נוצרת כמות ברצה גדולה יחסית שעיקרה ביולוגי, הגורמת לקשיים בטיפול.

7.3.2 תהליך איזור נמשך

שיטת האיזור הנמשך היא תהליך ברצה משופעלת בעל זמן איזור ארוך. בשיטה זו לא מתבצע שיקוע ראשוני השפכים עוברים אחרי טיפול קדם לאגן האיזור ומשם לשיקוע השניוני. זמן האיזור הארוך מאפשר חימצון מירבי של החומרים האורגניים ולכן נוצרת כמות ברצה קטנה יותר ופחות בעייתית לטיפול. צריכת האנרגיה הסגולית להרחקת צ.ח.ב בתהליך גבוהה, עקב זמן איזור ארוך וריכוז מ.מ גבוה באגן האיזור, אולם העדר שיקוע ראשוני ופישוט הטיפול בברצה מקטין את ההשקעות ומקל על פעולות האחזקה.

בנוסף, עקב זמן ההשהיה הארוך של השפכים במתקן (כ - 20 שעות), נבלמות התנודות השעתיות הקיצוניות בעומסים ההידראולים והאורגניים ותיכנון התהליך מבוסס על ספיקה יומית ממוצעת בחודש מקסימלי ולא על ספיקה יומית מקסימלית, כמו בתהליך הקונבנציונלי.

7.4 מתקן הטיפול המשלים

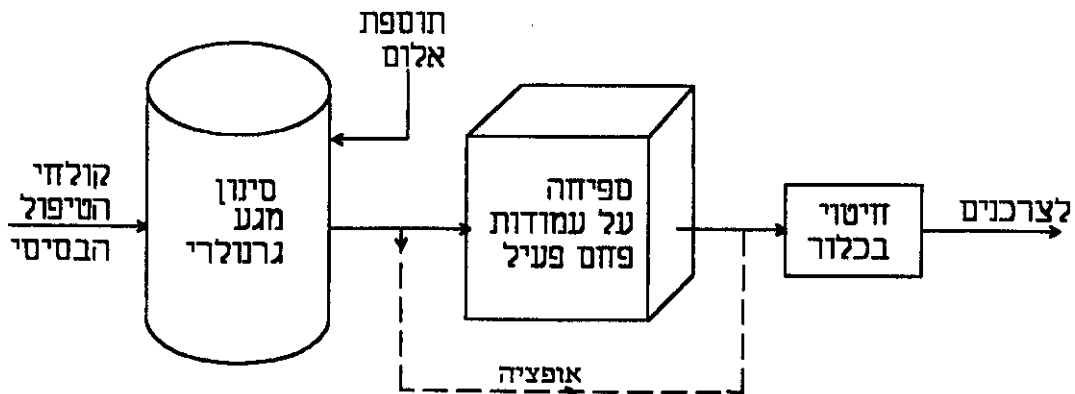
ייצור קולחים ברמה גבוהה הדרושה לצורך שימוש עירוני מגוון, מצריך טיפול נוסף מעבר לטיפול הביולוגי הבסיסי. מטרת הטיפול המשלים היא הרחקה ברמה גבוהה של מוצקים מרחפים בקולחים וקטילה כמעט מוחלטת של חידקים פתוגניים. לעיתים, בתלות ביעוד הקולחים, תידרש גם הרחקת מוצקים מומסים. אין מטרת המתקן המשלים הרחקה מוחלטת של כל המזהמים הקיימים בשפכים. מזהמים בעייתיים לתהליכים ספציפיים בתעשייה, יורחקו ע"י הצרכן המקבל, או בקצה קו האספקה לצרכן ע"י הרשות האת על מנת לא להעמיס את עלות הטיפול במזהם על כלל המערכת.

תזרים הטיפול המוצע למתקן הטיפול המשלים מוצג בציור מס' 7.2. התזרים כולל סינון מגע ע"ג מצע גרנולרי וסינון בכלור כטיפול הכרחי, ואופציה של ספיחה על פחם פעיל, כטיפול לקולחים המיועדים לשימושים ביתיים.

תזרים זה מקובל במקומות שונים בעולם כטיפול מתקדם המפיק קולחים באיכות גבוהה מאד, המיועדת לשימוש חוזר בלתי מוגבל. דוגמאות טובות לכך הן מתקני הטיפול המתקדמים ב - St. Petersburg וב Pomona California (Barletta, 1986) דוגמא אחרת היא מתקן הטיפול ב - Lake Tahoe, קליפורניה המפיק מראשית שנות השבעים איכות קולחים גבוהה מאד, המבוססת על סינון, ספיחה וחיטוי, אם כי התהליך שם מורכב הרבה יותר (South tahoe, 1971).

ציור מס' 7.2: התזרים המוצע למתקן הטיפול המשלים

Figure No. 7.2: Proposed tertiary treatment configuration for reuse projects



7.4.1 הסיבות לבחירת יחידות הטיפול בתזרים המוצע

1. סינון מגע על מצע גרנולרי עמוק

- מערכת הסינון משמשת להרחקת המוצקים המרחפים שלא שקעו באגן השיקוע השניוני. תוספת הפלוקולנט משמשת להפתחת חלקיקים קולואידיים יציבים בתמיסה, ומאפשרת הרחקתם ע"י המסנן. למעשה מתפקדת מערכת זו כמחסום ביטחון לאיכות קולחי מתקן הבסיס, גם כאשר תוצר הטיפול הביולוגי אינו עומד בסטנדרט הדרוש.

- מערכות סינון הן פשוטות להפעלה, נצבר ידע רב בהפעלתן בארץ (אם כי לא בסינון קולחים) והן מפיקות קולחים ברמה גבוהה כאשר הן מתופעלות נכון.

- סינון הוא מערכת הכרחית לפני ספיחה על פחם פעיל האת על מנת לא לגרום לסתימת מצע הפחם הפעיל בחומר מרחף, דבר הפוגע ביעילות הספיחה.

- הרחקה טובה של חומר מרחף בסינון מאפשרת חיטוי יעיל יותר במינונים נמוכים של כלור.

- הסינון חשוב מבחינה אסתטית בעיקר לקולחים המיועדים לשימושי נפש וחי.

- הסינון מרחיק חומרים אורגניים מרחפים העלולים להתרכב עם כלור בתהליך החיטוי ליצירת THM's.
2. ספיחה על עמודות פחם פעיל גרנולרי:
- הפחם מאפשר הרחקת חומרים אורגניים מומסים, להגעה לדרישות הצח"ב והצח"כ המחמירות לשימוש חוזר עירוני ביתי.
- הפחם מאפשר הרחקת צבע, טעם והקטנת עכירות הקולחים.
- מאפשר הרחקת מתכות כבדות מומסות כגון כרום, כספית, עופרת ועוד העלולות להגיע לקולחים משפכי תעשייה, לזהם את מי התהום ולפגוע בטווח הארוך בבריאות האדם.
- ספיחה על פחם פעיל היא תהליך פשוט חול יחסית לשיטות אחרות לסילוק מומסים כגון אוסמחה הפוכה חיקוק.
3. חיטוי בכלור:
- הכלור מאפשר הרחקת מיקרואורגניזמים לרמה הנדרשת לשימוש חוזר עירוני בעלות נמוכה יחסית חמינות גבוהה.
- קיים נסיון רב בשימוש בכלור אלמנטרי בארץ.
- חסרונותיו הגדולים של הכלור (יצירת T.H.M 's ורעילות גבוהה) משמעותיים פחות כשמדובר בחיטוי קולחים אחרי סינון שאינם מיועדים לשתייה ובמתקן טיפול מרחק מהעיר.

7.4.2 הערכת איכות קולחי מתקן הטיפול המשלים

איכות הבסיס הצפויה ממתקן הטיפול השניוני היא לפחות ברמה של 20/30 (20 מג"ל צח"ב, 30 מג"ל מוצקים מרחפים). רב הזמן צפויה איכות גבוהה יותר. לצורך תיכנון מתקן הטיפול המשלים הונחה איכות בטיסה של 20/30.

הערכת האיכויות הצפויות מהמתקן התבססה על נתונים ממתקנים דומים בעולם שפורסמו בספרות. על מנת להגיע להערכה מדויקת יותר יש צורך בתיכנון והפעלת מתקן חלוץ שיפעל בתנאים זהים למערכת המתוכננת.

בטבלה 7.1 מוצגות האיכויות הצפויות ממתקן הטיפול המשלים ובשלב הביניים שלו.

מקורות: EPA: wastewater disinfection, 1986, Carbon adsorption, 1973, S.S removal, 1971, Metcalf & Eddy, 1991)

טבלה מס' 7.1: איכויות הקולחים הצפויות ממתקן הטיפול המשלים

Table No. 5.1: Expected effluent qualities from tertiary treatment plant

איכות קולחים לאחר סינון, ספיחה וחיטוי	איכות קולחים לאחר סינון וספיחה	איכות קולחים לאחר סינון וחיטוי	איכות כניסה למתקן	יחידות	פרמטר
0 - 2	0 - 2	5 - 10	15 - 25	מג"ל	B.O.D
5 - 15	5 - 15	30 - 70	40 - 80	מג"ל	C.O.D
0 - 1	0 - 1	5 - 10	20 - 30	מג"ל	S.S
1,000 - 1,100	1,000 - 1,100	- 1,400 1,200	- 1,400 1,200	מג"ל	T.D.S
0.3 - 3	0.3 - 3	1 - 2	5 - 15	N.T.U	TURBITY
1 - 3	1·10 ³	2 - 10	5·10 ⁵	$\frac{1}{100}$ מ"ל	T.COLIFORM

7.5 עקרונות תיכנון מערכות האגירה, הולכה וחלוקת קולחים לשימוש חוזר עירוני

- מערכת אספקה עירונית לחלוקת קולחים ברמת איכות גבוהה, אינה שונה בהרבה ממערכות דומות המשמשות לאספקת מים עירונית. למרות זאת, ניתן להבחין בכמה גורמים המשפיעים על תהליך התיכנון:
1. אפשרות להיווצרות גידולים ביולוגים, בעיקר בקצוות קווים ובנק' נמוכות בקו.
 2. פגיעה אפשרית בצנרת ובאביזרים כתוצאה מקורחיביות המים.
 3. עומק הטמנת הצנרת. במערכות כפולות תוטמן צנרת הקולחים מתחת לצנרת המים, להקטנת הסיכוי שבמגע הקולחים עם המים השפירים ולכן עומק החפירה יהיה גדול יותר.
 4. אמינות המערכת. ברב המקרים, למעט מערכות הובלת קולחים המשמשות כמקור יחידי לכיבוי אש או כמקור בלעדי לתעשייה, ניתן לתכנן לרמת אמינות נמוכה יחסית ואין הכרח בגיבוי המערכת למקרה תקלה, דבר המחיל משמעותית את הפרוייקט. לעומת זאת, כאשר דרושה אמינות גבוהה, תתוכנן המע' על פי הסטנדרטים המקובלים לאספקת מים עירונית רגילה.
 5. בתיכנון מערכות עירוניות כפולות, יש לקחת בחשבון תוספת משמעותית של צרכנים על קווי ההולכה במרצת הזמן, חאת כשל ההפשרה הצפויה בהתנגדות לשימוש, כאשר הפרוייקט יוקם ויתפקד בשטח.
 6. מניעת חיבורים צולבים ואבטחות למניעת שתיה מקרית.
 7. קביעת מקדם השיא לספיקת התכנן יקבע בהתאם לאופי השימוש. עבור מערכות כפולות המשרתות אוכלוסייה עירונית ישירות, יקבע המקדם בדומה לאספקת מים רגילה, כלומר, מקסימום שעתי מחולט. במידה השימוש בעיקרו לתעשייה או חקלאות, בהם ניתן להניח ספיקה אחידה לאורך היום, תחושב ספיקת התכנן על פי ספיקה שעיתית ממצעת ביום המקסימלי.

7.5.1 מערכות חלוקה כפולות

פרוייקטים המטפלים בשימוש חוזר של שפכים למטרות שאינן לשתיה ומגע ישיר, מטפלים בשפכים לרמה נמוכה מרמת מי אספקה רגילים. לפיכך, לא ניתן להוביל מים אלה במערכת האספקה הרגילה אלא במערכת נוספת המתוחת במקביל לה. במערכת כפולה, מובלים לצרכנים מים בשתי איכויות שונות. מטרתה האופטימלית היא לספק מים שפירים לשתיה, בישול ורחצה וקולחים מושבים לשאר השימושים שאינם דורשים מים שפירים. ניתן להעריך שבמקסימום, כ - 50 אחוזים מהצריכה העירונית ניתנת למילוי ע"י שפכים מושבים. קשה יהיה בעתיד הנראה לעין להגיע לערך זה, אך גם כיום ניתן להשיב כמויות ניכרות.

במסגרת התיכנון עבור באר שבע ומעלה אדומים נטפל בשני סוגים של מערכות כפולות. בבאר שבע, מחברת מערכת חלוקת הקולחים צרכנים צבוריים ותעשייתיים גדולים יחסית, אינה מתחברת לבתים (בשלב הראשון), בנויה בצורת עץ ו"מתלבשת" על אזור עירוני בנרי. המערכת אינה מספקת מטיבעה מים לכיבוי אש ולכן הדרישות לאמינותה נמוכות יחסית. לעומתה, בשכונת צמח השדה במעלה אדומים, מתוכננת מערכת קולחים המקבילה באופן מלא לצנרת המים השפירים. לצנרת הקולחים יתחברו צרכנים צבוריים וביתיים והיא תתוכנן לאספקת מים לכיבוי אש, באמינות גבוהה. שתי נוסף בין שני התיכנונים נובע מהיות שכונת צמח השדה בשלבי פיתוח ראשונים בלבד כלומר עלות הנחת המע' הכפולה נמוכה מעלות הנחתה באזור בנרי.

7.5.2 מערכות חלוקה מסוג "עץ" וטבעת

מערכת חלוקה מסוג עץ - מערכות עץ נמצאות בשימוש בעיקר ברשתות הולכה קטנות יחסית, או רשתות המובילות מים למרחק רב, עבור מספר מועט של צרכנים. המאפיין החשוב של המע' מבחינה הידראולית הוא, שהספיקה הזורמת בצינור ידועה ואינה תלויה בבחירת הקוטר (בניגוד למע' טבעתית). על ידי שימוש בספיקה הידועה, ניתן לתכנן מערכת הולכה כלכלית חאת ע"י הנוסחה המקורבת הבאה (ש. אירמאי ,

$$(7.1) \quad \frac{Q_x}{Q_0} = \left(\frac{D_x}{D_0} \right)^{3.5} : \text{מדעי היסוד פרק ו')}$$

כאשר - Q_0 = הספיקה בראשית הקו ו - D_0 = הקוטר הראשוני.

Q_x = הספיקה במרחק x ו - D_x הקוטר במרחק x מהראשית.

שיטה זו מיושנת אמנם ופותחו אחריה מודלים מתחכמים יותר, אך לצורך תיכנון ראשוני היא מספקת.

מערכת חלוקה טבעתית - השוני הבסיסי בין מערכות עץ וטבעת הוא שחלוקת הספיקות כלולה אינה ידועה בתחילת תהליך התיכנון. חלוקה זו תלויה בבחירת הקטרים והיא מהווה חלק מפתרון התיכנון. ניתן לפתור מערכת טבעתית ע"י כמה שיטות איטרטיביות המבוססות על חוקי קירכהוף הראשון השני, בהתאמתם למע' הובלת מים.

במערכות אספקה עירוניות נהוג לתכנן מערכות טבעתיות חאת מהסיבות הבאות:

- א. יתרונות הידראוליים - הפסד העומד בצינור המוליך מנקודה אחת לשניה במע' עץ גדול פי ארבע בערך מהפסד העומד בצנרת טבעתית בין אותן נקודות, עקב ספיקה קטנה פי 2 הזורמת בטבעת.
- ב. יתרונות תפעוליים (אמינות) - במקרה של תקלה בה ינותק הצנור באחת מנקודות הטבעת, תהיה אפשרות לספק את המים לצרכנים אשר מעבר לנק' הפיצוץ, מצידה השני של הטבעת - דבר שלא ניתן לכצו במע' עץ.
- ג. יתרונות מבחינת טיב המים ברשת - בקוים ארוכים בעלי זרימה חד-כיוונית יכולים להיווצר כיסים של מים עומדים, העלולים לגרום לשיקוע מוצקים וגידול בקטריאלי הגורמים לבעיה תברואתית ובעיית קורחיה לצנרת.

למרות האמור, קיים שימוש נרחב גם במע' חלוקה מסוג עץ עבור מקומות קטנים ועבור מערכות מועטות צרכנים, אשר אמינות באספקה אינה המרכיב החשוב ביותר עבורם. מע' השבת קולחים אשר אינה מתפקדת כמקור בלעדי לתעשייה ואשר אינה מספקת מים לכיבוי אש תוכל להסתפק בתנחת עץ, החסכתית בעלויות.

ואריאציות שונות של מערכות הולכה חלוקה

קיימות שיטות שונות לענות על מטרת מע' ההולכה והחלוקה - אספקת מים בכמות ובלחץ הנדרשים לצרכנים. השיטות הבסיסיות מובאות להלן:

1. סניקה ישירה - סניקה ישירה של המים למערכת החלוקה ע"י משאבה בעלת הספק משתנה, או ע"י משאבה בעלת הספק קבוע ומגוף השומר על לחץ המעלה. בשיטה זו מתקבל הלחץ במע' ע"י תחנת השאיבה, הפועלת ללא הפסקה.
יתרונות השיטה - חיסכון בבריכת ויסות/מגדל לחץ ואפשרות לחיסכון באורך צנרת.
חסרונות עיקריים - עלות אנרגיה גבוהה והשבתה מיידית של המע' במקרה של הפסקת חשמל, תקלה בתחנת השאיבה או פיצוץ בקו הסניקה.

2. סניקה לבריכת ויסות ולחץ - חלוקת המים לצרכנים מבריכה הממוקמת במקום גבוה, המשמשת לויסות הצריכה וליצירת העומד הדרוש. במקומות מישוריים יש לבנות מגדל מים לצד בריכת הויסות.

יתרונות עיקריים - חיטכון באנרגיה עקב אפשרות של שאיבה בשעות השפל באספקת חשמל, תוך ניצול תעריף תעו"ז ואמינות אספקה המתבטאת במרווח זמן בין היווצרות תקלה לבין השפעתה על ציבור הצרכנים.

חסרונות עיקריים - עלות בריכת הויסות/מגדל לחץ, אורך קו צנרת ההולכה גדול.

3. סניקה ישירה + מגדלים "צפים" - שיטה זו מבוססת על מילוי נפחי המגדלים בשעות השפל בצריכה ופריקתו בשעות השיא כתוספת למערכת השאיבה. הספיקה, לזמן קצר, מגיעה לצרכנים משני כיוונים - תחנת השאיבה והמגדל. המגדלים ממוקמים על קו האספקה עצמו. שיטה זו כלכלית בעיקר כאשר מקדם השיא השעתי גדול וספיקות השיא נצרכות במשך זמן קצר וכאשר קיים מבנה טופוגרפי מתאים.

יתרונות עיקריים - הקטנת קוטרי הקוים הראשיים והקטנת העומד הנדרש מתחנת השאיבה בזמן שיא הצריכה.

חסרון השיטה נובע בעיקר מעלות המגדלים.

פרק 8. תיכנון מערכת לשימוש חוזר מתקדם בעיר בגודל בינוני - באר-שבע

פרקי התיכנון (פרקים 8 ו- 9) יתחלקו לשניים: בחלק הראשון יובא תקציר ההנחות ותוצאות התיכנון והוא מיועד לקורא המתעניין פחות בתהליך התיכנון ההנדסי לפרטיו ויותר בהיבטים הפיזיים והכלכליים של הפרוייקט. בחלק השני יובא התיכנון במלואו כולל הנחות, חישובים, מסקנות ביניים, תימחור מפורט של המתקנים וכד'. אין כוונה שהקורא יקרא את שני החלקים. דילוג על אחד החלקים אינו פוגע בכל צורה בהבנת העבודה.

8.1 חלק ראשון: תקציר נתוני התיכנון, המתקנים המוצעים ועלויות

8.1.1 ב"ש - נתוני רקע

מערכת ההשבה בב"ש תתוכנן בשלושה שלבים: שלב מידי - שנת 1997, שלב ביניים - שנת 2010 ושלב סופי - שנת 2020. בטבלה מס' 8.1 נתונות תחזיות גידול האוכלוסיה, צריכות המים ושפיעות השפכים בב"ש לפי שלבי התיכנון.

טבלה מס' 8.1: תחזית גידול אוכלוסיה, צריכות מים ושפיעות שפכים בב"ש לפי שלבי תיכנון

Table No. 8.1: Forecast of population growth, water consumption & sewage flows in Beer-Sheva according to design phases

שפיעת שפכים (מלמ"ק/שנה)	סה"כ צריכה עירונית ללא תעשייה (מלמ"ק/שנה)	צריכת מוסדות ציבור (מלמ"ק/שנה)	צריכה ביתית (מ"ק/נפש/שנה)	אוכלוסיה (באלפי תושבים)	שנה	שלב תכנון
12.8	15.7	2.2	75	180	1997	מידי
19.6	24.4	3.1	80	267	2010	ביניים
23.0	28.2	3.1	80	315	2020	סופי

8.1.2 מצב קיים

לב"ש כיום שני מתקנים המשמשים לטיפול בשפכים. עד 1985, שתי תחנות השאיבה המשניות, הדרומית והמערבית סנקו את שפכיהם לתחנת השאיבה הראשית ומשם נסנקו כל שפכי העיר למכון הטיהור מדרום מזרח לעיר. בשנת 1985 הוקם מתקן טיפול חדש ממערב לב"ש ושפכי האזור המערבי הופנו אליו. שפכי שני אזורי הביוב - המזרחי והדרומי ממשיכים להגיע למתקן הטיפול המזרחי. שני המתקנים, המזרחי והמערבי מבוססים על ברכות חימצון ואיכות קולחיהם נמוכה. קולחי המתקנים מחרמים למאגרים עונתיים (מזרחי ומערבי) הממוקמים בצמוד למתקני הטיפול ומשם הם מחרמים לצרכנים חקלאיים ממזרח וממערב לעיר. מיקום נק' האיסוף, תחנות השאיבה ומתקני הטיפול מוצג בצירור מס' 8.1.

8.1.3 צרכני קולחים פוטנציאליים

צרכני הקולחים בעיר ב"ש וסביבתה מתחלקים לארבעה סוגים עיקריים:
1. צרכנים ציבוריים כגון פארקים, גנים ציבוריים, בתי ספר, איצטדיון וכד' - סה"כ 1230 דונם שטח מושקה.

2. צרכנים תעשייתיים שהעיקריים ביניהם - מכתשים ב"ש ורמת חובב, התעשייה האוירית, חרטה קרמיקה, תרכובות ברום ב"ש ורמת חובב, מפעל קופולק ברמת חובב.
3. צריכה לגינון ביתי לאורך קוי האספקה לצרכנים הגדולים.
4. פארק מים עתידי המתוכנן בין ב"ש לקיבוץ חצרים.

8.1.4 סכימת הטיפול המוצע לפרויקט ההשבה בב"ש

מוצע להקים בב"ש שני מתקני טיפול מכאניים: מזרחי שיקלוט כ - 40% משפיעת השפכים (שכונות מזרחיות ואזור תעשייה) ומערבי שיקלוט כ - 60% (שכונות צפוניות, מערביות ודרומיות). מיקום המתקן המזרחי המתוכנן - במקום בריכות החימצון הקיימות כיום. מיקום המתקן המערבי -המוצע: מפגש הנחלים עשן, כובשים וסוללים. כמאגר קולחים מוצע מאגר אריה הקיים, כשבעה ק"מ מערבית לב"ש.

תזרים הטיפול יכלול:

- א. שני מתקני טיפול (מערבי ומזרחי) לרמת בסיס (20 מג"ל צ.ח.ב, 30 מג"ל מ.מ), לכלל שפכי העיר.
- ב. מתקן טיפול משלים הכולל סינון וחיטוי או סינון/פחם פעיל/חיטוי לצרכנים העירוניים ולאזור תעשייה רמת חובב שיוקם במתקן הטיפול המזרחי. במתקן המערבי יוקם מתקן משלים על פי דרישות האיכות מהקולחים שיופנו לפארק ב"ש חצרים.
- ג. טיפול ספציפי נוסף - באחריות הצרכן.
- ד. מאגרי קולחים שישמשו כמקור למי השקיה בחקלאות וכמקור מים לטיפול המשלים.

מתוך ניתוח הטופוגרפיה, מיקום מתקני הטיפול וסך הצרכנים הפוטנציאליים (עירוניים, תעשייתיים וחקלאיים) נקבע כי:

1. מתקן הטיפול המזרחי יספק קולחים למערכת הפנים עירונית כולה, לצרכני התעשייה ברמת חובב ולצרכנים חקלאיים הממוקמים ממזרח לב"ש.
2. מתקן הטיפול המערבי יספק קולחים לפארק ב"ש-חצרים הנמצא בקרבתו, ולצרכנים חקלאיים ממערב לעיר.

חלוקה זו התקבלה מהסיבות הבאות:

- א. ריחוק מתקן הטיפול המערבי מהעיר, עקב הצורך לקלוט בגרויטציה את שפכי השכונות הצפוניות והדרום מערביות, היה מייקר את סניקתם והובלתם של הקולחים לעיר.
- ב. במקומו המתוכנן, קרוב מתקן הטיפול המערבי לצרכנים חקלאיים פוטנציאליים רבים. בקרבת המאגר של חברת הפיתוח של מושבי הנגב (מאגר אריה), הקולט כיום את שיפכי מערב העיר, מעובדים כיום כ - 4,000 דונם. לחברה אופציה של הרחבה בעוד 3,000 דונם באזור בתוספת לשטחים בלתי מנוצלים של קיבוץ חצרים. באופן כללי, הטופוגרפיה יורדת לכיוון מערב ולכן יש הגיון בניצול הקולחים מערבה ודרומה.
- ג. מתקן הטיפול המזרחי ממוקם בקירבת העיר, עובדה המחילה את עלות הצנרת והסניקה להשבה עירונית.
- ד. עפ"י תוכנית האב, אין אפשרות לניצול כל השפכים המתנקזים באופן טיבעי במזרח העיר לחקלאות. לפיכך ועל מנת למנוע גלישות לנחל ב"ש, רצוי לנצל את הקולחים למערכת הפנים עירונית ולרמת חובב. בצירוף 8.3 מובא תרשים זרימה סכמתי של תנחת הטיפול המוצעת לפרויקט ההשבה בב"ש.

8.1.5 מתקן הטיפול הבסיסי

על פי התיכנון, יוקמו בבאר-שבע שני מתקני טיפול מכאניים, מזרחי ומערבי לטיפול בכלל שפכי העיר. מתקן הטיפול המזרחי יקלוט את שפכי השכונות המזרחיות (כ- 40 אחוז מסך השפכים), יטפל בהם לרמת בסיס (20/30 או יותר), ויעבירם למאגר קולחים שימוקם מערבית ובצמוד למתקן. מאגר קולחי המתקן המזרחי ישמש כמקור מים לטיפול המשלים ולשימושים הפנים עירוניים בב"ש ורמת חובב וכמקור מים ללא טיפול נוסף לשטחי החקלאות מצפון וממזרח.

מתקן הטיפול המערבי יטפל בקולחי מערב ודרום העיר, גם כן לרמת בסיס. חלק מקולחיו יעבור טיפול שלישוני, זהה לטיפול במתקן המזרחי (ההחלטה על שילוב מתקן ספיחה על פחם פעיל לקולחי המתקן המערבי כחלק מהטיפול המשלים, תתקבל בתלות ביעוד המים בפארק ב"ש-חצרים כפי שיתוכנן) ויחרם לפארק ב"ש-חצרים. שאר הקולחים יועברו ללא טיפול נוסף לשטחים החקלאיים במערב. בפרק זה, יוצג התיכנון והערכת העלויות למתקן הטיפול המזרחי הבסיסי. הערכת העלויות תשמש כבסיס גם עבור מתקן הטיפול המערבי.

נבחנו שתי חלופות למתקן הטיפול הבסיסי:

1. מתקן ברצה משופעלת קונבנציונלי הכולל שיקוע ראשוני, טיפול ביולוגי, שיקוע שניוני ומתקני טפול ברצה - הסמכה, עיכול אנאירובי והוצאת מים ע"י מכבש רצועה.
2. מתקן ברצה משופעלת איורר נמשך הכולל טיפול ביולוגי, שיקוע שניוני ומתקני טיפול ברצה - הסמכה, עיכול אנאירובי והוצאת מים ע"י מכבש רצועה.

החלופה שנבחרה היא חלופה מס' 2 מהסיבות הבאות:

1. עלות השקעה ותפעול נמוכים יותר.
2. הטיפול ברצה בעייתי פחות מאשר במתקן קונבנציונלי.
3. פשטות בתפעול ואחזקת המתקן.

8.1.5.1 תיאור כללי של מרכיבי מתקן הטיפול הבסיסי

להלן מוצגים מספרית הפרמטרים ההנדסיים העיקריים של מתקן הטיפול.

נתוני השפכים הגולמיים

- ספיקת תבן: 16,800 מק"י.
- עומס צ.ח.ב ממוצע: 5.6 טון ליממה.
- ריכוז צ.ח.ב ממוצע: 400 מג"ל.
- ריכוז מ.מ ממוצע: 450 מג"ל.
- ריכוז אמוניה ממוצע: 50 מג"ל.

טיפול קדם

- תחנת שאיבה ראשית: 2 משאבות במקביל, ספיקת כל משאבה 500 מק"ש, עומד התחנה 40 מ'.
- מגובים מכאניים: 2 יחידות, מרווח בין מוטות - 2.5 ס"מ.
- אגני שיקוע גרוסת מאוור: 2 יחידות בנפח 40 מ"ק כ"א ולספיקה של 500 מק"ש.

טיפול ביולוגי

- נפח אגן האיורר: 13,600 מ"ק.
- ריכוז ביומסה נדיפה באגן האיורר: 3,500 מג"ל.
- גיל ברצה: 25 יום.
- יחס סיזרור: 0.8.
- הספק מאוורים דרוש: 240 קילו וואט.
- שטח כולל לשיקוע שניוני: 1150 מ"ק.
- עומס הידראולי ממוצע: 0.6 מ"ק למ"ר לשעה.

טיפול ברצה

- נפח ברצה גלמית לטיפול: 315 מ"ק ליממה.
- שטח אגן הסמכה ע"י פלוטציה: 27 מ"ר, הספק מדחס דרוש - 7.6 קילו וואט.

- נפח אגן עיכול אנאירובי: 780 מ"ק.
- רחב רצועת מכבש הרצועה להוצאת מים מהבוצה: 1.3 מטר, כמות הפולימר הדרושה - 23 ק"ג ליום.

8.1.6 מתקן הטיפול המשלים

- מתקן הטיפול המשלים מורכב ממרכיבי הטיפול הבאים לפי הסדר: סינון מגע, ספיחה על פתח פעיל (אופציה) וחיטוי ע"י כלור.
- הפעלת המתקן בהתאם למפלס בריכות ויסות הקולחים בב"ש וברמת חובב. שרטוט סכמטי של המתקן המתוכנן מובא בציור מס' 8.5.
- מתקן הטיפול המשלים מורכב מהמודולים הבאים:
1. תחנת שאיבה מקומית למתקן המשלים.
 2. מערכת אכסון ומינון אלום לסינון מגע.
 3. מערכת הסינון.
 4. מתקן ספיחה על עמודות פחם פעיל גרנולרי + מתקן רגנרציה. (אופציה)
 5. מערכת חיטוי כלור (חיטוי מוקדם ומשלים)
 6. מערכת פיקוד.

8.1.6.1 תיאור כללי של מרכיבי מתקן הטיפול המשלים

- תחנת שאיבה ממאגר הקולחים למתקן: ספיקה - 400 מ"ק/ש, עומד 30 מ', מס' משאבות - 2, הספק התחנה 45 קילו וואט.
- 8 מסננים של 50 מ"ק/ש כ"א, שטח סינון כולל - 40 מ"ר, עומס הידראולי - 10 מטר לשעה, מצע דו שכבתי - שכבה עליונה-אנטרציט, שכבה תחתונה-חול קווארץ, פלוקולנט - אלום, שטיפה נגדית ע"י מים ואויר.
- אופציה של ספיחה על פחם פעיל גרנולרי, 4 גלילי פחם בקטר 3.5 מ', נפח ספיחה אפקטיבי - 160 מ"ק, זמן מגע - 24 דקות, עומס הידראולי - 10 מטר לשעה, כיוון זרימת הקולחים - מלמטה למעלה.
- מתקן לרגנרציה של פחם פעיל מסוג אינפרא אדום המטפל בכמות פחם יומית של 240 ק"ג, אבדן פחם בתהליך - כ 9,000 ק"ג לשנה.
- מערכת חיטוי ע"י כלור אלמנטרי הכוללת כלורנטור ואיזקטורים למיהול הכלור במים והזרקתו בלחץ לקו, מערבול סטאטי ליצירת עירבול ומגע בין הכלור למים, מד כלור נותר, גלאי כלור גזי.
- מערכת פיקוד המבוססת על בקר מתוכנת.

8.1.7 מערכת הובלת הקולחים וחלוקתם לצרכנים

- מערכת ההולכה מורכבת משני ענפים עיקריים: ענף המוביל לצרכנים הפנים עירתיים בב"ש וענף המוביל קולחים לצרכנים ברמת חובב.

עבור ההולכה לב"ש נבדקו שלש חלופות:

- 1: סניקה 24 שעות ביממה לבריכת ויסות שתמוקם ע"י אנדרטת ב"ש, ברום של 360 + מ'. מהבריכה יונח קו לחץ גרויטציוני לעיר.
 - 2: כמו חלופה 1, אבל שאיבת לילה בשעות השפל בצריכת חשמל לבריכת הויסות, תוך ניצול תעריף תעריף תעריף.
 - 3: סניקה ישירה לצרכנים בשעות השיא, ללא ויסות, ע"י משאבה עם סליד משתנה, או ע"י שמירת לחץ מעלה קבוע.
- בציורים 8.8 ו- 8.9, נתונות תנחות חלופות ההולכה השונות.
- החלופה הנבחרת היא חלופה 1 מהסיבות הבאות:
1. עלות הובלה וחלוקה למ"ק היא הנמוכה ביותר אם כי בהפרש לא משמעותי משאר החלופות.

2. מתחברים בחלופה זו מירב הצרכנים (כמו בחלופה 2)
3. קיום נפח ויסות (2,000 מ"ק).
4. מערכת סניקה פשוטה ואמינה.
5. פעולה רצופה של מתקן הטיפול המשלים.

עבור ההולכה לרמת חובב נבדקו שתי חלופות: שתיהן מבוססות על הולכה של 10 ק"מ לכריכת ויסות הממוקמת כ 650 מטר צפונית לאתר. ההבדל בין החלופות התבטא במספר שעות הסניקה היומיות לכריכה. מבריכת הויסות מוליך קו גרויטציוני באורך 4 ק"מ לצרכנים. לא התבצע עבור רמת חובב תיכנון פנימי של קוי החלוקה באתר.

חלופה 1: סניקה רצופה 24 שעות לכריכת הויסות. בחלופה זו עלות האנרגיה גבוהה אך קוטר צינור ההולכה ונפח בריכת הויסות קטנים יחסית.
חלופה 2: סניקה בשעות הלילה תוך ניצול תעריף תעויו. יתרון חלופה זו בעלות אנרגיה נמוכה. חסרונה - קוטר צנור הולכה ונפח ויסות גדולים ויקרים.

החלופה הנבחרת היא חלופה 1 מהסיבות הבאות:

- עלות השקעה נמוכה יותר באופן משמעותי.
 - עלות ההפעלה גם היא נמוכה יותר אם כי לא בהפרש משמעותי (עבור תנאי מימון של 5%).
 - בתנאי ריבית גבוהים יותר תהיה עדיפות בולטת לחלופה 1.
 - פעולה רצופה של מתקן הטיפול המשלים.
- בצינור מס' 8.10 מוצגת תנחת קוי ההולכה ובריכת הויסות לרמת חובב.

8.1.8 ריכוז עלויות הפרוייקט

הערות כלליות:

1. כל העלויות נתונות בשקלים ומעודכנות לחודש ינואר 1994. מדד קובע - מדד עלויות הבניה, 193.6 נקודות.
2. הריבית לצורך חישוב החזר הון עבור כל המתקנים - 5%.
3. הנחות נוספות כגון שנות קיים אבחרים, פירוט פונקציות העלות ומקורותיהן, עלויות אחזקה ואנרגיה וכד' - ראה נספח 1.

בטבלה 8.2, נתונות עלויות ההשקעה, הפעלה ועלות למיק שפכים העובר טיפול בסיסי שניוני וטיפול משלים שלישוני. העלויות יוצגו בשלש צורות:

- א. כולל עלות מתקן הבסיס.
- ב. ללא מתקן הבסיס בהנחה שחובת הרשות להקימו בכל מקרה.
- ג. כולל/לא כולל מתקן ספיחה על פחם פעיל.

טבלה מס' 8.2: ריכוז עלויות מע' ההשבה בבאר שבע

Table No. 8.2: Summary of investment & operation costs for Beer-Sheva's reuse system

סה"כ *	מע' הולכה	מתקן טיפול משלים *	מתקן טיפול בסיסי	יחידות	
עלות טיפול והולכה לבאר שבע (1,000,000 מ"ק בשנה)					
(25.1)		(1.41)			
32.5	3.9	8.75	19.84	מליוני ש"ח	עלות השקעה
(4.46)		(0.43)			
5.44	0.45	1.41	3.58	מליוני ש"ח לשנה	עלויות שנתיות
1.79	0.45	0.62	0.72	ש"ח למ"ק	עלות כוללת למ"ק
1.34	0.45	0.17	0.72	ש"ח למ"ק	עלות למ"ק כולל טיפול בסיס ללא ספיחה על פחם פעיל
1.07	0.45	0.62	—	ש"ח למ"ק	עלות למ"ק ללא טיפול בסיסי כולל ספיחה על פחם פעיל
0.62	0.45	0.17	—		עלות למ"ק לא כולל טיפול בסיסי וללא ספיחה
עלות טיפול והולכה לרמת חובב (1,500,000 מ"ק בשנה)					
(25.7)		(1.41)			
33.1	4.51	8.75	19.84	מליוני ש"ח	עלות השקעה
(4.54)		(0.43)			
5.52	0.53	1.41	3.58	מליוני ש"ח לשנה	עלויות שנתיות
1.64	0.36	0.56	0.72	ש"ח למ"ק	עלות כוללת למ"ק
0.92	0.36	0.56	—	ש"ח למ"ק	עלות למ"ק ללא טיפול בסיסי
0.53	0.36	0.17	—	ש"ח למ"ק	עלות למ"ק ללא טיפול בסיסי ללא ספיחה
1.25	0.36	0.17	0.72		עלות למ"ק כולל טיפול בסיס וללא ספיחה

* - הערכים בסוגריים מבטאים עלויות טיפול ללא ספיחה על פחם פעיל.

מיקום נוביו בריכות זימרון
מסלולי ומאגר מוליחים

ראשון לציון
מיקום מוקדם

מחנה טיפול מודרני

מחנה טיפול עתיק

מחנה טיפול עתיק

מחנה טיפול עתיק

מחנה טיפול עתיק

מחנה טיפול עתיק

1:50,000
קני"מ

מסלול

קו טינקת קי"מ

קו גרדיאציוני קי"מ

קו טינקת מתוכנן

תחנת שאיבה

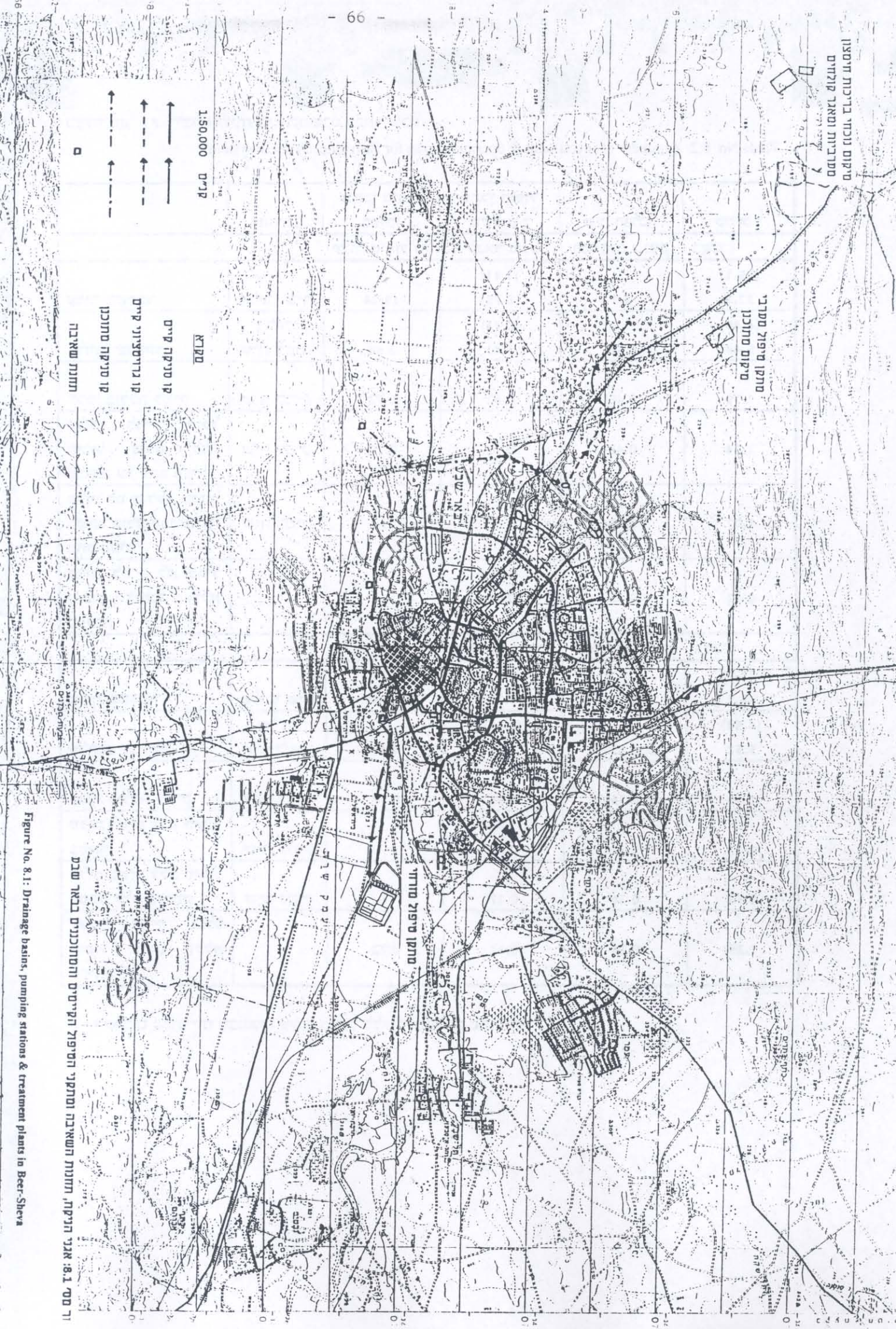
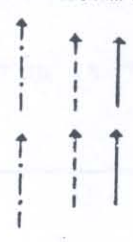


Figure No. 8.1: Drainage basins, pumping stations & treatment plants in Beer-Sheva

ור סס 8.1: אגני הליקוט, תחנות השאיבה ומתקני הטיפול הקיימים והמתוכננים בבאר שבע

8.2 חלק שני - תיכנון מערכת השבה לבי"ש (מורחב)

העיר בי"ש - נתונים כלליים

8.2.1 טופוגרפיה וחלוקה לאגני ביוב

מבחינה טופוגרפית, העיר בי"ש בגבולות המתאר המורחבים, נמצאת באגני ההיקוות של שלושה נחלים עיקריים: נחל בי"ש מזרזום, נחל פטיש על שלוחותיו ממערב ונחל גרר מצפון. בגבולות המתאר הנוכחיים, העיר ממוקמת ברמה הנמצאת בין נחל בי"ש ונחל פטיש. החלקים המרכזי והדרומי של העיר מתנקזים לנחל בי"ש ע"י ואדיות שכוונם הכללי צפון-דרום, עם נטייה קלה מערבה. החלקים הצפוני והמערבי מתנקזים לנחל פטיש דרך נחל כובשים ונחל עולים. מצפון לבי"ש נמצא נחל גרר שינקו בעתיד את השכונות הצפוניות העתידיות של בי"ש. כל הנחלים - בי"ש, פטיש וגרר הם שלוחות של נחל הבשור ומתלכדים יחד מצפון מערב לבי"ש, במרחק של 30 ק"מ. באופן טבעי, מחולקת בי"ש לשני אגני ניקח עיקריים: מזרחי, המתנקז לנחל בי"ש ומערבי, המתנקז לנחל פטיש, כאשר קו פרשת המים מסומן במפת החלוקה המצורפת. מעשית, מבחינת מערכת המאספים הקיימת, העיר מחולקת לשלושה אגני נקח (ראה ציור 8.1):

- אזור ביוב מזרחי: מתנקז לנקודה על הגדה הצפונית של נחל בי"ש.
- אזור ביוב מערבי: מתנקז לנקודה ממערב לבי"ש, בקצהו של נחל עולים.
- אזור ביוב דרומי: מתנקז לנקודה על הגדה הצפונית של נחל בי"ש במורד הנחל, במרחק של 2.2 ק"מ מנקודת הריכוז של אגן הביוב המרכזי.

8.2.2 תחזיות גידול אוכלוסיה וצריכות מים ע"פ שלבי התיכנון

טבלה מס' 8.3: שלבי תיכנון, תחזיות גידול אוכלוסיה וצריכת מים בבאר-שבע

Table No. 8.3: Forecast of population growth, water consumption & sewage flows in Beer-Sheva according to design phases

שלב תיכנון	שנה	אוכלוסיה (באלפי תושבים)	צריכה ביתית (מ"ק/נפש/שנה)	צריכת מוסדות ציבור (מלמ"ק/שנה)	סה"כ צריכה עירונית ללא תעשייה (מלמ"ק/שנה)
	1972	85.3 ^א	70 ^א		7.0
	1980	109.6 ^א			
	1985	115 ^א	68 ^א	1.4 ^א	11.0
	1989	113.8 ^א	70 ^א		
	1992	135 ^א	75 ^א		12
מייד	1997	180 ^{א,ב}	75 ^א	2.2 ^א	15.7
ביניים	2010	267 ^א	80 ^א	3.1 ^א	24.4
סופי	2020	315 ^א	80 ^א	3.1 ^א	28.2

^א עפ"י שנתון סטטיסטי (1993)

^ב עפ"י תוכנית האב למים (1986) • עפ"י ת.מ.מ 4 • עפ"י תוכנית אב לביוב (1992).

הערה: לשלב המידי - בשנת 1997 התנחה אוכלוסיה של 180,000 נפש, בנגוד לתחזית ת.מ.מ 4, המניחה אוכלוסיה של 240,000 נפש. אפשר להניח שתחזית ת.מ.מ 4 מוגזמת. עבור שנת 2010 ו- 2020, כלומר

הטוח הבינוני והארוך לפרויקט, נקבעה אוכלוסית תיכונן כפי שהונח ע"י ת.מ.מ. 4, למרות שהסבירות הגבוהה היא שהתחזית לא תתממש.
משמעות להנחת האוכלוסיה בטוח הארוך נובעת בעיקר לגבי מערכת איסוף השפכים, בה לא עוסקת עבודה זו. מתקן הטיפול יתוכנן לשלב המייד, עם אופציה להרחבה מודולרית בשלב הביניים (2010) והשלב הסופי (2020).

8.2.3 תאור מערכות האיסוף והטיפול הקיימות

לביש כיום שני מתקנים המשמשים לטיפול בשפכים. עד 1985, שתי תחנות השאיבה המשניות, הדרומית המערבית סנקו את שפכיהם לתחנת השאיבה הראשית ומשם נסנקו כל שפכי העיר למכון הטיפול מדרום מזרח לעיר. בשנת 1985 הוקם מתקן טיפול חדש ממערב לביש ושפכי האזור המערבי הופנו אליו. שפכי שני אזורי הביוב - המזרחי והדרומי ממשיכים להגיע למתקן הטיפול המזרחי. שני המתקנים, המזרחי והמערבי מבוססים על ברכות חימצון ואיכות קולחיהם נמוכה.
בנקודת הריכח המתוארות בסעיף 8.2.1, ממוקמות תחנות השאיבה. אזור הביוב המרכזי מתנקז לתחנת השאיבה הראשית, האזור המערבי מתנקז לתחנת השאיבה המערבית והדרומי לתחנת שאיבה דרומית. עם הרחבת העיר דרומה (שכונת חצרים), חפון מערבה (נחל עשן ורמות), שתי נקודות הריכח של האגן המערבי והדרומי לא יקלטו את המאספים מהשכונות החדשות ונקודות הריכח החדשות ירדו במורד הנחלים. בהתאם לכך, נקודת הריכח הדרומית תרד במורד נחל ב"ש למקום שכל שכונת חצרים תקלט בגרויטציה ונקודת הריכח המערבית תרד במורד נחל עולים למקום המפגש של הנחלים עשן כובשים ועולים, שם ירוכזו בעתיד כל מאספי הביוב המגיעים מהשכונות הצפוניות המתוכננות ובעיקר משכונת רמות.

8.2.4 מיקום מתקני הטיפול ופוטנציאל ההשבה בקירבתם

קביעת מיקום מתקני הטיפול מושפעת ממספר גורמים:

1. טופוגרפיה: מינימום שאיבת שפכים למתקן.
2. מצאי השטח למכון כולל הרחבה לשלב הסופי.
3. בעיות סביבתיות: מרחק מישובים, כיווני רוחות, אפשרות זיהום אקופרים.
4. קירבה לצרכני הקולחים הפוטנציאליים.
5. אפשרות לגלישת חרום.

מתקן הטיפול המזרחי

מיקומו הנוכחי של מתקן הטיפול המזרחי בעייתי מבחינת קרבתו לעיר ויצירת מטרדי ריח, אך מטרד זה יקטן בהרבה לאחר שיבנה המתקן המכאני המתוכנן. מבחינה טופוגרפית, מקומו לא אידאלי ויש לטנק אליו גם חלק משופכי האגן המזרחי. יתרון מיקומו הנוכחי של האגן המזרחי הוא במצאי קרקע, אפשרות לגלישת חרום לנחל ב"ש (אם כי לתוך העיר) והעובדה שאין צורך בהשקעה גדולה נוספת לפיתוח. למיקום מתקני הטיפול המזרחי והמערבי - ראה ציור 8.1.

ניצול פוטנציאלי של קולחי המתקן המזרחי

למתקן הטיפול המזרחי ארבע אופציות לניצול הקולחים:

1. חקלאות בעמק שרה: כ - 6000 דונם להם מוקצבים ע"י נציבות המים 4.2 מלמ"ק קולחים.
2. אזור התעשייה ב"ש ובעיקר המפעלים: תעשייה אזורית, מכתשים, חרסה קרמיקה ויתבנו מפעלים נוספים בעתיד.
3. אזור התעשייה ברמת חובב.
4. צרכנים עירוניים לגינתן והשקיה כגון פארקים, בתי ספר, איצטדיון הכדורגל וכד'.

שטחים חקלאיים נוספים קיימים מצפון מזרח לבי"ש באזור צומת שוקת. העברת הקולחים לשם נבדקה בעבר ביחמת העירייה ונמצאה לא כלכלית כיון שמדובר על הולכה למרחק של יותר מעשרה ק"מ וסניקה לגובה של כ - 100 מטר.

מתקן טיפול מערבי

מתקן הטיפול המערבי ימוקם במפגש הנחלים כובשים, עולים ועשן (ראה ציור מס' 8.1), על מנת לקלוט בגריטציה את שפכי השכונות הצפון - מערביות החדשות בנוסף לשכונות המערביות הוותיקות.

מיקום המתקן במקום זה אידיאלי מהסיבות הבאות:

1. רחוק מישובי הסביבה - בי"ש ואופקים.
2. נמצא קרוב לצרכני הקולחים החקלאיים ופארק בי"ש חצרים המתוכנן.
3. אין הגבלה על אפשרויות הרחבה כולל תוספת מאגר במקרה הצורך.
4. אפשרות לגלישת חרום לנחל פטיש.

ניצול פוטנציאלי של קולחי המתקן המערבי

ממערב לבי"ש מצויות קרקעות חקלאיות בהיקף גדול בהרבה מאשר ממזרח לעיר. כיום קולט את קולחי מתקן הטיפול המערבי מאגר של חב' הפתוח של מושבי הנגב, המשקה כ - 4000 דונם. לקבוץ חצרים כ - 3000 דונם שאינם מנוצלים ויותר ממערב יש שטחים נוספים המושקים כיום רק בחלקם ע"י מפעל "שפדן" המסוגלים לקלוט כמויות קולחים גדולות נוספות בעתיד. צרכן פוטנציאלי גדול נוסף הוא פארק בי"ש חצרים המתוכנן, הממוקם מדרום למתקן הטיפול.

במקומו הנוכחי של מתקן הטיפול אין הצדקה כלכלית לסנוק את קולחיו לעיר עקב המרחק הרב ומיעוט הצרכנים העירוניים בחלקה המערבי של העיר.

8.2.5 שפיעת שפכים

ממדידות שנערכו לגבי היחס צריכת מים - ספיקת כיוו בבי"ש בעבר (תכנית האב, 93), התקבלה תוצאה של כ - 50% באזור המזרחי הכולל יותר מוסדות כגון אוניברסיטה, בית חולים ואזור תעשייה. תכנית האב מניחה יחס של 75% שהוא יחס מקובל בארץ. הפחת בבי"ש מוערך בכ - 7%. בטבלה 8.4 מפורטת ספיקת השפכים הצפויות בבי"ש לפי שלבי התיכונן.

טבלה מס' 8.4: פרוט ספיקות שפכים בבי"ש לפי שלבי תיכונן

Table No. 8.4: Raw sewage flows according to design phases

שלב תיכונן	שנה	ספיקת שפכים ביחית וציבורית (מלמ"ק/שנה)	ספיקת שפכי תעשייה * (מלמ"ק/שנה)	סה"כ שפיעת שפכים שנתית (מלמ"ק/שנה)
מיידר	1997	11.0	1.8	12.8
ביתיים	2010	17.0	2.6	19.6
סופי	2020	19.7	3.3	23.0

* ע"פ תכנית האב לשפכים, 1993

8.2.6 חלוקת ספיקות השפכים בין מתקן הטיפול המזרחי והמערבי

שפיעות הביוב הכוללות מתחלקות כאמור לשלוש אגני ניקוח: מזרחי, מערבי ודרומי. המלצת תוכנית האב לביוב היא לרכו את שופכי אגן הניקוח הדרומי והמערבי במתקן הטיפול המערבי, מכיוון שאפשרויות הניצול החקלאי של הקולחים במערב גדולות בהרבה מאשר במזרח העיר. בנוסף, התפתחות העיר לכיוון דרום מזרח, מרחיקה את נק' האיסוף הדרומית מערבה לתוך נחל ב"ש ולכן יהיה כדאי יותר בעתיד הקרוב לסנוק את השפכים למתקן הטיפול המערבי במקום למתקן הטיפול המזרחי, לשם הם מגיעים כעת.

פילוג ספיקות השפכים המתנקזות בשלב המיידני לנק' האיסוף באזחים:

אגן מזרחי 40% מסך השפכים - מתנקז למתקן טיפול מזרחי.

אגן מערבי 42% מסך השפכים - מתנקז למתקן טיפול מערבי.

אגן דרומי 18% מסך השפכים - ייסנק למתקן טיפול מערבי.

בטבלה 8.5 נתונות ספיקות התכן לשלב המיידני לטיפול המזרחי והמערבי המבוססות על ערכים אלה.

טבלה מס' 8.5: ספיקות תכן למתקני הטיפול המזרחי והמערבי בב"ש.

Table No. 8.5: Design flows for western and eastern treatment plants

ספיקה שעתית ממוצעת ביום מקסימום (מק"ש)	ספיקה תכן יומית (ממוצע בחודש מקס') (מק"י)	ספיקה שנתית (מ"ק/שנה)	
800	16,800	5,120,000	מתקן טיפול מזרחי
1,200	25,000	7,680,000	מתקן טיפול מערבי

מקדמי אי שוויון: מקסימום חדשי - 1.2, מקסימום יומי - 1.38.

8.2.7 נתוני איכות השפכים בבאר שבע

כמות הנתונים הקיימת בנוגע לאיכות שפכי באר שבע - קטנה מאד. תכנית האב לביוב מניחה ממוצעי צח"ב וממ הקרובים לערכי הממוצע הארציים: ריכוז צח"ב - 370 מג"ל, ריכוז מ.מ. - 400 מג"ל. בעבודה זו נניח ליתר כלליות: ריכוז צח"ב - 400 מג"ל, ריכוז מ.מ. - 450 מג"ל, ריכוז אמוניה - 50 מג"ל.

8.2.8 צרכני הקולחים ופוטנציאל ההשבה הכללי

צרכני הקולחים בעיר ב"ש וסביבתה מתחלקים לארבעה סוגים עיקריים:

1. צרכנים ציבוריים כגון פארקים, גנים ציבוריים, בתי ספר, איצטדיון וכד'.
2. צרכנים תעשייתיים.
3. צריכה לגינת ביתי.
4. פארק מים עתידי.

אם כי בתיכון מערכת ההשבה הנחנו כי בשלב המיידני לא יתחברו צרכנים ביתיים, הרי שלצורך קליטה עתידית של צרכנים ביתיים נלקח בחשבון במע' ההולכה קוטר אחד גדול מהקוטר הכלכלי המחושב שהתקבל. מבדיקה ראשונית התקבל בבירור כי אין כדאיות כלכלית לרישות מלא של באר שבע ע"י

הצנרת עקב הצורך בעבודה בשטחים בנויים ומאוכלסים בצפיפות. לפיכך, אספקה ביתית תתאפשר בעתיד רק לאורך קו ההולכה לצרכנים הציבוריים והתעשייתיים.
טבלה מס' 8.6 מובאים הצרכנים הפוטנציאליים, ונתוני צריכות שנתיות וספיקות תכן מחושבות.

טבלה מס' 8.6: צרכני קולחים פוטנציאליים וצריכותיהם בבאר-שבע

Table No. 8.6: Potential consumers of treated effluent in Beer-Sheva

מס' צרכן	שם הצרכן	ייעוד הקולחים	שטח מושקה (דונם)	רום טופוגרפי (מ)	צריכת מים להשקיה (מ"ק/דונם/שנה)	צריכת מים שנתית (מ"ק/שנה)	ספיקת תכן (מק"ש)
צרכנים פנים עירוניים							
1	מכתשים ב"ש	תעשייה	-	295	-	215,000	70
2	תעשייה אוירית	תעשייה	-	290	-	28,000	9
3	חרסה קרמיקה	תעשייה	-	290	-	20,000	6.5
4	תרכובות ברזם	תעשייה	-	285	-	16,000	5
5	פארק יער האגדרטה	אקסטנסיבי	300	360	200	60,000	21
6	גן הקומנדו הצרפתי	גינן	11	285	1,000	11,000	5
7	גן אליעזר	גינן	14	300	1,000	14,000	5
8	גינן אוניברסיטה	גינן	-	290	-	50,000	17
81	גן סיאטל	גינן	4	300	1,000	4,000	5
82	גן יונתן	גינן	8.5	310	1,000	8,500	5
83	פארק ד'	גינן	106	290	1,000	106,000	37
9	המכון לחקר הנגב	גינן	80	280	1,000	80,000	28
91	גן הראשונים	גינן	23	275	1,000	23,000	8
92	גן תיאטרון ב"ש	גינן	25	275	1,000	25,000	9
93	משתלה עירונית	גינן	18	280	2,000	36,000	12
10	איצטדיון עירוני	דשא	8	270	2,000	16,000	8
101	כיכר עליית הנער	גינן	30	275	1,000	30,000	11
102	כיכר בר-אילן	גינן	30	275	1,000	30,000	11
103	מדשאות בתי ספר	גינן	25	275	1,000	25,000	9
11	גן מרדכי	גינן	28	270	1,000	28,000	10
12	גן קדושי קהיר	גינן	8	260	1,000	8,000	5
13	גן גדולי ישראל	גינן	36	270	1,000	36,000	12
14	גן ילדי טהרן	גינן	3	265	1,000	3,000	2
15	גן ראול	גינן	5	265	1,000	5,000	2
16	יער לון	אקסטנסיבי	450	260	200	90,000	31
17	קאנטרי קלאב	גינן	8.5	260	1,000	8,500	5
18	מדרכות ואיי תנועה	גינן	10	-	1,000	10,000	5
	סיכום ביניים		1,230			986,000	
איזור תעשייה רמת חובב							
19	מכתשים רמת חובב	תעשייה	-	-	-	500,000	-
20	תרכובות ברזם ר"ח	תעשייה	-	-	-	560,000	-
21	קופולק	תעשייה	-	-	-	55,000	-
	סיכום ביניים					1,115,000	
פארק גומש							
22	פארק ב"ש חצרים	נפש וייעוד	?			?	
	סה"כ					2,100,000	

הערות לטבלה:

1. חישוב ספיקות התכן לגינות, התבסס על 8 חודשי השקיה בשנה ו- 12 שעות השקיה ביום, בהנחה של השקיה בטפטוף טמון.
2. צריכת מפעלי התעשייה נלקחה כ- 70 אחוז מצריכתם השנתית למים בשנת 1992. חישוב ספיקת התכן למפעלי התעשייה התבסס על שישה ימי עבודה בשבוע, 10 שעות ביום בממוצע.
3. בעיר קיימים מספר צרכנים פוטנציאליים נוספים, בעיקר בעיר העתיקה ובשכונות החדשות. אלה לא הוכנסו לתוכנית מטעמים של חוסר כדאיות כלכלית לחיבורם, בשל מרחקם הגדול מהרשת וצריכתם הקטנה יחסית.
4. לפני תיכנון אקטואלי של פרויקט ההשבה, יהיה צורך לבדוק את נכונות הצרכנים להצטרף לפרויקט. בציור מס' 8.2 נתונים מיקומי הצרכנים העירוניים בבאר שבע.

מבחינה גאוגרפית ניתן להגדיר 3 ריכחי צרכנים עיקריים:

- א. צרכנים ציבוריים ותעשייתיים פנים עירוניים.
- ב. צרכני תעשייה באזור התעשייה ברמת חובב.
- ג. פארק נופש "באר שבע - חצרים" המתוכנן להקמה ממערב לבאר שבע וצפונית לחצרים.

8.2.8.1 הרחבה בנושא פארק ב"ש-חצרים

פארק ב"ש חצרים מתוכנן להקמה ממערב לב"ש ומצפון לקיבוץ חצרים. תצ"א של השטח המיועד לפארק מובא בציור מס' 8.3. תוכניות ראשונות לניצול השטח הוכנו ע"י האדריכל צבי דקל מת"א, עבור מועצה אזורית שמעונים. הטיפול בהקצאת השטח למטרת נופש נמצא כעת בוועדה המתחית. במידה והתוכנית תאושר, קיימות אפשרויות מגוונות לניצול קולחים בשטח הפארק. בין אפשרויות אלה ניתן למנות השקית החורש, השקית מדשאות והספקת מים לפארק מים, שיכול לכלול למשל תעלת מים הנשפכת לאגם מלאכותי המתאים לטפורט מים רחצה ודייג. קשה מאד להעריך את הפוטנציאל הכלכלי של פארק נופש כזה. הצלחתו תלויה במיגון גורמים שהראשון שבהם הוא התגברות על המחסום הפסיכולוגי הנובע מהמילה שפכים. מבחינה הנדסית, מדובר על סניקת הקולחים למרחק של כשני ק"מ לעומד של כחמישים מטר בתעלה טרפונית פתוחה שתוכשר על בסיס אחד מיובלי נחל חצרים, לאגם הנופש שישמש גם כמאגר תפעולי להשקיית הפארק, שדות קיבוץ חצרים ושטחים מערביים יותר. הספיקה הממוצעת של מתקן הטיפול המערבי הקרוב לפארק בשלב הסופי היא כ- 1.25 מ"ק לשנייה. להזרמת ספיקה כזו נזדקק לתעלה טרפונית ברוחב 1.5 מ' ובעומק זרימה של כ- 45 ס"מ, היכולה לשמש כאטרקציה בפני עצמה. שטח המאגר יקבע בהתאם לדרישות צריכת הקולחים להשקיה ובהתאם לפני השטח. בעבודה זו לא ניכנס לפרטים נוספים הקשורים לתיכנון הפארק מעבר לציונו כצרכן פוטנציאלי אך נראה לנו כי להצעה זו יתרונות רבים וראוי שתטופל במסגרת אחרת.

8.2.9 סכימת הטיפול המוצע לפרויקט ההשבה בב"ש

מוצע להקים בב"ש שני מתקני טיפול מכאניים: מזרחי שיקלוט כ- 40% משפיעת השפכים (שכונות מזרחיות ואזור תעשייה) ומערבי שיקלוט כ- 60% (שכונות צפתיות, מערביות ודרומיות). מיקום המתקן המזרחי המתוכנן - במקום בריכות החימצון הקיימות כיום. מיקום המתקן המערבי - מפגש הנחלים עשן, כובשים וטוללים.

מערכת הטיפול תכלול:

- א. מתקן טיפול בסיסי לכלל השפכים (מערבי ומזרחי).
- ב. מתקן טיפול משלים הכולל סינון חיטוי או סינון/פחם פעיל/חיטוי לצרכנים העירוניים ולאזור תעשייה רמת חובב שיוקם במתקן הטיפול המזרחי. טיפול ספציפי נוסף - באחריות הצרכן.

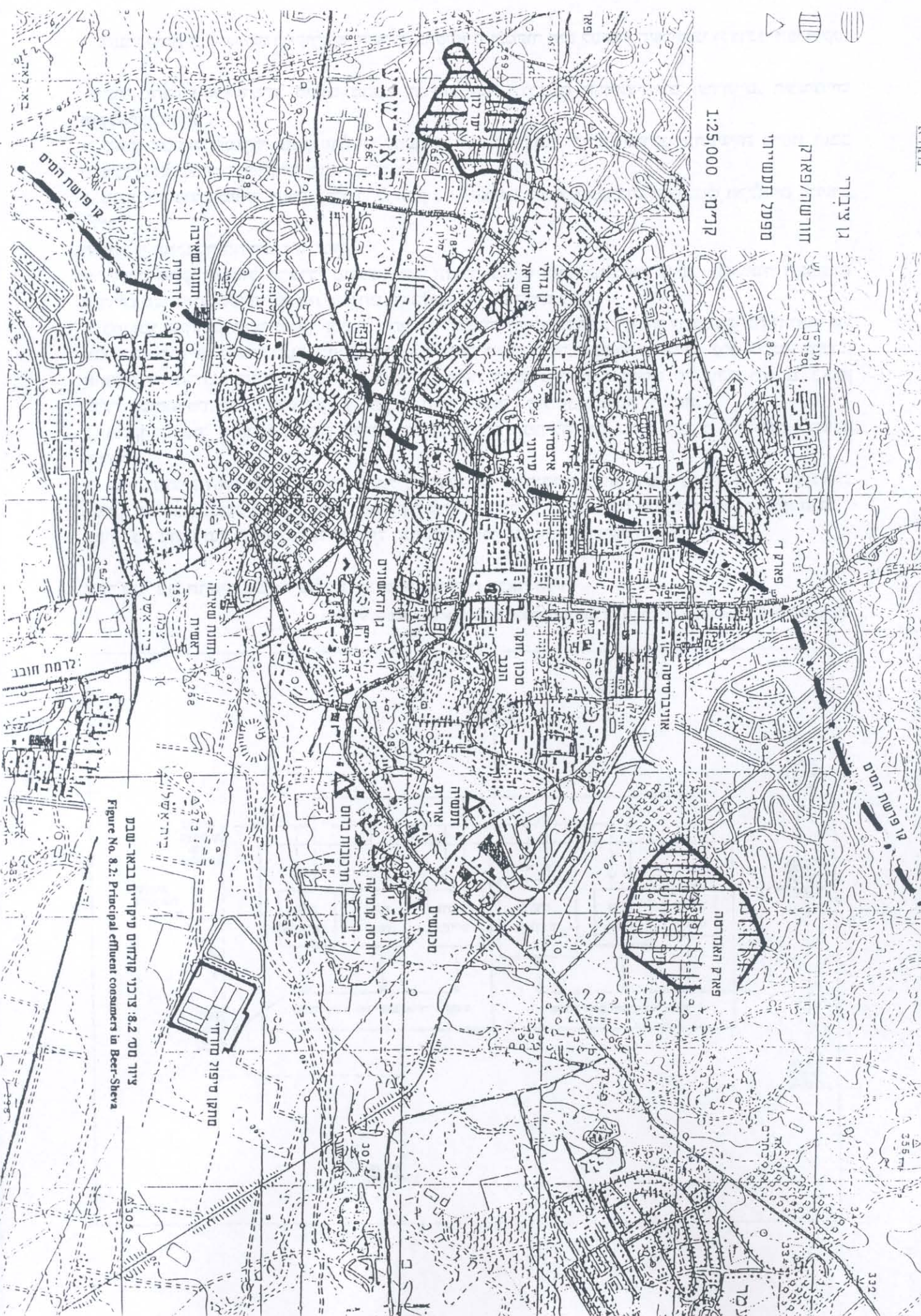


גן ציבורי

חורשה/פארק

מפעל תעשייתי

קרמית: 1:25,000

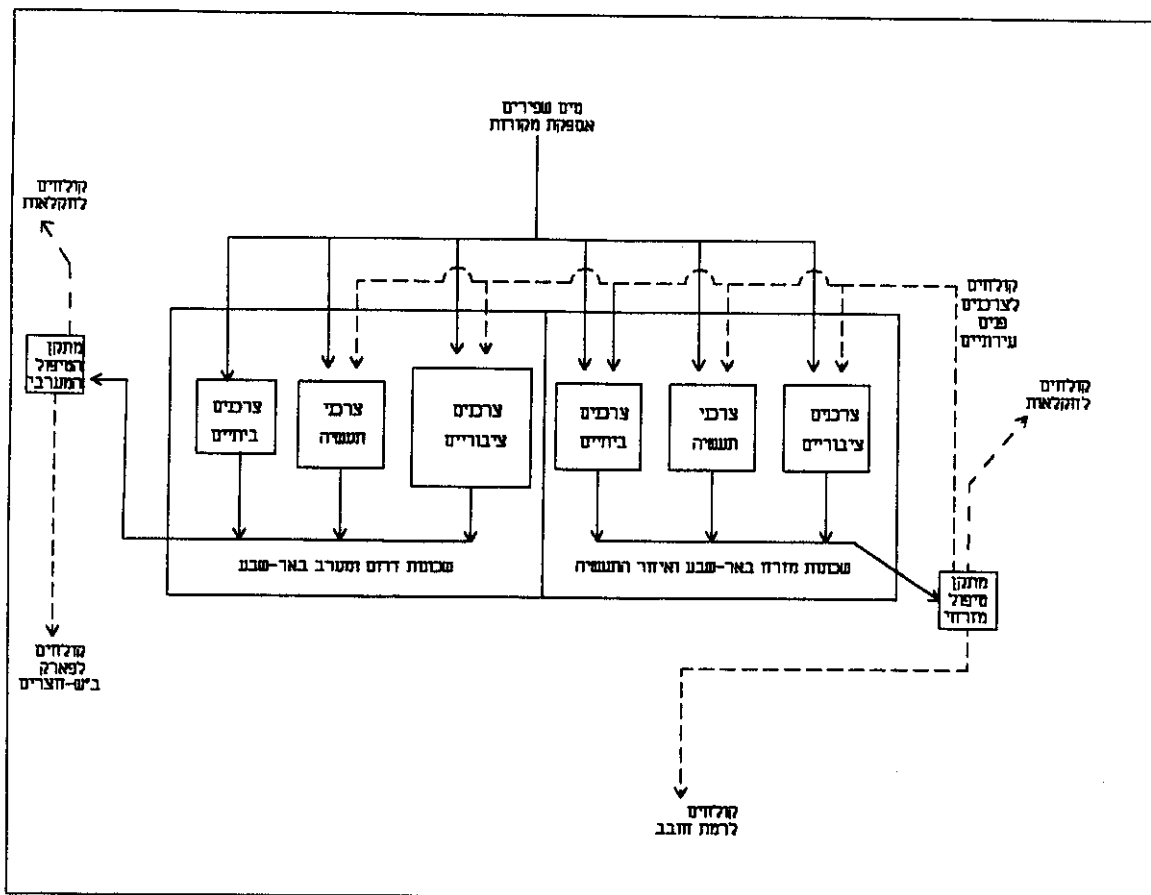


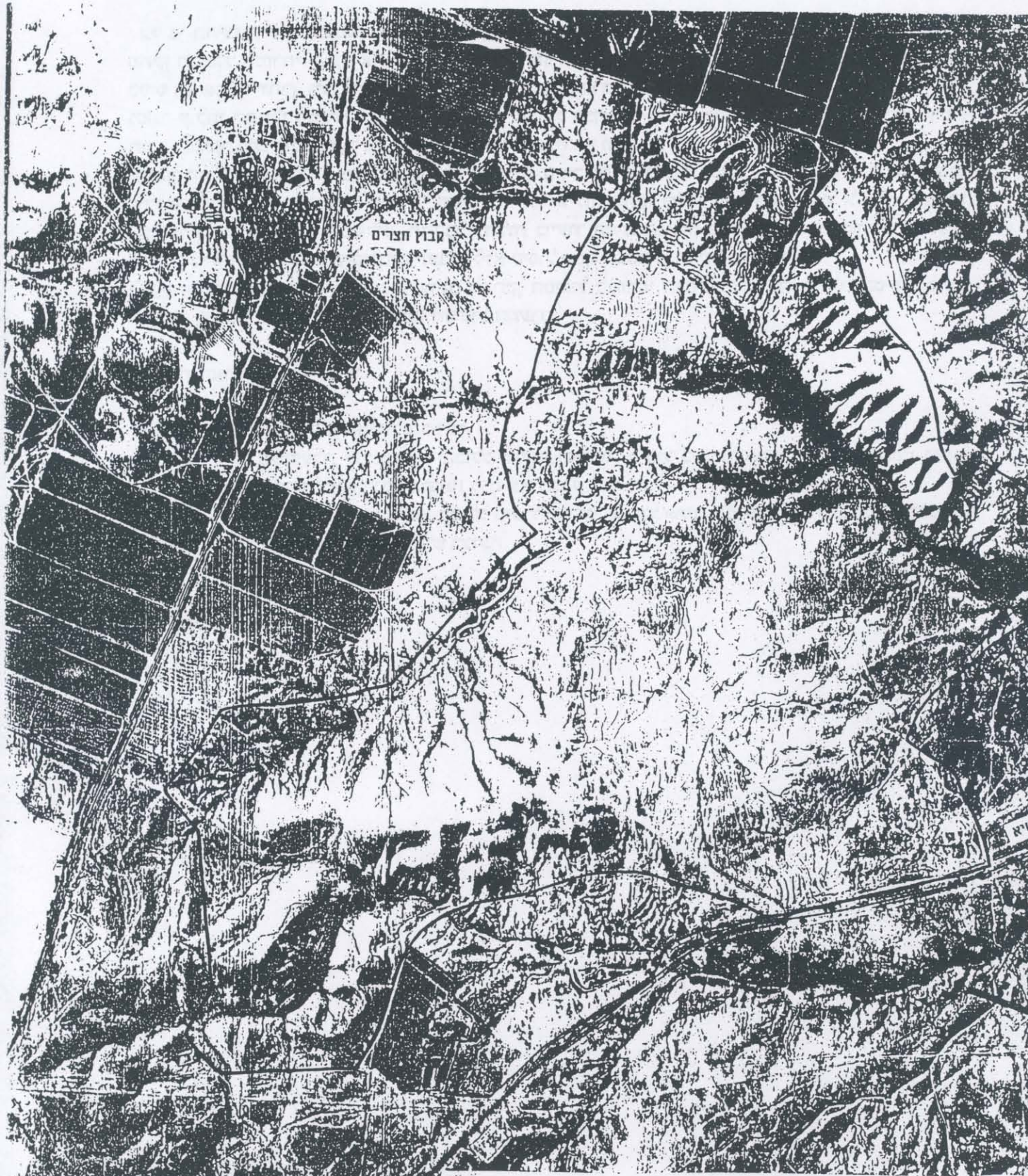
ציון סמ' 8.2: צרכני מולוזים עיקריים בנאר-שבט
Figure No. 8.2: Principal effluent consumers in Beer-Sheva

- ג. מאגרי קולחים שימשו כמקור למי השקיה בחקלאות וכמקור מים לטיפול השלישוני ולצרכני הפרויקט.
- מתוך ניתוח הטופוגרפיה, מיקום מתקני הטיפול וסך הצרכנים הפוטנציאליים (עירוניים, תעשייתיים וחקלאיים) נקבע כי:
1. מתקן הטיפול המזרחי יספק קולחים למערכת הפנים עירונית כולה, לצרכני התעשייה ברמת חובב ולצרכנים חקלאיים הממוקמים ממזרח לבי"ש.
 2. מתקן הטיפול המערבי יספק קולחים לפארק בי"ש-חצרים, הנמצא בקרבתו ולצרכנים חקלאיים ממערב לעיר.
- חלוקה זו התקבלה מהסיבות הבאות:
- א. ריחוק מתקן הטיפול המערבי מהעיר, עקב הצורך לקלוט בגרויטציה את שיפכי השכונות הצפוניות הדרום מערביות, היה מייקר את סניקתם והובלתם של הקולחים לעיר.
 - ב. במקומו המתוכנן, קרוב מתקן הטיפול המערבי לצרכנים חקלאיים פוטנציאליים רבים. בקרבת המאגר של חברת הפיתוח של מושבי הנגב, הקולט כיום את שיפכי מערב העיר, מעובדים כיום כ - 4,000 דונם. לחברה אופציה של הרחבה בעוד 3,000 דונם באזור בתוספת לשטחים בלתי מנוצלים של קיבוץ חצרים. באופן כללי, הטופוגרפיה יורדת לכיוון מערב ולכן יש הגיון בניצול הקולחים מערבה ודרומה.
 - ג. מתקן הטיפול המזרחי ממוקם בקרבת העיר, עובדה המחילה את עלות הצנרת והסניקה להשבה עירונית.
 - ד. עפ"י תוכנית האב, אין אפשרות לניצול כל השפכים המתנקזים באופן טיבעי במזרח העיר לחקלאות. לפיכך ועל מנת למנוע גלישות לנחל בי"ש, רצוי לנצל את הקולחים למערכת הפנים עירונית ולרמת חובב. בציר 8.3 מובא תרשים זרימה המפרט את המוצעת לפרויקט ההשבה בבי"ש.

ציור מס' 8.3: תרשים סכמטי של מע' ההשבה המוצעת בבאר שבע

Figure No. 8.3: Schematic chart of the proposed Beer-Sheva's reuse system





קבוץ חצרים

מס' 8.6: תצלום אוויר של התחום המיועד לפארק באר שבע חצרים (באדיבות תכנון נויבטיים)

Figure No. 8.6: Air photo of the location of the planned Beer-Sheva Hatzirim park

מס' 8.6

8.3 תיכנון מתקן הטיפול הבסיסי

על פי התיכנון, יוקמו בבאר-שבע שני מתקני טיפול מכאניים, מזרחי ומערבי לטיפול בכלל שפכי העיר. מתקן הטיפול המזרחי יקלוט את שפכי השכונות המזרחיות (כ- 40 אחוז מסך השפכים), יטפל בהם לרמת בסיס (20/30 או יותר), ויעבירם למאגר קולחים שימוקם מערבית ובצמוד למתקן. מאגר קולחי המתקן המזרחי ישמש כמקור מים לטיפול המשלים ולשימושים הפנים עירוניים בב"ש ורמת חובב וכמקור מים ללא טיפול נוסף לשטחי החקלאות מצפון וממזרח. מתקן הטיפול המערבי יטפל בקולחי מערב ודרום העיר גם כן לרמת בסיס. חלק מקולחיו יעבור טיפול שלישי זה לטיפול במתקן המזרחי (ההחלטה על שילוב מתקן ספיחה על פחם פעיל לקולחי המתקן המזרחי כחלק מהטיפול המשלים, תתקבל כתלות בייעוד המים בפארק ב"ש-חצרים כפי שיתוכנן) ויחרם לפארק ב"ש-חצרים. שאר הקולחים יועברו ללא טיפול נוסף לשטחים החקלאיים במערב. בפרק זה יוצגו התיכנון הערכת העלויות למתקן הטיפול המזרחי הבסיסי. הערכת עלויות הטיפול למ"ק שפכים, תשמש כבסיס גם עבור מתקן הטיפול המערבי.

8.3.1 חלופות הטיפול הבסיסי

נבחנו שתי חלופות למתקן הטיפול הבסיסי:

1. מתקן ברצה משופעלת קתבנציתולי הכולל שיקוע ראשוני, טיפול ביולוגי, שיקוע שניוני ומתקני טיפול ברצה - הסמכה, עיכול אנאירובי הוצאת מים ע"י מכבש רצועה.
2. מתקן ברצה משופעלת איזור נמשך הכולל טיפול ביולוגי, שיקוע שניוני ומתקני טיפול ברצה - הסמכה, עיכול אנאירובי הוצאת מים ע"י מכבש רצועה.

8.3.2 ניתוח הנדסי של חלופות הטיפול

בטבלה מס' 8.7 מובאות תוצאות התיכון עבור חלופות מס' 1 ו- 2. התיכון התבצע בעזרת תוכנית מחשב לחישוב מתקני טיפול

טבלה מס' 8.7: סיכום נתוני תכן למתקן טיפול בסיסי לחלופות 1 ו- 2

Table No. 8.7: Summary of design data for alternatives 1 & 2 of the basic treatment plant

חלופה 2	חלופה 1	יחידות	תאור
			1. נתוני יסוד של השפכים הגולמיים
80,000	80,000	נפח	אוכלוסית תכן כולל אוכלוסיה אקוויולנטית
16,800	16,800	מק"י	ספיקה יומית ממרצעת בחדש מקסימום
19,300	19,300	מק"י	ספיקה יומית מקסימלית
5.6	5.6	טון ליממה	עומס צחיב ממרצע
6.3	6.3	טון ליממה	עומס מ.מ כלליים ממרצע
400	400	מג"ל	ריכוז צחיב בשפכים גולמיים
450	450	מג"ל	ריכוז מ.מ בשפכים גולמיים
50	50	מג"ל	ריכוז אמוניה בשפכים גולמיים
			2. טיפול קדם ושיקוע ראשוני
			<u>תחנת שאיבה ראשית ומגובים מכניים</u>
			מס' משאבות
2	2	יחידות	ספיקת כל משאבה
500	500	מק"ש	מס' מגובים
2	2	יחידות	רוחב תעלת המגוב
0.8	0.8	מטר	מרווח בין מוטות
2.5	2.5	ס"מ	<u>שיקוע גרוסת מאוור</u>
			מס' יחידות שיקוע
2	2	יחידות	זמן שהייה מינימלי
3	3	דקות	נפח האגן
40	40	מ"ק	ספיקת כל יחידה
500	500	מק"ש	<u>שיקוע ראשוני</u>
			מס' יחידות שיקוע
—	2	יחידות	שטח אגן בודד
—	240	מ"ר	זמן שהיית השפכים באגן השיקוע
—	2.1	שעות	עומס הידראולי ממרצע
—	1.7	מ"ק/מ"ר/שעה	יעילות הרחקת מ.מ באגן השיקוע
—	57.5	%	יעילות הרחקת צ.ח.ב באגן השיקוע
—	27	%	משקל בתצה ראשונית לטיפול
—	2,100	ק"ג ליום	3. טיפול ביולוגי שניוני
400	290	מג"ל	ריכוז צחיב בכניסה לאגן האיזור
450	190	מג"ל	ריכוז מ.מ בכניסה לאגן האיזור
8.25	8.25	מג"ל	צחיב נמס דרוש בקולחים
3,500	2,500	מג"ל	ריכוז ביומסה נדיפה באגן האיזור
25	9.5	יום	גיל בתצה

המשך טבלה 8.7

חלופה 2	חלופה 1	יחידות	תאור
19.4	11	שעות	זמן שהייה הידראולי
13,580	8,830	מ"ק	נפח אגן האיוור
0.141	0.255	יום/1	עומס אורגני על אגן האיוור
0.8	0.45	—	יחס סחרור מחושב
12,800	10,000	ק"ג חמצן ליום	דרישת חמצן תאורטית
3,130	3,280	ק"ג ליום	כמות ברצה שניונית עודפת לטיפול
240	172	קילו וואט	הספק מאווררים כולל
			<u>שיקוע שניוני</u>
0.6	0.7	מ"ק /מ"ר/שעה	עומס הידראולי ממוצע
1150	1150	מ"ר	שטח כולל לשיקוע
5	5	יחידות	מס' אגנים
2.6	2.2	ק"ג/מ"ר/שעה	עומס מוצקים
			<u>4. טיפול בברצה</u>
			<u>נתונים כלליים ברצה גולמית</u>
3,130	5,400	ק"ג ליום	משקל מוצקים בברצה המעורבת
1.09	1.12	גרם/סמ"ק	צפיפות מוצקי הברצה המעורבת
1	1.6	%	ריכח מוצקים בברצה המעורבת
313	340	מ"ק ליממה	נפח ברצה יומי לטיפול
			<u>הסמכה ע"י פלוטציה</u>
115	180	ק"ג/מ"ר/יום	עומס מוצקים ממוצע
4	4	%	ריכח מוצקים מוערך לאחר הסמכה
27	30	מ"ר	שטח המסמך
7.6	16.3	קילו וואט	הספק מדחס האויר
78	135	מ"ק ליממה	נפח הברצה לאחר הסמכה
			<u>ייצוב אנאירובי</u>
780	1,340	מ"ק	נפח אגן העיכול
2.3	2.3	ק"ג/מ"ק/יום	עומס אורגני על המעכל
4	4	%	ריכח מוצקים בברצה המעוכלת
40	70	מ"ק ליום	נפח ברצה לאחר עיכול
420	720	מ"ק	כמות גז מתאן הנוצר בפרוק
45-60	45-60	%	יעילות הרוחקת חומר אורגני
			<u>הוצאת מים מברצה - מכבש רצועה</u>
200	250	ק"ג/מטר/שעה	עומס מוצקים על המכבש
1	1	יחידות	מס' יחידות מתוכנן
1.3	1.8	מטר	רוחב רצועת המכבש
8	8	שעות	שעות עבודה ביום
23.4	40	ק"ג ליום	כמות פולימר דרושה
6	11	מ"ק ליום	נפח הברצה היומית לאחר ייבוש
25-35	25-35	%	% מוצקים מוערך אחרי המכבש

8.3.3 עלויות הקמת והפעלת מתקני הטיפול בחלופות הנבדקות

בטבלאות מס' 8.8 ו- 8.9 מובאים ריבוח ההשקעות ועלויות שנתיות למתקן הטיפול. המקורות עליהם התבססה הערכת העלויות נתונים בנספח 4 בתוכנית לחישוב מתקני טיפול.

טבלה 8.8: ריבוח עלויות השקעה למתקן הטיפול הבסיסי

Table No. 8.8: Summary of investment costs for the basic treatment plant

חלופה 2 עלות באלש"ח	חלופה 1 עלות באלש"ח	פרמטר משפיע		תיאור כללי
		חלופה 2	חלופה 1	
250	250			הוצאות מקדימות (פיתוח שטח, חיבור חשמל) מד ספיקה מיבני שירות טיפול קדם
42.5	42.5	800=Q מק"ש	800=Q מק"ש	תחנת שאיבה למתקן
1,750	1,750	1,000=A מ"ר	1,000=A מ"ר	מגוב מכאני
130	130	800=Q מק"ש	800=Q מק"ש	אגן שיקוע גרוסת
60	60	800=Q מק"ש	800=Q מק"ש	טיפול ראשוני
700	700	800=Q מק"ש	800=Q מק"ש	אגן שיקוע ראשוני
—	817	480=A מ"ר	480=A מ"ר	צידוד לשיקוע ראשוני
—	249	480=A מ"ר	480=A מ"ר	טיפול ביולוגי
4,089	2,962	13,580=V מ"ק	8,830=V מ"ק	אגן איזור
217	173	KW 240=P	KW 172=P	מדחס לאיזור פעפוע
1,764	1,390	16,800=Qa מק"ש	13,200=Qa מק"ש	צנרת איזור ודיפחורים
31	24	544=Qt מק"ש	365=Qt מק"ש	משאבות סחרור ברצה
2,400	2,400	1,150=A מ"ר	1,150=A מ"ר	אגן שיקוע שניוני
730	730	1,150=A מ"ר	1,150=A מ"ר	צידוד לשיקוע שניוני
150	160	27=A מ"ר	30=A מ"ר	הסמכת בוצה
31	54	KW 15=P	KW 32.5=P	אגן הסמכה
11	19	100=Qa מק"ש	180=Qa מק"ש	מדחס אוויר
1,210	1,674	1,100=V מ"ק	1,875=V מ"ק	תא לחץ
825	1,140	1,100=V מ"ק	1,875=V מ"ק	עיכול בוצה
1,202	1,387	1.3=B מ'	1.8=B מ'	אגן עיכול
722	774	15% מערך הצידוד	15% מערך הצידוד	צידוד לעיכול
1,540	1,600	10% מהסה"כ	10% מהסה"כ	הוצאת מים
2,307	2,400	15% מהסה"כ	15% מהסה"כ	מכבש רצועה
19,240	20,000			מע' פיקוד ובקרה
				תכנון
				ב.צ.מ
				סה"כ

טבלה מס' 8.9: ריכח עלויות שנתיות למתקן הטיפול הבסיסי:

Table No: 8.9: Summary of annual costs for the basic treatment plant

חלופה 2 אלש"ח/שנה	חלופה 1 אלש"ח/שנה	תיאור
652	669	החזר הון (5% ריבית)
603	686	מבנים וקונסטרוקציה (קיים 40 שנה)
142	113	ציוד אלקטרו-מכאני (קיים 15 שנה)
1,398	1,468	צנרת ואביזרים (קיים 20 שנה)
		סה"כ החזר הון שנתי
		אנרגיה
168	168	שאיבת שפכים גולמיים
38	25	סחרור ברצה
7.3	7.3	שאיבות ברצה שונות
73	84	שאיבת קולחים למאגר
0	25	גריפת ברצה ראשונית
419	302	אנרגיה לאיזור פעפוע
27	57	אנרגיה לדחיסת אוויר באגן פלוטציה
38	66	בחישה לעיכול אנאירובי
29	29	אנרגיה למכבש הרצועה
800	762	סה"כ עלות אנרגיה
		אחזקה
48	50	אחזקת מיבנים
191	236	אחזקת ציוד אלקטרו-מכאני
35	28	אחזקת צנרת ואביזרים
275	314	סה"כ עלות אחזקה
560	640	עבודה (ע"פ 80,000 ש"ח לעובד לשנה)
128	220	חומרים (פולימר להוצאת מים)
170	175	הוצאות הנהלה (ביטוח, רכב ושונות)
332	358	בצ"מ עלויות שנתיות 10%
3,660	3,940	סה"כ הוצאות שנתיות

8.3.4 השוואת חלופות ובחירת חלופה נבחרת

להלן ריכח העלויות לשתי החלופות:

חלופה 2	חלופה 1	יחידות	
19,240	20,000	אלש"ח	עלות השקעה
3,660	3,940	אלש"ח לשנה	עלויות שנתיות
0.72	0.77	ש"ח/מ"ק	עלות למ"ק

החלופה הנבחרת היא חלופה 2 חאת מהסיבות הבאות:

1. עלות השקעה ותפעול נמוכים יותר.
2. הטיפול בברצה בעייתי פחות מאשר במתקן קוטבנציתולי.
3. פשטות בתפעול ואחזקת המתקן.

עלות מוערכת לטיפול במ"ק שפכים לרמת בסיס - 0.72 ש"ח/מ"ק.

8.4 תיכנון מתקן הטיפול המשלים

8.4.1 תיכנון רכיבי המתקן

תרשים זרימה של המתקן המתוכנן מובא בצירוף מס' 8.5.

מרכיבי המערכת העיקריים הם:

1. תחנת שאיבה מקומית למתקן המשלים.
2. מערכת אכסון ומינון אלום לסינון מגע.
3. מערכת הסינון.
4. מתקן ספיחה על עמדות פחם פעיל גרנולרי + מתקן רגנרציה (אופציה).
5. מערכת חיטוי בכלור אלמנטרי (חיטוי מוקדם ומשלים).
6. מערכת פיקוד.

הערות:

- מתקן הטיפול אינו מיועד לכלל קולחי מתקן הטיפול הבסיסי, אלא לקולחים המיועדים לצרכנים העירוניים בב"ש וצרכני התעשייה ברמת חובב.
- בתיכנון המתקן הנוצח קונפיגורצית טיפול מלאה, כלומר, טיפול הכולל ספיחה על פחם פעיל. כאמור קודם לכן, מומלץ לבצע טיפול זה רק כאשר הקולחים מיועדים לשימוש פנים ביתי. תיכנון המערכת בשלב זה בב"ש אינו משלב שימוש כזה, אך ליתר כלליות, תוכנן המתקן ככולל מע' ספיחה העלויות מוצגות עבור מתקן הכולל ספיחה ועבור מתקן הכולל סינון חיטוי בלבד.
- ספיקת התכן למתקן 400 מק"ש. ספיקה זו מתאימה לדרישת המקסימום היומית לאספקה לצרכנים בב"ש וברמת חובב.

1. תחנת שאיבה מקומית למתקן הטיפול המשלים

תחנת השאיבה סונקת ממאגר קולחי המתקן הבסיסי ומיועדת לספק את העומד הדרוש לתהליכי הסינון, הספיחה החיטוי, כולל העומד הנדרש לשטיפות הנגדיות. לאחר החיטוי יעברו הקולחים לבריכת מים, משם ישאבו לצרכנים. הפעלת תחנת השאיבה המקומית מפוקדת במקביל לפעולת תחנת השאיבה לצרכנים המופעלת ע"י ירידת המפלס בבריכות הוויסות בב"ש ורמת חובב.

נתוני התחנה: ספיקה - 400 מק"ש

עומד - 30 מטר

מס' משאבות - 2

הספק תחנה - 45 קילו וואט

2. מערכת איכסון ומינון אלום לסינון מגע

מינון הפלוקולנט

המינון שנקלח לצורך הערכת מימדי מערכת האיכסון ומשאבות המינון הוא 30 מג"ל אלום. ערך זה מקובל (Amirtharajah, 1982, Metcalf & eddy, 1992) כמינון מספק עבור פלוקולצית Sweep עבור ערכי P.H של 8 - 6.5 ועבור ערכי עכירות של מעל 10 N.T.U. ערך מדויק יותר יתקבל לאחר מבחן פלוקולציה, אך לצורך תיכנון ראשוני ערך זה מספק.

מרכיבי המערכת

המערכת מורכבת ממיכל איכסון אלום בגוף 2.5 מ"ק, 2 משאבות מינון (אחת בהפעלה ואחת בעתודה) ומערבל סטאטי. המערבל יותקן בקו כניסת הקולחים הגולמיים למסננים, להבטחת עירבול מלא ומהיר בין המים לאלום לפני סינון. האלום יסופק כתמיסה בריכוז 50%.

אופציה להוספת פולי-אלקטרוליט

השימוש בפולי-אלקטרוליטים אניתיים או נון-ייתיים בסינן מגע נעשה על מנת להרחיק מזהמים ספציפיים כגון גופרית, יוני מתכת חומרים הומיים שונים. הפולי-אלקטרוליטים גורמים לפלוקולציה Bridge במיננים קטנים. בתיכנון הראשוני לא יוספו פולי-אלקטרוליטים למערכת, אך ניתן להוסיפם במידה הרחוקת מזהם כלשהו אינה משביעת רצון. נמצא כי (רבהון, 1976), שילוב של אלום ופוליאלקטרוליט קטיני מאפשרת הגעה לאיכויות קולחים גבוהות בזמני מחזור ארוכים והפסדי עומד נמוכים יחסית.

שרטוט סכמטי של מתקן האיכסון והמינן לאלום מובא בצירור 8.6.

3. מערכת הסינן

מערכת הסינן המוצעת היא סינן מגע בלחץ על מצע גרנולרי דו-שכבתי עמוק. סינן מגע הינו תהליך בו הפתות המוצקים המרחפים המפחרים בקולחים מתבצעת בנפח הנחל לפני ובתוך מצע הסינן עצמו. הוספת חומרי ההפתתה (האלום) נעשית לצינור המוביל את הקולחים הגולמיים למסנן דרך מערבול סטאטי, ע"י משאבות מינן האלום.

פרמטרי מערכת הסינן

א. עומס הידראולי - $10 \frac{m^3}{m^2 \cdot hr}$. (תחום מקובל לסינן קולחים: 5-20 מטר לשעה, EPA s.s removal 1973)

ב. כיוון הזרימה - מלמעלה למטה.

ג. שטח סינן כולל - 40 מ"ר.

ד. מס' מסננים - 8

ה. שטח מסנן - 5 מ"ר, קוטר - 2.5 מ'.

ו. ספיקת כל מסנן - 50 מק"ש.

ז. עומס הידראולי על מסנן בעבודה בזמן שטיפה נגדית של אחד המסננים - $11.4 \frac{m^3}{m^2 \cdot hr}$

ח. מצע דו-שכבתי. שכבה עליונה - פחם אנטרציט, שכבה תחתונה - חול קווארץ.

נתוני המצע מרוכזים בטבלה מס' 8.10.

ט. מצע תמיכה - בזלת, בעומק 100 מ"מ, קוטר גרגירים אפקטיבי 25 מ"מ.

י. הפסד עומד קריטי (להפעלת שטיפה נגדית) - 5 מ'.

יא. זמן מחזור - 24 שעות.

יב. מערכת שטיפה - אוויר + מים.

מהירות שטיפת מים - $30 \frac{m^3}{m^2 \cdot hr}$, זמן שטיפה - 15 דקות. מטרת השטיפה להרחיף לפחות 20%

מהמצע (EPA s.s removal 1973).

ספיקת אוויר 350 מ"ק אוויר לשעה, זמן הפעלה - 4 דקות.

הספק מדחס - 20 קילו וואט, לחץ = 600-680 מיליבר.

יג. מערכת בקרה אוטומטית על בסיס בקר מתוכנת, המופעלת כתוצאה מהגעה להפסד עומד קריטי או

פריצת עכירות, מה שמגיע קודם.

4. ספיחה על עמודות פחם פעיל גרנולרי

התיכנון מבוסס על מתקנים קיימים לטיפול שלישוני בארה"ב (בעיקר על המתקן בלייק טהו), על בסיס Perrich, 1981 ועל בסיס המלצות לתיכנון של ה E.P.A. (EPA carbon adsorption, 1971). נבדקו 2 חלופות להפעלת המערכת: 1. מתקן הכולל מערכת רגורציה מקומית לשימוש חוזר רב פעמי 1 - 2. מתקן בו יחלף הפחם הרזוי בפחם בתול, ללא רגורציה.

בספרות מקובל כי למתקן הצורך מתחת ל - 100 ק"ג פחם ביום אין כדאיות כדאיות ברגורציה מקומית ואילו למתקן הצורך יותר מ - 300 ק"ג ליום יהיה כדאי. עבור מתקנים הצורכים בין 100 ל - 300 ק"ג פחם

ליום מומלץ לבצע אופטימיזציה מקומית לקביעת החלופה הכלכלית. בבדיקה שבצעתי ועל פי נתוני מחיר הפחם הפעיל הגבוהים מאד בארץ (25 שיח לק"ג - ע"פ נתוני חברת איטרקום אילון), יש כדאיות בהפעלת מתקן רגנרציה עבור המתקן המתוכנן. שיטת הרגנרציה שנבחרה למתקן - רגנרציה ע"י אנרגיית אינפרא אדום. זו שיטה חרשה יחסית (מתקן ראשון הוקם ב - 1973), המשפר את יכולת הבקרה ומקטין את אבדן הפחם בתהליך (Perrich, 1981).

טבלה מס' 8.10: נתוני מצע הסינון

Table No. 8.10: Data of filtration layers

מס' סגולי	מקדם אחידות	עומק המצע	קוטר גרגיר אפקטיבי	סוג המצע
גרם/סמ"ק		מ"מ	מ"מ	יחידות
1.4	1.6	650	1.3	פחם אנטרציט
2.5	1.5	350	0.65	חול קווארץ

תאור המערכת הספיחה

א. כיוון זרימה - מלמטה למעלה.

ב. זמן מגע - 24 דקות.

ג. עומס הידראולי - $10 \frac{m^3}{m^2 \cdot hr}$

ד. שטח פנים כולל - 40 מ"ר.

ה. קוטר יחידת ספיחה - 3.5 מטר.

ו. מס' יחידות - 4.

ז. גובה עמודה אפקטיבי - 4 מטר.

ח. נפח ספיחה אפקטיבי - 160 מ"ק.

ט. הפסד עומד קריטי - 5 מטר.

י. זמן מחזור לשטיפה נגדית - 60 שעות (או כתוצאה מהגעה לעומד קריטי או פריצת עכירות לפני סיום המחזור, כתוצאה מתקלה).

יא. מערכת שטיפה - שטיפת מים באינטרוולים קבועים בדי"כ, או כתוצאה מהגעה להפסד עומד קריטי או פריצת עכירות. מירב השטיפה מתבצעת כלפי מעלה תוך הרחפת המצע. בתחילת אינטרוול השטיפה מחרמים מים מלמעלה למטה לשטיפת חלקו הנמוך של המצע.

עומס הידראולי לשטיפה כלפי מעלה - $35 \frac{m^3}{m^2 \cdot hr}$

יב. סוג המצע - פחם מסוג F-300 של Filtrasorb או דומה.

נתוני המצע - קוטר גרגיר אפקטיבי 1 - 0.8 מ"מ.

מקדם אחידות 1.8

שטח פנים 1,000 מ"ר לגרם.

צפיפות המצע 460 גרם לליטר.

צפיפות הפחם 1.2 גרם למ"ל.

נתונים לתיכנון מתקן רגנרציה בשיטת אינפרא אדום

- כמות הפחם הכללית בתהליך: 73,600 ק"ג (160 מ"ק כפול 460 ק"ג/מ"ק).

- כמות הפחם לרגנרציה ביום: ניתן להעריך באופן כללי בלבד כיוון שערך זה הוא בתלות באיזוטרמת הספיחה, ריכוז המומסים הניכנסים והעומס ההידראולי. בהנחה של ערך ממוצע של 100 ק"ג פחם על כל

ארבעת אלפים מ"ק שפכים מטופלים (E.P.A carbon adsorption, 1973), כמות הפחם לרגרציה תהיה 240 ק"ג ליום.

- עוכי שכבת הפחם על הסרט: 0.75 - 1 אינץ'.

- אנרגיה דרושה לתהליך: 2 קילו וואט שעה לק"ג פחם העובר רגרציה (E.P.A carbon adsorption, 1973).

- נתוני הכיבשן: קצב הזנה - 40 ק"ג/שעה, שעות הפעלה יומיות: 7 - 6 שעות.

- אובדן פחם שנתי מוערך בתהליך הרגרציה (בהנחה של 10% אבדן): 8,750 ק"ג לשנה.

5. חיטוי ע"י כלור

ההכלרה תבוצע ע"י כלור אלמנטרי בשתי נקודות, לפני (הכלרה מקדימה) ואחרי מערכת הסינון (חיטוי משלים). מטרת ההכלרה המוקדמת היא להגביר את יעילות פעולות הסינון והספיחה חאת ע"י מניעת התפתחות גידולים ביולוגיים על מצע הסינון.

החיטוי המשלים יתבצע בקו קולחי מערכת הספיחה ומטרתו הורדת רמת הקוליפורמים ל - 2 במאה מ"ל או פחות.

מינון הכלור הדרוש לקולחי בוצה משופעלת לאחר סינון גרנולרי הוא 2-5 מג"ל. (לאחר סינון וספיחה על פחם פעיל הוא 5 - 1 מג"ל (Metcalf & Eddy, 1991)). לצורך הערכה ראשונית של מימדי המתקן ילקח מינון של 5 מג"ל לחיטוי המוקדם המשלים כאחד.

ספיקת כלור דרושה: 4 ק"ג לשעה.

ריכוז כלור נותר: 0.5 מג"ל (ע"פ הדרישות).

כמות כלור יומית דרושה: 96 ק"ג ליום.

מרכיבים עיקריים של מערכת החיטוי

1. 10 בלוני גז 65 ק"ג, 5 מחוברים ע"י מניפולד ועובדים במקביל. 5 נוספים משמשים כעתודה ומחוברים למחליף בלונים אוטומטי.

2. כלורניטור ואיזקטורים למיהול הכלור במים והזרקתו בלחץ לקו.

3. מערבול סטאטי ליצירת עירבול ומגע בין הכלור למים.

4. מד כלור נותר.

5. גלאי כלור גזי.

6. ביתן למערכת הכלורניציה הכולל מערכת איזורור (גז הכלור רעיל מאוד לאדם וכבד מהאוויר).

שרטוט סכמטי של מע' החיטוי מובא בצירור מס' 8.7.

7. מיכל אכסון בנפח 400 מ"ק ליצירת זמן מגע מינימלי של 1 שעה.

6. מערכת הפיקוד

מערכת הפיקוד מבוססת על בקר מתוכנת וכוללת פקוד אוטומטי מלא עבור כל המתקן.

משטר הפעלת התחנה יקבע בהתאם למפלס המים בבריכות הויסות בעיר וברמת חובב.

השליטה בנתוני מערכת הבקרה תבוצע בעזרת צג מחשב בחדר הבקרה שם ניתן יהיה לשלוט בפרמטרי התהליך.

הרכיבים הבאים יקושרו למע' הבקרה:

- תחנת השאיבה.

- מע' מינון האלום.

- מד לחץ במסנן ומד עכירות ביציאה ממנו.

- מע' שטיפת המסננים.

- מד לחץ בעמודות הפחם הפעיל ומד עכירות ביציאה ממנו.

- מע' השטיפה לפחם הפעיל.

- מתקן הרגרציה לפחם.

- מע' החיטוי.

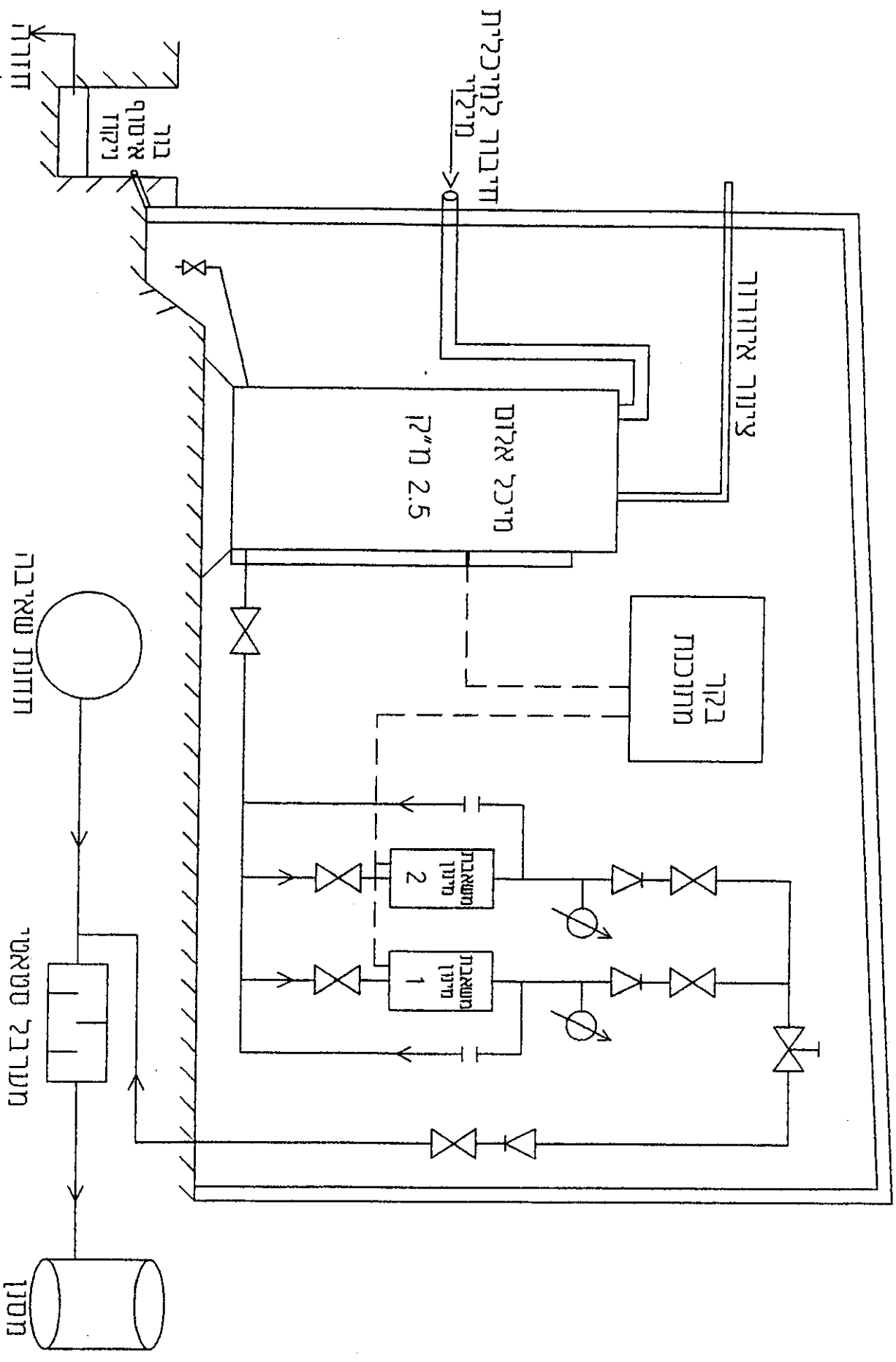
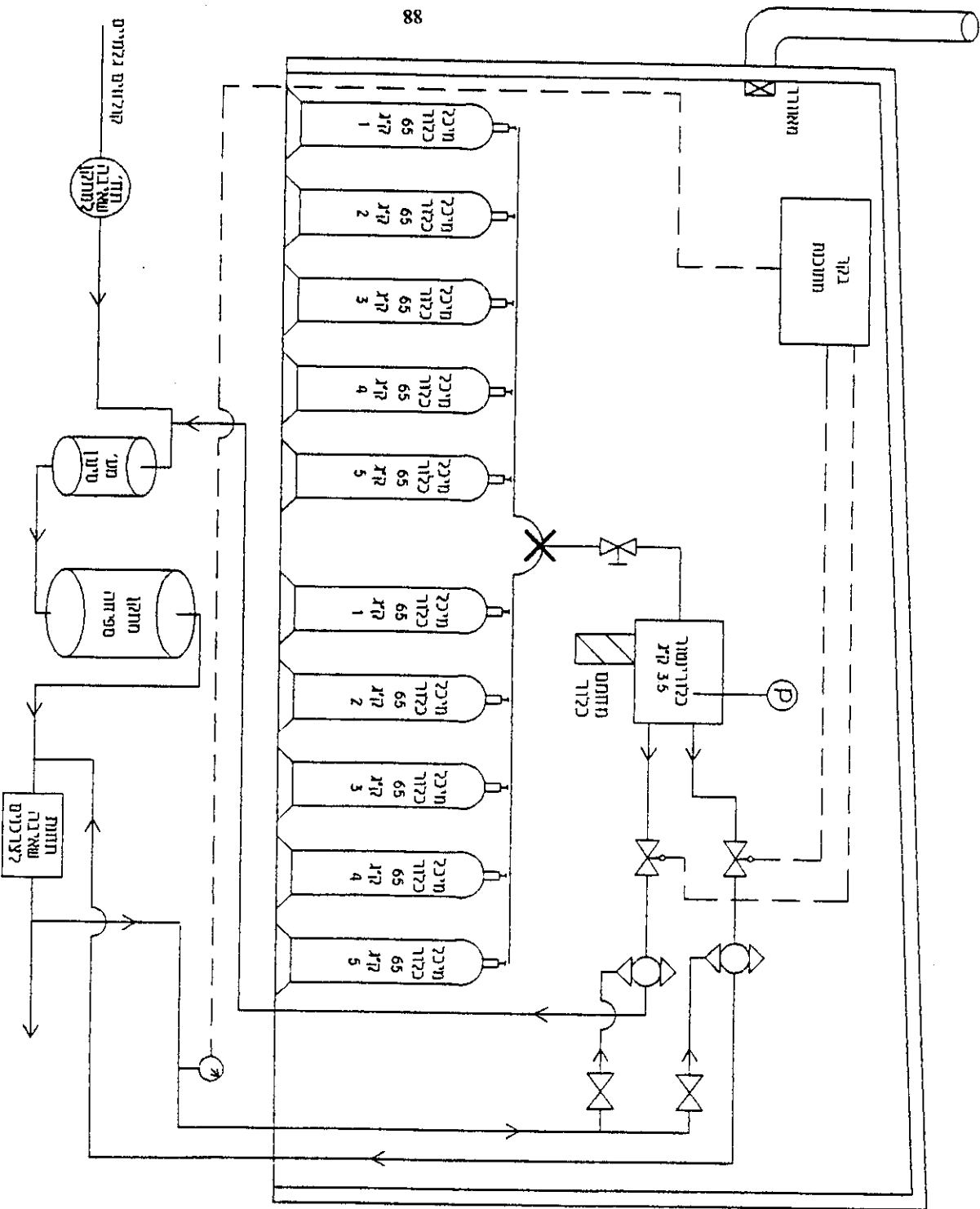


Figure No. 8.6: Alum dosage system
 ציוור חס' 8.6: מערכת חיינו אלום.
 חומר: - מונף, - מטאבל טטאטי - אוטייפול, - חומתון לחיטון לחיטון



תקרה:

- איזקטור
- מנרף
- מנרף מפורקד
- מחזליף בלונים אוטומטי
- מד כלור נתר
- מד לחץ (P)

צירוד מס', 8.7: מע', הדיטוי כדלזל מחתזן הטיפול המשל'ים.

8.4.2 תמחור מתקן הטיפול המשלים

תמחור מתקן הטיפול המשלים התבסס בחלקו על נוסחאות מקורבות שפותחו ע"י דר' דן רום, בחלקו על דיווחים מעודכנים מהספרות ובחלקו על סקר ספקים טלפוני הערכות מחיר מקורבות. בטבלאות הבאות (מס' 8.11 ומס' 8.12) מובאות עלויות ההשקעה, אחזקה ותפעול למתקן הטיפול המשלים, הנוסחה עליה התבססו הפרמטר האופייני לחישובם. אינדקס קובע - מדד עלויות הבניה. ערך ינואר 94: 193.6 נק'.

8.4.2.1 מתקן טיפול משלים - עלויות השקעה

טבלה מס' 8.11: עלויות השקעה למתקן הטיפול המשלים

Table No. 8.11: Investment costs of the tertiary treatment plant

מס'	הרכיב	נוסחת הערכה מקורבת	פרמטר אופייני	עלות (אלש"ח)	מקור הנוסחה
1	תחנת שאיבה לטיפול המשלים	$5,600 \cdot P^{0.65}$	הספק התחנה $P=45 \text{ KW}$	67	דן רום
2	מערכת אכסון ומינון אלום	הערכה מפרוייקטים דומים	—	50	—
3	מערכת הסינון	$25,000 \cdot A^{0.8}$	$40 = A$ מ"ר, שטח פני הפחם	470	דן רום
4	עמודות פחם פעיל גרנולרי (קונסטרוקציה + חומר)	$100,100 + 5,206 \cdot V^{0.997}$	$160 = V$ מ"ק, נפח הפחם	3,590	Adams 1989
5	מע' שטיפה לפחם פעיל	$47,200 + 4,000 \cdot Q_w^{0.933}$	$5.8 = Q_w$ מ"ק/דקה	222	Adams 1989
6	מתקן רגנרציה אינפרא אדום לפחם פעיל	$700,000 + 312.6 \cdot C_w^{0.933}$	$240 = C_w$ ק"ג פחם /יום	2,923	Adams 1989
7	מע' אכסון הפחם הפעיל	$20,400 + 376.6 \cdot V_i^{1.1}$	$16 = V_i$ מ"ק פחם	120	Adams 1989
8	מתקן כלוריניציה מיכל מגע 400 מ"ק	$30,000 \cdot Q_{Cl}^{0.7}$	$4 = Q_{Cl}$ ק"ג כלור לשעה	80 110	דן רום
9	מערכת פיקוד מרכזית (בקר מתוכנת) + חדר בקרה	15% מכלל הציוד (לא כולל ספיחה)	—	263	—
10	תיכון ופיקוח	10 אחוז מעלות השקעה	—	790	—
11	ב.צ.מ.	15 אחוז מעלות השקעה	—	1,185	—
		סה"כ עלות השקעה (כולל ספיחה)		9,869	
		סה"כ עלות השקעה (ללא ספיחה)		1068	

הערות לטבלה:

1. מערכת המחירים מעודכנת לינואר 1994.
2. נוסחאות 4, 5, 6, 7 מתוך (Adams, 89) נתונות ב - \$ מעודכן לשנת 1983. פקטור עידכון מדד הבניה האמריקאי (CCR) - 5335.8/4114.6, העלויות חושבו לפי 3 ש"ח ל - \$.

8.4.2.2 מתקן טיפול משלים - עלויות שנתיות

העלויות השנתיות, המורכבות מהחזר הון, אחזקה, אנרגיה, תומרים ועבודה מרוכזות בטבלה 8.12.

טבלה מס' 8.12: עלויות שנתיות למתקן הטיפול המשלים. בסוגריים - עלויות מתקן ללא ספיחה.

Table No. 8.12: Annual costs of the tertiary treatment plant.

מס'	מרכיב העלות	פרמטר משפיע	עלות (אלש"ח לשנה)
1	החזר הון	מקדם החזר הון - 0.071 ריבית: 5%, קיים: 25 שנה.	688 (68)
2	עלות אחזקה	2 אחח מההשקעה הכוללת	(20) 194
3	אנרגיה לשאיבה	לפי הספק תחנה - 45 .KW	(52) 52
4	אנרגיה לרגרציה	Adams, 1989	(0) 45
5	אנרגיה לרכיבים נוספים	Adams, 1989 הערכה	(25) 30
6	עלות אלום	250 דולר לטון אלום	(56) 56
7	עלות כלור	250 ש"ח למלוי מיכל 65 ק"ג	(96) 96
8	עלות פחם פעיל	25 ש"ח לק"ג פחם	(0) 220
9	עלות עבודה	2 עובדים	(120) 160
		סה"כ עלויות שנתיות	(426) 1,541

עלות מוערכת לטיפול המשלים כולל ספיחה על פחם פעיל - 0.62 ש"ח/מ"ק

עלות מוערכת לטיפול המשלים עבור סינון וחיטוי בלבד - 0.17 ש"ח/מ"ק

8.5 מערכת הובלת וחלוקת הקולחים לצרכנים

8.5.1 מבוא

בסעיף זה יתוכננו כללית מערכת ההובלה והחלוקה ממתקן הטיפול המזרחי לצרכנים הפנים עירוניים ומערכת ההובלה ממתקן הטיפול המזרחי לנקודת החלוקה לצרכנים ברמת חובב. קיימות כמה חלופות לתיכנון מערכות ההולכה והחלוקה. במסגרת פרויקט זה יבדקו החלופות הבאות, עבור מע' ההולכה הפנים עירונית:

1. שאיבה ישירה לצרכנים ללא ויסות, תוך שימוש במשאבה בעלת הספק קבוע ומגוף שומר לחץ מעלה.
2. שאיבה למיכל ויסות ולחץ חלוקה גרויטציונית ממנו לצרכנים. לחלופה זו שתי תת-חלופות, הבודקות כדאיות שאיבה ואגירה בשעות היממה השונות.
3. שימוש במגדלים צפים על הקו, באופצית השאיבה הישירה.

עבור מערכת ההולכה לרמת חובב יבדקו החלופות הבאות:

- סניקת הקולחים לבריכת ויסות וממנה בגרויטציה לנק' החלוקה לצרכנים. עבור חלופה זו ייבדקו שתי תת-חלופות הבודקות כדאיות שאיבה ואגירה בשעות היממה השונות. לצורך התיכנון, השוואת החלופות וניתוח רגישות הפתרון, נכתבה תוכנית מחשב המבוססת על גליון אלקטרוני. התוכנית מחשבת קוטר כלכלי למערכת הסניקה, מקבלת נתוני טופוגרפיה, לחצים, אבזרים ומחירים קלט ומחשבת עלויות כפלט. הסבר מפורט של התוכנית מובא בנספח 3. לצורך תוכנית המחשב ניבנו פונקציות מחירים המתארות את עלות האבזרים (צנרת, מגופים, מדי מים וכו') כפונקציה של הקוטר. מערכת המחירים בעבודה זו מעודכנת לראשית שנת 1994. הנתונים לבניית פונקציות המחירים מובאים בנספח מס' 1.

תיכנון קטרי מערכת החלוקה הגרויטציונית מסוג עץ נעשה על בסיס שיטה גרפית מתוך פרק הידרוטכניקה של פרו' אירמאי במדריך לאינג'ינר כרך מדעים כלליים, פרק 7.

8.5.2 מערכת סניקה, הובלה וחלוקת קולחים לצרכנים פנים עירוניים

מערכת החלוקה הפנים עירונית בבאר שבע נבחרה להיות בצורת "עץ". הסיבה לכך היא, שפרוייקט ההשבה המתוכנן אינו תומך בכיבוי אש בעיר והנוק שיגרם במקרה של תקלה, נמוך יחסית. במקביל, תחזוק משאבה בהמתנה לאספקת הקולחים לצרכנים התעשייתיים. צרכנים אלה קרובים מאד למתקן הטיפול ולא יפגעו במקרה של פיצוץ באחד הענפים המרחקים ברשת. ע"מ להגדיל את אמינות האספקה, הוספו מגופים בענפים השונים להבטחת פעולת המערכת גם בעת פיצוץ בענף כלשהו. ספיקת התיכנון לחשוב קוטרי הצנרת היא כ - 350 מק"ש. ספיקה זו מבוססת על המקרה הקצוני בו ייצרכו כל הצרכנים בו זמנית והיא מתאימה למקדם שיא לצריכה $K_{max}=3$.

ספיקת התבן למערכת ההולכה הפנים עירונית, מתייחסת לשלב המידי ולפיה יחושבו קוטרי צנרת ההולכה. ההנחה היא, שהצריכה לקולחים בשלב הסופי באזור העירוני הרווי, לא תגדל בעתיד באופן משמעותי. במידה ויהיה גידול בצריכת הקולחים, תוגדל יכולת האספקה של המערכת ע"י מתקני ויסות מתאימים. בנוסף, צפוי שבעתיד יורחב מעגל השימוש החוזר העירוני, אבל סביר להניח שזה יהיה לכיוון השכונות החדשות בצפון או דרום מערב העיר, שלא יתבססו על מערכת ההולכה המתוכננת פה.

חלופות הסניקה וההובלה שנבדקו:

חלופה 1: סניקה 24 שעות ביממה לבריכת ויסות שתמוקם ע"י אנדרטת ב"ש, ברום של 360 + מ'. מהבריכה יונח קו לחץ גרויטציוני לעיר.

חלופה 2: כמו חלופה 1, אבל שאיבת לילה בשעות השפל בצריכת חשמל לבריכת הויסות, תוך ניצול תעריף תעו"ז וחלוקה לצרכנים בשעות היום.

חלופה 3: סניקה ישירה לצרכנים, ללא ויסות, ע"י משאבה עם סל"ד משתנה, או ע"י שמירת לחץ מעלה קבוע.

הערה: בנוסף לחלופות אלה נבדקו רעיונות שתי חלופות נוספות: האחת, אספקת קולחים ישירה בשילוב מגדלי לחץ בתוך העיר והשניה, טיפול מקומי בשפכים ע"י מתקנים קומפקטיים תעשייתיים וחלוקתם לצרכנים בסביבתם הקרובה.

חלופת המגדלים נפסלה לפני בדיקת עלויות מהסיבה הבאה: מגדלי ויסות ולחץ פנים עירוניים מתאימים במקרה בו יש שיא צריכה שעתי, הגבוה בהרבה מהצריכה בשאר שעות היממה. במקרה כזה המיגדל מאפשר להקטין את צנרת ההולכה חאת ע"י אספקה מהמגדל, בתוספת למשאבה בשעות השיא. במקרה הנוכחי לא קיימת שעת שיא כזאת אלא פיזור של צריכה אחיד למדי על פני שעות האספקה. לכן אין יתרון בשילוב מגדלים במערכת.

החלופה הנוגעת למתקנים קומפקטיים עשויה להיות כדאית במקרה בו מתקן הטיפול מרחוק מריכח הצרכנים, או במקרה בו קיימים מרחקים גדולים בין צרכן לצרכן. במקרים כאלה משמעות עלות הצנרת והאנרגיה עולה והקמת מתקן טיפול קומפקטי המטהר שפכים בקרבת הצרכנים עשויה, על אף עלותו הגבוהה יחסית (כ 1,000,000 ש"ח למתקן טיפול של 1,000 מ"ק/יום), להיות כדאית. במקרה של ב"ש אין הדברים כך ולכן נפסלה חלופה זאת בשלב הרעיוני.

נתונים נוספים:

- לחץ האספקה לצרכנים בכל החלופות: 4-8 אטמוספרות.

- נפח אספקה שנתי בחלופות השונות: כ 1,000,000 - 920,000 מ"ק/שנה.

- ביצורים 8.8 ו 8.9 מובאים סכמטית תואי חלופות 1/2 ותואי חלופה 3.

- ספיקת תכן יומית: 3,700 מ"ק ליום.

ספיקת התכן היומית חושבה בהנחה של צריכה תעשייתית קבועה במשך השנה וצריכת מים לגינון משך 10 חודשים בשנה. ספיקת התכן מחושבת עבור מצב של צריכה של כל הצרכנים בו-זמנית.

1.5.2.1 חלופת הובלה מס' 1

תנחות מערכת הסניקה וההובלה מובאת ביצור מס' 8.8.

תאור החלופה: סניקה מבריכה תפעולית (400 מ"ק) לבריכת ויסות ולחץ הממוקמת ע"י אנדרטת ב"ש, ברום של +360 מ'. המשאבות יופעלו ע"פ מפלס המים בבריכת הוויסות. ביום השיא תתוכנן תחנת השאיבה לשאיבה רצופה של 24 שעות. הקולחים יסופקו לצרכנים מבריכת הויסות. בזמן פעולת תחנת השאיבה, תשמש הבריכה כמגדל צף על הקו, כלומר תספק מים במידה ויש צורך ותתמלא בזמן צריכה נמוכה.

תיכנון הנדסי: התיכנון יתחלק לשני שלבים:

1. תיכנון תחנת השאיבה וקו הסניקה לבריכה.
2. תיכנון מע' החלוקה הגרויטציונית מהבריכה לצרכנים.

1. תיכנון תחנת השאיבה וקו הסניקה לבריכת הוויסות

התיכנון יתבצע בעזרת אלגוריתם לחישוב קוטר כלכלי לקו סניקה, המובא בנספח 3 ובעזרת פונקציות המחיר לצנרת משאבות ואבחרים, הנתונות בנספח 1.

נתוני תיכנון:

ספיקת תיכנון - 166 מ"ק/ש (מתאימה לשאיבה של 22 שעות ביממה).

אורך קו הסניקה - 3,700 מ'.

עומד סטאטי - 90 מ'.

לחץ קצה קו - 10 מ'.

נצילות משאבה - 0.75.

שעות שאיבה ביום שיא - 24.



צילום מס' 88: תוואי צורת החלוקה בתוכנית חובלה מס' 1 ו-2
 Figure No. 88: Lines position in distribution alternative No. 1 & 2

קריסת תחום

לרמת חובב

מבנה 1
 מבנה 2
 מבנה 3
 מבנה 4
 מבנה 5
 מבנה 6
 מבנה 7
 מבנה 8
 מבנה 9
 מבנה 10
 מבנה 11
 מבנה 12
 מבנה 13
 מבנה 14
 מבנה 15
 מבנה 16
 מבנה 17
 מבנה 18
 מבנה 19
 מבנה 20
 מבנה 21
 מבנה 22

עלות אנרגיה - 0.20 ש"ח/קילוואט.
נפח בריכת ויסות - 2,000 מ"ק.
הערה: שיטת חישוב נפח בריכת הויסות נתונה בנספח 3.

נפח בריכת הויסות חושב בהנחת סניקה במשך 24 שעות וצריכה במשך 13 שעות, ע"פ המפתח הבא:
א. תעשיה 90 מק"ש, במשך 10 שעות (17°-7°), ב. השקיית נוף 233 מק"ש, במשך 12 שעות (20°-8°).
צריכות אלה מהוות את ספיקת המקסימום היומית.

הרצת האלגוריתם:

למציאת הקוטר הכלכלי לקו הסניקה הורצה התוכנית עבור חמישה קטרים שונים ובתנאי מימון של 3.5 ו - 5% ריבית.

תוצאות ההרצה:

הקוטר הכלכלי המחושב של קו הסניקה הן עבור תנאי מימון של 3.5% ריבית והן בתנאים של 5% ריבית הוא 10". הקוטר המוצע הוא 12" עקב הפרש עלות נמוך מאד בינו לבין הקוטר הכלכלי וכן להגדלת גמישות המערכת לקליטת צרכנים נוספים בעתיד. לצורך המשך התיכנון הונחה ריבית של 5%.

סיכום תוצאות תיכנון עיקריות למע' הסניקה

מס' משאבות	2
הספק תחנה	65.5 קילוואט
אנרגיה שנתית דרושה	380,000 קו"ש/שנה

הערה: פלט מפורט של נתוני ותוצאות התוכנית מובא בנספח 3.

2. קו ההולכה מהבריכת הויסות לצרכנים

בציור מס' 8.8, המתאר את מע' הסניקה וההולכה ממוספרים הצרכנים וצמתי הייחוס במע' החלוקה. המערכת היא מערכת עץ המורכבת מקו חלוקה ראשי וענפי משנה המתפצלים ממנו. צמתי מערכת ההולכה ממוספרים. התייחסות לענפים המרכיבים את ה"עץ" - בטבלה מס' 8.13 ובציור מס' 8.8.

בטבלה מס' 8.13 מובאים נתוני הצנרת עבור הענפים השונים. קוטרי הצנרת חושבו ע"פ שיטה לחישוב קוטר כלכלי לקו חלוקה גרויטציוני.

מתוך נתוני הצנרת בטבלה 8.13 נובעים לחצי העבודה לצרכנים בספיקות מינימום ומקסימום. לחצי המקסימום יתקבלו במצב בו אין ספיקה כלל במערכת ופועל רק העומד הסטאטי ולחצי המינימום יתקבלו בזמן ספיקת התכן.

בטבלה 8.14 מובא תחום הלחצים לצרכנים במערכת.

טבלה מס' 8.13: נתוני צנרת לחלופת הובלה מס' 1

Table No. 8.13: Summary of pipe data for effluent distribution alternative No. 1

מס'	מצומת עד צומת	אורך הקו (מ)	ספיקת הקו (מק"ש)	קוטר הקו (אינץ')	הפסד העומד בקו (מ)	עלות הצנרת (אלש"ח)
קו חלוקה ראשי						
1	1 - 2	1300	332.5	12	10	278
2	2 - 3	800	232	10	6	153
3	3 - 4	420	214	8	8	66
4	4 - 5	680	166	8	8	107
5	5 - 6	420	137	8	3	66
6	6 - 7	650	107	8	3	102
7	7 - 8	400	75	6	4	49
8	8 - 9	600	67	6	5	74
9	9 - 10	600	56	6	4	74
10	10 - 11	290	50	5	4	33
11	11 - 12	280	38	5	2	32
12	12 - 13	820	36	5	6	94
13	13 - 14	430	34	5	3	49
14	14 - 15	760	5	3	2	75
ענף א'						
15	2 - 29	200	5	2	3	16
ענף ב'						
16	2 - 20	840	5	3	2	83
ענף ג'						
17	16 - 28	140	9	3	1	14
ענף ד'						
18	6 - 21	340	21	3	10	34
19	21 - 22	320	12	3	4	32
ענף ה'						
20	6 - 23	360	8	2	12	29
ענף ו'						
21	7 - 24	300	31	4	5	32
22	24 - 25	80	20	4	1	8
23	25 - 26	190	11	3	2	19
24	25 - 27	160	9	3	1	16
ענף ז'						
25	4 - 29	600	47	6	3	74
26	29 - 30	390	42	6	2	48
27	30 - 31	190	5	2	3	15
28	30 - 32	500	37	6	2	62
29	8 - איצטדיון	200	8	2	7.5	16

אורך קיים כולל: 15,500 מטר, כולל קו סניקה.

טבלה מס' 8.14: תחום לחצי העבודה לצרכנים בחלופת הובלה 1 בביש

Table No. 8.14: Range of actual pressures in the distribution lines in Beer-Sheva (alternative 1)

מס' צרבן	רום טופוגרפי (מ)	לחץ מקסימום (מ)	לחץ מינימום (מ)	הערות
1	295	65	50	
2	290	70	55	
3	290	70	55	
4	285	65	50	
5	360	40	30	מקבל ישירות מהבריכה
6	285	75	60	
7	295	65	50	
8	290	70	54	
81	300	60	33	
82	310	50	20	לחץ מינימלי נמוך, רצוי להשקות בשעות הלילה
83	290	70	39	
9	280	80	48	
91	275	85	38	דרוש ווסת לחץ
92	275	85	40	דרוש ווסת לחץ
93	280	80	30	
10	270	90	40	דרוש ווסת לחץ
101	275	85	42	דרוש ווסת לחץ
102	275	85	39	דרוש ווסת לחץ
103	275	85	40	דרוש ווסת לחץ
11	270	90	43	דרוש ווסת לחץ
12	260	100	49	דרוש ווסת לחץ
13	270	90	35	דרוש ווסת לחץ
14	265	95	38	דרוש ווסת לחץ
15	265	95	32	דרוש ווסת לחץ
16	265	100	34	דרוש ווסת לחץ
17	250	110	42	דרוש ווסת לחץ

ריכוז עלויות - חלופת הובלה 1

טבלה 8.15: ריכוז עלויות שנתיות ועלויות הקמה - חלופת הובלה 1 לצרכנים פנים עירוניים בב"ש

Table No. 8.15: Summary of investment & annual costs - distribution alternative No. 1 to Beer-Sheva

עלות אחזקה ותפעול		עלות החזר הון (אלפי ש"ח)	מקדם החזר הון	עלות השקעה (אלפי ש"ח)	האביזר
אלפי ש"ח	אחוז מהשקעה				
50.8	2%	180.0	0.071	2,540	צנרת
2.5	0.5%	29.1	0.0583	500	בריכת וויסות
5.4	5%	10.4	0.0963	108	משאבות
0.3	0.5%	3.6	0.0583	61	תחנת שאיבה
5.0	5%	9.6	0.0963	100	אביזרים
		19.2	0.0583	330	תכנון ופקוח
—	—	19.9	0.071	280	עלות פתיחת וסגירת אספלט
40.0		עלות עבודה (חצי משרה)			
76.0		עלות אנרגיה לפי 0.2 ש"ח/קו"ט ו 5,800 שעות שאיבה בשנה:			
180		272		3,919	סה"כ

* המונח אביזרים כולל מגופים הידראולים, שסתומי אל-חחר, שסתומי פריקת לחץ אויר, מדי מים ווסתי לחץ.

סיכום עלויות

עלות השקעה 3,919,000 ש"ח.

הוצאות שנתיות 452,000 ש"ח/שנה.

עלות למ"ק 0.45 ש"ח/מ"ק.

8.5.2.2 חלופת הובלה מס' 2

תאור החלופה:

חלופה 2 זהה פיזית לחלופה 1, אך בודקת את כדאיות השימוש בתחנת השאיבה בשעות הלילה בלבד, תוך ניצול תעריף תעו"ז לשעות השפל. בחלופה זו, ייסנקו הקולחים לבריכה בשעות הלילה והאספקה לצרכנים תהיה בשעות היום. נתון זה מגדיל את נפח בריכת הויסות ומקטין את צריכת האנרגיה. תנחת הצנרת בחלופה 2 (כמו בחלופה 1) - ראה ציור 8.8.

תיכנון הנדסי:

- קווי החלוקה מכריכת הויסות לצרכנים - כפי שתוכנן בחלופה 1.
- תיכנון תחנת השאיבה, קו הסניקה ובריכת הויסות:

10	שעות שאיבה ביממה
2,400	שעות שאיבה בשנה
3,700 מ'	אורך קו הסניקה
90 מ'	עומד סטאטי
10 מ'	לחץ קצה קו
0.75	נצילות משאבה
4,000 מ"ק	נפח בריכות הויסות
370	ספיקת תיכבון
0.11 ש"ח/קווא"ט	עלות אנרגיה (תעריף לילה)

תמצאות התיכבון

- קוטר קו הסניקה הכלכלי המחושב, עבור תנאי מימון של 5% ריבית, הוא 12".
- קוטר קו סניקה לתיכבון - 14"
- מס' משאבות דרוש: 3.
- הספק התחנה: 155 קילוואט.
- אנרגיה שנתית דרושה: 373,000 קו"ש/שנה.

השוואת העלויות בין חלופות 1 ו- 2

חלופות 1 ו- 2 שונות ביניהן רק בכל הקשור למתקני הסניקה לבריכת הוויסות. קוי ההולכה לצרכנים זהים. לכן יישוו העלויות רק עבור קטע הסניקה ובריכת הוויסות. בטבלה מס' 8.16 מוצגת השוואת העלויות הנ"ל.

טבלה מס' 8.16: השוואת עלויות בין חלופות הובלה 1 ו- 2 בב"ש

Table No. 8.16: Comparison of costs between Beer-Sheva's distribution alternatives No. 1 & 2

חלופה 2 עלות באלש"ח	חלופה 1 עלות באלש"ח	פרמטר משווה
		עלויות השקעה
844	792	צנרת סניקה
436	272	תחנת שאיבה
790	513	בריכת ויסות
		עלויות שנתיות
148	112	החזר הון
41	76	אנרגיה
37	28	אחזקה
0.22	0.21	עלות סניקה למ"ק בש"ח למ"ק

מסקנות ביניים

בתנאים שהנחנו, אין הבדל משמעותי בעלויות בין חלופות 1 ו- 2. יתרונה של חלופה 2 בנפח איגום גדול יותר, אולם בהנחה של ריבית החזר הון גדולה מ- 5% יש יתרון בולט לחלופה 1. בנוסף, כלכליות חלופה 2 מסתמכת על תעריף תעריף המשתנה תכופות בהתאם למדיניות חברת חשמל. לפיכך, חלופה 1 עדיפה בשלב זה.

8.5.2.3 חלופת הובלה מס' 3

תאור החלופה:

סניקה ישירה ממתקן הטיפול לצרכנים, ע"י משאבה בעלת הספק קבוע ומגוף שומר לחץ מעלה קבוע. יתרון צפוי של חלופה זו על חלופות 1 ו 2 הוא בקוי הולכה קצרים יותר, בחיסכון בעלות בריכת וויסות ובעומד שאיבה נמוך יותר. חסרתה: עלות אנרגיה גבוהה, בשל פעילות רצופה של תחנת השאיבה בעיקר בשעות שיא צריכת החשמל ואמינות לקריה המתבטאת בהשבתת המערכת כולה במקרה של בעיה בתחנת השאיבה או בצנרת ההולכה.

בחלופה זו לא מחוברים הצרכנים 5, 6, 10-17, כיון שהעלות השולית לחיבורם לרשת גבוהה ומייקרת את המערכת כולה. אספקת הקולחים השנתית בחלופה זו - כ 920,000 מ"ק/שנה. לתנחת הצנרת בחלופה 3 - ראה ציור 8.9.

תיכון הנדסי:

מערכת ההולכה בנויה בצורת עץ בעל שלושה ענפים נפרדים. הענף המזרחי מוביל לאזור התעשייה, המרכזי למרכז וצפון העיר המערבי לשכונות הדרום-מערביות. שלושת הענפים נחזנים מאותו קו ראשי. תיכון קוטרי הקיים התבצע כאמור על פי הנוסחה $Q_x/Q_0 = (D_x/D_0)^{3.5}$, ותבדק העומד הנותר בקצה הקו. כאשר עומד זה היה גבוה או נמוך מידי שונה עומד המשאבה התחילי המערכת חושבה מחדש, עד להתכנסות לתחום לחצים רצוי לצרכנים. בטבלאות מס' 8.17 ומס' 8.18 מובא ריכח נתוני הצנרת ולחצי אספקה לצרכנים בספיקת תכן בחלופה מס' 3.

ריכח עליות, חלופת הובלה מס' 3:

טבלה מס' 8.19: ריכח עליות שנתיות ועלויות הקמה - חלופת הובלה 3 לצרכנים פנים עירוניים בב"ש

Table No. 8.19: Summary of investment & annual costs - distribution alternative no. 3 to Beer-Sheva

עלות החזקה ותפעול	עלות החזקה	מקדם החזר	עלות השקעה	האביזר	עלות החזקה ותפעול	
					הון	הון
(אלפי ש"ח)	% מההשקעה	(אלפי ש"ח)	(אלפי ש"ח)			
41	2%	144.4	0.071	2034		צנרת
8.6	5%	16.5	0.0963	172		משאבות
0.5	0.5%	5.9	0.0583	102		תחנת שאיבה
-	-	16.5	0.0583	283		תכנון ופקוח
12.5	5%	24	0.0963	250		אביזרים
40	-	-	-	-		עבודה
-	-	19.3	0.071	272		עלות פתיחת וסגירת אספלט
90						עלות אנרגיה לפי 0.20 ש"ח/קו"ש ו - 4,000 שעות שאיבה בשנה:
193	-	227	-	3,113		סה"כ



ציון מס' 8.9: תוואי צנרת החלוקה בתחופת הובלה מס' 3
 Figure No. 8.9: Lines position in distribution alternative no. 3

טבלאות מס' 8.17 ומס' 8.18: ריכוז נתוני צנרת ולחצי עבודה לצרכנים בספיקת תכן, בחלופת הובלה מס' 3 לבי"ש.

Tables No. 8.17 & No. 8.18: Summary of pipe & pressures data for Beer-Sheva's distribution alternative 3

טבלה מס' 8.18

מס' צרכן	לחץ לצרכן בספיקת תכן (מ)
1	42.1
2	46.0
3	59.9
4	64.9
8	47.0
81	34.4
82	21.5
83	32.9
9	66.4
91	73.1
92	75.1
93	71.3
101	44.6
102	53.1
103	43.2
11	76.5
12	73.9
13	58.9
14	61.8
15	52.6
16	54.1
17	52.0

טבלה מס' 8.17

מס' הקו	אורך הקו (מ)	ספיקה בקו (מק"ש)	קטר הקו (אינץ')	הפסד העומד בקו (מ)
1 - 2	1,100	90.5	6	20.1
2 - 3	640	79	6	9.1
3 - 4	320	70	6	3.6
3 - 5	520	9	3	4.8
1 - 6	1,360	235	10	10.9
6 - 7	1,070	121	8	7.8
7 - 8	200	109	8	1.2
8 - 9	360	100	8	1.9
9 - 10	80	8	4	0.1
9 - 11	420	92	8	1.9
11 - 12	970	64	6	9.3
12 - 13	480	47	6	2.6
13 - 14	560	42	6	2.5
14 - 15	160	5	3	0.5
14 - 16	360	37	6	1.3
6 - 17	1,960	102	8	10.5
17 - 18	260	30	3	22.4
18 - 19	200	18	3	6.7
19 - 20	160	9	3	1.5
17 - 21	820	70	8	2.2
21 - 22	580	60	5	12.6
22 - 23	280	54	5	5.0
23 - 24	180	43	5	2.1
24 - 25	900	40	5	9.2
25 - 26	400	37	5	3.5
26 - 27	660	5	3	2.1

הערות:

- עומד תחנת השאיבה: 90 מטר.

- יש לשקול הוספת בוסטר על קו 14-15 להעלאת לחץ האספקה לצרכן 82.

סיכום עלויות לחלופה 3

עלות השקעה	3,113,000 ש"ח
עלות שנתית	420,000 ש"ח/שנה
עלות למ"ק	0.46 ש"ח/מ"ק

8.5.2.4 סיכום חלופות הובלה לצרכנים עירוניים בב"ש ובחירת חלופה נבחרת

טבלה מס' 8.20: ריכוז נתוני תוכנון לחלופות ההובלה לצרכנים פנים עירוניים בב"ש

Table No. 8.20: Design results of Beer-Sheva's distribution alternatives

חלופה	תאור החלופה	ספיקת תכן (מק"ש)	ספיקה שנתית (מ"ק/שנה)	נפח אגירה (מ"ק)	הספק תחנת השאיבה (ק"וואט)	עלות השקעה (אלש"ח)	עלות שנתית (אלש"ח)	עלות למ"ק (ש"ח/מ"ק)
1	סניקה רצופה לבריכת וויסות	332.5	1,000,000	2,000	65.5	3,919	452	0.45
2	סניקת לילה לבריכת וויסות	332.5	1,000,000	4,000	155	-	-	0.46
3	סניקה ישירה לצרכנים	322.5	920,000	0	110	3,110	420	0.46

החלופה הנבחרת היא חלופה מס' 1 מהסיבות הבאות:

1. עלות הובלה חלוקה למ"ק היא הנמוכה ביותר אם כי בהפרש לא משמעותי משאר החלופות.
2. מתחברים בחלופה זו מירב הצרכנים (כמו בחלופה 2)
3. קיום נפח ויסות (2,000 מ"ק).
4. מערכת סניקה פשוטה ואמינה.
5. הפעלה רצופה של מתקן הטיפול המשלים ביום השיא.

לחלופות 2 ו-3 יתרונות משלהן. בחלופה 3, עלות ההשקעה נמוכה יחסית, אך החלופה נופלת בשל עלות אנרגיה גבוהה, אמינות לקויה, ומיעוט יחסי של צרכנים מחוברים. לחלופה 2 יתרון בנפח אגירה תפעולי גדול, אך העלות למ"ק גבוהה מאשר בחלופה 1, חאת בהנחה של 5% ריבית. באחוזי ריבית גבוהים יותר ההפרש יהיה גדול יותר מכיון שמשקל האנרגיה מסך ההוצאות יורד.

8.5.3 מערכת ההובלה לרמת חובב

פוטנציאל השבת הקולחים ממתקן הטיפול בביש לאזור תעשייה ברמת חובב מוערך בכ - 1,100,000 מ"ק לשנה כיום. הערכתי היא שניתן להזרים למקום כ - 1,500,000 מ"ק לשנה עד לשלב פיתוח מידי (1997). ההנחה מתבססת על ריבוי צרכנים קטנים, בנוסף לשלושת הצרכנים הגדולים המיוצגים ברשימת הצרכנים הראשית (מכתשים, תרכובות ברום וקופולק) ועל צריכות קולחים לגינון ונוי שלא נלקחו כאן בחשבון. תיכנון מערכת ההובלה לרמת חובב לא נכנס לחלוקה פנימית בתוך אזור התעשייה, אלא מצטמצם להובלת הקולחים לברכת ויסות שתמוקם בנ. טריג. 326, כ - 650 מ' צפונית לאתר וכק"מ מערבית לכביש ב"ש - קציעות. נק' זו ממקמת ברום של כ - 30-40 מ' מעל האתר ויכולה לשמש כבריכת ויסות ולחץ.

תוואי קו ההולכה

תוואי ההולכה לבריכת הוויסות מפורט בציור מס' 8.10. לרוב אורכו יונח הצינור ממערב ובצמוד לכביש. בשני הק"מ האחרונים פונה תוואי הצנור דרום-מערבה לאורך תוואי מסילת הברזל הישנה עד לבריכת הוויסות.

מבחינה טופוגרפית, הנקודה הגבוהה ביותר לאורך תוואי הצנור היא בק"מ העשירי, כ - 340 מ' מעל פני הים. מנק' זו ועד לבריכת הוויסות יזרמו הקולחים בהשפעת כח הכובד. גובה נק' השאיבה: +280 מעל פני הים. אורך הקו: 14 ק"מ.

חלופות

יבדקו שתי חלופות המבוססות על סניקה לברכת ויסות בנקודה המצוינת.

חלופה 1: סניקה רצופה (24 שעות) ביום השיא לבריכת הוויסות. חלופה זו מתבטאת בעלות אנרגיה גבוהה יחסית ונפח ויסות קטן יחסית.
חלופה 2: סניקה בשעות השפל לבריכת הוויסות תוך נצול תעריף תעו"ז. חלופה זו מתבטאת בקו סניקה בעל קוטר גדול יחסית, בעלות אנרגיה נמוכה ונפח ויסות גדול יחסית.

בשתי החלופות תהיה מטרת תחנת השאיבה לסנוק את המים לנק' הגבוהה בק"מ העשירי, עם לחץ נותר של כ 10 מ'. משם יזרמו הקולחים בקו לחץ גרוויטציוני לבריכה. בסיס ספיקת התכן השעתית עבור שתי החלופות תהיה ספיקה יומית של 5,000 מ"ק, בהנחה של צריכה קבועה לאורך השנה, כיוון שהקולחים ישמשו באתר כמי תהליך בעיקר ויהיו חשופים פחות לשינויים של צריכה עונתית.

8.5.3.2 חלופה 1: סניקה רצופה לבריכת הוויסות

התיכנון מחולק לשני חלקים:

1. תיכנון מערכת הסניקה עד לנקודה הגבוהה בק"מ העשירי.
 2. תיכנון קו הלחץ הגרוויטציוני לבריכה.
- תיכנון כללי לתחנת השאיבה וקוטר קו הסניקה:

נתונים:	ספיקת תיכנון	210 מ"ק"ש
	אורך קו הסניקה	10,000 מ'
	עומד סטאטי	60 מ'
	לחץ קצה קו	10 מ'
	נצילות משאבה	0.75
	ריבית החזר הון	5%
	עלות אנרגיה	0.2 ש"ח/קו"ש

שעות שאיבה בשנה 7,150 שעות
נפח בריכת וויסות* 2,750 מ"ק

* נפח בריכת הוויסות חושב בהנחה של 12 שעות צריכה ביום ומקדם בטחון של 1.1.

תמצאות התיכנון:

קוטר קו הסניקה הכלכלי המחושב "12, לצורך תיכנון נלקח "14.
הספק תחנה דרוש: 65 קילו וואט.
מספר משאבות דרוש: 2
אנרגיה שנתית דרושה: 460,000 קו"אט
קוטר קו הלחץ הגריטציוני ל 4 הק"מ מנקודת הביניים הגבוהה לבריכה ולאחור התעשיה: 12 אינטש.
עומד כניסת המים לבריכה: 14 מטר.

טבלה מס' 8.21: פרוט עלויות לחלופת הובלה מס' 1 לרמת חובב

Table No. 8.21: Cost details of Ramat-Hovav's distribution alternative No. 1

עלות שנתית (אלש"ח/שנה)	עלות השקעה (אלש"ח)	הרכיב
—	3,136	צנרת
—	269	תחנת שאיבה
—	602	בריכת ויסות
—	100	אבחרים
—	411	תכנון ופקוח
317	—	החזר הון
84	—	אחזקה
92	—	אנרגיה
40	—	עבודה
533	4,518	סה"כ

ריכח עלויות לחלופה 1:

עלות השקעה (אלפי ש"ח): 4,518

עלות שנתית (אלפי ש"ח): 533

עלות למ"ק (ש"ח/מ"ק): 0.36



8.5.3.3 חלופה הובלה מס' 2 לרמת חובב

הנתונים השונים מבחלופה 1:

עלות אנרגיה:	0.11 ש"ח/קו"ש.
שעות שאיבה בשנה:	3,100 שעות.
נפח בריכת ויסות:	4,300 מ"ק.
ספיקת סניקה:	420 מק"ש

תרצאות התיכון

קוטר קו הסניקה הכלכלי המחושב:	16".
הספק משאבות דרוש:	178 קילו וואט.
מס משאבות דרוש:	3.
אנרגיה שנתית דרושה:	712,000 קו"ש/שנה.
קוטר קו הלחץ הגרוויטציוני ל 4 הק"מ האחרונים:	12".
עומד בניסת המים לבריכה:	14 מטר.

ריכח עלויות לחלופה 2

עלות השקעה (אלפי ש"ח):	5,157
עלות שנתית (אלפי ש"ח):	562
עלות למ"ק (ש"ח/מ"ק):	0.37

ריכח נתוני החלופות ובחירת חלופה נבחרת

טבלה 8.22: ריכח נתוני חלופות הובלה לרמת חובב.

Table No. 8.22: Ramat-Hovav's distribution alternatives- summary of details

עלות למ"ק (ש"ח/מ"ק)	עלות השקעה (אלפי ש"ח)	נפח אגירה (מ"ק)	הספק תחנת שאיבה (קילו-וואט)	אספקה שנתית (מ"ק)	
0.36	4,520	2,750	64.4	1,500,000	חלופה 1
0.37	5,160	4,300	178	1,500,000	חלופה 2

החלופה הנבחרת היא חלופה 1. הסיבות - עלות השקעה והובלה נמוכות מאשר בחלופה 2 אם כי ההבדל לא משמעותי. בעלויות מימון גבוהות יותר, תהיה עדיפות בולטת לחלופה 1 על חלופה 2 עקב עלות השקעה נמוכה יותר.

8.6 סיכום עלויות כולל למע' ההשבה בבאר-שבע

בטבלה 8.23 נתונות עלויות ההשקעה, הפעלה ועלות למ"ק שפכים העובר טיפול בסיסי שניוני וטיפול משלים שלישוני. העלויות יוצגו בשלש צורות:
 א. כולל עלות מתקן הבסיס.
 ב. ללא מתקן הבסיס בהנחה שחובת הרשות להקימו בכל מקרה.
 ג. כולל/לא כולל מתקן ספיחה על פחם פעיל.

טבלה 8.23: סיכום עלויות לפרוייקט השבת שפכים עירונית בבאר-שבע

Table No. 8.23: Summary of costs for Beer-Sheva's reuse project

סה"כ *	מע' הולכה	מתקן טיפול משלים *	מתקן טיפול בסיסי	יחידות	
עלות טיפול והולכה לבאר שבע					
(25.1)		(1.41)			
32.5	3.9	8.75	19.84	מליוני ש"ח	עלות השקעה
(4.46)		(0.43)			
5.44	0.45	1.41	3.58	מליוני ש"ח לשנה	עלויות שנתיות
1.79	0.45	0.62	0.72	ש"ח למ"ק	עלות כוללת למ"ק
1.34	0.45	0.17	0.72	ש"ח למ"ק	עלות למ"ק כולל טיפול בסיס ללא ספיחה על פחם פעיל
1.07	0.45	0.62	—	ש"ח למ"ק	עלות למ"ק ללא טיפול בסיסי כולל ספיחה על פחם פעיל
0.62	0.45	0.17	—	ש"ח למ"ק	עלות למ"ק לא כולל טיפול בסיסי וללא ספיחה
עלות טיפול והולכה לרמת חובב					
(25.7)		(1.41)			
33.1	4.51	8.75	19.84	מליוני ש"ח	עלות השקעה
(4.54)		(0.43)			
5.52	0.53	1.41	3.58	מליוני ש"ח לשנה	עלויות שנתיות
1.64	0.36	0.56	0.72	ש"ח למ"ק	עלות כוללת למ"ק
0.92	0.36	0.56	—	ש"ח למ"ק	עלות למ"ק ללא טיפול בסיסי
0.53	0.36	0.17	—	ש"ח למ"ק	עלות למ"ק ללא טיפול בסיסי ללא ספיחה
1.25	0.36	0.17	0.72	ש"ח למ"ק	עלות למ"ק כולל טיפול בסיס וללא ספיחה

* - הערכים בסוגריים מבטאים עלות טיפול ללא ספיחה על פחם פעיל.

פרק 9. תיכנון כללי והערכת עלויות למע' השבה ליישוב קטן - שכונת צמח השרה

9.1 מבוא

פרק זה מטפל בתיכנון מע' השבה עירונית ליישוב קטן או לשכונה בתוך עיר. לצורך התיכנון נלקחה כמודל שכונת "צמח השרה" במעלה אדומים. שכונה זו, הממוקמת בחלקה הדרומי של מעלה אדומים, נמצאת בשלבי פיתוח והכשרת קרקע ראשוניים.

בציור 9.1 מובאת מפת אזור מעלה אדומים והשכונות הרלוונטיות.

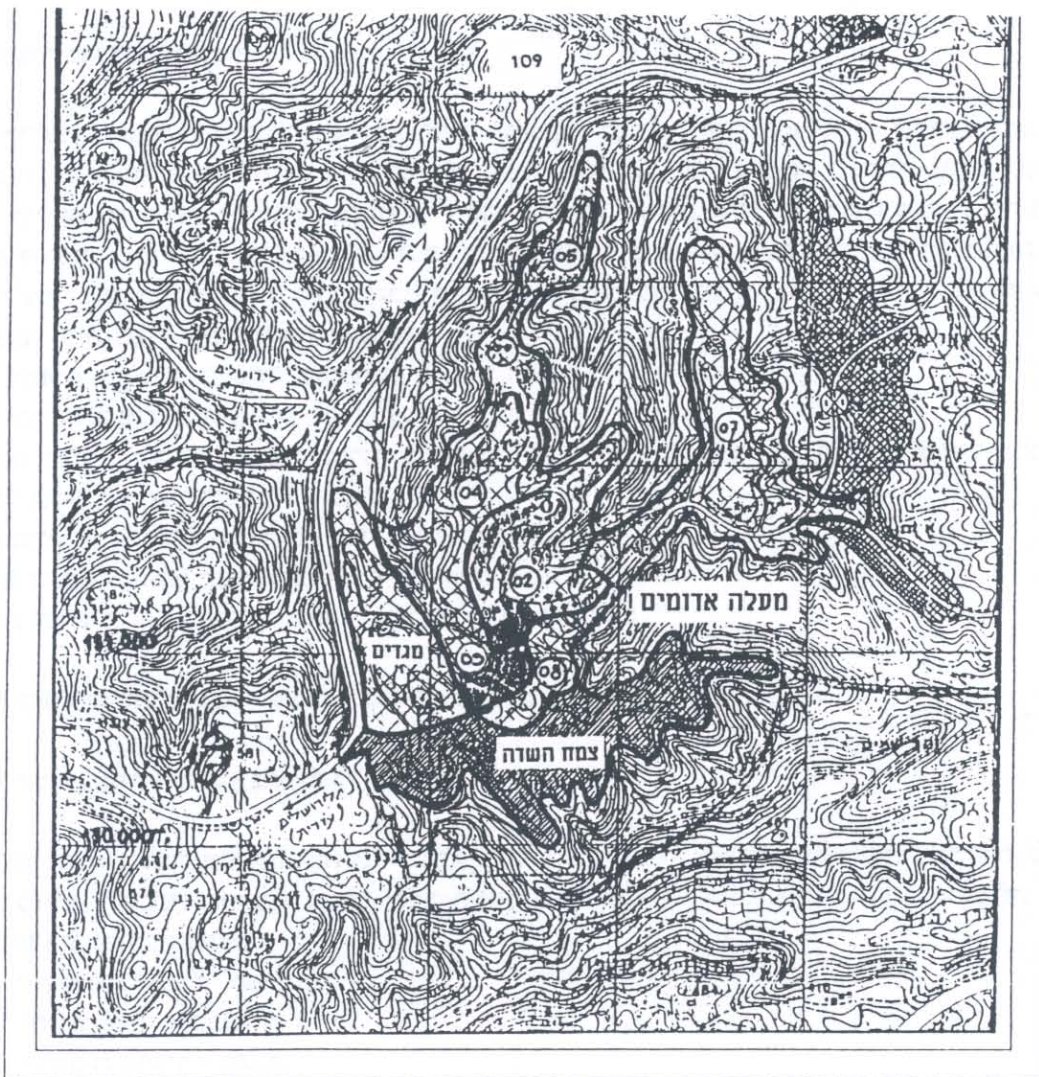
מערכת ההשבה המתוכננת במקרה זה, שונה מהותית ממערכת ההשבה שתוכננה עבור באר-שבע. ההבדלים העקרוניים הם:

1. מע' ההשבה בשכונת צמח השרה תוכננה לאספקת קולחים לגינן בתי מגורים בנוסף לצרכנים ציבוריים וכתוצאה מכך מספר צרכניה גבוה בהרבה (למעשה, כמספר הצרכנים במערכת האספקה הרגילה), האמינות הנדרשת ממנה גבוהה ומע' החלוקה מסועפת יותר.
3. כפועל יוצא מסעיף 1, תוכננה מע' האספקה בצורת לולאה סגורה בניגוד למע' העץ שתוכננה עבור ב"ש.
4. עלות התקנת הצנרת במע' החלוקה הכפולה נמוכה יחסית לב"ש, מכיוון שמע' האספקה מתוכננת מראש עבור שכונה חדשה ולא עבור שטח רווי, כך שצנרת הקולחים והשפירים יוטמנו באותה החפירה. בנוסף, אין צורך לשבור מדרכות וכבישים ע"מ להטמין את הצנרת.
5. כתוצאה מממדיה הקטנים של המערכת יוצע מתקן טיפול תעשייתי קומפקטי לטיפול בנחל בלבד בעוד שהכרזה תחזור לקו הביוב.

כאשר דנים בתיכנון מע' השבה לשכונה בתוך עיר, קיימות כמה חלופות אפשריות:

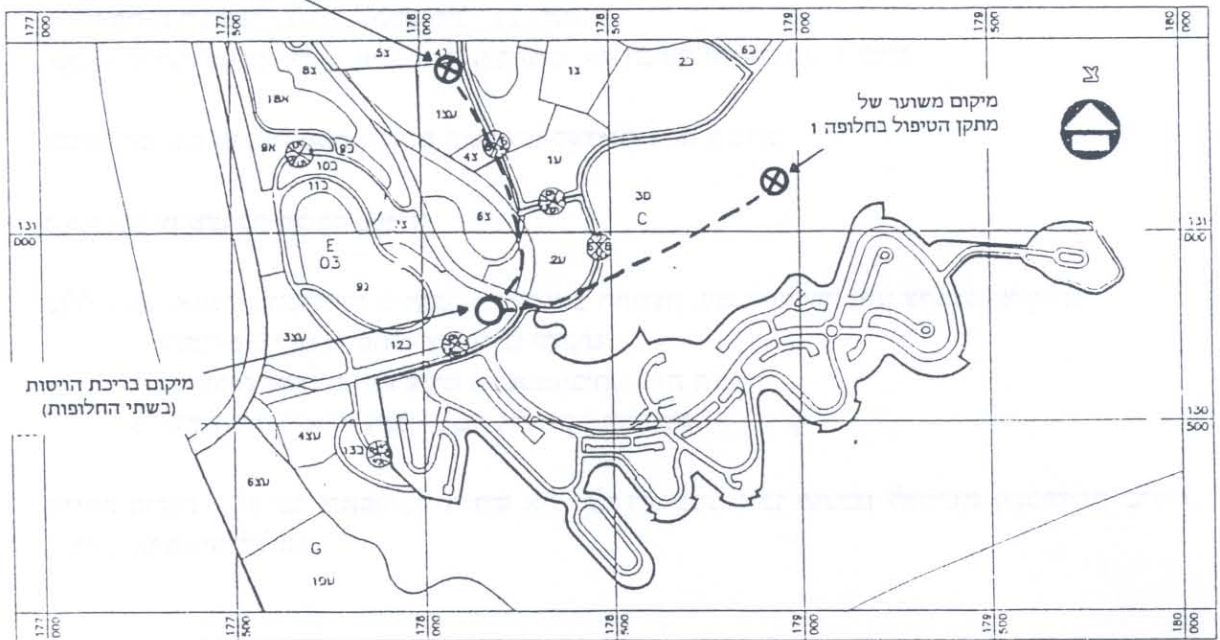
1. חלופה 1: שפכי השכונה נאספים ומטופלים בנק' מתאימה בשכונה עצמה ונסנקים ממתקן הטיפול המקומי חזרה לרשת האספקה, תוך קיום מערכת ביוב סגורה.
 2. חלופה 2: הקולחים מחרמים לרשת השכונה ממתקן טיפול קומפקטי או אחר, הממוקם בנק' גבוהה בעיר. מתקן זה שואב שפכים מקו ביוב עירוני, מטפל בנחל ומחזיר את הכרזה לקו.
 3. חלופה 3: הקולחים נסנקים למע' החלוקה ממתקן טיפול עירוני מרכזי.
- המקרה הכלכלי יהיה בד"כ חלופה מס' 3, כלומר מתקן טיפול מרכזי. כאשר לא קיים מתקן כזה, יש לבחון את שתי האפשרויות האחרות ולבחור את המתאימה למקרה. כיום, לא קיים מתקן טיפול כלשהו במעלה אדומים ולא נראה כי יקום כזה בעתיד הקרוב. שפכי העיר מחרמים לקו הביוב היורד מירושלים מזרחה ללא טיפול (פרט לטיפול קדם). לפיכך, אתרכו בבחינת חלופות 1 ו- 2.
- הקמת מתקן מקומי במורד השכונה וסניקת הקולחים למערכת החלוקה הכפולה (חלופה 1), היא האפשרות המועדפת הנדסית חאת כיון ששכונת צמח השרה אינה מתנקזת לכיוון צפון (ואדי א-רדקה) כמו שאר מעלה אדומים אלא מנוקזת טבעית מזרחה (לכיוון ואדי ח'דר) ויש לסנוק את שפכיה ממילא למתקן טיפול מרכזי (או להניח צינור הולכה ארוך שיעקוף את הואדיות), כאשר זה יקום. בעייתיות אופציה זו נובעת מהצורך בטיפול בכל שפכי השכונה ולא רק בכמות המיועדת למיחזור, מהצורך בטיפול בכרזה ובסניקת הקולחים ממתקן הטיפול לעומד של כ- 100 מטר לראש הקו.
- בבדיקת חלופה 1 אניח כי מתקן הטיפול מטפל בכמות השפכים המיועדת למיחזור בלבד חאת על מנת לאפשר בסיס השואה נוח עם חלופה 2. בפועל, פירוש הדבר שחלק משפכי השכונה ייסנקו למתקן הטיפול המרכזי כאשר זה יקום.

לאופציה השניה, דהיינו הקמת מתקן טיפול בשכונה סמוכה (חלופה 2), כמה יתרונות. יתרון ראשון הוא ניצול הטופוגרפיה לחיסכון בעלויות אנרגיה לסניקה. יתרון שני הוא בפשטות המערכת - אין צורך במתקנים לטיפול בכרזה הזרמת הקולחים למערכת החלוקה נעשית בעיקרה בגרביטציה. היתרון השלישי החשוב הוא כי ניתן לשלוט בכל זמן נתון על הספיקה הרצויה ולהביא למקסימום את נצילות מערכת ההשבה. החיסרון העיקרי בשיטה זו, הוא כי המערכת המוצעת אינה פותרת את בעיית שפכי השכונה עצמה, להם יהיה צורך לתכנן מתקן איסוף וטיפול נפרד, או לסנקם למתקן טיפול מרכזי.



מיקום משוער של
מתקן הטיפול בחלופה 2

תרשים סביבה 1 : 10000



ציור מס' 9.1: מפות מיקום אתר התיכנון - שכונת צמח השדה במסלה אדומים
Figure No. 9.1: Location Maps of the project area- the quarter of Tsemah Hasade in Maale Adomim

9.2 תקציר תוצאות התיכנון

מע' ההשבה המוצעת מורכבת ממתקן טיפול קומפקטי לספיקה של 1000 מ"ק, שימוקם בשכונת מגרים הצפונית מערבית לצמח השדה, במרחק של כ- 500 מטר מנק' הכניסה לשכונה. מתקן הטיפול יכול לזיידות של טיפול ביולוגי, סינון וחיטוי ויספק קולחים באיכות של לכל הפחות 5 מג"ל צ.ח.ב ו- 10 מג"ל מ.מ. קולחי המתקן יסנקו לבריכת ויסות בקיבול 1000 מ"ק שתמוקם בחלקה הגבוה של שכונת צמח השדה (ראה ציור 9.1). מהברכה יסופקו קולחים לצרכנים ציבוריים ופרטיים, כאשר עיקר האספקה המתוכננת תופנה לגינון השקיה.

סה"כ השטח המתוכנן להשקיה בקולחים, כ- 200 דונם.

סה"כ צריכת הקולחים השנתית - 250,000 מ"ק לשנה.

בשכונה תותקן מערכת חלוקה כפולה המורכבת מקווי אספקה לקולחים ולמים שפירים. כאמור, תוכננה המע' כמע' סגורה עם 5 לולאות.

עלות ההשקעה במע' ההשבה בחלופה העדיפה: 2,160,000 שקלים.

העלות השנתית במע' ההשבה בחלופה העדיפה: 375,000 שקלים.

העלות למ"ק במע' ההשבה בחלופה העדיפה: 1.50 שקל למ"ק.

9.3 תיכנון מערכת ההשבה לשכונת "צמח השדה" במעלה אדומים (מורחב)

9.3.1 שכונת צמח השדה - נתונים כלליים

1. שכונת צמח השדה ממוקמת בחלקה הדרומי של העיר מעלה אדומים, על שלוחה היורדת לכיוון דרום מזרח. השכונה מתנקזת לואדי ח'דר המתנקז מזרחה, ולא לכון ואדי א-רדקה ויובליו, אליו מתנקזת רוב מעלה אדומים.

2. שטח השכונה הכללי - 650 דונם.

3. מס' יחידות דיור מתוכננות - 2,000.

4. מס' תושבים מוערך - 8,000.

5. גובה טופוגרפי - 450 עד 510 מ'.

6. חלוקה פנימית לפי שטחים רלוונטיים:

אזור מגורים ומבני צבור: 400 דונם.

שטח צבורי פתוח: 63 דונם.

שטח פתוח המיועד לגידול אקסטנסיבי: 22 דונם.

שטח המיועד לגינון ציבורי אינטנסיבי (כבישים, איי תנועה ומדרכות): 3 דונם.

בציור מס' 9.2 מובאת מפת חלוקת השטחים בשכונת צמח השדה.

9.3.2 תיכנון מערכת חלוקה כפולה

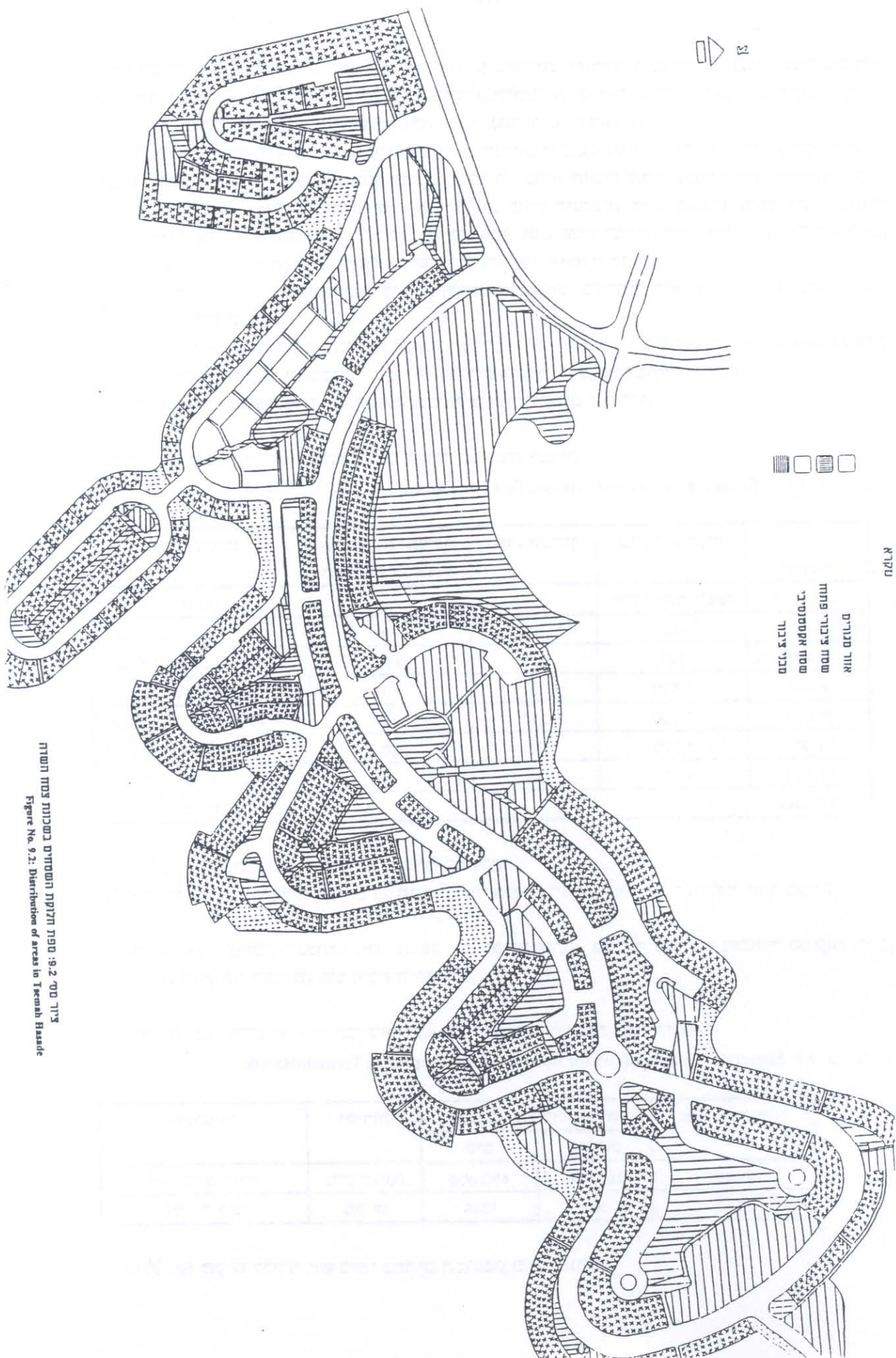
כללי - מע' אספקת הקולחים בשכונה תספק ע"פ התיכנון מים לשלושה סוגי צרכנים עיקריים:

1. לגינון פארקים ושטחים ציבוריים ירוקים.

2. להשקית שטחים המושקים אקסטנסיבית, בעת הצורך.

3. לגינון בתי מגורים ומבני צבור ולצריכה מסחרית.

תנוחת הרשת - מערכת האספקה תשמש את כלל הצרכנים ולכן תתוכנן לאמינות מקסימלית כרשת סגורה עם חמש לולאות.



צ"ל 92:90 תוכנית המצודה בשכונת צפת החדשה
 Figure No. 92: Distribution of areas in Tzemah Hasade

מקור הקולחים - מתקן טיפול קומפקטי שימוקם או בשכונת "מגדים" הצפונית לשכונת "צמח השדה" (בחלופה 2) או בשטח שיוכשר מזרחית לשכונה (בחלופה 1). ספיקת מתקן הטיפול המתוכנן - 1,000 מק"י והוא יכול לתקנים לטיפול שניוני ושלישוני בנחל (ראה סעיף 9.4).

שיטת התיכון - תיכון רשת החלוקה יתבצע בעזרת תוכנה המבוססת על שיטת "הרדי-קרוס" לפתרון רשתות חלוקה בלחץ (LOOP). בנוסף לרשת הכפולה, יבוצע תיכון למע' אספקת מים "רגילה", בכדי לאפשר את ניתוח העלויות על בסיס יחסי. לפיכך, תורץ התוכנית שלש פעמים, פעם אחת לפתרון רשת חלוקת הקולחים כמסגרת מע' החלוקה הכפולה, פעם שניה לפתרון רשת חלוקת המים השפירים כמסגרת מע' החלוקה הכפולה ופעם שלישית לפתרון מע' אספקה רגילה. תיכון מע' החלוקה יעשה עבור קווי החלוקה הראשיים בשכונה ולא ירד לתיכון מפורט של האספקה לצרכן הבודד.

צריכות התכן - צריכת המים הכללית חושבה על בסיס צריכה סגולית של 250 לנ"י היא 730,000 מ"ק בשנה. צריכת הקולחים התבססה על ניתוח צרכנים פוטנציאליים וצריכותיהם הצפויות. בטבלה 9.1 מובאים צרכני הקולחים הפוטנציאליים וצריכותיהם הצפויות.

טבלה 9.1: צרכני קולחים בשכונת צמח השדה וצריכות צפויות

Table No. 9.1: Effluent consumers and expected flows in Tsemah-Hasade

צריכה שנתית	צריכה סגולית	שטח הצרכן	% משטח הצרכן המושקה בקולחים	סוג הצרכן
מ"ק לשנה	מ"ק לדונם לשנה	דונם	%	יחידות
95,000	1,500	63	100	גינן ציבורי
11,000	500	22	100	השקיה אקסטנסיבית
4,500	1,500	3	100	גינן כבישים ואיי תנועה
79,000	1,500	210	25	גינן בתים משותפים
11,000	1,500	35	20	גינן בתים פרטיים
17,000	1,200	95	15	גינן מבני ציבור
*250,000				סה"כ

* כולל מקדם בטחון 1.15 המכיל את הפחת בהשקיה.

הערה: בהפחתת צריכת הקולחים המתוכננת התקבלו לצריכה ביתית כ - 165 לנ"י, ערך מקובל.

מתוך חישוב הצריכה השנתית ניתן לחשב את ספיקת התכן. בטבלה מס' 9.2 מובאות ספיקות התכן למערכת החלוקה הכפולה ולמערכת ה"רגילה".

טבלה מס' 9.2: ריבוח ספיקות תכן לאספקת מים וקולחים לשכונת צמח השדה

Table No. 9.2: Summary of design flows for water & effluent supply in Tsemah-Hasade

מערכת רגילה	מערכת חלוקה כפולה		יחידות	הפרמטר
	קולחים	מים		
730,000	250,000	480,000	מ"ק לשנה	צריכה שנתית
*350	100	*265	מק"ש	ספיקת תכן

* כולל 100 מק"ש לכיבוי אש בשני צמתים המועמסים בו זמנית.

פירוס צריכות מים וקולחים בצמח השדה

פירוס ספיקות הצמתים במע' החלוקה, קובע את חלוקת הקטרים בלולאות. פירוס הספיקות התבסס על מפת חלוקת השטחים בתוכנית האב כפי שהוצגו בציור 9.1, על פיזור האוכלוסייה וצריכת המים המשוערת בכל חלקה ועל צריכת הקולחים המשוערת לפי המפתח המוצג בטבלה 9.1. פירוס הספיקות מהצמתים עבור המערכת הכפולה ועבור מערכת רגילה מוצג בטבלה 9.3. מיקום צמתי החלוקה מוצג בציור 9.3.

טבלה מס' 9.3: פירוס הספיקות מהצמתים במע' החלוקה הכפולה ובמע' הרגילה

Table No. 9.3: Specification of flows from junctions in the dual distribution system and the "ordinary" system

הערות	ספיקת צמתים במערכת הרגילה	ספיקות הצמתים במע' חלוקה כפולה		הצומת
		קולחים	מים שפירים	
	מק"ש	מק"ש	מק"ש	יחידות
	11.5	4.2	0	1
	22.6	3.8	12.0	2
	8.3	9.8	15.0	3
	11.6	3.9	12.0	4
	13.9	3.9	7.0	5
	19.0	3.4	0	6
	0.3	0	7.0	7
	18.4	3.5	12.0	8
1 - כולל כבוי אש	50.3 ¹	0	50.0 ¹	9
	22.7	24.5	9.5	10
	9.5	7.0	15.0	11
	6.5	2.4	3.5	12
	2.1	0	0	13
	23.1	4.5	17.0	14
	20.8	4.5	16.5	15
	13.5	2.4	15.0	16
2 - כולל כבוי אש	17.0	4.2	50.0 ²	17
	11.4	3.9	11.0	18
3 - כולל כבוי אש	67.1 ³	2.6	0	19
	0	11.5	12.5	20
	350	100	265	סה"כ

הערה לטבלה:

במיקרים בהם מגבה המערכת את כבוי האש בשכונה (כלומר ההרצות עבור השפירים במע' הכפולה ועבור המע' הרגילה), הועמסו שני צמתים בספיקות של 50 מק"ש בו זמנית. העמסה זו באה לענות על מקרה קיצוני בו פורצות שתי שריפות במקביל בשכונה. הצמתים שהועמסו הם צמתים מרכזיות הממוקמות במרכז ובקצה השכונה כך שמתקבל תיכנון שמרני.

תוצאות פתרון הרשת

בטבלה 9.4 ובציורים 9.3 ו- 9.4 מובאות תוצאות שתי הרצות של תוכנית LOOP לפתרון הספיקות הלחצים הקטרים במע' החלוקה הכפולה. בטבלה ובציורים מפורטים: 1. קוטרי הצנרת 2. פירוט הספיקות בצנרת בספיקת תכן 3. גובה טופוגרפי ולחצי עבודה בצמתים בספיקת התכן. 4. אורכי קטעי הצנרת בקטרים השונים.

טבלה מס' 9.4: נתוני צמתי החלוקה ברשת החלוקה הכפולה בספיקת תכן, ביצמח השדה (פתרון תוכנית Loop בהנחה של עומד ראשוני של +560 מ')

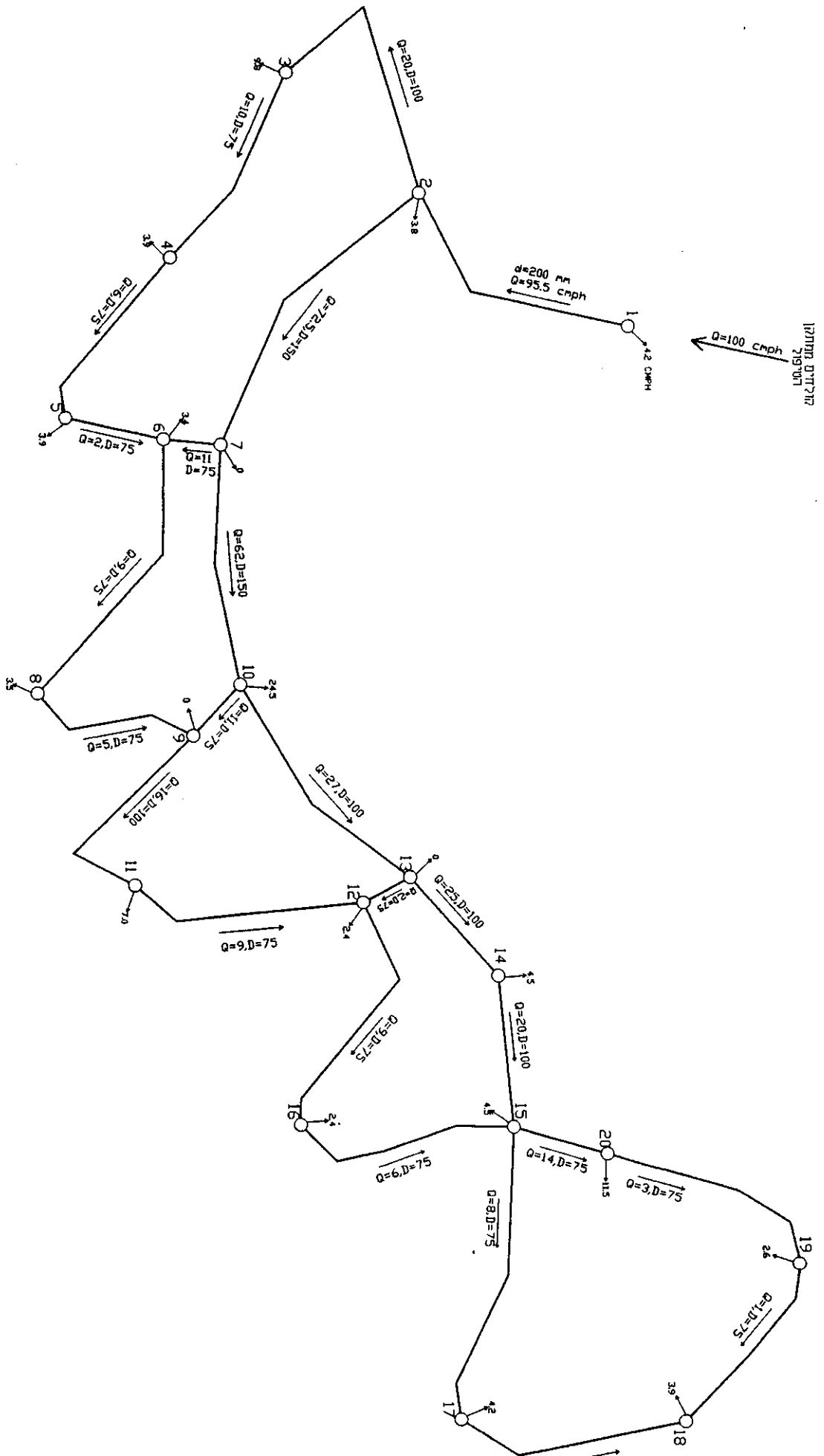
מס' הצומת	רום הצומת	ספיקת קולחים מהצומת	ספיקת שפירים מהצומת	לחץ אספקת קולחים בצומת בספיקת תכן
	מטר	מק"ש	מק"ש	מטר
1	510	4.2	0	33
2	510	3.8	12.0	32
3	504	9.8	15.0	36
4	500	3.9	12.0	39
5	505	3.9	7.0	33
6	500	3.4	0	39
7	503	0	7.0	36
8	480	3.5	12.0	57
9	478	0	50.0	57
10	488	24.5	9.5	49
11	481	7.0	15.0	55
12	479	2.4	3.5	55
13	482	0	0	52
14	484	4.5	17.0	49
15	482	4.5	16.5	50
16	475	2.4	15.0	58
17	465	4.2	50.0	66
18	450	3.9	11.0	*80
19	473	2.6	0	58
20	476	11.5	12.5	55

* כולל וסת לחץ

ריכוז נתוני צנרת מתוך פלט תוכנית Loop (לצנרת הקולחים)

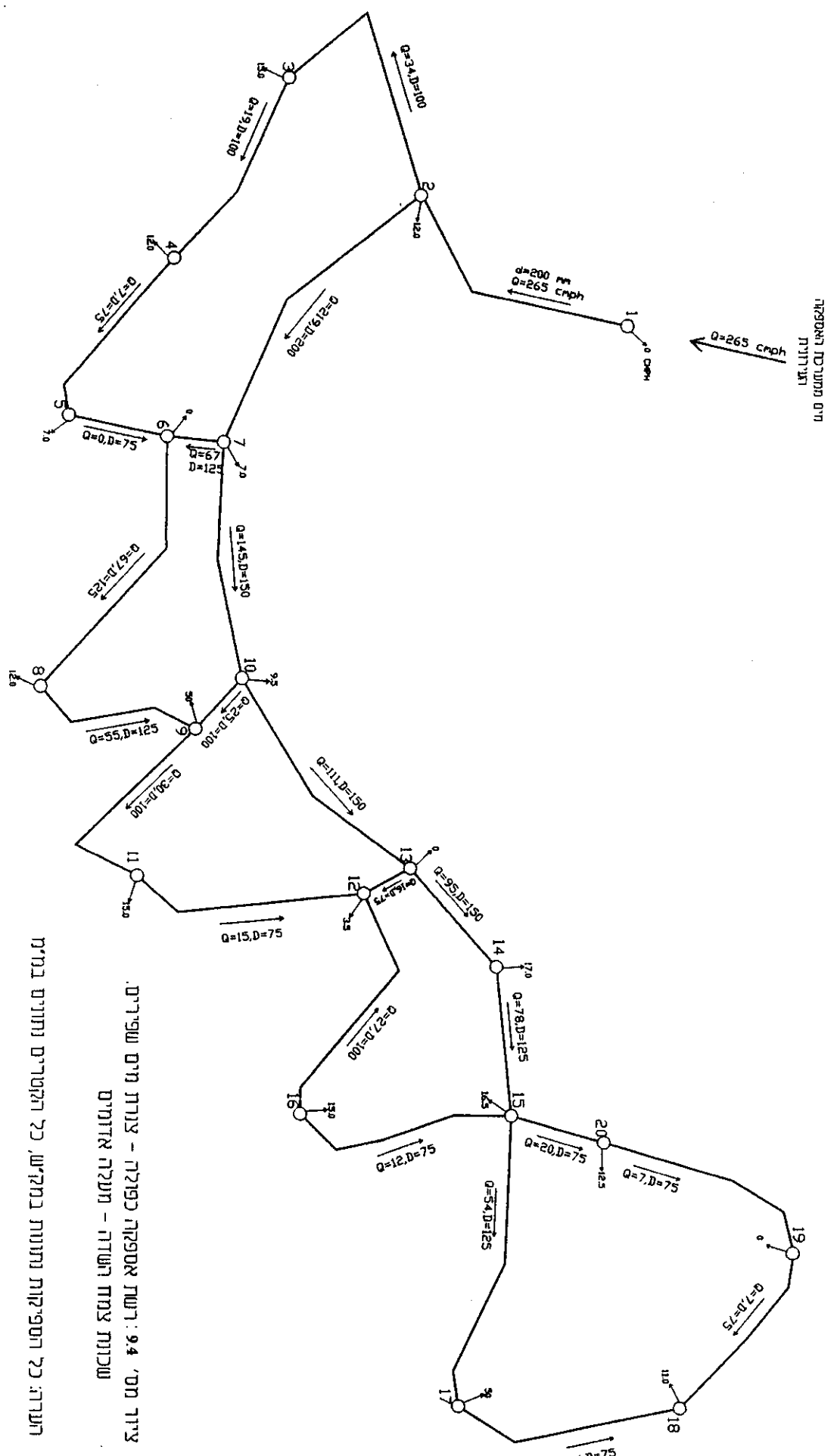
Pipe Cost Summary

Diameter (mm)	Pipe Material	Length (m)	Cost (1000 IS)	Cum. Cost (1000 IS)
75.0	MS	840.00	28.56	28.56
100.0	MS	965.00	40.53	69.09
125.0	MS	820.00	42.64	111.73
150.0	MS	1515.00	93.93	205.66
200.0	MS	945.00	72.76	278.42



צירוף מס' 9.3: רשת אספקה כפולה - צנרת הקולוניות
 טכנות צמת השדה - מעגלה אדומים

הערה: כל הספקיות נמוכות במק"ש, כל המטרים נמוכים במ"מ.



צידוד מים 9.4: רשת אספקה כפולה - צורת מים שפירים.
 שכונת צמח השדה - תעלה אדומים
 הערה: כל הספקות מתונות במקיש, כל המקורים נתונים במ"ח

9.3.3 מתקן הטיפול בשפכים (לשתי החלופות)

כאמור, מתוכנן מתקן טיפול קומפקטי לספיקה של 1,000 מק"י הקולט את שפכי השכונה בגרויטציה (בחלופה 1) או השואב שפכים גולמיים בספיקה קבועה מקו ביוב העובר בקרבתו (בחלופה 2). ע"מ לעמוד באיכות הקולחים הדרושה (לכל הפחות 5 מג"ל צ.ח.ב, 5 מג"ל מ.מ ואיכות בקטריאלית גבוהה), יעברו השפכים סינון הכלרה בנוסף לטיפול השניוני. בחלופה 1, תיוצב הברצה ע"י עיכול אירובי ותורחק ע"י ביובית. בחלופה 2, תוחזר הברצה לקו ממנו נשאבו השפכים. להלן תאור התהליך כפי שהוצע (בחלקו) ע"י חברת "אניעם - מערכות טיהור".

תאור התהליך המוצע

ממצע מתקן טיהור הפועל בשיטת ברצה משופעלת באיזור נמשך. השפכים המגיעים בגרויטציה או נשאבים מקו ביוב קיים למתקן הטיהור, מסוננים סינון ראשוני להרחקת מוצקים גסים ומטופלים במתקן הכולל ראקטור, מאוור ומשקע. הברצה עוברת לתא איסוף ברצה לצורך עיכול אירובי (חלופה 1) או מחוזרת לקו (חלופה 2). בהמשך עוברים הקולחים טיפול משלים (סינון הכלרה). בחלופה 1 מוצע בנוסף מגוב מכאני בכניסה להרחקת מ.מ גסים.

נתוני היכנון עיקריים

תא סלקטור בכניסה (למניעת היווצרות חיידקים פילמנטים) - נפח 15 מ"ק, זמן שהייה 20 דק'.
נפח תא האיזור - 870 מ"ק.
עומס אורגני - 400 ק"ג צ.ח.ב ליום.
עומס אורגני נפחי - 0.46 ק"ג צ.ח.ב למ"ק ראקטור ליממה.
שטח המשקע - 50 מ"ר.
קוטר משקע - 8 מ'.
תא איסוף וייצוב ברצה אירובי (חלופה 1): נפח התא - 120 מ"ק, זמן שהייה ממוצע - 14 יום.
תא איסוף קולחים המשמש כנפח הכלרה ולשאיבת הקולחים - 100 מ"ק.

תאור המתקן המוצע

מתקן עגול עשוי בטון מזוין המכיל את כל היחידות הדרושות לטיפול בשפכים. בהיקף החיצוני-תא סלקטור, ראקטור מאוור ותא איגום קולחים. במרכז-אגן שיקוע בעל מבנה קוני. כמות אוויר דרושה - כ 1600 מק"ש אויר. מוצעים שלושה מפוחים בהספק של 18.5 ק"וואט וספיקה של 680 מק"ש כ"א.

מידות המתקן

קוטר חיצוני - 21 מטר.
קוטר אגן שקוע - 8 מטר.
גובה רטוב - 3.5 מטר.
גובה כולל - 4 מטר.

טיפול משלים (הרחבה להצעת אניעם)

סינון קולחים ע"י מסנן גרנולרי דו שכבתי לספיקה של 100 מק"ש.
מתקן חיטוי ע"י היפוכלורייט.

לאחר הטיפול המשלים יסנקו הקולחים לבריכת ויסות בנפח 1000 מ"ק בכניסה לשכונה. הבריכה תשמש גם כתא מגע לכלורניציה.
על שאיבת הקולחים ראה בסעיף 9.3.4.

9.3.4 תאור השוני בתיכנון בין חלופות 1 ו - 2

קיימות מספר נקודות שוני בתיכנון חלופות 1 ו - 2, שיפורטו להלן:

מיקום מתקן הטיפול

בחלופה מס' 1 מוצע להקים את מתקן הטיפול בואדי מצפון לצמח השדה במקום בו יוכל לקלוט בעתיד בגריטציה גם את שפכי שכונת 07 הנמצאת בתיכנון. אורך צנור הסניקה מהואדי לבריכת הויסות - 800 מ'.

מתקן הטיפול בחלופה מס' 2 ימוקם בחלקה הצפון מזרחי של שכונת מגדים ברום של 520 מ' ומרחק של כ - 500 מטר ממעלה שכונת צמח השדה.

בריכת הויסות תמוקם בשתי החלופות בכניסה לשכונה ברום של 510 מ'.

תחנת שאיבה לקולחים

בחלופה 1 יישאבו הקולחים ממתקן הטיפול הממוקם ברום של כ - 400 מטר לבריכת ויסות בכניסה לשכונה, ברום של 510 מטר.

ספיקת תחנת השאיבה המוצעת - 100 מק"ש. עומד התחנה 130 מ', הספק דרוש 50 ק"וואט. מס' משאבות - 2, אחת בעבודה ואחת בעתודה.

ביציאה מבריכת הויסות, בשתי החלופות, יותקן בוסטר ביציאה לכוון שטחי ההשקיה ליצירת הלחץ הנדרש ברשת החלוקה. ספיקת הבוסטר - 100 מק"ש, עומד מקסימלי - 35 מ'.

9.3.5 הערכת עלויות למערכת ההשבה בשכונת צמח השדה

בטבלה מס' 9.5 ו 9.6 מרוכזות עלויות ההשקעה העלויות השנתיות למע' ההשבה. לשם השוואה חלקית, הוספו עלויות ההולכה במערכת "הרגילה".

טבלה מס' 9.5: עלויות ההשקעה בחלופות מע' ההשבה בצמח השדה

Table No. 9.5: Investment costs for Tsemah-Hasade reuse alternatives

עלות בחלופה 2 אלפי ש"ח	עלות בחלופה 1 אלפי ש"ח	הרכיב
מע' אגירה והולכה		
185	190	צנרת קולחים כולל הנחה ללא חפירה הולכה לשכונה
80	125	ממתקן הטיפול אביזרי מערכת חלוקת הקולחים
100	100	
330 בוסטר	330 מרכזית + בוסטר	בריכת ויסות יומית תחנות שאיבה לקולחים
70	70 + 170	
מתקן הטיפול		
—	40	מגוב מכאני בכניסה מתקן טיפול כולל
780	850	ציוד אלקטרו מכאני עבודות עפר
80	80	ופיתוח שטח
132	132	מערכות סינון
40	40	מערכת חיטוי
1,800	2,127	סה"כ ערך ביצוע
180	212	תיכון ופקוח 10%
180	212	ב.צ.מ 10%
2,160	2,550	סה"כ

הערה: עלות הצנרת עבור מערכת הולכת מים רגילה בשכונה - כ - 660,000 ש"ח.
עלות צנרת עבור מים שפירים בלבד במע' ההולכה הכפולה, כ - 600,000 בלבד.
ההפרש "לכות מערכת ההשבה, כ - 60,000 שקל.

טבלה מס' 9.6: עלויות שנתיות במע' ההשבה בשכונת צמח השדה לחלופות 1 ו- 2

Table No. 9.6: Annual costs for Tsemah-Hasade reuse alternatives

עלות בחלופה 2	עלות בחלופה 1	גורם משמיע	רכיב עלות
אלפי ש"ח	אלפי ש"ח		
30	35	ריבית 5% קיים 25 שנה	החזר הון צנרת קולחים
100	125	קיים 20 שנה	החזר הון ציוד
30	30	קיים 40 שנה	החזר הון קונסטרוקציות
105	150	0.2 ש"ח לק"וואט	עלות אנרגיה
30	30	כלור	עלות חומרים
80	80	1 משרה	עלות עבודה
375	450	—	סה"כ

9.3.6 ריכוז נתוני החלופות ובחירת חלופה נבחרת

בטבלה מס' 9.7 מובא ריכוז נתוני חלופות 1 ו- 2.

טבלה מס' 9.7: ריכוז נתונים על חלופות ההשבה 1 ו- 2 לצמח השדה

Table No. 9.7: Summary of details about Tsemah-Hasade's reuse alternatives

חלופה 2	חלופה 1	הנתון
טבעתית	טבעתית	מע' ההולכה
קומפקטי, 1000 מק"י, כולל סינון חיטוי. לא כולל טיפול בברצה	קומפקטי, 1000 מק"י, כולל סינון, חיטוי וטיפול בברצה	מתקן הטיפול
בשכונת מגדים	ממזרח ובמורד השכונה	מיקום מתקן הטיפול
שכונת מגדים	עצמי	מקור השפכים
1,000 מ"ק	1,000 מ"ק	יכולת אגירה
גרוויטציה + בוסטר	תחנת שאיבה לברכה + בוסטר	עומד מניע
2,160	2,550	עלות השקעה
375	450	עלות שנתית
1.50	1.80	עלות מ"ק מושב (ש"ח)
~ 0.70	~ 1.00	עלות מ"ק בהורדת עלות הטיפול הבסיס (כ 0.8 ש"ח)

החלופה העדיפה היא חלופה 2 מהסיבות הבאות:

1. עלות נמוכה להשבת מ"ק.
2. מאפשרת גמישות בהחלטה על כמויות השפכים שיטופלו בהתאם לצריכה העונתית.
3. המע' פשוטה (ללא טיפול בברצה, ללא תחנת שאיבה) ואמינה.

שתי החלופות המוצגות לעיל הן ביטוי לשני מצבים אפשריים למחזור קולחים בשכונות מגורים למטרות השקיה ציבורית ופרטית לגינון.

החלופה הראשונה מייצגת מצב כללי יותר, ובה מנצלים השפכים / קולחים ממקור עצמי בלבד זה למעשה מייצג ראלית מצב של יישוב קטן בודד. במקרה כזה מהווה גם מערכת ההשבה פתרון לטיפול ולסילוק השפכים שהיו נדרשים גם במקרה בו לא היה שימוש חוזר של הקולחים בשכונה. במצב כזה ניתן להוריד מעלות ההשבה את עלות הטיפול והסילוק : 0.5 - 1 שקל למ"ק, בהתאם לאיכות הקולחים שתידרש ותהליך הטיפול שיבחר.

החלופה השניה מייצגת מצב בו מקור השפכים הוא קו ביוב עירוני העובר בסמוך ומעל השכונה או האתר בו ינצלו הקולחים. מערכת כזאת נהנית מכמה יתרונות לגבי החלופה הראשונה:

א. ניתן להטות מהקו העירוני ולטפל באותה כמות שפכים בהתאם לכמויות הנצרכות לשימוש החוזר.
 ב. האפשרות להחזיר את הברצה לקו העירוני, עושה את תהליך הטיפול לפשוט וחסכוני יותר, עם מינימום הפרעה לסביבה.

ג. ברוב המקרים ניתן להימנע משאיבה לאורך השימוש החוזר, או לפחות להקטין במידה משמעותית את השקעת האנרגיה.

היתרונות הללו יתבטאו בעלות נמוכה יותר של הטיפול והספקת הקולחים אולם יש לזכור כי מתקן הטיפול מוקם במקרה כזה אך ורק למטרות ההשבה וכל העלויות תכלולנה במחיר הקולחים המושבים.

פרק 10. ניתוח תוצאות התיכנון, דיון ומסקנות

10.1 מבוא לדיון

מטרת עבודה זו היא העלאת אופציית השימוש החחר העירוני לדיון בארץ. דיון כזה מוצג בפרק זה עבור שני האתרים שנבחרו כמודלים לתיכנון. הבדיקה כוללת חישוב ההיתכנות ההנדסית ובחינת הכדאיות הכלכלית עבור שני הפרוייקטים.

10.1.1 בדיקת היתכנות הנדסית - כללי

- במסגרת בדיקת ההיתכנות ההנדסית לכל פרוייקט יבדקו הנושאים הבאים:
1. קביעת האיכות הנדרשת לצרכנים האם ניתן לספק ברמת אמינות גבוהה.
 2. בדיקת צריכת הקולחים העירונית הפוטנציאלית וקביעה אם יש בכלל מקום למערכת השבה.
 3. המשמעות הטכנית של הקמה ותפעול מערכת לשימוש חחר בעיר, מבחינת הרשות המפעילה ומבחינת התושבים.
 4. בדיקת המשמעות הסביבתית של מערכת ההשבה העירונית.
 5. הערכת רמת הסיכון לאוכלוסייה מיישום שימוש חחר עירוני.
 6. הערכת ההתנגדות הציבורית הצפויה האם היא יכולה לגרום לביטול הפרוייקט.
 7. הערכת משמעות יישום מע' השבה על הפתרונות שיידרשו בעתיד לפתוח מקורות מים שפירים נוספים לעיר עם גידול אוכלוסייתה.
 8. הערכת משמעות החסכון למשק במים כתוצאה מיישום הפרוייקט.

10.1.2 בדיקת כדאיות כלכלית - כללי

במסגרת בדיקת הכדאיות הכלכלית תיבדק עלות השימוש בקולחים כנגד התועלת הכלכלית שניתן להפיק מהם. בציור 10.1 מתג תרשים משבצות לבדיקת הכדאיות הכלכלית. לא כל הגורמים המשפיעים על הכדאיות הכלכלית ניתנים למדידה כמותית בשלב זה ולכן הם יוערכו איכותית בלבד. גורמים אחרים כגון עלות המים השפירים הנוכחית או חסכון בפיתוח מקורות מים חדשים הם הערכות שהתקבלו ממקורות חיצוניים ורמת דיוקם בינונית בלבד, אך הם נותנים סדר גודל ברמת דיוק סבירה.

להלן פירוט הגורמים המשפיעים על העלויות:

1. חיסכון בעלות מים נוכחית

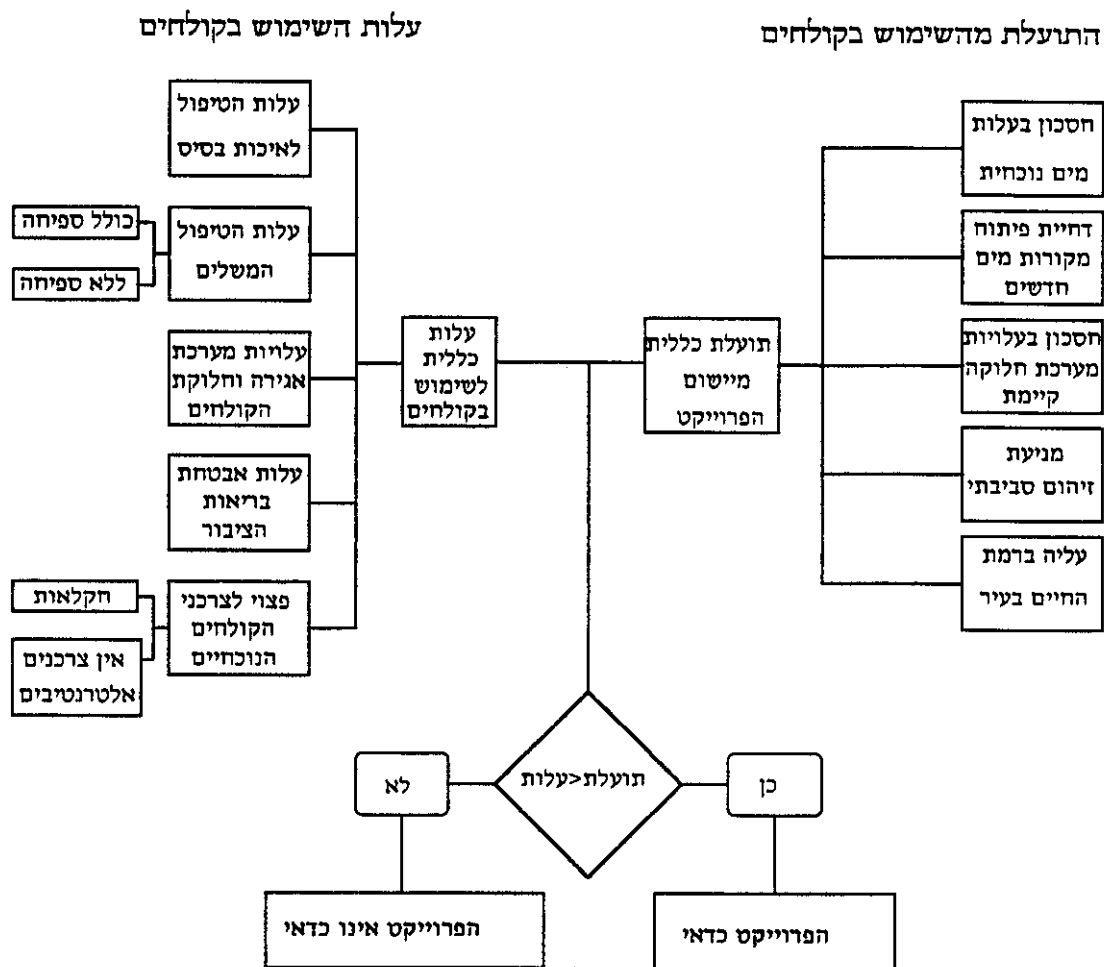
החיסכון נובע משימוש בקולחים המחליפים מים שפירים יקרים. עלויות המים הראליות הם פרמטר קשה להערכה בהיותו מושפע מגורמים שונים, לא תמיד ענייניים. למרות זאת וע"מ לקבל סדר גודל מספרי, השתמשנו במידרג העלויות של חברת מקורות המובא בנספח מס' 1. עלויות אלה נמוכות מהעלויות הראליות משתי סיבות עיקריות: האחת, עלויות החזר ההון אינן נכללות בו במלואן השניה, עלויות אלה מהוות מיצוע של עלויות האספקה לאזורים השונים בארץ ונכללות בהן גם עלויות ההפקה הזולות מהאקוירים המקומיים. היות וברור כי הקולחים יחליפו את מי המוביל היקרים, הרי שהעלויות על פי חברת מקורות, נמוכות מהחיסכון שיתקבל בפועל בפרוייקט.

2. חיסכון הנובע מדחיית פיתוח מקורות מים חדשים

הפניית קולחים לשימוש עירוני מאפשרת דחייה בהשקעות לפיתוח מקורות מים חדשים לעיר. מידת הדחייה תלויה בגורמים כגון קצב גידול צריכת המים או לחילופין כמות הקולחים המופנים לצרכנים העירוניים.

עלות מקורות המים החדשים המורכבות מעלות "ייצור" המים ועלות מתקני ההובלה לצרכן, נלקחו במיצוע מעלויות מקורבות לפיתוח מתקני התפלה ועלות אספקת מ"ק בקו הרביעי החדש לירושלים, בהנחה שהם מייצגים אלטרנטיבות למקורות מים אפשריים שינצלו בעתיד הקרוב.
ציור 10.1: תרשים משכצות לניתוח כדאיות כלכלית של פרויקט השבה עירונית.

Figure No. 10.1: Economical flow chart for evaluation of urban water reuse projects



3. חיסכון בעלויות מע' חלוקה עירונית קיימת

בתכנון מערכות חלוקה כפולות בערים חדשות, יש לסעיף זה משמעות גדולה של הקטנת קטרי צנרת אספקת המים המתקנים ההידראולים. בערים קיימות, בהם "תולבש" מערכת הובלת הקולחים על המערכת הקיימת המשמעות קטנה יחסית ומתבטאת בחיסכון בעלויות האנרגיה.

4. מניעת זיהום סביבתי

פרמטר שקשה להעריכו כמותית. משמעותו גדולה כאשר מע' ההשבה העירונית מחליפה טיפול ברמה נמוכה או סילוק בלתי מבוקר של שפכים לנחל. גם טיפול לרמת בסיס של 20/30, הנחשב כפריצת דרך איכותית בארץ, גורם לזיהום סביבתי כאשר משתמשים בקולחים מכיוון שהוא אינו מטפל במרכיבי זיהום רבים בשפכים כגון חנקות, מתכות כבדות תרכובות אורגניות מומסות ועוד. הטיפול המתקדם בו מאופיינת מערכת השבה עירונית מבטיח הקטנה משמעותית של הזיהום הסביבתי כאשר משתמשים בקולחים.

5. עליית רמת החיים בעיר

מתקן להשבה עירונית המתפקד כיאות צפוי להעלות את רמת החיים בעיר מהסיבות הבאות: כמויות המים המופנות להשקיה ביתית וציבורית לא יוגבלו באופן כללי ובפרט בשנות בצורת (לכך יש משמעות בעיקר באזורים בעלי מיעוט טבעי במשקעים); אתר נופש המבוסס על גופי מים המשתמשים בקולחים צפוי למשוך תיירות; תעשיות המבוססות על מים כחלק עיקרי מתהליך הייצור עשויות לנצל את המים הזולים ובכך ליצור מקומות עבודה נוספים וכד'.

הערכה כלכלית של פרמטר זה הנה מורכבת, ובעבודה הנוכחית הוא יוכנס כמרכיב איכותי בלבד.

6. עלויות הטיפול הבסיסי לשפכים, הטיפול המשלים ומע' חלוקת הקולחים עלויות אלה טופלו בהרחבה בפרקים 6 - 7.

7. עלויות הקשורות לאבטחת בריאות הציבור

בעלויות אלה יש לכלול את הקמת מע' ההתרעה הפיזית מפני שימוש לא תקין בקולחים (שלטים, הטמנת ונעילת אביזרים וכד') ואת מערך הפיקוח הצמוד על המערכת בשלב ההפעלה.

8. עלויות הקשורות להפסד הכנסה ריאלית לצרכנים הנוכחיים (במידה וקיימים)

באזורים בהם מופנים השפכים המושכים להשקיה חקלאית יש לקחת בחשבון את הפסד ההכנסה לחקלאים (או צרכני קולחים אחרים) עקב הקטנת כמות הקולחים המופנית אליהם. בהקשר זה יש לציין כי בשנים האחרונות עקב ירידה חדה ברווחיות גידולי השדה שהתבססו על קולחים ברמה נמוכה כגון כותנה, אטפסת וכד' ירדה גם הדרישה לקולחים. ריאלית, אין כדאיות כלכלית בהפניית קולחים ברמה נמוכה לחקלאות.

העיוור המזהיר בשנים האחרונות, מקטין את צריכת הקולחים הפוטנציאלית לחקלאות בעיקר בקרבת הערים שהם יצרניות הקולחים, ובכך מקטין עוד יותר את כדאיות הפניית הקולחים לחקלאות.

10.2 הערכת ההיתכנות ההנדסית לפרוייקטי ההשבה המוצעים

כיון ששני הפרוייקטים שנבדקו מייצגים לא רק את המקומות הספציפיים אלא גם גודל ואופי של מפעל השבה עירוני, ננתח את תוצאות התכנון בנפרד.

10.2.1 באר שבע - עיר בגודל בינוני

1. צריכת הקולחים הפוטנציאלית

צריכת הקולחים הצפויה ממתקן הטיפול המזרחי מגיעה ל 2.1 מל"מ"ק בשנה. כמות זאת מהוו כ - 40% מכמות השפכים המגיעים למתקן. מחצית מכמות זאת תיצרך בעיר עצמה, בעיקר עבור השקיית נוף ופארקים, גינות ציבוריות וגינות גופים ציבוריים כגון האוניברסיטה.

המחצית השניה מיועדת לצריכה תעשייתית באזור רמת חובב. יש להניח, שאחרי הפעלת מערכת המיחזור, יצטרפו צרכנים נוספים - גינות בתים משותפים (שיעשה ע"י קבלנים מורשים), שטחים ציבוריים (קניונים לדוגמא) וכן תעשייה ומלאכה.

כמות השפכים הניתנת למיחזור עירוני תגיע ל 30% עד 40% מכמות השפכים הכוללת.

במידה ותיושם תכנית הפארק במערב ב"ש, ניתן יהיה להפנות לשם את ספיקת כל השפכים של האזור המערבי, או לפחות חלק גדול ממנה. אחרי שימוש בקולחים באגמי נוי ולנופש, ניתן יהיה להשתמש בקולחים אלה להשקיה חקלאית.

2. האיכות הנדרשת לצרכנים והרכיבים להשיגה

האיכות שתידרש להשקיית נוי ולמרבית הצריכה התעשייתית היא זאת של "השקיה בלתי מוגבלת" (ראה טבלה 1.10). האיכות הדרושה תושג בשני שלבים: מתקן טיפול ביולוגי מכאני, להשגת איכות

הבסיס 20/30, שיוקם ליד ובמקום בריכות הייצוב באזור הניקח המזרחי ובשלב השני - טיפול שלישוני משלים שיהיה מורכב מסינון רב שכבתי ומחיתוי.

בכדי להוריד את ריכוז היידקי הקולי ל 2.2 ב 100 מ"ל, יהיה צורך בשתי נקודות חיטוי (לפני ואחרי הסינון). עקב גיל הברצה הגבוה (<25 יום) יש לצפות לניטריפיקציה מלאה, מצב שיקטין את הדרישה לכלור ויעלה את יעילות החיטוי. יתכן חלק מצרכני התעשייה ידרשו סילוק מלא של תרכובות החנקן, לכן בתכנון מתקן הטיפול הביולוגי יש להשאיר אפשרות להוספת שלב של דניטריפיקציה.

במידה וקולחי מתקן הטיפול המערבי יופנו למאגר נוי ונופש בפארק המתוכנן, יהיה צורך למנוע את תופעת הניטריפיקציה. אחת הדרכים האמינות היא סילוק הזרחן מהקולחים ע"י שיקוע כימי (אלום), בשלב הטיפול הביולוגי או בשלב הסינון.

הטיפול הביולוגי וכן הסינון החיטוי, הם תהליכים מוכרים בישראל, וניתן יהיה להבטיח את פעולתם התקינה והשגת איכות הקולחים הנדרשת.

בנוסף לגורמי הזיהום היקלאסיים - צחי"ב, צחי"ב, מ.מ, מזינים (חנקן חרוון) חיהום מיקרוביולוגי, קיימים שני גורמים נוספים שיש להתייחס אליהם: מתכות כבדות ומליחות. גורמים אלה משפיעים על ההשקיה, בין אם היא השקיה חקלאית או השקית נוף. הדרך היעילה והיחידה מבחינה כלכלית, למנוע ריכוז גבוה מהמותר של מתכות כבדות, או ריכוז כלורידים, היא ע"י מניעת כניסתם ממפעלי תעשייה ומתקני ריכוך מים למערכת הביוב. יש לצפות שבמערכת בה הקולחים ממחוזרים לשימוש עירוני, תהיה תשומת לב מרבית לפיקוח על סילוק שפכי תעשייה למערכת הביוב. במקרים בהם מבנה הרשת מאפשר, רצוי להפריד לגמרי את שפכי התעשייה ולהזין את מתקן המיחזור בשפכים ביתיים בלבד. במקרים מסוימים ניתן להרחיק מתכות כבדות ע"י שיקוע כימי (סיד), אולם כמויות ניכרות שלך ברצה הנצרות בתהליך, יצרות מטרד בזמן הסילוק.

ספיחה על פחם פעיל: בזמן העבודה נבדקה האפשרות להעלות את איכות הקולחים לרמה שתאפשר שימוש לניקיון בתוך הבית (לשימושים כגון הדחת אסלות) ע"י הוספת יחידת פעולה של ספיחה על פחם פעיל.

בישראל לא הופעל עדיין מתקן לספיחה על פחם פעיל במערכת לטיפול במים בגודל הנדרש עבור המפעל המתוכנן בב"ש. לכן, נעשה תכנון המתקן על סמך נתונים מהספרות ממתקנים דומים בארה"ב. נתונים אלה צריכים להיבדק בתנאי ישראל לפני שניתן יהיה להסיק מהם מסקנות ביחס לאספקטים הטכניים - כגון נפח הקולחים הניתן לטיפול ע"י יחידת משקל פחם פעיל בין רגנרציות או הכדאיות של הפעלת מתקן רגנרציה באתר הטיפול. לגבי שיקולים כלכליים - ראה להלן.

3. המשמעות הטכנית של הקמת והפעלת הפרוייקט

מתקני הטיפול המשלים (השלישוני) יוקמו ויופעלו כחלק ממתקן הטיפול הבסיסי. מן הראוי כי בתכנון המתקנים המזרחי המערבי, תילקח בחשבון האפשרות להוספת יחידות לטיפול הנוסף.

רשת החלוקה

חלוקת הקולחים לצרכנים בעיר עצמה מבוססת על מאגר תפעולי יומי שיוקם באזור הפארק המקיף את אנדרטת הפלמי"ח מצפון לעיר. יתכן וניתן יהיה לנצל את המאגר (לאחר תכנון מתאים) כאלמנט נרי.

הנחת צנרת החלוקה בתוך העיר תגרום לקשיים זמניים, עקב הצורך להניחה לאורך רחובות קיימים. בעת תכנון הצנרת יש לשקול את האפשרות להשתמש בצנרת p.v.c או פוליאתילן, על מנת ליצור הבדל ברור בינה ובין צנרת המים השפירים הבנויה בעיקרה מצנרת פלדה, כך שימנעו חיבורים צולבים.

קו הסניקה לרמת חובב וכן המאגר הדרוש, יונחו בעיקרם בשטח פתוח מבלי ליצור קשיים. כל צרכן שיצטרף למערכת הקולחים יצטרך להתאים את הרשת הפנימית לשימוש החדש ובעיקר ניתוק מכל חיבור לרשת המים השפירים.

תפעול - הפעלת הפרוייקט תחייב העסקת צוות מיומן, עם תמיכה ופיקוח הנדסי, החל משלב הטיפול הבסיסי, הטיפול המשלים וכן תפעול ופיקוח על רשת ההספקה לצרכנים. מערכת הבדיקות הניטור הרצוף (עכירות, שארית כלור) יבטיחו את האיכות הדרושה של הקולחים. המערכת תתריע במקרה של ירידה באיכות הקולחים (אשר יופנו במקרה זה חזרה למתקן הטיפול הבסיסי).

הפעלת מערכת השימוש החחר תלויה בהסברה רצופה לציבור והדרכה מתאימה של המשתמשים. ההוצאות הנוספות לכרדה, ניטור הסברה מובאות בחשבון בהערכה הכלכלית.

4. בדיקת ההשפעה הסביבתית של מערכת השבה עירונית.

בנספח 3 מובאת מפה של אזורי הסיכון להשקיה בקולחים מבחינת סיכון זיהום האקוויפרים. על פי מפה זו, נמצאת ב"ש באזור סיכון נמוך - ג', ואילו מעלה אדומים באזור סיכון ב' - סיכון בינוני. רוב המקומות בהם יעשה שימוש עירוני בקולחים ימצאו באזורים גבוהים בהם מפלט מי התהום נמוך וסכנת זיהומם עקב השקיית נוי בקולחים או שימושים עירוניים אחרים, קטנה. האיכות הגבוהה של הקולחים הממחזורים, וכן האפשרות להגיע להרחקה מלאה של תרכובות החנקן, מצמצמות מאד את אפשרות הפגיעה בסביבה, גם במקומות בהם יסולקו הקולחים ללא שימוש.

5. רמת הסיכון הבריאותי לאכלוסיה ומניעתו.

כפי שהודגש מס' פעמים בדו"ח, כל הקולחים המיועדים לשימוש חחר במגזר העירוני יהיו באיכות בקטריאלית שתמנע סיכון בריאותי עקב מגע או שתייה מקרית. איכות הקולחים תובטח ע"י מערכת בקרה רציפה, בדיקת עכירות רציפה ובדיקת שארית כלור נותר. שארית כלור נותר של 2 מג"ל (אחרי זמן מגע של 2 שעות), תמנע גידול חחר של חיידקים במערכת ההספקה. קולחים שלא יעמדו בדרישות האיכות, לא יסופקו לשימוש החחר. בבאר שבע הם יחזרו למאגר הקולחים השניוניים, במעלה אדומים (יישוב קטן) הם יחזרו לקו הביוב, או יופנו להשקיית נוף מחוץ לתחומי הישוב.

בכל מערכות ההשקיה ינקטו הצעדים הדרושים, בהתאם לתקנות משרד הבריאות, כדי למנוע מגע של הציבור עם הקולחים המושבים: שילוט מתאים של מקומות השימוש בקולחים, השקיה בטפטוף ו/או הגבלת ההשקיה לשעות הלילה.

רשת הספקת השימוש בקולחים תתוכנן ותבנה בצורה שתמנע חיבורים צולבים: שימוש בחומרים שונים מאשר ברשת המים השפירים, סימון מתאים, הפעלה בלחצים נמוכים. הצוות שיפעיל ויפקח על רשת הקולחים יהיה קבוע, מכיר היטב את כל המערכות ובעל ידע מקצועי מתאים. בעשרות מפעלי השבה, המספקים קולחים לשימוש ציבורי ופרטי לֶאֱ דוח על תקלות בריאותיות, למרות שחלקם פועל כבר למעלה מ 20 שנה (ראה סעיף 2.1).

6. עמדת הציבור ביחס לפרוייקט השבה

תוצאות סקר דעת הקהל שבוצע במסגרת מחקר זה וסקרים רבים שבוצעו בארה"ב, מראים כי הציבור מוכן לקבל קולחים מושבים שאינם כוללים מגע ישיר עם בני אדם. סביר להניח כי עמדת הציבור תהיה חיובית יותר ככל שהאזור יהיה יבש יותר ופגיע יותר למחסור במים.

7. הערכת יישום פרוייקט השבה על פיתוח מקורות שפירים נוספים לעיר.

על פי תוכניות האב, צפויה אוכלוסיית ב"ש להגיע ל 315 אלף נפש בשנת 2020 ולצריכת מים של 30 מלמ"ק בשנה, לעומת 12 מלמ"ק היום. לפיכך, יוצר צורך בהגדלת אספקת המים לעיר. עיקר התוספת תבוא או מצפון הנגב אשר ניוון ממי המוביל הנשאבים מהכינרת או מהתפלת מים - מים מליחים מהאזור או מי ים.

שימוש חחר בקולחים במגזר העירוני התעשייתי, העשוי להגיע עד לכ - 4-5 מלמ"ק בשנה (כ - 20% מכמות השפכים הצפויה ב - 2020), יאפשר הקטנת ההשקעות שתידרשנה להספקת מים לעיר או דחיית מועד הביצוע.

מיחזור הקולחים יאפשר גם הפניית מים להקמת אגם נוי ונופש, מים אשר לא יהיו זמינים אילו תוכננו לכך מים שפירים.

8. הערכת משמעות הפרוייקט לגבי מאזן המים הארצי

כמות המים שתחסך ע"י פרוייקט המיחזור העירוני בב"ש עשויה להגיע, עבור כל השימושים פרט לשתיה בישראל וניקיון אישי, למקסימום של כ - 5 מלמ"ק לשנה. לכמות זאת יש כאמור משמעות מקומית אזורית, אך היא זניחה לגבי מאזן המים הארצי. אולם, אם השימוש החחר העירוני ייושם לגבי כל אותם היישובים המיקרים בהם קיימת הצדקה כלכלית מקומית לישמו, עשויה כמות המים השפירים הנחסכת להוות מספר אחחים מכלל הצריכה הארצית.

לחיסכון ברמה הארצית תהיה משמעות כלכלית בשני תנאים:

1. החקלאות לא תוכל, מסיבות שונות, להמיר קולחים אלה במים שפירים.

2. יתהווה מחסור במים אשר יסופק ע"י התפלת מים, בעלויות של 1.5 שקל עד 3 שקלים למ"ק, בהתאם למקור מי הגלם - מים מליחים או מי ים בהתאמה.

10.2.2 מעלה אדומים - שכונת צמח השדה, מודל ליישוב קטן

שכונת צמח השדה בעיר מעלה אדומים נבחרה כמודל ליישוב קטן, אך כיוון שהשכונה מהווה חלק ממכלול עירוני גדול יותר, נתייחס גם לאספקטים הכלליים.

1. צריכת קולחים פוטנציאלית

שכונת צמח השדה מתוכננת ל 2000 יח' דיור בהם יגורו כ - 8000 תושבים. צריכת המים הביתית הציבורית בשכונה נאמדת בכ - 250-275 לנ"י שהם כ - 750-800 אלף מ"ק לשנה. השימוש החרר בתחומי השכונה יעשה עבור השקיית נוף, גינון פרטי וציבורי. כמות הקולחים שתידרש להשקיה היא 200,000 - 250,000 מ"ק לשנה, המהווים 30%-25 מצריכת המים. על בסיס צריכה סגולית ניתן להעריך כדלקמן: צריכה ביתית בלבד - 180 לנ"י, מהם 35 לנ"י לגינון. צריכה ציבורית וגינון ציבורי - 80 לנ"י, מהם 40 לגינון.

למרות שרשת המים המושבים מתוכננת להגיע לכל מגרש בשכונה, נקבע כי בשלב הראשון לא יסופקו מים מושבים לתוך הבתים למרות שע"י כך ניתן היה להגיע לחיסכון של עוד 60-80 לנ"י. הקביעה נעשתה משתי סיבות: א. לא בטוח כי הציבור מוכן לקליטת מים מושבים בתוך הבית ויש לאפשר תקופת ניסיון הסתגלות בשימוש לגינון בלבד ו ב. תוספת העלות הנדרשת לרמת טהור גבוהה יותר - ספיחה על פחם פעיל, עשויה להפוך את הפרוייקט לבלתי כלכלי.

יש לציין כי במידה ועוסקים בשכונה בתוך מכלול עירוני, יש להניח כי ימצאו צרכנים נוספים כמו תעשייה או צרכנים למטרות נפש.

2. האיכות הנדרשת לצרכנים וכיצד להשיגה

האיכות הנדרשת להשקיית הגינון הציבורי הפרטי, היא כשל איכות להשקיה בלתי מוגבלת (ראו טבלה 1.10), והיא תושג בשני שלבים: א. טיפול בסיסי לרמה של 20/30. ו ב. טיפול משלים - סינון גרנולרי וחיטוי כפול לפני המסנן ואחריו + בריכת שהייה לשתי שעות לפני השאיבה לרשת האספקה. כיון שהמערכת מיועדת ליישוב קטן ומשתמשת בשפכי אותו יישוב, לא צפויים זיהומים חריגים כמו מתכות כבדות או רמת כלורידים גבוהה.

3. המשמעות הטכנית של הקמת והפעלת הפרוייקט

בבדיקת מיקום מתקני הטיפול וקביעת ספיקת התכן שלהם נתייחס לשתי אפשרויות: 1. ההשבה מיושמת ביישוב קטן. 2. ההשבה מיושמת בשכונה (שכונות) המהוות חלק ממערכת עירונית גדולה.

1. ההשבה ביישוב בודד

1. מערכת ההשבה מתוכננת עבור ישוב קטן בודד (מבחינת מערכות המים הביוב) היא תתבסס על מתקן טיפול שיבנה עבור כלל השפכים של הישוב. עבור ישובים עם אוכלוסייה עד 8,000-10,000 נפש מתקן טיפול מודולרי, מתוכנן מראש, יהיה הפתרון הכלכלי. מתקן הטיפול המשלים יקבל קולחים ממתקן הטיפול הבסיסי, בהתאם לכמות שתופנה לשימוש החוזר כחלק מהמתקן המשלים יבנה מאגר, בנפח של כ 50% מהצריכה היומית, אשר ממנו ישאבו הקולחים לרשת החלוקה של הקולחים המושבים. המאגר יאפשר הפעלה רצופה ובספיקה יומית ממוצעת של מתקן הטיפול המשלים, יצור את זמן המגע הנדרש לחטוי ויאפשר בקרה יעילה על איכות הקולחים. במקרה של הישוב הבודד, הטיפול הבסיסי יצטרך לכלול אמצעים לטיפול וסילוק הבוצה הנצרת. יהיה צורך למצוא פתרון לסילוק מסודר של כמות הקולחים שלא תושב לשמוש ביישוב. אחת האפשרויות היא לטפל בכל הקולחים לרמה של השקיה בלתי מוגבלת, ועל ידי כך לאפשר לשימושים "יקרים" יותר בחקלאות, או לשימוש חוזר באזורי תעשייה.

השבה בשכונה בתוך מערך עירוני

מתקן הטיפול הבסיסי ומתקן הטיפול המשלים מוקמים על קו מאסף עירוני, ושניהם מתוכננים לטפל בכמות השפכים המיועדת להשבה בלבד. הברצה הנוצרת תוחזר לקו הביוב ותגיע, יחד עם השפכים הבלתי מטופלים למתקן טיהור עירוני מרכזי. המיקום של מתקני הטיפול ביחס לאזור ההשבה משפיע במידה גוברת על העלות. האפשרות להשתמש בשפכים משכונה גבוהה ולהעבירם לשימוש חוזר לשכונה נמוכה תאפשר חיטובן משמעותי בעלויות, לעומת מצב בו שואבים חזרה את הקולחים המטופלים חזרה לשכונה (חלופה 2 לעומת חלופה 1 בעיר מעלה אדומים).

האפשרות להזרים את הברצה למתקן טיפול מרכזי, מסלקת את הגורם הפוטנציאלי העיקרי ליצירת מטרדים, וע"י כך ניתן לשקול אפשרות להקמת מתקן הטיפול הבסיסי יחד עם הטיפול המשלים בסמוך למקור יצור השפכים, או אזור השימוש החר.

בין מתקן הטיפול המשלים (סינון + חיטוי) ובין רשת חלוקת המים המושבים יבנה מאגר לכמחצית מהספיקה היומית, כפי שהוצע עבור המערכת המיועדת לישוב הבודד.

רשת החלוקה

בהבדל שבין רשת החלוקה בפרויקט באר-שבע, שבה הצרכנים הם מוסדות ציבור, עירייה, תעשייה, הרי בהשבה השכונתית יחוברו לרשת גם מספר רב של צרכנים פרטיים - גינות של בתים בודדים ושל בתים משותפים. מצב זה מחייב התייחסות הן לאספקט הטכני של הנחת הרשת הכפולה, והן לבעיה של מניעת סיכון תברואתי.

רשת המים המושבים בשכונה תחפוף מבחינת אופן פריסתה את רשת המים השפירים. על מנת להגיע לפתרון ההנדסי האופטימלי ולחיטובן מבסימלי בעלויות, יש חשיבות רבה לתכנון בו זמנית את שתי הרשתות - למים שפירים ולמים מושבים. התכנון המשותף יתייחס לחלוקת הספיקות בין הרשתות ולתנחומה היחסית שלהן ברחובות. יש להניח את רשת הצינורות של המים המושבים יחד עם בנית שאר התשתיות העירוניות. מבחינה כספית עדיף להניח את שתי רשתות המים באותה תעלה, כשהן עשויות מתומרים שונים (פלדה - מים שפירים, P.V.C או פוליאטילן - מים מושבים), ומונחות בגבהים שונים. מבחינת מניעה של חיבורים צולבים, עדיף להניח את הצנרות מרוחקות אחת מהשניה, בתעלות נפרדות. אך בכל מקרה יש להניח את רשת המים המושבים יחד עם שאר התשתיות בשכונה ולהמנע בפגיעה בתשתית קיימת - רחובות מדרכות וכו'.

תפעול

ההפעלה של מתקן הטיפול הבסיסי ומתקן הטיפול המשלים הצמוד אליו, וכן הפיקוח על השימוש בקולחים המושבים - התחברות לרשת, אופן ושעות ההשקיה יהיו באחריות גוף אחד. בקביעת כח האדם הדרוש לפרוייקט, הוקצב יום עבודה שלם למטלות הנזכרות לעיל, לעומת הצורך בכ - 1/4 יום עבודה בממוצע לתפעול מתקני הטיפול עצמם.

4. ההשפעה הסביבתית

הנושא נדון בחלק העוסק בפרוייקט ההשבה בבאר שבע. השימוש החוזר במגזר העירוני יעשה בד"כ במקומות בהם השימוש החקלאי הינו מצומצם או נעדר לחלוטין. לכן עיקר הסכנה לפגיעה סביבתית נובעת מהשפכים שאינם מנוצלים. לפיכך, הפניית חלק מהקולחים לטיפול משלים ושימוש חוזר עירוני יקטינו את הסכנה לפגיעה בסביבה.

5. רמת הסיכון הבריאותי לאוכלוסיה ומניעתו

הכנסת השימוש החוזר בקולחים לתוך שכונת המגורים - לגינון הציבורי ובהמשך לחלקה של התושב הבודד, מחייבים רמה גבוהה של תודעה לגבי הבעיות הקשורות בשימוש החוזר בקולחים וצורך למלא אחר ההוראות הקשורות בשימוש זה. כדי למנוע את הסיכון הבריאותי, הגוף שיהיה אחראי לפרוייקט יצטרך לפקח על ההנחה החיבור של רשתות ההשקיה לקולחים, לקיים מעקב מתמיד אחר שינויים ואולי החשוב מכל, להנחות וללמד את התושבים את אופן השימוש, האבזורים המותרים וכד'. דוגמא טובה לפרוצדורה הכרוכה באישור ההתחברות לרשת קולחים להשקיה עירונית היא זו הנהוגה בעיר

6. עמדת הציבור ביחס לפרוייקט ההשבה

שימוש חוזר במסגרת עירונית רחבה, כפי שהוצע עבור באר שבע, יעשה בד"כ ע"י גופים ציבוריים ובמרחק מסוים מהתושב הבודד. השימוש החוזר ה"שכונתי" או בישוב קטן, מביא את הקולחים לקרבתו המיידית של כל אזרח. אמנם נמצא כי באופן עקרוני, מרבית התושבים מסכימים לשימוש החוזר שאינו כרוך במגע ישיר, אולם פרוייקטים "שכונתיים" חייבים להיות מלווים בהסברה ושכנוע רצופים החל משלב התכנון. יש צורך בשיתוף פעולה אקטיבי של התושבים בכדי להגיע למלוא הפוטנציאל של השימוש החוזר, וכדי למנוע כישלונות טכניים וסביבתיים.

7. הערכת השפעת הפרוייקט על פיתוח מקורות שפירים נוספים עבור העיר או הישוב

מיחזור מים בשכונה או בישוב בודד עשויה להקטין ב 25% - 30% את צריכת המים השפירים. חיטכון בסדר גודל כזה, יקטין רק במידה שולית את ההשקעות הראשוניות הנדרשות ברשת המים השפירים. השימוש החוזר יהווה גורם משמעותי בשני מקרים: א. הישוב מוקם באזור בו שורר מחסור כללי במים. ב. הישוב גדל במידה ניכרת מעבר לתיכנון הראשוני. כאשר פרוייקט השבת הקולחים מיושם בשכונה, או במספר שכונות חדשות בעיר מתפתחת, יש לצפות כי החיטכון הכולל במים שפירים יגרום לדחיית השקעות בפיתוח מקורות מים חדשים. נראה כי התרומה העיקרית של שימוש חוזר במים במגזר העירוני היא בכך שהדבר יאפשר פיתוח גנים ופארקים, מעבר למזה שהיה נעשה באזורים בהם המים יקרים וכמותם מוגבלת.

10.3 הערכת הכדאיות הכלכלית בפרוייקטים המוצעים

ניתוח הכדאיות יבוצע בנפרד עבור ב"ש ומעלה אדומים, כאשר עבור ב"ש ינתחו מס' חלופות אפשריות. לא כל הפרמטרים שהחכרו בסעיף מס' 10.1 יילקחו בחשבון כיון שחלקם בעייתי להערכה כמותית והם יחכרו בשלב המסקנות.

ניתוח הכדאיות יתבצע משני כיוונים. הכיוון הראשון יהיה מנקודת מבטו של הצרכן הבודד. נניח כי קמה חברה מסחרית לטיפול וחלוקת הקולחים, המסוגלת לספק קולחים במחיר נמוך משמעותית ממחיר המים לצרכן היום. בניתוח תוצג עלות הקולחים הראלית לאותה חברה בשני הפרוייקטים, הכוללת טיפול וחלוקת הקולחים (השקעה ועלויות הפעלה), ומצד שני את ההכנסות הצפויות הכוללות הכנסה ממכירת הקולחים לציבור, תשלום מהרשות על הטיפול בשפכים לרמת הבסיס ותגמול מהמדינה עבור הגנה על הסביבה.

כיוון הניתוח השני יהיה בדיקת הכדאיות הכלכלית הלאומית ובו ינתחו כמותית ואיכותית גורמי העלות והתועלת מיישום הפרוייקטים.

יש להדגיש כי בעוד שעלויות הטיפול בשפכים וחלוקת הקולחים לצרכנים נקבעו באופן הנדסי על ידינו והינן מדויקות במידה סבירה, הרי העלויות שעל פיהם יש לחשב את התועלת של השימוש החוזר, כגון העלויות הראליות של הספקת המים, עלויות לפיתוח מקורות מים חדשים וכד', התקבלו בחלקם ממוסדות הקשורים במשק המים ובחלקן הוערכו על ידינו ומידת דיוקם נמוכה. בנוסף למורכבות של קביעת עלויות אלה באופן אובייקטיבי, מדיניות משק המים ומחירי המים מושפעים במידה רבה מגישות ערכיות המביאות לסבסוד של מחירי המים ולקנסות על צריכת יתר. מסיבות אלה יהיה חישוב התועלת ממפעלי ההשבה עירוני המובא בעבודה, בבחינת אינדיקציה כללית ויהיה צורך לחזור ולחשב במדויק את התמורה מהחיטכון במים על בסיס מחירים ושיקולים בכל פרוייקט לגופו ולמועד הביצוע.

10.3.1 בדיקת כדאיות כלכלית בפרוייקט ההשבה בבאר שבע

העלויות הישירות לטיפול ואספקת הקולחים בבאר שבע חושבו בארבע אופציות (ראה פרק 8):

אופציה א': טיפול בסיסי ומשלים ללא ספיחה + הולכה לצרכנים:	1.34 ש"ח למ"ק
אופציה ב': טיפול בסיסי ומשלים + כולל ספיחה על פחם פעיל + הולכה לצרכנים:	1.79 ש"ח למ"ק
אופציה ג': טיפול משלים בלבד + הולכה לצרכנים:	0.62 ש"ח למ"ק
אופציה ד': טיפול משלים בלבד + ספיחה על פחם פעיל + הולכה לצרכנים:	1.07 ש"ח למ"ק

בשלב זה של בדיקת הכדאיות הכלכלית, מן הראוי להתייחס לשתי נקודות בקביעת העלות הכוללת של הקולחים:

א. לעלויות הישירות יש להוסיף עלויות הנגרמות עקב הצורך בתפעול מערכת נפרדת ועלויות מכשור הבקרה הניטור הנוסף. תוספת זו נאמדת ב 0.15 ש"ח למ"ק. לפיכך, מחירי הקולחים (ללא ספיחה על פחם פעיל) יהיו:

אופציה א': עלות כוללת - טיפול בסיסי + טיפול משלים + הולכה לצרכנים:	1.49 ש"ח למ"ק.
אופציה ג': עלות כוללת - טיפול משלים בלבד + הולכה חלוקה:	0.77 ש"ח למ"ק.
ב. עלות הספיחה על פחם פעיל נקבעה על בסיס שתי הנחות:	

1. יכולת הטיפול של הפחם הפעיל נאמדה ב - 4000 מ"ג קולחים ל - 100 ק"ג פחם עד הצורך ברענון. מכיוון שערך זה יכול להיקבע רק על בסיס איחוטרת ספיחה עבור הקולחים המסוימים, יתכן כי הערכה זו גבוהה מדי ולמעשה יכולת הטיפול תהיה נמוכה במידה ניכרת (עקב ריכוז גבוה של C.O.D מומס בקולחים).

2. העלות נקבעה על בסיס ההנחה כי הרגריציה של הפחם תעשה במתקן הטיפול עצמו ולא ע"י החברה המספקת את הפחם. במידה והדבר יתאפשר מבחינה טכנית, הרי שהרגריציה במתקן תהיה זולה במידה ניכרת מרגריציה במפעל חיצוני.

בשלב זה לא ניתן לאמוד במדויק את תוספת העלות עקב הטיפול ע"י פחם פעיל, ויתכן כי התוספת שנאמדה בעבודה כ - 0.45 ש"ח למ"ק תגיע גם ל 0.8 ש"ח למ"ק.

10.3.1.1 ניתוח כדאיות כלכלית מנקודת ראות הצרכן הבורד

מחיר המים לצרכן עירוני הכוללות היטל ביוב, נעות בין 1.77 ש"ח למ"ק עבור 16 המ"ק הראשונים ועד ל - 4 ש"ח למ"ק עבור צריכה חריגה (מחירי ינואר 94).

עלות הטיפול ואספקת הקולחים להשקיית נוף ושימושים דומים (ללא ספיחה על פחם פעיל), כאשר הרשות המקומית מכסה את עלות הטיפול הבסיסי היא 0.8 ש"ח למ"ק (0.77) - כלומר עלות המגיעה לפחות מ - 50% ממחיר המים הנמוך. במידה והקולחים המושבים יחליפו צריכה חריגה, הרי שההפרש הנומינלי יהיה גדול מאד.

במפעלי השבה בהם תוטל גם עלות הטיפול הבסיסי על מחיר הקולחים (מתקני השבה היישובים" על קו מאסף שבקצהו קיים מתקן טיפול), ועלות הטיפול וההשבה יגיעו ל - 1.5 ש"ח למ"ק, עדיין העלות נמוכה ממחיר המים לצרכן. במקרה כזה, מכיוון שההפרש הוא קטן, תצטרך להיעשות בדיקה כלכלית מפורטת לגבי הכדאיות של המפעל מנקודת מבט של חברה מסחרית המספקת מים לשימושים מסוימים.

אם נתייחס לרמה הגבוהה של השימוש החוזר בקולחים המחייב טיפול ע"י פחם פעיל - נגיע לעלות ללא טיפול בסיסי של 1.22 ש"ח למ"ק (1.07 + 0.15). עלות זו מהווה כ - 2/3 ממחיר המים לצרכן. ההפרש ילך ויקטן במידה ותגדל עלות הספיחה ע"י פחם פעיל. כדי להגיע להחלטה לגבי סוג זה של שימוש, יש צורך בקביעת איחוטרת הספיחה לגבי הקולחים הספציפים ואולי אף להקים מתקן ניסיוני.

במידה והחברה או הרשות המפעילה מערכת השבה עירונית, תקבל תגמול גם עבור הקטנת הנזק הסביבתי שנגרם ע"י סילוק בלתי מבוקר, הרי הכדאיות של השימוש החוזר העירוני תגדל מעבר להערכות דלעיל.

10.3.1.2 ניתוח הכדאיות הכלכלית ברמה הלאומית

ברמה הלאומית יש להתייחס לשלושה גורמים עיקריים: החיסכון בעלות השולית לטיפול הובלת המים השפירים מהכינרת לבאר שבע כיום, החיסכון הנובע מדחיית פיתוח מקורות מים חדשים כתוצאה מהפרוייקט החיסכון בעלויות מערכת החלוקה הקיימת. קיימים גורמים חשובים נוספים כגון התועלת לטווח ארוך הנובעת מהקטנת ריכוז המזהמים בקולחים והקטנת הזיהום הסביבתי המצטבר, התועלת מעליית רמת החיים בעיר הנובעת משפע מים לצרכי גינון עירוני ו/או מהפעלת אתר נופש המבוסס על קולחים (תיירות, עליית ערך הקרקע), שיחכרו איכותית בלבד בעבודה זו.

נתוני העלות השולית הראלית להספקת מים שפירים לבאר שבע (ולמעלה אדומים) נלקחו מתוך מדרג העלויות להספקת מים של חברת "מקורות". על פי נתונים אלה עלות המים הממוצעת לנגב הינה 1.23 ש"ח למ"ק. ניתן להניח בסבירות גבוהה כי העלות השולית האמיתית להובלת מי מוביל, גבוהה בהרבה, אך בכדי להדגיש את כדאיות הפרוייקט נשתמש בנתון זה.

עלות הטיפול המשלים של סינון + חיטוי יחד עם עלות ההובלה והחלוקה לצרכנים היא 0.77 ש"ח למ"ק בלבד לעומת 1.23 ש"ח עלות הובלת מ"ק מים לאזור ב"ש ע"פ נתוני מקורות.

החיסכון הנובע מדחיית פיתוח מקורות מים חדשים הוא בעייתי להערכה והוא תלוי במצב מקורות המים ובעייתו של הקמת מערכת ההשבה. אולם, אם נניח כי בעתיד הרחוק יהיה צורך להתפיל מים, הרי העלות הכוללת של מקורות מים חדשים בב"ש תגיע לכ - 3 ש"ח למ"ק (1.7 התפלה + 1.23 הובלה), כאשר שפכים מרשבים לשימוש עירוני, כולל טיפול ע"י פחם פעיל יעלו בין 2 ל 2.25 ש"ח למ"ק.

כיום מערכת מים כפולה, תביא לחיסכון ברשת המים השפירים: בערים חדשות - בזמן הנחת הרשתות, בערים קיימות - חסכון בשאיבה, בנפחי אגירה ודחיית תגבור הרשת. לסיכום: ברמה הלאומית ציבורית יש כדאיות מובהקת בהקמת מערכת השבה עירונית בב"ש.

10.3.1.3 קביעת נק' האיזון לכדאיות פרוייקט כפונקציה של הספיקה (דוגמא: באר שבע)

נק' האיזון הכלכלית היא הערך של גורם דומיננטי שממנו הולאה הפרוייקט אינו כדאי. הערך של נק' זו תלויה במספר לא קטן של גורמים הנדסיים הייחודיים לכל פרוייקט כגון טופוגרפיה, ריכוז צרכנים, דרישות איכות הצרכנים, עלות הקרקע וכד'. ניתן להניח כי הגורם העיקרי המשפיע על עלות המערכת היא ספיקת התבן. כשנחשב את העלות למ"ק קולחים כפונקציה של הספיקה, נוכל לקבוע את נק' האיזון המקורבת.

בציור מס' 10.1 מובא גרף המתאר את השתנות העלויות למ"ק קולחים כפונקציה של הספיקה במע' ההשבה בב"ש. לקביעת העלויות השתמשנו באותה תנחזה למערכות הטיפול המשלים והחלוקה כפי שהן מתוארות בפרוייקט ושינינו רק את הספיקות ובהתאמה את הקטרים, תחנות שאיבה, בריכות ויסות וכד'. ניתוח זה אינו מדויק מאד כיוון שסביר להניח שהספיקה תתרחב בעתיד גם כתוצאה מהצטרפות צרכנים חדשים, אולם לקבלת סדר גודל הוא מספק. במקביל, מושוות עלות הקולחים עם עלויות הולכת המים לב"ש ע"פ נתוני מקורות. ניתן לראות כי עבור אופציה של טיפול משלים הכולל ספיחה על פחם פעיל נק' האיזון היא בסביבות 275 מק"ש ואילו עבור טיפול משלים שאינו כולל ספיחה, הפרוייקט כדאי גם בספיקות נמוכות מאד. בגרף לא הוכנסו עלויות הטיפול הבסיסי, בהנחה שעלותם תכוסה ע"י הרשות. אם היו מוכנסות, הייתה נקודת האיזון לספיקה, עבור מערכת הכוללת ספיחה על פחם פעיל, בסביבות ה - 650 מק"ש ועבור טיפול הכולל סינון חיטוי בלבד, בסביבות ה - 350 מק"ש.

יש להדגיש שוב כי הגרף בציור 10.2 אינו נותן תמונה מדויקת של העלויות והושמטו ממנו גורמי עלות ורווח רבים, אולם כאמור, ניתן לקבל ממנו את סדרי הגודל, בעיקר ביחס למערכת השבה ללא פחם פעיל.

ספיקות התכן שנבדקו נקבעו כתוצאה מהניתוח המופיע בטבלה 10.1.

טבלה מס' 10.1: קביעת נקודת ספיקות התכן לניתוח נקודת האיזון הכלכלית

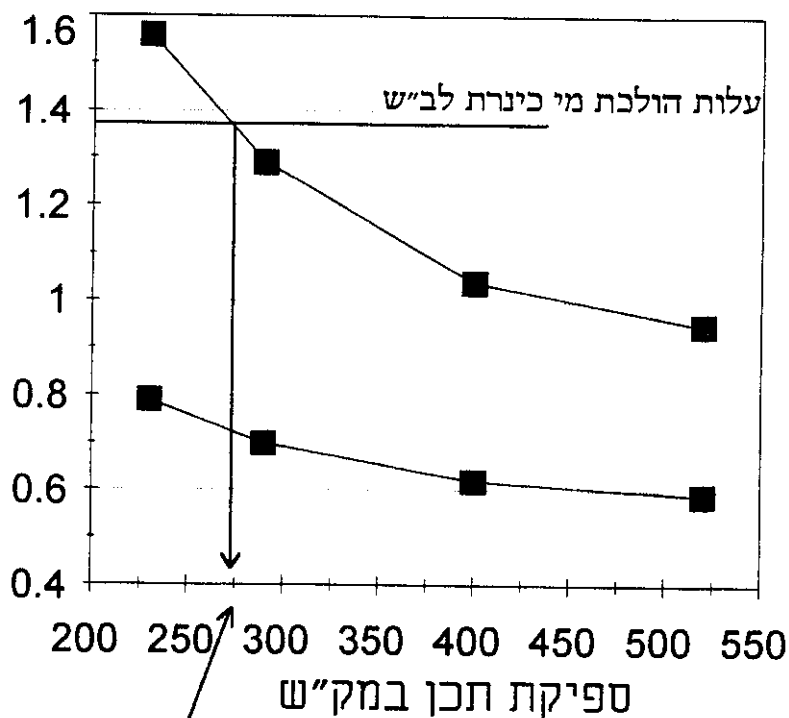
Table No. 10.1: Flow determination for economical balance point analysis

ספיקת התכן למע' ההשבה במק"ש	כמות שנתית למע' ההשבה במלמ"ק	% מספיקת שפכים שנתית למתקן הטיפול המזרחי
520	3.5	70%
400	2.5	50%
290	1.5	30%
230	1.0	20%

ציור מס' 10.2: קביעת נקודת ספיקת האיזון הכלכלית במע' ההשבה בב"ש.

Figure No. 10.2: Determination of economical balance point in Beer-Sheva reuse system

עלות בש"ח למ"ק



■ עלות טיפול משלים הכולל סינון וחיטוי + מע' חלוקה.
 ■ עלות טיפול משלים הכולל סינון, ספיחה וחיטוי + מע' חלוקה

10.3.2 הערכת הכדאיות הכלכלית של השבת קולחים בישוב קטן או בשכונה בעיר (מעלה אדומים)

בפרק 9.3.5 מובא חישוב העלויות של השימוש החוזר בקולחים בשכונה המתוכננת ל 8,000 נפש. כמות הקולחים המושבים נאמדה ב - 250,000 מ"ק לשנה - כ - 30% מכמות המים הכוללת. נבדקו 2 חלופות: חלופה 1 - השפכים של השכונה עצמה (או של הישוב הבודד) מטופלים ומסופקים חזרה לשכונה/ישוב לשימוש החוזר: חלופה 2 - השכונה בה נעשה השימוש החוזר מקבלת את הקולחים המטופלים משכונה הממוקמת גבוה יותר.

העלות השנתית הכוללת - החזר הון, חשמל, כלור והפעלה (כולל החזר הון וכח האדם הנוסף עבור רשת חלוקת הקולחים) היתה 450,000 ש"ח לחלופה 1 ו 375,000 לחלופה 2. על בסיס 250,000 מ"ק קולחים מושבים בשנה, העלויות תהיינה 1.80 ו - 1.50 שקל בהתאמה (חלופה 1 יקרה יותר כיון שיש צורך בשאיבת הקולחים לשכונה/ישוב ממתקן טיפול הממוקם נמוך מהשכונה וכן עקב הוספת אלמנט לטיפול בברצה).

הניתוח ההנדסי - כלכלי מציג את עלות ההשבה הכוללת. טיפול בסיסי, טיפול משלים ורשת ההובלה החלוקה. העלות הצפויה היא בתחום של 1.5 שקל למ"ק בתנאים טופוגרפיים נוחים ועד 2 שקלים בתנאים קשים המצריכים שאיבה ניכרת.

הכדאיות להקים מערכת השבה לישוב בודד או לשכונה בעיר, תלויה במס' שיקולים:

1. האם רשת המים באזור יכולה לספק את כל צריכת המים של הישוב או שהקולחים המושבים הם מקור המים הזמין לשימושים לא "חיוניים" כגון השקיית נוף, פיתוח פארקים ונגים.
2. העלות הכוללת של הספקת מים לישוב הנדון. בחישוב העלות יתכנו שני מצבים: א. מערכת המים מסוגלת לספק את כלל הביקוש לאזור - ואז יש להתחסס לעלות השולית של המים, שהיא בעיקר האנרגיה. במקרה של מעלה אדומים, נדרשים כ - 5 קו"ש לשאיבת המים מאזור השפלה, וכ - 7 קו"ש לשאיבה מהכינרת. במחירי ינואר 94 המחיר נע בין 1 ל 1.4 שקל למ"ק. ב. יש צורך בהגדלת יכולת הספקת המים לאזור. במקרה זה החישוב מורכב והוא מושפע ממספר כה רב של תנאים מקומיים שלא ניתן לעשות אפילו אמדן מקורב ויש לבדוק כל פרויקט בפני עצמו.
- מרכיב נוסף בעלות הכוללת הוא ערך המים השפירים במקום הפקתם - קדושי השפלה או אגם הכינרת. מפעלי השבה בסקטור העירוני יעשו כדאיים כאשר המקור הנוסף יהיו מים מותפלים שעלותם ניתנת לקביעה.

3. האם ניתן ומצדק להוריד את עלות הטיפול הבסיסי מעלות המים המושבים.

בבחינת המשמעות הטכנית של פרויקט ההשבה, הוצע כי עבור ישוב קטן, מתקן הטיפול הבסיסי יבנה עבור כל ספיקת השפכים של הישוב. בישוב של 8,000 נפש (כמו שכונת צמח השדה שנבדקה), יהיה צורך להגדיל את קיבולת מתקן הטיפול מ - 1,000 מק"י ל - 1500 מק"י. במקרה זה מוצדק להפחית את עלות הטיפול הבסיסי הנאמדת ב - 0.8 שקל למ"ק, מהעלות הכללית של ההשבה. העלות הישירה של ההשבה תגיע ל - 1.0 עד 1.2 שקל למ"ק.

במקרה של שכונה ו/או צרכנים אחרים בתוך עיר, כאשר מתקן הטיפול הבסיסי מוקם לצורך ההשבה ולעיר יש פתרון אחר לטיפול וסילוק השפכים, הרי יש לחייב את פרויקט ההשבה גם בחלק או בכל עלות הטיפול הבסיסי.

סיכום

עלות הקולחים בפרוייקט ההשבה המיועד לשכונה או מספר שכונות וצרכנים אחרים, אשר עבורו יש לבנות ולהפעיל (ולחייב בעלות) מתקן לטיפול בסיסי בשפכים (20/30), תגיע לכ - 1.7 - 1.5 שקל למ"ק. מנקודת מבטו של הצרכן הבודד המשלם 1.77 עד 4.0 שקלים למ"ק מים שפירים (מחירי ינואר 94), השימוש בקולחים יהיה כדאי, אולם לגבי ספק המים (הרשות המקומית וחברת מקורות), יש לבדוק את העלות הממשית של הספקת המים במקום הספציפי.

בפרוייקט ההשבה המוקם עבור ישוב בודד כאשר מתקן הטיפול הבסיסי מהווה חלק מפתרון בעיית הטיפול והסילוק של השפכים מהישוב, ניתן להוריד את עלותו ממחיר הקולחים המושבים. אחרי הפחתה זו תגיע עלות הקולחים המושבים ל - 1.0-1.2 שקל למ"ק. עלות זאת נמוכה מעלות הספקת המים למקומות הנמצאים בקצוות מערכת המים הארצית (מרחק וגובה)

1. באזורים מסוימים בארץ, כדאי ליישם שימוש חוזר עירוני, כאמצעי לחיסכון במים שפירים, לחיסכון בעלויות הולכה ותשתית וכאמצעי למניעת זיהום סביבתי.
 2. אזור הנגב הצפוני, איזור אילת ואזור הרי ירושלים, הם בעלי סבירות גבוהה לכדאיות פרוייקט השבה עירונית, עקב ריחוקם היחסי הפרש הרום הטופוגרפי שלהם ממקורות המים העיליים הגורמים לעלות מים שפירים גבוהה, המצאות ריכוזי אוכלוסיה עירונית בהם, צחיחותם היחסית, התפתחותם הצפויה בעתיד הקרוב וריחוקם מאתר נופש מימי. במרבית הערים באזורים אלה, לא קיימת מערכת טיפול השבת שפכים מסודרת וניתן עדיין בשלב זה, לשלב את מערכת ההשבה בתיכנון הכולל.
 3. מלבד האזורים שהחכרו בסעיף 2, ניתן ליישם שימוש חוזר עירוני מקומי כגון מיחזור דלוחים במגרשי ספורט, השבה בבנייני משרדים, השקייית פארקים וכד'. כדוגמאות ניתן להביא את השימוש החוזר להשקיייה במלונות שפך זהר, איצטדיון הספורטן בפ"ת, גן החיות החדש בירושלים, אתר תחנת הכח רוטנברג באשקלון ועוד.
 4. מבחינה טכנית, אין קושי להגיע לאיכויות הקולחים הנדרשות לצורך שימוש עירוני שאינו לשתייה. שילוב תהליכי טיפול ביולוגים עם מתקני סינון גרנולרים חיטויי בכלור עונה על כל הפרמטרים המיקרוביולוגיים הכימיים הדרושים לצורך השקיייה פנים עירונית. במידה ויושם שימוש חוזר למטרות נוספות ובעיקר שימוש חוזר פנים ביתי, יש להוסיף לתהליך הטיפול ספיחה על פחם פעיל. עבור קולחים שייצרכו ע"י התעשייה, יהיה צורך בטיפולים ספציפים נוספים, אך אלה נדרשים בדיכ גם עבור מים שפירים.
 5. מתוך ניתוח העלויות בעבודה, עולה כי בערים שנבדקו יש כדאיות כלכלית ברורה ליישום פרוייקט ההשבה. יש לזכור, כי עלויות המים השפירים הראליות שנלקחו בחשבון בעבודה, אינן משקפות את עלות הולכת מי הכינרת היקרים לעיר, כי אם את ממוצע עלויות המים במקום, הכולל גם עלות קידוחים מקומיים ולכן הוא נמוך יותר. בנוסף, ליישום פרוייקט ההשבה יתרונות כלכליים נוספים לטווח הארוך, הקשים למדידה כמוותית, כגון היתרון שבמניעת זיהום סביבתי, דחיית השקעות לפיתוח מקורות מים, העלאת רמת החיים, פיתוח התיירות ועוד, התורמים גם הם לכדאיות הפרוייקטים.
 6. מתוך מקורות הספרות הרבים המפורטים שניסקרו, נמצא, כי למרות שאין להפחית מחומרת הסכנה הבריאותית שבשימוש החוזר העירוני, לא נתגלו כל סימנים להרעה בבריאות הציבור כתוצאה מיישום פרוייקט מעין זה, גם בפרוייקטים שהשיבו קולחים ישירות לאוכלוסיה כמו בווינדהוק, דרא"פ, או בכאלה שהחדירו קולחים לאקוויפר שפיר כמו באורג' קאונטי, קליפורניה ובמקומות אחרים. יש מובן להבטיח, אמצעי בקרה וניטור יעילים למע' ההשבה להבטחת בריאות הציבור.
 7. מתוך המחקר הנוכחי ומסקר הספרות מחו"ל, נובע כי לא קיימת בעיה אקוטית בנוגע להתנגדות הציבור לשימוש החוזר העירוני. כללית ניתן לומר שאפילו קיימת תמיכה מסוימת בשימושים החוזרים שאינם באים במגע ישיר עם העור או מע' העיכול. לגבי שימושים נוספים, כגון רחצה באגם נופש מקולחים או החדרה לאקוויפר שפיר, הוכח בחו"ל שהציבור נוטה לקבלם, אם מופעלת הסברה נאותה להדגשת חשיבותם וההכרח שבהם.
- לסיכום: במסגרת בעיית רלדול מקורות המים המתמשכת, בעיית זיהום האקוויפרים ובעיית עלויות הולכת המים הגבוהות מצפון הארץ דרומה, עולה השימוש החוזר העירוני כפתרון סביר הדורש בדיקה מפורטת ובצוע פרוייקט הדגמה.

נספח מס' 1: הערכת עלויות

בנספח יפורטו מחירים ופונקציות מחירים על פיהם חושבו רכיבי העלות השונים בתיכנון מערכות ההשבה בבי"ש ובמעלה אדומים. בנוסף, יובאו בנספח עלויות מים שפירים במקומות שונים בארץ, ע"פ נתוני מקורות.

ליד כל פונקציה מצויין מקור הבסיס לנתונים מהם היא הורכבה.

בסוף הנספח נתונה דוגמא לצורת חישוב פונקציות העלויות מהנתונים הגולמיים.

העלויות מעודכנות לתחילת חודש ינואר 1994. אינדקס קובע בישראל - אינדקס עלויות הבניה (ערך ינואר 94 = 193.6 נק'), אינדקס קובע לגבי עלויות שנלקחו ממקורות אמריקנים - אינדקס עלויות הבניה האמריקני CCI (ערך ינואר 94 = 5335.8). הערכת רמת דיוק הפונקציות: $\pm 15\%$.

א. עלויות צנרת

עלויות הצנרת התבססו על מחירון "דקל". המחירים כוללים עלות הובלה, הטמנה בקרקע עד לעומק 1 מ', כיסוי ורפוד חול. סוג הצנור - צנור פלדה עם עטיפת PVC בחוץ ובטון בפנים.

טבלה מס' 1: עלויות צנרת רלוונטיות

עלות	קוטר הצינור אינץ'
81	2
99	3
106	4
123	6
157	8
191	10
214	12
228	14
253	16
$c = 52 \cdot (d'')^{0.55}$	פונקציית עלות

ב. עלויות אביזרים עיקריים למע' ההולכה (כל העלויות בשקלים).

טבלה מס' 2: עלויות אביזרים עיקריים

מגוף הידראולי	שסתום אל חוזר	שסתום פורק לחץ אויר	מד מים ראשי	מגוף שומר לחץ	דגם
ברמד 700-50	א.ר.י NR-030	א.ר.י D-030	דליה	ברמד 730	
870	330	530	—	1,900	2"
1,330	620	1120	—	3,000	3"
2,360	780	1590	—	4,100	4"
5,020	1250	6000	—	6,770	6"
8,210	1710	—	—	10,000	8"
11,800	3620	—	5,500 (רוכב)	13,590	10"
16,400	4890	—	5,500	18,450	12"
ברמד 700-50	א.ר.י NR-030	א.ר.י D-030	דליה	ברמד 730	דגם
—	—	—	5,500	22,550	14"
37,910	9,010	—	—	40,120	16"
45,490	—	—	—	47,710	18"
$c = 150 \cdot (d'')^{1.92}$	$c = 100 \cdot (d'')^{1.6}$	—	—	$c = 100 \cdot (d'')^2$	פונקציית עלות

ג. משאבות ותחנות שאיבה $c = 150 \cdot (d'')^{1.92}$

טבלה מס' 3: עלויות משאבות ותחנות שאיבה

סוג תחנת השאיבה	משוואת העלות	פרמטר מחושב
תחנת שאיבה לשפכים גלמיים	$c = 840 \cdot Q^{0.7}$	Q - ספיקת המשאבה במק"ש
משאבות סחרור ברצה	$c = 700 \cdot Q^{0.6}$	Q - ספיקת המשאבה במק"ש
משאבות ברצה מוסמכת	$c = 3,500 \cdot Q^{0.7}$	Q - ספיקת המשאבה במק"ש
משאבות לקולחים	$c = 4,800 \cdot (kw)^{0.65}$	kw - הספק המשאבה בק"וואט
קונסטרוקצית תחנת השאיבה	$c = 3,700 \cdot p^{0.65}$	p - הספק התחנה בק"וואט

ה. בריכות ומגדלי מים

עלות בריכות מים עגולות עשויות עלדה, סטנדרט מקורות, כולל עבודות עפר, טבעת סוף, מילוי חול מהודק, צנרת בניסה ויציאה ואבזורים (דקל).

טבלה מס' 5: עלויות בריכות ויסות

נפח הבריכה (מ"ק)	עלות (אלפי ש"ח)	נפח הבריכה (מ"ק)	עלות (אלפי ש"ח)
500	216	5,300	952
1,000	330	7,700	1,275
2,000	490	10,700	1,784
3,860	715	פונקצית עלות מקורבת	$c = 3,150 \cdot V^{0.67}$

ו. עלויות אנרגיה

עלות האנרגיה הבסיסית נלקחה כ - 0.2 ש"ח לקילו וואט. נעשה שימוש בחלק מהחלופות בפרוייקט בתעריף תעריף בתוקף מה 1.12.93. על פי התעריף, ממרצע שעות השפל הוא 10.6 אג' לקו"ש, ממרצע שעות הפסגה 37.6 אג' לקו"ש וממרצע שעות הגבעה 22.1 אג' לקו"ש.

ז. הערכת עלויות נוספות

- עלות מבני שירות - 1750 ש"ח למ"ר בנוי.
- עלות בקרה - 5% מעלות הציוד האלקטרו מכאני.
- עלות מתקני טיפול קומפקטיים לשפכים - ראה נספח 6.
- עלות עבודה נלקחה בממרצע כ - 80,000 ש"ח לעובד לשנה.
- תיכנון ופקוח הנדסי - 10% מעלות ההשקעה.
- ב.צ.מ - 15% מעלות ההשקעה.

ח. הערכת עלויות למתקן הטיפול

הערכת העלויות ההשקעה, תתבצע בעזרת פונקציות מעריכיות מטיפוס $c = a \cdot P^b$ שפותחו ע"י דר' דן רום. הפרמטרים a ו - b קבועים והפרמטר P משתנה בהתאם ליעוד הפונקציה. בטבלה מס' 13 מרוכזות הפונקציות בהם משתמשת התוכנית.

טבלה מס' 13 פונקציות עלות הקמה לרכיבי מתקן הטיפול הבסיסי.

שלב הטיפול	הרכיב	המשתנה	יחידות המשתנה	הפונקציה
כללי	מד ספיקה	ספיקת השפכים Q	מק"ש	$1,500 \cdot Q^{0.5}$
	הקמת מבני שרות	שטח מבנים כולל	מ"ר	$1.75 \cdot A$
טיפול קדם	מגוב מכאני	ספיקת השפכים Q	מק"ש	$4,350 \cdot Q^{0.4}$
	אגן גרוסת	ספיקת השפכים Q	מק"ש	$4,700 \cdot Q^{0.75}$
טיפול ראשוני	אגן שקוע ראשוני	שטח האגן A	מ"ר	$11,700 \cdot A^{0.65}$
	ציוד לשקוע ראשוני	שטח האגן A	מ"ר	$14,000 \cdot A^{0.4}$
טיפול ביולוגי	אגן איזור	נפח האגן V	מ"ק	$3,250 \cdot V^{0.75}$
	מדחס אוויר	הספק המדחס P	ק"וואט	$4,700 \cdot P^{0.7}$
	צנרת ודיפחורים	ספיקת האוויר Qa	מק"ש	$105 \cdot Q_a$
	אגן שקוע שניוני	שטח האגן A	מ"ר	$13,900 \cdot A^{0.65}$
	ציוד לשקוע שניוני	שטח האגן A	מ"ר	$16,500 \cdot A^{0.4}$
	משאבות סחרור	ספיקת הסחרור Q	מק"ש	$700 \cdot Q^{0.6}$
הסמכת ברצה	אגן פלוטציה	שטח האגן A	מ"ר	$11,700 \cdot A^{0.65} \cdot 1.5$
	מדחס אוויר	הספק המדחס P	ק"וואט	$4,700 \cdot P^{0.7}$
	צנרת ודיפחורים	ספיקת האוויר Qa	מק"ש	$105 \cdot Q_a$
עיכול ברצה	אגן עיכול אנאירובי	נפח האגן V	מ"ק	$18,200 \cdot V^{0.6}$
	ציוד לעיכול אנאירובי	נפח האגן V	מ"ק	$12,400 \cdot V^{0.6}$
	אגן עיכול אירובי	נפח האגן V	מ"ק	$3,900 \cdot V^{0.75}$
	מאוור שטח לעיכול אירובי (low speed)	הספק המאוור P	ק"וואט	$23,400 \cdot P^{0.55}$
הוצאת מים מברצה	שדות ייבוש	שטח השדה A	מ"ר	$1,400 \cdot A^{0.65}$
	מכבש רצועה	רוחב רצועה B	מטר	$1,060,000 \cdot B^{0.45}$
מערכת בקרה				5% מעלות הציוד

בנוסף לרכיבים המתוארים בטבלה הוערכו לצורך חישוב עלות ההשקעה, עלות פתוח שטח וחיבור חשמל.

הערה: הטבלה כוללת את כל פונקציות העלות הקיימות בתכנית. בפועל, עבור כל קונפיגורציה טיפוסית נבחרת חושבו רק הרכיבים הנבחרים.

חישוב עלות הטיפול הבסיסי למ"ק שפכים

חישוב עלויות שנתיות.

מקדמי החזר הון - נוסחת חישוב המקדם: $EC = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$ כאשר i - ריבית שנתית ו n

שנות קיים הרכיב.

ריבית ושנות קיים לרכיב ניתנים לשנוי בתכנית. בהרצות נלקחה ריבית של 5% ושנות קיים כדלקמן:

מבנים ואגנים מבטון - 40 שנה, ציוד אלקטרו מכאני - 15 שנה וצנרת ואביזרים - 20 שנה.

עבור נתונים אלה תקבלו מקדמי החזר ההון הבאים: מבנים ואגני בטון - 0.058

ציוד אלקטרו מכאני - 0.096

צנרת ואביזרים - 0.082

עלויות הפעלה ואחזקה שנתית
 עלויות ההפעלה והאחזקה מורכבות מעלויות אנרגיה, חומרים, אחזקה, שכר עובדים, הוצאות הנהלה (ביטוחים, רכב, השתלמויות) ושונות (נוי וכד').

- עלות אנרגיה - עלות האנרגיה תחושב לפי 0.2 ש"ח לקו"ש.**
1. שאיבת ברצה ראשונית לאגן ההסמכה.
 2. שאיבת ברצה שניונית לאגן ההסמכה.
 3. שאיבת הברצה לאגן העיכול.
 4. שאיבת הברצה למתקן להוצאת מים.
 5. שאיבת סחרור ברצה באגן האזור.
 6. שאיבת הקולחים למאגר.
 7. אנרגיה לגריפת ברצה ראשונית.
 8. אנרגיה מתקני איזור (אגן איזור, אגן פלוטציה, עיכול אירובי).
 9. אנרגיה לבחישת הברצה באגן עיכול אנאירובי.
 10. אנרגיה להפעלת מכבש הרצועה להוצאת מים.

- מפתח להערכת צריכת האנרגיה השנתית במושבים השונים:**
1. שאיבה - הספק התחנה כפול שעות הפעלה.
 2. גריפת ברצה ראשונית - 1 כח - סוס עבור כל 1000 מ"ק ליום שפכים מחנים לאגן השיקוע.
 3. מתקני איזור - הספק דרוש כפול 24 כפול 365.
 4. אנרגיה לבחישת בעיכול האנאירובי - 20 וואט לכל מ"ק אגן תסיסה.
 5. הספק המכבש כפול שעות הפעלה שנתיות.

עלויות אחזקה

- עלויות אחזקה שוטפת יחושבו על פי המפתח הבא:
 מבנים - 0.5% מההשקעה.
 ציוד אלקטרו מכאני - 5% מההשקעה.
 צנרת ואבזרים - 2% מההשקעה

עלות עבודה

- עבור מתקן קונבנציונלי - 8 עובדים בעלות 80,000 ש"ח/שנה כ"א.
 עבור מתקן איזור נמשך - 7 עובדים בעלות 80,000 ש"ח/שנה כ"א.

עלות חומרים

עלות פולימר לייבוש ברצה - 15 ש"ח לק"ג ברצה יבשה.

הוצאות הנהלה, שונות

כולל שכר הנהלה, ביטוחים ושונות. נלקח כ - 15% מסך ההוצאות השנתיות.

עלות הטיפול למ"ק = (החזר הון שנתי + עלויות הפעלה ואחזקה שנתיות)/נפח שפכים שנתי

מידרג העלויות בתקציב אספקת המים ב - 1994 ע"פ נתוני מקורות

עלות אג' למ"ק	שם המפעל	עלות אג' למ"ק	שם המפעל
58.9	רחלים	197.6	סבחה א'
54.2	ראש פינה	165.4	סבחה ב'
49.9	עכו-שפרעם	146.0	ערבה
48.9	חולון	138.8	רפיח
48.7	אורן	123.6	נגב
48.2	שפד"ן השבה	115.0	בקעת הירדן
46.8	שרון דרומי	114.5	מגדל, נצרת
45.5	קולחי עמק חפר	113.3	האחזיות ביהודה
45.5	שומרון	111.8	רמת הגולן
43.7	קולחי חדרה	110.0	אשקלון
37.6	גוש דן	108.8	גולני
37.0	מפעל המאגרים	108.1	גבול צפוני
36.1	עמק הירדן	106.3	עמק מזרחי
34.7	יסוד המעלה	100.5	שואבה
31.8	קרן בנא	95.4	ביוב אילת
25.4	כפר גלעדי	90.1	נחל עירון
19.2	מחולה	84.1	רום כרמל
17.3	בית שאן קידוחים	74.3	קו שלישי
12.6	שפעה	73.8	השפלה
2.7	בית שאן מעיינות	70.4	הרי אפריים
78.6	סה"כ ארצי	60.1	אשתאול

נספח מספר 2: שיטות להכנת סקר דעת הקהל

א. משתני המחקר

ערכי המשתנים נקבעו ע"י שכלול תשובות הנחקרים כאשר כל שאלה קודדה ע"פ סולם אורדינלי בטוחים 0-4.

הוגדרו שלושה סוגי שימוש בקולחים - שימוש עקיף, חצי עקיף וישיר. שימוש עקיף = שימוש בעל קשר עקיף בלבד עם אוכלוסיה עירונית. (שאלות מס' 5, 8, 19 בסקר). שימוש ישיר = שימוש היוצר קשר ישיר (מגע, שתיה עקיפה) עם אוכלוסיה עירונית. (שאלות 6, 13, 14 - 16 בסקר). שימוש חצי עקיף = שימושים המיושמים בקירבת אוכלוסיה עירונית אך לא יוצרים מגע קולחים מכוון עימה. (שאלות 1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 15, 17, 18, 20, 21 בסקר).

נוסחאות לשקלול ציון עבור קבוצות השמוש השונות (הסימן # מייצג מס' שאלה בסקר):

$$\begin{aligned} \text{ציון לשימוש עקיף} &= \frac{\#5 + \#8 + \#19}{3 \cdot 4} \cdot 100 \\ \text{ציון לשימוש ישיר} &= \frac{\#6 + 3 \cdot \#13 + 3 \cdot \#14 + 2 \cdot \#16}{4 \cdot 9} \cdot 100 \\ \text{ציון לשימוש החצי עקיף} &= \end{aligned}$$

$$\frac{2 \cdot \#1 + \#2 + \#3 + \#4 + \#7 + \#9 + \#10 + \#11 + 3 \cdot \#12 + 2 \cdot \#15 + 2 \cdot \#17 + 3 \cdot \#18 + 3 \cdot \#20 + 3 \cdot \#21}{4 \cdot 25} \cdot 100$$

המשקולות נקבעו ע"פ דרגת חשיבות השימוש הספציפי בתוך הקטגוריות השונות. הציון הכולל נקבע בסקלה 100 - 0 כאשר 0 מציין התנגדות חזקה ו-100 מציין תמיכה גבוהה בשימוש.

נבדקו שלושה משתנים ביוגרפיים מין, גיל והשכלה (מספר שנות לימוד), שקודדו עבור תוכנת S.A.S, בצורה הבאה:

מין - זכר = 1, נקבה = 2.

גיל - $1 < 30$, $2 < 40$, $3 < 50$, $4 < 60$, $5 < 60$.

השכלה - מספר שנות לימוד קטן מ-12, 1, 12 שנות לימוד = 2, מעל 12 שנות לימוד = 3. קבוצה נוספת של משתנים שנבדקה כללה את אמותות הנבדק בחמישה נושאים הקשורים באופן עקיף לנושא. כל האמותות הללו נמדדו ע"י תשובות הנבדק לשאלה בנושא (השאלות מופיעות בנספח 3) וקידוד התשובה בסקלה של 0-4.

ב. אופן קביעת המדרג

אוכלוסית חיפה חולקה לחמישה אזורים ע"פ המפתח הבא.

1. כרמל, אחחה ודניה - 28 נבדקים.
 2. הדר עליון ותחתון - 28 נבדקים.
 3. עיר: קרית אליעזר, ואדי ניסנס ובת גלים - 20 נבדקים.
 4. נוה שאנן, רמז, רמת אלון - 28 נבדקים.
 5. רוממה חדשה וישנה - 16 נבדקים.
- סה"כ 120 נבדקים. נבדקים שנכנסו למדגם - 117.

קביעת הרחובות שנסקרו בכל אחת מהשכונות

שמות הרחובות שנסקרו התקבלו ע"י מספור כלל רחובות העיר חיפה, בחירת ערך רנדומלי ע"י מחשב עד לקבלת מספר הרחובות הרצוי לכל איזור כאשר בכל רחוב נסקרו 4 אנשים. מספרי הבתים שנבדקו התקבלו באותה שיטה אם כי יש לציין כי במקרים רבים דוח ע"י הסוקרים כי דגמו בית סמוך עקב חוסר הצלחה בבנין המתוכנן.

ג. השאלון כפי שהוצג לתושבים בסקר דעת הקהל

סקר דעת קהל

כל החומר יישאר חסוי ויושמד לאחר הקלדת הנתונים

אנא דאג לענות על כל השאלות

מס' שאלון: _____

פרטים ביוגרפיים:

(1) גיל _____

(2) מין _____

(3) מס' שנות לימוד _____

דרג את מידת התנגדותך / תמיכתך לשימושים הפוטנציאליים בשפכים מטופלים המופיעים בטבלאות הבאות.

הערה: המונח שפכים מטופלים פירושו, שפכים שטופלו לרמה הנדרשת לאותו שימוש, כך שלא יגרם מק בריאותי או אחר למשתמש או לסביבה.

טבלה מס' 1 - שימושים כלליים

מס	סוג השימוש	מתנגד מאד	מתנגד	אין לי עמדה	תומך	תומך מאד
1	השקיית פארקים ציבוריים בעיר					
2	כבוי אש בעיר					
3	גינון מדרכות ואיי תנועה					
4	שימוש בתהליכים בתעשייה אלקטרונית					
5	השקיית גידולי שדה (כותנה, מספוא)					
6	שימוש במכסות ציבוריות					
7	שימוש לצרכי מיזוג אויר					
8	החדרה למי תהום לשימוש חקלאי					
9	שימוש בתעשיית הכותנה					
10	שימוש למטרות בניה					
11	הדחת אסלות וניקיון ביניני משרדים					

טבלה 2 - שימושים אישיים

מס	סוג השימוש	בהחלט כן	בהיסוס	לא יודע	לא	בהחלט לא
1	האם תשחה באגם נופש משפכים מטופלים?					
2	האם תאכל שימורים שלהכנתם השתמשו במי שפכים מטופלים?					
3	האם תסכים לשתות מי תהום שנמחלו בשפכים מטופלים?					
4	האם תשטוף מכוניתך במכון שטיפה המשתמש בשפכים מטופלים?					
5	האם תכבס את בגדיך במי שפכים מטופלים?					
6	האם תצא לדייג ושייט באגם נופש משפכים מטופלים?					
7	האם תשקה גינתך בשפכים מטופלים?					
8	האם תאכל פרי הדר מפרדס המושקה בשפכים מטופלים?					
9	האם תסכים שהדחת האסלות בביתך תתבצע בעזרת שפכים מטופלים?					
10	האם תאכל ירקות שהושקו בשפכים מטופלים?					

שאלות נוספות

נא הקף בעיגול את התשובה הקרובה ביותר לדעתך.

טוב מאוד	טוב	בסדר	קשה	קשה מאוד	כיצד היית מגדיר את מצב משק המים בישראל ?
לא מספיקה	מספיקה לחלק קטן מהשימושים	לא יודע	מספיקה לדב השימושים	מספיקה בהחלט	האם לדעתך הטכנולוגיה הקיימת כיום לטיפול בשפכים מספיקה להבאת השפכים לאיכות המדרשת עבור השימושים שהוזכרו ?
תסתייג מאוד	תסתייג	תהיה אדישה	תתמוך	תתמוך מאוד	האם לדעתך דעת הקהל בעיר תתמוך או תסתייג מהשימושים המוצעים ?
אין בעיה כזו	קלה	בסדר	קשה	קשה מאוד	כיצד היית מגדיר את בעיית זיהום מקורות המים בישראל ?
להפך	לא חושב	לא יודע	סיכוי סביר	בהחלט	האם לדעתך פרויקט של שימוש חוזר בשפכים יביא לרווחה כלכלית בעיר ?
אין סיכון כלל	סיכון מועט	לא יודע	סיכוי סביר	בהחלט	האם לדעתך יהווה השימוש החוזר בעיר סכנה בריאותית ממשית ?

אנו מודים לך על עזרתך .

נספח מס' 3 - פרסומים רלוונטים

1. כללים להשקיית גינות ציבוריות בקולחים מטוהרים. פרסום משרד הבריאות. יולי 1991.
2. כללי בריאות העם (טיהור מי שופכין המיועדים להשקיה). עידכון מרץ 1991.
3. מפת אגני מי התהום בישראל ומפת חלוקה לאזורי השקיה בקולחים לפי דרגות סיכון. פרסום המשרד לאיכות הסביבה.

תמוז תשנ"א 82-91
עידכון מס' 5 - יולי 1991כללים להשקיית גינות ציבוריות בקולחים מטוהרים

א. מניעת "חיבורי כלאים" (חיבורים צולבים).

הסיכון הבריאותי הגבוה ביותר משימוש בקולחים להשקיית גינות ציבוריות, כרוך ביצירת חיבור (בטעות כמובן) עם קו מי שתיה. חיבור כזה עלול להזרים קולחים לתוך מערכת המים העירונית, והקולחים עלולים להגיע לברזי השתיה של הצרכנים. אי לכך, חייבים לנקוט צעדים מיוחדים כדי למנוע אפשרות כזאת של "חיבור כלאים". צעדים אלה חייבים לכלול, בין היתר:

1. הגשת תכנית מפורטת של כל קוי המים הקיימים באזור המיועד להשקיה ומסביב לו (עד מרחק 100 מ'), קידוחי מים הקיימים בשטח וקוי ההשקיה המתוכננים. יש להבטיח מרחק של 25 מ' בין קוי הקולחים, לחלקות של צרכנים פרטיים.
2. יש להקטין למינימום את מספר ההצטלבויות בין קוי מים לקוי קולחים. בהצטלבות יונח קו הקולחים בעומק 30 ס"מ לפחות מתחת קו המים (מירווח נטו). אחד משני הקוים יוגן עם שרול מצינור קשיח שיבלוט לפחות 2 מ' משני הצדדים.
3. כאשר קוי המים והקולחים מקבילים, יישמר ביניהם מרחק מינימום של 3 מ' וקודקוד קו הקולחים יהיה עמוק יותר מתחתית קו המים לפחות 15 ס"מ.
4. במערכת הקולחים חייב להיות מתקן שיש בו פתח, הפתוח באופן קבוע לאויר החופשי ונסגר רק בזמן ההשקיה. המתקן יהיה במקום בולט, בגובה 1.5 מ' מהקרקע, באופן שנוזלת מים ממנו (עקב חיבור כלאים למשל), תראה בצורה בולטת.

ב. מרחק מבנייני מגורים.

יש לשמור על מרחק של 60 מ' לפחות בין שטח המושקה בהמטרה לבנייני מגורים, או בנייני ציבור הפעילים בשעות ההמטרה. זאת כדי למנוע העפת "רסס" מהמטרת הקולחים אל בתי המגורים.

ג. מניעת "שתיה מקרית".

כדי למנוע שתיה מקרית של הקולחים ע"י הציבור, (או אפילו רחיצת ידיים או הרטבה) יש לנקוט באמצעים הבאים:

1. ההשקיה תעשה רק בשעות הלילה, כשאין לציבור גישה לשטח המושקה (בין השעות 21.00 עד 06.00 בבוקר).
2. כל הממטרות (או אמצעי השקיה אחרים) יוסרו אחרי ההשקיה או שיהיו מסוג המוסתר בקרקע כשאין השקיה, או שיותקנו סידורים לריקון מוחלט של כל הצנרת, עם גמר ההשקיה.
3. בשטח הגינה יותקנו ברזיות עם מי שתיה טובים, כדי למנוע חיפוש מים לשתיה בצנרת הקולחים. ליד הברזיות יהיו שלטים שיציינו שאלה הם מי שתיה.

ד. איכות קולחים נדרשת.

כדי לשמור את בריאות התושבים הנופשים בגינות הציבוריות, יש להבטיח את איכות הקולחים בדרך המפורטת להלן:

1. מתקן הטיפול השניוני חייב להוציא קולחים באיכות של "קו הבסיס" לפחות (20 מג"ל צח"ו ו-30 מג"ל מוצקים מרחפים), או איכות גבוהה יותר.

2. קולחים אלה יעברו טיפול שלישוני שיבטיח קבלת קולחים משופרים באיכות של 15 מג"ל צח"ב ו-15 מג"ל מוצקים מרחפים, ב-80% מהבדיקות לפחות, ובשום מקרה לא יותר מ-30 מג"ל צח"ב ו/או 30 מג"ל מוצקים מרחפים.
3. קולחים משופרים אלה יקבלו חיטוי כלור עם זמן מגע מבוקר של שעתיים לפחות, שלאחריו ישאר בהם כלור נותר פעיל בריכוז 2 מג"ל לפחות. במקום חיטוי בכלור ניתן לעשות חיטוי שווה ערך באוזון או כלור דיאוקסיד.
4. ריכוז חיידקי הקולי הצואתי בקולחים המשופרים אחרי החיטוי לא יעלה על 10 ב-100 מ"ל מים, ב 90% מהבדיקות. הממוצע הגיאומטרי לא יעלה על 5 ב 100 מ"ל.
5. הטיפול בקולחים, כדי להביאם לאיכות האמורה, ייעשה ע"י חברה או עובדים בעלי ידע מקצועי ומיומנות.

ה. הבטחת איכות הקולחים.

- כדי להבטיח את איכות הקולחים המשופרים, כנדרש לעיל, יבוצעו בדיקות שוטפות במעבדה מוכרת, בתדירות המפורטת להלן:
1. בדיקת צח"ב ומוצקים מרחפים בקולחים לפני הטיפול השלישוני לפחות פעם בשבוע.
 2. בקולחים השלישוניים המשופרים, ייבדקו הצח"ב והמוצקים המרחפים לפחות שלוש פעמים בשבוע.
 3. החיטוי והעכירות ייבדקו באופן רצוף ויירשמו ברושם רציף.
 4. ריכוז חיידקי הקולי הצואתי ייבדק לפחות שלוש פעמים בשבוע.
- הערה: ניתן יהיה להחליף חלק מהבדיקות השבועיות של צח"ב ומוצקים מרחפים, בבדיקה הרציפה של העכירות. העכירות המירבית תיקבע על סמך בדיקות השוואתיות.
5. יותקנו מתקנים להפסקת הפעלת משאבות ההשקיה כאשר העכירות עולה על העכירות המירבית שנקבעה כאמור וכאשר ריכוז הכלור הנותר יורד מ-1 מג"ל.
 6. כל תוצאות הבדיקות יועברו באופן שוטף ללשכת הבריאות המחוזית ויגיעו ללשכה לא יאוחר משבוע מגמר כל בדיקה.
 7. דיגום הקולחים לבדיקה ייעשה ע"י "דוגמים מורשים" שאושרו ע"י מהנדס התברואה המחוזי.

ו. סימונים

1. כל הצנרת והאבזרים שעל פני הקרקע, ייצבעו בצבע אדום.
2. 10 ס"מ מעל כל צינור קולחים, יונח סרט פלסטיק אדום שעליו כתוב:
"זהירות! מי קולחים - אסור לשתות"
3. בשטח יהיו שלטים המציינים שהגינה מושקית בקולחים והמים אסורים לשתיה. השלטים יראו בבירור לקהל.

ז. הבהרות

1. יש להדגיש כי קריטריונים אלו הם כלליים בלבד, ולשם קבלת האישור להשקיה יש להגיש תוכניות מפורטות, ולקבל הן את אישור ה"מנהל" (בהתייעצות עם נציב המים והממונה לאיכות הסביבה) והן את אישור מהנדס התברואה המחוזי.
2. האישור להשקיה יינתן רק לאחר שהבדיקות בשטח ובמעבדה יוכיחו עמידה בכל הכללים המפורטים כאן והתנאים שניתנו באישור העקרוני.

20-92

א' באדר תשנ"א
7 במרץ 1991נוסח משולב - לא רשמי

(1) כללי בריאות העם (טיהור מי שופכין המיועדים להשקיה), התשמ"א-1981

(2) כולל תיקון, התש"ן-1990

בתוקף סמכותי לפי סעיף 65א' לפקודת בריאות העם, 1940, ולאחר שהתייעצתי עם שר החקלאות, אני מתקין כללים אלה:

1. הגדרות

בכללים אלה -

"בדיקה"

"היתר"

"המהנדס"

"המנהל"

"הספר"

-בדיקה במעבדה או בדיקת שדה;
-היתר שניתן לפי סעיף 65א לפקודה;
-מהנדס תברואה מחוזי של משרד הבריאות;
-המנהל הכללי של משרד הבריאות, או מי שהוא הסמיך לענין כללים אלה או מקצתם;

-ההוצאה האחרונה של "שיטות סטנדרטיות לבדיקות מים ושפכים", שהוציא האיגוד האמריקאי לבריאות הציבור, ושינגטון, די. סי., ארה"ב, ואשר עותק ממנו מופקד בספרייה לרפואה ציבורית ע"ש ד"ר ש. זימן במשרד הבריאות ירושלים, לעיונם של המעוניינים בכך בשעות העבודה הרגילות של הספרייה;

-מים שלאחר שימוש בבית, בתעשייה, במלאכה או במשק חקלאי, לרבות פסולת נוזלית המכילה מוצקים בתרחיף או בתמיסה, שמקורם באדם או בבעלי חיים, בין אם הם מהולים במים ובין אם לאו, בין אם הם זורמים בצינור או בנחל ובין אם הם זורמים או מצויים בכל מקום אחר;

"מי שופכין"

-מי שהשר לאיכות הסביבה הסמיכו לענין כללים אלה;

-מעבדה שהכיר בה המנהל לצורך כללים אלה;

-מערכת מיתקנים שנועדו לטיהור מי שופכין כדי להופכם לקולחים;

"ממונה לאיכות הסביבה"

"מעבדה מוכרת"

"מערכת טיהור"

"קולחים"

(1) מי שופכין שעברו טיהור במערכת טיהור שניוני - אירובי, שאישר אותה המהנדס או המנהל, בהתייעצות עם הממונה לאיכות הסביבה ופועלת בצורה המניחה את דעתו;

(2) מי שופכין שעברו טיהור טבעי להנחת דעתו של המהנדס או המנהל ושהוא אישר אותם בכתב, לאחר התייעצות עם הממונה לאיכות הסביבה, כראויים להשקיה;

(3) מים מהולים בקולחים;

(4) מי ניקוז מבריכות שחיה שלא נוספו להם בכל דרך שהיא מי שופכין.

2. איסור השקיה במי שופכין

לא ישקה אדם גידולים חקלאיים במי שופכין אלא אם הם קולחים ובהתאם לכללים אלה.

(1) ק"ת התשמ"א, עמ' 1357.

(2) ק"ת 5273, התש"ן, עמוד 718.

-2-

3. תנאים לאישור מערכת טיהור
(א) בקשה לאישור מערכת טיהור מי-שופכין המיועדים להשקיה (להלן-האישור) תוגש למהנדס במשרדו במחוז שבו נמצאת מערכת הטיהור שבעדה נתבקש האישור.
(ב) החליט המהנדס, לאחר שהתייעץ עם הממונה לאיכות הסביבה, לאשר את הבקשה או לסרב לה, יעביר למבקש את האישור או החלטת הסירוב.
(ג) המבקש רשאי לערער בפני המנהל על החלטת המהנדס תוך 30 ימים מיום שקיבל את ההודעה כאמור בסעיף קטן (ב).
(ד) החלטת המנהל תהיה סופית.
4. תוקף האישור וחידושו
(א) תקפו של אישור הוא לשנה אחת בלבד.
(ב) בקשה לאישור חדש תוגש למהנדס במשרדו במחוז שבו נמצאת מערכת הטיהור שלושה חדשים לפני פקיעת תוקף האישור.
(ג) הוגשה בקשה לאישור חדש, רשאי המבקש להמשיך ולהשתמש בקולחים עד להחלטת המהנדס.
5. תנאים להשקיית גידול שסוגו מופיע בתוספת
בכפוף לאמור בסעיף 6, קולחים לא יישמשו אלא להשקיית אותם גידולים חקלאיים שסוגם פורט בתוספת, וזאת בתנאים אלה:
(1) המשתמש בקולחים מחזיק בהיתר בר-תוקף וממלא אחר תנאיו;
(2) ריכוז החמצן הנמס בקולחים הוא לפחות חצי מיליגרם לליטר;
(3) הקולחים אינם מכילים תרכובות טוקסיות העלולות, לדעת המנהל, לסכן בריאותם של אלה הבאים במגע עם הקולחים או עם הגידול המושקה, בין כשהוא בשדה ובין לאחר שנקטף.
6. תנאים להשקיית גידול שסוגו אינו מופיע בתוספת
(א) גידול שסוגו לא פורט בתוספת לא יושקה בקולחים אלא אם ניתנה למשתמש הסכמת המנהל בכתב ומראש, ואם התקיימו גם התנאים הנקובים בסעיף 5.
(ב) המנהל יחליט על מתן הסכמה כאמור בסעיף זה, בתנאים או בלעדיהם, או על סירוב לתתה, רק לאחר שיתיעץ עם נציב המים ועם הממונה לאיכות הסביבה.
(ג) המנהל לא יתן הסכמה כאמור בסעיף זה אלא אם שוכנע כי אין בהשקיה בקולחים כאמור כדי לפגוע בבריאות הציבור; בהסכמה יפרט המנהל את סוג הגידולים המאושר להשקיה בקולחים, את איכות הקולחים המאושרים, את שיטת ההשקיה וכיוצא באלה.
7. בדיקת שדה
(א) נקבעה בהיתר בדיקה שדה, תיערך בדיקת השדה בשיטה שאישר המנהל בהיתר, בידי אדם (להלן-הדוגם) שהסמיך לכך המנהל הכללי של המשרד לאיכות הסביבה;
(אא) אישור שיטת בדיקת שדה יהיה בהתייעצות עם הממונה לאיכות הסביבה.
(ב) הדוגם ירשום, מיד עם גמר בדיקת השדה, בספר מיוחד (להלן - ספר שדה) המיועד למטרה זו בלבד, פרטים אלה:
(1) תאריך הדיגום;
(2) שעת הדיגום;
(3) נקודת הדיגום;
(4) תוצאת בדיקת השדה;
(5) הערות.
(ג) ספר השדה יעמוד לעיונם של המהנדס של המנהל ושל הממונה לאיכות הסביבה או מי שימנו לכך, בשעות העבודה הרגילות; הספר יישמר במשך שנתיים לפחות ממועד הרישום האחרון בו.

-3-

8. בדיקת מעבדה
נקבעה בהיתר בדיקה במעבדה, תיערך הבדיקה במועדים שנקבעו בהיתר, במעבדה מוכרת ולפי השיטה שנקבעה בספר, או בכל שיטה אחרת שקבע המנהל.

9. תחילה
תחילתם של כללים אלה ביום ו' בטבת התשמ"ב (1 בינואר 1982).

תוספת
(סעיף 5)

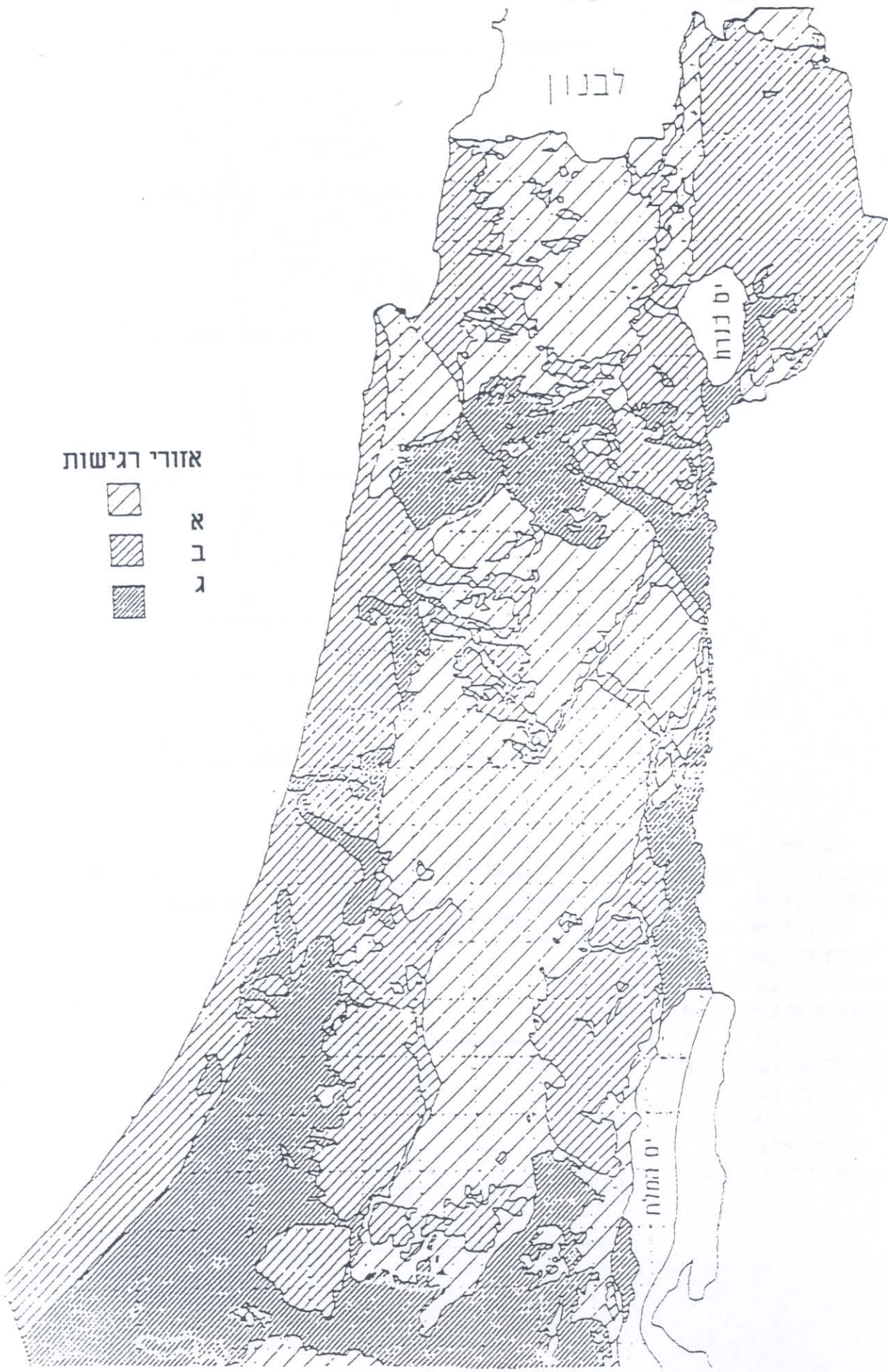
סוגי גידולים המותרים להשקיה בקולחים

1. גידולים חקלאיים שאינם משמשים למאכל אדם, כגון כותנה, גידולי זרעים ומספוא יבש.

2. גידולים חקלאיים המיועדים לתעשייה, העוברים תהליכים תעשייתיים המונעים העברת מיקרואורגניזמים, כגון דגנים וסלק סוכר, ולמעט גידולים המיועדים לתעשיית השימורים.

3. חורשות ויערות במקומות שאינם מיועדים לנופש או מחנאות.

מפת חלוקה לאזורי השקייה בקולחים



אזורי רגישות

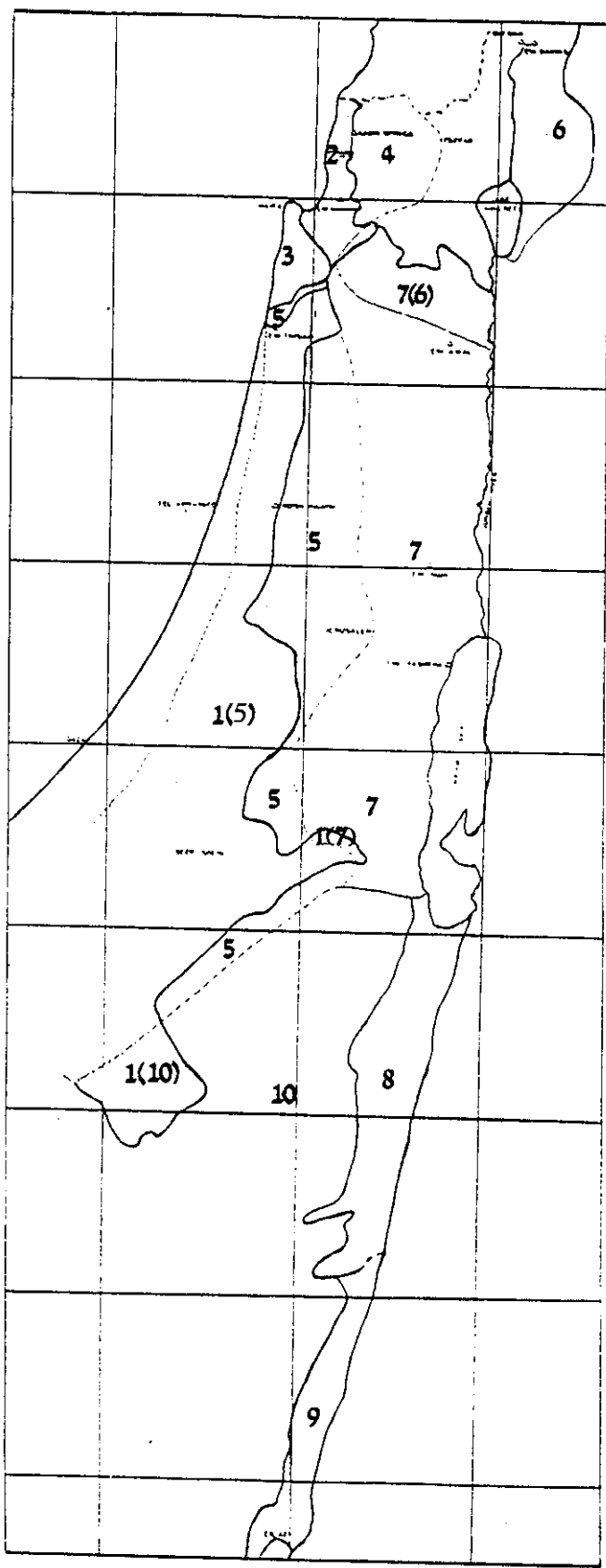


א
ב
ג

לבנון

חולון

חולון



מקרא

- 1 אגן החוף ושולי ההרים
 - 2 אגן גליל מערבי ומפרץ חיפה
 - 3 אגן הכרמל
 - 4 אגן גליל מערבי
 - 5 אגן ההר המערבי
 - 6 אגן הכינרת ובקעת הירדן הצפ
 - 7 אגן ההר המזרחי
 - 8 אגן הערבה הצפונית
 - 9 אגן הערבה הדרומית
 - 10 אגן הר הנגב
- גבול בין אגני
 גבול בין אגני משוער

ביבליוגרפיה

- Advanced wastewater treatment as practiced at south Tahoe. 1971. EPA.
- Adams, J. Q., Clark, R. M. 1989. Cost estimates for GAC treatment systems. Journal AWWA, Vol 81, No. 1, pp. 35-42.
- Asano, T., Nagasawa, Y. 1979. Onsite reclamation and reuse systems in commercial buildings and apartment complexes. proceedings of water reuse symposium 1, Washington D.C, pp. 157-184.
- Asano, T., Mujeriego, R., Parker, J. 1988. Evaluation of industrial cooling systems using reclaimed municipal wastewater. Wat. Sci. Tech. Vol. 20, No. 10, pp. 163-174.
- Asano, T., Mills, R. A. 1990. Planning and analysis for water reuse projects. Journal AWWA, January 90, pp. 38-47.
- Asano, T. 1991. Planning and implementation of water reuse projects. Wat. Sci. Tech. Vol. 24, No. 9, pp. 55-65.
- Asano, T., Leong, L., Rigby, M., Sakaji, R. 1992. Evaluation of the california wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data. Water sci. & tech, Vol. 26, No. 7-8, pp. 1513-1524.
- AWWA. 1976. Seminar proceedings, Dual distribution systems.
- AWWA Standard for filtering material. 1992. AWWA B100b-92 .
- Barletta, R. J., Webber, R. A. 1986. Tale of three giant sewerage systems. Journal WPCF, Vol. 58, No. 9, pp. 871-879.
- Bruvold, W. H. 1984. Obtaining public support for innovative reuse projects. proceedings of water reuse symposium 3, San Diego, California, pp. 122-132.
- Cooper, R. C. 1991. Public health concerns in wastewater reuse. Wat. Sci. Tech. Vol. 24, No. 9, pp 1-10.
- Comeille, r. 1985. Master planning a water reuse system. Journal of W.P.C.F, Vol 3, No.3.
- Culp, G., Wesner, G., Williams, R. 1980. Wastewater reuse & recycling tech. Pollution Tech. Review No. 72.
- Crook, J. 1991. Quality criteria for reclaimed water. Wat. Sci. Tech. Vol. 24, No. 9, pp. 109-121.
- Crook, J. 1991. Health and water quality considerations with a dual water system. Water envir. & tech. Vol. 3, No. 8, pp. 13-14.
- Dryden, F. D., Water reuse at Lancaster, California. proceedings of water reuse symposium 1, Washington D.C, pp. 1762-1777.
- Dryden, F. D., Chen. C., Selna., M. W.1979. Virus removal in advanced wastewater treatment systems. Journal WPCF, volume 51, No. 8.
- Englande, A. J., Reimers, R. S. 1982. Persistence of chemical pollutants in water reuse. Water reuse, Ann Arbor science, pp. 783-819.

- Eingold, J. C., Johnson, W. D. 1984. St. Petersburg's reclamation & reuse project. proceedings of water reuse symposium 3, San Diego, California, pp. 89-97.
- E.P.A Guidelines for water reuse. 1992.
- E.P.A technology transfer. 1975. Process design manual for suspended solids removal.
- E.P.A technology transfer. 1973. Process design manual for carbon adsorption.
- Fitzpatrick, J. A., Swanson, C. L. 1980. Evaluation of full scale tertiary wastewater filters. EPA-600/2-80.
- Fattal, B., Shuval, H. I., Wax, Y., Davies, A. M. 1981. Study of enteric disease transmission associated with wastewater utilization in agricultural communities in Israel. W.R symposium 2.
- Gallup, G.J. 1973. Water quality and public opinion. Journal A.W.W.A , Vol 65, pp. 513 - 519.
- Health effects study. 1984. County sanitation districts of Los Angeles county.
- Isaacson, M., Sayed, R. 1987. Human consumption of reclaimed water - the Namibian experience. proceedings of water reuse symposium 4, Denver, Colorado. pp.1047-1061.
- Johnson, D. J., 1991. Dual distribution systems: the public utility perspective. Wat. Sci. Tech. Vol. 24, No. 9, pp. 343-352.
- Knorr, D. B. 1987. Wastewater treatment and groundwater recharge: a learning experience at el paso Texas. proceedings of water reuse symposium 4, Denver, Colorado, pp. 211-232.
- Municipal Sewage treatment - a comparison of alternatives. 1974. Final report, Council of environmental quality & EPA office of planning and evaluation.
- Lauer, W. C., Rogers, S. E., Ray, J. M. 1984. Denver's potable water reuse project - current status. proceedings of water reuse symposium 3, San Diego, California, pp. 316-337.
- Lauer, W. C., Rogers, S., Luchance, A. M., Nealey, M. K. 1991. Process selection for potable reuse health effects studies. Journal of AWWA, Vol. 83, No. 11. pp. 52-63.
- Lewinger, K. L., Young, R. E. 1987. Reclaimed water in office high-rises. proceedings of water reuse symposium 4, Denver, Colorado, pp. 1351-1362.
- Linstedt, K. D., Rothberg, M. R., 1982. Potable water reuse. Water reuse, Ann Arbor science, pp. 199-212.
- Metcalf & Eddy. 1991. Wastewater engineering, Treatment, Disposal, Reuse.
- Mikasa, Y. et al. 1969. Filtration of activated sludge secondary effluents through sand and antracite beds. Wisconsin university.
- Odendaal, P. E., Hattingh, W. H. 1987. The status of potable reuse research in South Africa. proceedings of water reuse symposium 4, Denver, Colorado, pp. 1339-1350.
- Ohgaki, S., Sato, K. 1991. Use of reclaimed wastewater for ornamental and recreational purposes. Wat. Sci. Tech. Vol.23, pp. 2109-2117.
- Okun, D.A. 1991. Reclaimed water - an urban water resource. Wat. Sci. Tech. Vol. 24, No. 9, pp. 353-362.

- Okun, D. A. 1992. The role of reclamation and reuse in addressing community water needs in Israel and the West Bank. For presentation at the first international Israeli-Palestinian academic conference on water, Zurich, December 1992.
- Olson, B.H., Henning, J.A., Marshack, R.A., Rigby, M.G.1979. Educational and social factors affecting public acceptance of reclaimed water. university of california.
- Osantowski, R. A., Geinopolos, A. 1979. AWT evaluation in two selected industries. proceedings of water reuse symposium 1 Whashington D.C, pp. 283-295.
- Rogers, S. E., Lauer, W. C. 1986. Disinfection for potable reuse. Journal WPCF, volume 58, No. 3.
- Rogers, S. E., Lauer, W. C. 1992. Denver demonstration of potable water reuse - water quality & health effects testing. Wat. Sci. Tech. Vol. 27, No. 7-8, pp. 1555-1564.
- Rowney, A. C., Wright, D. L. Macintyre, D. F. 1987. Large scale groundwater recharge via infiltration basins in Orange county, california. proceedings of water reuse symposium 4, Denver, Colorado. pp.201-211.
- Scholze, R. J. 1987. Health aspects of army field wastewater recycle/reuse. proceedings of water reuse symposium 4, Denver, Colorado. pp.717-743.
- Schmidt, C. J., Shelton, S. P. 1982. Wastewater reclamation & reuse at military installations. Water reuse, Ann Arbor science, pp. 465-484.
- Shelef, G. 1991. Wastewater reclamation & water resources management. Wat. Sci. Tech. Vol. 24, No. 9, pp. 251-265.
- Shertzer, R. H. 1986. Wastewater disinfection-time for a change? .Journal WPCF, volume 58, No. 3
- Smith, L. R., Varma, A., Ernst, M. R. 1991. Water reuse aids lake quality in texas. Water environment & technology, Vol. 3, No. 12, pp 18-19.
- Treweek G. P. 1982. Industrial reuse of wastewater: quantity, quality and cost. Water Reuse, pp 521-549. Ann Arbor science.
- Wastewater disinfection. 1986. Manual of practice, W.P.C.F.
- Water Reuse. 1989. Manual of practice, W.P.C.F .
- Wegner-Gwidt, J. 1991. Winning support for reclamation projects through pro-active communication programs. Wat. Sci. Tech. Vol. 24, No. 9, pp. 313-322.
- Wyvill, J. C., Adams, J. C., Valentine, G. E. 1984. An assesment of the potential for water reuse in the U.S pulp & paper industry. Water reuse symposium 3, San Diego, California.
- Young, P. E., Lewinger, K., Zenk, R. 1987. Wastewater reclamation - is it cost effective? Irvine ranch water district - a case study. proceedings of water reuse symposium 4, Denver, Colorado. pp.55-65.

- הורניק ז. 1988. סקרים ומשאלי דעת קהל. הוצאת האוניברסיטה הפתוחה.
- ריכז כללים להשקיית גינות ציבוריות בקולחים מטוהרים. 1991. משרד הבריאות.
- שוורץ, ז. 1988. תוכנית אב למים לישראל, פרסום ת.ה.ל מס' 01/88/70.
- המדריך לאינג'ינר. כרך מדעי היסוד, פרק הידרוטכניקה.
- באר שבע - תכנית אב לביוב. 1992. תכנית מסגרת ועקרונות כלליים לתכנית האב. דו"ח ביניים מס' 1. אריה שוורץ, מהנדסים יועצים.
- רום. ד., וקס. א. מ. 1990. קדם אחונציה וסינון מגע לטיפול בשפכים למטרות של שימוש חוזר בלתי מוגבל. הטכניון מ.ט.ל.

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה נוסד בטכניון על פי החלטת הסנט מיום 5 בפברואר 1978, בעקבות הסכם שנחתם בין מייסדו, מר שמואל נאמן, לבין אגודת דורשי הטכניון בארה"ב והטכניון.

מוסד שמואל נאמן הינו מוסד שלא למטרות רווח. הוא נועד לסייע במציאת פתרון לבעיות לאומיות בתחומי המדע, ההנדסה, הכלכלה והחברה במדינת ישראל, לשם שיפור איכות החיים של אזרחיה. מטרתו העיקרית היא לבחון תוך שימוש בכלי המדע והטכנולוגיה את הבעיות בעלות החשיבות הלאומית במדיניות הציבורית הישראלית. המוסד, המשמש כ"מדוכת חשיבה" (Think Tank) של הטכניון בנושאי מדיניות ציבורית בשטחים הני"ל, מנצל את משאבי האנוש העשירים של הטכניון, של המוסדות האקדמיים האחרים בישראל, ושל מדענים בולטים מחו"ל. המוסד נועד לשמש גשר בין האקדמיה לבין מקבלי ההחלטות, באמצעות הגדרת הבעיות, ניתוחן והצעת שיטות מחקר לפתרוןן.

מוסד שמואל נאמן מתרכז במחקר בתחומים הבאים: טכנולוגיה ומדיניות, מגמות במדע ובטכנולוגיה בישראל, חינוך והשכלה גבוהה, פילוסופיה וטכנולוגיה, נושאי סביבה, בריאות ואיכות חיים, ועוד. כמו כן הוא מקיים סדנאות וקורסים קצרים ועוסק בפרסום ובהפצה של מחקריו.

המיון למחקרים בא בעיקרו מקרן שהוקמה למטרה זו על ידי מר ש. נאמן באמצעות אגודת דורשי הטכניון בארה"ב. דבר זה מבטיח את עצמאות המוסד. אחדים מן המחקרים מתבצעים גם באמצעות חוזים עם ארגונים ממשלתיים או פרטיים, אך תמיד תוך הקפדה על אי תלות בגורמים חיצוניים כלשהם.