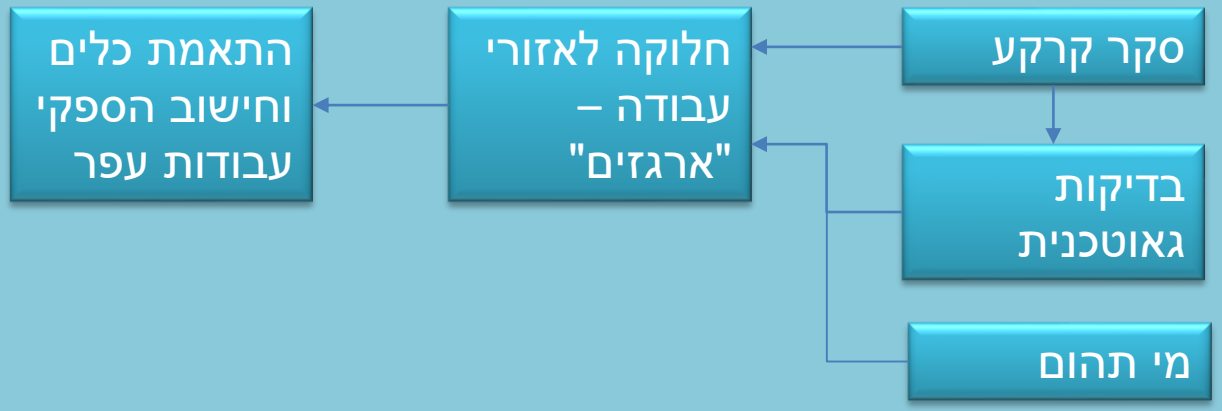
יום עיון – מאגרים
ארגון עובדי המים

מרצה - רן ויסמן

עבודות עפר
ונקזים בסוללה

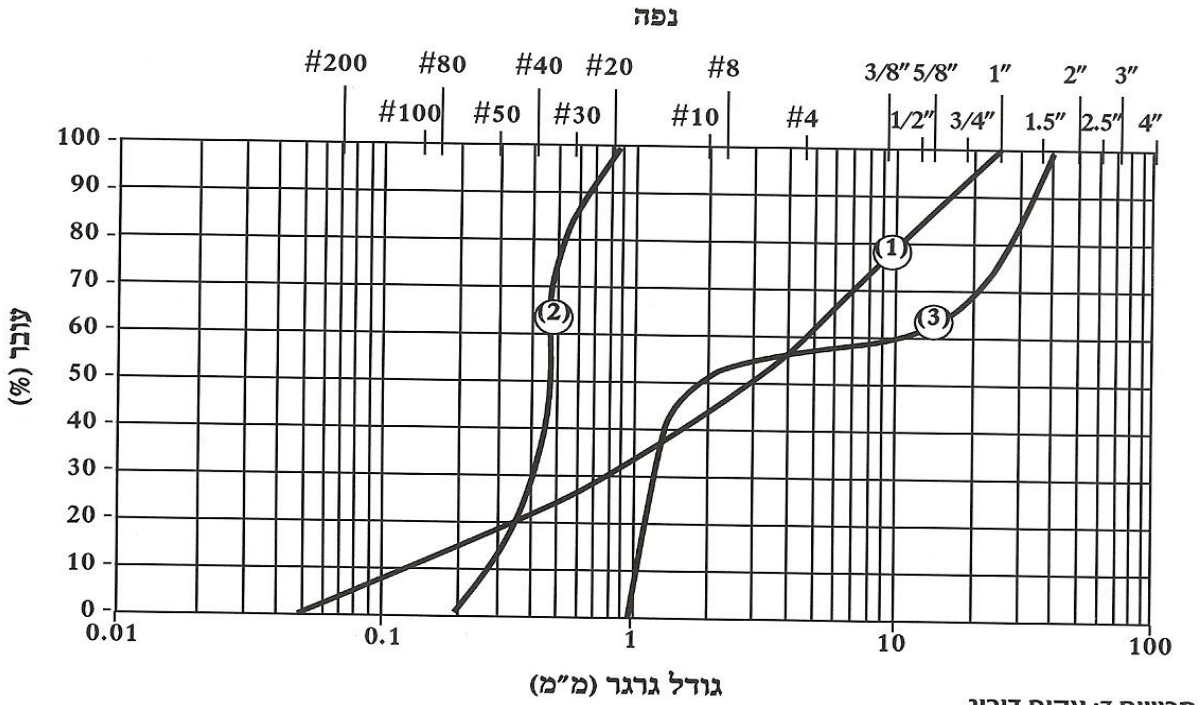
מתוכנית לביצוע



טבלה 2. נתוני נפות תקניות

כינוי הנפה	4″	3″	2.5″	2″	1.5″	1″	3/4″	5/8″	1/2″	3/8″
עין הנפה (מ"מ)	100	75	63.5	50	37.5	25	19	14	12.5	9.5

כינוי הנפה	#4	#8	#10	#20	#30	#40	#50	#80	#100	#200
עין הנפה (מ"מ)	4.75	2.36	2.0	0.85	0.06	0.425	0.30	0.180	0.150	0.075



תרשים 7: עקום דירוג

בדיקות גאוטכניות

תעודה מספר : 66228

בדיקת יחסי צפיפות רטיבות ובדיקות אינדיקטיביות לקרקע ואגרגטים

דף מס' 2 מתוך : 2
תאריך : 07/01/2013
מס' תיק/הסכם : 607601
מס' חוזה :

אתר העבודה : **כביש 6 קטע 3**
מיקום הבדיקה : **P - 10 - RS,עומק 0 - 6 מ'**
תאריך הבדיקה : 26/12/2012
שכבת המבנה :
תאור המדגם : חרסית שמנה
מיון לפי : **שיטת AASHTO** / מיון הסתכלתי **A - 7 - 6**
מקור החומר : מקומי
מס' מדגם :

גבולות אטרברג לפי תקן ASTM D-4318	
גבול נזילות (%)	**67**
גבול פלסטיות (%)	**17**
אינדקס פלסטיות (%)	**50**

צפיפות גרגר וספיגות צרורות 3/4" + לפי תקן ASTM C-127 + ת"י 1865 חלק 2 פרק ד'	
צפיפות ממשית (ג"ר/סמ"ק)	
צפיפות מדומה (ג"ר/סמ"ק)	
ספיגות אגרגט למים (%)	

שווה ערך חול לפי תקן ASTM D-2419 + ת"י 1865 חלק 3 פרק ו'	
שווה ערך חול (%)	--

תפיחה חופשית לפי נ"ב 13.110 (מע"צ)	
תפיחה חופשית (%)	--

אנליזת ניפוי עם שטיפה
לפי תקנים : ASTM C-117, C-136 + ת"י 1865 חלק 2, פרק ה', ו'

נפה מס'	אינצ'	4"	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4#	10#	40#	80#	200#
	מ"מ	100	75	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2	0.425	0.180	0.075
% עובר										**100**	**91.6**	**86.7**	**-**	**83.6**

לבנין ותשתית

תעודה מספר : 66228

בדיקת יחסי צפיפות רטיבות ובדיקות אינדיקטיביות לקרקע ואגרגטים

דף מס' 1 מתוך : 1
תאריך : 07/01/2013
מס' תיק/הסכם : **607601**
מס' חוזה :

עומק 0 - 6 מ,RS - 10 - P

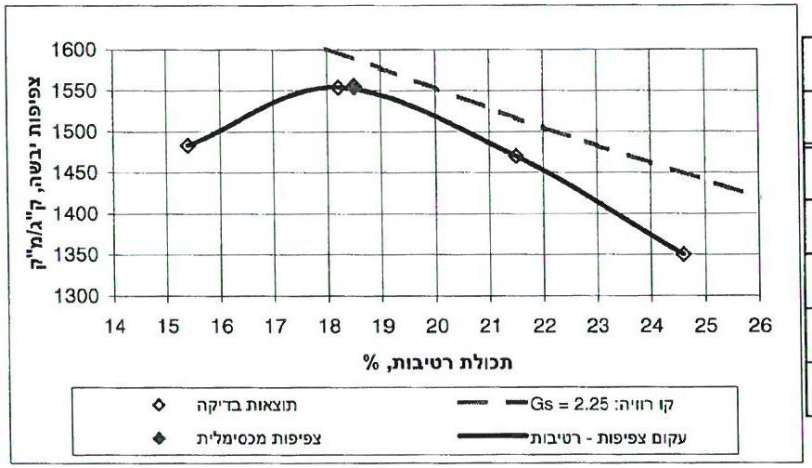
אתר העבודה : **כביש 6 קטע 3**
מיקום הבדיקה : **RS - 10 - P,עומק 0 - 8 מ'**
תאריך הבדיקה : 26/12/2012
שכבת המבנה :
תאור המדגם : חרסית שמנה
מיון לפי : **שיטת AASHTO** / מיון הסתכלותי **A - 7 - 6**
מקור החומר : מקומי
מס' מדגם :

מיקום הנ
המבדקר
המדגם נלקח לבדיקו
המבדקה/**המזמין**/המפקח/הקבלן

תעודה זו מבוססת על תעודה זמנית
מספר -- שניתנה בשטח

בדיקת יחסי צפיפות רטיבות - לפי תקנים (סמן את התקן והשיטה) :

1. ASTM D-1557 ת"י 1865 חלק 3 פרק ב' - בשיטת מודיפייד פרוקטור : C (שיטה "ב")/ A,B (שיטה "א")
2. **ASTM D-698 ת"י 1865 חלק 3 פרק ב' - בשיטת סטנדרט פרוקטור : C (שיטה "ב")/ A,B (שיטה "א")**



צפיפות יבשה	תכולת רטיבות
ק"ג/מ"ק	%
1350	24.6
1470	21.5
1554	18.2
1483	15.4

צפיפות מעבדתית מכסימלית (ק"ג/מ"ק): 1555
רטיבות אופטימלית (%): 18.5

Borehole No.	RS-10p
Type of specimen	מהודק
Depth of undisturbed sample, m.	-
Depth of tested specimen, m.	0.0-6.0
Water Level, m	-
Specimen description	חרסית שמנה, אפורה

Date	20/01/2013
Project No.	607601
Site	כביש 6 קטע 3

Permeation Data

Reading	Cumulative time	Δt	Temp	ΔV	k	Corrected k
	hr	sec	C^O	cm^3	cm/sec	cm/sec
1	0.17	600	24	1.2	7.8E-07	7.1E-07
2	0.67	1800	24	3.4	7.4E-07	6.7E-07
3	2.35	6060	24	10.3	6.7E-07	6.1E-07
4	4.52	7800	24	12.7	6.4E-07	5.8E-07
5	7.85	12000	24	18.0	5.9E-07	5.3E-07
6	8.68	3000	24	2.5	3.3E-07	3.0E-07
7	10.52	6600	24	5.3	3.1E-07	2.9E-07
8	15.52	18000	24	12.4	2.7E-07	2.5E-07
9	22.52	25200	24	17.1	2.7E-07	2.4E-07
10	29.82	26280	24	17.9	2.7E-07	2.4E-07
11	38.08	29760	24	19.9	2.6E-07	2.4E-07
12	47.83	35100	24	22.5	2.5E-07	2.3E-07
13	64.83	61200	24	39.6	2.5E-07	2.3E-07

Hydraulic conductivity, $k = \frac{\Delta V * L}{\Delta t * h * A}$

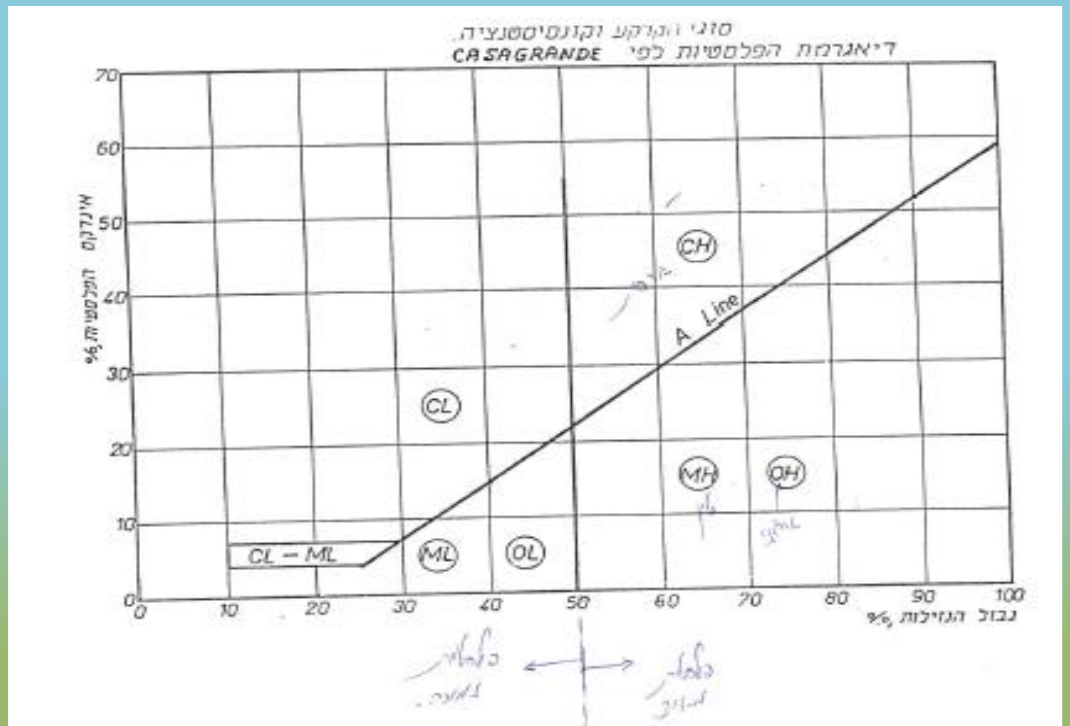
Average corrected hydraulic conductivity (k20)	**2.4E-07**	**cm/sec**

Legend: ΔV- volume of water collected in time interval Δt (cm^3)

פלסטיות של החומר –

היכולת של החומר לשנות את צורתו במידה ניכרת מבלי להתפורר.
הפלסטיות של החרסית תלויה בתכולת הרטיבות שלה.
ביטוי לתכולת הרטיבות ,היא תכולת הרטיבות בה יש למידגם פלסטיות מסוימת.

בחלק גדול מקרקעות הארץ המינרלים
החרסיתיים השולטים הם המונומורילוניט
המצטיינים בכושר ספיחת קטיונים (קיבול קטיונים
חליפיים, קק"ח)
גבוה מאוד.
קרקעות אלו תופחות חזק, יש להן פלסטיות
גבוהה וכוח גזירה קטן במצב רטוב.
ולכן אטומות בד"כ ומהוות תשתית טובה
למאגרים.



IP =	Wl -	Wp
אינדקס פלסטיות	גבול נזילות	גבול פלסטיות
	אחוז רטיבות לסגירת חריץ ב 25 הקשות	תכולת רטיבות לגליל בעובי 3 מ"מ

שיטות הידוק במעבדה

סוג הבדיקה	משקל משקולת (kg)	גובה נפילה (mm)	מס' שכבות	מס' הפלות בכל שכבה
Standard Proctor	2.5	305	3	25
Modified AASHTO	4.5	457	5	25

קבלת 100% פרוקטור עבור 1350 ברטיבות של 28%

קבלת 100% מודיפייד MESHO עבור 1450 ברטיבות של 25%

ב MESHO צריך פחות מים ודרוש לייבש.
דרושה יותר אנרגיה ויותר מעברים.

בפרוקטור דרושים יותר מים ומקבלים "דיספרסיה" של החרסית אך האיטום טוב יותר על חשבון החוזק לגזירה.

100% PROCTOR ⟵ MAASHTO 92%

זה לא מכבש רגלי כבש
לבניית מאגרים חרסיתיים

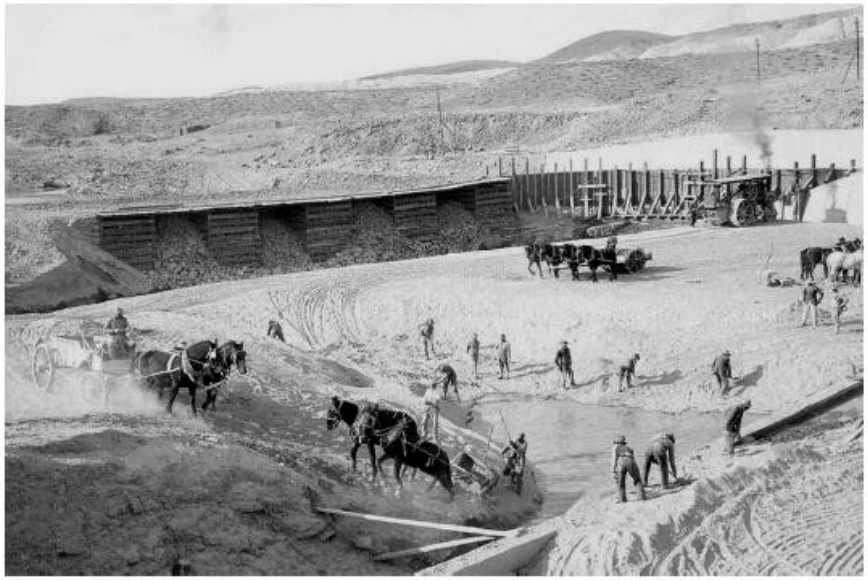


Figure 10.6.1.1-5 The cut and fill method is being used here to construct Lahontan Dam in Nevada, circa 1911. A horse drawn scraper (Fresno) is seen at the bottom center of the picture excavating fill above bedrock, which is being placed on the embankment near the right side of the picture and compacted by a horse drawn compactor. USBR 1911

Figure 10.6.1.1-1 Carrion toothed roller, which is similar to a sheepsfoot or tamping type roller. These type rollers are generally used in more clayey or plastic soils.

דגמים של מכבשים לדוגמא :

BOMAG– דגם 211 או 213 –
משקל עצמי של 211 – 13 טון
העברת אנרגיה – 30 ק"ג \סמ"ר.
רוחב – 2.1 מ'

דגם – 177 –
משקל עצמי 10 טון
העברת אנרגיה – 30 ק"ג \סמ"ר.
רוחב 1.7 מ'

D– לעפר לא קוהזיבי
PD– לעפר קוהזיבי
H– להידוק בניצב למדרון

הספקים בעבודות עפר

עבור מהלך נסיעה של 500 מ' כולל עליות (מתוחזקות !!!) במאגר חרסיתי :

דרושים כלים בכוננות

באגר + 4 דמפרים + שני מכבשים + D6 או שני שופלים +מיכלית מים :
2,500 – 3,000 מ"ק ליום
נפח הובלה לדמפר : 10-12 מ"ק .
מס' מהלכים ליום : 50-75 תלוי באורך ואיכות המסלול.
גריידר לתחזוקת דרך העליה !!

הספק ג'ונסון : 600 מ"ק ליום למהלך של
500-700 מ' וחוסך מעברי מכבש.

על המפקח להתערב בפרטי ארגון השטח לביצוע, כדלקמן:
מיקום (עם היזם) של ערימות פסולת/חומר עודף.
מיקום ערומי סוגי עפר שונים.
מיקום מגרסה.
דרכים פנימיות ואופן תנועת כלים.
בטיחות.

- לאחר ביצוע כ- 60% מעבודות העפר לחפירה ומילוי בסוללת המאגר, יש לבצע מדידה של כל העבודות ולחשב מחדש את מאזן עבודות עפר – חפירה-מילוי – והתאמות הביצוע לתכנון.

- הפיקוח יוודא אופן ביצוע פעולות, כגון בחפירה:
- האם תבוצע חפירה "אופקית" וניצול החומר למילוי בסוללות.
- האם נדרשת חפירה אנכית כדי לכרות סוגי עפר שונים הנדרשים למילוי בסוללות.
- האם יחפרו מיד כשאפשר לצורך החלפת קרקע בחפירה או לאחר גמר חפירת העפר בתוך המאגר.

צנרת יציאה

קצת היסטוריה – מאגרים שפרצו

מאגר	נפח	שנת פריצה	סיבה	הערות
מאגר מולדת	0.16 מלמ"ק	1951	over toping	מאגר גיא
מאגר מרום גולן	4 מלמ"ק	1992	over toping	
מאגר יוקנעם	0.4 מלמ"ק	1992	over toping	
מאגר יודפת (קולחי כרמיאל)	0.3 מלמ"ק	1997	over toping	
מאגר יפעת ב'	0.13 מלמ"ק	2015	over toping	
מאגר נחל עוז	4 מלמ"ק	2001	מחתור ומייט (הוצעו גם מגנונים אחרים)	
מאגר בנחל תירצה	0.75 מלמ"ק	1996	מחתור	מאגר גיא
מאגר להב (קלח)		1982 ובשנות ה 90	מחתור	כיום לא פעיל
מאגר מגן		1985	מחתור	
מאגר אשלים	0.5 מלמ"ק	1993	בקו מגע שבין הסוללה לדופן הגיא	מאגר גיא
מאגר שדה בוקר		1963 וב 1994	מחתור ובאזור התפר	מאגר גיא

מאגרים שכמעט פרצו

מאגר שדה יעקוב		1976	פאן מורדי תלול
מאגר אלונים (בית)	0.35	1980	שכבה לא מתאימה שיצרה מעגל כשל
מאגר שלוחות		1982	over toping
ברכת ירדנה		1985	over toping
מאגר מגידו		1992	שכבה רוויה וחלשה בשתית
מאגר רעים-בארי (נחל גרר)		1999	כנראה מיחתור ממחילות נברנים

סכרים שפרצו

סכר כפר בלום		1995	מחתור בתחתית
סכרי הבשור		1994	מחתור בתחתית
סכר נאות הכיכר			זרימת גאויות במהירויות גבוהות
נחל סכר			כנראה מחתור

- **Filters must be *required* for any high or moderate hazard embankment dam, not just something to consider. (USBR13)**

ועוד קצת היסטוריה :(USBR13)

One earthfill dam that was **11 miles long**, **70 feet high**, and contained approximately 17 million cubic yards of embankment was completed in Ceylon (Sri Lanka) **in the year 504 B.C**.

Until modern times, embankment dams were designed based on experience and precedence (empirical means).
However, the engineering literature is replete with accounts of failures [1, 2, 3] of embankment dams. These failures produced the realization that totally empirical means must be replaced, or at least supplemented, by analytical engineering procedures in both design and construction.

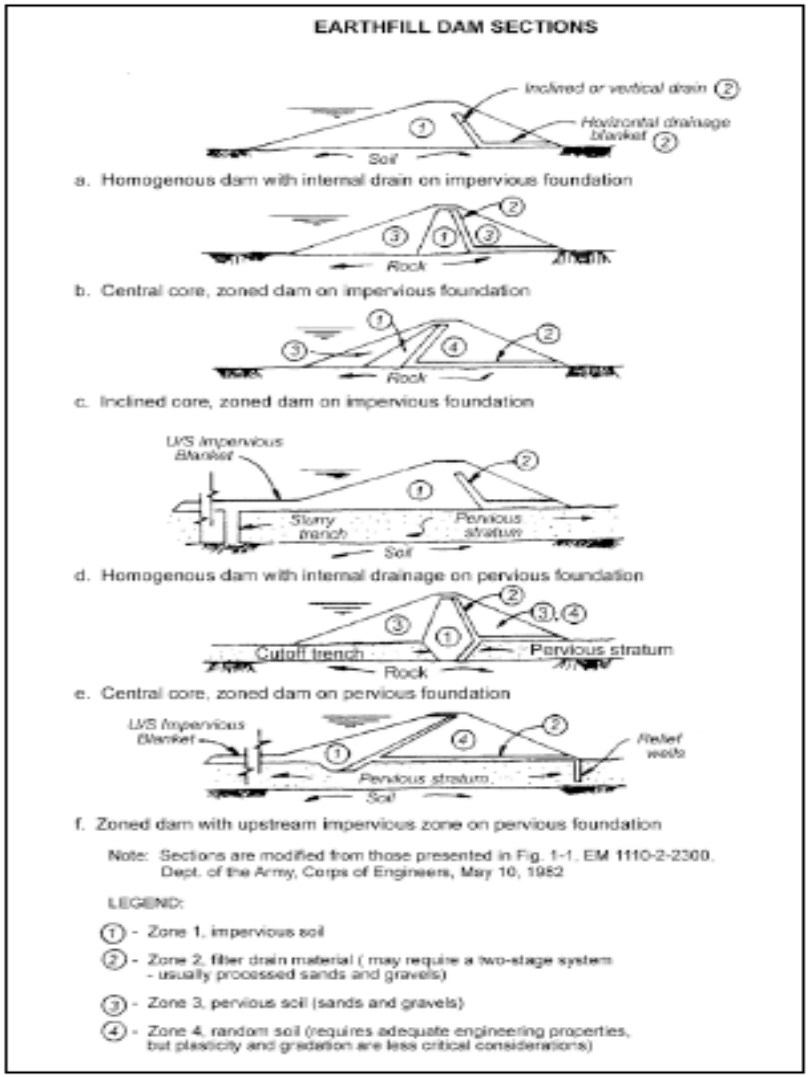


Figure 1.3.1-1. Types of earthfill dam cross sections.

DODGE RAM
88 10 5

The flow of water through porous media for thousands of years; the earliest documented use of drains is at the **Ur of the Chaldees**. 9th century BCE.

Filters are used to prevent migration of fines between various zones and foundations of embankment dams.

Seepage transport of soil particles between zones can lead to serious consequences and, in extreme cases, failure of an embankment dam.

Filters and drains have been recognized as a means of directing and controlling

Euphrates River
North Harbour
Royal Palace
Great Ziggurat
Fortress
Royal Palace
Royal Mausoleum
West Harbour
City Wall
Canal

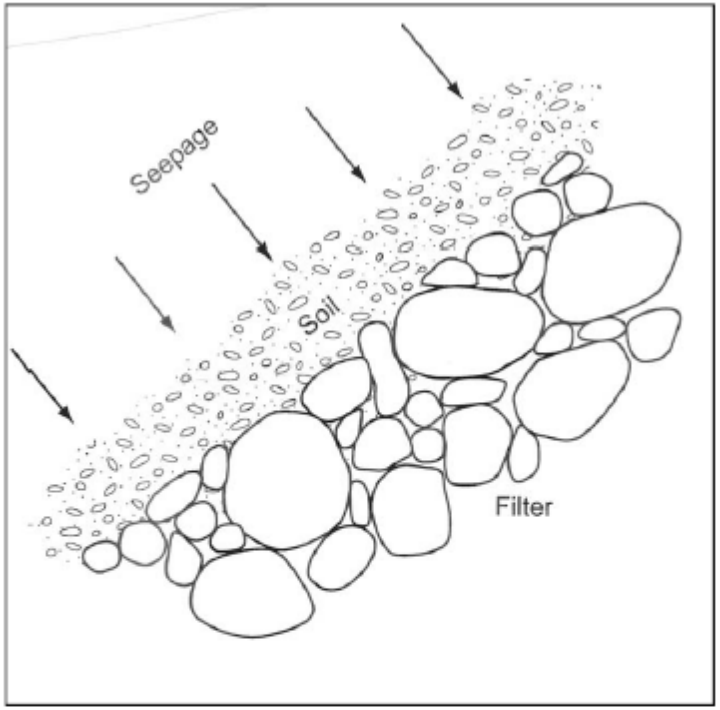


Figure 5.1.9-1. Schematic demonstrating the manner in which a filter prevents the movement of base soils by seepage forces at the discharge face. The filter supports the discharge face with closely spaced contact point as compaction melds the two zones together such that bridging between the contact points prevents any movement of base soil particles into the filter. At the same time, the filter is sufficiently coarse to allow seepage water to escape freely.

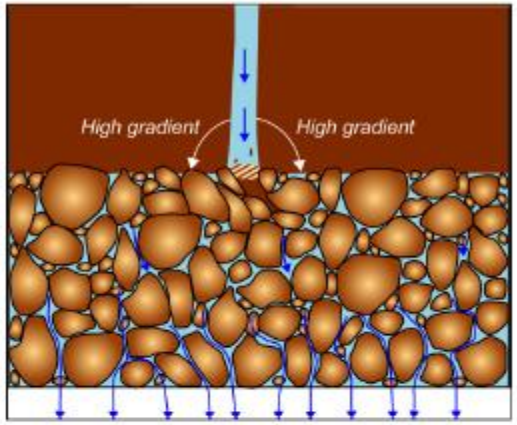


Figure 5.1.9-2. Eroding soil in the crack is caught at the filter face, stopping flow in the crack. High gradients cause hydraulic fracturing from the crack to the adjacent filter.

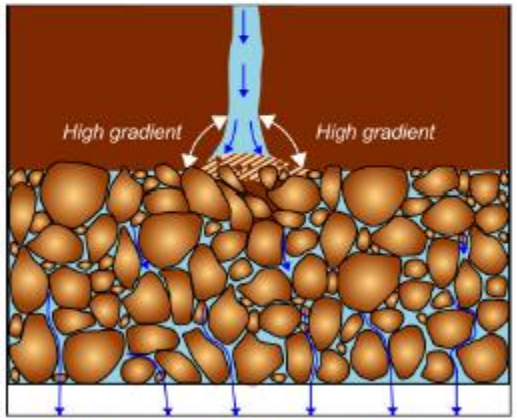


Figure 5.1.9-3. Eroding soil from a crack has been caught at the filter face, and hydraulic fracturing from high gradients between water in the crack and the adjacent filter has caused some widening of the cake on the filter on either side of the crack.

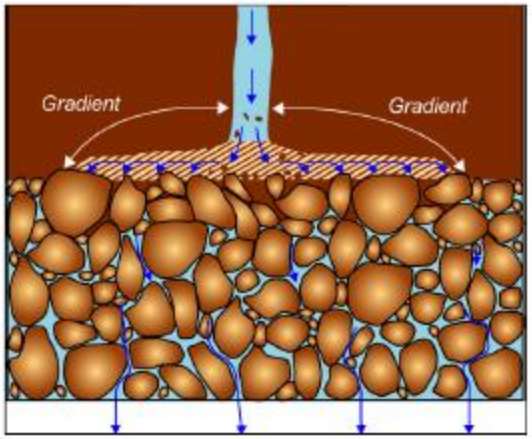


Figure 5.1.9-4. Eroding soil from the crack has been caught at the filter face, and hydraulic fracturing from the high gradients between water in the crack and the adjacent filter has caused further widening of the cake on the filter until the gradient is reduced. The filter cake having a very low permeability covers the width of the crack and some distance on each side of the crack. The remaining filter is open for collecting seepage flow through the pores of the soil between cracks.

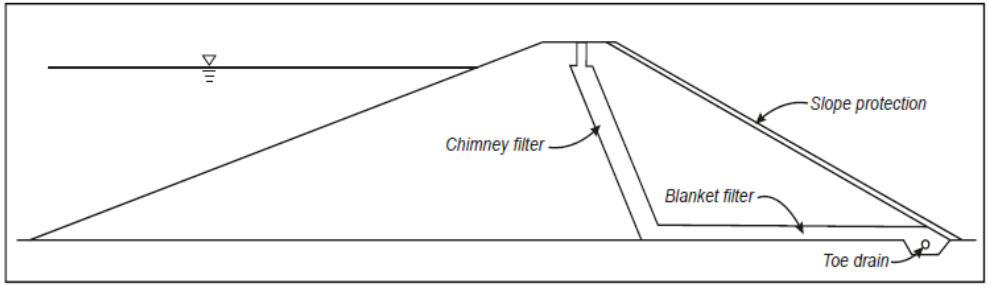


Figure 5.2.1.2-1. Simple cross section showing a chimney used in a new dam.

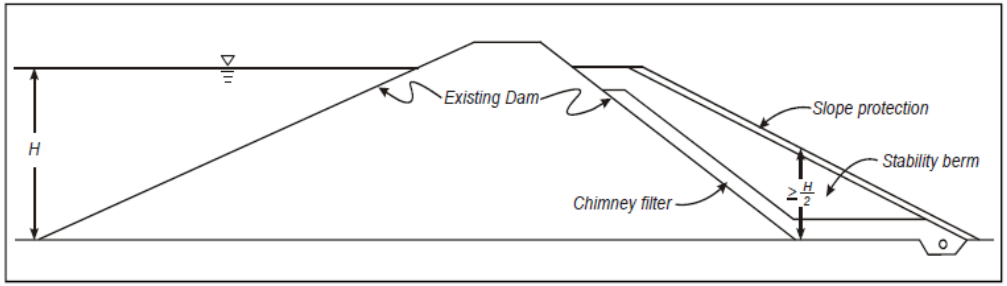


Figure 5.2.1.2-2. Simple cross section showing a chimney added to an existing dam.

KLAR ISRAEL
Foundation Engineering & Geotechnical Consulting

פלגי מים

סימולציה למאגר שמרת (קיים):

גובה סוללה חיצונית : 10.5 מ' ,
שיפוע פנים : 1:4 , שיפוע חוץ : 1:3.5
שיפוע נקז ארובה : 1:2.5

פרמטרי הקרקע

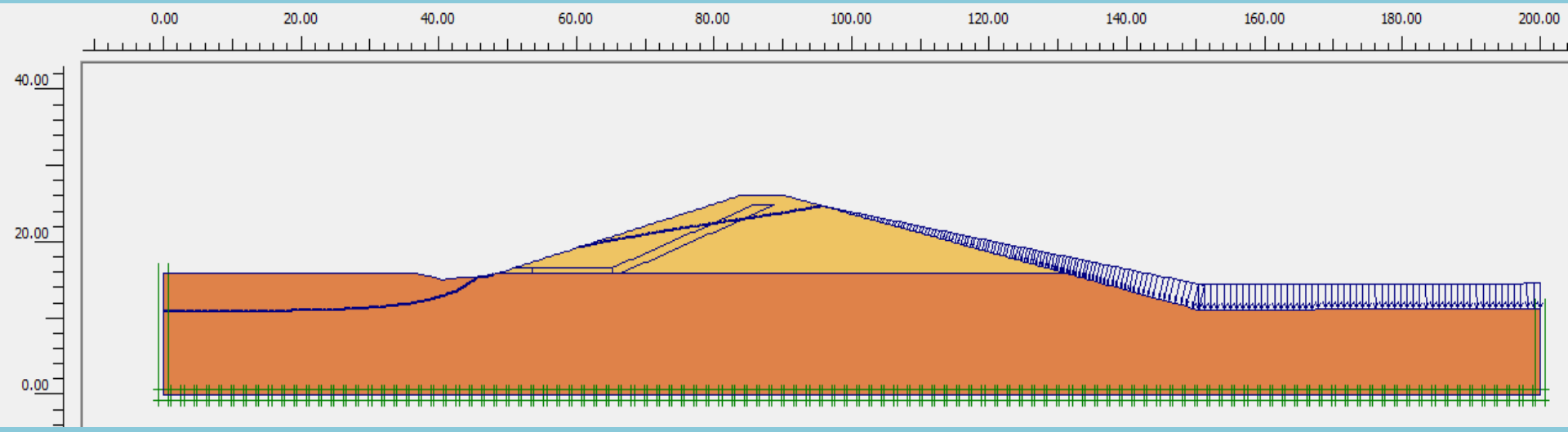
	יח'	מילוי חרסיתי מהודק	שתית חרסיתית טבעית	נקז
משקל מרחבי כולל	טון למ"ק	2.1	2.1	1.9
קוהזיה	טון למ"ר	1	1	0.01
זווית חיכוך פנימית	מעלות	22	22	33
חדירות אנכית	ס"מ לשניה	1E-06	5E-07	1.2E-03
חדירות אופקית	ס"מ לשניה	1E-05	5E-07	1.2E-03

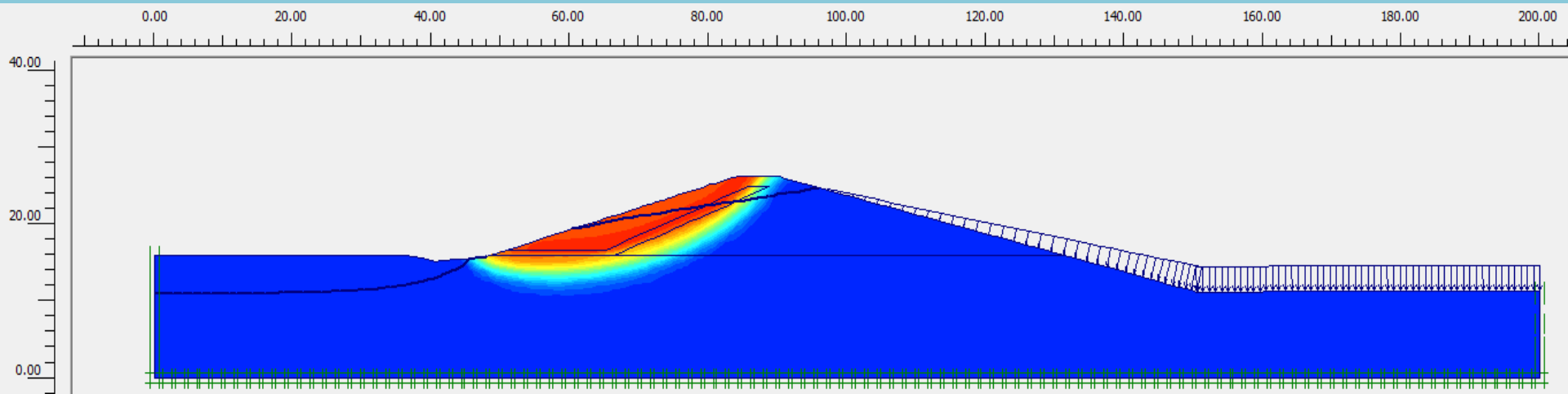
KLAR ISRAEL
Foundation Engineering & Geotechnical Consulting

פלגי מים

תוצאות סימולציה

חתך הומוגני לחלוטין ללא פתרון ניקוז
F.S.=1.77

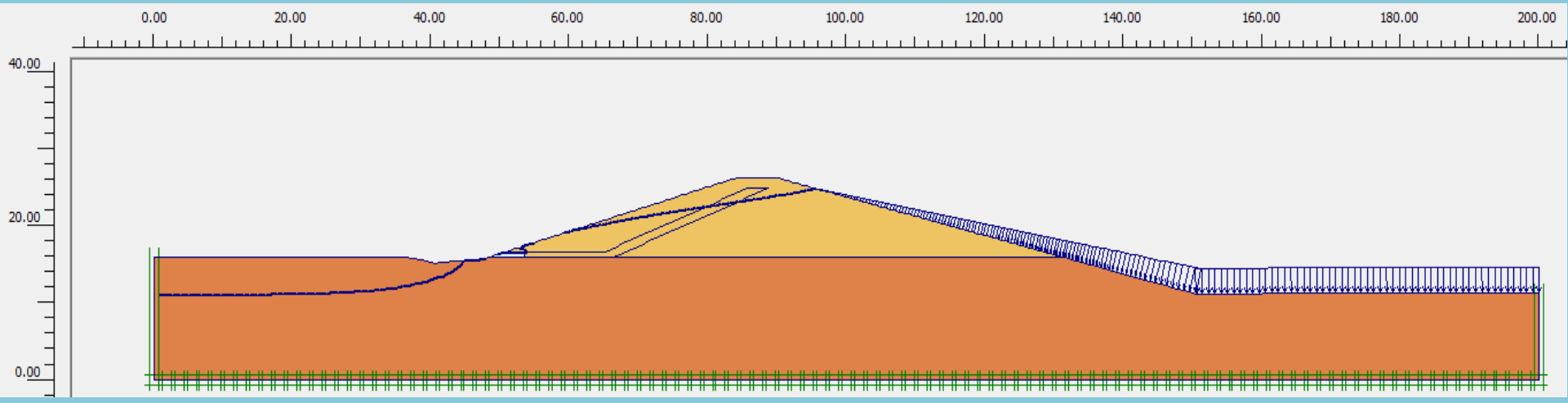


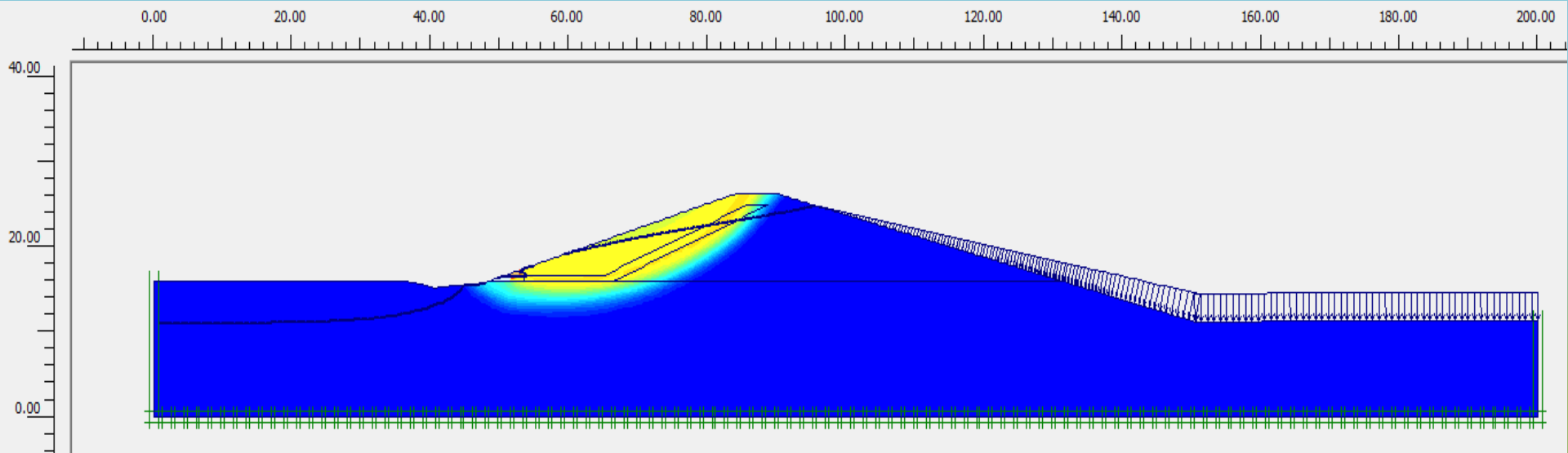


KLAR ISRAEL
Foundation Engineering & Geotechnical Consulting

פלגי מים

חתך הומוגני עם בוהן ברוחב 5 מ' ובעובי של 0.7 מ'
F.S.=1.77

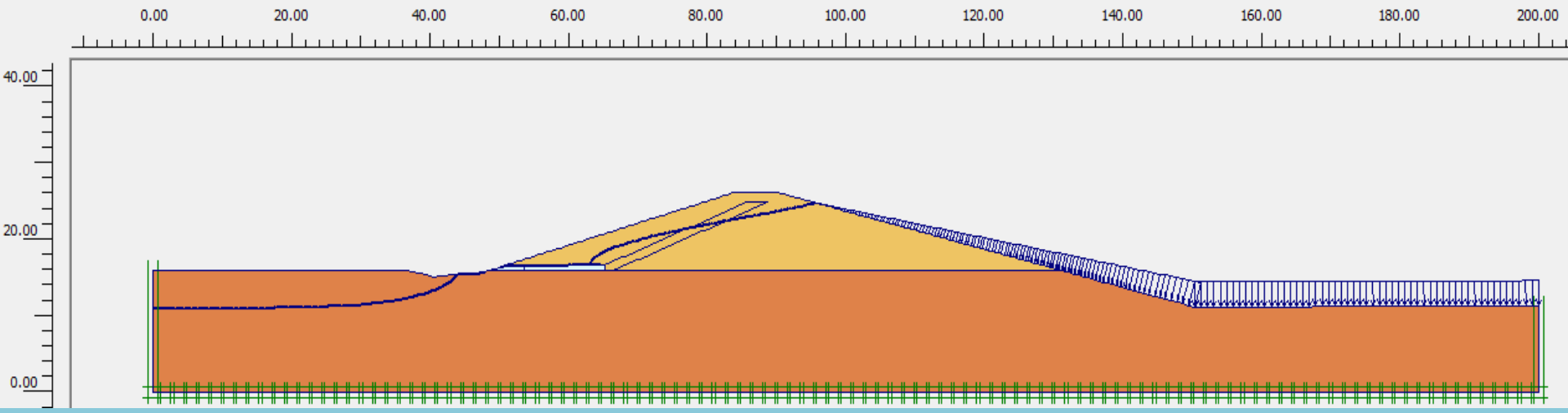


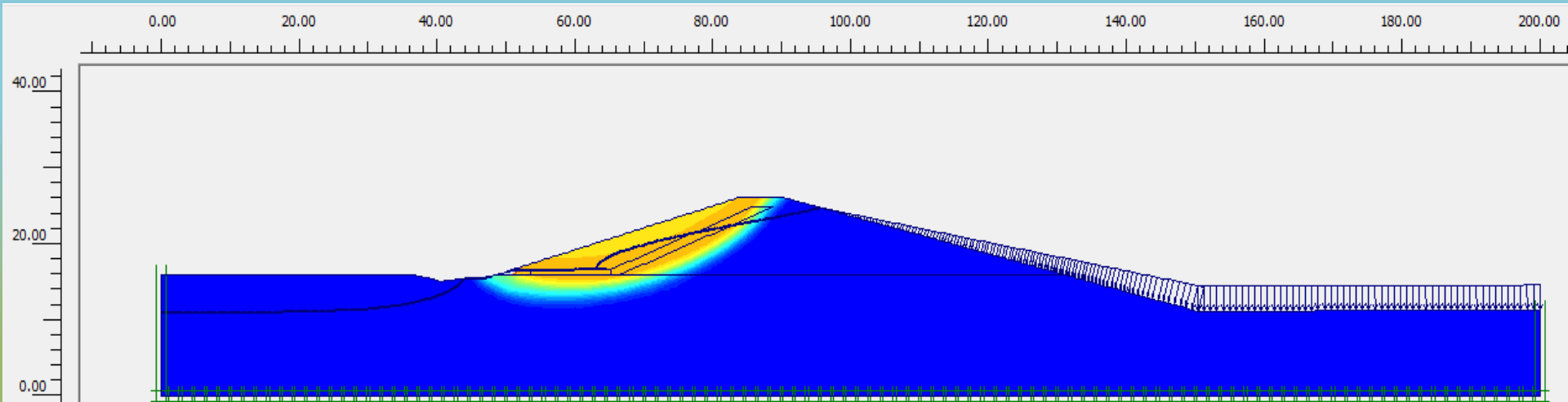


KLAR ISRAEL
Foundation Engineering & Geotechnical Consulting

פלגי מים

חתך הומוגני עם נקז שטיח ברוחב 21 מ' ועובי 0.7 מ'
F.S.=1.78

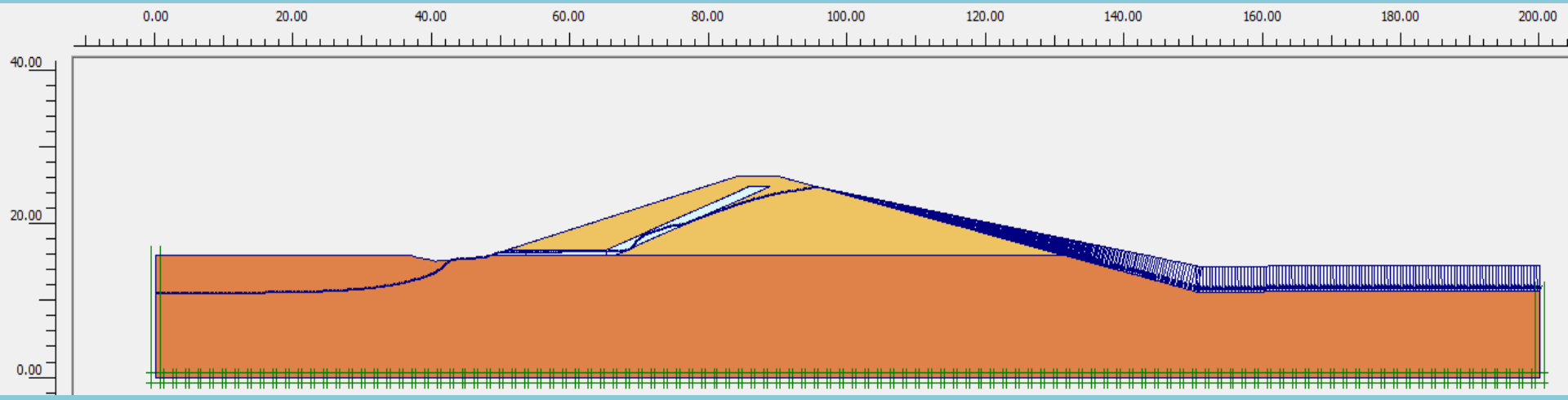


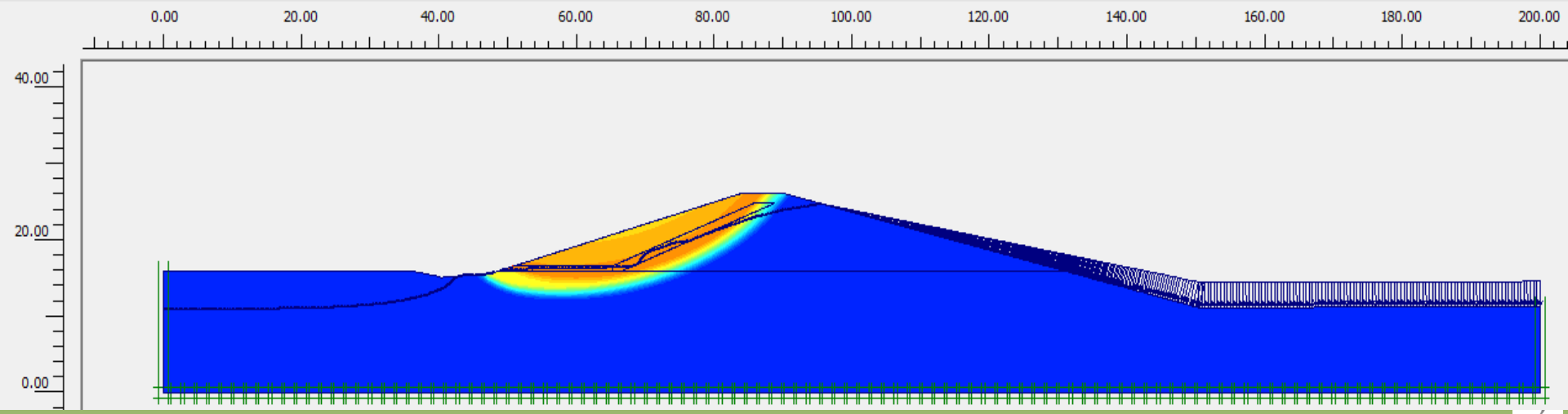


KLAR ISRAEL
Foundation Engineering & Geotechnical Consulting

פלגי מים

חתך הומוגני עם נקז ארובה ברוחב 3 מ' המתחבר לנקז השטיח F.S.=1.78

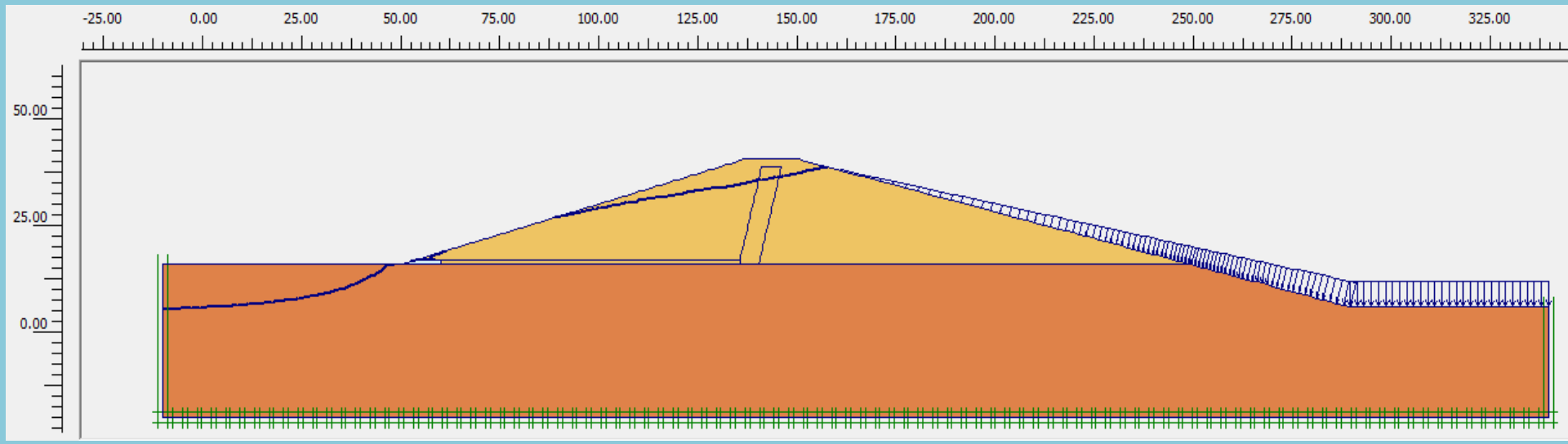


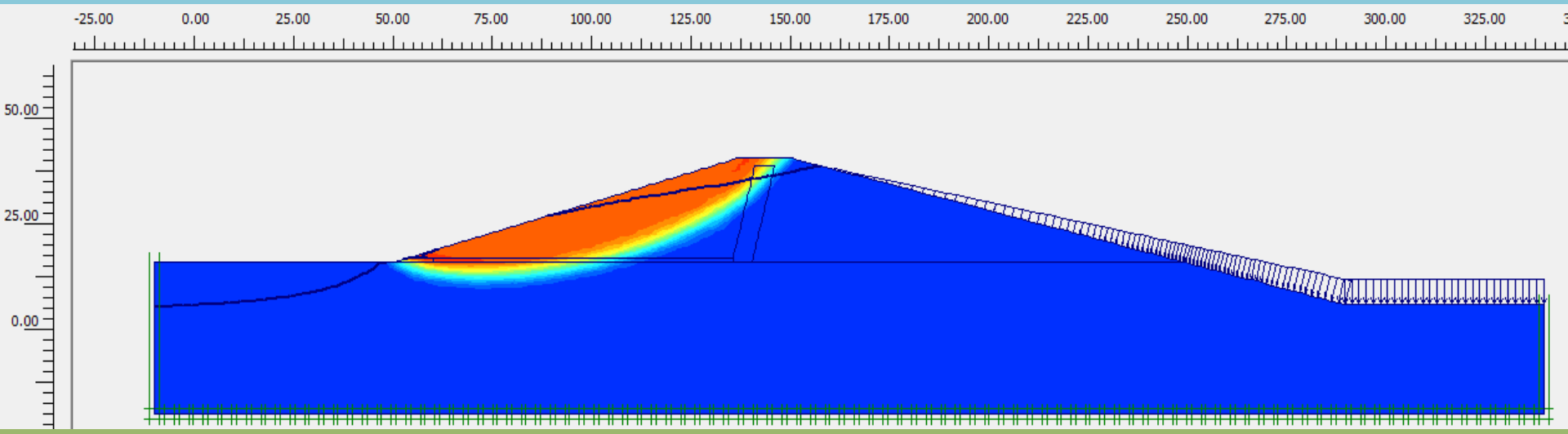


KLAR ISRAEL
Foundation Engineering & Geotechnical Consulting

פלגי מים

סוללה בגובה 25 מ', חתך הומוגני עם נקז בוהן
F.S.=1.55

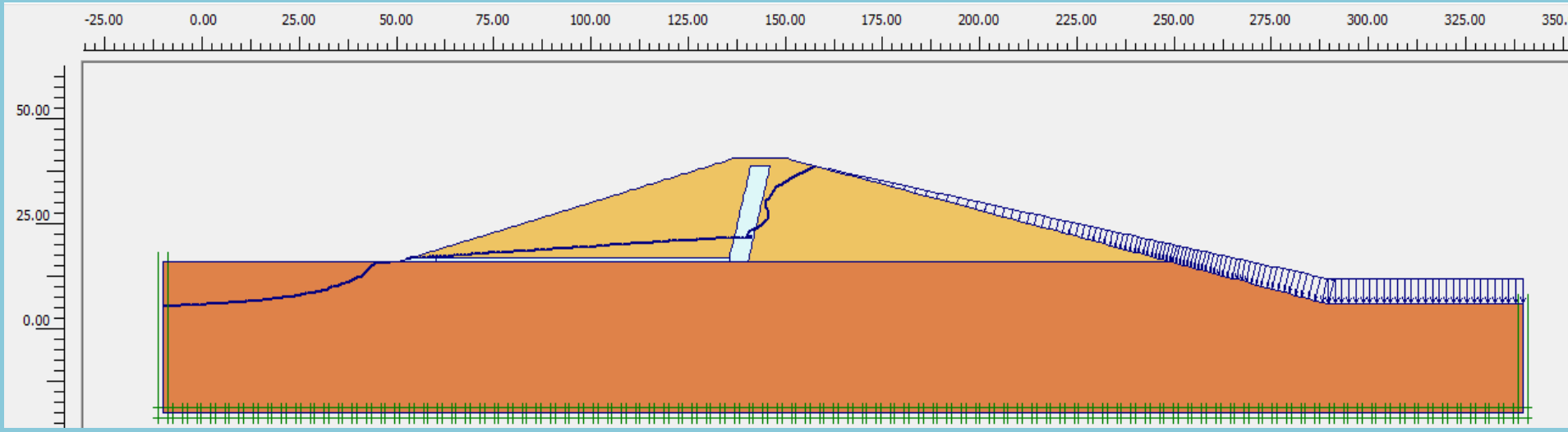


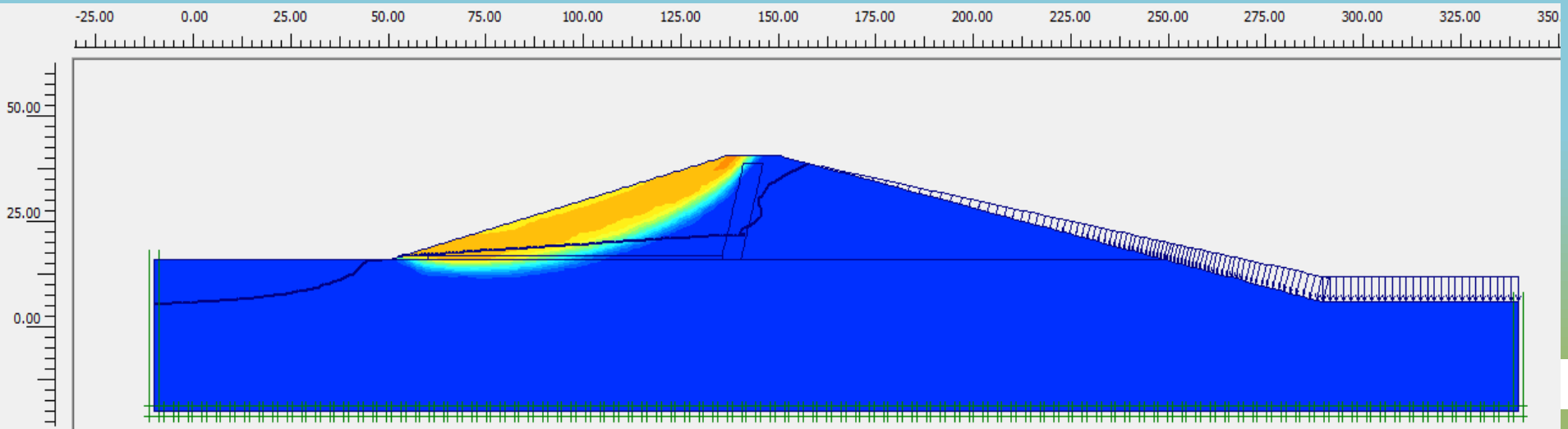


KLAR ISRAEL
Foundation Engineering & Geotechnical Consulting

פלגי מים

סוללה בגובה 25 מ', חתך הומוגני עם נקז ארובה ושטיח
F.S.=1.55





KLAR ISRAEL
Foundation Engineering & Geotechnical Consulting

פלגי מים

סיכום תוצאות מקדמי הביטחון

אלמנט מנקז	מקדם ביטחון
סוללה 10.5 מ'	
שטיח +"ארובה"	1.78
"שטיח"	1.78
"בוהן"	1.77
ללא	1.77
סוללה 25 מ'	
"בוהן"	1.55
"ארובה" + "שטיח"	1.55

- עפ"י המקרים הנבחנים, יישום נקז ארובה לעומת נקז בוהן ובפרט נקז שטיח לא משנה באופן מכריע את מקדמי הביטחון לגלישת המדרון החיצוני.

סוף מעשה במחשבה תחילה !

וסוף מעשה בתחזוקה תחילה !! (אבא ניב)

ran@p-ma.co.il

052-8465168

תודה רבה!!!

Thank you!