



חברת אשל הירדן – יזום ובניה בע"מ

**הטית נחל צבי לעקיפת  
שטח מתחם הספורט  
והנופש במגדל העמק**

**תכנית מתאר מקומית  
מס' התכנית 221-0582965  
עדכון תואי**

**אוקטובר 2021**

**הוכן ע"י: אריה פלנר**

**הנדסה אזרחית**

**תכנון דרכים, תנועה ופיתוח**



## תוכן העיניינים

<b>3</b>	<b>1 מבוא.....</b>
<b>3</b>	<b>1.1 תיאור הפרוייקט ומטרת דו"ח זה.....</b>
<b>3</b>	<b>1.2 מקורות מידע.....</b>
<b>4</b>	<b>2 הידרולוגיה –חישוב ספיקות.....</b>
<b>4</b>	<b>2.1 מאפייני אגן הניקוז של נחל צבי בנקודת החישוב.....</b>
<b>5</b>	<b>2.2 חישוב הספיקות בהסתברויות אירוע שונות.....</b>
<b>7</b>	<b>2.3 סיכום.....</b>
<b>7</b>	<b>3 תיאור הפתרונות המוצעים.....</b>
<b>7</b>	<b>3.1 הקדמה.....</b>
<b>8</b>	<b>3.2 ספיקת התכן.....</b>
<b>8</b>	<b>3.3 מאפייני ההטיה המוצעת.....</b>
<b>11</b>	<b>3.4 בעית חציית שדרות שאול עמור.....</b>
<b>12</b>	<b>3.5 סיכום.....</b>
<b>13</b>	<b>4 נספחים.....</b>
<b>13</b>	<b>נ-1 חישוב הערמות פני המים בעקומות.....</b>
<b>14</b>	<b>נ-2 חישוב עומק המים במעלה המובל המוצע.....</b>
<b>16</b>	<b>נ-3 זרימה במעביר מים הזורם בחתך מלא.....</b>



**1 מבוא**



## 1.1 תיאור הפרוייקט ומטרת דו"ח זה

בחלקו המזרחי של מגדל העמק, בעיקול שעושה רחוב שדרות שאול עמור, מזרחית לשטח של מפעל וישי, מתוכנן להיבנות מרכז ספורט ונופש שיכלול גם שירותי מסחר למיניהם. כפי שניתן לראות בתוכנית המצורפת, המתחם הנ"ל חוסם לחלוטין את מעבר אפיקו של נחל צבי המגיע מכיוון מזרח.

נחל צבי מנקז את חלקה המערבי של העיר נצרת וכן חלק משמעותי של הכפר יפיע. בנקודת החצייה של שדרות שאול עמור אגן ההיקוות של הנחל מגיע לכ-7.1 קמ"ר.



בהעדר אפשרות לשמור על אפיקו של הנחל בקטע באורך של כ-130 מ' שממורד חציית שדרות שאול אמור עד לגבולו המערבי של מתחם הספורט והנופש, יש צורך בהטיית הנחל כך שיעקוף את מבני ומתקני המתחם הנ"ל.

מטרות דו"ח זה הן:

- להציג פתרון להטיית נחל צבי כך שיעקוף את מתחם הספורט והנופש המתוכנן ויתלכד בחזרה לאפיקו הקיים מצדו המערבי של גבול המתחם.
- להצביע על בעית העדר כושר העברה של מעביר המים הקיים דרכו נחל צבי חוצה את שדרות שאול עמור ולהציע דרכי פתרון לבעיה זו.



## 1.2 מקורות מידע

העבודה המוצגת בדו"ח זה הוכנה בעזרת החומר והמידע הבא:

- מפות ממשלתיות 1:50,000.
- תצלומי אוויר.
- מפה טופוגרפית של השטח המיועד למתחם וסביבתו בקנה מידה 1:500
- תכנית תכנון מרכז הספורט והנופש בקנה מידה 1:250
- דו"ח שהוכן עבור רשות ניקוז קישון על ידי משרד לביא-נטיף מהנדסים יועצים בע"מ ביוני 2017 ואשר מתאר את מצבו של נחל צבי בעיקר במורד שטח מתחם הספורט והנופש.
- הנחיות והמלצות תכנון כפי שמקובלות בספרות המקצועית הרלוונטית (אשר יתוארו בהמשך הדו"ח במקומות המתאימים).





- דיון מקדים ברשות הניקוז שהתקיים בתאריך 12.07.17 בהשתתפות נציגי רשות ניקוז קישון, יזמי הפרוייקט ונציגי משרד "אריה פלנר - הנדסה אזרחית".
- סיורים לאתר הפרוייקט וסביבתו.

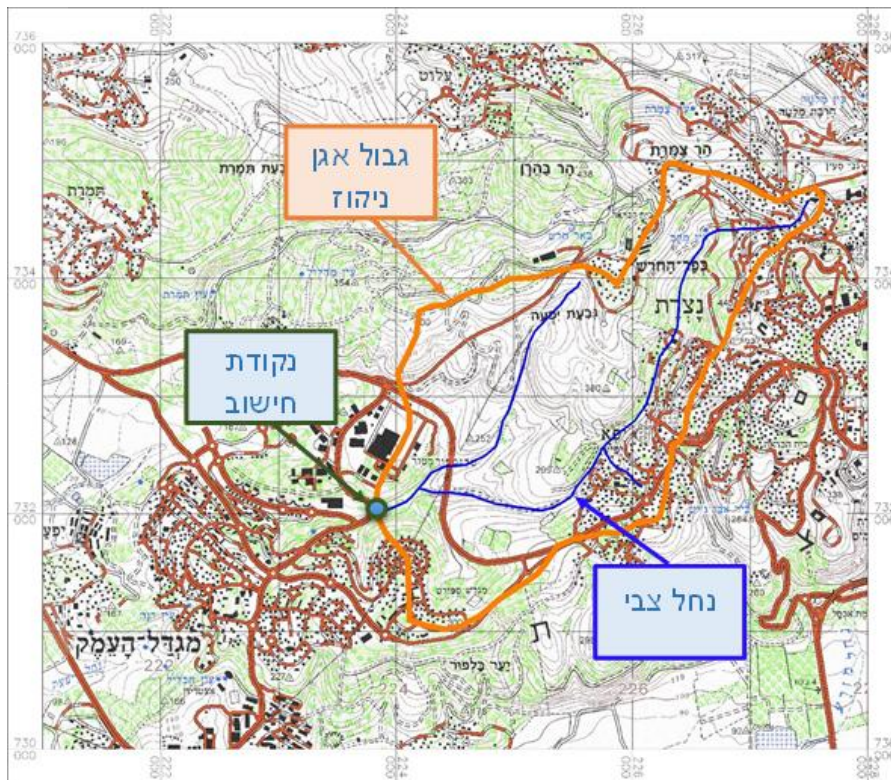
## 2 הידרולוגיה – חישוב ספיקות



### 2.1 מאפייני אגן הניקוז של נחל צבי בנקודת החישוב

נקודת חישוב הספיקות מצויה במעביר המים דרכו נחל צבי חוצה את שדרות שאול עמור.

תרשים 2-1 מתאר את גבול אגן הניקוז של נקודת החישוב וטבלה 2-1 מציגה את מאפייניו ההידרולוגיים.



**תרשים 2-1: אגן הניקוז של נחל צבי בנקודת החישוב**

**טבלה 2-1: מאפיינים עיקריים של אגן הניקוז**





CN; ממוצע	זמן ריכוז (דקות)	קרקע (%) (מהשטח)		שטח (קמ"ר)				
		B	A	חקלאי	חורש	בור	בנוי	כולל
79	45	62.7	37.3	0.15	2.65	2.45	1.88	7.13



## 2.2 חישוב הספיקות בהסתברויות אירוע שונות

הספיקות חושבו בשתי שיטות:

- מודל גשם-נגר המשלב שימוש בהידרוגרמת יחידה על פי קלרק ומקדם נגר CN (HMS-HEC).
- אנלוגיה לנחל בית לחם בו ישנן מדידות של השרות ההידרולוגי.



הגשם שיושם במודל הנ"ל היה גשם נצרת למשך סופה של 2.5 שעות במרווחים של 15 דקות. משך הגשם נקבע על פי התייחסותו לזמן הריכוז של האגן ועל פי הנסיון אמור להיות בין 3 ל 4 פעמים זמן הריכוז. הגשם חושב על פי המידע אודות עוצמות גשם במשכים ובהסתברויות שונות כפי שנמסרו ע"י החברה הישראלית לדרכים<sup>1</sup>. טבלה 2-2 מביאה את ערכי הגשם כפי שיושמו במודל. ערכי טבלה 2-2 חושבו בסיוע עקומות משך-עוצמה-הסתברות בתחנת נצרת שהתבססו על הנתונים הנ"ל, כאשר עוצמות הגשם מועברות בהמשך לעובי גשם במרווחים של 15 דקות. תרשים 2-2 מציג את עקומות משך-עוצמה-הסתברות האלה.



הספיקות בשיטת האנלוגיה לנחל בית לחם חושבו על פי הכפלת ספיקות נחל בית לחם הצפויות בהסתברויות שונות כפי שדווחו ע"י השרות ההידרולוגי<sup>2</sup> (לא היה דיווח להסתברות 20%) ביחס שורש שטחי אגני הניקוז של 2 הנקודות הר (שטח נחל בית לחם בתחנה ההידרומטרית הינו 22 קמ"ר). בנוסף מובא בטבלה 2-3 מידע שפורסם ע"י לביא-נטיף<sup>3</sup> המתייחס להמלצות של ערכי הספיקות בהסתברויות שונות בנקודת החישוב.

תוצאות החישובים ניתנות בטבלה 2-3.

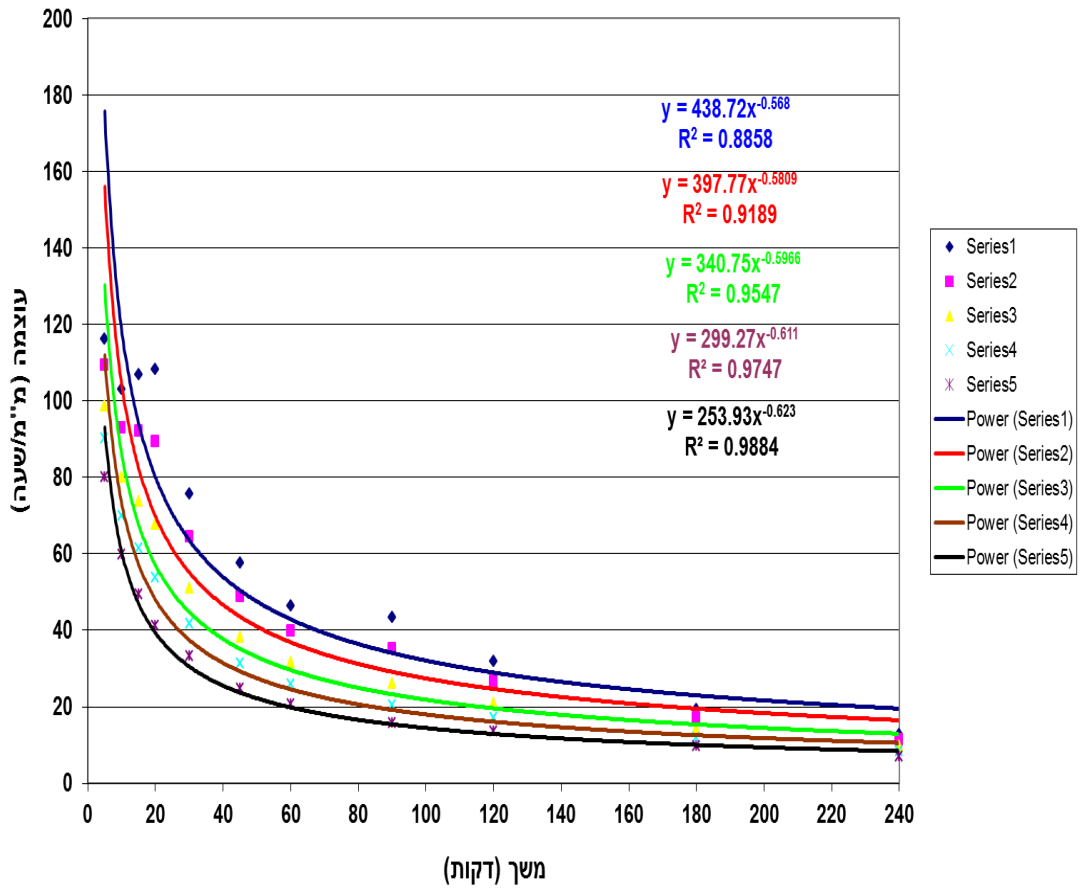


<sup>1</sup> חברה ישראלית לדרכים (2007)

<sup>2</sup> עמיר גבעתי ובנימחן עצמון, השרות ההידרולוגי, מודל אזורי להערכת ספיקות שיא בהסתברות 1%, מרץ

2015

<sup>3</sup> לביא-נטיף, דוח מספר 7080-1254 ד', ללא תאריך



**תרשים 2-2: יחסי עוצמה-גשם-הסתברות בתחנת נצרת**

**טבלה 2-2: גשם תכן (במ"מ) למשך 3 שעות במרווחים של 15 דקות**

הסתברות (%)					משך (דקות)
1	2	5	10	20	
2.8	2.3	1.8	1.4	1.1	15
3.2	2.7	2.1	1.6	1.3	30
3.9	3.2	2.5	2.0	1.5	45
5.0	4.2	3.2	2.6	2.0	60
8.2	7.0	5.5	4.4	3.5	75
23.6	20.6	16.9	14.3	11.8	90
6.1	5.1	4.0	3.2	2.5	105
4.3	3.6	2.8	2.2	1.7	120
3.5	2.9	2.2	1.8	1.4	135
3.0	2.5	1.9	1.5	1.2	150





## טבלה 2-3: ספיקות בהסתברויות שונות בנקודת החישוב של נחל צבי

ספיקה (מ"ק/שניה)				הסתברות (%)
לביא-נטיף	נחל צבי (מודל)	נחל צבי (אנלוגיה)	נחל בית לחם	
-	3.4	-	-	20
8.1	7.2	10.8	19.0	10
12.2	12.0	17.1	30.0	5
18.9	21.4	22.2	39.0	2
27.0	29.9	31.9	56.0	1



### 2.3 סיכום

תוצאות החישובים של הספיקות על פי 2 השיטות שיושמו בעבודה הנוכחית דומות מאד, בעיקר בהסתברויות הנמוכות. קיים גם דמיון רב בכל ההסתברויות לערכי הספיקות שחושבו ע"י המודל לאלו שהומלצו ע"י לביא-נטיף. מומלץ על כן להשתמש בתוצאות החישובים על פי המודל שהסתמך על נתוני אגן הניקוז ואיפשר לחשב את הספיקה גם בהסתברות של 20%.



## 3 תיאור הפתרונות המוצעים

### 3.1 הקדמה

היזם ביצע שינוי בתוכנית ולפיכך ניתן לשמור על התוואי הנוכחי של נחל צבי החוצה את השטח המיועד למרכז הספורט והנופש. שהתוואי כפי שמסומן בתוכנית המצורפת. זה המתחיל מול המוצא של מעביר המים הקיים דרכו נחל צבי חוצה את שדרות שאול עמור, ממשיך מתחת לכביש הגישה למרכז הספורט והנופש ומתלכד עם אפיקו הקיים של הנחל בסמוך למוצא מעביר המים הקיים דרכו נחל צבי חוצה את כביש גישת החרום למפעל וישי. אורך הקטע הוא כ-153 מ'.

### 3.2 ספיקת התכן

עמוד 7 מתוך 17





התנאים הטופוגרפיים של השטח בסביבת מתחם הספורט והנופש הם כאלה אשר כל גלישה של נגר עילי, המגיע מכיוון מזרח, מעל פני שדרות שאול עמור גורם להצפתו. בגלל הפרשי הרום הגדולים בין פני שדרות שאול עמור בקטע המיועד לגלישת נגר (כ-183.1+) לבין פני שטח מתחם הספורט והנופש (כ-177.8+), הצפה זו הנה בעלת פוטנציאל הרס גבוה מאד, הן מבחינת הנזק לרכוש והן מבחינת הסיכון לנפש. אי לכך כדי למנוע הצפת מתחם הנופש והספורט בהסתברות אירוע של 1%, כדרישת התמ"א הרלוונטי, נמצא לנכון לתכנן את מובל נחל צבי ליכולת ההולכה ההידראולית הדרשה לקליטתה והזרמתה הבטוח של הספיקה הצפויה בהסתברות אירוע הנ"ל שהינה, כפי שתואר בפרק 2 לעיל, 30 מ"ק/שניה.



### 3.3 מאפייני ההטיה המוצעת

להלן מאפייניו העיקריים של המובל המוצע בתוואי העובר מתחת למיסעה הדרום-מזרחית של כביש הגישה למרכז הספורט והנופש:

- חתך רוחבי מלבני, ברוחב וגובה פנימיים של 2.50 מ'.
- אורכו כ-153 מ'.
- שיפועו האורכי: 2.4%



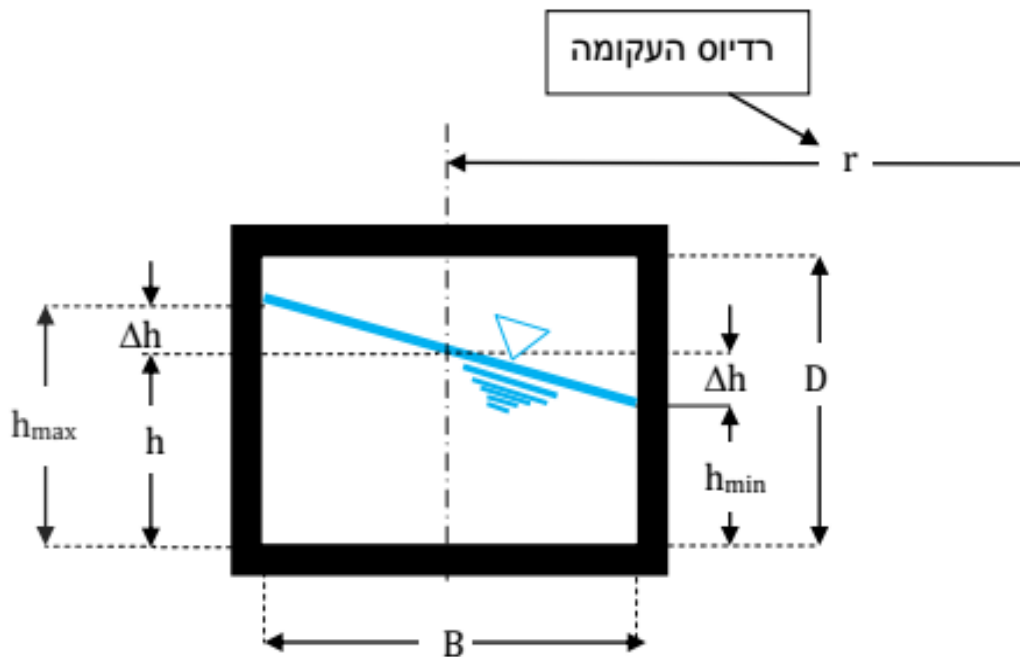
הזרימה במובל הנה על-קריטית, עם מהירויות שבספיקת התכן מגיעות למעל ל-6 מ'/שניה. תנאי זרימה אלה מונעים אפשרות לתוואי-המקובל בקווי ניקוז קטנים-המורכב מקטעים ישרים עם פניות חדות מרוכזות בתאי הבקרה. הסיבה היא שבזרימות על-קריטיות, בפניות חדות נוצרים גלים אשר גורמים לזרימה בלתי יציבה כי, נוצרים כיסי אויר הגורמים לזרימה מבעבעת (pulsating, bubbling flow) ורוטטת.



זרימה זו יכולה, במשך הזמן לגרום לנזקים לבטון, לתפרים ואף למילוי החוזר של החפירה למובל. כדי למנוע תופעה זאת, תוואי המובל יהיה ישר עם רדיוס הסיבוב הגדול ימנע היווצרות גלים וגם ימנע שהערמות פני המים לאורך צדו הקעור (החיצוני) של המובל יגיעו עד לתקרתו כי אז כושר ההולכה שלו יקטן מזה הנדרש (לאופן חישוב שיעור ההערמות בעקומות, ראה נספח נ-1). תרשים 1-3 מתאר חתך לרוחב אופייני של המובל בו רואים את נטית פני המים (עליה לכיוון החיצוני של העקומה וירידה לכיוון הפנימי).







## תרשים 3-1: חתך לרוחב המובל בעקומה



טבלה 3-1 מציגה את מאפייני הזרימה לאורך המובל עבור ספיקת התכן (30 מ"ק/שניה). החישוב נעשה עם מקדם מנינג  $n=0.014$  ותוואי לפי עקומה ברדיוס של כ-65 מ'.

להלן הגדרת המשתנים שבטבלה:

$L$ : המרחק לאורך ציר המובל המדוד מקצהו העליון לכיוון המורד.

$h$ : עומק הזרימה בציר המובל.

$V$ : מהירות הזרימה.

$Fr$ : מספר פרוד.

$\Delta h$ : הערמות פני המים בכיוון ניצב לציר הזרימה בגלל העקומה שבתוואי.

$h_{\max}$  ו- $h_{\min}$ : עומקי הזרימה בצד החיצוני והפנימי של החתך, בהתאמה.





### טבלה 3-1:

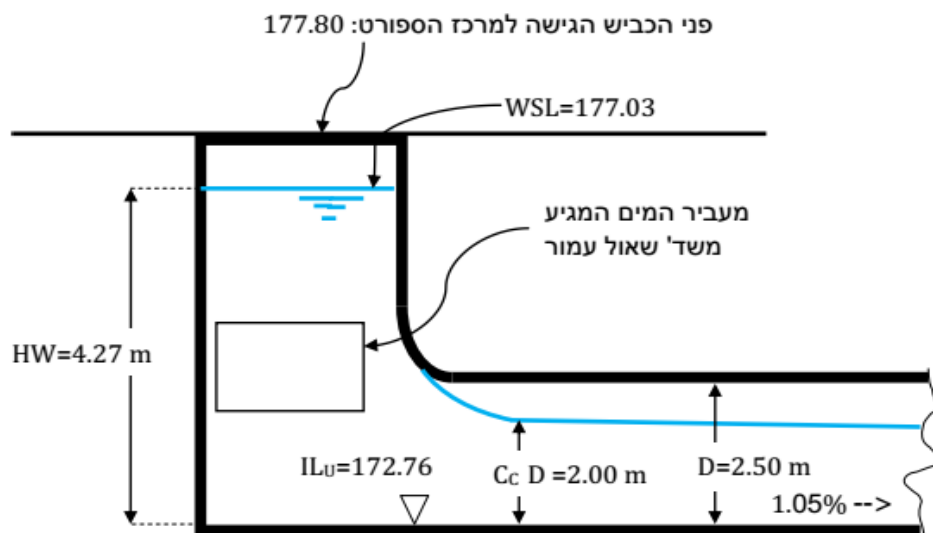
### מאפייני הזרימה במובל נחל צבי לספיקה של 30 מ"ק/שניה

(מחושב עם  $n=0.014$ , שיפוע אורכי 1.05% ורדיוס העקומה של 65 מ')

$h_{min}$	$h_{max}$	$\Delta h$	Fr	V	h	L
מ'	מ'	מ'		מ'/שניה	מ'	מ'
1.86	2.14	0.14	1.35	6.00	2.00	0
1.85	2.13	0.14	1.36	6.03	1.99	20
1.84	2.12	0.14	1.38	6.06	1.98	50
1.82	2.12	0.15	1.39	6.09	1.97	107
1.81	2.11	0.15	1.40	6.12	1.96	215



בהיות הזרימה על-קריטית (מספר פרוד גדול מ-1.0), המובל פועל עם בקרה בכניסה (Inlet Control). ביחסים הקיימים בין הספיקה ומידות החתך הכניסה תהיה מטובעת. יינתן לה צורה מעוגלת כך שעומק הזרימה בראש המובל יהיה 2.00 מ' (80% מגובה הפנימי D) נספח נ-2 מציג את חישוב עומק הזרימה בתא שבראש המובל אליו יחובר מוצאו החדש של מעביר המים דרכו נחל צבי חוצה את שדרות שאול עמור.



### תרשים 3-1: מאפייני הזרימה בראש המובל

(עבור ספיקה של 30 מ"ק/שניה)





בשלב הבאים, המתקדמים יותר של התכנון, מומלץ לבדוק האם יש צורך בשיכוך חלקי של אנרגיית הזרימה במובל בטרם חיבורו בחזרה לתעלת נחל צבי. לשם כך יש לבצע מדידות טופוגרפיות בתעלת זו לאורך קטע ארוך יחסית במורד מקום ההתחברות.

## 3.4 בעית חציית שדרות שאול עמור



כיום נחל צבי חוצה את שדרות שאול עמור באמצעות מעביר מים בעל חתך רוחבי מלבני ברוחב וגובה פנימיים של 2.50 מ' ו-1.60 מ' בהתאמה, אורך של כ-55 מ' ושיפוע אורכי של כ-2.7%. ללא קשר להטיית נחל צבי במורד חציית הכביש, ניתוח הידראולי פשוט (מבוסס על הנוסחות המתוארות בנספח נ-2) מראה שכדי שמעביר המים במצבו הנוכחי, יעביר ספיקה של 30 מ"ק/שניה לצידו המערבי של הכביש, נדרש שפני המים במעלה החציה יהיו גבוהים בכ-10.8 מ' מתחתית הכניסה למעביר המים (הוא פועל עם בקרה בכניסה כשהיא מטובעת). נובע מכך שרום פני המים בכניסה למעביר המים יהיה כ-187.2 מ'. אך, בגלל שרום פני הכביש במקום הנמוך ביותר בקרבת נקודת החצייה הוא בסיבת 183.1 מ' תהיה גלישה משמעותית מעל פני הכביש. על פי החישוב המוצג בנספח נ-2 הגלישה מעל הכביש מתחילה להתרחש כבר בספיקה של 22.8 מ"ק/שניה.



כפי שתואר בסעיף 3.2 לעיל, למים הגולשים מעל לשדרות שאול עמור אין כל אפשרות אחרת זולת לזרום לכיוון מרכז הספורט והנופש, דבר בלתי רצוי לחלוטין. כדי למנוע זאת נדרש להגדיל את כושר ההולכה של מעביר המים הקיים כך שכל ה-30 מ"ק/שניה יעברו דרכו. את זאת אפשר לעשות בשני האופנים החלופיים הבאים (ובודאי על ידי שילוב ביניהם):

- עיצוב חדש של צורת מבנה הכניסה למעביר המים הקיים כדי לשנות את תנאי הזרימה שם במטרה להגדיל משמעותית של מידות החתך המוצר (vena contracta) הנוצר בתוך מעביר המים בסמוך לכניסה. החישוב הידראולי המוצג בנספחים נ-2 ו-נ-3 מראה שבמקרה זה מעביר המים יפעל בזרימה מלאה עם בקרה במוצא (Outlet Control).
- הוספת מעביר מים מקביל לקיים. החישוב ההידראולי מוצג אף הוא בנספחים נ-2 ו-נ-3 ומראה שבמקרה זה מעבירי המים יפעלו עם בקרה בכניסה (inlet control).

האפשרות הראשונה היא הזולה מהשתים (מה גם שאינה דורשת פתיחת הכביש) אך חסרונה בכך שהיא כרוכה בהיווצרות הצפה זמנית במעלה החציה. אם ניתן להרשות הצפה זו (ועל פי





סיוור שנערך למקום נראה שאכן ניתן להרשות הצפה זמנית (ז) זאת האפשרות המועדפת מבין השתיים.

האפשרות השניה, הכרחית אם לא ניתן להרשות הצפה זמנית במעלה החציה. במקרה זה מוצע שמעביר המים הנוסף יהיה זהה לקיים מבחינת צורה וגודל החתך, רומי התחתית וכו'. במקרה זה, כפי שמראה החישוב שנעשה בנספח נ-2, במעבר ספיקה של 30 מ"ק/שניה, רום פני המים במעלה הכניסה למעבירי המים הדו-תאי יהיה 178.95 (2.52 מ' מעל תחתית הכניסה) היתרון של חלופה זאת היא הימנעות מיצירת הצפה במעלה אך החסרונות שלה הן היותה היקרה מבין השתיים וכן הצורך לפתוח את הכביש.



## 3.5 סיכום

להלן סיכום הממצאים, ההצעות וההמלצות המובאות בדו"ח זה:

- הוצג תוואי עוקף מתחם הספורט והנופש מצפון עבור נחל צבי: לאורך התוואי מוצע להניח מובל מתחת למיסעה בחניה למרכז הספורט, בין מוצא מעביר המים הקיים – המשופר – דרכו הנחל חוצה את שדרות שאול עמור ועד למורד מעביר המים של נחל זה בחצית דרך החירום למפעל וישי.
- ההטיה כרוכה בהארכת חלקו המורדי של מעביר המים הנ"ל בכ-8 מ'
- משיקולים של מניעת הצפת מתחם הספורט והנופש, מתוך הספיקות הצפויות בסתברויות אירוע שונות בקטע הרלוונטי של נחל צבי, נבחרה בתור ספיקת התכן, זו הצפויה בהסתברות אירוע של 1% שהנה 30 מ"ק/שניה.
- המובל המוצע אורכו כ-153 מ', שיפועו האורכי 2.4% צורתו ומידות החתך הרוחבי שלו: רבוע ברוחב וגובה פנימיים של 2.50 מ'.
- הוסברו השיקולים ההידראוליים המכתיבים את הצורך להימנע מתוואי מורכב מקטעים ישרים ושינויי כיוון פתאומיים כמקובל בקווי תיעול רגילים ומכאן ההכרח לאמץ תוואי המורכב מעקומות בעלות רדיוס גדול ככל האפשר.
- תוארה בעית העדר כושר העברה של מעביר המים הקיים דרכו נחל צבי חוצה את שדרות שאול עמור והוצגו שתי אפשרויות חלופיות להגדלת כושר ההולכה כך שכל הספיקה של 30 מ"ק/שניה תעבור דרך מעביר המים ללא גלישה מעל הכביש. אם אפשר להרשות היווצרות הצפה זמנית במעלה החציה, ניתן להסתפק במעביר המים הקיים תוך כדי עיצוב מחדש של צורת מתקן הכניסה אליו. אם אין אפשרות להרשות





היווצרות ההצפה הזמנית הנ"ל, תידרש הוספת מעביר מים מקביל לקיים, בעל מאפונים גיאומטריים זהים למעבר המים הקיים.

## 4 נספחים

### נ-1 חישוב הערמות פני המים בעקומות



כפי שניתן לראות בתרשים 1-3, בעקומות פני המים אינם אופקיים בכיוון הרחב אלא נטוים כך שעומק הזרימה גדל לכיוון החיצוני של העקומה. נטייה זו הנה כתוצאה מהכוח הצנטריפוגלי הפועל על המים. על פי המלצות הספרות המקצועית הרלוונטית<sup>4</sup> הערמות פני לאורך הצד החיצוני בתעלות מלבניות עם זרימה על קריטית נתונה על ידי:

$$\Delta h = \frac{B V^2}{g r}$$



לאורך צדו הפנימי של החתך, פני המים נמוכים מהעומק המחושב בקטע ישר באותו שיעור.

כאשר:

$\Delta h$ : שיעור ההערמות של פני המים B.

B: רוחב התעלה

V: מהירות הזרימה הממוצעת החתך.

g: תאוצת הכובד.

r: רדיוס העקום היחס לציר התעלה.



הנוסחה מאוזנת מבחינה מימדית כך שהיא מתאימה לכל מערכת של יחידות מידה.

<sup>4</sup> ראה, למשל:

- "Section 2.5 in: Hydraulic Design of Flood Control Canals", US Army Corps of Engineers, Engineering Manual, EM-1110-2-1601, July 1991.
- Section C-3, "Hydraulic Design Manual", Los Angeles County Flood Control District, LA, Cal. USA, 1982.
- Section 5-11 in Morris H. M., "Applied Hydraulics in Engineering", The Ronald Press Company, New York 1963





טבלה 3-1 (בסעיף 3.3 לעיל) מציגה את שיעורי ההערמות לאורך המובל כתוצאה מזרימה בתוואי לפי עקומה ברדיוס של כ-65 מ'. במקרה שנדרש, סמוך למורד, ניתן להקטין הרדיוס לכ-50 מ'.

## נ-2 חישוב עומק המים במעלה המובל המוצע

החישוב המוצג להלן מתבסס על ההנחה שהמובל זורם במשטר זרימה על-קריטי עם בקרה בכניסה. נוסף לכך, ההנחה היא שהכניסה הנה מטובעת (כפי שיוכח בהמשך). תרשים 3-2 מתאר חתך לאורך ציר המובל שסביבת קצהו המעלי. בתנאים אלה, עומק הזרימה במעלה המובל, ביחס לרום התחתית שלו מחושב מתוך הנוסחה<sup>5</sup>:



$$Q = C_Q C_c B D \sqrt{2g(HW - C_c D)}$$

מתוכה אפשר לחלץ את HW:

$$HW = \frac{1}{(C_Q C_c)^2} \times \frac{Q^2}{2g(BD)^2} + C_c D$$

ואז רום פני המים במעלה הכניסה למעביר המים הוא:



$$WSL_U = IL_U + HW$$

בשלוש הנוסחות הנ"ל:

HW: עומק המים המעלה המובל ביחס לרום תחתית המובל (מ').

Q: הספיקה (מ"ק/שניה).

B: רוחב המובל (מ').

D: גובה הפנימי של המובל (מ').

g: תאוצת הכובד (9.81 מ'/שניה<sup>2</sup>).

C<sub>c</sub>: מקדם ההיצרות שערכו תלוי בצורת ההיצרות.

C<sub>Q</sub>: מקדם ספיקה אשר מבטא את הפסדי העומד בכניסה.

IL<sub>U</sub>: רום תחתית מעביר המים הכניסה (מ')

<sup>5</sup> ראה:

- Section 21.3 in Chanson, H., "The Hydraulics of Channel Flow", Second Edition, Edward Arnold, London, UK, 2010.
- Sections 8-13, 8-14 & 8-15 in Montes, S., "Hydraulics of Open Channel Flow", ASCE Press, VA, USA, 1998.
- Section 7.4 in Henderson, F. M., "Open Channel Flow", The Macmillan Company, New York, 1969.





WSLU: רום פני המים במעלה הכניסה למעביר המים (מ')

הנחת כניסה מטובעת נכונה כאשר היחס  $HW/D \geq 1.5$ .

הנקודה הנמוכה של שד' שאול עמור בקרבת הכניסה למעביר המים היא ברום 183.09 (כ-  
35 מ' מדרום לנקודת החציה). במצב הנוכחי, עבור  $Q=30 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $B=2.50 \text{ m}$ ,  $D=1.60 \text{ m}$ ,  
 $C_c=0.60$ ,  $C_Q=0.90$  ו-  $IL_U=176.43 \text{ m}$  מקבלים:  $HW=10.79 \text{ m}$  ו-  $WSL_U=187.22 \text{ m}$  כלומר



תתרחש גלישה מעל פני שדרות שאול עמור. חישוב דומה מראה שהגלישה תתחיל להתרחש  
בספיקה של 22.8 מ"ק/שניה, עבורה רום פני המים במעלה הכביש מגיע ל-183.09.

אם תנאי הכניסה ישופרו על ידי עיגול הפינות כך שהמקדמים  $C_c$  ו-  $C_Q$  מקבלים את הערכים  
0.80 ו-0.95 בהתאמה אזי, עבור אותם ערכים של  $B$ ,  $D$ ,  $IL_U$  ו-  $Q$ . מקבלים  $HW=6.24 \text{ m}$  ורום  
פני המים במעלה הכניסה ( $WSL_U$ ) הוא 182.67 m כלומר, אם ללא השפעת מובל ההטיה  
במוצא מעביר המים, שיפור תנאי הכניסה למעביר המים היה מאפשר להעביר דרכו את כל ה-  
30 מ"ק/שניה (השפעת מובל ההטיה המורד מעביר המים נלקחת בחשבון במסגרת נספח נ-  
3).



במקרה שאין אפשרות להרשות הצפה במעלה הכניסה וכדי להעביר על כל ה-30 מ"ק/שניה  
מוסיפים עוד מעביר מים מקביל לקיים וזהה במאפייניו הגיאומטריים. בהנחה שהספיקה  
תתחלק באופן שווה בין שני מעבירי המים ושהם פועלים עם בקרה בכניסה (inlet Control)  
אזי, עבור:  $B=2.50 \text{ m}$ ,  $D=1.60 \text{ m}$ ,  $IL_U=176.43 \text{ m}$ ,  $C_c=0.60$  ו-  $C_Q=0.90$ , מקבלים:

$HW=3.41 \text{ m}$  ו-  $WSL_U=179.84$



אם גם מעצבים את צורת הכניסה למעבירי המים באופן שמשפר את תנאי הזרימה אז ניתן  
להניח  $C_c=0.80$  ו-  $C_Q=0.95$  ואז:  $HW=2.52 \text{ m}$  ו-  $WSL_U=178.95$ .

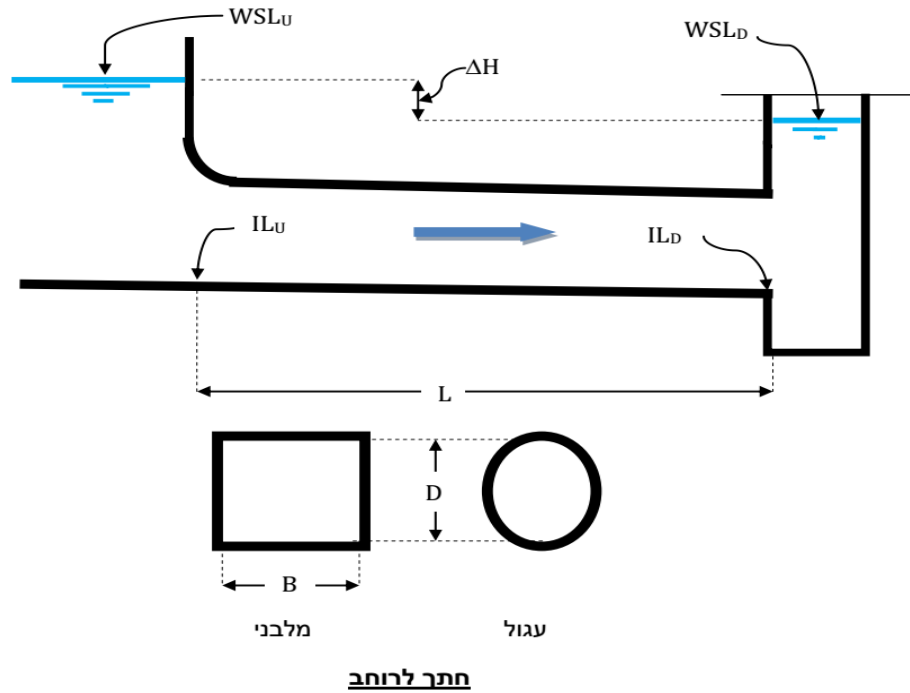
בשני המקרים  $W/D > 1.5$  דבר מראה שאכן יש בקרה בכניסה עם חתך מטובע. כדי לודא  
שמעביר המים פועל עם בקרה בכניסה בנספח נ-3 מוצג חישוב של פני המים במעלה בהנחה  
של זרימה בחתך מלא.





### נ-3 זרימה במעביר מים הזורם בחתך מלא

תרשים נ.3 מתאר מעביר מים הזורם בחתך מלא. הפסד העומד נתון על ידי:



### תרשים נ.3: זרימה דרך מעביר מים בחתך מלא

$$\Delta H = \left( k_{in} + k_{out} + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}} \right) \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$\Delta H$ : הפסד העומד (מ')

$Q$ : הספיקה (מ"ק/שניה)

$A$ : שטח החתך הרוחבי של מעביר המים (מ"ר)

$R$ : הרדיוס ההידראולי של החתך הרוחבי (מ')

$L$ : אורך מעביר המים (מ')





n: מקדם החספוס של מנינג

g: תאוצת הכובד (9.81 מ"/שניה<sup>2</sup>)

$k_{out}$  -  $k_{in}$ : מקדמי הפסד העומד בכניסה וביציאה של מעביר המים בהתאמה.

רום פני המים במעלה מעביר המים מחושב על ידי:

$$WSL_U = WSL_D + \Delta H$$

כאן  $WSL_D$  ו- $WSL_U$  הם רום פני המים במורד ובמעלה מעביר המים בהתאמה.

תנאי לזרימה מלאה היא:

$$WSL_U - IL_U \geq HW$$

כש- $HW$  מחושב על ידי הנוסחה שהוצגה בנספח נ-2



במקרה הנוכחי, עבור  $Q=30 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $B=2.50 \text{ m}$ ,  $D=1.60 \text{ m}$ ,  $L=63 \text{ m}$ ,  $n=0.014$ ,  $k_{in}=0.40$ ,  
 $k_{out}=1.00$ ,  $WSL_D=177.03 \text{ m}$ ,  $IL_U=176.43 \text{ m}$  מקבלים: ו- $WSL_U=182.85 \text{ m}$ . הזרימה היא  
בחתך מלא לכל אורך מעביר המים כי:  $WSL_U - IL_U = 182.85 - 176.43 = 6.42 \text{ m} > 6.24 \text{ m}$   
מ' הנו עומק המים  $HW$  שחושב בנספח נ-2, במקרה של בקרה בכניסה (Inlet Control).

עבור שני מעבירי מים הפועלים במקביל, כשמעביר המים הנוסף הנו בעל אותם המאפיינים  
הגיאומטריים של מעביר המים הקיים, מקבלים, בהנחה שספיקת ה-30 מ"ק/שניה מתחלקת  
באופן שווה בין שני מעבירי המים:  $WSL_U=178.48 \text{ m}$ . זה מפלס נמוך מזה המתקבל בהנחה  
של בקרה בכניסה (ראה חישוב בנספח נ-2) כך שניתן להסיק שאכן שני מעבירי המים יפעלו  
עם בקרה בכניסה ולא בחתך מלא.

