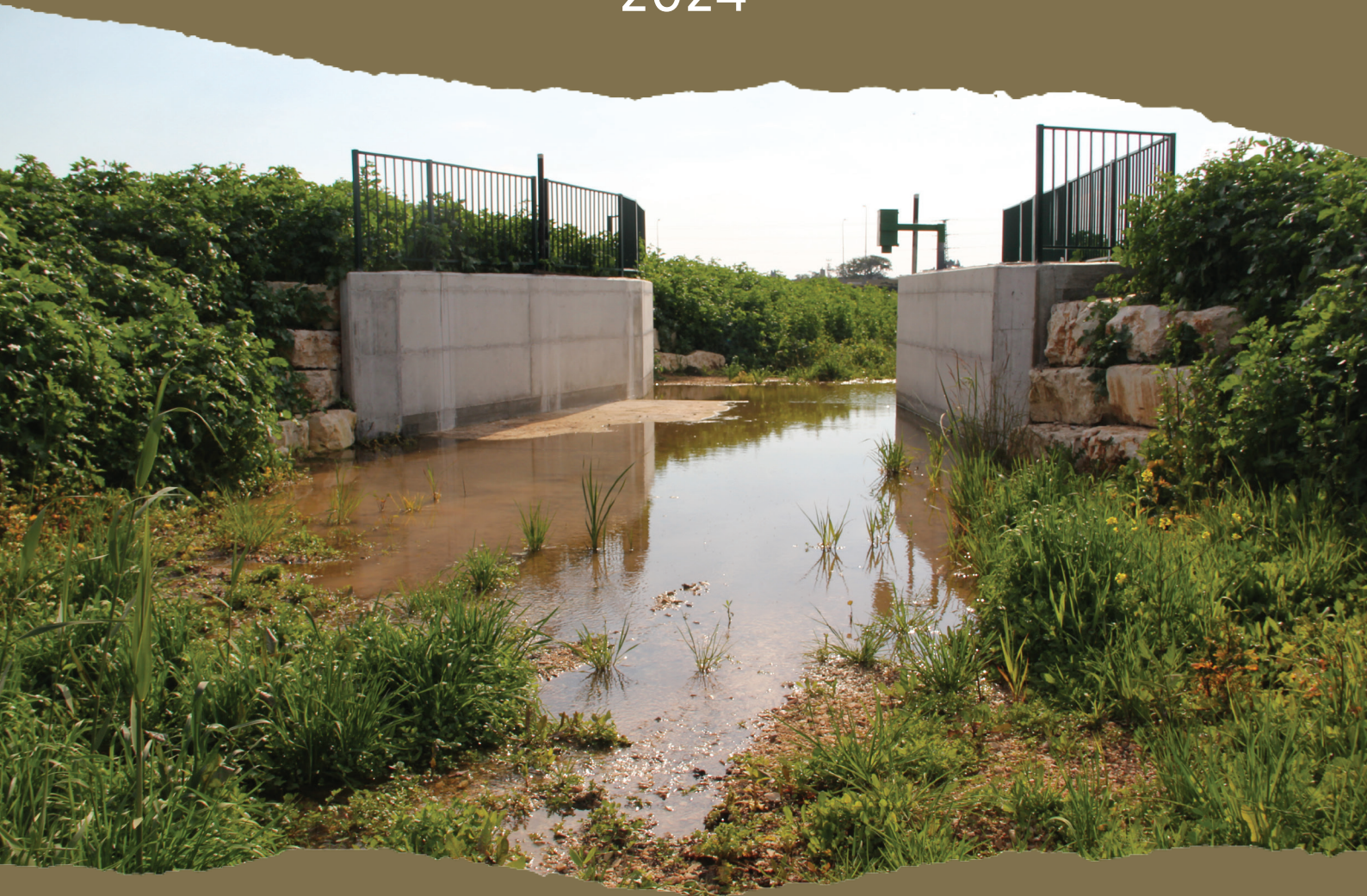


הקמת תחנה הידרומטרית מסוג פארשל

למדידת ספיקות באפיק וצמצום הפגיעה בקישוריות הידרו-ביולוגית

2024



מחברים:

ד"ר רועי אגוזי, התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
regozi@moag.gov.il

סיון קריספין, הנדסת מים וניקוז, ליגמ תכנון סביבתי בע"מ, sivank@lygm.co.il

הקדמה

בעשור האחרון גובר המאמץ לשיקום אפיקי נחלים, לרבות באגני היקוות חקלאיים, לאחר שאפיקים רבים יושרו והוסדרו בחתכי נחל טרפזיים כדי להעביר ספיקות תכן בהסתברות השגה של 10% ומי המקור שלהם נתפסו לשימושים אחרים. תוכניות השיקום כוללות בין היתר שיקום של משטר זרימות הבסיס ושל משטר הזרימות השיטפוניות בנחלים. זרימת הבסיס חשובה עבור שרידותה של המערכת האקולוגית המימית בחודשי היובש, והזרימה השיטפנית לצורך ריענון והתחדשות המערכת האקולוגית המימית, לפתיחת סבך הצמחייה ולקיומם של שינויים גאומורפולוגים טבעיים באפיק.

כדי להגדיר יעדים ומדדי הצלחה לשיקום משטר הזרימה עולה צורך למדוד את ספיקת המים בערוץ הנחל. בעת המדידה יש לוודא שהקישוריות ההידרו-גאומורפולוגית והאקולוגית בין מעלה מתקן המדידה למורדו לא נפגעת, כדי שלא לפגוע במערכת האקולוגית. מדידה כזו אפשרית בעזרת מתקן הידרומטרי מסוג פארשל, המוצג במדריך זה. מתקן מסוג זה מאפשר למדוד את הספיקה בנחל במינימום פגיעה בקישוריות.

המדריך נכתב על בסיס עבודות שבוצעו בשנת 2023 בפרויקט ההדגמה שיקום מקטע מעלה נחל נהלל, אשר נמצא בתחומי "משק המודל לחקלאות בת-קיימא" במרכז המחקר החקלאי נווה יער.

מדריך זה נועד לסייע לרשויות ניקוז ונחלים, לאגף הידרומטריה בשירות ההידרולוגי (ברשות המים) ולגופים נוספים העוסקים בתחום ההידרומטריה ובתכנון והקמה של מתקני מדידה דומים.

הצורך במדידת ספיקת מים בנחלים

מדידת ספיקת המים¹ הזורמים בתעלה פתוחה או נחל מספקת נתונים בזמן אמת בנוגע למשטר הזרימה בנחל. נתונים אלו נדרשים לצורך ניהול משאבי המים ומקורות המים הטבעיים לתועלת האדם:

1. קביעת סף ספיקה להגלשה של המים לתעלת הטיה לצורך איגומם במאגר ושימוש בהם (למשל להשקיה של גידולי קיץ או החדרה לצורך העשרת מאגר מי תהום).
2. ניהול סיכונים שיטפונות באמצעות מתקני ויסות או התראה מפני הגעת גל גאות למורד אגן שבו תשתיות, אזורי תעסוקה או מגורים.
3. תכנון הנדסי של מתקנים חוצי נחלים או הסדרת ניקוז לספיקות תכן להגנה על שימושי קרקע צמודי אפיקי נחלים.
4. צרכי מחקר ולימוד ארוכי טווח, כגון השפעות שינויי אקלים והאדם על משטר זרימת המים ואיכותם.

מדידה ישירה של הספיקה היא קשה ודורשת זמן ומאמץ רב. לכן נהוג לבצע מדידה רציפה של רום המים ולחשב או למדוד ישירות (בתדירות נמוכה) את מהירות המים ובאמצעותם לחשב את הספיקה. בנחלים אלוביאליים, שבהם חתך הרוחב משתנה באופן טבעי בתגובה לעוצמת השיטפון כתוצאה מתהליכי הסעה של גרופת (משקע גם גרגר), מדידה זו נעשית בתחנות הידרומטריות קבועות באפיק הנחל. תחנות אלו מודדות את ספיקת המים בחתך מדידה קבוע וידוע לאורך זמן, ולכן מהימנות הנתונים לאורך זמן (היסטורי) היא גבוהה. לרוב הקמה של תחנה כזו דורשת בינוי של מתקן מדידה (להרחבה: 4, 6, 7).

1 נפח המים הזורמים בחתך רוחב שממדיו ידועים ליחידת זמן ($Q=AV$). ספיקת המים מתקבלת ממכפלת מהירות המים הממוצעת (V) בשטח חתך זרימת המים (A). שטח החתך הוא פונקציה של השתנות בזמן של רום או מפלס המים בחתך רוחב האפיק.

האתגר - מדידה רציפה תוך פגיעה מצומצמת בקישורית

בשוק מצויים סוגים שונים של מתקני מדידה לספיקות מים, ולרוב הם מבוססים על חתך מדידה שבו הזרימה היא קריטית², שכן במצב זה המדידה של רום המים היא מדויקת. כדי לעמוד בתנאים אלו המתקנים ההנדסיים צריכים להיות מסוג מגלש או מזרם. המתקנים מתוכננים ונבנים בהתאמה לטווח הספיקות הצפוי להימדד על סמך ניתוח הידרולוגי (להרחבה: 1, 7). אחת הדרישות של מתקנים אלה היא מיתון של מהירות זרימת המים והסדרת קווי הזרימה בכניסה למתקן באמצעות איגום לאחור ויצירת בריכת השקטה. גם למהירות זרימת המים ביציאה מהמתקן חשיבות רבה, כדי שלא לגרום להפרעה (גלים) בחתך המדידה. לכן בדרך כלל יציאת המים מהמתקן היא במפל או זנק הידראולי (עידוד הפסדי אנרגיה). כלומר באופן מלאכותי יוצרים הפרש גבהים בין תחתית המתקן בחתך המדידה לתחתית האפיק במוצא (תמונה 1). אלא שהפרש הגבהים גורם לקיטוע הידרו-גאומורפולוגי ואקולוגי בין מקטע הנחל במעלה למקטע הנחל שבמורד המתקן [6]. המתקנים מעודדים השקעה של סחף במעלה והתחתרות במורד, חוסמים מעבר של דגים, חסרי חוליות גדולים ודו חיים מהמורד למעלה וגורמים לסתימה של המתקן בפסולת. כתוצאה מכך המדידה משתבשת ויש צורך בתחזוקה שוטפת של המתקן.

לאחרונה גוברת המודעות להשפעות השליליות של חסמים הידראוליים על האקולוגיה בנחל, וכחלק מהמאמץ המוגבר לשיקום נחלים ובתי גידול מימיים מוסרים מאפיקי הנחלים סכרים ומתקני הידרומטריה [2, 3, 8]. צעד זה מגדיל את הקישוריות בין מעלה הנחל למורדו ומאפשר מעבר חופשי של חומר גנטי ובעלי חיים בין מקטעי הנחל השונים (גם של מינים פולשים [5, 8]), אבל במקביל פוגע ברישום הרציף של ספיקות המים.



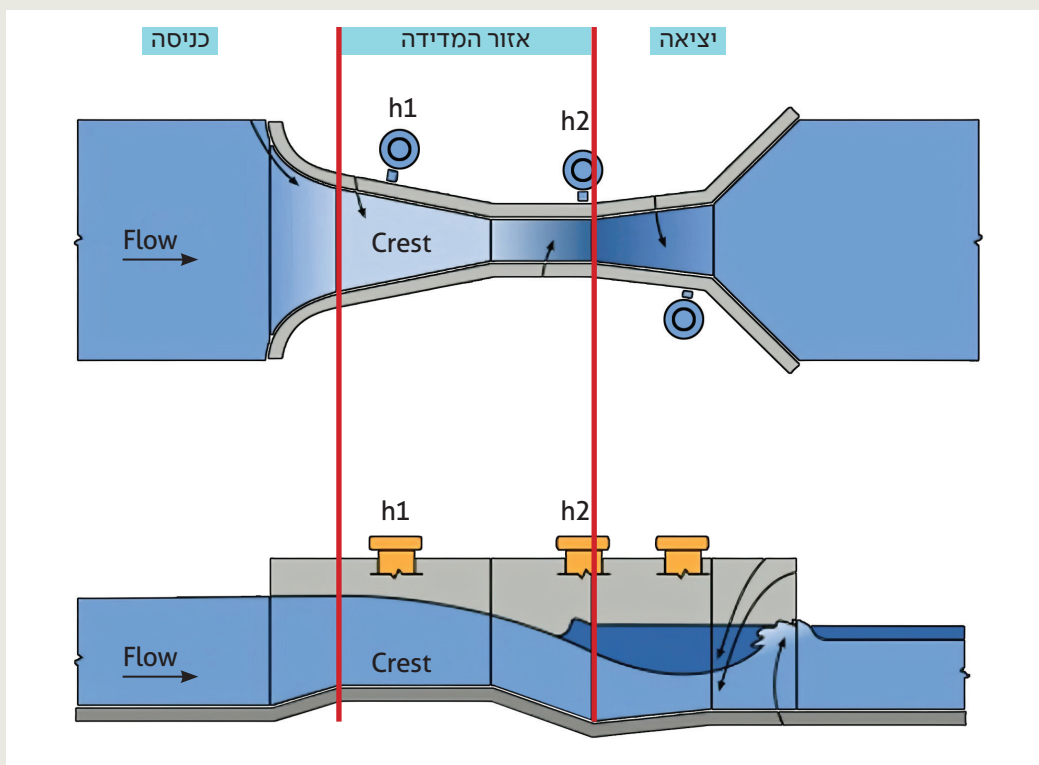
תמונה 1. מתקן מדידה קונבנציונלי בנהר ברנט, אנגליה.

² היחס בין מהירות הזרימה הממוצעת לתאוצת הכובד, המבוטא במספר פראוד (Froude), שהוא חסר יחידות. כאשר ערכו קטן מ-1 הזרימה היא תת-קריטית וכאשר ערכו גדול מ-1 הזרימה היא על-קריטית.

המענה - תחנה הידרומטרית מסוג פארשל

אחד הפתרונות למדידה עם פגיעה מינימלית בקישוריות הידרו-גאומורפולוגית הוא בנייה של תחנות הידרומטריות חדשות או הסבת תחנות קיימות לתחנה מסוג פארשל. תחנה מסוג זה היא מזרם גדול וקבוע למדידת ספיקות גבוהות. המים הזורמים מתועלים דרך המזרם לחתך מדידה שבו היחס בין הרום (h , במטרים) לספיקת המים (Q , במקש"נ) הוא קבוע³. תכנון המתקן נעשה בהתאם לטווח הספיקות הצפוי למדידה. מתקן הפארשל במעלה נחל נהלל, אשר מנקז זרימת בסיס וגאוויות מ-5.5 קמ"ר של שטח חקלאי, נבנה עם יציאה חופשית של מים ברום נמוך, וכך נמנע קיטוע של אפיק הנחל.

למתקן שלושה חלקים (איור 1): (1) כניסה - קירות עומדים צמוד לגדות האפיק - הקירות ("כנפיים") מנתבים את הזרימה לכיוון חתך הבקרה (מדידה). רצפת המתקן מוגבהת מתחתית האפיק בשיפוע 1:4 - הפוך בכיוונו לשיפוע האורכי של האפיק - כדי להאט את הזרימה הנכנסת; (2) חתך הבקרה או אזור המדידה - החלק הצר של חתך הבקרה/המדידה. בחלק זה ממוקמים החיישנים רושמי המפלס של המים. כינוס קווי הזרימה מונע השקעה של סחף במתקן; (3) יציאה חופשית או משפך - המתקן מתרחב בשיפוע חד לכיוון המורד, כדי לגרום להפסדי אנרגיה ולמנוע זרימה לאחור ולאיגום של מים בחתך הבקרה. במידה ויש צורך להתקנת מתקן פארשל גדול מזה המתואר, הוא עשוי לייצר חסם הידרוביולוגי בין מעלה - למורד. במקרה כזה ניתן לדרג את השיפוע ביציאה בשני חלקים.



איור 1. שרטוט עקרוני של מבנה מתקן פארשל במבט על (למעלה) ובמבט צד (למטה) כולל מיקומי נקודות המדידה h_1 , h_2 . באזור המדידה, לפני נקודת המדידה h_2 , נוצר שיפוע המפחית את אנרגיית הזרימה כך שנמנעת הפרעה לנקודת המדידה ונמנעת התחתרות במורד.

³ ספיקה: $Q = Kh^A u$, כאשר K ו- u הם מקדמים הנקבעים אמפירית או לפי טבלת ערכים קיימת בהתאם לרוחב חתך המדידה.

הנחיות לתכנון והקמת המתקן

הגדרת מאפייני המתקן

הגדרת מאפייני המתקן מבוססת על ניתוח הידרולוגי והגדרת טווח הספיקות הצפויות להימדד. בנחל נהלל המתקן נבנה מיציקת בטון ומוקם במורד המקטע, אחרי כניסת כל הערוצים לנחל, כדי לאפשר מדידה של סך הספיקות המתנקזות (נספח 1).

1. מידות המתקן: מתקני מדידה מסוג פארשל צריכים להיות מפולסים וממדיהם מותאמים לטווח ספיקות צפוי. בטבלה 1 מצוינים ערכי הספיקה המינימלית והמרבית שהמתקן צפוי למדוד, ובטבלה 2 מוצגים נתונים המאפשרים המרה של ערכים אלו לממדי המתקן (בהתאמה לאיור 2). קביעת רוחב חתך המדידה מתבססת על ניתוח נתונים הידרולוגיים, שיקולי תקציב ("עלות-תועלת") וטווח ספיקות רלוונטי ליעוד המדידה. לדוגמה, במקרה של נחל נהלל המתקן תוכנן למדידת ספיקות של שיטפונות בטווח שבין 0.19 ל-14.7 מקש"נ. טווח זה הוא של הספיקות השכיחות לגאוויות החורף והוא רלוונטי גם לספיקת זרימת בסיס בין סופות גשם וגם לספיקות באירועים חריגים (על בסיס תוצרי חלק מהמודלים ההידרולוגיים)⁴.

2. מיקום המתקן: הפארשל ימוקם בקטע אפיק ישר, כך שציר אפיק הנחל יעבור במרכז המתקן (תמונה 2). כניסת אפיקי המשנה לקטע המדידה צריכה להיות במרחק מספק במורד או במעלה המתקן (לפחות פי עשרה מרוחב חתך המדידה).

3. חומרים לבניית המתקן: הפארשל יכול להיבנות מחומרים שונים, בדגש על חומרים עם מקדם חיכוך נמוך כגון בטון או נירוסטה. מתקנים קטנים אפשר לייצר במסגרייה ולהוביל לשטח להתקנה. אולם על פי רוב מתקן ממתכת בגודל הזה לא מיוצר בחתיכה אחת, אלא מורכב מכמה חלקים. לכן מתקנים גדולים רצוי לצקת מבטון בעל אטימות משופרת באתר. יציקת הבטון צריכה להיות מוקפדת מבחינת פילוס וגם מבחינת ההחלקה של הבטון, ללא סגרגציות. חומרים אלו גם מסייעים במניעת התפשטות צמחייה על המתקן או השקעה של סחף. עם זאת, צימוח מוגבר באפיק עלול לחסום את הזרימה וליצור תנאים של היערמות מים לאחור. על כן, יש בפארשל נקודת מדידה נוספת של רום המים בבסיס מפל היציאה. במקרה שהמתקן מוטבע היחס בין המפלסים בשתי נקודות המדידה (h_2/h_1) מאפשר תיקון לערך הספיקה.

⁴ לפי מודל הנוסחה הרציונלית 1/או מודלים ממוחשבים של גשם-נגר בנחל נהלל, ספיקת שיא של 14.5 מקש"נ היא ספיקה חריגה מאוד של כמעט פי שניים מספיקת תכן של 1% אולם לפי מודלים אזוריים, באירוע חריג עשויה הספיקה בנחל לגלוש מהמתקן (להרחבה: 5). מדידה של ספיקת זרימת בסיס ברום שנמוך מ-10 ס"מ היא גבולית בהתאם לממדי המתקן.

טבלה 1. חישוב חתך הבקרה b על פי טווח ספיקות צפוי עם סימון הערכים שנבחרו עבור המתקן בנהלל

משוואת חישוב ספיקה על פי עקום רום ספיקה h	רוחב אזור המדידה (חתך הבקרה) b(m)	ערך מקסימום ערך ספיקה שיטפונית צפוי	ערך מינימום ערך ספיקת בסיס צפוי
4060.0 ^{55.1} h	0.025	5.4 / ל שנייה	0.09 / ל שנייה
7021.0 ^{55.1} h	0.051	13.2 / ל שנייה	0.18 / ל שנייה
1771.0 ^{55.1} h	0.076	32.1 / ל שנייה	0.77 / ל שנייה
2183.0 ^{85.1} h	0.152	111 / ל שנייה	1.50 / ל שנייה
4535.0 ^{35.1} h	0.229	251 / ל שנייה	2.50 / ל שנייה
9060.0 ^{225.1} h	0.305	467 / ל שנייה	3.32 / ל שנייה
650.1 ^{835.1} h	0.457	695 / ל שנייה	4.80 / ל שנייה
824.1 ^{1055.1} h	0.610	937 / ל שנייה	12.1 / ל שנייה
481.2 ^{665.1} h	0.914	1427 / ל שנייה	17.6 / ל שנייה
359.2 ^{875.1} h	1.219	1923 / ל שנייה	35.8 / ל שנייה
237.3 ^{785.1} h	1.524	2424 / ל שנייה	44.1 / ל שנייה
915.4 ^{595.1} h	1.829	2929 / ל שנייה	74.1 / ל שנייה
213.5 ^{106.1} h	2.134	3438 / ל שנייה	85.8 / ל שנייה
211.6 ^{706.1} h	2.438	3949 / ל שנייה	97.2 / ל שנייה
364.7 ^{06.1} h	3.048	8.28 מ"ק / שנייה	0.16 מ"ק / שנייה
958.8^{06.1}h	3.658	14.68 מ"ק / שנייה	0.19 מ"ק / שנייה
69.01 ^{06.1} h	4.572	25.04 מ"ק / שנייה	0.23 מ"ק / שנייה
54.41 ^{06.1} h	6.096	37.97 מ"ק / שנייה	0.31 מ"ק / שנייה
49.71 ^{06.1} h	7.620	47.14 מ"ק / שנייה	0.38 מ"ק / שנייה
44.12 ^{06.1} h	9.144	56.33 מ"ק / שנייה	0.46 מ"ק / שנייה
34.82 ^{06.1} h	12.192	74.70 מ"ק / שנייה	0.60 מ"ק / שנייה
14.53 ^{06.1} h	15.240	93.04 מ"ק / שנייה	0.75 מ"ק / שנייה

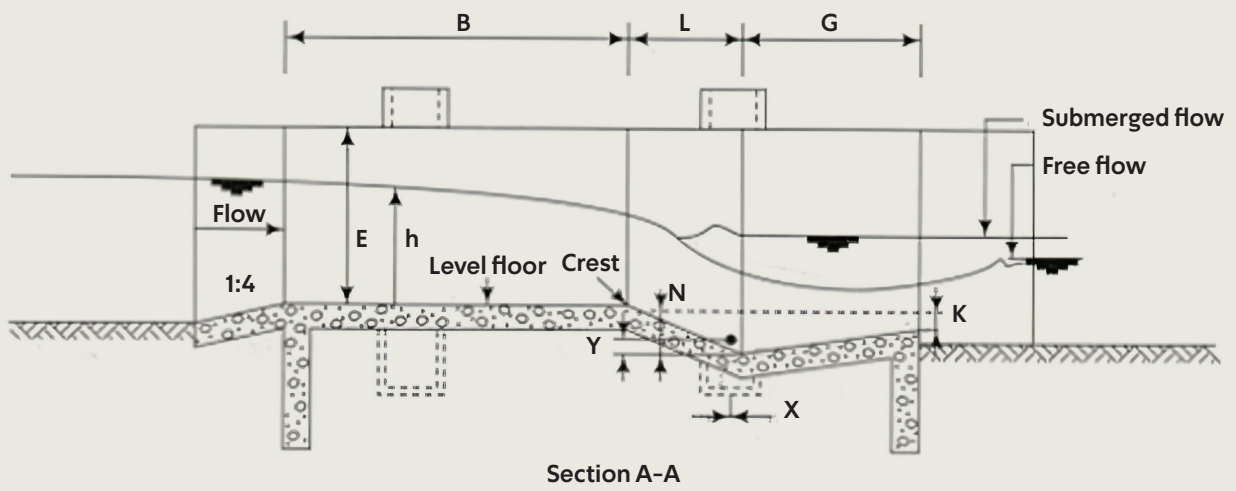
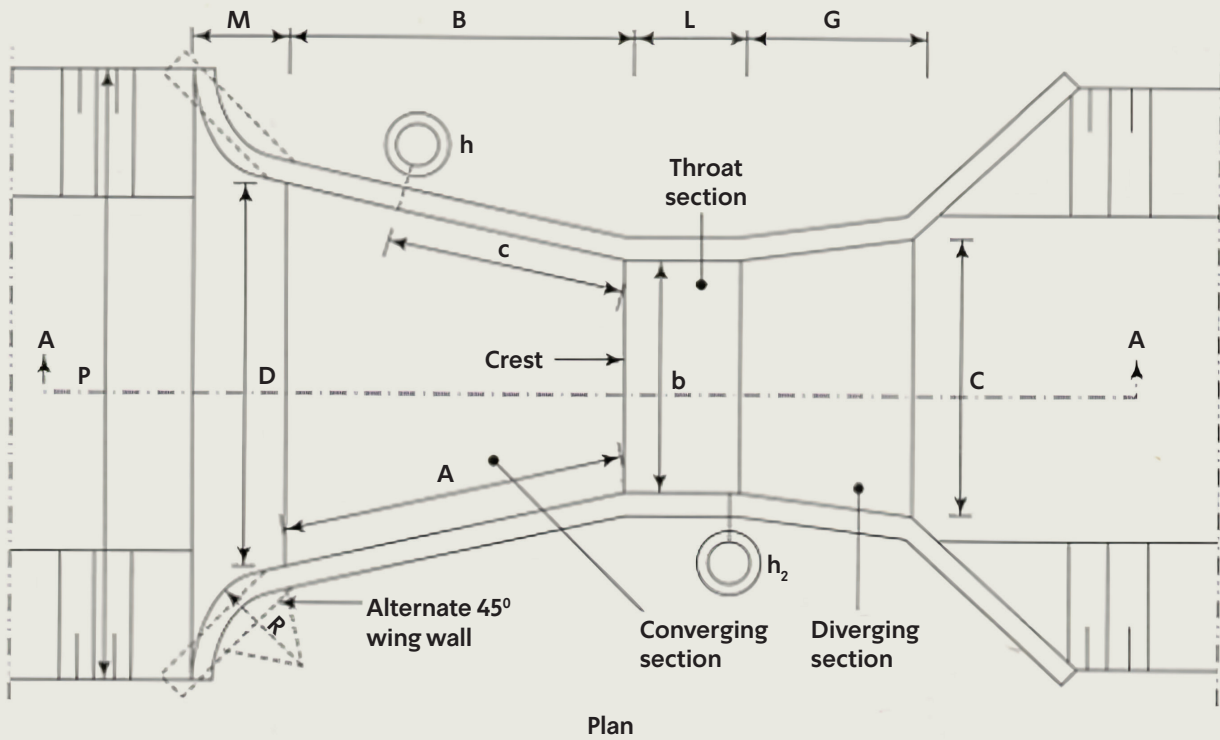
טבלה 2. קביעת ממדי המתקן המופיעים באיור 2 על פי רוחב המתקן b שנבחר בטבלה מס' 1. כל היחידות מצוינות במטרים. מסומנים הערכים המחושבים עבור המתקן בנהלל. [7]

C	A	K	N	E	G	L	B	C	D	b
0.241	0.363	0.019	0.029	0.153	0.204	0.076	0.357	0.093	0.167	0.025
0.277	0.415	0.022	0.043	0.229	0.253	0.114	0.405	0.135	0.213	0.051
0.311	0.466	0.025	0.057	0.153	0.30	0.152	0.457	0.178	0.259	0.076
0.415	0.719	0.076	0.114	0.253	0.61	0.30	0.610	0.393	0.396	0.152
0.588	0.878	0.076	0.114	0.305	0.46	0.30	0.862	0.381	0.573	0.229
0.914	1.37	0.076	0.228	0.610	0.91	0.61	1.34	0.610	0.844	0.305
0.966	1.45	0.076	0.228	0.61	0.91	0.61	1.42	0.762	1.02	0.457
1.01	1.52	0.076	0.228	0.76	0.91	0.61	1.50	0.914	1.21	0.610
1.22	1.68	0.076	0.228	0.91	0.91	0.61	1.64	1.22	1.57	0.914
1.22	1.83	0.076	0.228	0.91	0.91	0.61	1.79	1.52	1.93	1.22
1.32	1.98	0.076	0.228	0.91	0.91	0.61	1.94	1.83	2.30	1.52
1.42	2.13	0.076	0.228	0.91	0.91	0.61	2.09	2.13	2.67	1.83
1.52	2.29	0.076	0.228	0.91	0.91	0.61	2.24	2.44	3.03	2.13
1.62	2.44	0.076	0.228	0.91	0.91	0.61	2.39	2.74	3.40	2.44
1.83	2.74	0.152	0.34	0.91	1.83	0.91	4.27	3.66	75.4	3.05
2.03	3.05	0.152	0.34	0.91	2.44	0.91	4.88	4.47	5.61	3.66
2.34	3.50	0.229	0.46	0.91	3.05	1.22	7.62	5.59	7.62	457
2.84	4.27	0.31	0.68	1.22	3.66	1.83	7.62	7.31	9.14	6.10
3.35	5.03	0.31	0.68	1.52	3.96	1.83	7.62	8.94	10.67	7.62
3.86	5.79	0.31	0.68	1.83	4.27	1.83	7.92	10.57	12.31	9.14
4.88	7.31	0.31	0.68	2.13	4.88	1.83	8.23	13.82	15.48	12.19
5.89	8.84	0.31	0.68	2.13	6.10	1.83	8.23	17.27	18.53	15.24



תמונה 2. מיקום תחנת פארשל באפיק נחל נהלל.

איור 2. שרטוט של מתקן המדידה במבט על ובחתיך צד. יש לקבוע את ממדי המתקן בהתאם לערכים בטבלה 2



דגשים לביצוע

1 הכנת השטח

- אם העבודה נעשית בנחל עונתי, ניתן לעבוד בעונה היבשה. במקרים אחרים יש להקים תעלת הטיה וסכרי עפר טרם הביצוע, כדי שעבודת היציקות תוכל להתבצע בתנאים יבשים.
- יש לחשוף את האפיק, להעמיק ולפתוח אותו או לבצע כל עבודת עפר שנדרשת לצורך יצירת מקטע מתאים לעבודה (תמונה 3). העמקת האפיק נדרשת להנחת המצעים לפני היציקה של רצפת המתקן במפלס האפיק הקיים.



תמונה 3. חישוף וחפירת בתשתית אפיק הנחל לקראת בניית המתקן.

2 ביסוס ואיטום בהתאם לתנאי הקרקע

- שימוש בשברי אבן ומצעים.
- שימוש ביריעת ניילון או בטון רזה לטובת יציקה על שטח נקי ומניעת חלחול הנוזלים ביציקה אל הביסוס

3 יציקת המתקן (תמונה 4)

- יש לצקת כל חלק בשלמותו, ללא תפרים במידת האפשר: תחילה רצפה ולאחר מכן קירות. אם בכל זאת נדרשים תפרים, רצוי שיהיו במקומות מתאימים (לדוגמה במקום שבו יש בכל מקרה זווית ולא באמצע הרצפה) ולדאוג להסרה/שיוף שלהם.
- ייצור דפנות כפולות צריך להיעשות ביציקה, כדי להותיר מקום להתקנת חיישנים ומכשירי המדידה (תמונה 5). כאשר גובה קירות המתקן עולה על שני מטר יש להוסיף צינורות לשחרור לחץ (יש להיוועץ עם קונסרוקטור מהנדס בניין).
- מומלץ להשתמש בסרגלי אלומיניום או זוויתנים לקביעת השיפועים בכניסה למתקן וביציאה ממנו (על המעברים להיות חדים ולא מעוגלים). ההתקנה צריכה להיות מפולסת וישרה.



תמונה 4. יציקה של רצפה וקירות המתקן מבטון בתוך אפיק הנחל



תמונה 5. דופן כפולה לצורך התקנת מכשירי מדידה

4 בנייה מחדש של גדות האפיק בהתאם לממדי המתקן (תמונה 6)



תמונה 6. סיום עבודות עפר ובנייה מחדש של גדות האפיק.

5 קיטום פינות בקירות

6 התקנת מכשירי המדידה (תמונה 7)



תמונה 7. מתקן מכ"ם למדידה רציפה של רום המים.

דגשים כללים

1. רמת הדיוק בבניית המתקן חשובה. יש לספק לקבלן הנחיות ברורות לגבי השימושים המיועדים של המתקן ולגבי החשיבות לדיוק בממדים, שיפועים, החלקות וכו'.
2. על פי הצורך ולצורכי בטיחות מומלץ לגדר את המתקן.
3. יש לדעת שהתמחור טרם ביצוע נמוך ביחס לעבודה בפועל בגלל הכמויות הקטנות והדיוק הנדרש בביצוע.
4. מתקן מסוג פארשל, ככל מתקן מדידה הידרומטרי, דורש תחזוקה שוטפת. תחזוקה לקויה עלולה לפגוע במדידה ולהניב נתונים שגויים.
5. לצורך שמירה על קישורית הידרו-ביולוגית מומלץ למתן את היציאה החופשית של המים באמצעות שיפוע מדורג במקרה של מתקן גדול ו/או לשלב במתקן סולמות דגים, בהתאם למינים שמאכלסים את הנחל.
6. קיימים פתרונות אחרים מלבד מדידה הידרומטרית באמצעות מתקן מסוג פארשל. מכיוון שפרויקט שיקום מעלה נחל נהלל משמש פלטפורמה למחקר וניטור ארוך טווח בנושא של נחל-חקלאות במסגרת משק מודל לחקלאות בת קיימא, נתוני ספיקת המים הם נתון רקע בסיסי לשימוש במחקרים שונים (איכות מים, אקולוגיה, הידרולוגיה וגאומורפולוגיה). משום כך נדרשות מדידות בדיוק ומהימנות גבוהים, כפי שמסופקות על ידי המתקן המתואר במדריך זה.

רשימת מקורות ופרטי קריאה מומלצים

1. אלדד, ש., אגוזי ר., 2023. דו"ח הידרולוגי – נחל נהלל, התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופתוח הכפר.
2. Belletti, B., Garcia de Leaniz, C., Jones, J., Bizzi, S., Börger, L., Segura, G., Castelletti, A., Van de Bund, W., Aarestrup, K., Barry, J. and Belka, K., 2020. More than one million barriers fragment Europe's rivers. *Nature*, (7838)588, pp.441-436.
3. Bellmore, J.R., Duda, J.J., Craig, L.S., Green, S.L., Torgersen, C.H., Collins, M.J. and Vittum, K., 2017. Status and trends of the dam removal research in the United States. *WIREs Water*. (5) 4: e1164.
4. Boiten, W., 2003. *Hydrometry: IHE Delft lecture note series*. CRC press.
5. Boardman, J. and Foster, I., 2023. Are 'free-flowing rivers' a good idea? The challenge of removing barriers from our rivers. *Geography*, (3)108, pp.129-121.
6. Clemmens, A.J., Wahl, T.L., Bos, M.G. and Replogle, J.A., 2001. Water measurement with flumes and weirs (No. 58). International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI.
7. Dingman, S.L., 2015. *Physical hydrology*. Waveland press.
8. European Commission, Directorate-General for Environment, *Biodiversity strategy for 2030 – Barrier removal for river restoration*, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/181512/10.2779>

תודות

עריכת תוכן - יעל סלמה רובין

עריכה לשונית - ענת פלדמן

עריכה גרפית - רוני בן ציוני

אנשי מקצוע שהעירו וסייעו לטיוב המדריך:

מוניר חגי'אג'רה, קונסטרוקטור, ליגמ פרויקטים סביבתיים בע"מ
יובל גונן, מפקח, ליגמ פרויקטים סביבתיים בע"מ
רן פרחי, רכז מקצועי, רשות ניקוז ונחלים שרון
דרור אפשטין, מהנדס סביבה, רשות ניקוז ונחלים שרון
בני רופא, מנהל אגף הידרומטריה, רשות המים
ד"ר יעל סטורץ-פרץ, מנהלת אגף מים עיליים והידרומטאורולוגיה, רשות המים
יפעת ארצי, אקולוגית במחוז צפון, רשות הטבע והגנים

צוות מנהל – פרויקט שיקום מעלה נחל נהלל:

ד"ר רועי אגוזי, התחנה לחקר הסחף, החטיבה לניהול משאבי סביבה, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
ד"ר יעל לאור, מנהלת מדעית, משק מודל לחקלאות בת קיימא, מרכז המחקר נווה יער
טל רטנר, מנהלת אגף חברה וקהילה, רשות ניקוז ונחלים קישון
הילה בייניש, מנכ"לית, אגמא
מרים בן שלום, מנהלת פרויקט ההדגמה לשיקום נחל נהלל

