



מסמך מדיניות בנושא התמוטטות המצוק החופי

**מחקר להערכת השינויים הצפויים עד 2100
בחופי המצוקים בארץ בהשפעת שינויי האקלים
ע"י תהליכים מורפו-דינמיים ימיים
דו"ח סופי**

דו"ח חיא"ל מס' H06/2007

ע"י ד"ס' רוזן, ב' גלנטי, א' גולן, ל' רסקין

אוקטובר 2007

עדכון מפלסי ים בתחנת חדרה - יוני 2008

דו"חות חיא"ל
I O L R REPORTS



חקר ימים ואגמים לישראל

המכון הלאומי לאוקיאנוגרפיה

מסמך מדיניות בנושא התמוטטות המצוק החופי

מחקר להערכת השינויים הצפויים עד 2100
בחופי המצוקים בארץ בהשפעת שינויי האקלים
ע"י תהליכים מורפו-דינמיים ימיים

דו"ח סופי

דו"ח מס' H06/2007

ע"י

דב ס. רוזן, ברק גלנטי, אריק גולן, לזר רסקין

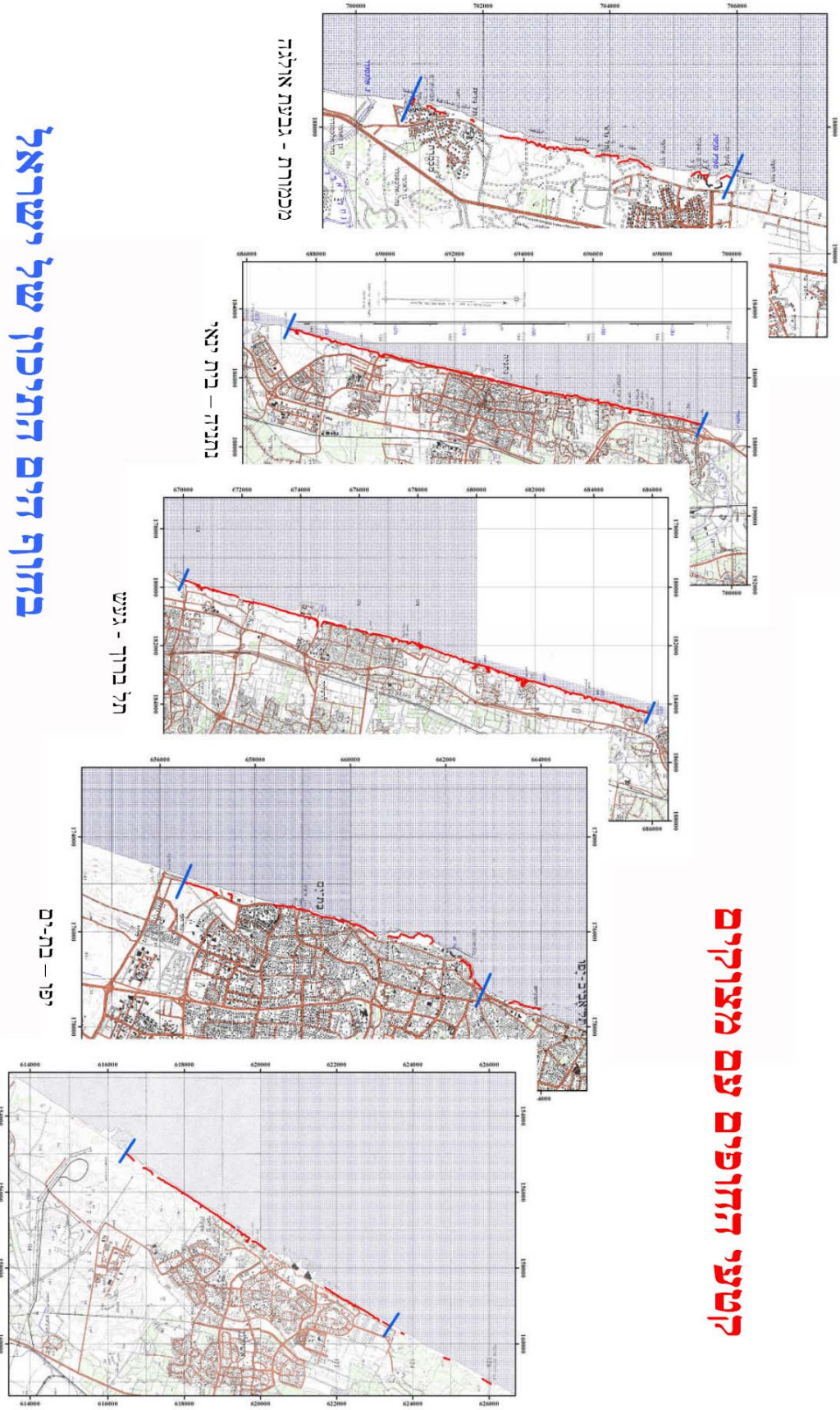
תל שקמונה, חיפה

אוקטובר 2007,

עדכון מפלסי ים בתחנת חדרה - יוני 2008

מוגש למשרד להגנת הסביבה ומינהלת הכנת מסמך המדיניות

קטעי החופים עם מצוקים



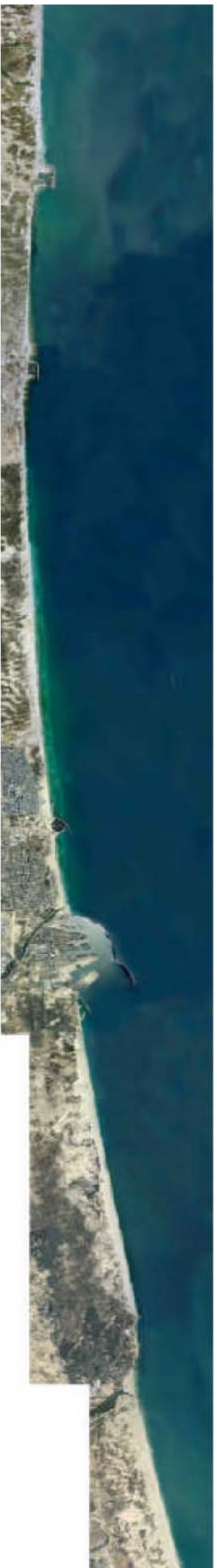
בחוף הים התיכון של ישראל



חוף אשדוד-אשדוד נחל פולג



חוף אשדוד נחל פולג – חוף דרום בת-ים



חוף ראשון לציון עד לגבול עם רצועת עזה

מבט מלמעלה על שלושת תחומי החופים עם מצוקים שנבחנו במחקר

תקציר מנהלים

א. רקע

לאור ההרס הניכר המתמשך במספר חופי מצוקים (כגון באשקלון, הרצליה, נתניה) והתחזית לשינוי האקלים העולמי והרס החופים החזוי כתוצאה מכך, הוקמה הועדה הבינמשרדית בראשות משרד רוח"מ לבחינת פתרון קבע לחופים עם מצוקים בחופי הים התיכון של ישראל. הועדה החליטה על הכנת מסמך מדיניות בנושא התמוטטות המצוק החופי. המשרד להגנת הסביבה בשיתוף עם מכון ירושלים לחקר ישראל הקים על פי הנחיות הועדה צוות רב-תחומי להכנת מסמך המדיניות, ובמסגרת זאת הוטל על חקר ימים ואגמים (חיא"ל) לבצע מחקר להערכת השינויים הצפויים בחופי המצוקים בארץ בהשפעת תהליכים מורפו-דינמיים ימיים, ונחתם חוזה בנדון בין המשרד להגנת הסביבה וחיא"ל בספטמבר 2006.

במסמך זה אנו מציגים את ממצאי המחקר שבוצעו במסגרת החוזה, תוך שילוב גם מידע וידע רלוונטי ממחקרים אחרים שביצעה ומבצעת חיא"ל, לגבי מצב חופי המצוקים והתהליכים הצפויים להתרחש בעתיד עד טווח של 100 שנה בקרוב (2100). יצוין כי האומדנים שמוצגים בדו"ח התקבלו על בסיס חקירה שהוגבלה מאד מבחינה תקציבית ולוח הזמנים ולכן יש לראות בהם אומדנים כלליים מקורבים בלבד, המתאימים למסמך מדיניות אך לא לפתרון בעיה מקומית נקודתית.

המחקר תוך שימוש במערכת מודלים ספרתיים של הדמיית התפשטות גלים והסעת סדימנטים בצדודית ניצבת לקו החוף, לאורך קטעי חופי מצוקים בין אשקלון לשפך נחל פולג. כמו כן, הוכן אומדן של מפלסי ים עתידיים בחוף הישראלי עד 2100. פעילות חיא"ל הינה במסגרת צוות רב תחומי, בניהול המשרד להגנת הסביבה ומכון ירושלים לחקר ישראל, להכנת מסמך מדיניות בנדון.

ב. תוצאות

תוצאות הבדיקות במודלים ושל ניתוח נתוני מפלסי ים מביאים לאומדן מעט יותר מחמיר מבחינת מידת העלייה של מפלס הים בחוף הישראלי עד סוף 2100, מאשר האומדן שהצג לאחרונה ע"י ועדת שינוי האקלים העולמי. התאפשר לקבל אומדנים כמותיים של הגריעה במצוק בתנאי ים שונים כולל תרחישים עתידיים.

הבדיקות אפשרו גם בדיקת חלופות מיגון לחופי המצוקים, ונמצא פתרון יעיל בנדון. התוצאות מוצגות בגוף הטקסט וכן במספר ספחים בסוף הדו"ח. אף על פי כן, עקב חוסר נתונים לא ניתן היה לבצע בדיקות לגבי חופי המצוקים מנחל פולג צפונה.

ג. מסקנות והמלצות

במחקר שבוצע ע"י הפעלת מערכת משולבת של נתוני סביבה ומודלים, התאפשר לזהות את הנקודות החשובות לגבי קביעת הפגיעות היחסית של חופי המצוקים.

מומלץ לקבל האומדן של עליית מפלס הים של כ-0.5 מ' לשנת 2050 ושל כ-1.0 מ' לשנת 2100. מידת הפגיעות של חופי המצוקים ביחס לתקיפת הגלים תלויה בגובה היחסי של המצוק ובתלילות היחסית שלו ביחס לזווית היציבות הגיאוטכנית שלו.

נמצא מספר מקטעי חוף בעלי פגיעות גבוהה יחסית, ולקטעי חופים אלה ראוי לתת ציון פגיעות גבוהה בתוך טבלת השכלול של כל ההיבטים שעוד תוכן ככל הנראה.

לדעתנו לא יהיה נכון להעריך את אומדן מידת נסיגת המצוק החופי על פי קביעת רום גובה הטיפוס המרבי של גלים במצבי ים עם תקופות חזרה מתאימות.

למרות שלא התאפשר לבצע הרצות מהימנות על תחום החוף מנחל פולג צפונה עקב חוסר נתוני עומקים וטופוגרפיה מספקים, הממצאים של המחקר ישימים לכל קטעי החוף הישראלי.

נמצאה חלופת מיגון ימית שיכולה לספק מיגון קבוע לקטעי חוף פגיעים במיוחד, למרות שעלותה לא זול.

מומלץ לבצע מיפוי מסודר של תחום החוף מגבעת אולגה עד נחל פולג בים עד קו עומק 20- מ' לפחות, וכן את תחום החוף והמצוק בקטע זה, כדי שניתן יהיה להערך לביצוע אמצעי מיגון.

לבדיקת מיגון אתרים נקודתיים חייבים לבצע הבדיקות באמצעות מודל סדימנטולוגי מסוג 2Dh, שמאפשר לבצע בדיקה של שינויים מורפולוגיים בכל תחום החוף והים ברציפות ולא רק בצורת חתכים ניצבים לחוף.

יש להמשיך בפעילויות ניטור של שינויים בחופי המצוקים, ע"י ביצוע מיפויים פוטוגרמטריים שנתיים בקני"מ 1:500 או מפורט יותר. אחת האפשרויות העתידיות המבטיחות היא באמצעות מיפוי LIDAR (לייזר מוטס).

ג. תוכן הענינים

<u>עמוד</u> <u>מס'</u>	<u>שם הפרק/סעיף</u>	<u>פרק</u> <u>מס'</u>
3	תקציר מנהלים	
3	א. רקע	
3	ב. תוצאות	
3	ג. מסקנות והמלצות	
8	מבוא	1
8	תאור היקף המחקר ושיטות החקירה	2
8	כללי	2.1
8	תכנית המחקר ופרוט שיטת החקירה	2.2
13	נתוני רקע כתשומה למחקר	3
13	אקלים מפלסי הים הקיים	3.1
14	אקלים מפלסי הים הקיים	3.2
20	משטר הגלים והרוחות הקיים	3.3
21	משטר הסדימנטולוגי – מורפולוגי הקיים בחוף הים התיכון של ישראל	3.4
22	אומדן שיעור נסיגת המצוק במהלך עשרות השנים האחרונות	4
22	אומדן שיעור קצב נסיגת קו המצוק על בסיס בחינת קצב תזוזת מיקום קו המים מאז שנות ה-50 של המאה העשרים ועד סתיו 2006 בתלות בעוצמת המשטר המטאו-ימי וההשפעות האנטרופוגניות.	4.1
23	אומדן שיעור קצב וכמות הגריעה במצוק החופי בקטע בת-ים – פולג, בין סתים 1997 עד סתיו 2006 על פי מפות הפרשיות של תחום המצוק בתלות בעוצמת המשטר המטאו-ימי וההשפעות האנטרופוגניות	4.2
24	אומדן השינויים המטאו-ימיים הצפויים עד 2100 בהשפעת שינוי האקלים	5
24	אומדן עליית מפלס הים עד 2100 בחוף הישראלי בים התיכון	5.1
29	אומדן לשינויים במשטר הגלים וסערות החורף והשלכותיהם על קצב ההתמוטטות (על בסיס 3.2.1 וחקירת מכתבה (desk study)).	5.2
29	תוצאות החקירה במודלים למצב קיים ולתרחישים עתידיים	6
29	תוצאות ההרצות למצב קיים ולתרחישים עתידיים במודל התפשטות גלים המרחבי SWAN	6.1
29	א. אזור חופי המצוקים במרכז, בתחום מדרום בת-ים עד שפך נחל פולג	
33	ב. אזור חופי המצוקים בדרום, בתחום מנמל אשקלון עד מרינה אשדוד	
36	ג. אזור חופי המצוקים בתחום משפך נחל פולג עד נחל חדרה	
36	תוצאות ההרצות למצב קיים ותרחישים עתידיים במודל גלים וסדימנטולוגי SBEACH	6.2
36	א. אזור חופי המצוקים במרכז, בתחום מדרום בת-ים עד שפך נחל פולג	
44	ב. אזור חופי המצוקים בדרום, בתחום מנמל אשקלון עד מרינה אשדוד	
51	ג. אזור חופי המצוקים בתחום משפך נחל פולג עד נחל חדרה	
51	בחינת חלופות ימיות למיגון והקטנת הרס המצוק החופי בהשפעת מי הים	7
51	שיקולים לבחירת חלופות ימיות ושיטת הבדיקה של יעילותן והשפעותיהן הסביבתיות והכלכליות	7.1
52	תאור חלופות המגון הימיות שנבדקו	7.2
53	תוצאות מפות גלים והערמות בחלופות שנבדקו	7.3

I. תוכן העניינים - המשך

<u>עמוד</u> <u>מס'</u>	<u>שם הפרק/סעיף</u>	<u>פרק</u> <u>מס'</u>
53	דיון בממצאים של הבדיקות במודל ואומדן הנסיגה המרבית של חופי המצוקים בשנת 2020, בשנת 2050 ובשנת 2100	8
53	אומדן קצב הנסיגה על בסיס בדיקת התרחישים במודל הגלים מרחבי ובמודל הגלים והסדימנטולוגי המקומי	8.1
57	אומדן השפעת שינוי במשטר הרוחות והגלים על האומדן ב-8.1	8.2
57	אומדן השפעות אנטרופוגניות על האומדנים ב-8.1 ו-8.2	8.3
57	מסקנות והמלצות	9
57	מסקנות	9.1
57	המלצות	9.2
58	רשימת מקורות נבחרים	10
67	הכרת תודה	11

II. רשימת טבלאות

<u>עמוד</u>	<u>שם</u>	<u>מס'</u>
10	קואורדינטות חמשת קטעי חופי המצוקים שנבחרו והקטעים שנקבעו לבדיקה	1
10	פרטים לגבי שלושת תחומי החוף והים שכוסו בשלושת סריגי מודל הגלים	2
11	רשימת התרחישים שנבחנו במודל SWAN (אופייני הגלים נתונים במים עמוקים)	3
11	רשימת התרחישים שנבחנו במודל SBEACH (אופייני הגלים הנם במים עמוקים)	4
13	מפלסי ים קיצוניים (ללא השפעת שינוי האקלים ועליית מפלס הים עקב כך)	5
14	נתונים על מפלסי ים בהתבסס על ערכי מדידות מפלסי שעתיות בנמל אשדוד במשך 19 שנה והפרדתם למועדי ים ולתרומות מטאורולוגיות (ביחס לאפס האיזון הארצי)	6
19	תקופות חזרה ממוצעות של מצבי ים קיצוניים במים עמוקים בחוף הישראלי (ללא התחשבות בהשפעות שינוי האקלים)	7
26	תחזיות עליית טמפרטורה עולמית ומפלס הים לפי IPCC2007	8
29	אומדן רום טיפוס הגלים המרבי בחוף הישראלי כתלות בתקופת החזרה	9
38	נפחי גריעה במצוק החופי ומידת הסטת קו האפס באזור המרכז	10
45	נפחי גריעה במצוק החופי ומידת הסטת קו האפס באזור הדרום	11
52	אופיינים גיאומטריים ותנאי סביבה בהם נבדקו חלופות המיגון הימיות	12
55-56	קביעת קטעי המצוקים בעלי פגיעות גבוהה מבחינת הרס עי"י גלי הים (בעקבות ע. כץ)	13

III. רשימת תמונות וציורים

שם	מס'
קטעי החופים עם מצוקים בחוף הים התיכון של ישראל	1
מבט מלמעלה על שלושת תחומי החופים עם מצוקים שנבחנו במחקר	2
השוואה בין ספקטרום JONSWAP וספקטרום Pierson-Moscovitz	3
סטטיסטיקת רוחות קיצון בחוף אשדוד מערכים שעתיים ממוצעים בתקופה 1958-1970	4
תחזיות עליית מפלס הים עד 2100 לפי TAR Group 1 IPCC 2001 (במסגרת מוצג טווח הערכים לשנים-2025, 2050 ו-2100)	5
השוואת תחזית עליית מפלס הים העולמי לפי IPCC2001 (מימין) ולפי Rahmsdorf (2006) (משמאל)	6
השוואה של אומדני עליית הטמפרטורה העולמית לפי IPCC 2007 (מימין) לעומת IPCC 2001 (משמאל)	7
השינויים במפלס הים התיכון לפי מדידות לוויי טופקס-פוסאידון בין 1992 ל-2000 (בעקבות Fenoglio-Marc, 2002)	8
עליית מפלס הים בחוף הישראלי בים התיכון בין 1992 לבין 2006 לפי מדידות תחנת המעקב הראשית אחר מפלס הים מס' 80 (חדרה) של היא"ל ברשת GLOSS	9
אומדן מצבי ים ומפלס ים קיצוניים לטווח 100 שנה בחוף הישראלי בים התיכון	10
מפת עומקים לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה)	11
מפת השתנות גובה גלים בסערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה	12
מפת גובה הערמות גלים לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה). סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה	13
תצוגת תלת מימד של גובה הערמות גלים לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה). סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה	14
השוואת גובה ההערמות המרבית בחופי המרכז בתרחישים שנבדקו	15
מפת עומקים לאזור הדרום, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה)	16
מפת השתנות גובה גלים בסערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה לאזור הדרום	17
מפת גובה הערמות גלים לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה). סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה	18
תצוגת תלת מימד של גובה הערמות גלים לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה). סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה	19
השוואת גובה ההערמות המרבית בחופי אשקלון - אשדוד בתרחישים שנבדקו	20
נפחי גריעה במצוק ליחידת אורך חוף בצדודיות לאורך חופי המרכז, עבור 4 התרחישים שנבדקו בכל מצבי מפלס הים	21
נפחי גריעה במצוק ליחידת אורך חוף בצדודיות לאורך חופי המרכז, עבור 4 התרחישים שנבדקו במצב מפלס ים נוכחי	22
נפחי גריעה במצוק ליחידת אורך חוף בצדודיות לאורך חופי המרכז, עבור 4 התרחישים שנבדקו במצב מפלס ים משתנה	23
שינוי במיקום קו האפס בשוך סערת התרחיש לכל המצבים שנבדקו לחופי המרכז	24
תוצאות גובה טיפוס הגלים המרבי במצב סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ובמפלס ים של 1 מ' בצדודיות של חופי המצוקים באזור המרכז	25
נפחי גריעה במצוק ליחידת אורך חוף בצדודיות לאורך חופי אשקלון-אשדוד, עבור 4 התרחישים שנבדקו בכל מצבי מפלס ים	26
נפחי גריעה במצוק ליחידת אורך חוף בצדודיות לאורך חופי אשקלון-אשדוד, עבור 4 התרחישים שנבדקו במצב מפלס ים נוכחי	27
נפחי גריעה במצוק ליחידת אורך חוף בצדודיות לאורך חופי אשקלון-אשדוד, עבור 4 התרחישים שנבדקו במצב מפלס ים משתנה	28
השינוי במיקום קו האפס בשוך סערת התרחיש לכל המצבים שנבדקו לחופי אשקלון-אשדוד	29
ערכי גובה טיפוס הגלים המרבי במצב סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ובמפלס ים של 1 מ' בצדודיות של חופי המצוקים באזור אשקלון-אשדוד	30

IV. רשימת נספחים

<u>שם</u>	<u>מס'</u>
תאור מודל הגלים המרחבי SWAN	A1
תאור מודל הגלים והסדימנטולוגי SBEACH	A2
מפות גובה הגלים וההערמות שנתקבלו לחופי המרכז ללא אמצעי מיגון	A3
מפות גובה הגלים וההערמות שנתקבלו לחופי אשקלון- אשדוד ללא אמצעי מיגון	A4
תוצאות של הבדיקות במודל SBEACH מבחינת השינויים בצדודית בתחום חופי המרכז	A5
תוצאות של הבדיקות במודל SBEACH מבחינת השינויים בצדודית בתחום חופי אשקלון-אשדוד	A6
מפות גובה הגלים וההערמות שנתקבלו בחלופות המיגון שנבדקו במודל הגלים	A7

1. מבוא

לאור ההרס הניכר המתמשך במספר חופי מצוקים (כגון באשקלון, הרצליה, נתניה) והתחזית לשינוי האקלים העולמי והרס החופים החזוי כתוצאה מכך, הוקמה הועדה הבינמשרדית בראשות משרד רוה"מ לבחינת פתרון קבע לחופים עם מצוקים בחופי הים התיכון של ישראל. הועדה החליטה על הכנת מסמך מדיניות בנושא התמוטטות המצוק החופי. המשרד להגנת הסביבה בשיתוף עם מכון ירושלים לחקר ישראל הקים על פי הנחיות הועדה צוות רב-תחומי להכנת מסמך המדיניות, ובמסגרת זאת הוטל על חקר ימים ואגמים (חיא"ל) לבצע מחקר להערכת השינויים הצפויים בחופי המצוקים בארץ בהשפעת תהליכים מורפו-דינמיים ימיים, ונחתם חוזה בנדון בין המשרד להגנת הסביבה וחיא"ל בספטמבר 2006. במסמך זה אנו מציגים את ממצאי המחקר שבוצעו במסגרת החוזה, תוך שילוב גם מידע וידע רלוונטי ממחקרים אחרים שביצעה ומבצעת חיא"ל, לגבי מצב חופי המצוקים והתהליכים הצפויים להתרחש בעתיד עד טווח של 100 שנה בקרוב (2100).

אנו מבקשים לציין כי האומדנים שמוצגים בדו"ח התקבלו על בסיס חקירה שהוגבלה מאד מבחינה תקציבית ולוח הזמנים ולכן יש לראות בהם אומדנים כלליים מקורבים בלבד, המתאימים למסמך מדיניות אך לא לפתרון בעיה מקומית נקודתית. לקבלת אומדנים מפורטים ומדויקים יותר לגבי קטעי חוף פרטניים, יהיה צורך לבצע בדיקות נוספות, חלקן תוך איסוף מידע נוסף ושימוש בכלי מחקר מתוחכמים ויקרים יותר מאלה שבהם השתמשנו במחקר הנוכחי.

2. תאור היקף המחקר ושיטות החקירה

2.1 כללי

כדי לאמוד את ההשפעות הצפויות של עליית מפלס הים, משטר הגלים והסעת הסדימנטים על הרס חופי המצוקים ויעילות פתרונות למיגון חופי המצוקים בהתחשב בלוח הזמנים הקצר והתקציב המצומצם, תכנית המחקר הציעה כי הבדיקות תבוצענה רק ב-5 מקטעי חופי מצוקים אופייניים (כל אחד באורך של עד 10 ק"מ), בהם ייקבע כי קיימת רגישות מיוחדת כתוצאה מהרס במצוק החופי לאורכם עד היום והצפוי בעתיד.

לאחר מכן תוכנן כי בחמשת מקטעים אלה תבוצע בדיקה מעמיקה ככל הניתן של השינויים המורפו-דינמיים הימיים והשפעתם על קצב ההרס במצוק החופי שלאורכם ושל המקומות בהם צפוי הרס בקצב מוגבר, כתוצאה מהפעולה המשולבת של עליית מפלס הים, סערות גלים קיצוניות והסעת סדימנטים.

תוכנן כי הבדיקה תעשה ע"י הכנת והרצת מודל גלים בכל אחד מחמשת המקטעים בשילוב מודל סדימנטולוגי דו-ממדי להערכת השינויים בצדודית החוף כמו גם במצוק החופי, תוך שימוש בנתונים בתימטריים וטופוגרפיים קיימים וזמינים בלבד, כגון מיפוי העומקים שהוכן ע"י חברת אוקיאנה לפרויקט הגז שכיסה את תחום העומקים בין קו עומק 8- מ' עד 45- מ', המיפוי המפורט שמתבצע ע"י חיא"ל יחד עם מג"ל ומפ"י בתחום העומקים 6- מ' עד 600- מ' שהושלם בינתיים רק בחלקו, המיפוי המפורט של תחום הים, החוף והמצוק בין חוף דרום בת-ים לחוף שפך נחל פולג שביצע חיא"ל במסגרת מחקר בדיקת ייתכנות הקמת איים מלאכותיים, מיפוי ישן שבוצע ע"י הבריטים בכל מימי החופין, המיפוי שהכין ד"ר ג'ון הול מריכוז של מיפויים שונים וכן מספר מיפויים נוספים שנאספו במסגרת מחקר בדיקת הייתכנות של הקמת איים מלאכותיים. חיא"ל הציעה כי אם יתברר שאין נתונים זמינים במים רדודים מקו עומק 8- מ', מינהלת הפרויקט תשקול הזמנת ביצוע מדידות חדשות לאותם מקטעים בהם לא קיימים נתונים או שצפיפות המידע אינו מפורט מספיק. על בסיס הממצאים בחמשת המקטעים תוכנן להכין אומדן גם לגבי יתר מקטעי החוף שלא נכללו בבדיקות המודל.

2.2 תכנית המחקר ופרוט שיטת החקירה

תכנית החקירה חולקה לשלושה שלבים המתוארים להלן:

שלב א' – איפיון מצב קיים כבסיס לייחוס, בחינת תרחישי סיכון וניתוח ניסיון מצטבר בארץ ובעולם שכלל:

2.2.1 הכנת תחזיות של עליית מפלס הים לצורך הכנת מפות סיכונים לאורך חופי המצוקים ע"י מג"ל. התחזיות יבטאו את האינטגרציה של תרומות עליית מפלס הים בהשפעת תופעת החממה בתרחיש "עסקים כרגיל" (Business As Usual-BAU), תרומת נד רוח, ותרומת מועדי ים אסטרונומיים בטווח 1, 20, 50 ו-100 שנה. כמו כן, מתן התייחסות לממצאי מפת הסיכונים שתכין מג"ל.

2.2.2 השתתפות בקביעת חמשת מקטעי החופים לבדיקה במודלים.

2.2.3 בחינת הנסיון המצטבר בארץ ובעולם להתמודדות עם הרס חופי מצוקים, הצגת פתרונות ימיים, הערכת יעילותם ואומדן עלותם, כהשלמה לעבודה שהוטלה על משתתפים אחרים בצוות הרב-תחומי.

2.2.4 בדיקת מורפו-דינמית ימית של השפעות עליית מפלס הים, משטר הגלים והסעת סדימנטים על הרס המצוק החופי ולגבי יעילות פתרונות מיגון שונים. בדיקה זאת כללה בדיקה מורפו-דינמית ימית של חמשת קטעי החוף שנקבעו כרגישים ביותר. היקף הבדיקה כלל הערכת מידת הגריעה (אירוזיה) באותם חופי מצוקים עקב תקיפתם ע"י סערה קיצונית עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה ב-4 מצבים קיצוניים של מפלס הים (בטווח של 10, 20, 50 ו-100 שנה). לאחר מכן בחינת יעילות שני פתרונות מיגון באותם 4 מצבים ולכל 5 מקטעי החוף שנבחרו. הפתרונות הטנטטיביים היו: (א) קטעי שוברי גלים מטובעים מול מקטעי מצוק שנמצא שניזוקו משמעותית ו-(ב) רכסי מיגון מלאכותיים מטובעים. הבדיקות תוכננו להתבצע בעזרת מערכת של שני מודלים מתקדמים, האחד של השתנות גלים מרחבית (ולאחר בדיקות נבחר מודל SWAN שנחשב המתקדם ביותר – ראה תיאורו בנספח A1), בשילוב מודל מורפו-דינמי סדימנטולוגי המאפשר לבחון את השינויים בצדודית החוף (נבחנו המודלים CROSMOR ו-SBEACH ונבחר בסוף מודל SBEACH, ראה תיאורו בנספח A2), כולל במצוק החופי, בהנחה כי כל מבנה המצוק החופי מורכב מחול ללא צמנטציה בלבד. החקירה תוכננה להתבצע תוך שימוש במודלים הנ"ל וכן במידע סביבתי וימי קיים. המטרה היתה לקשור את רגישות הפגיעות המצוק להיקף פגיעת הגלים במצוק, שתבוטא ע"י חישוב הערמות מפלס הים בהשפעת הגלים (wave induced superelevation) במצבי הים השונים ושל טיפוס הגלים המרבי על החוף והמצוק (wave runup) שיתקבלו מתוך הרצת המודלים. הערמות הגלים מחושבת בכל תחום החוף במודל SWAN, אך רק במודל SBEACH מתקבלת התרומה המשולבת של הערמות הגלים וטיפוס הגלים (מחושבת ישירות בחתכי הבדיקה).

שיטת החקירה שיושמה בשלבי הבדיקה המורפו-דינמית ימית בפועל מתוארת להלן:

א. רוכזו כל הנתונים הבתימטריים והטופוגרפיים הקיימים שהצלחנו להשיג (בים – נתונים מפרוייקט הגז הקיימים בין קו עומק 45- מ' ועד 8.5- מ', מפרוייקט המיפוי של מדף היבשת הלאומי בעזרת מערכת רבת אלומות (multi-beam) ומפרוייקט בחינת יתכנות הקמת איים מלאכותיים וכן מעבודות נוספות שביצע חיא"ל וואו ממיפויים שביצעו חברת החשמל ורשות הנמלים וואו עירונית לאורך החופים הנ"ל, ביבשה מתוך מאגר נתונים טופוגרפיים שאסף חיא"ל לצורך פרויקט הגישור לאיים מלאכותיים בין פלמחים ובית ינאי במיפוי פוטוגרמטרי בקני"מ 1:500, ובקטעי חוף אחרים מנתוני סריג (DTM) שנרכש ע"י המשרד להגנת הסביבה ממפ"י בגודל סריג 4x4x4 מ' שנמסרו לנו באמצעות מג"ל. מנגד חיא"ל מסרה למשרד להגנת הסביבה שני עותקים של נתונים ספרתיים של המיפוי הפוטוגרמטרי וצילומי האורטופוטו של תחום החוף בין בת-ים לשפך נחל פולג בקני"מ 1:500, שבוצע במסגרת מחקר בדיקת יתכנות הקמת איים מלאכותיים בסתיו 2003. לא הצלחנו להשיג מיפויים עדכניים של קרקעית הים הרדודה ושל המצוק בקטעי החוף באשקלון, ומנחל פולג צפונה.

ב. בוצעה אומדן של מפלסי ים עתידיים בחוף הישראלי לטווח עד 2100, וכן של מידת טיפוס גלים מרבי לתקופות החזרה שנדרשו.

ג. בוצעה השוואה של מספר מודלים של השתנות גלים (SWAN, NEMOS, REFDIF,) (FUNWAVE). מתוכם נבחר מודל SWAN שהוא המורכב והמתקדם מכל המודלים הנ"ל וגם נחשב אחד המתקדמים ביותר הקיימים כיום בעולם. הוא נמצא ישים, למרות זמן ההרצה המוגדל ומשאבי המחשב המוגבלים שעמדו לרשותנו לצורך המחקר. כמו כן, בוצעה השוואה של שני מודלים סדימנטולוגיים של שינויים בצדודית במהלך סערה (SBEACH, CROSMOR). למרות שתחילה נראה היה כי מודל CROSMOR בעל יכולות משופרות יותר, לאחר התעמקות בשני המודלים התברר קיום בעיות במודל CROSMOR לעומת יתרונות שמודל SBEACH עקב היותו חלק מחבילת התוכנה CEDAS שפותחה ע"י צבא ארה"ב, ובמיוחד האפשרות לטיפול בתוצאות המודל בעזרת תוכנת BMAP המשולבת בחבילת התוכנות של CEDAS (השוואה של שינויים בצדודית, חישוב הפרשי נפחי גריעה או צבירה ועוד).

ד. ממצאי המידע הקיים והחסר נמסרו למינהלת הפרוייקט, לקביעה סופית של חמשת קטעי חופי המצוקים לבדיקה במודלים. למרות המחסור שנמצא כמצוין לעיל, נבחרו חמשת קטעי חופי המצוקים שהוערכו על פי ממצאי הבדיקות המוקדמות של הצוות הגיאולוגי ברשות המכון הגיאולוגי

(כץ וחבריו, 2006) ומינהלת הפרויקט כבעלי פוטנציאל הפגיעות הגבוהה ביותר. עם זאת נתבקשנו להמשיך לנסות להשיג נתונים לקטעים החסרים. במהלך העבודה הסתבר לנו כי נתונים מעודכנים של החוף באשקלון נאספו ע"י החברה הכלכלית לאשקלון, אך פנייתנו לחברה לקבלת הנתונים לא נענתה. כמו כן, בסתיו 2006 היא"ל ביצע מיפוי פוטוגרמטרי חדש של תחום החוף מבת-ים עד נחל פולג. פנינו למנכ"ל עיריית נתניה שיזמן צילום ומיפוי פוטוגרמטרי בקני"מ 1:500 לקטע מפולג עד חבצל השרון (כמו הצילום שהוזמן על ידנו, לקטע החסר) והוא נענה לכך והצילום אכן בוצע. לצערנו, טרם הוזמן עיבוד הפוטוגרמטרי לתחום חוף זה, ולכן בפועל הנתונים בתחום מנחל פולג צפונה המידע שהיה זמין להכנת הסריגים נותר בעייתו. קואורדינטות קטעי החוף שנבחרו והאורכים שלהם מוצגים בטבלה מס' 1 להלן. על מנת להבטיח תנאי גבול נאותים, הוגדלו אורכי 5 קטעי החוף לבחינה במודל, כפי שמוצג בחלק התחתון של טבלה 1.

ה. מכיוון שהרצת המודל SWAN יותר יעילה כאשר הסריג מקביל בקרוב לקווי העומק ולקו החוף, הוחלט לשלב קטעי חוף בעלי נטייה קרובה לסריג משותף וכן לסובב הסריג ביחס לרשת ישראל החדשה, כך שהאבסציסה שלו (ציר I) ניצבת בקרוב לקו החוף, וכמובן האורדינטה שלו (ציר J) מקבילה בקרוב לקו החוף, ובהתאם לדרישות המודל הראשית הצירים נמצאה בים בחלק הדרומי של התחום. לפי כך, נקבעו בסופו של דבר שלושה תחומי חוף, בעלי כיסוי רב יותר מאשר התכנון המקורי, הן עקב שילוב קטעי חוף שכנים וכן עקב צורך בהרחבת גבולות הסריגים, כדי למנוע ייתכנות השפעת הגבולות על תחומי החופים שנדרש לבדוק, עקב השימוש בהדמיות עם ספקטרום גלים כיווני. הקואורדינטות ופרטים נוספים של שלושת התחומים מוצגים בטבלה מס' 2.

טבלה מס' 1 - קואורדינטות חמשת קטעי חופי המצוקים שנבחרו והקטעים שנקבעו לבדיקה

מס'	שם הקטע שנבחר לבדיקה	X דרומי	Y דרומי	X צפוני	Y צפוני	אורך הקטע (מ')
1	אשקלון	154980	616460	159535	623400	8,301
2	בת ים - יפו	174940	656500	177220	662790	6,690
3	תל ברוך - געש (מתחילת מצוק השרון)	179740	670010	184320	685910	16,546
4	נתניה - בית ינאי	184580	687200	187365	699135	12,256
5	מכמורת - גבעת אולגה	187575	700865	188820	705920	5,206
סה"כ אורך חוף נומינלי						
49 ק"מ						
קטע מס'	תחומי קטעי החוף שנדרשו לבדיקה במודל והגבולות הדרומיים שלהם בחוף	X דרומי (מ')	Y דרומי (מ')	אורך הקטע החוף (מ')	אזימות הניצב לחוף (מעלות)	
1	אשקלון (מקצא"א צפונה)	152780	613110	14,000	303	
2	בת ים - יפו	174140	653600	9,700	288	
3	תל ברוך - געש (מתחילת מצוק השרון)	178930	667120	19,550	286	
4	נתניה - בית ינאי	183940	684270	15,300	283	
5	מכמורת - גבעת אולגה	187170	697880	8,200	283	
סה"כ אורך חוף למודל						
66.75 ק"מ						

טבלה מס' 2 - פרטים לגבי שלושת תחומי החוף והים שכוסו בשלושת סריגי מודל הגלים

תחום מס'	שם תחום החוף שכיסה סריג המודל וגבולותיו בחוף	X דרומי (מ')	Y דרומי (מ')	X צפוני (מ')	Y צפוני (מ')	אורך הקטע במקביל לחוף (מ')	אזימות הניצב לחוף (מעלות)
1	אשקלון - אשדוד	147125	604622	165797	633346	34000	303
2	בת ים - שפך פולג	170936	644180	188903	705392	60000	287
3	נתניה - גבעת אולגה	181310	671360	189260	706432	34000	283
תחום מס'	שם תחום החוף שכיסה סריג המודל וגבולותיו בחוף	X ראשית (מ')	Y ראשית (מ')	גודל הסריג (מ')	אורך הסריג מקביל לחוף (מ')	רוחב הסריג ניצב לחוף (מ')	זווית סיבוב רשת החישוב (מעלות)
1	אשקלון - אשדוד	121887.54	622428.44	5	34000	35000	-33
2	בת ים - שפך פולג	141529.38	666733.18	5	60000	38000	-17
3	נתניה - גבעת אולגה	155539.50	677277.00	10	34000	26300	-13

הסריגים כיסו את תחומי הבתימטריה וטופוגרפיה בשלושה תחומי החוף הנ"ל. הסריגים כיסו תחומי ים ויבשה שהשתרעו מקו עומק 500- מ' לפחות בים ועד כמה מאות מטר לפחות ביבשה. יוצרו 3 רשתות סריגים ריבועיים עם גודל סריג גיאומטרי אופקי קבוע של 5 מ'. הסריג לתחום הדרומי כיסה את תחום החוף מחוף זיקים בקרוב עד מרינה אשדוד, הסריג המרכזי כיסה התחום

מגבול בת-ים ראשון לציון עד צפונה לשפך נחל פולג, והסריג השלישי כיסה התחום מגעש עד נחל חדרה בקרוב. עקב בעיות של משאבי מחשב וזמן הרצה, מודל SWAN הורץ בסריג גלים של 10 מ', אך תוך שימוש בנתוני העומקים של הסריג הגיאומטרי של 5 מ'. מודל SBEACH הורץ עבור פרופילים במרווחים של 1 ק"מ ביניהם בקטעי החופים הנ"ל. הסריג הגיאומטרי היה בעל גודל צלע קבוע של 5 מ'. לצערנו, למרות שביצענו ההרצות במודל הגלים עבור כל שלושת הקטעים, הסתבר כי המידע הבתימטרי החסר וואו הלקוי (הטופוגרפי) בקטע הצפוני הביא לתוצאות בלתי קבילות, ולמעשה לא ניתן היה להסיק שום מסקנות על סמך ההרצות הישירות לגבי החופים מצפון לשפך נחל פולג, וחבל כי מגבלות התקציב לא אפשרו לבצע מיפוי משלים בקטע חוף זה כפי שהמלצנו.

1. הוכנו נתוני התשומה למודל SWAN מבחינת אופיני גלים (משך סערה, זמן מחזור שיא, גובה גל משמעותי, כיוון גלים, עוצמת וכיוון זרם גיאוסטרופי, עוצמת וכיוון רוח ומפלס הים) לכל אחד מ-4 התרחישים שנבדקו. בפועל החלטנו והוספנו גם הרצות לגבי תרחישים של אירועים עם תקופות חזרה ממוצעת של 10 שנים, של 5 שנים ושל שנה, ובסה"כ נבדקו 10 תרחישים, ראה טבלה מס' 3.

טבלה מס' 3 – רשימת התרחישים שנבחנו במודל SWAN (אופייני הגלים נתונים במים עמוקים)

מהירות רוח V	רום מפלס פני הים במצב שקט	משך המצב	זמן מחזור שיא ספקטרלי T_p	גובה גל המשמעותי במים עמוקים $H_{mo,o}$	תקופת חזרה ממוצעת TR
[מ/שני]	[מטר]	[שעות]	[שני]	[מטר]	[שנים]
10	0.0	13.1	11.5	4.80	1
10	0.0	10.4	13.0	6.15	5
15	+0.1 ; 0.0	10.2	13.5	6.80	10
15	+0.2 ; 0.0	9.5	14.0	7.40	20
20	+0.5 ; 0.0	8.8	15.0	8.20	50
25	+1.0 ; 0.0	4.0	15.5	8.70	100

כל התרחישים בוצעו עבור כיוון התקרבות ממערב (W) במים עמוקים, היות וזה הכיוון עם אורך משב הרוח המרבי עבור החוף הישראלי. עוצמת הרוח הותאמה למצב הים וכיוון הרוח היה ממערב.

לגבי ההרצות במודל SBEACH, הוחלט כי חשוב יותר להבין השוני שין השפעת סערה עם תקופת חזרה פעם בשנה כנגד התוצאות של מצבים נדירים יותר. על כן נבדקו התרחישים המוצגים בטבלה מס' 4. לגבי שני התרחישים השכיחים יותר בוצעה הדמייה רציפה של מהלך סערה ממצב ים עם גובה גלים משמעותי במים עמוקים של 1.0 מ' עד 2.0 מ' ועד חזרה למצב זה לאחר הגעת לשיא הסערה, משכי הסערות נבחרו על סמך סטטיסטיקה של משכי סערות שביצע רוזן (רוזן, 1998). זמני המחזור של מצבי הים חושבו לפי הנחת פרוס ספקטרלי מצורת JONSWAP שהותאמה לחופי ישראל (פרמטר γ עם ערך 2.8) על פי השוואה עם נתוני הגלים שנמדדו במספר סערות גדולות שארעו בעבר. הנחה זאת מביאה למצב מעט יותר מחמיר מבחינת ערכי זמן המחזור. על פי חישובים שביצע נהיר (1983), הקשר בין זמן המחזור שיא לגובה הגל המשמעותי בהנחת פרוס ספקטרלי כנ"ל נתון ע"י המשוואה:

$$T_{p\ EM\ JONSWAP} = 5.25 (H_{mo,o})^{0.5}$$

אופייני הגלים, מפלס הים והרוח ששימשו להרצות במודל SBEACH מוצגים בטבלה מס' 2 להלן.

טבלה מס' 4 – רשימת התרחישים שנבחנו במודל SBEACH (אופייני הגלים הנם במים עמוקים)

מהירות רוח V	רום מפלס פני הים במצב שקט	משך הסערה	זמן מחזור שיא ספקטרלי T_p	גובה גל המשמעותי במים עמוקים $H_{mo,o}$	תקופת חזרה ממוצעת TR
[מ/שני]	[מטר]	[שעות]	[שני]	[מטר]	[שנים]
15	0.0	1 < 73 מ'	12.5	4.80	1
15	+0.2 ; 0.0	1 < 73 מ'	12.5	7.40	20
20	+0.5 ; 0.0	2 < 80 מ'	15.5	8.20	50
25	+1.0 ; 0.0	2 < 84 מ'	15.9	8.70	100

לגבי הסערות עם תקופת חזרה של 20 שנה ושל 1 שנה, נעזרו ברישומים של כמה סערות מדודות על מנת לאפיין הסערה הסינטטית. התרחישים לסערות עם תקופת חזרה של 50 ו-100 שנה בוצעו עבור כיוון התקרבות ממערב (W) במים עמוקים, היות וזה הכיוון עם אורך משב הרוח הגדול ביותר. בתרחישים לסערות עם תקופת חזרה של 20 שנה ושל 1 שנה כיוון הגלים היה בהתאם לנתונים שנמדדו בפועל. עוצמת הרוח הותאמה למצב הים וכיוון הרוח היה ממערב וקבועה.

בפועל בוצעו עם כן הדמיות במודל SWAN לאורך 33 ק"מ באזור המרכז (מדרום בת-ים עד שפך נחל פולג), וב-32 פרופילים במודל SBEACH, ובאזור הדרום בוצעו הדמיות במודל SWAN לאורך 24 ק"מ חוף (מקצא"א ועד מרינה אשדוד) וב-24 פרופילים במודל SBEACH. באזור נתניה עד חדרה בוצעו ההרצות לאורך כ-30 ק"מ אך לאחר קבלת התוצאות הוחלט לפסול אותן מכיוון שהיה ברור כי התוצאות לא אמינות ולא סבירות ונגרמו על ידי האיכות הלא טובה של נתוני העומקים בתחום הרדוד ושל החוף והמצוק.

ז. תוצאות הרצות התרחישים כמו גם מידת הגריעה במצוק לאורך מקטעי החוף, בשילוב המידע הגיאולוגי לגבי חוזק המצוק באותו קטע ממידע שיספק המכון הגיאולוגי, יאפשרו לכמת ולדרג את מידת הפגיעות, ההרס והנסיגה של המצוקים במקטעי החוף הני"ל.

ח. לאור הממצאים נבחנו בשלב ב' פתרונות פיזיים ימיים/חופיים שעשויים לספק מיגון לחופי המצוקים. במקור הוצע על ידנו לבחון שני פתרונות, האחד של שוברי גלים מטובעים מול האזורים הפגיעים ביותר, השני ע"י רכס מלאכותי לכל אורך מקטע החוף שניזוק ביותר. עבור כל אחד מהפתרונות, צריך היה לתקן את סריג העומקים לכל אחד מקטעי החוף, מיקום ומידות אמצעי המיגון נקבעו ע"י חי"א"ל. מינהלת הפרויקט ביקשנו לבדוק גם חלופות של שוברי גלים מנותקים קרובים לחוף משולב בהזנה מלאכותית, שהוצע ע"י אינג' שטדלר לחופי נתניה, אך לאחר בחינת התכנית המוצעת, היה ברור שלא ניתן לבצע בדיקה כזאת בכלים שנבחרו למחקר. זאת מכיוון שהנתונים הבתימטריים באזור נתניה לא טובים ובגלל ששוברי הגלים המנותקים הוצבו מאד קרוב לחוף. במצב זה גורם חשוב להדמיה נכונה של השתנות הגלים הוא דימוי טוב של תופעת פיזור הגלים בצד המוצל של שוברי הגלים המנותקים, דבר שלא ניתן לבצע הרמת אמינות סבירה מאחר שמודל SWAN לא כולל הדמייה ישירה של תופעת פיזור הגלים, אלא הדמייה עקיפה ע"י שימוש בספקטרום גלים כיווני. כאשר התחום לבדיקה קצר ביחס לאורך הגל השולט, הדמיית פיזור הגלים ליד שוברי הגלים והחוף הקרוב אינה טובה בשיטה זאת. בפועל, בוצעו בדיקות עבור 8 חלופות מיגון רק באזור שבין הרצליה לשפך נחל פולג בתרחיש עתידי אחד של סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה במצב מפלס הים הנוכחי, ורק חלופה אחת (מס' 9) שדומה לחלופה 8 נבדקה עבור חופי אשקלון-אשדוד ורק לתרחיש של סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה וסערה עם תקופת חזרה של שנה אחת. לאור התוצאות הבלתי מספקות בחלופות הראשונות (1 עד 6) שהתבססו על הדמיית שרטון מלאכותי מטובע או שובר גלים מטובע עשוי מקסונים מבטון, המחבר הראשון בחר לבדוק עוד מספר חלופות (7 עד 9), שבתוכן נמצאה חלופה אחת שנראית כבעלת פוטנציאל מצוין לשמש כחלופת מיגון לקטעים של חופי מצוקים בעלי סיכון פגיעות גבוהה.

ט. על בסיס הממצאים לגבי חמשת מקטעי חופי המצוקים וכן על פי האומדנים הגיאולוגיים והגיאוטכניים שהכינו הצוות הגיאולוגי והאוטכני, הוכנה הערכה מבחינת הנדסת חופים של פגיעות חופי המצוקים ביתר מקטעי חופי המצוקים שלא נבדקו במודלים.

שלב ב' - השתתפות בהכנת סעיף 3 של תכנית הפרויקט.

הפעילות בסעיף זה בוצע במהלך המחקר ותמשיך להתבצע יחד עם יתר חברי צוות הפרויקט, בבחינת חלופות להתמודדות עם הרס המצוק ושיטות למזעור הסיכון במושגים של עלות-תועלת. כמו כן, השתתפות בפיתוח קריטריונים לסדרי עדיפויות ליישום אמצעים למזעור הסיכון והנזק וחלוקת העלות בין השלטון המרכזי, המקומי והפרטי.

שלב ג' - חי"א"ל ישתתף בהכנת הפרקים הרלוונטיים בדוח המסכם של מסמך המדיניות

הפעילות בסעיף זה כוללת ישתתף בהכנת הפרקים הרלוונטיים בדוח המסכם של מסמך המדיניות גיבוש קווים למדיניות כוללת בנושא והמלצות לסדרי פעולה והתנהלות ממשלתית.

3. נתוני רקע כתשומה למחקר

3.1 אקלים מפלסי הים הקיים

רום מפלס הים, הפך לעניין מרכזי בעשור האחרון בשל עליית המודעות לתופעת החממה הגורמת להתחממות כדה"א, וכתוצאה מכך גם לתחזית עלייה ברום מפלס פני הים העולמי הממוצע (המפלס האאוסטטי).

בישראל נעשו מדידות של גובה מפלס הים עוד מתקופת המנדט הבריטי, ולאחר הקמת המדינה בנמל יפו ע"י משרד הבנוי (ובזמן מאוחר יותר ע"י מפ"י) אך רק משנת 1965 ניתן למצוא נתונים שעתיים רציפים של גובה מפלס הים שנמדדו בנמל אשדוד ע"י יחידת סקר החופים של רשות הנמלים בעזרת מד מפלס מכני עם רישום נייר. מדידות אלה ועיבודם נמשכו ברציפות בנמל אשדוד עד 1985, כאשר פורקה יחידת הסקרים של רשות הנמלים. המדידות נמשכו ע"י השרות המטאורולוגי עבור רשות הנמלים, והנתונים שנרשמו על גלילי נייר הועברו לאכסון ברני"ר אך לא עובדו, ובמועד לא ידוע לקראת סוף המאה העשרים הושמדו עקב טעות גלילי הנייר. ב-1991 החל מפ"י לטפל במד המפלס באשדוד, אך הנתונים לא עובדו לערכים שעתיים אלא לנתונים מרביים ומזעריים יומיים. באמצע שנות התשעים החל מפ"י למדוד המפלס באשדוד בציוד ספרתי וכך גם בתחנות חדשות בתל-אביב בתוך מרינה תל אביב ובאשקלון וחיפה. מדידה שיטתית ומדויקת של מפלס הים החלה להתבצע ע"י חיא"ל בפברואר 1992 בקצה מזרח הפחם בחדרה, ומאז 2004 גם בנמל אשדוד. בתחנת המעקב בחדרה מבוצע מעקב מסודר אחר מפלס הים ע"י חיא"ל בעזרת תחנת מעקב מתוחכמת שמוצבת בקצה מזרח הפחם בחדרה שמהווה תחנה ראשית ברשת המעקב העולמית אחר מפלס הים (GLOSS) שהוקמה ע"י הועדה הבינממשלתית לאוקיאנוגרפיה של UNESCO.

שינויים במפלס הים נגרמים משני סוגי גורמים:

(א) גורמים אסטרונומיים היוצרים את תופעת מועדי-הים (הגאות והשפל) עקב השפעת כוחות המשיכה של גורמי השמים כלפי כדור הארץ.

(ב) גורמים סביבתיים (טמפרטורה, רוח, לחץ אטמוספרי, גלים, זרמים, תנועות קרקע, וכד').

מועדי הים מאופיינים ע"י מחזוריות חצי-יומית ודו-שבועית ועונתית. טווח מועדי הים השכיח משתנה בין כ-0.4 מ' במועדי-ים במולד ובמלא (spring tide) וכ-0.15 מ' במועדי-ים ברבעים (neap tide). מפלסי ים קיצוניים יכולים להתרחש בשילוב עם מצבים מטאורולוגיים קיצוניים. טווח השינויים בין אביב לסתיו במפלס הים הממוצע הינו כ-15 עד 20 ס"מ, כאשר המפלסים הנמוכים מתרחשים באביב (פברואר-מרץ) והמפלסים הגבוהים בסוף הקיץ (אוגוסט-ספטמבר), עם שיא נוסף בנובמבר-דצמבר.

תחזית עליית מפלס הים העולמי הממוצעת, בהשפעת תופעת החממה הנה (נכון ל-2007) על פי הדו"ח האחרון מפברואר 2007, של הפאנל הבינממשלתי לבחינת שינוי האקלים (IPCC) שהוקם ע"י גופי האו"ם, של כ-18 ס"מ לשנת 2030 וכ-70 ס"מ לשנת 2100. מספרים אלה לא כוללים השפעות שונות שלא נלקחו בחשבון, שעלולות לשנות המספרים הני"ל, ולכך נתייחס ביתר פרוט בהמשך. יחד עם זאת, מקובל על מרבית החוקרים בעולם, כי השינויים היחסיים המקומיים עלולים להיות שונים מאזור אחד למשנהו על פני כדור הארץ, עקב תנועת היבשות ועקב כוח משיכה לא אחיד על פני כדור הארץ.

על סמך ניתוח של 19 שנות נתוני מפלס ים שעתיים מאשדוד (1966-1984) שסופרו ונותחו בשיטת הניתוח ההרמוני שאפשרה הפרדת החלק האסטרונומי והחלק המטאורולוגי וגם איתור וניקוי שגיאות ברישום המדידות, בלנק ורוזן (1998) חישובו כי רום פני ים הממוצעים (MSL) הינו 8.1 ס"מ מעל אפס האיזון הארצי, רום פני ים גבוהים (MHW) הינו 23.2 ס"מ מעל אפס האיזון הארצי, ורום פני ים נמוכים (MLW) הינו 6.5 ס"מ מתחת לאפס האיזון הארצי.

אמדן של מפלסי ים קיצוניים על בסיס 30 שנים של מפלסי ים מוצג בטבלה מס' 5 להלן. האומדן לא כולל את השפעת שינוי האקלים שנתייחס אליה בהמשך. ערכים נוספים שחישוב המחבר הראשון על סמך נתונים שעתיים רציפים מאשדוד במשך 19 שנה מוצגים בטבלה מס' 6

טבלה מס' 5 – מפלסי ים קיצוניים (ללא השפעת שינוי האקלים ועליית מפלס הים עקב כך)

מפלס ים גבוהה [מ']	מפלס ים נמוך [מ']	תקופת חזרה ממוצעת [שנים]
0.64	-0.38	1
1.04	-0.74	50
1.10	-0.87	100

הערה: המפלסים מיוחסים לאפס האיזון הארצי בישראל.

טבלה 6. נתונים על מפלסי ים בהתבסס על ערכי מדידות מפלסי שעתיות בנמל אשדוד במשך 19 שנה והפרדתם למועדי ים ולתרומות מטאורולוגיות (ביחס לאפס האיזון הארצי)

תקופה 1966-1984		
GMT 14:00-ב 22/12/1967	93.0	רום מפלס ים מירבי שעותי (ס"מ)
GMT 06:00-ב 09/01/1977	-53.0	רום מפלס ים מזערי שעותי (ס"מ)
GMT 11:00-ב 07/08/1967	44.5	מועד ים מרבי ב-19 שנה HAT (ס"מ)
GMT 04:00-ב 04/03/1976	-36.4	מועד ים מזערי ב-19 שנה LAT (ס"מ)
GMT 21:00-ב 22/12/1967	70.7	תרומת נד רוח מרבי (ס"מ)
GMT 07:00-ב 15/12/1971	-42.9	הנמכת מפלס ים מרבית עקב רוח (ס"מ)

3.2 משטר הגלים הקיים

א. הגדרת מונחים ואפיוני גלים

ניתן לסווג את גלי הרוח לשלוש קבוצות, על פי טווח הזמן בו מעוניינים לבחון את השפעות הגלים: (א) טווח זמן קצר, (ב) טווח זמן ארוך ו-(ג) טווח זמן קיצוני. בטווח הזמן הקצר עוקבים אחר הקשרים בין הגלים השונים המתקיימים במשך זמן קצר, ע"י בחינת הקשרים בין הפרמטרים המאפיינים כל מצב ים בטווח זמן קצר. השתנות פרמטרים אלה במשך ימים, חודשים ושנתית נתונה ע"י אפיון מצב הים לטווח זמן ארוך, והשתנות פרמטרים אלה בטווחי זמן של שנים רבות עד מאות (ואפילו אלפי שנים ניתנת ע"י האפיון לטווח זמן קיצוני).

ב. אופייני גלים לטווח זמן קצר ואיפיונם למימי החופין של ישראל בים התיכון

טווח הזמן הקצר מתאר את הקשרים בין גלים שונים במשך זמן קצר בסדר גודל של דקות עד שעות בודדות, בהם ניתן לראות את מצב הגלים בים (מצב הים) כאילו היה תמידי (quasi-stationary). במצב זה ניתן להתייחס לתכונות הגלים ולקשרים בין הגלים הבודדים. ניתן להראות שבבחינה סטטיסטית דטרמיניסטית, גובה הגלים השונים עוקב אחר פרוס Rayleigh הקושר בין גובהי הגלים השונים על פי הסתברות הופעתם. לפיכך, מספיקה ידיעת ערך גובה הגל הממוצע ומספר הגלים במשך מצב ים תמידי-כביכול על מנת לחשב את גובה הגל בעל הסתברות הופעה כלשהיא. אולם, מקובל להשתמש בגובה גל אחר הקרוי גובה גל משמעותי (significant wave height) המייצג את גובה הגל השקול לגובה ממוצע שליש הגלים הגבוהים במצב ים תמידי כביכול נתון. מקובל לסמן גובה זה בסימון H_s או $H_{1/3}$.

לפי פרוס ראילי, התפלגות גובהי הגלים במצב תמידי כביכול נתונה ע"י הנוסחה:

$$R(H) = 1 - \exp\left(-2\left(\frac{H}{H_s}\right)^2\right) \quad [1]$$

כאשר $R(H)$ הינה ההסתברות של אי-התהוות גל העולה על גובה H נתון, ו- H_s הוא גובה הגל המשמעותי. על בסיס פרוס זה ניתן להראות כי עבור מצב ים נתון המאופיין ע"י H_s מסוים, גובה הגל המרבי תלוי ב- H_s ובמספר הגלים N באותו מצב ים תמידי כביכול ונתון בקרוב ע"י הנוסחה:

$$H_{\max} = H_s \sqrt{\frac{\ln N}{2}} \quad [2]$$

במציאות פני הים הרגועים אינם מוגדרים על-ידי גל בודד, אלא ע"י תערובת של גלים שונים. פני הים במצב זה יוצרים מצב ים אקראי הניתן לתיאור מקורב ע"י סופרפוזיציה של אינסוף גלים בעלי גבהים אינפיניטסימליים ובעלי זמני מחזור שונים והנעים בכיוונים שונים. לפיכך, דרך אחרת של אפיון מצב ים כלשהו הינה ע"י התיאור הספקטרי, במישור התדר, בניגוד לתיאור הקודם שהיה במישור הזמן. ספקטרום אנרגיית הגלים מתאר את התפלגות אנרגיית הגלים על פי תדירויות הגלים (התדירות היא אחד חלקי זמן המחזור), וכיווני ההתקדמות של הגלים. מרבית התכונות הסטטיסטיות של פני הים ניתנים לתיאור ע"י ספקטרום הגלים והמומנטים שלו, כאשר המומנט מסדר ה- n שלו נתון ע"י הנוסחה:

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(\varphi) df \quad [3]$$

צורת ספקטרום הגלים יכולה לשמש לאפיון הגלים. המאפיינים המקובלים הינם גובה הגל המשמעותי (characteristic wave height) שמקובל לסמנו בסימון H_{m0} , וזהה בקרוב טוב מאד לגובה הגל המשמעותי (לא במים רדודים - ראה בהמשך), זמן מחזור שיא הספקטרום (זמן המחזור של הגלים בעלי עיקר האנרגיה באותו מצב ים), וכיוון הממוצע של הגלים. גובה הגל המשמעותי ניתנת לחישוב ע"י הנוסחה:

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad [4]$$

כאשר m_0 הוא המומנט מסדר 0 של הספקטרום. זמן המחזור הממוצע T_{02} נתון בניתוח ספקטרי בקרוב ע"י הנוסחה:

$$T_{02} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad [5]$$

קיימות מספר צורות הספקטרליות המקובלות לתיאור גלי הרוח מבחינה אנרגטית, אך שתי הצורות המקובלות ביותר לתיאור גלי הרוח הינם צורת פירוס Pierson-Moscovitz, המקובלת לתיאור מצב של ים מפותח מלא וצורת JONSWAP המאפיינת בעיקר מצבי סערה, בעיקר בקרבת חופים. צורות אלה מוצגות בציר מס' 1.

ספקטרום הגלים $S(f)$ לפי פרוס Pierson-Moscovitz נתון לפי הנוסחה דלהן:

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-0.74\left(\frac{g}{2\pi U}\right)^4 f^{-4}\right] \quad [6]$$

כאשר f הוא תדר הגל, g היא תאוצת הכובד, U מהירות הרוח, ו- α הוא הקבוע של Phillips ושוה ל- 8.1×10^{-3} ספקטרום הגלים $S(f)$ לפי פרוס JONSWAP נתון לפי הנוסחה דלהן:

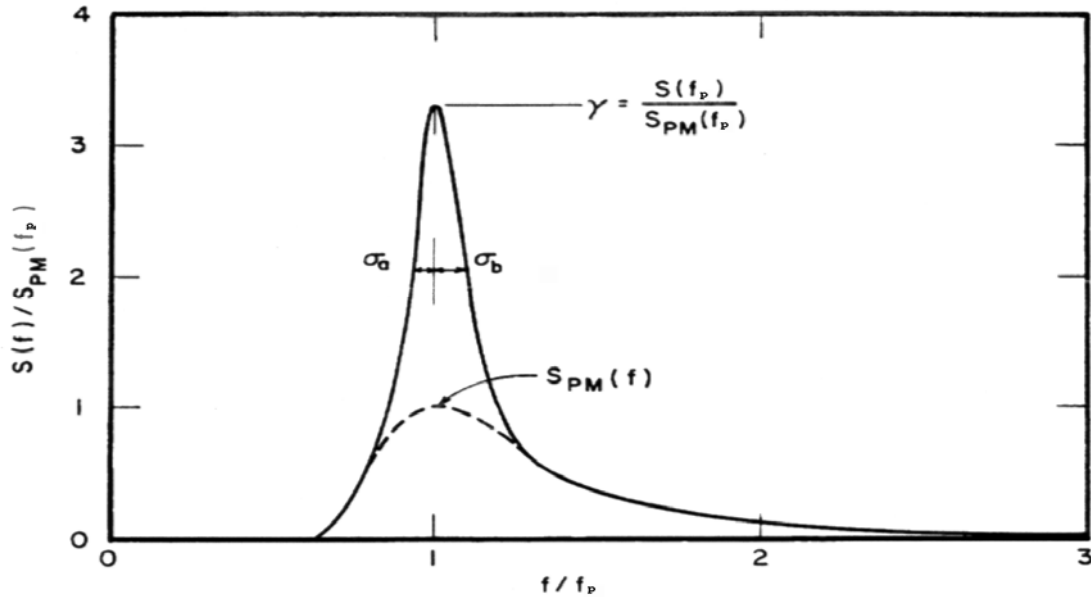
$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4}\right] \gamma \exp\left[-\frac{(f-f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2}\right] \quad [7]$$

כאשר f_p הוא תדר שיא הספקטרום, α הוא הקבוע של Phillips אך נתון כעת כתלות באורך משב הרוח F ע"י הנוסחה:

$$\alpha = 0.66 \left(gF/U^2\right)^{-0.22} \quad [8]$$

γ הוא יחס הערך המרבי של שיא הספקטרום ביחס לשיא הספקטרום בפרוס Pierson-Moscovitz ו- σ מוגדר ע"י:

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_a = 0.07 & \text{for } f \leq f_p \\ \sigma_b = 0.09 & \text{for } f > f_p \end{cases} \quad [9]$$



ציור מס' 3 - השוואה בין ספקטרום JONSWAP וספקטרום Pierson-Moscovitz

על פי ניתוחים של מדידות גלים בחופי ישראל באשדוד, חדרה וחיפה, נמצא כי פרוס ראיילי טופס בדרך כלל עבור הגלים שנמדדו ולכן כל עוד המדובר בגלים בתחום מים עמוקים או תחום ביניים ניתן להשתמש בהנחת פרוס ראיילי לתיאור הקשר בין הגלים של מצב ים נתון. כמו כן נמצא כי הצורות הספקטרליות יכולות להיות שונות במידה משמעותית מהצורה בעלת שיא יחיד של פירסון-מוסקוביץ, ובמקרים לא מעטים התקבלו ספקטרה עם יותר משיא אחד, דבר שהצביע על שילוב של יותר ממערכת גלים אחת (למשל גלי רוח מקומיים יחד עם גלי גיבוע או שתי מערכות גלים הנעות בכיוונים ממוצעים שונים). בחינה של ספקטרה בזמן מספר סערות גדולות יחסית הצביע על צורה ספקטרלית הקרובה יותר לצורת JONSWAP, אך עם פרמטר γ קטן יותר. יחד עם זאת, לא קיים ככל הידוע לנו ניתוח סטטיסטי מקיף של אופייני הצורות הספקטרליות בחוף הישראלי בים התיכון על פי רמות אנרגיית הגלים והעונתיות.

כמו כן, עדיין לא בוצע מחקר סטטיסטי לבחינת הספקטרום הכיווני של גלי הים בחוף הישראלי, מאחר שאמצעי המדידה היו מבוססים על מדידה בנקודה אחת, דבר שלמעשה לא מאפשר תיאור מהימן של הספקטרום הכיווני של הגלים אלא רק את הכיוון העיקרי, הכיוון הממוצע והתחום ממנו מתקרבים הגלים בעלי זמני מחזור שונים.

באולם מקובל להשתמש בתיאור ההתפלגות הכיוונית של הגלים בים במים עמוקים בהתבסס על הקשר המתואר בנוסחה הבאה:

$$S(f, \theta) = S(f) \cdot G(f, \theta) \quad [10]$$

כאשר $G(f, \theta)$ הינה פונקציה של הפיזור הכיווני. הצורה המקובלת כיום כמתארת בקרוב טוב את ההתפלגות הכיוונית של הגלים לטווח זמן קצר היא הנוסחה שהוצעה ע"י Mitsuyasu והמוצגת להלן:

$$G(f, \theta) = C(s) \cos^{2s} \left[\frac{1}{2} (\theta - \bar{\theta}) \right] \quad [11]$$

כאשר θ הוא כיוון גל כלשהו ביחס לכיוון הממוצע ו- $\bar{\theta}$ הוא הכיוון הממוצע ושה לאפס ו- $C(s)$ היא פונקציה נירמול הנתונה ע"י הנוסחה:

$$C(s) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\Gamma(s+1)}{\Gamma(s+0.5)} \quad [12]$$

כאשר Γ היא הפונקציה גאמה.

ג. אופייני גלים לטווח זמן ארוך

לטווח זמן ארוך אקלים הגלים מאופיין ע"י פונקציית ההסתברות המשותפת של הגובה המשמעותי של הגלים, זמן המחזור של שיא הספקטרום או זמן המחזור הממוצע וכיוון הגלים הממוצע או של הגלים בשיא הספקטרום.

ניתוחים של מדידות גלים בעולם וגם בחופי ישראל הראו כי ההתפלגות של גובהי הגלים לטווח זמן ארוך ניתן בקרוב טוב ע"י הנחת פרוס Weibull המתואר ע"י הנוסחה הבאה:

$$P(H_s) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{H_s - H_o}{H_c - H_o} \right)^\beta \right] \quad [13]$$

כאשר H_o , H_c ו- β הם פרמטרים שנקבעים על בסיס נתוני הגלים באתר כלשהו.

בסיס המידע על אופייני הגלים בחוף הישראלי הוא בנק נתוני הגלים שנמדדו בחופי ישראל מאז שנות החמישים המצוי בחקר ימים ואגמים לישראל. עיקר המידע לטווח זמן ארוך מבוסס על מדידות גלים שבוצעו בחוף אשדוד מאז 1958, ובמשך תקופות קצרות יותר בחופי אשקלון, תל-אביב, חדרה וחיפה. כמו כן קיימות סטטיסטיקות של אופייני הגלים כפי שנמדדו מספינות ועובדו ע"י הצי האמריקאי בים התיכון, ששימשו לאימות מידע.

באפיון משטר הגלים בחוף הים הישראלי לא נעשה שימוש בבסיסי נתונים משני המקורות האחרונים, אלא בעיקר על בסיס נתוני הגלים הכיווניים מחיפה, מחדרה מתל ברוד ומאשדוד מאז 1992, ולאפיונים מצבי ים קיצוניים גם על הנתונים הישנים יותר מאשדוד וחדרה.

ד. משטר הגלים לטווח זמן ארוך בחופי ישראל בים התיכון

משטר הגלים בחופי ישראל בים התיכון במים עמוקים מוצג בטבלאות שכיחות משותפת בנפרד על בסיס נתוני אשדוד בחלוקה שנתית ועונתית. יצוין כי מאחר ובסיס נתוני הגלים מאשדוד הוא הגדול ביותר הן לנתוני גלים כיווניים וכן לנתונים במשך זמן ארוך, ראוי להשתמש בבסיס נתוני הגלים מאשדוד כל עוד לא משתמשים בכיווני הגלים. השוני בין אזור אשדוד ואזורים צפוניים יותר מתבטא בעיקר בשינוי כיוון כפי שהוסבר מקודם, שהינו כ-10 עד 15 מעלות מערבי יותר ככל שמצפינים בזמן מצבי ים שקטים עד כ-5 מ', וקטן לכדי 3 עד 5 מעלות בזמן סערות חזקות מערביות עם גלים מעל 5 מ' גובה משמעותי בים עמוק. חלק מהנתונים מוצג גם באופן גרפי להמחשה. להלן רשימה של הנתונים המוצגים בטבלאות ובגרפים:

בהכללה ניתן לומר כי משטר הגלים הבו-זמני לאורך החופים די אחיד מבחינת גובה גל משמעותי וזמן מחזור שיא הספקטרום, כאשר מדובר בגלים מעל 2 מ' גובה משמעותי. במצבי ים שקטים יותר ישנו לעיתים שוני בגלל מצבי רוחות מקומיות. במצבים כאלה יש השפעה ניכרת של הבריזה על כיוון ועוצמת הגלים במשך היממה. תופעה היוצרת שוני דווקא במצבי ים שקטים מתרחשת בסוף הסתיו כאשר באזור מפרץ חיפה נושבות רוחות מזרחיות, תופעה שכמעט שאינה מורגשת במקומות אחרים. בזמן נשיבת הרוחות המזרחיות עולה גובה הגלים ככל שמתרחקים מהחוף. מאידך, בזמן מצבי סערה ישנו גידול קטן בגובה הגל המשמעותי במים עמוקים ככל שמצפינים לאורך החוף הישראלי. מבחינת כיוון הגלים, הרי שהוא משתנה במים עמוקים מדרום לצפון לאורך החוף כמוסבר לעיל.

על בסיס המידע הנ"ל ניתן לסכם את אקלים הגלים לטווח ארוך כלהלן:

שכיחות ממוצעת של גלים משמעותיים במים עמוקים מול אשדוד (על בסיס תקופת 1958-1975):

מצבי ים נמוכים (פחות מ-1 מ')	50% מהזמן
מצבי ים מתונים (בין 1 מ' ו-2 מ')	25% מהזמן
מצבי ים חזקים (בין 2 מ' ו-4 מ')	20% מהזמן
מצבי ים גבוהים (מעל 4 מ')	5% מהזמן

שכיחות ממוצעת של גלים משמעותיים במים עמוקים מול אשדוד (על בסיס תקופת 1992-1998):

מצבי ים נמוכים (פחות מ-1 מ')	72.4% מהזמן
מצבי ים מתונים (בין 1 מ' ו-2 מ')	21.0% מהזמן
מצבי ים חזקים (בין 2 מ' ו-4 מ')	5.86% מהזמן
מצבי ים גבוהים (מעל 4 מ')	~0.5% מהזמן

שכיחות ממוצעת של גלים משמעותיים במים עמוקים מול חדרה (על בסיס תקופת 1992-1998):

מצבי ים נמוכים (פחות מ-1 מ')	~76.4% מהזמן
מצבי ים מתונים (בין 1 מ' ו-2 מ')	17.3% מהזמן
מצבי ים חזקים (בין 2 מ' ו-4 מ')	~5.6% מהזמן
מצבי ים גבוהים (מעל 4 מ')	~0.6% מהזמן

שכיחות ממוצעת של גלים משמעותיים במים עמוקים מול חיפה (על בסיס תקופת 1994-1998):

מצבי ים נמוכים (פחות מ-1 מ')	~70.9% מהזמן
מצבי ים מתונים (בין 1 מ' ו-2 מ')	22.1% מהזמן
מצבי ים חזקים (בין 2 מ' ו-4 מ')	~6.4% מהזמן
מצבי ים גבוהים (מעל 4 מ')	~0.9% מהזמן

במצבי ים חזקים עד גבוהים (עד כ-6 מ' גובה משמעותי באשדוד) ישנו גידול אחיד בגובה הגל המשמעותי לאורך החוף מאשקלון עד ראש הנקרה, עקב גידול באורך משב הרוח ושל הסתרת כיווני גלים מסוימים ע"י חופי לוב ומצרים. שלושת הסערות הגדולות ביותר (כנראה) הידועות אירעו ב-13.1.1968, ב-04.2.1992 וב-21.2.2001 (האחרונה לא נכללה בסטטיסטיקה הנ"ל), כאשר שתי הראשונות הגיעו עד ערך של כ-7.2 מ' והאחרונה הגיעה לערך של כ-7.8 מ' גובה גל משמעותי במים עמוקים.

התפלגות כיווני הגלים בשנה ממוצעת:

בכל מצבי הים המתונים, החזקים והגבוהים הגלים מתקרבים מתחום הכיוונים מערב-דרום מערב עד צפון-צפון מערב דרך מערב.

הגלים הגבוהים ביותר מתקרבים ממערב, אך התהליך ההתפתחות והדעיכה של הסערות מתרחשת לרוב ע"י התקרבות התחלתית ממערב-דרום מערב התעצמות עם שינוי כיוון ממערב ודעיכה עם שינוי כיוון מצפון-מערב.

אלמנט חשוב של אקלים הגלים בחוף הישראלי במים עמוקים היא העובדה כי כיווני הגלים במים עמוקים אינם אחידים בו-זמנית לאורך כל החוף הישראלי, אלא בדרך כלל נמצא שינוי בכיוון הגלים ככל שמתקדמים צפונה לאורך החוף, כאשר הגלים מסתובבים יותר לכיוון מערב מאשר באזורים דרומיים יותר. השוני בין הכיוון באשדוד וחדרה יכול להיות כ-10 מעלות ובחיפה מגיע עד 15 עד 17 מעלות. ככל שגובה הגלים המשמעותיים במים עמוקים גבוהה יותר, השוני בין האזימוטים של כיווני הגלים לאורך החוף קטן אך נותר סופי (כ-5 מעלות בין אשקלון לנהריה).

זמני מחזור שיא של ספקטרום הגלים

זמני המחזור של שיא הספקטרום של גלי הרוח (המציינים את זמני המחזור בהם מרוכזת עיקר האנרגיה של הגלים) הינם בין 3 ל-15 שניות. בעת מצבי ים גבוהים תחום זמני המחזור של שיא הספקטרום של הגלים הינם בין 10 עד 13 שניות, ובסערות החזקות ביותר זמני מחזור אלה יכולים להיות בין 12 עד 15 שניות. ככל שזמני המחזור גדולים יותר כך גדל אורך הגל האופייני (השווה במים עמוקים בקרוב, מדוד במטרים ל-1.56 כפול ריבוע זמן המחזור). ככל שאורך הגל גדול יותר, השפעתו מתחילה להיות מורגשת בקרקעית מעומק רב יותר, עומק השווה למחצית אורך הגל, שמגדיר את גבול המים העמוקים.

ה. משטר הגלים במצבים נדירים (קיצוניים)

שכיחות הופעתם של מצבי ים קיצוניים נמדדת ע"י תקופת החזרה הממוצעת של מצב ים בעל גובה משמעותי נתון במים עמוקים. קיימות באופן עקרוני שלוש שיטות שונות לאומדן מצבי ים קיצוניים: (א) ע"י שימוש בסדרה רצופה של לפחות 10 שנים של גובהי גל משמעותיים מרביים שנתיים תוך הנחת פונקציות הסתברות של ערכים קיצוניים כגון Asymptote I, Asymptote III או log-normal, (ב) ע"י שימוש בסדרה רצופה במרווחי זמן קבועים לאורך שנים כגון ערכים יומיים מרביים או ערכים תלת-שעתיים של גובה הגל המשמעותי בשילוב מספר האירועים הממוצע השנתי של כל אחד ממצבים אלה, (ג) ע"י שימוש בכל נתוני הגלים בסדרה רציפה של מדידות במרווחי זמן קבועים תוך שימוש בפונקציות הסתברות מצטברת (פרוס אקספוננציאלי, Weibull, log-normal) ע"י ביטוי תקופת הזמן בשנים. כפי שהראו רוזן וקיט (1981) פרוס Gumbel, המהווה מקרה פרטי של פרוס Asymptote I נתן ערכים שמהווים גבול עליון של תחזיות על-פי פרוסים אחרים.

יצוין כי אמינות האומדן של תקופת החזרה של מצבי ים קיצוניים (נדירים) תלויה בראש וראשונה באורך סדרת הזמן הרציפה (מספר השנים הרצופות של נתונים), ובדרך כלל האמינות יורדת כאשר התחזית עולה על פעמיים משך תקופת הנתונים. לכן תחזית לפי פרוס Gumbel מומלץ במקרה של תקופת חזרה ממוצעת במצבים מאד נדירים של מעל 50 שנים.

אומדן של סטטיסטיקת מצבי ים קיצוניים הוצג ע"י רוזן וקייט – (טבלה מס' 7) . מאחר ומאז נאספו נתונים נוספים בוצע ניסיון לאומדן חדש, אשר בדיעבד הופסק לאחר שהתברר כי חורים בנתוני הגלים בתקופה שלאחר 1975 אינם מאפשרים בינתיים אומדן טוב יותר. בחיא"ל פועלים כעת לכיסוי חורי המידע הנ"ל בעזרת נתוני מדידות לוונים וחיזוי לאחור בעזרת מודלים סיפריים. בינתיים מוצג להלן אומדן סטטיסטיקת מצבי ים קיצוניים על בסיס הנתונים הישנים מאשדוד. סטטיסטיקה זאת מוגדרת ע"י הערכת תקופת החזרה הממוצעת של מצבי ים שונים המוגדרים על פי גובה הגל המשמעותי המרבי במים עמוקים.

חשיבות תקופת החזרה הממוצעת של מצב ים נובעת מצורכי התכן הבטוח של מבנים ימיים. אם נניח אורך חיים כלכלי של מבנה ימי של 50 שנים, בחירת גל תכן כגל המשמעותי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה לא תבטיח בטיחות המבנה. זאת מאחר שניתן להוכיח שקיים סיכון (risk) של כ-64% של אירוע גל הגבוה מהגל בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה. על מנת להבטיח כי המבנה בטיחותי, מקובל לתכנן מבנים ימיים באחוז סיכון שלא עולה על 10% ובדרך כלל בין 2% עד 5%. במקרה זה, ניתן לחשב את תקופת החזרה הממוצעת של מצב הים שבו הסיכון לא יעלה על רמת הסיכון הנבחרת כלהלן:

$$R(\text{years}) = \frac{1}{1 - (1 - r)^{1/L}} \quad [14]$$

כאשר R היא תקופת החזרה בשנים, r הוא אחוז הסיכון (risk %), ו-L הוא אורך החיים הכלכלי של המבנה מבוטא בשנים.

יצוין כי אמינות האומדן של תקופת החזרה של מצבי ים קיצוניים (נדירים) תלויה בראש וראשונה באורך סדרת הזמן הרציפה (מספר השנים הרצופות של נתונים), ובדרך כלל האמינות יורדת כאשר התחזית עולה על פעמיים משך תקופת הנתונים.

שכיחות הופעתם של מצבי ים קיצוניים נמדדת ע"י תקופת החזרה הממוצעת של מצב ים בעל גובה משמעותי נתון במים עמוקים. בטבלה מס' 7 מוצג אומדן תקופות חזרה ממוצעות שנאמדו ע"י רוזן על בסיס ניתוח נתוני גלים שנתיים משמעותיים מירביים מאשדוד במשך 25 שנה רצופות.

טבלה מס' 7 - תקופות חזרה של מצבי ים קיצוניים בחוף הישראלי (ללא השפעות שינוי האקלים)

תקופת חזרה ממוצעת שנים	גובה גל משמעותי במים עמוקים מטר
1	4.80
2	5.15
5	6.15
6	6.25
10	6.80
15	7.15
20	7.40
50	8.20
100	8.70

1. הערמות גלים וטיפוס גלים (wave setup, wave runup)

כתוצאה מהשתנות אופייני הגלים בהתקדמותם אל החוף הרדוד (גובה ואורך הגל וכיוון התקדמות) הגלים מגיעים בשלב מסוים לאי יציבות ושבירה, ואז נוצרים גלים חדשים קטנים יותר שממשיכים לכיוון החוף עד להתחוות אי יציבות חדשה וכך הלאה עד שכל אנרגיית הגלים מתבזבזת. אם הגלים מתקרבים בניצב לקו החוף וקווי העומק אזי, בתוך תחום הגלים הנשברים, בגלל הצורך בשימור אנרגיה ותנע, נוצרת הערמות במפלס פני הים הממוצעים המקומי, שהולכת וגדלה לכיוון קו המים, ותלויה ישירות בגובה הגל הנשבר. חלק מהאנרגיה של הגלים מאפשרת לגלים לתפס על החוף יבש עד לגובה שבו יוצר איזון בין האנרגיה הקינטית והאנרגיה הפוטנציאלית. גובה זה נקרה גובה טיפוס הגלים (wave runup). חלק מהאנרגיה של הגלים מוחזרת ובמצבים מסוימים הזרימה החוזרת יכולה לגרוע את החול ולהסיע אותו לכיוון ירכתי החוף. כאשר הגלים מתקרבים אלכסונית לקו החוף, חלק משטף התנע הולך ליצירת זרימה מקבילה לחוף הקרויה בהכללה הזרם האורכי (longshore current). עוצמת הזרם עולה ישר עם

גובה הגלים הנשברים ועם הזווית בין כיוון התקרבות הגלים והניצב לקו החוף. זרימה זאת גם היא יכולה להסיע חול ממקום אחד למשנהו.

3.3 משטר הרוחות הקיים

הנתונים המובאים להלן נלקחו ממחקר שבוצע עבור משרד החקלאות (רוזן, 1999). בארץ הרוח נמדדה בעבר ע"י השרות המטאורולוגי שמחזיק את בסיס הנתונים של הרוחות, אך גם ע"י מספר גופים כגון חברת החשמל, חקר ימים ואגמים לישראל, חיל האוויר וחיל הים. שלושת האחרונות התרכזו בעיקר במדידות רוח בקרבת שפת הים או בים. סטטיסטיקות של רוח בחוף הים ובים הוכנו ע"י רוזן ווידה (1978) בקשר לתכנון מזח הפריקה בחדרה. נתונים חדשים נתקבלו מהתחנה בנמל אשדוד, מהתחנה בשדה דב בתל-אביב ומהתחנה מסי 80 ברשת העולמית למעקב אחר שינוי במפלס הים המופעלת ע"י חיא"ל בקצה המזח לפריקת פחם בחדרה, המצויה 2.2 ק"מ בתוך הים (על קו עומק 27- מ'). כל נתוני הרוח מבוססים על מדידה בגובה סטנדרטי של 10 מ' מעל פני הים. הנתונים מאשדוד וחדרה הם ערכים ממוצעים שעתיים, לעומת אלה משדה דב, הכוללים ערכים תלת שעתיים רגעיים. להלן הממצאים של הניתוחים הסטטיסטיים:

שכיחות ממוצעת שנתית של מהירות הרוח:

חוף אשדוד (1958-1971)

רוחות קלות (פחות מ-10 קשר/ש) 18.4%~ מהזמן	רוחות קלות (פחות מ-10 קשר/ש) 18.4%~ מהזמן
רוחות ערות (בין 11 ל-21 קשר/ש) עד 19 קשר/ש 37 קמ"ש	רוחות ערות (בין 11 ל-21 קשר/ש) עד 19 קשר/ש 37 קמ"ש
רוחות חזקות (בין 22 ל-33 קשר/ש) עד 60 קמ"ש	רוחות חזקות (בין 22 ל-33 קשר/ש) עד 60 קמ"ש
רוחות סערה, מעל 33 קשר/ש	רוחות סערה, מעל 33 קשר/ש

חוף אשדוד (1992-1995)

רוחות קלות (פחות מ-10 קשר/ש) 84.3%~ מהזמן	רוחות קלות (פחות מ-10 קשר/ש) 84.3%~ מהזמן
רוחות ערות (בין 11 ל-21 קשר/ש) עד 19 קשר/ש 37 קמ"ש	רוחות ערות (בין 11 ל-21 קשר/ש) עד 19 קשר/ש 37 קמ"ש
רוחות חזקות (בין 22 ל-33 קשר/ש) עד 60 קמ"ש	רוחות חזקות (בין 22 ל-33 קשר/ש) עד 60 קמ"ש
רוחות סערה, מעל 33 קשר/ש	רוחות סערה, מעל 33 קשר/ש

חוף תל-אביב (1971-1997)

רוחות קלות (פחות מ-10 קשר/ש) 79.6%~ מהזמן	רוחות קלות (פחות מ-10 קשר/ש) 79.6%~ מהזמן
רוחות ערות (בין 11 ל-21 קשר/ש) עד 19 קשר/ש 37 קמ"ש	רוחות ערות (בין 11 ל-21 קשר/ש) עד 19 קשר/ש 37 קמ"ש
רוחות חזקות (בין 22 ל-33 קשר/ש) עד 60 קמ"ש	רוחות חזקות (בין 22 ל-33 קשר/ש) עד 60 קמ"ש
רוחות סערה, מעל 33 קשר/ש	רוחות סערה, מעל 33 קשר/ש

בים מול חוף חדרה (1995-1997)

רוחות קלות (פחות מ-10 קשר/ש) 69.8%~ מהזמן	רוחות קלות (פחות מ-10 קשר/ש) 69.8%~ מהזמן
רוחות ערות (בין 11 ל-21 קשר/ש) עד 19 קשר/ש 37 קמ"ש	רוחות ערות (בין 11 ל-21 קשר/ש) עד 19 קשר/ש 37 קמ"ש
רוחות חזקות (בין 22 ל-33 קשר/ש) עד 60 קמ"ש	רוחות חזקות (בין 22 ל-33 קשר/ש) עד 60 קמ"ש
רוחות סערה, מעל 33 קשר/ש	רוחות סערה, מעל 33 קשר/ש

התפלגות כיוונית שנתית של הרוח

חוף אשדוד (1958-1971)

כ-77% מהרוחות הערות נושבות מהכיוונים מערב עד צפון דרך צפון-מערב.
כ-77% מהרוחות החזקות נושבות מהכיוונים דרום-מערב עד מערב דרך מערב-דרום-מערב.

חוף אשדוד (1992-1995)

כ-52% מהרוחות הערות נושבות מהכיוונים מערב עד צפון דרך צפון-מערב.
כ-49% מהרוחות החזקות נושבות מהכיוונים דרום-מערב עד מערב דרך מערב-דרום-מערב.

חוף תל-אביב (1971-1997)

כ-39% מהרוחות הערות נושבות מהכיוונים מערב עד צפון דרך צפון-מערב.
כ-47% מהרוחות החזקות נושבות מהכיוונים דרום-מערב עד מערב דרך מערב-דרום-מערב.

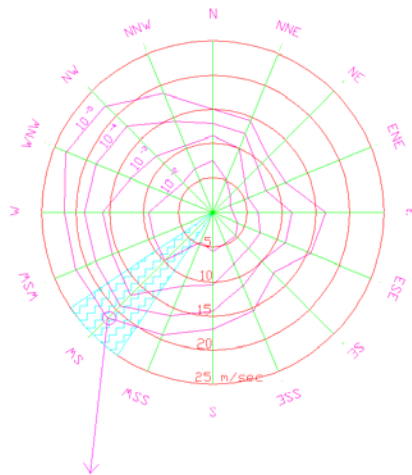
בים מול חוף חדרה (1995-1997)

כ-30% מהרוחות הערות נושבות מהכיוונים מערב עד צפון דרך צפון-מערב
 כ-16% מהרוחות החזקות נושבות מהכיוונים דרום-מערב עד מערב דרך מערב-דרום-מערב.

התפלגות עונתית על בסיס נתוני אשדוד (1958-1971)

כ-94% מהרוחות הערות מתרחשות בין נובמבר עד מרץ ועד בכל,
 כ-60% מהרוחות החזקות מתרחשות בחודשים ינואר ופברואר.

על בסיס ניתוח ההתפלגויות של הרוחות (שאינו מוצג כאן), ניתן לציין כי אקלים הרוחות שנמדדות ביים מצביע על מהירויות רוח גדולות מאלה הנמדדות בחוף, דבר הידוע גם ממחקרים שבוצעו במקומות אחרים בעולם. כמו כן, על בסיס השוואה בין אקלים הרוחות בחדרה ביים, לבין אלה שנמדדו בחוף באתרים יותר דרומיים, ניתן לציין כי בתחנה הימית נמדד תחום רחב יותר של כיווני רוחות חזקות. כמו כן, ראוי להזכיר כי הנתונים מאשדוד ומתל-אביב, שכיסו התקופה מאז פברואר 1992 לא הצביעו על שום רוחות בעלי מהירויות קיצוניות. אף על פי כן, ידוע כי בתקופה 4-6 בפברואר 1992 אירעו מצבים עם מהירות רוח מעל 50 קשר (בתאריך 5.2.1992 המחבר הראשון היה עד על מצב כזה על המזח בחדרה כאשר היו משאבי רוח של מעל 50 קשר, שגם סיכנו אותו עד כדי כך שנאלץ להיצמד לעמוד פלדה וגם קרע את דלת מכוניתו).



הערות:

1. הנקודה המסומנת על קו סגול זה מייצגת מהירות רוח ממוצעת שצפי כי עוצמות רוחות גדולות ממנה תרחשו באחוז הזמן המצוינת (10E5-) מכיוונים בתחום פלח כיווני של 22.5 מעלות, הממוקד בנקודה זאת. עבור הפלח המסומן בצבע תכלת, מהירות הרוח הינה 21.5 מ/שנייה.
 2. קווי ההסתברות של $P(>V)$ במרווח של 22.5 מעלות נתקבלו מתוך ניתוח כל תצפיות וקטורי הרוח שנמדדו בחוף אשדוד ברום 10 מ' מעל פני הקרקע בתקופה 1958-1970, ותואמו בעזרת התפלגות וויבול.
- ציור מס' 4 - סטטיסטיקת רוחות קיצון בחוף אשדוד מערכים שעתיים ממוצעים בתקופה 1958-1970**

3.4 המשטר הסדימנטולוגי – מורפולוגי הקיים בחוף הים התיכון של ישראל

- א. הרצועה החופית של ישראל ביים התיכון מתחלקת לקטע צפוני בין ראש הנקרה לבין עכו ולקטע גדול יותר הנמשך מעכו במפרץ חיפה ועד הגבול עם רצועת עזה בדרום. ניתן לראות בקטע הצפוני קטע חוף נפרד המוזן מחולות מקומיים בלבד. הקטע הדרומי מהווה את קטע הקצה הצפוני של האזור החופי הקרוי "התא החופי של הנילוס". שם זה ניתן מאחר והחופים בתא זה ניזונים עד היום ע"י סדימנטים (חול, וטין) אשר הוסעו ע"י נהר הנילוס לדלתא של הנילוס. בחוף היים הסדימנטים מוסעים ע"י זרמים לאורך ובניצב לחוף, כתלות במשטר הזרמים השורר במקום. בקטע שבין דלתת הנילוס ועד עזה, הסעת הסדימנטים היא בעיקר לאורך החוף מזרחה ולכן גם ההסעה נטו (הסעה מזרחה פחות הסעה מערבה) היא מזרחה. מעזה וצפונה לאורך חופי ישראל בתא החופי של הנילוס, ההסעה נטו (בממוצע על פני טווח זמן ארוך) היא בכיוון כללי צפונה, במקביל לכיוון קו החוף המקומי. ההסעה נטו תלויה בזווית שבין כיוון התקרבות הגלים והניצב לקו החוף המקומי. להלן נתייחס בעיקר להסעת פרקציית החול (הסדימנט הגס יותר, בעל גודל גרגר בין 62 מיקרון (0.062 מ"מ) ועד 2000 מיקרון (2 מ"מ)), כיוון שהחול הוא סוג הסדימנט העיקרי ממנו בנויה הרצועה החופית בין קו עומק 30- מ' בקירוב ועד שפת היים, המצוק החופי והדיונות החופיות.
- ב. הסעת החול לאורך החוף ובניצב לו מתבצעת ע"י פעולה משולבת של רוחות, של גלים ושל זרמים. בקרבת החוף, בתחום רצועת המשברים (מהחוף עד קו עומק 10 מ' בקרוב) ההסעה העיקרית הינה ע"י זרמים

מושרי גלים (זרמים שנוצרים ע"י הגלים במהלך התקרבות אל החוף, החל ממקום שבירתם ועד קו המים). כאשר הגלים מתקרבים אלכסונית לקווי העומק ולקו החוף, נוצרים בתוך רצועת המשברים זרמים שמסיעים את החול שעל קרקעית הים וזה שהורחף ע"י פעולת הערבול של הגלים ומצוי בעמודת המים בכיוון הזרמים, בעיקר לאורך החוף. מדי פעם נוצרים גם זרמים שהם בקירוב ניצבים לקו החוף. הזרמים הניצבים בקרוב נקראים זרמי פריצה, ומסיעים סדימנטים לכיוון הים העמוק, אל מעבר לרצועת המשברים. גם בתחום שמעבר לרצועת המשברים הרחפת החול מתבצעת ע"י הגלים, אך ההסעה של החול שהורחף מתבצעת ע"י זרמים מושרי רוחות (בעיקר בעת סערות חזקות) וכן ע"י הזרימה הכללית, שבקטע חוף זה, הינה רב הזמן מדרום לצפון (כ-70% מהזמן) וכיוונה מקביל לקווי העומק. הזרימה הכללית כוללת את הזרם הגיאוסטרופי שנוצר לאיזון בין כוח קוריאוליס וגרדיאנט הלחץ על פני הים, זרם מושרה רוחות מקומיות (למשל בזמן סערות חזקות) וזרם מושרה מועדי ים, שהינו חלש מאד באזורנו.

ג. בזמן סערות גלים ורוחות, רום פני הים בשפת המים (בחוף) עולה, הן עקב שבירת הגלים והן עקב כיוון נשיבת הרוח כלפי החוף. במצב כזה הגלים נשברים קרוב יותר לשפת הים ולעיתים מציפים את רצועת החוף היבש ומגיעים עד רגלי המצוק החופי. אזי אפשרית גם גריעה (ארוזיה) של חול משפת הים ופגיעה במצוק החופי. גורם נוסף שפוגע במצוק החופי הוא הנגר העילי בגג המצוק. זרימתו לכיוון הים בזמן גשמים חזקים או עקב כיוון ניקוז לא נכון (של השקיית משטחי ירק וכבישים) בגג המצוק, חותרת וגורמת למפולות במצוק החופי, העשוי רבדים של חול, טין וחרסית. חומר המפולות נשטף הימה מאוחר יותר ע"י הגלים, בעיקר בזמן הסערות.

ד. על פי מחקרים שבוצעו בחיא"ל, התקבל אומדן של המאזן של משטר הסעת החולות נטו לאורך החוף בתא הישראלי של התא החופי של הנילוס לטווח זמן ארוך. על פי אומדן זה, בשנה ממוצעת מבחינת אקלים הגלים, נכנס מכיוון חופי סיני לתא הישראלי נפח חול שנתי של כ-400,000 מ"ק. מתוך כמות זאת המוסעת צפונה, נגזר חלק המוסע אל החוף, וחלק אחר אל ירכתי החוף מעבר לרצועת המשברים וחלק שוקע על הקרקעית החולית. נפח ההסעה נטו הולך וקטן ככל שמצפינים, בגלל שינוי הזווית בין כיוון התקרבות של הגלים (שמשנתה ככל שמצפינים) לבין הניצב לכיוון קו החוף (שגם הוא משנה כיוונו לאורך החוף). מצב זה גורם לכך שבחוף הכרמל בחיפה ולתוך מפרץ חיפה מגיעה רק כמות שנתית ממוצעת של כ-100,000 מ"ק. באותה שנה ממוצעת, נכנסת לתוך התא הישראלי אספקה נוספת של כ-100,000 מ"ק של סדימנט מהרס במצוק החופי ומאידיך מנושבת לדיונות החוף ומעבר למצוק החופי כמות דומה. לכן, מתוך 300,000 מ"ק החול ה"חסרים" בין עזה למפרץ חיפה, להערכתנו כמות קטנה של חול דק מאד מוסעת לירכתי החוף, ומרבית החול החסר למעשה שוקע על פני קרקעית הים החולית (בין קו המים ועד קו עומק 30 מ'). אולם, שינוי זה בקרקעית הים לא ניתן לזיהוי או מדידה בינתיים, עקב הדיוק הנמוך של שיטות המיפוי (דיוק של כ-10 ס"מ למדידה במקרה הטוב) וגם עקב קצב עליית מפלס הים.

4. אומדן שיעור נסיגת המצוק במהלך עשרות השנים האחרונות

4.1 אומדן שיעור קצב נסיגת קו המצוק על בסיס בחינת קצב תזוזת מיקום קו המים מאז שנות ה-50 של המאה העשרים ועד סתיו 2006 בתלות בעוצמת המשטר המטאו-ימי וההשפעות האנטרופוגניות

4.1.1 השפעות של פעילות אנטרופוגנית ומשטר המטאו-ימי שהיה במהלך המאה ה-20 עד שנות ה-90

א. במשטר ההסעה הטבעי, במהלך המאה העשרים התערבו פעילויות אנטרופוגניות, שגרמו לפגיעה במאזן זה. פעילות ראשונה היתה כריית חול מקרבת שפת הים אשר נמשכה עוד מתחילת המאה העשרים, גברה מאז שנות השלושים של המאה ה-20 ובעיקר לאחר קום המדינה, עד שנאסרה בחוק ב-1965. פעילות אנוש שניה היא בניית נמלים, מרינות, בריכות השקטה לתחנות כוח, שוברי גלים מנותקים ודורבנות. כל מבנה כזה מהווה מחסום זמני בהסעת החול נטו לאורך החוף, פעולה שנמשכת מתחילת הקמת המבנה ועד לכידת כמות חול מספקת שתשנה את משטר ההסעה המקומי ותיצור אפשרות למעקף. ישנו גם מנגנון הסעה נוסף שלדעתנו הוא משני בתרומתו, המתרחש במהלך סערות, אשר גורם לגריעה מסוימת של חול מהחופים ע"י הסעה ניצבת לכיוון הים הפתוח אל מעבר לתחום רצועת המשברים, ומשם צפונה ע"י הסעה לאורך החוף. על פי מחקר שבוצע בחיא"ל בניית נמל אשדוד בתנוחתו המקורית, גרמה במשך 30 שנות פעילות, טרם הרחבתו, ללכידה של כ-4.5 מיליון מ"ק. יחד עם יתר המבנים החופיים ופעילויות הגריעה נלכדו או הוצאו ממערכת ההזנה החופית עד סוף המאה שעברה כ-20 מיליון מ"ק חול. למרות האמור לעיל, תרומת הגורם האנושי היא חלקית, אם כי ניכרת בקרבת הצד הצפוני של מבנים חופיים.

ב. פעילות אנוש שלישית, שלא בשליטתנו, היתה בניית סכרי אסואן, אשר גרמה מצד אחד להפסקת הגעת סדימנטים לדלתא של הנילוס (ועקב כך חלק מהדלטה נסוג בכ-10 ק"מ במאה שעברה). יחד עם זאת בדלתת הנילוס מצויה עדיין כמות ניכרת של חול, להערכתנו של הרבה מאות מיליוני מ"ק, ובשלב זה אם נוצרים זרמים בהשראת הגלים והרוח הם ממשיכים וימשיכו להסיע חול לכיוון חופי ישראל. פעילות אנוש

אחרונה היתה המהפכה התעשייתית שהחלה ב-מאה ה-19 שבעקבותיה מוערך כי החלה תופעת החממה, שגרמה להתחממות האטמוספירה ולעליית מפלס הים. במאה העשרים, נגרמה עלייה במפלס הים בחופי מזרח הים התיכון בסדר גודל של 30 ס"מ, מהם כ-20 ס"מ עד 1990.

ג. ממצאי המחקרים שבוצעו בחיא"ל לגבי השינויים בקו החוף, במצוק החופי, ובקרקעית הים, מראים כי באופן כללי ישנה ארוזיה מתונה ברצועת החוף הישראלית. בקרבת מבנים חופיים החופים נמצאים במצב של שינוי תוך שאיפה להשגת שיווי משקל (גריעה בחופים שמצפון למבנים והצטברות מדרום למבנים). בתחומים המרוחקים ממבנים חופיים, השינויים מתונים ונמצאים בתחום אי-דיוק המדידה, תחום שתלוי בשיטת ותחום המדידה. לכן בקטעי חוף רחוקים ממבנים חופיים טרם ניתן לקבוע ברמה מספקת את קצב הנסיגה. מקומית ניתן להבחין בהרס המצוק החופי ובמשטר של הרס ובניה עונתיים בחוף. המידע הקיים מתייחס בעיקר לגבי חופי הדרום והמרכז, היות שלא נבחנו בצורה מסודרת ומעמיקה השינויים בחופים בין נתניה לעתלית (רוזן, 1997).

4.1.2 אומדן שיעור קצב נסיגת קו המצוק על בסיס בחינת קצב תזוזת מיקום קו המים מאז שנות ה-50 של המאה העשרים ועד סתיו 2006 בתלות בעוצמת המשטר המטאו-ימי וההשפעות האנטרופוגניות

שורה של חוקרים ישראלים ערכו נסיונות לניטור שינויים במיקום קו החוף בקטעים שונים של החוף הישראלי בשיטות ניתוח שונות. סיכום של עבודות אלה מוצג במסמך המדיניות לניהול משאבי החוף החופיים לפרויקט CAMP הישראלי שהוכן ע"י גוליק ורוזן (1999). עבודות חדשות יותר פורסמו ע"י צביאלי (2002) לחופי הרצליה, רוזן, גולן ורסקין (2005) לתחום חופי בת-ים עד פולג, ועוד. להערכתנו ניתן ללמוד על קצב נסיגת המצוק גם באופן עקיף, ע"י ניטור השינויים במיקום קו המים בזמן, ובהשוואה למשטר הגלים המפלסים והרוחות ששרר, מאחר וגריעה בקו המים המתבטאת בנסיגה של הקו מזרחה תביא לנסיגה, תוך מספר שנים קטן גם במצוק החופי (על אומדן ישיר נתייחס בהמשך בנפרד), תוך שמירה די קבועה של רוחב רצועת החוף שלרגלי המצוק, בממוצע רב שנתי. דבר זה יכול לשמש כבקהואימות של אומדני קצב נסיגת המצוק שהוכנו על בסיס ניטור שינויים במיקום הקצה המערבי של גג המצוק או בקו רגל המצוק, שסובלים מבעיות של דיוק ושל הגדרה לא חד משמעית של מיקום קווים אלה.

במסגרת ניטור רב שנתי של הרס בחופים שמבצעת המחלקה לגיאולוגיה ימית ותהליכים חופיים בחיא"ל, נאספו נתונים על מיקום קו המים בקטע החוף בין בת-ים ועד שפך נחל פולג, במספר סדרות צילומי אוויר שמכסים התקופה מאז שנות ה-50 של המאה העשרים. בסתיו 1997 בוצע ניטור השוואתי לקווים בתקופה הקודמת, ומאז 2002 מתבצע ניטור שנתי של מיקום קו המים. כל הניטורים כוללים תיקון עיוותים של הצילומים, יישורם ועגינתם ברשת ישראל, ולאחר מכן עריכת תיקונים להשפעות הערמות גלים, מועדי-ים ורוח על מנת להביא את כולם למכנה משותף ע"י ייחוס כל הקווים לאפס האיזון הארצי. הדבר חשוב במיוחד כאשר רוצים לברר האם חלה האצה בהרס המצוק החופי בעשורים האחרונים, בהשפעת עליית מפלס הים, הפעילות המואצת של בניית מבנים ימיים

4.2 אומדן שיעור קצב וכמות הגריעה במצוק החופי בקטע בת-ים – פולג, בין סתים 1997 עד סתיו 2006 על פי מפות הפרשיות של תחום המצוק בתלות בעוצמת המשטר המטאו-ימי וההשפעות האנטרופוגניות

המידע הקיים על קצב נסיגת המצוק החופי מצביע על קצב נסיגה בסדר גודל של כ-0.20 מ' לשנה בממוצע רב-שנתי. אכן היו בעבר, ארועים של נסיגה מקומית גדולה, אך מקרים כאלה כמעט נקודתיים. הם מופיעים בתחום קטע חוף שסמוך למבנה חופי, ואורך הקטע הניזוק בצורה ניכרת עד בינונית נע בין 3 עד 5 פעמים מידת הבליטה של המבנה החופי מקו החוף לתוך הים, במרבית המקרים בצד שמצפון למבנה החופי. לדעתנו, הגריעה הניכרת קשורה במרבית המקרים לאירועי סערות חזקות מאוד, בעלות תקופת חזרה ממוצעת של מעל 10 שנים. מאז 1991 היו מספר אירועים כאלה (במיוחד מאז 2001).

במסגרת מחקרי ניטור סביבתי מתמשך שהחל בחיא"ל מאז 1997, נעשו מיפויים פוטוגרמטריים בקני"מ 1:500 של תחום החופים בין דרום בת-ים ועד שפך נחל פולג, תמיד בעונת הסתיו. לאחר המיפוי הראשון שבוצע ב-1997 שניטר רק את הגבול התחתון של המצוק (קו גובה +2 מ' בקרוב) ומיקום קו המים, בוצעו מאז סתיו 2002 מיפויים חוזרים מדי שנה בשנה עד השנה, שכללו בנוסף לניטור מיקום ו המים את המיפוי המפורט של כל תחום החוף לרגלי המצוק, המצוק וגג המצוק, שאפשרו להכין מפות הפרשיות לאומדן כמותי של השינויים הנפחיים בחופי המצוקים בתחום החוף שצוין. אנו מעריכים כי קישור השינויים במצוק (גריעה או צבירה) יחד עם נתוני משטר הגלים ששרר בין המיפויים יאפשר כימות מדויק הרבה יותר מאשר ניתן לעשות ע"י השוואת מיקום גבול קו המצוק העליון, הנתון להגדרה סובייקטיבית ושל הכמויות שנגרעות מהמצוק החופי להזנת המערכת ההסעה החופית. עיבוד הנתונים נמצא בשלבי סיום, ואנו תקווה שנוכל לדווחם בהדו"ח הבא. שילובם יחד עם תוצאות המודל SBEACH יוכל לשפר את רמת האמינות של ממצאי מודל SBEACH ואת האומדנים שיוצגו בהמשך לגבי קצב נסיגת המצוק החופי.

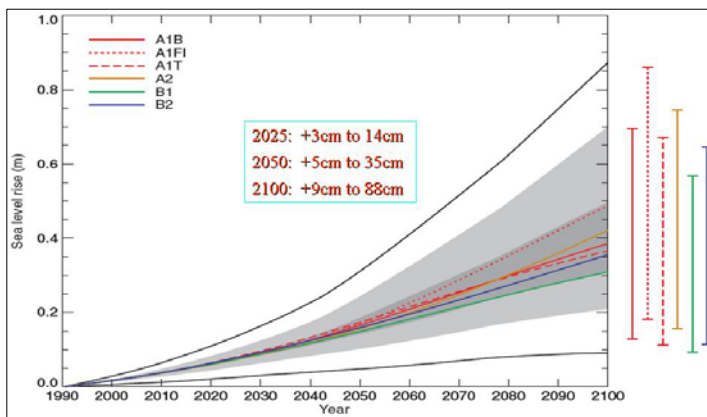
5. אומדן השינויים המטאו-ימיים הצפויים עד 2100 בהשפעת שינוי האקלים

5.1 אומדן עליית מפלס הים עד 2100 בחוף הישראלי בים התיכון

א. אומדנים גלובליים

שינוי האקלים וההתחממות העולמית המתרחש מאז המאה שעברה נגרם כנראה בעיקר ע"י תופעת החממה, שהתפתחה בעקבות המהפכה התעשייתית שהחלה במאה ה-19 והתבטאה בעליה הולכת וגוברת של פליטת גזי חממה לאטמוספירה (כמו CO₂, מתאן וכד') וצמצום ניכר באוגרי גזי חממה כמו שטחי יערות, הקולטים את ה-CO₂ בתהליך הפוטוסינתזה. כתוצאה מאלה ומסיבות נוספות, עולה גם טמפרטורת מי הים, שמגדילה את נפח המים וגם מאיצה את המסת כיפות הקרח באזור קטבי כדור הארץ וקרחונים יבשתיים כמו בגרינלנד. המסת שטחי הקרח הלבנים, מחזירי קרינת שמש לחלל, מפעילה משוב הגורם לספיגת קרינה נוספת מהשמש ע"י כדור הארץ ועלייה נוספת בטמפרטורה. לבחינת שינוי האקלים העולמי והאזורי הוקמה ע"י זרועות האו"ם הפאנל הבינממשלתי לחקר שינוי האקלים (Intergovernmental Panel for Climate Change-IPCC). גוף זה מרכז מומחים בעלי שם עולמי, אך נשלט על ידי הממשלות, ואת המלצותיו חייבים לקבל פה אחד כל הממשלות. עקב כך, הועלו טענות כי אומדניו מתונים כאשר מדובר בתרחישים קיצוניים של שינוי אקלים והשפעותיו, עקב המשמעות הפוליטיות שהיו עלולות לחלק מהממשלות בחיבם לצמצום דרסטי בפליטת גזי חממה.

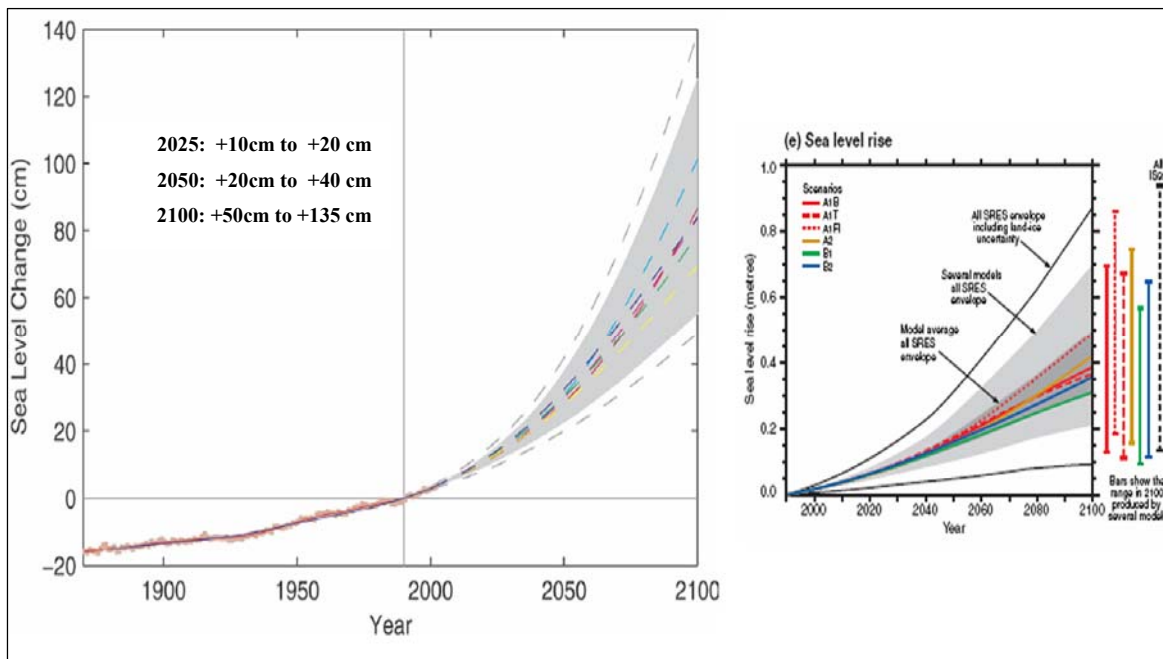
בשנת 2001 פורסם דו"ח מקיף שעמד את מידת עליית טמפרטורת אטמוספירת כדור הארץ עד 2100, וכן את עליית מפלס הים על פי מספר תרחישים בעזרת מודלים אקלימיים עולמיים. אומדן עליית מפלס הים העולמית שנחזתה היתה כמוצג בציור מס' 5 להלן.



ציור מס' 5 – תחזיות עליית מפלס הים עד 2100 לפי TAR IPCC 2001 Group 1 (במסגרת מוצג טווח הערכים לשנים 2025, 2050 ו-2100).

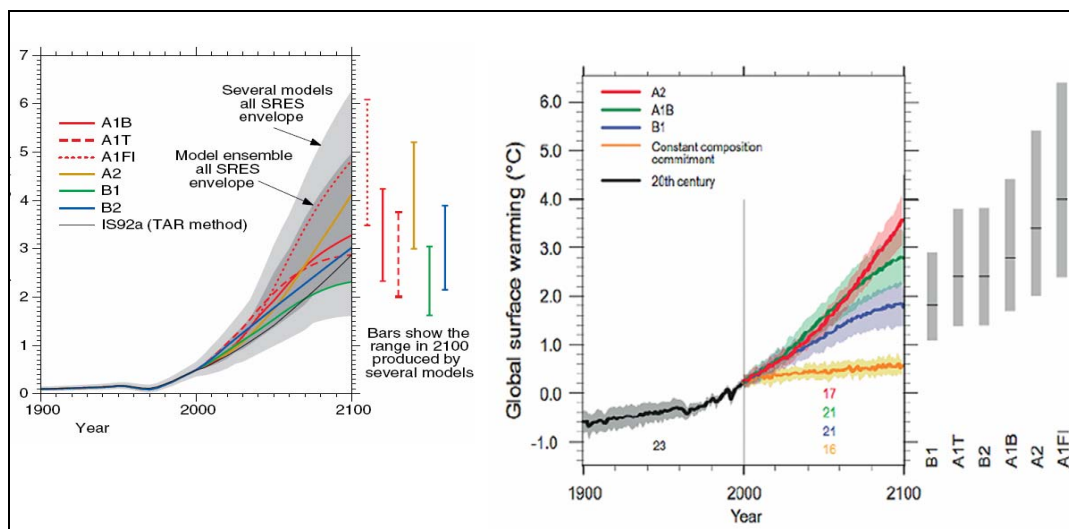
אומדן לעליית מפלס הים העולמי בגישה שונה הוצג ע"י Rahmsdorp (2006), שאומץ ע"י גרמניה בהערכת שינוי האקלים. במקום להשתמש במודלים גלובליים הוא בחן הקשר בין טמפרטורת האטמוספירה העולמית מתחילת 1860 עד 1990 ומצא קורלציה טובה ביניהם. לאחר מכן, השתמש בתרחישי עליית הטמפרטורה העולמית על פי IPCC2001 בין 2000 ל-2100 כדי לחשב על פי הקשר שמצא אומדנים לגבי עליית מפלס הים העולמי.

השוואה בין התחזית לפי שיטתו לבין IPCC2001 מוצגת בציור מס' 6. מסתבר כי האומדנים שלו חוזים עלייה של עד כ-1.35 מ' ב-2100, לעומת ערך מרבי של 0.88 מ' לפי IPCC2001.



ציור מס' 6 - השוואת תחזית עליית מפלס הים העולמי לפי IPCC2001 (מימין) ולפי Rahmsdorp (משמאל) (2006)

אומדן חדש של עליית הטמפרטורה העולמית ושל עליית מפלס הים העולמי הצפויים עד 2100 פורסם בדו"ח חדש של IPCC בפברואר 2007, בהתבסס על מודלים משופרים ומכויילים טוב יותר. השוואת אומדני עליית הטמפרטורה הישנים והחדשים בתרחישים שונים מוצגת בציור 7 שמראה עלייה מעט יותר מתונה של הטמפרטורה על פי האומדן החדש.



ציור מס' 7 - השוואה של אומדני עליית הטמפרטורה העולמית לפי IPCC 2007 (מימין) לעומת IPCC 2001 (משמאל)

בעדכון מ-2007, פורסם גם אומדן חדש של עליית מפלס הים העולמי על פי מספר תרחישים. למראית עין, האומדנים החדשים צופים עליית מפלס ים עולמית מתונה יותר עם ערך מרבי של 0.59 מ' ל- 2100 (ראה טבלה מס' 8). מאידך, הסתבר כי האומדנים החדשים לא נכללו השפעות של היזון חוזר במחזור הפחמן ושל הפשרה מהירה של כיפות קרח באזור הקטבים בטענה כי המידע בנדון בספרות חסר.

טבלה מס' 8 – תחזיות עליית טמפרטורה עולמית ומפלס הים לפי IPCC 2007

Case	Temperature Change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999) ^a		Sea Level Rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999)
	Best estimate	Likely range	Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow
Constant Year 2000 concentrations ^c	0.6	0.3 – 0.9	NA
B1 scenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2 scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B scenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2 scenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI scenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

ואולם, באביב 2007 פרסם המכון האנגלי לחקר האזור הארקטי כי בעקבות תקלה בצוללת גרעינית ששטה תחת מעטה הקרח באזור הקוטב הצפוני והיתה מוכרחה לעלות לפני המים, נדד עובי שכבת הקרח באותו מקום. נמצא כי עובי הקרח היה קטן במחצית מהעובי שמוערך על בסיס המודלים הקיימים ל-2100, כלומר שקצב הפשרת כיפות הקרח מתרחש ככל הנראה הרבה יותר מהר ממה שהוערך מקודם. גם ממצאים אחרים לגבי תחום כיסוי הקרח בקטבים בעשור האחרון הראה צמצום ניכר בכיסוי זה. מכאן ניתן להסיק שקרוב לודאי כי עליית מפלס הים הצפויה עד 2100 היא, בהנחת תרחיש עסקים כרגיל, קרובה יותר לערכים של IPCC2001 ואולי מעט יותר לכיוון אמדן Rahmsdorf (2006). יצויין כי IPCC2007 מצביע על אמדן מצב של הפשרה מלאה של כיפות הקרח שארעה לפני כ-125,000 שנה, שבו הטמפרטורה עלתה בכ-3 ע 5 מעלות צלסיוס לעומת הנוכחית ושלאותו מצב גיאולוגים העריכו כי מפלס הים העולמי הממוצע היה גבוהה בכ-4 עד 6 מ' מהמפלס הנוכחי.

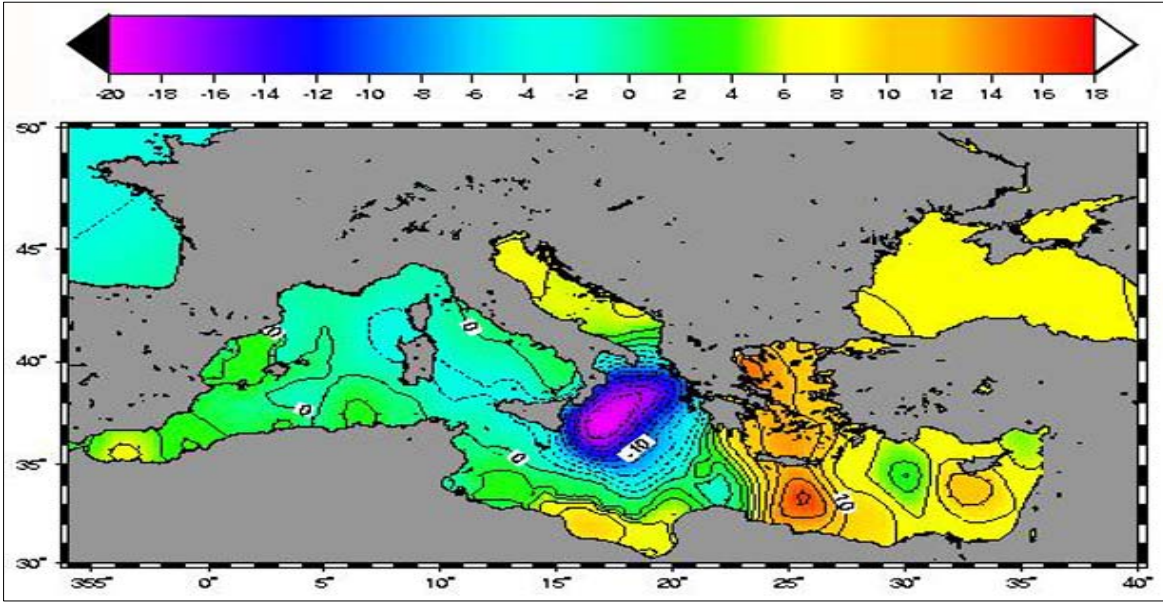
לאור כל הנ"ל, המחבר הראשון מעריך כי בשלב הנוכחי יש להניח תרחיש סביר של עלייה עולמית של מפלס הים בכ-1.0 מ' עד סוף המאה הנוכחית, ולעדכן האמדן בעוד כעשור או אם יובאו ממצאים חדשים בעתיד שיצביעו על עלייה יותר מתונה.

ב. שינוי אזורי-מקומי בים התיכון, באגן מזרח הים התיכון ובחף הישראלי

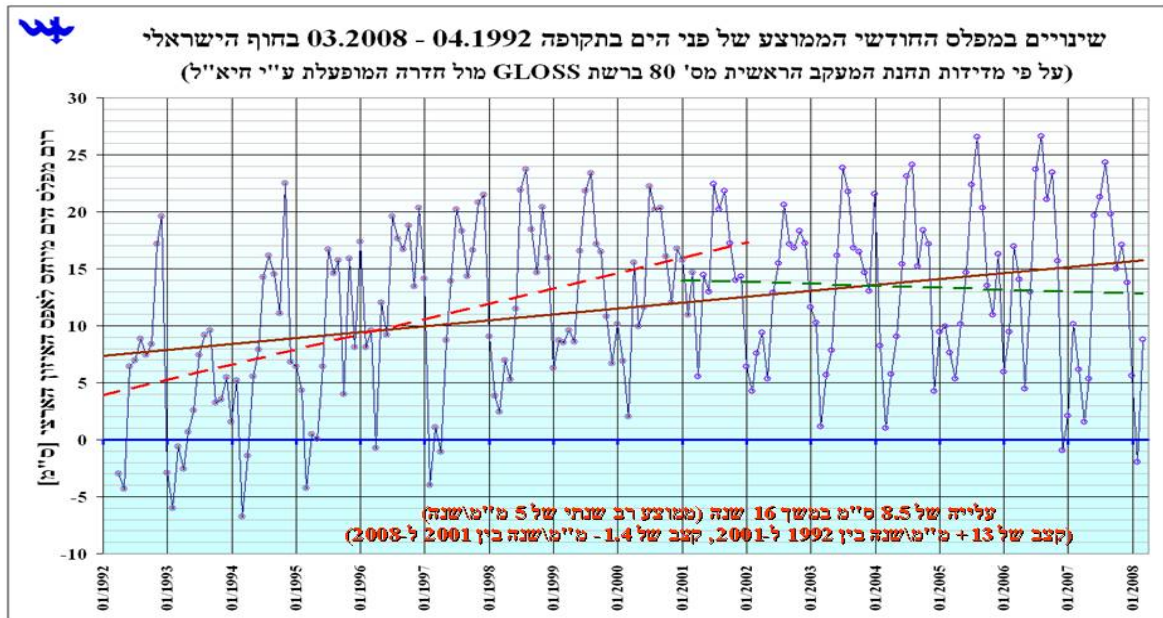
במעבר מהשינויים העולמיים הצפויים אנו צריכים להתעניין במה שהתרחש ומתרחש בים התיכון ובמיוחד באזור החופים של ישראל. לצורך ניטור יתכונות עליית מפלס הים בים התיכון הוקמה רשת תחנות ניטור MedGLOSS ביוזמת ועדת המדע לים התיכון (CIESM) ו-UNESCO. הרשת מהווה את המרכיב האזורי לים התיכון וליים השחור של רשת הניטור העולמית אחר שינויים במפלס הים GLOSS שמנוהלת ע"י הועדה הבינממשלתית לאוקיאנוגרפיה של אונסקו. היא"ל משמשת כמוקד ניהול רשת MedGLOSS. הממצאים של מחקר מקיף שבוצע במסגרת תכנית מחקר של האיחוד האירופי ESEAS-RI בהשתתפות היא"ל, הראה כי בים התיכון יש עלייה במפלס הים באותן סדרי גודל כמו העלייה הממוצעת העולמית.

מחקרים נוספים שבוצעו בעזרת מדידות לוויין ותחנות מפלס ים הצביעו על עלייה בטמפרטורת פני הים באגן המזרחי של הים התיכון, ושל עלייה של כ-1 ס"מ/שנה באזור חופי ישראל בתקופה 1992 עד 2000 (ראה ציור 8), לעומת שפילה באותה מידה באזור הים היוני שמול חופי איטליה. גם מדידות מתחנת חדרה המופעלת ע"י היא"ל, שהינה תחנה ראשית ברשת המעקב העולמי אחר מפלס הים, הראה עלייה דומה באותה תקופה, אך התמתנה והתהפכה בתקופה שלאחר 2001 (ראה ציור 9). לכאורה ישנה סטירה במפת השינויים של מפלס הים שהובאה ע"י Fegnotio-Marc (2002). אם בוחנים את המדידות מחדרה אפשר לומר כי נמצאה עלייה של 8.5 ס"מ במשך 16 שנה (ממוצע רב שנתי של 0.5 ס"מ/שנה) אך בפועל הקצב השתנה. הכרת מבנה הזרימה התלת ממדית המורכבת בים התיכון היא ההסבר החלקי למצב שנוצר. מסתבר כי אנו היינו עדים ל התרחשות תופעה הקרויה EMT (Eastern Mediterranean Transient) שהתרחשה בין תחילת שנות התשעים ועד שנת 2001 ובתקופה זאת השתנתה הזרימה באגן הלבנט, דבר לגרם לנוכחות מי ים יותר חמים וע"י כך גם לעלייה ניכרת יותר בפני הים באזור שלנו (קצב 1.3 ס"מ/שנה

בין 1992 ל-2001, קצב של -0.14 ס"מ/שנה בין 04/2001 ל-03/2008). עם סיום התופעה EMT, השתנתה מגמת עליית מפלס הים לירידה מתונה וצפוי לחזור בשנים הקרובות לקצב הכללי החזוי של עלייה בהשפעת התחממות האטמוספירה לשלב הנוכחי (כ- $+0.3$ ס"מ/שנה). קיימת הערכה כי ה-EMT נוצרת בהשפעת תפעות אקלימיות עולמיות כגון התנודה הצפון אטלנטית או ע"י זרימות המונסון שקשורות גם בהתפתחות תופעות El-NINO\LA NINA. השפעה נוספת לעלייה המואצת הנ"ל מיוחסת לשינוי בתרומה האטמוספרית (atmospheric forcing). בכל מקרה, הדבר מצביע על קיום תנודות בסקלה של עשור בנוסף ומגמת עלייה בקצב העלייה העולמי של מפלס הים.



ציור מס' 8- השינויים במפלס הים התיכון לפי מדידות לוויי טופקס-פוסאיזון בין 1992 ל-2000 (בעקבות Fenoglio-Marc, 2002)



ציור מס' 9- עליית מפלס הים בחוף הישראלי בים התיכון בין אפריל 1992 לבין מרץ 2008 לפי מדידות תחנת המעקב הראשית אחר מפלס הים מס' 80 (חדרה) של חי"ל ברשת GLOSS

לאור כל המידע לעיל, מומלץ לאמץ גם לגבי החוף הישראלי בים התיכון אומדן של עלייה של מפלס הים של 1 ס"מ לשנה, עד 2100 , ולעדכן האומדן בעוד כעשור.

ג. אומדן מפלסי מים קיצוניים בקו המצוק בעת סערות עד 2100

לשם הערכת מידת הרגישות של חופי המצוקים נדרש להעריך את הרומים המירביים שמי הים עלולים להגיע אליהם בגבול המצוק החופי שיגרמו לפגיעה בו ואף יתכן שיציפו השטח בגבו. הרומים המרביים נקבעים כמובן בשילוב של תרומות הגורמים המחוללים השונים, כלומר רום מפלס הים השקט (שמשתנה כפי שהוסבר בסעיף ב') עליו יכולה יש לצרף את השפעת מועד הים האסטרונומיים (tide) ומעליהם תנווסף הערמות גלים (wave induced setup) והערמות פני הים עקב נד רוח ולחץ אטמוספרי נמוך (storm surge) (ע"י נשיבת הרוח לכיוון החוף ויניקת פני הים בעת מעבר שקעים ברומטריים) ולבסוף השתנות הגלים וטיפוסם על החוף והמצוק (runup).

מכיוון שחלק מהגורמים הנם תלויים אחד בשני (הערמות גלים, נד רוח וטיפוס גלים) ההסתברות המשותפת תהיה נמוכה יותר מאשר אילו היו בלתי תלויים אחד בשני. מאידך, מצב מועדי הים האסטרונומי או רום מפלס הים השקט אינם תלויים באחרים.

האומדן לחשוב רום טיפוס הגלים המרבי Z_{max} בחוף יהיה אם כן נתון ע"י:

$$Z_{max} = Z_{tide} + Z_{sealevel} + Z_{runup}$$

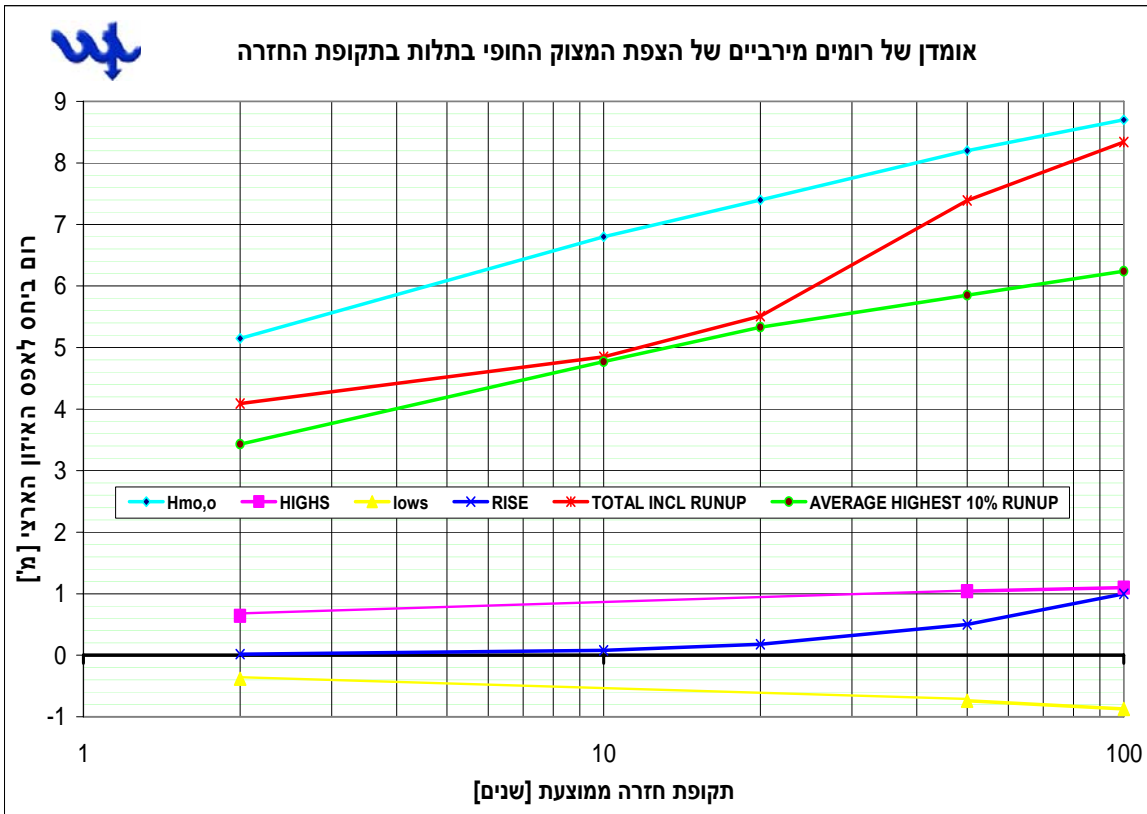
כאשר:

Z_{tide} הוא הרום המרבי לתקופת חזרה מסוימת,

$Z_{sealevel}$ הוא רום מפלס הים השקט

Z_{runup} הוא הרום המרבי עקב טיפוס גלים בחוף.

לצורך חישוב Z_{max} לתקופות של 1, 10, 20, 50 ו-100 שנה, השתמשנו בחבילת התכנה להנדסת חופים שפותחה ע"י צבא ארה"ב CEDAS, גרסה מקצועית 4. התוצאות מוצגות בצירור 10 ובטבלה 9.



צירור מס' 10 - אומדן מצבי ים ומפלס ים קיצוניים לטווח 100 שנה בחוף הישראלי בים התיכון

יש לציין כי הערכים של Z_{max} המוצגים בצירור לעיל (מסומנים בצבע אדום) הם הערכים המבוססים על ערכים של רום טיפוס הממוצע של 10% מהגלים הגבוהים ביותר במצב ים מסוים.

טבלה מס' 9 – אומדן רום טיפוס הגלים המרבי בחוף הישראלי כתלות בתקופת החזרה

רום טיפוס גלים מרבי במצוק ביחס לאפס האיזון הארצי [מ']	תקופת חזרה ממוצעת [שנים]
4.09	2
4.85	10
5.51	20
7.39	50
8.34	100

5.2 אומדן לשינויים במשטר הגלים וסערות החוף והשלכותיהם על קצב ההתמוטטות (על בסיס 5.1 וחקירת מכתבה (desk study).

בנוסף לתופעת החממה ושינוי האקלים, יש להוסיף גם ייתכנות של עלייה בשכיחות אירועים של הסערות החזקות. Woodworth et al. (2006) דנו במידע הקיים לגבי שינוי הסטטסטיקה של הרוח והגלים בהשפעת שינוי האקלים. בין אלה נכללים שינוי שכיחות סערות קיצוניות, יתכנות שינוי התפלגות הכיוונית שיכולה לגרום לשינויים בהסעת סדימנטים ומגמות גריעה או צבירה בחופים. נמצא אימות לעלייה בגובה הגלים סביב חופי אנגליה בשני העשורים האחרונים. הם מצביעים שהעלייה בגובה הגלים היא קשורה ישירות (מקדם קורלציה מעל 0.8) לעליה בפאזה החיובית של התנודה הצפון אטלנטית (NAO) באזור גדול ממערב לאיים הבריטיים (Woolf et al.-2006). Wang et al. (2006) הניחו כי הקשר ימשיך להתקיים והעריכו שההתרחשות של הפאזה החיובית עבור ה-NAO תהיה יותר שכיחה במשטר של התחממות עולמית. Caires et al. (2006) הציגו אומדנים של תקופת חזרה של גובה גלים משמעותיים עד 2100 תוך עבור שלוש תרחישים שנקחו מהמודל האקלימי הקנדי. השיטה שאימצו כללה שיטות רגרסיה לקישור בין הדמיות הלחצים בפני הים לגובה הגלים. בכל התרחישים נחזו שינויים משמעותיים במקומות שונים בעולם, עם השינויים הגדולים והמשמעותיים המתרחשים בתרחישים עם מצבים של פליטות מוגברות של גזי חממה. בכל התרחישים שנבחנו, התחזיות הראו מגמות משמעותיות חיוביות באוקיאנוס השקט. תבניות דומות נמצאו במחקר אחר ע"י Wang and Swail (2006) תוך שימוש במודלים אקלימיים אחרים. Wolf and Woolf (2006), השתמשו בגישה של שימוש במודל גלים דינמי כדי לבדוק כיצד משפיעים שינויים שונים באקלים (למשל עלייה במהירות הרוח או בכיוון הרוח) על משטר הגלים בימים סביב חופי אנגליה. לאחרונה, פורסם מחקר חדש של המכון לחקר החלל Goddard של NASA, שהתבסס על מודל אקלימי חדש שפיתחו לבחינת השפעת התחממות העולמית על שכיחות ארועי סערות קיצוניות. המודל חוזה הגברת שכיחות ארועים של סערות קיצוניות, אך בעיקר באזורים עם יותר רטיבות ופחות באזורים יבשים יותר. מאחר והדגש הושם לשטחי ארה"ב וליבשות בכלל, לא ברור עדיין מה המסקנות הפרטניות לגבי החוף הישראלי.

גם אצלנו יתכן שינוי במשטר הרוחות וכתוצאה מכך במשטר הגלים. במידה והשינוי יהיה רק בעליית שכיחות הסערות, הדבר יגרום לעלייה בשכיחות גלים גבוהים יותר. יחד עם זאת במקרה זה הסערות החזקות ביותר ימשיכו לתקוף מכיוון מערב עקב משב הרוח המרבי מכיוון זה. לעומת זאת, אם תשתנה ההתפלגות הכיוונית של השכיחות (לא העוצמות) קיים סיכוי לשינוי בלתי ידוע במאזן השנתי הממוצע של תנועת הסדימנטים לאורך החוף.

בשלב הנוכחי אין לנו נתונים שיכולים לאשש אפשרות זאת, ולכן נמשיך להניח שהשינוי באקלים יתבטא בעיקר בהגדלת שכיחות הסערות החזקות, כלומר סיכוי לגלים גבוהים יותר באותה תקופת חזרה ממוצעת, כלומר יתכנות להגברת הגריעה בחוף ובמצוק. כהנחה ראשונית אנו נניח כי שינוי האקלים יגרום לעלייה של 5% בגובה הגלים עבור אותה תקופת חזרה ממוצעת, וננסה לאמוד השפעת אפשרות תרחיש כזה בשלב ניתוח התוצאות והסקת המסקנות.

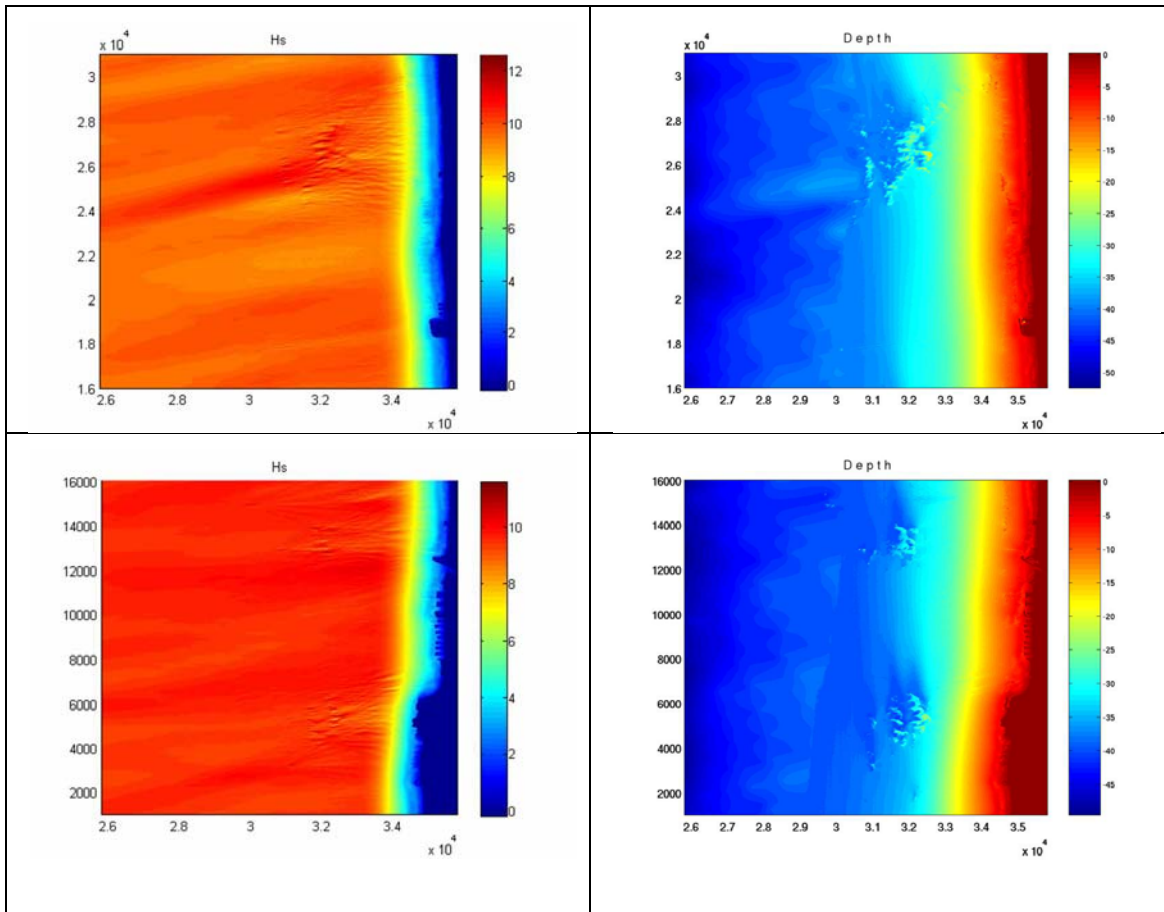
6. תוצאות החקירה במודלים למצב קיים ולתרחישים עתידיים

6.1 תוצאות ההרצות למצב קיים ולתרחישים עתידיים במודל התפשטות גלים המרחבי SWAN

א. אזור חופי המצוקים במרכז, בתחום מזרזום בת-ים עד שפך נחל פולג

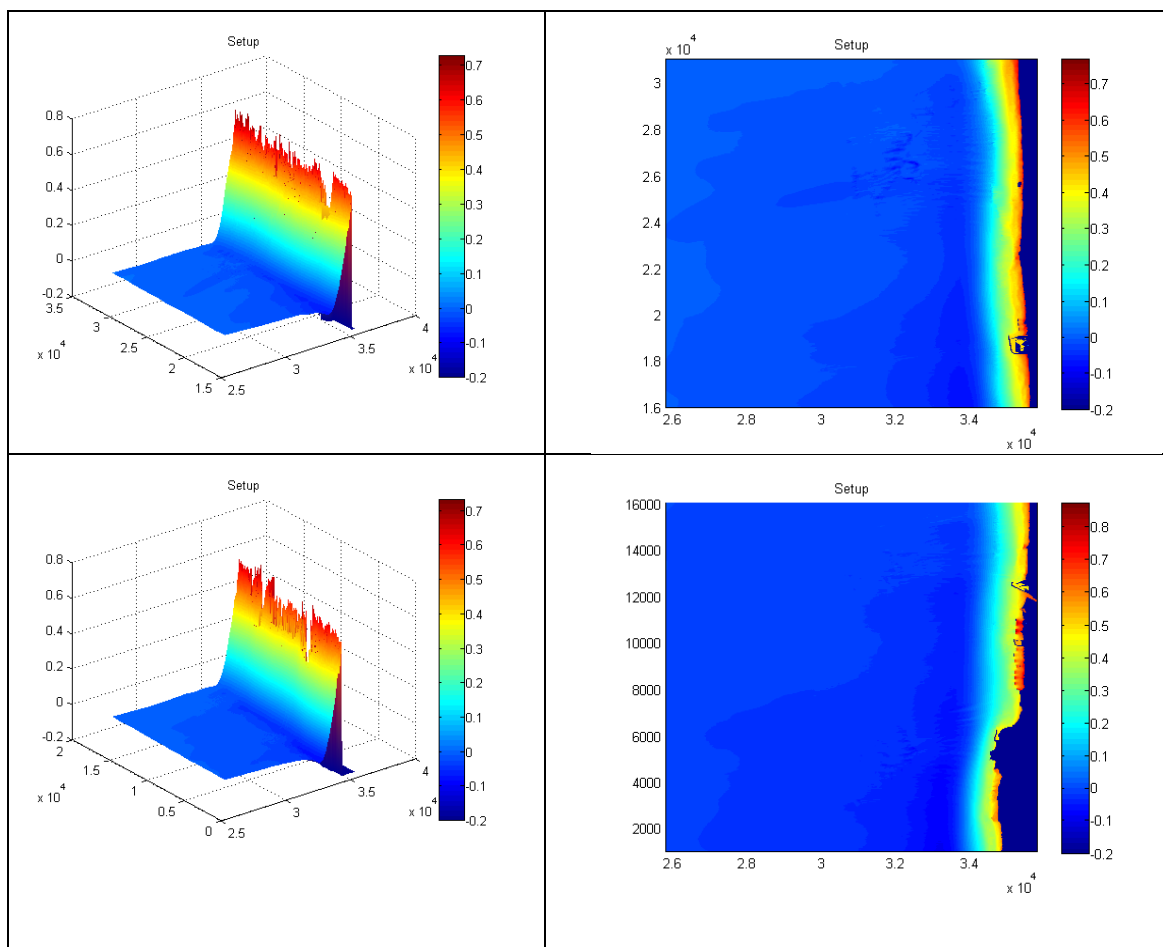
ההרצות במודל הגלים המרחבי SWAN גרסה 40 בוצעו לאחר שבוצעו בו הרצות בסיס שמסופקות ע"י מפתחי חבילת התוכנה באוניברסיטה הטכנית של דלפט בהולנד, כדי לוודא של התרחשו תקלות בהגדרת נתאי השפה והנתאים ההתחלתיים. כמו כן, בנוסף לתוכנה הזמינה חופשית נרכשה תכנת אינטרפייס

שפותחה ע"י המתכנת הראשי של SWAN, וגם נעזרנו בעצותיו והסבריו ללימוד מעמיק של יכולות חבילת התוכנה. כפי שהזכרנו קודם, הסריג שהוכן לקטע זה היה עם ציר ה-X במקביל בקרוב לקווי העומק, כדי ליעל את הרצות ההדמיות. נעשה שימוש תחילה בתחנת עבודה שולחנית עם שני מעבדים מקבילים, ובהמשך במחשב עם 8 מעבדים מקבילים. רק להמחשה זמן הדרוש להרצה אחת היה בהתחלה מספר ימים, והצטמצם לאחר מכן לכמחצית יום עבודה. גודל הסריג הגיאומטרי היה קבוע של 5 מ', כאמור הסריג החישובי נבחר כל 10 מ'. מפאת אורך החוף הגדול (34 ק"מ בפועל ועוד כ-15 ק"מ מכל צד), התוצאות חולקו לחלק דרומי לתחום בין בת-ים עד שפך הירקון בקרוב, וחלק צפוני מרדינג עד שפך נחל פולג. פלט התוצאות כלל טבלאות ומפות של השתנות גובה הגלים, של השתנות כיוון הגלים, זמן מחזור ושל ההערמות וכן מפה תלת ממדית של גובה הערמות הגלים. הנתונים המספריים של ערכי ההערמות המרבית בקו המים שימשו להכנת דיאגרמות השוואתיות בין גובה ההערמות המרבית בחוף בתרחישים השונים שנבדקו. מרבית התוצאות של מפות גובה הגלים וההערמות מוצגות בנספח A3. להמחשה מוצג להלן סט של תוצאות מהרצה בתרחיש של סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, במפלס הים הנוכחי. מפת העומקים מוצגת בצירור מס' 11 בנפרד לחלק הדרומי ולחלק הצפוני, מפת השתנות גובה הגלים בצירור מס' 12 בנפרד כנ"ל, מפת ההערמות של הגלים בצירור מס' 13 בנפרד כנ"ל ומפה תלת ממדית של הערמות הגלים בצירור מס' 14 בנפרד כנ"ל. תוצאות השוואתיות של ההערמות בכל התרחישים באזור המרכז מוצגות בצירור מס' 15.



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים

צירור מס' 11 – מפת עומקים לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה)
 צירור מס' 12 – מפת השתנות גובה גלים בסערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה



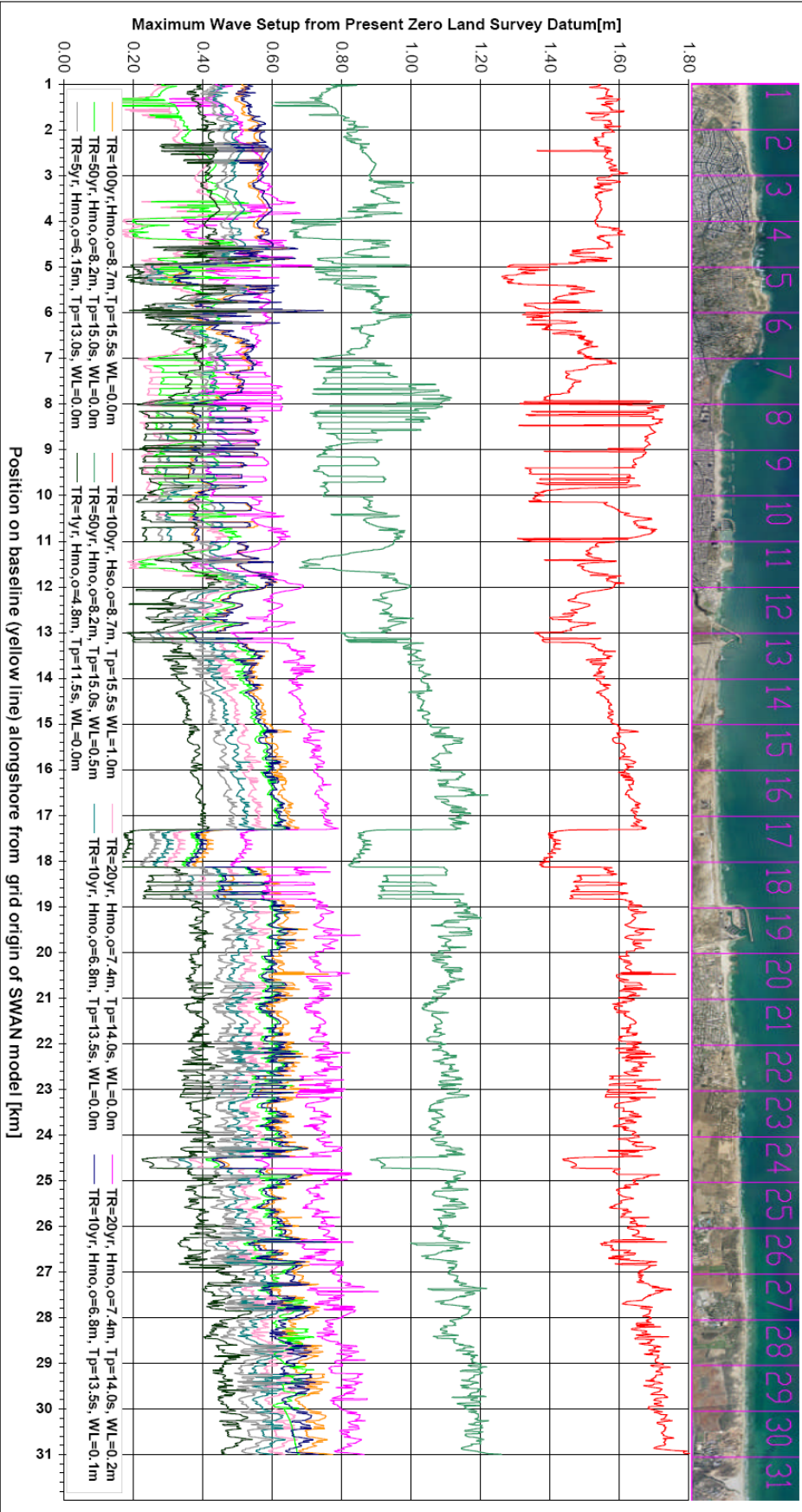
המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים

ציור מס' 13 – מפת גובה הערמות גלים לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה).
 סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה

ציור מס' 14 – תצוגת תלת מימד של גובה הערמות המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה).
 סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה



MAXIMUM WAVE SETUP ALONG BAT-YAM - POLEG COAST AS FUNCTION OF STORM RETURN PERIOD & SEA LEVEL STATE
(based on SWAN wave model)

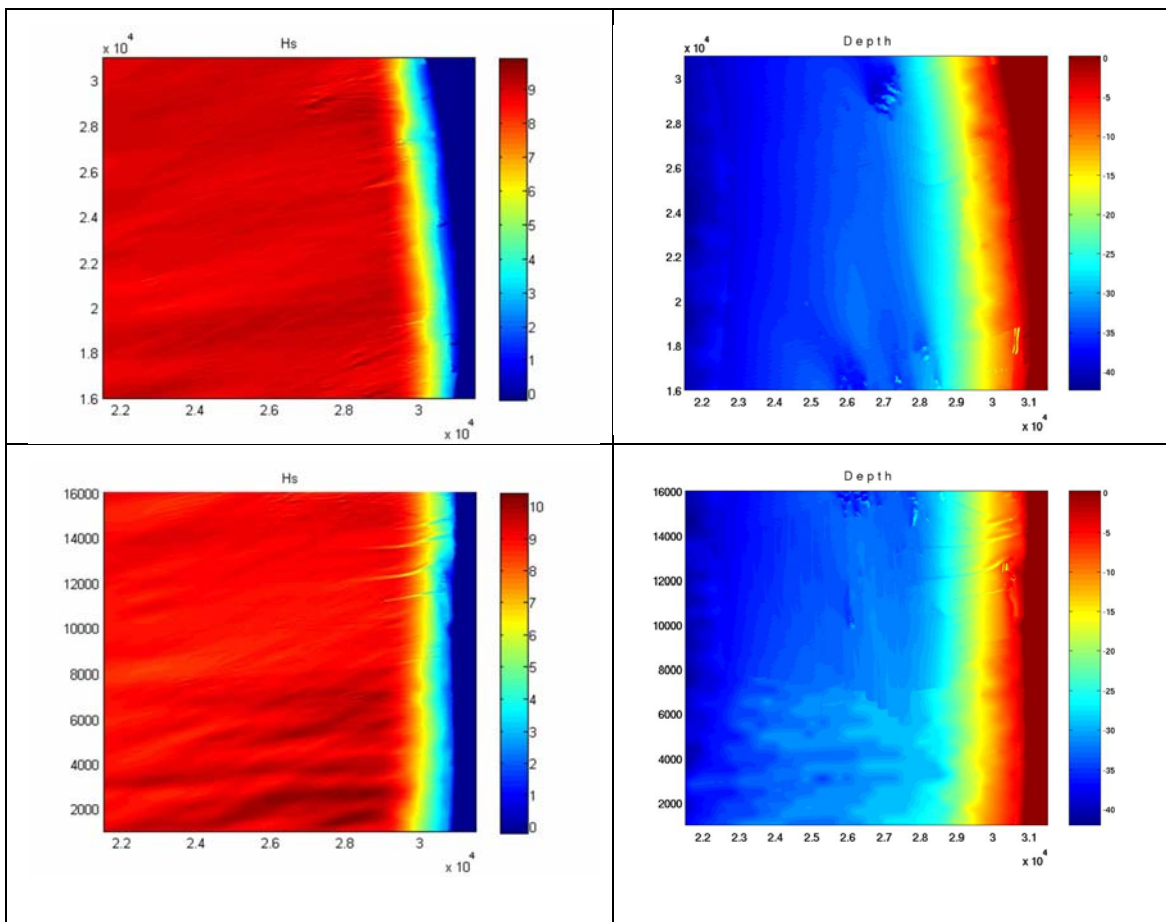


צירוף מס' 15 - השוואת גובה ההתקפחות המורכבת בחופי המרכזי בתל-אביב שנת 2010

ב. אזור חופי המצוקים בדרום, בתחום מנמל אשקלון עד מרינה אשדוד

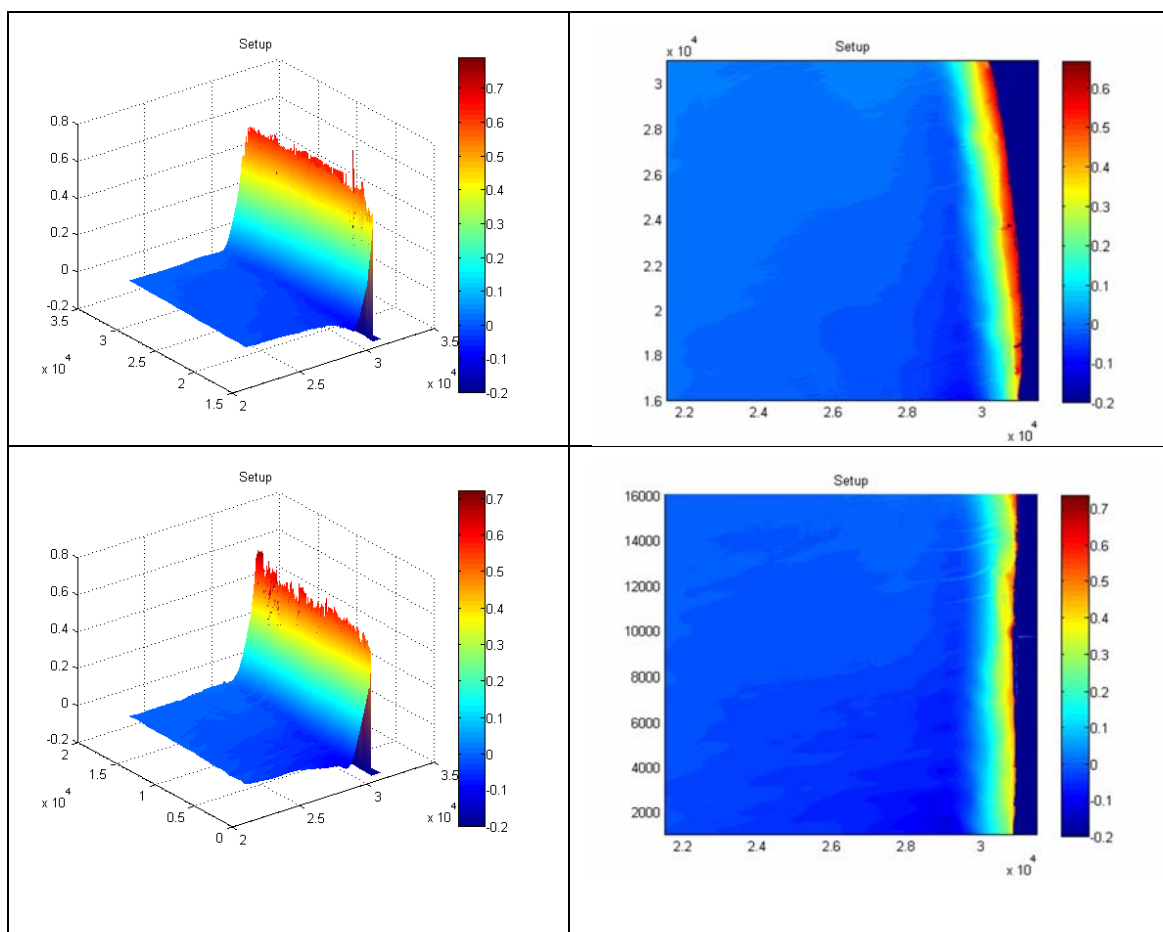
בתחום קטע חוף זה התוצאות חושבו לכל אורך הקטע אך יוצגו רק לחלק הצפוני שמהווה חופי מצוקים. פלט התוצאות כלל טבלאות ומפות של השתנות גובה הגלים, של השתנות כיוון הגלים, זמן מחזור ושל ההערמות וכן מפה תלת ממדית של גובה הערמות הגלים. הנתונים המספריים של ערכי ההערמות המרבית בקו המים שימשו להכנת דיאגרמות השוואתיות בין גובה ההערמות המרבית בחוף בתרחישים השונים שנבדקו. מרבית התוצאות של מפות גובה הגלים וההערמות מוצגות בנספח A4. להמחשה מוצג להלן סט של תוצאות מהרצה בתרחיש של סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, במפלס הים הנוכחי. מפת העומקים מוצגת בציור מס' 16 בנפרד לחלק הדרומי ולחלק הצפוני, מפת השתנות גובה הגלים בציור מס' 17 בנפרד כנ"ל, מפת ההערמות של הגלים בציור מס' 18 בנפרד כנ"ל ומפה תלת ממדית של הערמות הגלים בציור 19 בנפרד כנ"ל.

תוצאות השוואתיות של ההערמות בכל התרחישים באזור המרכז מוצגות בציור מס' 20.



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים

ציור מס' 16 – מפת עומקים לאזור הדרום, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה)
 ציור מס' 17 – מפת השתנות גובה גלים בסערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה לאזור הדרום

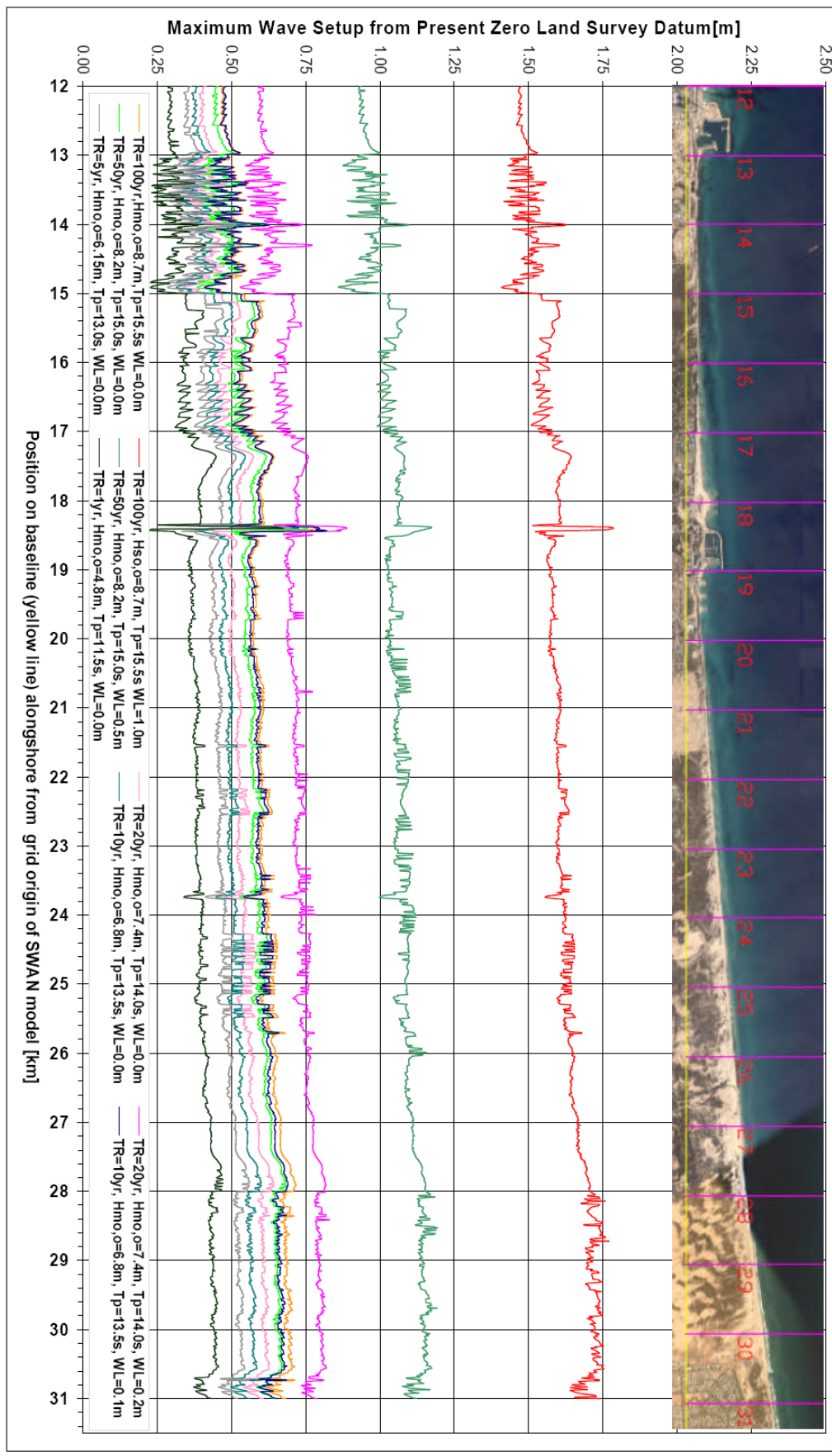


המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים

ציור מס' 18 – מפת גובה הערמות גלים לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה).
 ציור מס' 19 – תצוגת תלת מימד של גובה הערמות גלים לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק צפוני (למעלה).
 סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה
 סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה



MAXIMUM WAVE SETUP ALONG ASHKELON - ASHDOD COAST AS FUNCTION OF STORM RETURN PERIOD & SEA LEVEL STATE (based on SWAN wave model)



צירוף נס' 20 - הישואת גובה התערומות המרובות בהחפ' אשקלון - אשדוד במרחישים שבבדק

ג. אזור חופי המצוקים בתחום משפך נחל פולג עד נחל חדרה

בתחום קטע חוף זה התוצאות חושבו לכל אורך הקטע אך לא יוצגו מכיוון שהגענו למסקנה כי אינן מהימנות בגלל שנתוני העומקים ששימשו להכנת הסריג לא היו באיכות מספקת. אנו נדון בהערכת השינויים הצפויים במצוקים בקטע חוף זה בפרק 7.

6.2 תוצאות ההרצות למצב קיים ותרשימים עתידיים במודל גלים וסדימנטולוגי SBEACH

א. אזור חופי המצוקים במרכז, בתחום מדרום בת-ים עד שפך נחל פולג

השימוש המודל SBEACH אפשר לחשב את השינויים המתרחשים בצדודית חוף ומצוק במהלך סערה סינטטית שהותאמה לתרחיש שנבדק מבחינת אופני הגלים, הרוח ומפלס הים. הדבר אפשר לבחון גם אפשרות גריעה במצוק, מתוך הנחה שהוא עשוי חול. תכונות הסדימנט ופרמטרים מורפו-דינמיים אחרים הותאמו למידע שהיה בידנו. כדי לאפשר התמוטטות של גוש במצוק, הונח כי הדבר קורה כאשר הזווית עולה על 38 מעלות (זווית היציבות הטבעית של חול). כמובן שבמצואות גוף המצוק מורכב מפרקציות שונות של סדימנט, חלקן בעלות לכידות גבוהה וחלקן בעלות נמוכה יותר, אך למשמעות היבט זה לגבי אומדני הגריעה נתייחס בפרק 7.

בניגוד להחלטה המקורית של בדיקת כ-10 חתכים מיצגים בכל קטע חוף, החלטנו לבצע הבדיקה עבור צדודית חוף כל ק"מ לאורך החוף (על פי הסריג שהוכן). לאחר סט הרצות ודיון עם מינהלת הפרויקט, הוחלט לבצע מיצוע של הצדודית כל ק"מ ע"י שימוש בנתוני הסריג ברצועה ברוחב 100 מ', 50 מ' מכל צד של מרכז הקטע. באופן זה נופו רעשים מקריים בנתוני החתך והתקבלו צדודיות ממוצעות מדי כל ק"מ לאורך החוף.

עבור הסערות עם תקופת חזרה של 100 שנה ו-50 שנה, נתוני הגלים חושבו ע"י רפרקציה של הגלים לאזור המרכז לקו עומק של 30 מ' והנתונים הוזנו למודל בהתאם לכך. לגבי הסערות עם תקופות חזרה של 20 שנה ושל שנה אחת שהתבססו על סערות שנמדדו, הם חושבו למים עמוקים והוזנו בהתאם לכך במודל. יצויים כי המודל יודע לחשב לא רק ההסעה הניצבת בחתך אלא גם ההסעה האורכית, כמובן בהנחת מצב דו-ממדי של הקרקעית. התוצאות התבטאו בנתונים לגבי הצדודית הסופית בשוך הסערה ביחס לצדודיות ההתחלתית ומחשוב גובה טיפוס הגלים המרבי במהלך הסערה (maximum wave runup). חישוב הנפחים שנגרעו בצדודית בתחום שמעל קו האפס (במפלס הים הנוכחי) כמו גם השינוי במיקום קו האפס במהלך ובסוף הסערה התקבל בעזרת תוכנת BMAP המשולבת יחד עם תוכנת SBEACH בחבילת התוכנה CEDAS. התוצאות של הבדיקות מבחינת השינויים בצדודית מרוכזות בנספח A5. התוצאות ההשוואתיות של השינויים שנתקבלו מבחינת נפחי גריעה ונסיגה או התקדמות קו האפס מוצגות במספר ציורים כפי שיפורט להלן:

בציור מס' 21 מוצגים נפחי גריעה במצוק ליחידת אורך חוף בצדודיות לאורך חופי המרכז, עבור 4 התרחישים שנבדקו בכל מצבי מפלס ים.

בציור מס' 22 מוצגים נפחי גריעה במצוק ליחידת אורך חוף בצדודיות לאורך חופי המרכז, עבור 4 התרחישים שנבדקו במצב מפלס ים נוכחי ובציור 23 עבור מצבי ים משתנים. תוצאות כל השינויים הנפחיים מוצגות בטבלה מס' 10.

בציור מס' 24 מוצג השינוי במיקום קו האפס בשוך סערת התרחיש לכל המצבים שנבדקו לחופי המרכז. יש לשים לב כי כאשר יש תזוזה של קו האפס הימה (הצטברות כביכול) הדבר נובע מהתמוטטות גדולה מהמצוק, שאינה מספיקה להיות מסולקת באותה סערה במלואה. גם תוצאות כל השינויים במיקום קו האפס מוצגות בטבלה מס' 10.

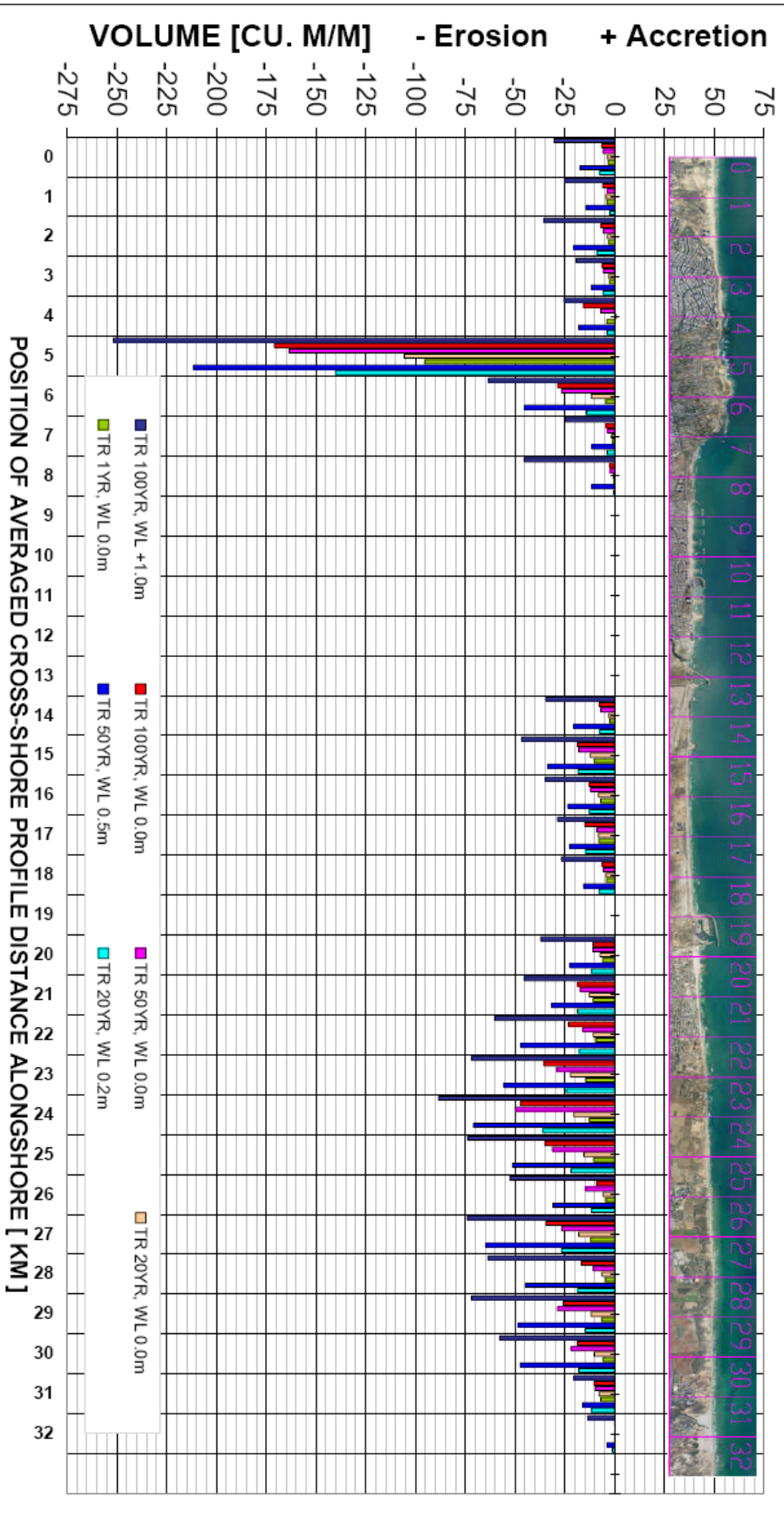
לבסוף בציור 25 מוצגים ערכי גובה טיפוס הגלים המרבי במצב סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ובמפלס ים של 1 מ' בצדודיות של חופי המצוקים באזור המרכז

Averaged profiles	Present sea level at +0.0m		New Sea level with 0 at +1.0m , profile comparison at -1.0m		Present sea level at +0.0m		New Sea level with 0 at +0.5m , profile comparison at -0.5m		Present sea level at +0.0m		New Sea level with 0 at +0.2m , profile comparison at -0.2m		Present sea level at +0.0m		
	Storm 100Yr. z0.central	Volume Change [m³/m]	Water line shift from present 0 position [m]	Storm 100Yr. z0.central	Volume Change [m³/m]	Water line shift from present 0 position [m]	Storm 50Yr. z0.central	Volume Change [m³/m]	Water line shift from present 0 position [m]	Storm 20Yr. z0.central	Volume Change [m³/m]	Water line shift from present 0 position [m]	Storm 20Yr. z0.central	Volume Change [m³/m]	Water line shift from present 0 position [m]
0	-6.4	-3.1	-30.3	-1.9	-6.8	-3.1	-17.3	-6.1	-3.6	-4.3	-3.3	-7.5	-7.0	-3.3	-4.4
1	-6.1	-5.9	-25.0	3.3	-3.6	-2.2	-14.5	0.1	-4.3	0.0	-2.4	-9.9	-3.9	-1.4	-1.4
2	-6.7	-9.4	-35.4	-0.8	-5.6	-10.1	-20.6	-11.6	-3.7	-9.8	-8.8	-14.3	-2.9	-11.7	-11.7
3	-6.1	3.7	-19.3	1.0	-5.5	3.2	-11.8	3.3	-3.0	1.5	-5.8	0.0	-2.7	0.2	0.2
4	-15.7	11.1	-25.4	0.5	-7.1	7.4	-18.0	31.4	0.5	2.4	-3.8	2.9	-4.0	-0.7	-0.7
5	-170.8	-39.2	-261.7	-4.4	-163.4	-37.6	-211.6	-23.9	-106.7	-30.6	-140.2	-33.4	-96.5	-28.2	-28.2
6	-28.6	4.0	-63.4	-9.0	-26.7	4.1	-45.1	1.4	-11.7	-0.3	-14.2	-6.3	-4.4	-0.4	-0.4
7	-4.2	6.4	-24.8	-3.1	-3.5	5.7	-11.2	2.0	-1.6	3.0	-3.8	0.2	-1.0	1.0	1.0
8	-2.7	4.8	-45.4	-63.6	-2.2	4.7	-11.4	-17.6	-0.6	4.4	-0.6	1.4	-0.4	3.2	3.2
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	-7.8	-8.1	-34.6	-4.2	-7.0	-6.4	-20.6	-7.6	-3.0	-5.8	-7.6	-9.3	-2.4	-6.4	-6.4
15	-18.7	-7.7	-46.8	4.9	-18.1	-7.0	-33.5	2.3	-12.4	-7.8	-18.4	-6.3	-10.0	-9.5	-9.5
16	-12.6	-1.1	-34.7	0.0	-11.9	-1.1	-23.5	2.1	-8.2	-2.3	-12.8	-2.6	-7.1	-3.8	-3.8
17	-15.0	-1.8	-28.7	15.8	-8.9	-7.5	-22.6	5.8	-8.2	-2.3	-14.5	-3.7	-8.0	-5.7	-5.7
18	-6.2	-1.6	-26.8	1.1	-5.7	-1.8	-15.7	4.4	-4.2	-3.2	-7.8	-6.7	-4.1	-4.4	-4.4
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	-10.9	-9.5	-37.2	-4.0	-11.0	-9.1	-22.3	-6.4	-7.3	-6.9	-11.8	-7.0	-6.0	-7.9	-7.9
21	-18.6	-6.3	-45.4	11.3	-17.1	-6.9	-31.5	-1.7	-12.7	-7.5	-18.7	-7.5	-10.7	-9.0	-9.0
22	-23.2	-12.4	-60.2	14.7	-15.9	-10.5	-47.1	-2.4	-10.7	-13.8	-17.7	-19.3	-9.3	-12.9	-12.9
23	-35.5	9.2	-71.8	24.7	-29.0	2.6	-55.5	8.5	-22.2	2.5	-24.2	-1.7	-14.4	1.9	1.9
24	-47.4	-3.3	-88.4	32.8	-50.0	-2.9	-70.9	14.6	-20.4	-5.4	-36.1	-10.2	-12.8	-7.4	-7.4
25	-35.1	6.8	-73.5	15.4	-31.4	7.7	-51.3	0.5	-16.5	1.0	-22.0	-15.0	-10.6	0.8	0.8
26	-9.1	-7.1	-52.7	24.2	-14.5	-3.2	-31.0	0.6	-5.9	-7.9	-11.7	-11.0	-4.3	-10.5	-10.5
27	-34.4	2.1	-74.0	30.7	-26.7	-1.4	-44.7	20.6	-18.1	-0.6	-26.6	-2.7	-12.2	-2.6	-2.6
28	-16.7	-18.1	-63.6	18.2	-10.8	-19.1	-44.9	-4.6	-6.4	-17.6	-18.4	-16.6	-4.7	-18.2	-18.2
29	-25.9	5.4	-71.9	21.6	-28.7	7.3	-48.2	15.0	-11.9	-0.1	-14.8	-4.1	-6.5	-1.6	-1.6
30	-18.7	1.7	-57.8	27.3	-21.8	2.0	-47.4	15.2	-10.2	1.4	-18.1	-6.5	-5.9	-2.0	-2.0
31	-10.0	-1.8	-20.4	10.9	-9.8	-2.1	-16.1	3.6	-7.8	-4.7	-11.8	-4.5	-7.1	-6.4	-6.4
32	0.0	0.0	-13.3	-4.9	0.0	0.0	-3.8	-4.4	0.0	-0.2	-1.2	-3.9	-0.1	-1.0	-1.0

טבלה מס' 10 – נפח גריעה במעמק החופי ופירות הסתת קו האפס באזור המרכז



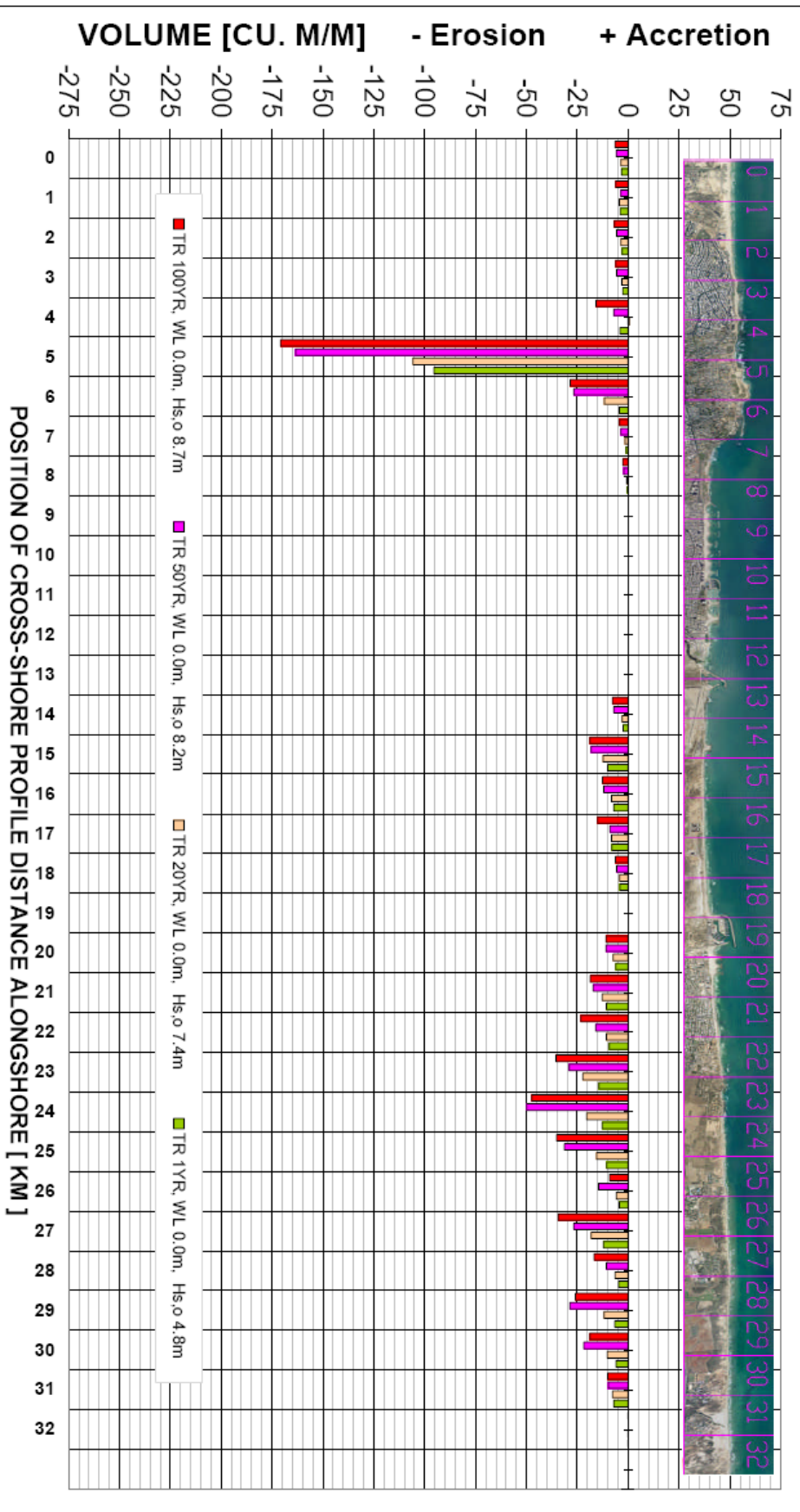
**CENTRAL COAST (BAT-YAM - POLEG) CLIFF EROSION VOLUME RELATIVE PRESENT 0 ELEVATION
AS FUNCTION OF STORM RETURN PERIOD AND SEA LEVEL STATE (averaged profiles)**



צירי מ'ס' 21 - נפחי גריעה במצוק לאורך חוף בצפון-מזרחי עכו, עברו 4 התרחישים שנגדקו בכל מצבי מופלס היים



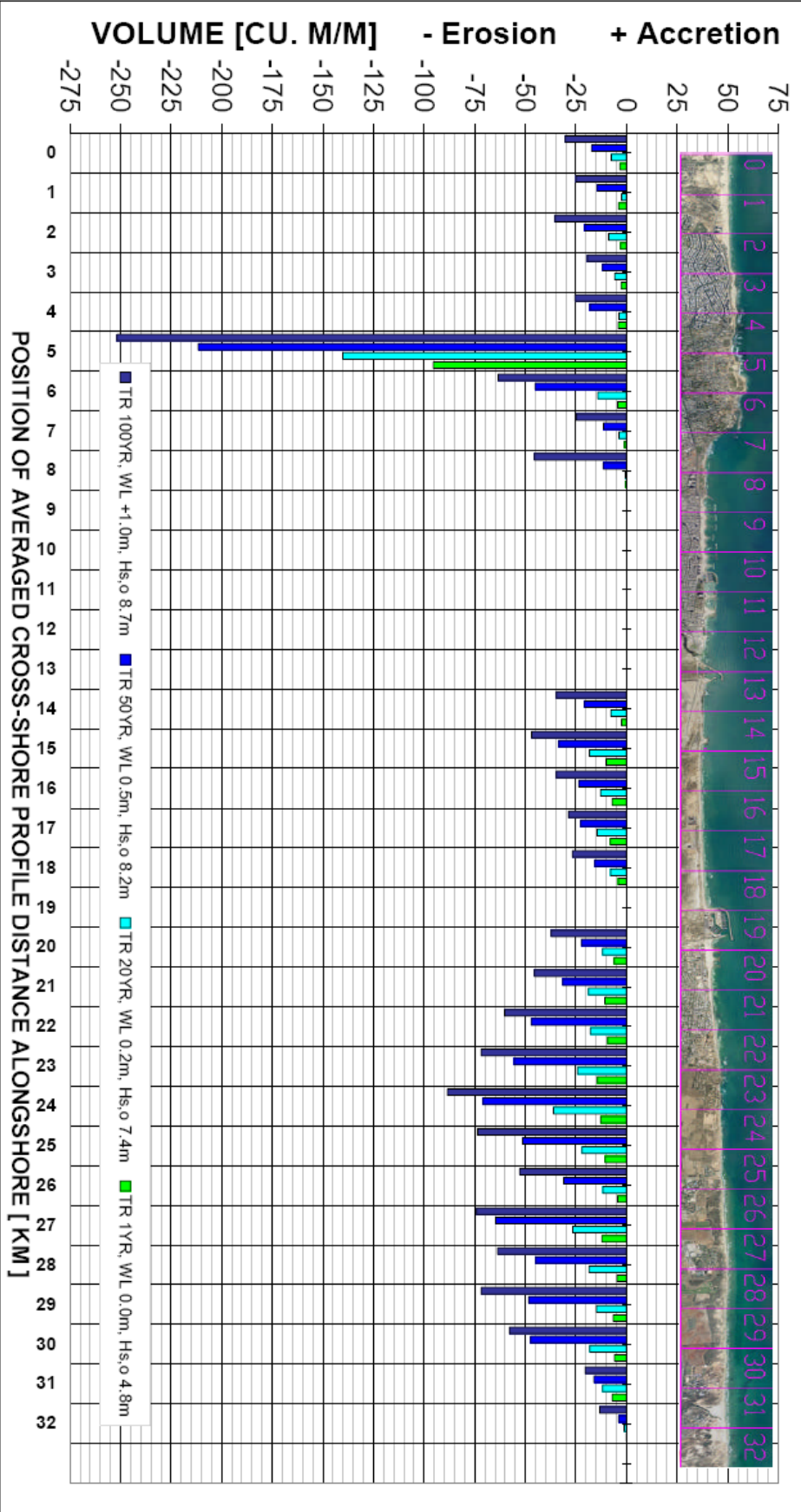
CENTRAL COAST (BAT-YAM - POLEG) CLIFF EROSION VOLUME RELATIVE PRESENT 0 ELEVATION AS FUNCTION OF THE AVERAGE RETURN PERIOD OF STORMS (averaged profiles)



צילוד גוט' 22 - נפחד גרייעה במענק לוחידת אוד חוקה בעזודודיות לאורך חופי המרונה, עפור 4 התרודישים שנבדקו במעגב מופלס ים נוכח



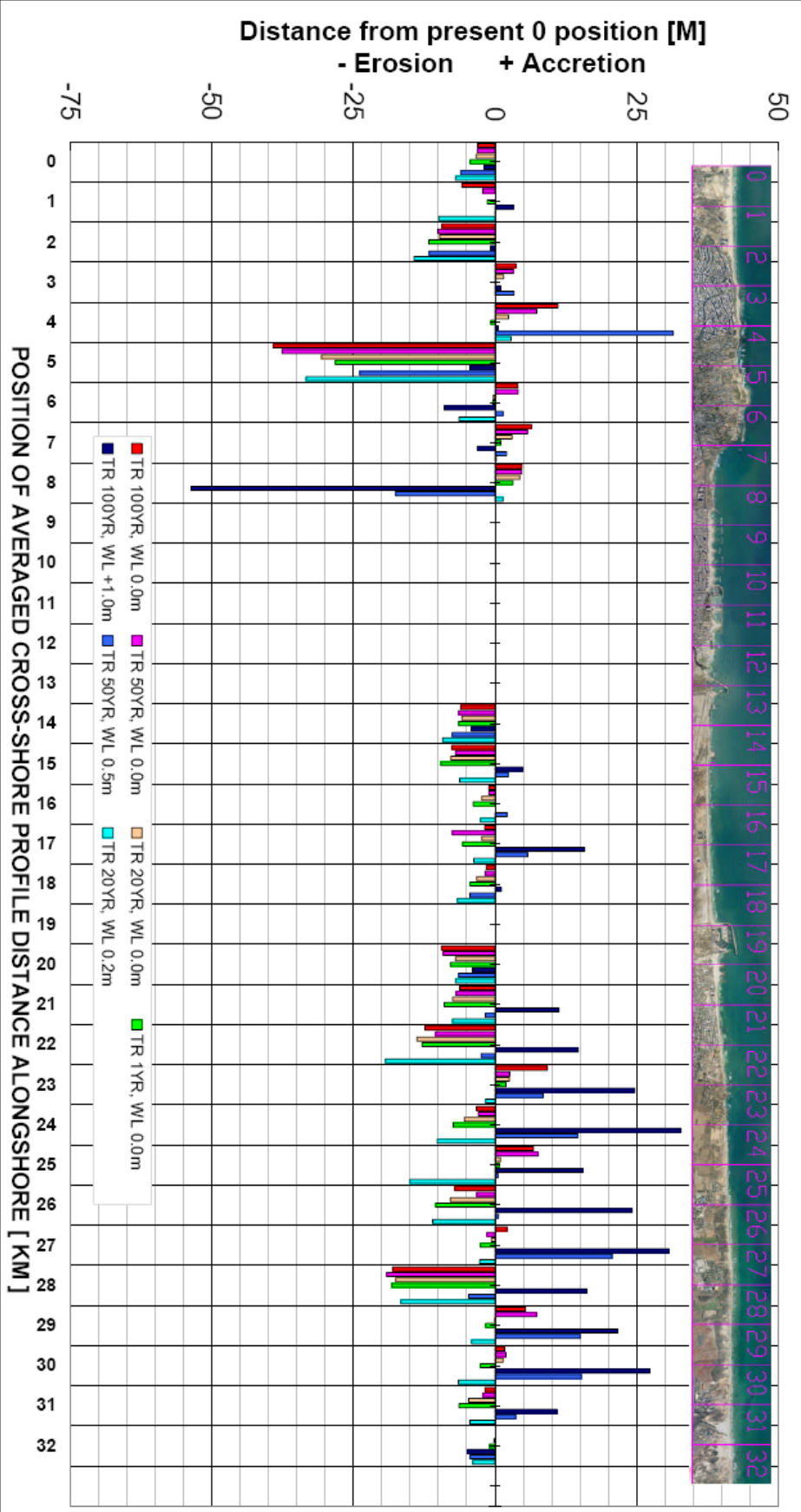
**CENTRAL COAST (BAT-YAM - POLEG) CLIFF EROSION VOLUME RELATIVE PRESENT 0 ELEVATION
AS FUNCTION OF STORM RETURN PERIOD AND SEA LEVEL STATE (averaged profiles)**



צירוף מס' 123 - נפחן גריעה במצוקה ליתדות אוד חוקה במעודדות לאורך חופי המרכז, עבור 4 התרחישים שבבדיקו במצב מופלס ים משתנה



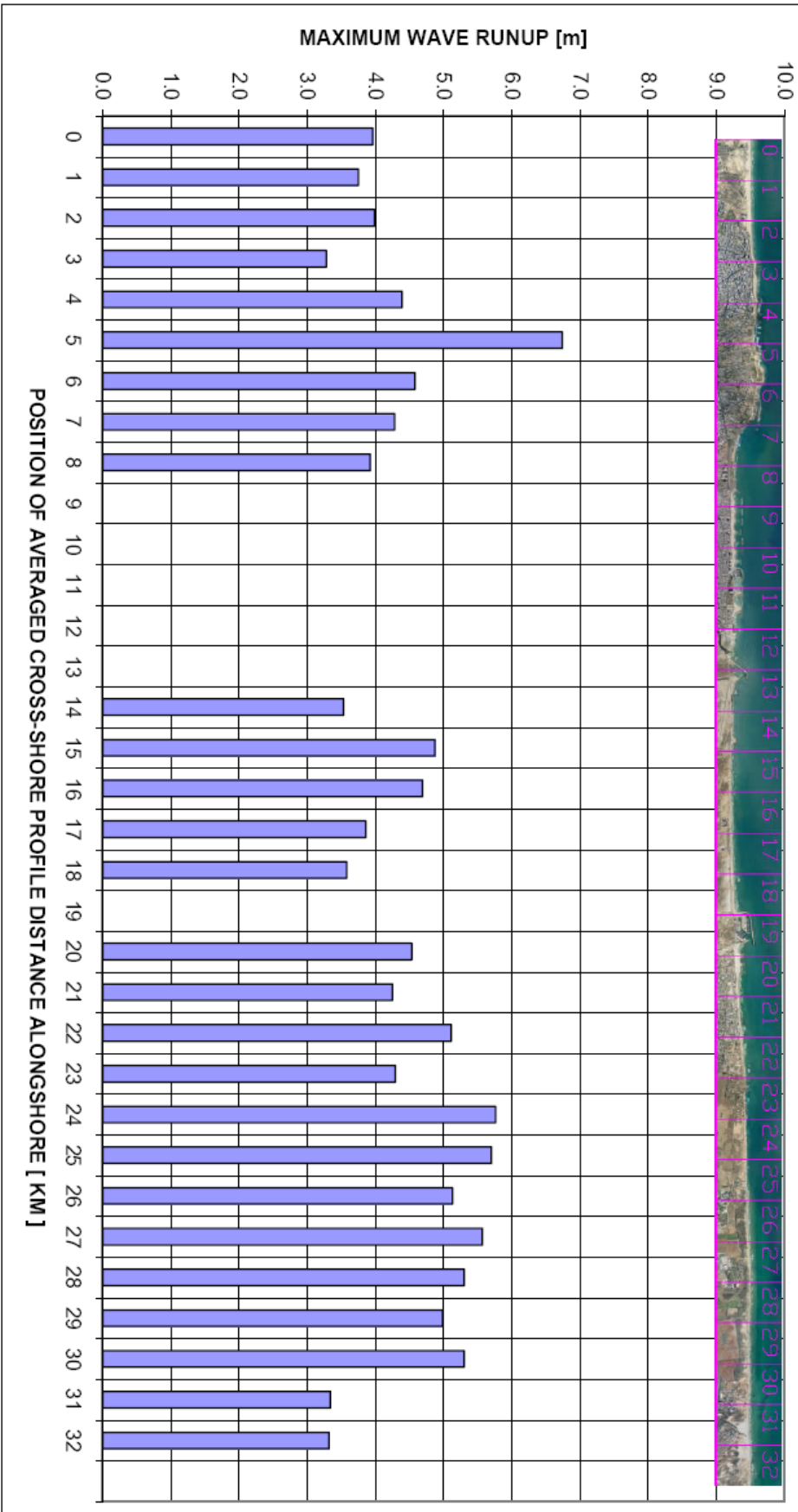
CENTRAL COAST (BAT-YAM - POLEG) WATER LINE SHIFT FROM PRESENT 0 ELEVATION AS FUNCTION OF STORM RETURN PERIOD & SEA LEVEL STATE (for averaged profiles)



ציור מס' 24 - שינוי מיקום קו האפס בשורן סגרת התרחישי לכל המצבים שנבדקו לחופי המרכז.



**MAXIMUM WAVE RUNUP AT CENTRAL COAST (BAT-YAM - POLEG)
FOR EXTREME STORM WITH 100 YEAR RETURN PERIOD AND +1M SEA LEVEL**



צירוף מס' 25 – תוצאות גובה טיפוס הגלים המורבי במצב סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ובמפלס ים של 1 מ' בעודדות של חופי המצוקים באזור המורבי

ב. אזור חופי המצוקים בדרום, בתחום מנמל אשקלון עד מרינה אשדוד

התוצאות של הבדיקות מבחינת השינויים בצדודית מרוכזות בנספח A6. התוצאות ההשוואתיות של השינויים שנתקבלו מבחינת נפחי גריעה ונסיגה או התקדמות קו האפס מוצגות במספר ציורים כפי שיפורט להלן:

בציור מס' 26 מוצגים נפחי גריעה במצוק ליחידת אורך חוף בצדודיות לאורך חופי אשקלון-אשדוד, עבור 4 התרחישים שנבדקו בכל מצבי מפלס ים.

בציור מס' 27 מוצגים נפחי גריעה במצוק ליחידת אורך חוף בצדודיות לאורך חופי אשקלון-אשדוד, עבור 4 התרחישים שנבדקו במצב מפלס ים נוכחי ובציור 28 עבור מצבי ים משתנים. תוצאות כל השינויים הנפחיים מוצגות בטבלה מס' 11.

בציור מס' 29 מוצג השינוי במיקום קו האפס בשוך סערת התרחיש לכל המצבים שנבדקו לחופי אשקלון-אשדוד. יש לשים לב כי כאשר יש תזוזה של קו האפס הימה (הצטברות כביכול) הדבר נובע מהתמוטטות גדולה מהמצוק, שאינה מספיקה להיות מסולקת באותה סערה במלואה. גם תוצאות כל השינויים במיקום קו האפס מוצגות בטבלה מס' 11.

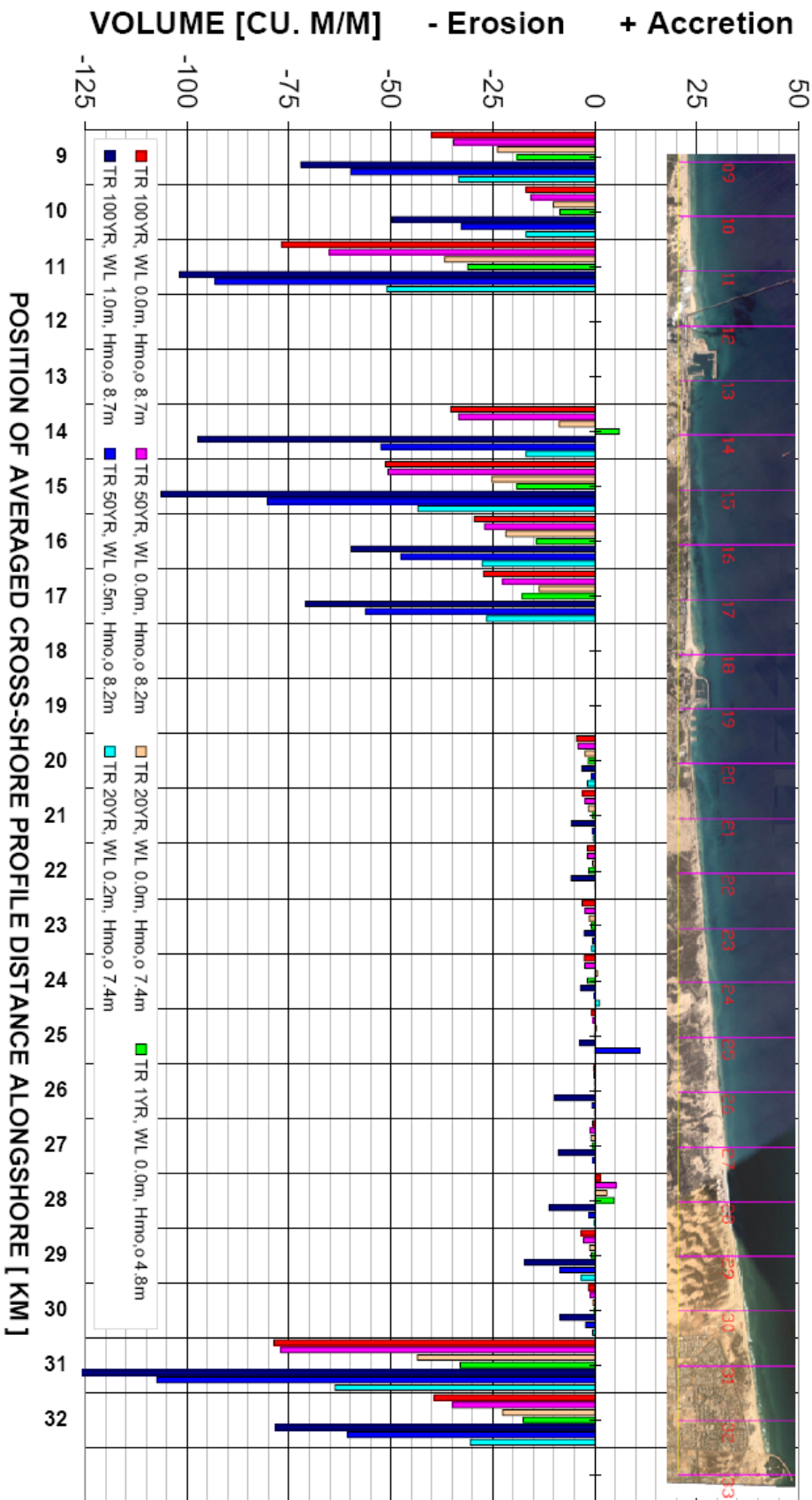
לבסוף בציור 30 מוצגים ערכי גובה טיפוס הגלים המרבי במצב סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ובמפלס ים של 1 מ' בצדודיות של חופי המצוקים באזור אשקלון-אשדוד.

Averaged profiles	Present sea level at +0.0m		New Sea level with 0 at +1.0m , profile comparison at -1.0m		Present sea level at +0.0m		New Sea level with 0 at +0.5m , profile comparison at -0.5m		Present sea level at +0.0m		New Sea level with 0 at +0.2m , profile comparison at -0.2m		Present sea level at +0.0m	
	Storm 100Yr. 20 ASHKELON	Volume Change [m ³ /m]	Water line shift from present 0 [m]	Storm 100Yr. 20 ASHKELON	Volume Change [m ³ /m]	Water line shift from present 0 [m]	Storm 50Yr. 20 ASHKELON	Volume Change [m ³ /m]	Water line shift from present 0 [m]	Storm 20Yr. 20 ASHKELON	Volume Change [m ³ /m]	Water line shift from present 0 [m]	Storm 20Yr. 20 ASHKELON	Volume Change [m ³ /m]
9	-40.0	-18.5	-72.1	7.3	-34.6	-21.0	-59.8	-7.9	-23.9	-22.2	-33.4	-22.9	-19.0	-22.8
10	-16.9	-16.1	-49.7	-11.2	-15.7	-16.2	-32.8	-16.5	-10.2	-15.9	-16.8	-17.1	-8.563	-16.2
11	-76.9	-13.3	-101.8	20.7	-65.1	-16.1	-93.1	3.9	-36.8	-16.1	-51.0	-13.1	-31.1	-14.8
12														
13														
14	-35.3	-37.4	-97.4	-26.9	-33.4	-35.7	-52.5	-36.1	-8.7	-35.3	-16.8	-33.0	6.0	-29.9
15	-51.3	-26.6	-106.3	-3.1	-50.7	-24.8	-80.3	-19.3	-25.2	-17.5	-43.4	-26.5	-19.1	-16.8
16	-29.5	-13.6	-59.7	11.8	-27.1	-14.6	-47.6	-2.4	-21.8	-16.3	-27.6	-14.3	-14.3	-18.3
17	-27.3	-20.9	-70.8	12.6	-22.6	-20.7	-56.2	-7.2	-13.7	-14.4	-26.5	-23.0	-17.9	-21.4
18														
19														
20	-4.5	8.6	-3.2	-4.9	-4.1	8.1	-0.9	5.3	-2.4	5.8	-1.8	7.2	-1.7	3.6
21	-3.0	9.5	-5.8	-9.4	-2.3	7.6	-0.6	-0.2	-1.6	5.9	-0.3	4.0	-0.6	3.4
22	-1.8	2.9	-5.8	-8.5	-1.8	2.6	0.1	-0.7	-0.5	-3.9	0.0	0.0	-1.5	-3.4
23	-3.1	10.0	-2.6	-3.7	-2.4	8.3	-0.5	2.6	-1.3	5.3	-0.7	6.7	-0.9	3.6
24	-2.6	3.4	-3.5	-5.2	-2.4	3.2	-0.1	1.4	0.6	-6.7	1.2	3.8	-1.8	1.7
25	-0.7	0.1	-3.7	-8.3	-0.4	-10.9	11.0	-0.2	0.3	-9.8	0.0	0.0	0.0	-17.2
26	-0.3	2.3	-9.9	-15.9	-0.2	1.7	-0.7	-4.8	0.0	0.7	0.0	0.2	0.0	0.4
27	-0.5	13.1	-8.9	-14.3	-1.1	12.8	-0.4	-4.5	-0.9	11.1	0.0	0.0	-0.6	6.6
28	1.3	0.0	-11.2	-12.2	5.1	-6.8	-1.4	-4.7	2.9	-13.9	-0.2	0.1	4.8	-12.6
29	-3.3	5.7	-17.1	1.7	-2.7	4.8	-8.5	-0.1	-1.2	1.7	-3.3	-0.5	-0.9	-0.2
30	-1.6	6.4	-8.5	-1.0	-1.1	5.2	-2.2	0.8	-0.4	2.6	-0.5	1.5	-0.1	1.1
31	-76.7	-24.6	-138.0	14.7	-77.0	-23.0	-107.4	-9.6	-43.5	-18.6	-63.7	-24.7	-33.0	-19.4
32	-39.3	-19.8	-78.2	6.2	-34.9	-20.7	-60.6	-9.0	-22.6	-20.7	-30.5	-22.2	-17.6	-21.1

טבלה מס' 11 – נפחי גריעה במצוק החופי ומידת הסטת קו האפס באזור הדרום



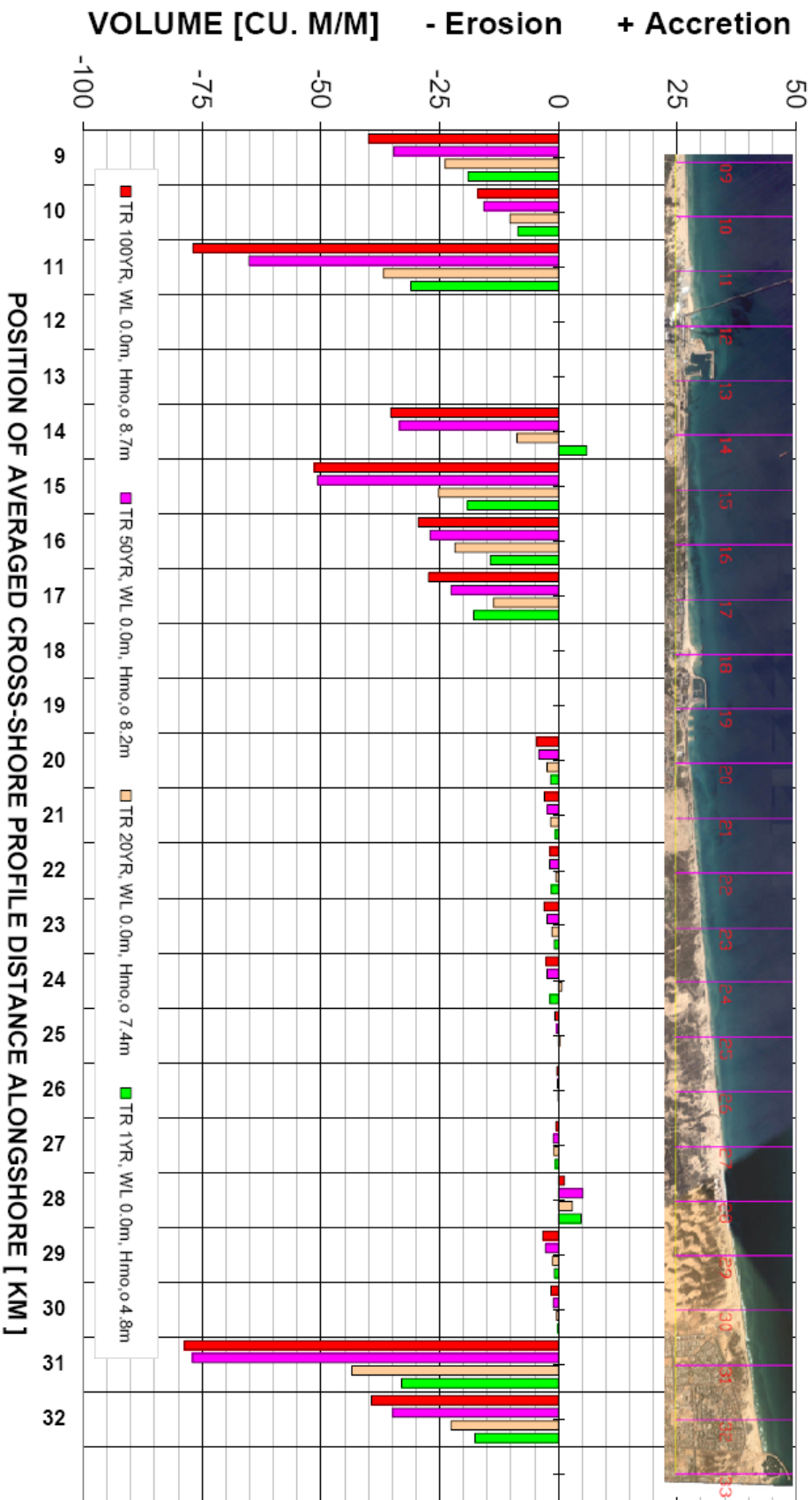
ASHKELON-ASHDOD COAST CLIFF EROSION VOLUME RELATIVE PRESENT 0 ELEVATION AS FUNCTION OF STORM RETURN PERIOD & SEA LEVEL STATE (averaged profiles)



צירוף מס' 26- נמדד גריעה במנותק ליקודת אוד חוף במרווחיות לאורך דופי אשקלון עד אשדוד, עבור 4 המרווחים שנבדקו בכל מצבי מילס ים שנבדקו



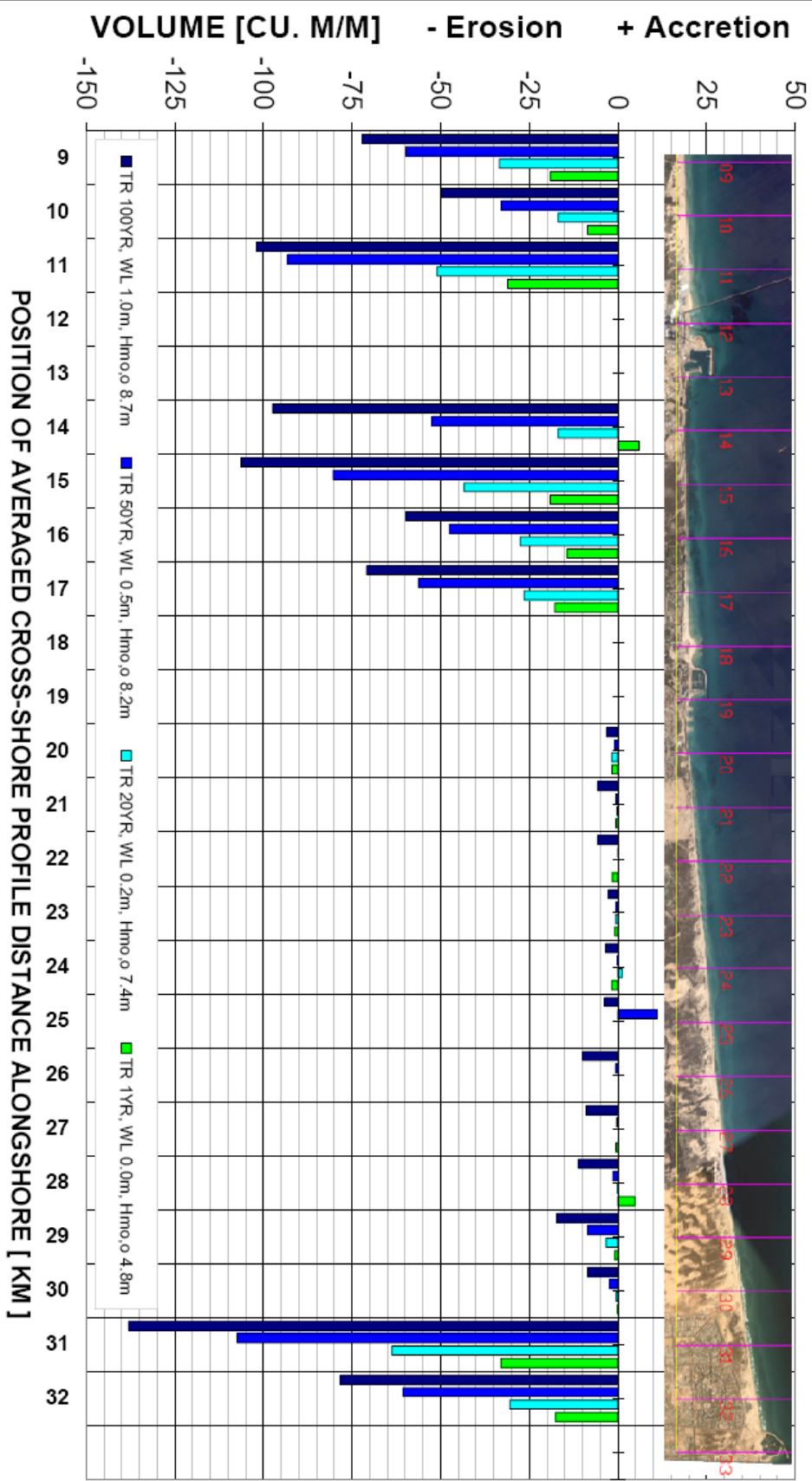
ASHKELON-ASHDOD COAST CLIFF EROSION VOLUME RELATIVE PRESENT 0 ELEVATION AS FUNCTION OF STORM RETURN PERIOD (averaged profiles)



צירוף מס' 27 - נפוץ גריעתה במצוקים לרוחב אורך חופי המרינה, עבור 4 התרחישים שבמדריך במצב מפלס ים נוכחי



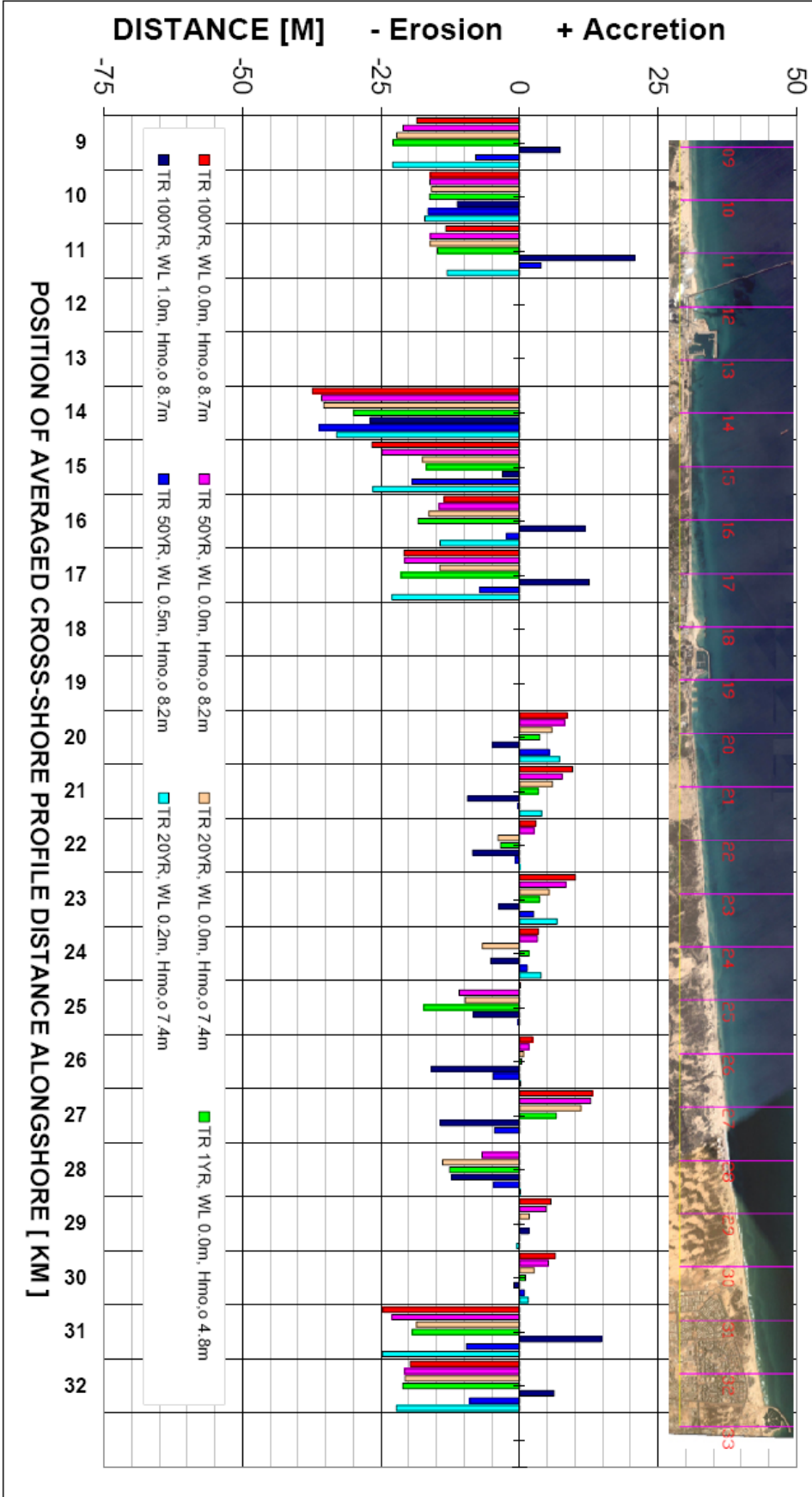
ASHKELON-ASHDOD COAST CLIFF EROSION VOLUME RELATIVE PRESENT 0 ELEVATION AS FUNCTION OF STORM RETURN PERIOD & SEA LEVEL STATE (averaged profiles)



ציור מס' 28 - גובה גריעתו במצבן ליתודדת אוד חוף בצדודיות לאורך חופי המדינה, עבור 4 התודודיות שגובדקי במצב מפלים ים משהמה



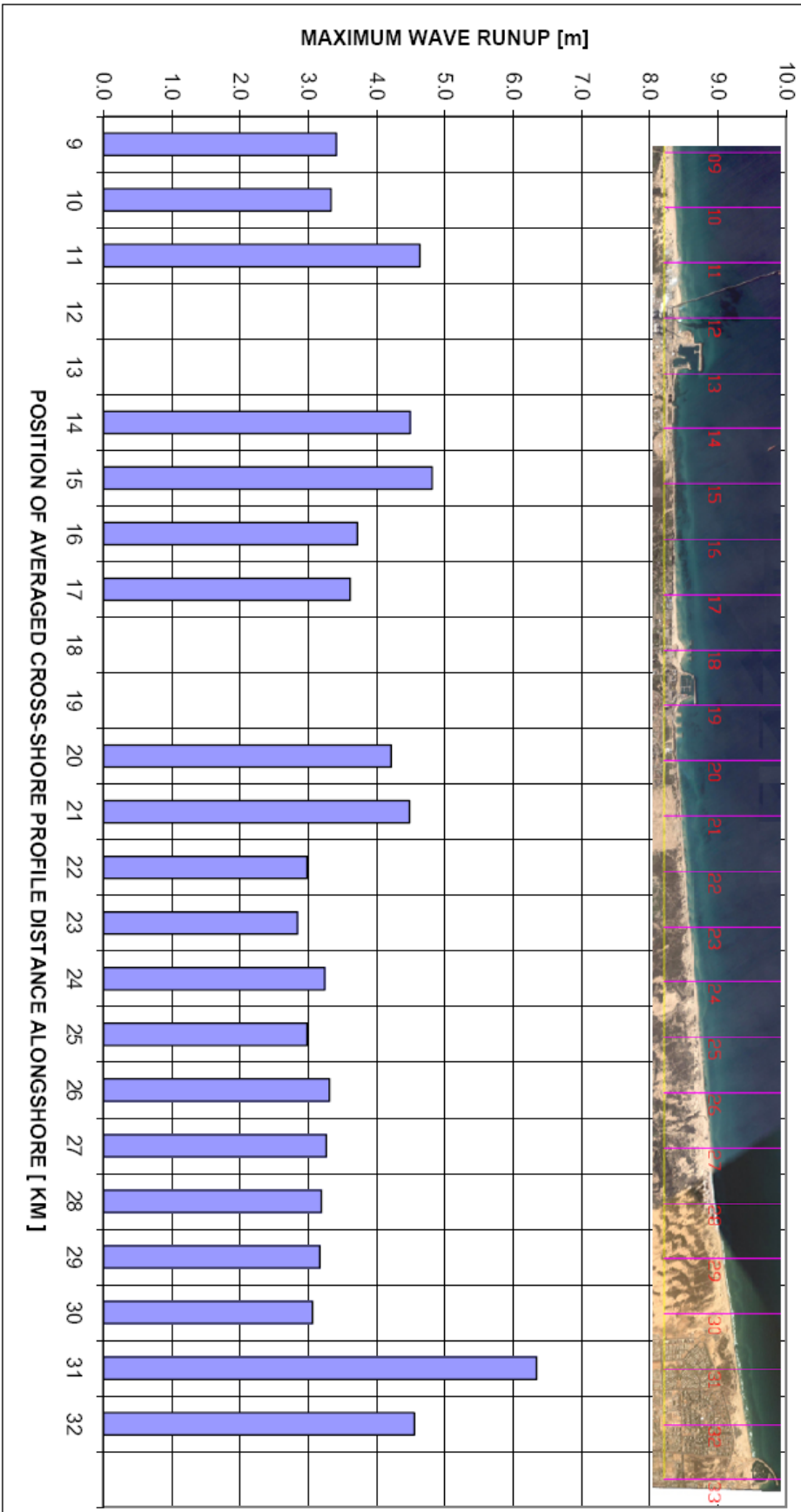
**ASHKELON-ASHDOD COAST WATER LINE SHIFT FROM PRESENT 0 ELEVATION
AS FUNCTION OF STORM RETURN PERIOD & SEA LEVEL STATE (for averaged profiles)**



צילום נוסף - שינוי מיקום קו המים בשורף פנורמי התחזית לכל המצבים שנתבאר לחופי אשקלון-אשדוד



**MAXIMUM WAVE RUNUP AT ASHKELON-ASHDOD COAST
FOR EXTREME STORM WITH 100 YEAR RETURN PERIOD AND +1M SEA LEVEL**



צילום מס' 30 – ערבי רום טיפוס גלים מירביים (Max Runup) בהרצת SBEACH בטערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה ומפלס ים של 1.0 מ' לחופי אשקלון-אשדוד

ג. אזור חופי המצוקים בתחום משפך נחל פולג עד נחל חדרה

בתחום קטע חוף זה בוצעו חישובים עבור מספר חתכים אך התוצאות לא יוצגו מכיוון שבדומה לפרק 6.1 ג' הגענו למסקנה כי התוצאות אינן מהימנות מכיוון שנתוני העומקים לא היו באיכות מספקת. אנו נדון בהערכת השינויים הצפויים במצוקים בקטע חוף זה בפרק 8.

7. בחינת חלופות ימיות למיגון והקטנת הרס המצוק החופי בהשפעת מי הים

7.1 שיקולים לבחירת חלופות ימיות ושיטת הבדיקה של יעילותן והשפעותיהן הסביבתיות והכלכליות

מטרת בחירת חלופת מיגון לחוף מצוקי, כשמה כן היא, להגן על החוף והמצוק החופי מפני פגיעת הגלים בחוף ובמצוק, יצירת צניר שמביא להגברת אי יציבות המצוק ככל שהוא תלול יותר, ולגריעה של החומר שנלקח מהמצוק אל ירכתי החוף. ללא ספק כי החומר הנגרע מזין בחלקו את מערכת ההסעה לאורך החוף אך גם את זאת הניצבת לחוף. ככל שהגלים גבוהים יותר, מאזן ההסעה הניצבת יהיה גריעה לכיוון ירכתי החוף. במקרה של סדימנט דק כמו טין וחרסית, אלה ישטפו לירכתי החוף וישקעו שם במרבית המצבים.

כידוע בקהיליית מהנדסי החופים (ראה גם הסקירה שהציג שטדלר (2006) לחלופות מיגון מודרניות של חופים ומצוקים בארץ ובעולם), מיגון מקובל של חופי מצוקים כנגד פגיעת גלים במצוק נעשה ע"י מיגון בוחן המצוק וכן ע"י מתקנים המשככים את אנרגיית הגלים ומקטינים את רום טיפוס הגלים המרבי. בין הפתרונות המקובלים ביותר ניתן לציין שילוב של מיגון הבוחן ע"י מבנה קשיח או רך אך משכך אנרגיית הגלים ו הזנה מלאכותית תקופתית של תחום החוף או ע"י סוגים שונים של מבנים ימיים מטובעים או בולטים מעל פני הים, שיכולים להיות קשיחים או גמישים.

פתרונות מסוג מסוג דורבנות או שוברי גלים מוכרים, אך יחד עימם מוכרות הבעיות הסביבתיות שהם גורמים כגון: חסימה של רצף הסעת החול לאורך החוף, זיהום אופק (מניעת מבט פתוח אל האופק), התפתחות זרמי פריצה חזקים לידם המסכנים מתרחצים, הרס חופים שכנים ועוד. הפתרונות המטובעים הם יותר ידידותיים לסביבה בדרך כלל, אך גם הם עלולים לגרום בעיות סביבתיות אם לא תוכננו נכון מבחינת תפקודם ומבחינת יציבותם ושרידותם. יעילותם עולה ככל שרום הגופים המטובעים קרוב יותר לפני המים. מאידך במצב כזה הם עלולים להוות מכשול למעבר כלי שיט, אך מאידך עשויים לספק מקלטים לחי וצומח הימי בגופם ובכך לעודד התפתחות חי וצומח ימי (שגם הם לעיטים עלולים להיות מינים פולשניים לא רצויים).

ידוע, (למשל Rosen and Vajda, 1982), כי שוברי גלים מקבילים לחוף יעילים בלכידת חול בתחום המוצל על-ידם, ויעילות יצירת לשונית חול או (spit) או שירטום (tombolo) (כאשר נוצרת התחברות אל שובר הגלים) תלויים בגיאומטריה היחסית של אורך שובר הגלים ביחס למרחקו מקו החוף המקורי וכן בתלות הבלט היחסי של הקצה העליון של שובר הגלים וכן במיקום היחסי של שובר הגלים לעומת מיקום קו המשברים השכיח. יצירת הזרמים שמסיעים חול אל תוך התחום המוצל נגרמת על ידי הפרשי שטף תנע בין האזור המוצל ע"י שובר הגלים לאזור שאינו מוצל. כתוצאה מגובה משברי גלים שונים בשני התחומים, גם ההערמות שנגרמת ע"י הגלים ושל טיפוס הגלים תהיה גדולה יותר בצד החוף החשוף לעומת צד החוף המוגן, דבר שייצור גרדיאנט זרימה מהתחום הפתוח אל התחום המוגן בקרבת שפת הים, והיא מסיעה את הסדימנטים ששוקעים באזור המוגן והשקט יותר, אך גם נוצרים זרמים חזקים (זרמי פריצה – rip currents) ליד הראשים שיסכנו מתרחצים. כאשר שובר הגלים מטובע נמנעת התפתחות זרימה חזקה. כמו כן, ככל שנתרחק הימה מתחום רצועת המשברים השכיחה, תקטן האפשרות לצבירת סדימנטים בצד המוגן, ולכן לא תהיה חסימה להסעה לאורך החוף, וגם ימנע זיהום אופק הים.

מכאן, ברור מדוע כבר מהתחלה הצענו לבדוק שני פתרונות של שוברי גלים מטובעים ושרטונות מלאכותיים רציפים, מתוך הנחה כי בכך נצליח לבזבז את אנרגיית הגלים במידה מספקת, תקטן הערמות הגלים בחוף ותקטן מידת טיפוס הגלים על החוף והמצוק. מאחר שרק באזור הרצליה עד שפך נחל פולג היו לנו נתונים אמיינים ומפורטים של הבתימטריה והטופוגרפיה מצד אחד, ומכיוון שאזור זה כולל חופי מצוקים ללא מבנים חופיים מלבד הקטע של מרינה הרצליה ושלושת שוברי הגלים הסמוכים, הוחלט כי את החלופות לבדיקה נבחן ע"י בחינת חלופות מספר באזור זה תוך השוואת יעילותן במצב ים נדיר – סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה, במפלס הים הנוכחי, לבזבז אנרגיית הגלים בחוף, הקטנת הערמות הגלים ורום טיפוס הגלים ביחס למצב הקיים ללא החלופות, בעזרת מודל הגלים SWAN.

7.2 תאור חלופות המיגון הימיות שנבדקו

נבדקו סך הכל 9 חלופות מיגון, שאופייניהן מוצגים בטבלה 12. לצורך ההדמייה, הונח כי שוברי הגלים המטובעים עשויים מקסונים (קופסאות בטון) מיוצבים על תשתית בסיס על פי כללי התכנון של הנדסת חופים. רוחב היחידות שהוצבו תמיד במקביל לקו החוף המקומי בקרוב, היה של 10 מ', 30 מ' או 50 מ' (ערך זה נדרש עקב גודל הסריג הגלים של 10 מ', שהתברר כי לפעמים גרם לפספוס בחישוב (למכשול לא היה עובי מבחינת הדמייה ספרתית). החלופות שנבחנו כללו מקטעים בודדים באורך של 1 ק"מ או 7 ק"מ, שילוב של יחידות בקווי עומק 15- מ' ו-25- מ' עם הקצה העליון בעומק 5- מ' על מנת לאפשר מעבר סירות מעליהן, או מערכת רציפה של קטעי קסונים מטובעים באורכים של 200 מ' ומרוויים של 200 מ' ביניהם. לבסוף, נבחנה מערכת רציפה של מקטעי קסונים מטובעים המוצבים על קו עומק 8- מ' ובמרווחים כנ"ל, אך עם השיא רק 0.25 מ' מתחת לרום אפס האיזון הארצי, כך שמצד אחד גורמים לשבירה יעילה של אנרגיית הגלים, אך לא יוצרים זיהום אופק, לא גורמים להתפתחות לשוניות חול או צבירת חול או חסימה להסעה לאורך החוף, ונראים עקב קו השבירה הלבן הצפוי כמעט בכל מצב. לבסוף, בחופי אשקלון נוסתה חלופה דומה לאחרונה, אך הקסונים מוקמו על קו עומק 15- מ'. ברור שככל שהמערכת מוצבת קרוב יותר לחוף מחירה ירד, מאידך מצאנו כי המרחק הקרוב ביותר הסביר הינו כ-600 מ' מקו המים השקטים, על קו עומק 8- מ'.

טבלה מס' 12 – תאור חלופות המיגון הימיות שנבדקו במחקר בעזרת מודל SWAN.

חלופה מס'	אורך יחידת קסון המטובע (מ)	מיקום בקו עומק (מ')	רום קצה עליון(מ')	רוחב (מ')	מרווח בין היחידות (מ')	תחום החוף המוגן (ק"מ סריג)	מצב נבדק תקופת חזרה (שנים)	יעילות החלופה
1	1000	-15	-10	10	-	21 עד 22	100	לא טובה
	1000	-25	-10	30	-	27 עד 28		
2	1000	-15 - ו -20	-10	30	5000	21 עד 22	100	לא טובה
	1000							
3=כמו 1+2	1000		-10				100	לא טובה
4	7000	-10	-5	10	-	21 עד 28	100	לא טובה
5	7000	-15 - ו -20	-5	10-130	-	21 עד 28	100	לא טובה
6	7000	-10	-5	10	-	21 עד 28	100	לא טובה
7	7000	-10	-2.5	10	-	21 עד 28	100	לא טובה
8	200 כל 200 מ'	-25	-15	10	200	21 עד 28	100	בינונית
9	200 כל 200 מ'	-8	-0.25	10	200	21 עד 28	1:100	מעולה
9A	200 כל 200 מ'	-15	-0.25	50	200	16 עד 32	100	טוב מאד

7.3 תוצאות מפות גלים והערמות בחלופות שנבדקו

התוצאות שנתקבלו מוצגות בנספח 7A בצורה של מפות עם סימון החלפה על גבי מפת עומקים בחלק העליון, מתחתיה מפת גובה הגלים, ומתחתיה מפת הערמות הגלים. מסתבר שהיעילה ביותר היא חלופה 9. המצב המיוחד שמתפתח הוא של הווצרות הערמות גלים ליד שוברי הגלים המטובעים, שלמרות שהם יוצרים חסימה ושיכוך יעיל לאנרגיית הגלים, נוצרת הערמות נוספת בסדר גודל של כ-0.5 מ' בקו החוף והמצוק. ואולם, בתחום שבין רצועת הקסונים המטובעים והחוף גובה הגלים קטן ביותר, כך שאפילו אם ייווצרו גלים עקב נשיבת הרוח על פני המים, אלה יהיו גלים קצרים וקטנים שאין ביכולתם לגרום לגריעה מעשית במצוק החופי. מאידך בכל התחום המוגן, מפלס הים גבוהה יותר וכך המצב גם במקרה של סערה עם תקופת חזרה של שנה אחת. כלומר, כדי להתגבר על הערמות די קבועה שתוצר במצב כזה, ניתן לבצע הזנה מלאכותית חד פעמית בחוף של כ-חצי מטר גובה, ואז להציב מיגון רך כגון סקים גיאוטכניים בתחתית המצוק (כ-0.5 מ' גובה), לקבלת פתרון מיגון קבוע מפני פגיעת גלים במצוק.

הפתרון של חלופה 9 (או 9A) אינו זול, אך אם ייושם בהיקף ניכר יוזל משמעותית. מאידך הוא ראוי רק למיגון קטעי חופי מצוקים שפגיעים במיוחד. למניעת כניסת גלים בקצוות המיגון ניתן לבנות חסימה מטובעת חלקית, ולבצע העברת חול תקופתית מצד אחד של החסימה הניצבת מהצד השני של תחום המיגון.

8. דיון בממצאים של הבדיקות במודל ואומדן הנסיגה המרבית של חופי המצוקים בשנת 2020, בשנת 2050 ובשנת 2100

8.1 אומדן קצב הנסיגה על בסיס בדיקת התרחישים במודל הגלים מרחבי ובמודל הגלים והסדימנטולוגי המקומי

במחקר שערכנו בעזרת מערכת של שני מודלים, נבחנה מידת הגריעה במצוק במצבי גלים ומפלסי ים נוכחי ועתידיים. על פי תוצאות הערמות הגלים המרבית במצבים השונים ובקטעי החוף השונים, לא נמצא שוני רב ומשמעותי בערך הערמות הגלים המרבית. עם עליית מפלס הים בהשפעת שינוי האקלים, הערמות הגלים נשארת דומה לערכה במפלס הים הנוכחי, אך התוצאה היא כמובן מתחברת למידת עליית מפלס הים.

אומדן מידת טיפוס הגלים שהוכן הציג ערכים גבוהים יותר מאלה שהתקבלו בעזרת מודל SBEACH. מאידך, במודל זה הונח כי כל המצוק בנוי מחול, הגולש כאשר נגרע ממנו חול, למצב אי יציבות (שיפוע תלול מ-38 מעלות). לפי כך, המחבר הראשון בדעה שהאומדן התיאורטי שהתקבל ע"י חישוב במערכת CEDAS, יהיה קרוב יותר למצב האמיתי הצפוי.

תוצאות נפחי הגריעה והנסיגה במצוקים בחופי המרכז ובחופי אשקלון-אשדוד לא תואמים. בתחום חופי המרכז התוצאות תואמות את המצב הידוע מבחינת הרס במצוק בשטח, כאשר הקטעים הפגיעים ביותר הם הקטעים בהם המצוק מאד גבוהה ותלול. אז, גריעה קטנה באזור הבוהן, מביאה להתמוטטות כמות ניכרת של חומר מהמצוק. לפי הממצאים, לעיטים הגלים לא מספיקים לסלק החומר שהתמוטט עד סוף אותה סערה, אך בטוח כי זה יקרה בסערות שיבואו בהמשך.

לאור התוצאות הנ"ל, התוצאות בחופי אשקלון נמצאו שלא תמיד בהתאמה למבנה צודדית החוף והמצוק מבחינת תלילות וגובה, לעומת כמות ההרס בו ומידת הנסיגה. לעניות דעתנו, הסיבה לתוצאה זאת, היא האיכות הנמוכה של נתוני העומקים וגם בתחום החוף והמצוק, לעומת האיכות הטובה של הנתונים באזור המרכז.

כיום קיימת הערכה כי קצב הגריעה והנסיגה הממוצע במצוק החופי הוא כ-0.25 מ' לשנה. לולא היתה תלויה הגריעה במצוק רק המשטר הגלים ומצב מפלס הים, ניתן היה להעריך את מידת הנסיגה על פי נוסחת Bruun. ואולם, מאחר שקיימים גורמים נוספים התורמים להרס המצוק, לדעתנו כל אומדן כמותי שניתן, לא יהיה אפשר להגן עליו בגלל אי הודאויות שעדין קיימות. לעומת זאת, ניתן להצביע מי באמת הם קטעי חופי המצוקים בעלי פגיעות גבוהה מאד, ובמידה שקטעים אלה גם הנם בעלי ערכים סביבתיים, סוציאליים וכלכליים אזי יהיה ברור כי אלה הם הקטעים הראויים ביותר להגנה, בפתרון מסוג של חלופה מס' 9. בהתבסס על התוצאות שהתקבלו במחקר זה לגבי מידת הפגיעות של חופי המצוקים מהרס ע"י גלים היא קודם כל פונקציה של תלילות המצוק וגובהו, ובהעזר בטבלה של ד"ר ע. כץ ממג"ל של אפיון קטעי החוף מגבול עזה עד חיפה מבחינה גיאולוגית גיאוטכנית, סימנו בטבלה בצבע אדום את קטעי חוף בעלי פגיעות יחסית גבוהה להרס גלים, והיא מוגשת כטבלה מס' 13 בעמוד הבא.

כל מה שלדעתנו נוכל לומר בשלב זה בביטחון הוא כי קצב ההרס בחופי המצוקים ילך ויגבר עם עליית מפלס הים ובמידה שתגדל שכיחותן של סערות נדירות. קצב עליית ההרס במצוק, בממוצע צפוי להיות יחסי למידת עליית מפלס הים לעומת המצב הנוכחי, כלומר אם קצב עליית המפלס הוכפל מ-2 מ"מ בממוצע במאה העשרים והוא כ-4 מ"מ לשנה כיום (בניכוי תנודות רב שנתיות) ל-10 מ"מ עד סוף המאה, גם ההרס במצוק צפוי להיות מואץ בערך פי 2.5 ב-2100, כלומר נסיגה ממוצעת של כ-45 מ' בקו המצוק בסוף 2100.

טבלה מס' 13 - קיטוע חוף הים-התיכון הישראלי (מוגבל רעועת עזה לחל חדרה) לפי אופי המצוק החופי (בעקבות ע. כץ, 2007)

מס'ד	קטע	גבול דרומי (ישראלי חדרה)	אורך (ק"מ)	שיפוע המצוק	מדרמליית ¹	גאולוגיה ושימוש נשל	התרחבות הנדיסית ביציבות המצוק	הערות
1	ויקים	611710	4.6	-	אין מצוק חופי	-		
2	קצא"א	615620	2.8	10° עד 30°	מצוק מקוטע בנובך עד כ- 6 מ', שיפועים בינוניים.	-		
3	אשקלון, נגן-לאנמי	617920	2.7	10° עד 30°	מצוק רציף בריב, גובה עד כ- 20 מ', שיפועים בינוניים.	גלישות דרודות במוכר ונאמנת חורבות	מבנים עתיקים בקו המים בקרבת מיידית לשפת המצוק	
4	אשקלון, חוף ומרעה	620200	1.7	-	אין מצוק חופי		שפד' גילים מנותקים ומרוע	
5	אשקלון, ברע	621680	2.4	10° עד 30°	מצוק מקוטע בנובך עד כ- 15 מ', שיפועים בינוניים.	-	דרום הקטע שומרי גלים מנותקים	
6	יענים	623780	8.6	10° עד 30°	קטעי מצוק מרדדים וקצרים בנובך עד כ- 15 מ', שיפועים בינוניים.	-		
7	אשדוד עיר ונסל היובל	631370	7.9	-	אין מצוק חופי			
8	תחנת כח אשדוד	638480	1.9	-	אין מצוק חופי			
9	חילת פלמחים	640230	8.2	-				
10	יבנה ים - פלמחים	647770	2.3	10° עד 40°	מצוק מקוטע בנובך מספר מטרם, שיפועים בינוניים (תליליים).	גלישות דרודות במוכר ונאמנת חורבות	עתיקות בקרבת מיידית לשפת המצוק	
11	שורק - שפד"ן	649680	6.9	-	אין מצוק חופי			
12	ראשון לציון	656140	1.2	10° עד 30°	מצוק רציף בריב, גובה עד כ- 20 מ', שיפועים בינוניים.	-		
13	בת-ים	657280	2.6	10° עד 30°	מצוק רציף גובה עד כ- 15 מ', שיפועים בינוניים.	גלישות דרודות במוכר	מתון שיפועים בולקי מצוק	
14	נבעת עליה	659820	1.2	10° עד 30°	מצוק רציף גובה עד כ- 15 מ', בדרום הקטע נמחות כלפי צפון, שיפועים בינוניים.	-		
15	יבנה	661030	3.5	10° עד 30°	מצוק רציף גובה עד כ- 10 מ', שיפועים בינוניים.			
16	תל-אביב	664020	4.7		קטע מצוק חופי בנובך 10 מ' מתון תליליות	-	שפד' גילים מנותקים ויציבות מצוק	

טבלה מס' 13 - קיטוע חוף הים-התיכון הישראלי (מגבול רצועת עזה לחוף חדרה) לפי אופי המצוק החופי(בעקבות ע. כץ, 2007) - המישור

מס'יד	קטע	נבול דרומי (י שוראל חדרה)	אורך (ק"מ)	שיפועי המצוק	מורפולוגיה	צאולוגיה וסיפוס כשל	התערבות הנדסית ביצירת המצוק	הערות
17	תל-ברד	668500	1.6	-	אין מצוק חופי		שופ גלים מנותק	
18	צפון-תל-אביב	670000	2.0	10° עד 30°	מצוק חופי רציף בגובה מעל 30 מ' מחלקו הדרומי ומסופ מסר-ים מחלקו הצפוני. שיפועים בענניים.			
19	חוף המצוק	671930	0.5	10° עד 30°	מצוק מקוטע בגובה עד 13 מ', שיפועים בענניים.			
20	הרצליה, דרום למרינה	672360	1.5	5° עד 20°	מצוק רציף בגובה עד 17 מ', שיפועים נמוכים-בענניים.			שיפועים מצוק נמוכים קרוב למרינה ומתלילים כלפי דרום
21	הרצליה, מרינה ושופ גלים	673880	1.5	10° עד 30°	מצוק רציף ברייב, בגובה כ-20 מ' מחלקו הדרומי ומתליל מ-10 מ' מחלקו הצפוני, שיפועים בענניים.			מצוק חופי הורחק מקו המים עיני המרינה ושופ גלים תלילים
22	הרצליה - אמילוניק	675360	2.9	30° עד 40°	מצוק רציף ברייב, גובה עד 20 מ', שיפועים תלולים.	גלישות רדודות במורכב דרך גלישות רומפוניות מעל המרת נחשולים.		כשל מדרון משמעותי; מתים בקרבת מידית לשפת המצוק.
23	נעש - מרב	678220	8.1	30° עד 40°	מצוק רציף בגובה עד 20 מ', שיפועים תלולים.			
24	פשת מרב	685920	1.3	-	אין מצוק חופי			
25	דרום נתקת	687210	5.3					
26	נתקת, סירדוניות-חרצל	692390	0.8					
27	צפון נתקת	693130	2.1					
28	שופשת חמקיים	695200	2.7					
29	בית ינאי	697860	1.3	10° עד 30°	מצוק חופי רציף בגובה מעל 20 מ' מחלקו הדרומי ומסופ מסר-ים מחלקו הצפוני. שיפועים בענניים.	גלישות רדודות במורכב דרך ונפילות של נוש כותר ת"א.	מסלעות לא רצופות בבסיס המצוק	מתים בקרבת מידית לשפת המצוק
30	פשת אלכסנדר	699160	1.6	-	אין מצוק חופי			
31	מכמורת	700730	1.6					
32	גמנת אילית	702300	3.7	30° עד 40°	מצוק חופי מקוטע, גובה עד 15 מ', שיפועים תלולים מבנה של ספרצים ובליות.	גלישות רדודות ופילות של נוש כותר.	מסלעות לא רצופות בבסיס המצוק	

8.2 אומדן השפעת שינוי במשטר הרוחות והגלים על האומדן ב-8.1

כפי שציינו, אנו מצעים להעריך עליית של כ-5% בגובה הגלים עד סוף המאה עבור אותה תקופת חזרה. מאחר ואנרגיית הגלים היא פרופורציונלית לגובה הגלים בריבוע, אפשר להעריך כי הפגיעה של הסערות תגדל ביחס שווה לריבוע אנרגיית הגלים, כלומר ההרס במצוק עלול לגדול בכ-10% לעומת המצב הקיים.

8.3 אומדן השפעות אנטרופוגניות על האומדנים ב-8.1 ו-8.2

הפיתוח החופי בישראל צפוי להתגבר עם תכניות לבניית נמלים חדשים, מפעלי התפלה, איים מלאכותיים ועוד. צפוי כי אלה יגרמו במחסור בחול שיזין החופים, אלא אם ינקטו צעדים למנוע זאת ע"י חיוב ביצוע העברת חול מלאכותית לאורך החוף, וליבוא חול לריפוד החופים. מאידך, למרות ההרס הרב שנגרם בחופי הדלטה של הנילוס בעקבות סיום בניית סכר אסואן, וביצוע אמצעי מיגון של חופי מצרים, קיימות במדף היבשת של מצרים באזור הדלטה של הנילוס עדיין כמויות גדולות מאד, ואלה ימשיכו להיות מוסעות לכיוון החוף הישראלי עד סוף המאה לפחות.

9. מסקנות והמלצות

9.1 מסקנות

במחקר שבוצע ע"י הפעלת מערכת משולבת של נתוני סביבה ומודלים, התאפשר לזהות את הנקודות החשובות לגבי קביעת הפגיעות היחסית של חופי המצוקים.

מומלץ לקבל האומדן של עליית מפלס הים של כ-0.5 מ' לשנת 2050 ושל כ-1.0 מ' לשנת 2100. מידת הפגיעות של חופי המצוקים ביחס לתקיפת הגלים תלויה בגובה היחסי של המצוק ובתלילות היחסית שלו ביחס לזווית היציבות הגיאוטכנית שלו.

נמצאו מספר מקטעי חוף בעלי פגיעות גבוהה יחסית, ולקטעי חופים אלה ראוי לתת ציון פגיעות גבוהה בתוך טבלת השכלול של כל ההיבטים שעוד תוכן ככל הנראה.

לדעתנו לא יהיה נכון להעריך את אומדן מידת נסיגת המצוק החופי על פי קביעת רום גובה הטיפוס המרבי של גלים במצבי ים עם תקופות חזרה מתאימות.

למרות שלא התאפשר לבצע הרצות מהימנות על תחום החוף מנחל פולג צפונה עקב חוסר נתוני עומקים וטופוגרפיה מספקים, הממצאים של המחקר ישימים לכל קטעי החוף הישראלי.

נמצאה חלופת מיגון שיכולה לספק מיגון קבוע לקטעי חוף פגיעים במיוחד, למרות שעלותה לא זול.

9.2 המלצות

מומלץ לבצע מיפוי מסודר של תחום החוף מגבעת אולגה עד נחל פולג בים עד קו עומק 20- מ' לפחות, וכן את החוף והמצוק בתחום זה, כדי שניתן יהיה להעריך בביצוע אמצעי מיגון.

לבדיקת מיגון אתרים נקודתיים חייבים לבצע הבדיקות באמצעות מודל סדימנטולוגי מסוג 2Dh, שמאפשר לבצע בדיקה של שינויים מורולוגיים בכל תחום החוף והים ולא רק בחתכים ניצבים לחוף.

יש להמשיך בפעילויות ניטור של שינויים בחופי המצוקים, ע"י ביצוע מיפויים פוטוגרמטריים שנתיים בקני"מ 1:500 או מפורט יותר. אחת האפשרויות העתידיות המבטיחות היא באמצעות מיפוי LIDAR (לייזר מוטס).

10. רשימת מקורות נבחרים

- אלמגור, ג., *חוף הים התיכון של ישראל*, 2002, המכון הגיאולוגי, דו"ח מס' GSI/13/02, ירושלים, אוגוסט 2002.
- גוליק, א., שושני, מ., גולן, א., חיימי, א., 2002, *תנועת סדימנטים בחופי חיפה*, חקר שולי היבשת הים תיכוניים של ישראל, קובץ תקצירי הרצאות, חקר ימים ואגמים לישראל, חיפה.
- גלילי, א., שרביט, י., 2001, *הרס ערי החוף ועתיקות הים*, בתוך החברה להגנת הטבע, חופי ישראל 2001, דוח פורום ארגוני החוף על מצב חופי הים התיכון, תל-אביב.
- המשרד לאיכות הסביבה וחבריו, 1995, *מבנים ימיים בחופי הים התיכון - מסמך עמדה*.
- המשרד לאיכות הסביבה, אגף ים וחופים, 2000, *ים וחופים, מאמרים 2000*.
- וידה, מ., 1980, *חוף גבעת אולגה - בדיקת שינויים סדימנטולוגיים בתקופה אוגוסט 1973-אוקטובר 1979 ומידת ההשפעה שאפשר ליחס להקמת בריכת מי הקרור של תחנת כוח חדרה*, המכון הישראלי לחקר הנדסה ימית בע"מ, קרית הטכניון, חיפה.
- זילברמן, ע., אילני, ש., קלבו, ר., 2006, *מיפוי גיאומורפולוגי-ליתולוגי של רצועת החוף של ישראל (עד כ-1 ק"מ ממזרח לחוף), הערות ודברי הסבר למפה*, המכון הגיאולוגי.
- כץ, ע., בנארי, ר., פטרקר, ג., 2006, *מיפוי אזורי סכנה-יחסית לאורך המצוק החופי, טיוטא לעיון*, המכון הגיאולוגי, ספטמבר 2006, מוגש לוועדת ההיגוי לבחינת פתרון קבע - מצוק החוף.
- כץ, ע., בנארי, ר., פטרקר, ג., 2006, *מיפוי מתארי של קטעי המצוק החופי, זיהוי אזורי הצפה נוכח עליית פני הים ותרחיש ראשוני לנסיגת המצוק*, מוגש לוועדת ההיגוי לבחינת פתרון קבע - מצוק החוף.
- מלכין, נ., 2002, *שוניות ים תיכוניות בגובה הבריכים*, נשיונל גיאוגרפיק, גיליון מס' 4.
- משרד הפנים, מנהל התכנון, הועדה למימי חופין, 1998, *מימי החופין של ישראל, מסמך מדיניות, דו"ח שלב א'*.
- משרד הפנים, מנהל התכנון, הועדה למימי חופין, 1999, *מימי החופין של ישראל, מסמך מדיניות, ריכוז המידע*.
- ניר, י., 1985, *מפה השואתית של עומקי-הים באזור בריכת מי הקרור של תחנת הכח מ.ד. בחדרה והתהליכים הסדימנטולוגיים אשר חלו באזור בין 1978 ל-1984*, המכון הגיאולוגי, אגף לגיאולוגיה ימית, מפוי וטקסוניה, ירושלים.
- ניר, י., 1989, *חופי הים התיכון של ישראל וצפון סיני, היבטים סדימנטולוגיים*, המכון הגיאולוגי, ירושלים.
- פרת, א., אלמגור, ג., 1996, *סיכונים לאורך מצוק השרון*, המכון הגיאולוגי, דוח מספר GSI/5/96.
- צביאלי, ד., קליין, מ., רוזן, ד. ס., שרביט, י., 2001, *סערת הגלים הדומיננטית והשפעתה על מורפולוגית חופי ישראל, חקר שולי היבשת הים תיכוניים של ישראל*, חקר ימים ואגמים לישראל, חיפה.
- קליין, מ., צביאלי, ד., פורת, ב., 2001, *השפעת מבנים ימיים בעיר עזה, על רוחב וצורת החופים בסביבתם*, חקר שולי היבשת הים תיכוניים של ישראל, חקר ימים ואגמים לישראל, חיפה.
- קליין, מ., צביאלי, ד., קיט, א., שטיימן, ב., אראל, א., צינדר, א., 2002, *תוצאות ראשונית של ניטור הסעת סדימנט חולי באזור מרינת הרצליה, הצבוע בחומר פלואורסנטי*, חקר שולי היבשת הים תיכוניים של ישראל, קובץ תקצירי הרצאות, חקר ימים ואגמים לישראל, חיפה.
- רבן, א., 1987, *ארכיאולוגיה ימית, פרקי מבוא*, משרד הבטחון-ההוצאה לאור, תל-אביב.
- רוזן, ד. ס., 1993, *בניית נמל בחוף עזה- השלכות לגבי החוף הים תיכוני של ישראל*, חקר ימים ואגמים לישראל בע"מ, חיפה.
- רוזן, ד. ס., 1996, *העתיד טמון בחול, מסע אחר - המגוזן הגיאוגרפי הישראלי*, כרך 57, עמ' 135-116, יוני 1996.
- רוזן, ד. ס., 2000, *אומדן ההשפעות הסביבתיות הצפויות עקב בניית איים מלאכותיים במימי החופין של ישראל, בים התיכון באזור המרכז- התייחסות לתוצאות החקירה במודלים הסדימנטולוגיים*, דוח סדימנטולוגי סופי, דוח חיא"ל מס' H 03/2000, חקר ימים ואגמים לישראל, חיפה.

רוזן, ד.ס., 2001, אפיון המשטר הסדימנטולוגי ואמדתן ההשפעות הסדימנטולוגיות של הרחבת נמל חיפה, חקר שולי היבשת הים תיכוניים של ישראל, חקר ימים ואגמים לישראל, חיפה.

רוזן ד.ס., 2005, סיכום ידע על תהליכים חופיים והשפעות שינוי האקלים על מצב החופים והמצוק החופי לקראת גיבוש מדיניות לאומית לשימור החופים והמצוק החופי בים התיכון, דוח חיא"ל H42/2005, נובמבר 2005.

רוזן ד.ס., רוזנטראוב צ., רסקין ל., 2005, מחקרי גישור לבחינת יתכנות הקמת איים מלאכותיים, מדידה, עיבוד וניתוח נתוני גלים וזרמים מול תל ברוך בתקופה אוקטובר 2002 - ינואר 2004, אומדן משטר הגלים במרכז הארץ ע"י איסוף ועיבוד וניתוח נתוני גלים מחיפה, חדרה, אשדוד ואשקלון בתקופה אפריל 2002 - מרץ 2004, חיא"ל, דו"ח H23/2005, חיפה, מאי 2005.

רוזן ד.ס., גולן א., רסקין ל., 2005, מחקרי גישור לבחינת יתכנות הקמת איים מלאכותיים, מדידה, ניטור סדימנטולוגי ברצועת החוף מדרום בת-ים עד נחל פולג, בתקופה סתיו 1997 עד סתיו 2003, חיא"ל, דו"ח H39/2005, חיפה, נובמבר 2005.

שטדלר ל., 2006, המצוק החופי, סקירת *State of the Art*, דו"ח סופי, מוגש לוועדת ההיגוי לבחינת פתרון קבע - מצוק החוף, תל אביב, אוקטובר 2006.

שפנייר, א., 1984, שונות מלאכותיות על מדף היבשת-שיפור סביבתי או נזק אקולוגי, תקצירי הרצאות של כנס החברה הישראלית לאקולוגיה.

Almagor G., Gill D., and Perath I., 1998, *Marine sand resources offshore Israel*, Geological Survey of Israel, Report GSI/25/98, Jerusalem, September 1998.

Almagor, G and Perath I., 1998, *Artificial Offshore Islands Along The Mediterranean Shoreline Of Israel*, Geological Survey Of Israel, current research, vol.11, pp. 108-116, May 1998.

Bijker E.W., 1967, *Some considerations about scales for coastal models with movable bed*, Delft Hydraulics Laboratory, Publ. No.50, Nov. 1967, 142pp.

Blanc Y. and Rosen D.S., 1998, *An epoch analysis of the sea-level fluctuations at the Mediterranean coast of Israel and the astronomical and environmental contributions to it*, Abstr. 10th Symposium on the Study of the Mediterranean Shelf of Israel, Haifa, June 1998.

Bosboom J., 1996, *Port of Gaza: morphological modelling*, Delft Hydraulics, Report H 2011, Delft, September 1996.

Bowman D., Arad D., Rosen D.S., Kit E., Goldbery R., Szlavicz A., 1988, *Flow characteristics along the rip current system under low energy conditions*, Journal of Marine Geology, No. 82, pp. 149-167.

Bowman D., Birkenfield H., Rosen D.S., 1992, *The longshore flow component in low energy rip channels: The Mediterranean, Israel*, Journal of Marine Geology, No. 108, pp. 259-274.

Bowman D., Rosen D.S., Kit E., Arad D., Szlavicz A., 1988, *Flow characteristics at the rip current neck under low energy conditions*, Journal of Marine Geology, No. 79, pp. 41-54.

Brachia V., Rosen D.S., 1993, *World Coast 1993, Country description - Israel*, in Proc. World Coast 1993 - Intl. Conf. On Coastal Zone Management, Nordwijk, the Netherlands, November 1993, 14 pp.

Caires, S., Swail, V. & Wang, X.: (2006). "Projection and analysis of extreme wave climate", Journal of Climate, (2006).

Cavaleri L., and Bertotti L.: "Accuracy of the modelled wind and wave fields in enclosed seas", Tellus, 56a, 167-175. (2004).

- Cazenave, A. and Nerem R.S., 2003, *Present-day Sea Level Change: Observations and Causes*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, 08353, 2003, 64pp.
- Chen J., Eisma D., Hotta K. and Walker H.J., ed., 2002, *Engineered coasts*, Coastal systems and continental margins, Vol. 6, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands.
- Church, J.A. et al., 2001, *Changes in Sea Level*. In *Climate Change 2001, The Scientific Basis*, edited by J.T. Houghton, IPCC TAR Working Group I, Cambridge University Press., Cap. 11, pp. 639-694.
- CTM-UNEP/MAP ERS/RAC, Editors, 1999, *REESAC Remote Sensing Support for Analysis of Coasts*, Palermo, Italy 1999, 131 pp.
- Douglas B.C., Kearney M.S., and Leatherman S.P.: "*Sea level rise history and consequences*", Academic Press, San Diego, California, USA, 232pp., (2001).
- Dean R.G., 1995, *Cross-shore sediment transport processes*, in Liu P.L.-F., *Advances in coastal and ocean engineering*, Vol. 1, pp. 159-220, World Scientific Publ., Singapore
- Dean R.G. and Dalrymple R.A., 1992, *Water wave mechanics for engineers and scientists*, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 2, World Scientific, 2nd printing, Singapore.
- Delft Hydraulics, 1994, *Port of Gaza, Basic engineering study, Final Report part 11, Coastal Impact Study*, Delft, September 1994., 85pp.
- Delft Hydraulics., 1999, *Assessment Of Morphological Impacts Due To Construction Of Artificial Islands Along The Coast Of Israel: Airport Island Between Tel Baruch And Herzliya*, Ministry of Transport, Gov. of Israel.
- Douglas B.C., Kearney M.S., and Leatherman S.P., 2001, *Sea level rise history and consequences*, International Geophysics Series, Vol. 75, Academic Press, San Diego, California, USA, 232pp.
- Emery, K.O. and Neev, D., 1960, *Mediterranean beaches of Israel*, Israel Geological Survey, Bulletin 26: 1-23.
- Fenoglio-Marc L. and Rosen D.S., 2004, *Comparison of sea level changes in the last decade in the Mediterranean sea using satellite altimetry vs tide gauge data*, Proc. 37th CIESM Congress (Barcelona, 7-11 June 2004) (in print).
- Fenoglio-Marc L., 2001, *Analysis and representation of regional sea-level variability from altimetry and atmospheric-oceanic data*, Geophys. J. Int. (2001) 145, 1-18
- Fenoglio-Marc L., 2002, *Long term sea level changes in Mediterranean sea from multi-mission altimetry and tide gauges*, EGS XXVI General Assembly, Nice, France, March 2001, Session G4.01.
- Finkelstein A., Vajda M., 1982, *Cooling basin for the southern power station, Sedimentologic model study, Interim report, Stage a-1, Feasibility Study*, CAMERI, PN 114/82, Haifa, Israel.
- Finkelstein A., Vajda M., 1982, *Ashkelon Navy Harbour, Sedimentological Model Study, Final Report*, CAMERI, P.N. 108/82, Technion City, Haifa, July 1982.
- Fredsoe J., 1984, *Turbulent boundary layer in wave-current motion*, Journal of Hydraulic Research, Vol. 110, No. 8.
- Goda Y., 2000, *Random seas and design of maritime structures*, Adv. Ser. on Ocean Engineering, Vol 15, World Scientific, Singapore.

Goldsmith V., and Golik A., 1980, *Sediment transport model of the South-Eastern Mediterranean coast of Israel*, Marine Geology, Vol. 37, pp.147-175.

Golik A., Rosen D.S., 1999, *Management of Israeli Coastal Sand Resources*, IOLR Report H28/1999, Haifa, November 1999, (Submitted to Israel Ministry of Environment and to UNEP MAP).

Golik A., Rosen D.S., Brachia V., 1999, *Management of Israeli Coastal Sand Resources*, in CAMP Israel, Mediterranean Action Plan, UNEP and Israel Ministry of Environment, (also IOLR Report H28/1999, Haifa), November 1999

Golik A., Rosen D.S., Golan A., Shoshany, M., 1996, *The effect of Ashdod port on the surrounding seabed, shoreline and sediments*, IOLR, Rep. No. H02/96, May 1996. Submitted to Building Department, IPRA.

Golik A., Rosen D.S., Golan A., Shoshany M., Dicastro D., Harari P., 1997, *Ashdod port's effect on the shoreline, seabed and sediment*, Proc. 25th ICCE, Orlando, USA, 1997, Vol. 4, Chap. 339, pp.4376-4389, ASCE, NY, USA.

Grasmeijer B.,T., Van Rijn, L.C., 2001, *Sediment Transport Model*, Utrecht University, The Netherlands, November 2001

Hammad, H.Y., Mobarek I., Khafagy A.A., and Sidky, S., 1979, *A short note on the sediment regime of the river Nile*, Bull. Inst. Oceanography and Fisheries, Alexandria, pp. 314-322.

Heidlore, I; P, Simonovic., 1997, *Development Of A Risk Measure As A Sustainable Project Selection Criterion*, 'The international journal of sustainable development and world ecology', vol. 1, no.4, pp. 274-285.

Herbich, J.B., Elfiky, A.E., and El-Saeed, G.H., 1998, *The morphological changes along the Northern coast of the Nile delta*, Abstracts 26th ICCE, June 1998, Copenhagen, Danmark, p.42.

Hinrichsen, D., 1998. *Coastal Waters of the World: Trends, Threats, and Strategies*, Washington, D.C., Island Press, 275 pp.

Inman D. L. and Bagnold R. A. 1963. *Littoral processes*, In M. N. Hill (Editor), *The Sea; Ideas and Observations*, v. 3. *The Earth Beneath the Sea*. Interscience Publishers, New York & London, pp. 529-553.

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*, Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report, IPCC Secretariat, c/o WMO, Geneva, SWITZERLAND, 21p.

International Standards Organization:"*Actions from waves and currents on coastal structures*", Draft, ISO/DIS 216, ISO/TC 98/SC 3, (2006).

Jensen O.J., 1990, *Report on hydraulic studies for the planned marina at Ashkelon*, Seatech Consulting Engineers A/S Copenhagen.

Kamphuis J.W., 1998, *Sedimentological Aspects for the Israeli Mediterranean Coast and for the Ashdod Port Expansion*, J.W.Kamphuis Associates Ltd., Kingston, Canada, Rep. ISR-01, May 1998, 31 pp. (unpublished report to Planning Dept., Ministry of Environment).

Kamphuis J.W., 2000, *Introduction to coastal engineering and management*, Adv. Ser. on Ocean Engineering, Vol 16, World Scientific, Singapore.

Kit E., and Pelinovsky E., 1998, *Dynamical models for cross-shore transport and equilibrium bottom profiles*, J. waterways, port, coastal and ocean engrng., Vol. 124, No. 3, May/June 1998,

pp. 138-146, ASCE.

Klein M., 1994, *The formation and disappearance of a delta at the El-Arish river mouth*, in: Galil B and Mart Y., ed. "Abstr. 6th yearly Symposium on the Mediterranean shelf of Israel", IOLR, Haifa, April 1994, 5pp (in Hebrew with English Summary).

Klein R.J.T., Nicholls R.J., Ragoonaden S., Capobianco M., Aston J., and Buckley E.N., 2001, *Technological options for adaptations to climate change in coastal zones*, J. Coastal Research, Vol. 17, no. 3, pp. 531-543, Summer 2001.

Koerner R.M., 1997, *Designing with geosynthetics*, 4th ed., Prentice-Hall Inc., USA

Kraus N.C and Rankin K.L., ed., 2004, *Functioning and design of coastal groins*, J. Coastal Research Sp. Issue #33, 2004.

Laboratoire Centrale d'Hydraulique de France, 1957, *Mission d'études en Israël, Ashdod, Profils granulométriques perpendiculaires à la cote, deduits des deciles, quartiles et medians des courbes cumulatives, prelevements: October 1957*

Lievense Consulting Engineers, (1999), *Artificial islands along the coast of Israel, Note: Mitigating measures and maintenance*, Document No. 991298, Breda, The Netherlands, July 1999.

Malanotte-Rizzoli P., Robinson A. R., Roether W., Manca B., Bergamasco A., Brenner S., Civitarese G., Georgopoulos D., Haley P. J., Kioroglou S., Kontoyannis H., Kress N., Latif M. A., Leslie W. G., Ozsoy E., Ribera d'Alcala M., Salihoglu I., Sansone E., and Theocharis A., 1996, *Experiment in Eastern Mediterranean Probes Origin of Deep Water Masses*, EOS Transactions, Vol. 77, No. 32.

McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J., White K.S., editors: *Climate Change 2001, Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group. II contribution to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, UNEP and WMO, Publ. by Cambridge University Press, UK., 2001.

McConnell K., 1998, *Revetment systems against wave attack – A design manual*, Thomas Telford Publ., London, UK.

McHarg, I. L., 1992, *Design With Nature*, John Wiley & Sons, Inc, New-York.

Mei C.C.: "*The applied dynamics of ocean surface waves*", 2nd printing, Adv. Ser. on Ocean Engineering, Vol. 1, World Scientific Publ. Co. Pte., Singapore, (1992).

Metz B., Davidson O., Swart R., Pan J., Ed. 2001, *Climate Change 2001, Mitigation*, IPCC TAR Working Group III, Cambridge Univ. Press.

Migniot C., and Manoujan S., 1975, *Sedimentological study in three dimensional model*, Laboratoire Centrale d'Hydraulique de France.

Nicholls, R.J. and Small, C., 2002, *Improved estimates of coastal population and exposure to hazards*, EOS, 83, 301.

Nir, Y., 1982, *Offshore Artificial Structures And Their Influence On The Israel And Sinai Mediterranean Beaches*, Geological Survey of Israel, Jerusalem.

Papadopoulos G.: "*Hazard Assessment*", Powerpoint presentation at 1st Intergovernmental Coordinating Group for the Tsunami Early Warning and Mitigation System in the Northeastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas (ICG/NEAMTWS), Rome, Italy, November, (2005).

Pilarczyk, K. W; Zeidler, R. B, 1996, *Offshore Breakwaters And Shore Evolution Control*, A. A. Balkema, Rotterdam.

PortConsult, 1987, *Assistance to the fisherman, Gaza strip, Final report of study on fishery port-Gaza*, Port Consult Consulting Engineers A/S, Copenhagen, Sept. 1987.

Rahmstorf S., 2006. *A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise*, Scienceexpress /www.scienceexpress.org/14 Dec. 2006, 10.1126/science.1135456, 8 p.

Raskin L. and Rosen D.S., 2004, *Directional Wave Comparison Among RDI-ADCP, PUV & Buoys Wave Data on the Israeli Coast*, Abst. Littoral 2004, Aberdeen, UK, Sept. 2004.

Rosen D. S., 1981, *Sedimentological influences of detached breakwaters*, thesis for partial fulfillment of requirements for M. Sc. degree in Civil Engineering, submitted to the Senate of the Technion-Israel Institute of Technology, July 1981, 236 pp., (in Hebrew with English summary).

Rosen D.S., Kit E., 1981, *Evaluation of the wave characteristics at the Mediterranean coast of Israel*, Israel Journal of Earth-Sciences, Vol. 30, No. 4, August 1982, pp. 120-134.

Rosen D. S., Vajda M., 1982, *Sedimentological Influences Of Detached Breakwaters*, Proceedings of the 18th International Conference on Coastal Engineering, Capetown, ASCE Publ., Vol. 2, Ch. 116, November 1982, pp. 1930-1949.

Rosen D.S., 1990, *Engineering consultation regarding long term sedimentological processes in the Hadera-Sdot Yam coastal area*, CAMERI, P. N. 242/90, Technion City, Haifa, March 1990, Submitted to I.E.C., (in Hebrew).

Rosen D.S., 1993, *Study of 50 years coastal changes at Hadera, Israel*, Proc. 23rd International Conference on Coastal Engineering, Venice, October 1992, ASCE Publ., Vol. 3, Cap. 259, pp. 3399-3412.

Rosen D.S., 1995, *Consultation regarding the sedimentological impact of Marina Ashdod*, IOLR, September 27, 1995. Submitted to Planning Dept., Ministry of Environment (in Hebrew).

Rosen D.S., 1996, *Consultation regarding the final report "City of Herzliya - Analysis of Beach Erosion" of April 1996, prepared by Baird & Associates Ltd., Ottawa, Canada, AND Research Associates Inc., Columbia, South Carolina, USA*, IOLR, August 22, 1996. Submitted to Planning Dept., Ministry of Environment (in Hebrew).

Rosen D.S., 1996, *Summarizing consultation regarding the document: Local Masterplan No. HP/1900 – Marina Haifa, Environmental Impact Statement; and the completions submitted by the initiator on the marine issues*, IOLR, October 28, 1996. Submitted to Planning Dept., Ministry of Environment (in Hebrew).

Rosen D.S., 1997, *Physical aspects of the Mediterranean versus sustainable coastal and marine development*, Proc. Intl. Forum on The Fragility of the Mediterranean Ecosystem, A Conflict of Uses and Resources, Vilanova i la Geltru,(Barcellona), Spain, 12-13 March 12-13,1997, 20pp.

Rosen D.S., 1997, *Consultation about the sedimentological environmental impact of "Local Master Plan No.HP/1900 Haifa Marina" in regards to the fulfilling of the completion requirements of the Ministry of Environment from the entrepreneur*, IOLR, Haifa, May 30, 1997, Submitted to Planning Department, Ministry of Environment.(in Hebrew).

Rosen D.S., 1997, *Peninsulas - preferred alternative for the expansion and development of the coast of Israel*, 9th Yearly Symposium on the Study of the Mediterannean Coastal Shelf of Israel, ed. Galil B. and Y. Mart, IOLR, Haifa, June 1997, pp.12-18.(in Hebrew).

- Rosen D.S., 1998, *Assessment of marine environmental impacts due to construction of artificial islands on the coast of Israel, Progress Report No. 4, Characterization of the meteorological climate in the study sector*, I.O.L.R. Report No. H16/98, Haifa, May 1998.
- Rosen D.S., 1998, *Assessment of marine environmental impacts due to construction of artificial islands on the coast of Israel, Progress report no. 6, Present sedimentological state assessment in the study sector*, IOLR, Report No. H17/98, Haifa, September 1998.
- Rosen D.S., 1998, *The Wave Climate of the Territorial Waters of Israel in the Mediterranean Sea*, IOLR, Report No. H36/98, Haifa, October 1998.(in Hebrew).
- Rosen D.S., 1999, *Characterisation of the existing environmental and sedimentological state*, in Symposium on Artificial Islands Offshore the Coasts of Israel, Preliminary Feasibility Assessment: Interim Results of the Israeli - Dutch teams", Ed. Globes Yzum, Panorama Hotel, Tel Aviv , Jan. 14, 1999, 30 pp. (in Hebrew).
- Rosen D.S., 1999, *Consultation regarding the report of Baird and Associates on the sedimentological regime at Herzliya and their proposal for the rehabilitation of Herzliya beaches and for decreasing the sedimentation and the wave agitation in the entrance to the marina*, IOLR Report H20/1999, August 1999, (in Hebrew).
- Rosen D.S., 1999, *Consultation regarding the dredging and sand by-passing from south to Ashdod port, north to the port and the necessary monitoring*, IOLR Report H22/1999, August 1999, (in Hebrew).
- Rosen D.S., 2000, *Assessment of the existing sedimentological state at the coast of Israel*, Abstracts 27th International Conference on Coastal Engineering, Vol. 2, Poster No.44, July 16-21, 2000, Sydney, Australia, ASCE Publ.
- Rosen D.S., 2000, *Environmental impact assessment of Haifa Port Expansion, reference to EIS guideline sections 1.2.5, 1.2.6, 1.2.7, 3.1.5, 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.2.8, Summary of the final reports of the investigation by sedimentological models, characterization of the sedimentological regime and the sedimentological impact due to the port expansion*, IOLR, Report No. H25/2000, Haifa, October 2000.
- Rosen D.S., 2000, *The environmental and sedimentological state of the Israeli beaches - pre-feasibility study for the construction of artificial islands off the Israeli coast*, in Adler E., M.Fein, D. Baum -editors: "Sea and Beaches, Papers 2000", Israel Ministry of Environment, pp.230-253 (in Hebrew).
- Rosen S.D., 2000, *Haifa Port Expansion Project, Environmental Impact Assessment, Haifa East B, Phase A (Partial Reclamation), Inshore Wave Climates, Areas of Changed Agitation, Sediment Budget Along Coasts and Coastal Evolution*, Israel Oceanographic & Limnological Research, Tel Shikmona, Haifa, HPEIA 37, IOLR Report H36/2000, December 2000
- Rosen S.D., 2000, *Haifa Port Expansion Project, Environmental Impact Assessment, Haifa East B, Phase A (Partial Reclamation), Summary of the final reports on sedimentological models and other studies*, Israel Oceanographic & Limnological Research, Tel Shikmona, Haifa, HPEIA 38, IOLR Report H37/2000, December 2000
- Rosen D.S., 2001, *Consultation regarding the environmental impact statement of Beit Yanai beach cliff plan AH/MK133/4, in regards to coastal engineering aspects*, Israel Oceanographic & Limnological Research, Tel Shikmona, Haifa, IOLR Report H06/2001, April 2001, (in Hebrew).

Rosen D.S., 2001, *Consultation on the monitoring works for the determination of the extent of the environmental impact of the marina Ashkelon and the three detached breakwaters north to the marina, master plan 168/02/11*, Israel Oceanographic & Limnological Research, Tel Shikmona, Haifa, IOLR Report H25/2001, August 2001, (in Hebrew).

Rosen D.S., 2002, *A review of sea level monitoring status in Israel*, in: Rosen D.S. and Thorkild A., editors: Intergovernmental Oceanographic Commission & International Commission for the Scientific Exploration of the Mediterranean Sea MedGLOSS Pilot Network Workshop and Coordination Meeting, Israel Oceanographic & Limnological Research, Haifa, 15-17 May 2000, IOC/UNESCO Report 176, 120pp.

Rosen D.S., 2002, *Long term remedial measures of sedimentological impact due to coastal developments on the South-Eastern Mediterranean coast*, Proc. Littoral 2002, The Changing Coast EUROCOAST/EUCC, Ed. EUROCOAST, paper 40, Vol 2., pp.322-331, Porto, Portugal, Sept. 2002.

Rosen D.S., 2004, *Assessment of the impact due to sea level rise and wave climate change on the state of the Israeli beaches, in view of the monitoring activities performed by Israel Oceanographic & Limnological Research in Israel and abroad*, Beaches 2004, Yearly Journal of the Israel Society for the Protection of Nature, June 2004, 6p, (in Hebrew).

Rosen D.S., 2003, *MAMA project -A Mediterranean network to upgrade the monitoring and forecasting as basis for sustainable use of the marine environment*, Abst. MAMA National Awareness Conference "Monitoring & Forecasting – A basis for wise use of the marine environment", September 2003.

Rosen D.S., 2006, Project No.7: *Mediterranean Sea Level Monitoring for Climate Change and Alerting on Tsunamis and Other Sea Level Hazards (MEDALERT)* in: GCOS Regional Action Plan for the Mediterranean Basin, GCOS Secretariat c/o WMO, Geneva, SWITZERLAND, September 2006, pp.65-71,

Rosen D.S., Calderon S., 2004, *CEROSPIG – A Web Based Guide on Coastal Erosion Protection & ICZM in the Mediterranean*, Abst. Littoral 2004, Aberdeen, UK, Sept. 2004.

Rosen D.S., Kit E., 1981, *Wave climate at the Mediterranean coast of Israel*, in Geomorphology and Coastal Processes, 2nd Israeli Symposium on Shore Morphology, Haifa, March 1981 (in Hebrew), 8 pp.

Rosen D.S., Kit E., Vajda M., 1980, *Assessment of the coal spillage at the Hadera coal unloading terminal and the possibility of coal pollution of neighboring beaches*, Special Symposium on Environmental Impacts of the Hadera Power Plant and Unprotected Coal Unloading Terminal, Hadera, February 1980 (in Hebrew), 15 pp.

Rosen D.S., Raskin L., 2004, *Wind and wave effects on sea level measurements*, Abst. ESEAS-RI Workshop on Sea Level Observation and Interpretation, Malta 1-3 Nov. 2004.

Rosen D.S., Thorkild A. editors, 2002, Intergovernmental Oceanographic Commission & International Commission for the Scientific Exploration of the Mediterranean Sea *MedGLOSS Pilot Network Workshop and Coordination Meeting*, Israel Oceanographic & Limnological Research, Haifa, 15-17 May 2000, IOC/UNESCO (and CIESM) Report 176, Paris, France , 120pp.

Rosen D.S., Vajda L., 1978, *Hadera offshore coal unloading terminal - Wave disturbance model investigation, Progress Report No. 5 - Hadera wind and wave climate (Analysis of field data)*, CAMERI, P. N. 32/78, Haifa, May 1978.

Rosentrub Z., 1998, "Assessment of marine environmental impacts due to construction of artificial islands on the coast of Israel, Progress Report No. 5, New R&D current measurements off Tel-Aviv – Herzlyia coast, February 1998 – April 1998", I.O.L.R. Report No. H14/98, Haifa, May 1998.

Rosentrub Z., 1999, *Assessment of marine environmental impacts due to construction of artificial islands on the coast of Israel, Progress Report No. 7, New R&D current measurements off Tel-Aviv – Herzlyia coast, Yearly Summary Report, February 16, 1998 – February 15, 1999*, I.O.L.R. Report No. H24/99, Haifa, August 1999.

Shoshany M., Golik A., Degani A., Lavee H. and Gvirtzman G., 1996, *New evidence for sand transport direction along the coastline of Israel*, Journal of Coastal Research, Vol. 12, pp.311-325.

Silvester R., Hsu J.R.C., 1997, *Coastal stabilization*, Adv. Ser. on Ocean Engineering, Vol 14, World Scientific, Singapore.

Small, C. and Nicholls, R.J., 2003, *A global analysis of human settlement in the coastal zone*, Journal of Coastal Research

The Dutch/Israeli Steering Committee., 2000, *Artificial Islands Off The Mediterranean Coast Of Israel, Feasibility R&D Study (Phase 1), Final Report*, The Ministry of National Infrastructures, Jerusalem.

Task committee on forces on inclined and vertical wall structures of the Committee on Waves and Wave Forces of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division of the American Society of Civil Engineers, 1995, *Wave forces on inclined and vertical wall structures*, USA.

Toms G., and van Holland G., 1999, *Assessment of morphological impacts due to the construction of artificial islands along the coast of Israel, Review and evaluation of three detailed schemes*, WL| Delft Hydraulics, Final report, November 1999, Delft, The Netherlands.

UNESCO, 2003, *The Integrated, Strategic Design Plan for the Coastal Ocean Observations Module of the Global Ocean Observing System*, GOOS Report No. 125; IOC Inf. Documents Series N°1183;

U.S. Army Engineer Research and Development Center., 2004, *Coastal Engineering Manual*, ver. 2.01 Professional Edition, Vicksburg, USA.

U.S. Army Engineer Research and Development Center, (2004), *"Automated Coastal Engineering System"*, Vicksburg, USA.

Vallerga S., Drago. A., Aarup T., Abdelbaki A., Awad.H., Awad M.B., Beken C., Besiktepe S., Boargob A.F., Brundit G., Capari M., Carlier A., Casazza G., Civili F.S., Christos T., Cohen Y., Dahlin H., Dala Costa M., Drakopoulos P., Flemming N.C., Font J., Fusco G., Gertman I., Harzallah A., Herrouin G., Ibrahim A., Kabbara N., Kljajic Z., Kouyoumjian H., Legrand J., Lopez-Jurado J.L., Magni P., Mahmoud Al-Sheikh A., Maillard C., Malacic V., Manzella G.M.R., Marchand P., Morovic M., Nittis K., Pinardi N., Pissierssens P., Ribotti A., Rosen D.S., Salihoglu I., Sammari C., Sauzade D., Selenica A., Silvestri C., Snoussi M., Sorgente R., Summerhayes C., Tziavos C., Umgieser G., Vargas M., Vucijak B., Woods J., Zavatarelli M., Zodiatis G., 2002, *MAMA – Towards a new paradigm for ocean monitoring in the Mediterranean*", Abst. 3rd EuroGOOS Conference Building the European Capacity in Operational Oceanography, Athens, 3-6 Dec. 2002, pp.22.

Van Rijn L.C., 1989, *Handbook Sediment Transport by Currents and Waves*, Delft Hydraulics, Rep. H 461.

Wang, X. & Swail, V.: "Climate change signal and uncertainty in the projections of ocean wave heights", *Climate Dynamics*, 26, 109-126, (2006).

Wang, X. L., Zwiers, F.W. & Swail, V.R.: "North Atlantic Ocean Wave Climate Change Scenarios for the Twenty-First Century", *Journal of Climate*, 17, 2368-2383, (2004).

Waterman R.E., and Liesting P.T.A., 2001, *Integrated Coastal Policy via Building with Nature*.

Wei-Hock Soon W., Yaskell S.H., 2003, *The Maunder minimum and the variable Sun-Earth connection*, World Scientific, N.J., USA, 278pp.

Wiseman C., Hayati G., Frydman S., 1981, *Stability of heterogeneous sandy coastal cliff*, Proc. 10th Conf. Soil mechanics and foundation engineering, Stockholm, Sweden, AA Balkema Publ., Rotterdam 11/59: 568-574.

Whitehouse R., 1998, *Scour at marine structures*, Thomas Telford Publ., London UK.

Wolf, J. & Woolf, D.K.: "Waves and climate change in the north-east Atlantic", *Geophysical Research Letters*, (2006).

Woodworth P.L., J.A. Lowe, T. Knutson, R.E. McDonald, K. McInnes, K. Woth, H. Von Storch, J. Wolf, V. Swail, N. Bernier, S. Gulev, K. Horsburgh, A.S. Unnikrishnan and J. Hunter: "Past and Future Changes in Extreme Sea Levels and Waves", Position Paper in Proc. WCRP Workshop – Understanding Sea-level Rise and Variability, UNESCO, Paris, 6-9 June, (2006).

Woolf, D.K., Challenor, P.G. & Cotton: "Variability and predictability of the North Atlantic wave climate", *Journal of Geophysical Research*, 107(C10), (2002).

Ya. A. Iosilevskii, Rosen D.S., Golik A., and Inman D.L., 1993, *Instrumental evaluation of the deep water wave climate along the Mediterranean coast of Israel*, Proc. 23rd International Conference on Coastal Engineering, Venice, October 1992, ASCE Publ., Vol. 1, Cap. 23, pp. 322-335.

Zviely D., Klein M., and Rosen D.S., 2000, *The impact of the Herzliya marina, Israel, on the width of its neighboring beaches*, Abstracts 27th International Conference on Coastal Engineering, Vol. 2. Poster No. 62, July 16-21, 2000, Sydney, Australia, ASCE Publ.

Zviely, D., Klein, M., 2004, *Coastal cliff retreat rates at Beit-Yannay, Israel in the 20th century*, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 29, 2004.

11. הכרת תודה

מחקר זה בוצע במסגרת עבודה בינתחומית להכנת מסמך המדיניות, בניהול השרד להגנת הסביבה ומכון ירושלים לחקר ישראל. המחברים מבקשים להודות למר רוני שדה ולד"ר גדעון טיבור על העזרה בהשגת נתוני עומקים, ולאנשי המכון הגיאולוגי בעבור שיתוף הפעולה ואספקת הסריג הטופוגרפי. כמו כן, אנו מבקשים להודות למינהלת הפרוייקט, ולנציגי המשרד להגנת הסביבה עבור שיתוף הפעולה ומימון המחקר.

נספחים

רשימת נספחים

<u>עמוד</u>	<u>שם</u>	<u>מס'</u>
69	תאור מודל הגלים המרחבי SWAN	A1
71	תאור מודל הגלים והסדימנטולוגי SBEACH	A2
78	מפות גובה הגלים וההערמות שנתקבלו לחופי המרכז ללא אמצעי מיגון	A3
89	מפות גובה הגלים וההערמות שנתקבלו לחופי אשקלון- אשדוד ללא אמצעי מיגון	A4
100	תוצאות של הבדיקות במודל SBEACH מבחינת השינויים בצדודית בתחום חופי המרכז	A5
134	תוצאות של הבדיקות במודל SBEACH מבחינת השינויים בצדודית בתחום חופי אשקלון-אשדוד	A6
155	מפות גובה הגלים וההערמות שנתקבלו בחלופות המיגון שנבדקו במודל הגלים	A7

נספח A1

תאור מודל הגלים המרחבי SWAN

SWAN Cycle III version 40.51A

Introduction

The main goal of the SWAN model is to solve the spectral action balance equation without any a priori restrictions on the spectrum for the evolution of wave growth. This equation represents the effects of spatial propagation, refraction, shoaling, generation, dissipation and nonlinear wave-wave interactions. The basic scientific philosophy of SWAN is identical to that of WAM cycle 3. SWAN is a third-generation wave model and it uses the same formulations for the source terms. Whereas the WAM model considers problems on oceanic scales, with SWAN wave propagation is calculated from deep water to the surf zone. Since, WAM makes use of explicit propagation schemes in geographical and spectral spaces, it requires very small grid sizes in shallow water and is thus unsuitable for applications to coastal regions. For that reason, SWAN employs implicit schemes, which are more robust and economic in shallow water than the explicit ones. SWAN may be less efficient on oceanic scales than WAM.

Historical background

Over the past two decades, a number of advanced spectral wind-wave models, known as third-generation models, has been developed such as WAM (WAMDI Group, 1988), WAVEWATCH III (Tolman, 1991), TOMAWAC (Benoit et al., 1996) and SWAN (Booij et al., 1999). These models solve the spectral action balance equation without any a priori restrictions on the spectrum for the evolution of wave growth.

Based on the wave action balance equation with sources and sinks, the shallow water wave model SWAN (acronym for Simulating WAVes Nearshore) is an extension of the deep water third-generation wave models. It incorporates the state-of-the-art formulations for the deep water processes of wave generation, dissipation and the quadruplet wave-wave interactions from the WAM model (Komen et al., 1994). In shallow water, these processes have been supplemented with the state-of-the-art formulations for dissipation due to bottom friction, triad wave-wave interactions and depth-induced breaking. SWAN is fully spectral (in all directions and frequencies) and computes the evolution of wind waves in coastal regions with shallow water and ambient current.

SWAN is developed at Delft University of Technology and is freely available from <http://www.uidmechanics.tudelft.nl/swan/index.htm>. It is used by many government authorities, research institutes and consultants worldwide. The feedback has widely indicated the reliability of SWAN in different experiment and field cases.

Initially, the SWAN cycle 1 was formulated to be able to handle only stationary conditions on a rectangular grid. Later on, SWAN cycle 2 model has been developed. This is considered as the second step in the development of SWAN models. Cycle 2 of SWAN is stationary and optionally non-stationary. It can compute the wave propagation not only on a regular rectangular grid, but also on a curvi-linear grid.

Reference:

SWAN team, 2007, SWAN TECHNICAL DOCUMENTATION, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Environmental Fluid Mechanics Section, P.O.Box 5048, 2600 GA Delft, The Netherlands, home page : <http://www.uidmechanics.tudelft.nl/swan/index.htm>.

נספח A2

תאור מודל הגלים והסדימנטולוגי SBEACH

מודל SBEACH הינו מודל להדמיית תהליך ההסעה בצדודית החוף בהשפעת גלים, רוח, זרמים, שינויים במפלס הים וסוג קרקעית הים ומכשולים טבעיים ומלאכותיים באופן דטרמיניסטי מצטבר. המודל הינו חלק ממערכת המודלים CEDAS שפותחה ע"י צבא ארה"ב לטיפול מקיף בכל סוגי הבעיות של הנדסת חופים. המודל מסוגל לסמלץ גם שינויים בחוף עם הוא עשוי כולו או סלעים, אך אינו יודע לסמלץ מצוק חופי עשוי רובדי כורכר, חול, טין וחסיות. להלן מוצג מידע נוסף באנגלית לגבי מערכת CEDAS ולגבי מודל SBEACH.

CEDAS is an interactive, Windows-based design and analysis system for engineers and scientists working in the fields of coastal, ocean, and hydraulic engineering and oceanography. CEDAS is a comprehensive collection of coastal engineering design and analysis software, developed by or for the U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.

SBEACH (Storm-induced BEAch CHange) simulates cross-shore beach, berm, and dune erosion produced by storm waves and water levels. The latest version allows simulation of dune erosion in the presence of hard bottom and has improved graphics and file standards. The model is applied in beach fill project design and evaluation and in other studies of beach profile change. SBEACH operates in the CEDAS graphical user interface designed to facilitate data input, model setup and execution, and analysis of model results, morphologic and dynamic properties of shorelines and beach profiles.

The SBEACH (Storm-induced BEAch CHange) numerical simulation model was developed at the US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center (CERC), to calculate beach and dune erosion under storm wave action (Larson and Kraus 1989, Larson, Kraus and Bymes 1990). The original model has been modified and improved over the years, and the present version supported by CERC is Version 3.0 operated in the MS-DOS environment (Rosati et al. 1993).

Numerous applied and more fundamental studies have been conducted with SBEACH and published in the engineering and scientific literature. Examples are Larson and Kraus (1991), who discuss beach-fill design and predicted beach and dune response to hurricanes and extra-tropical storms; Kraus and Wise (1993) and Wise and Kraus (1993) who describe model predictions for Ocean City, Maryland, for which an overwash algorithm was incorporated in SBEACH (Version 3.0); and Wise, Smith, and Larson (1995) who examine SBEACH predictions for the SUPERTANK physical model data (Kraus and Smith 1994; Kraus, Smith, and Sollitt 1992) and for all available good quality field data sets on dune erosion.

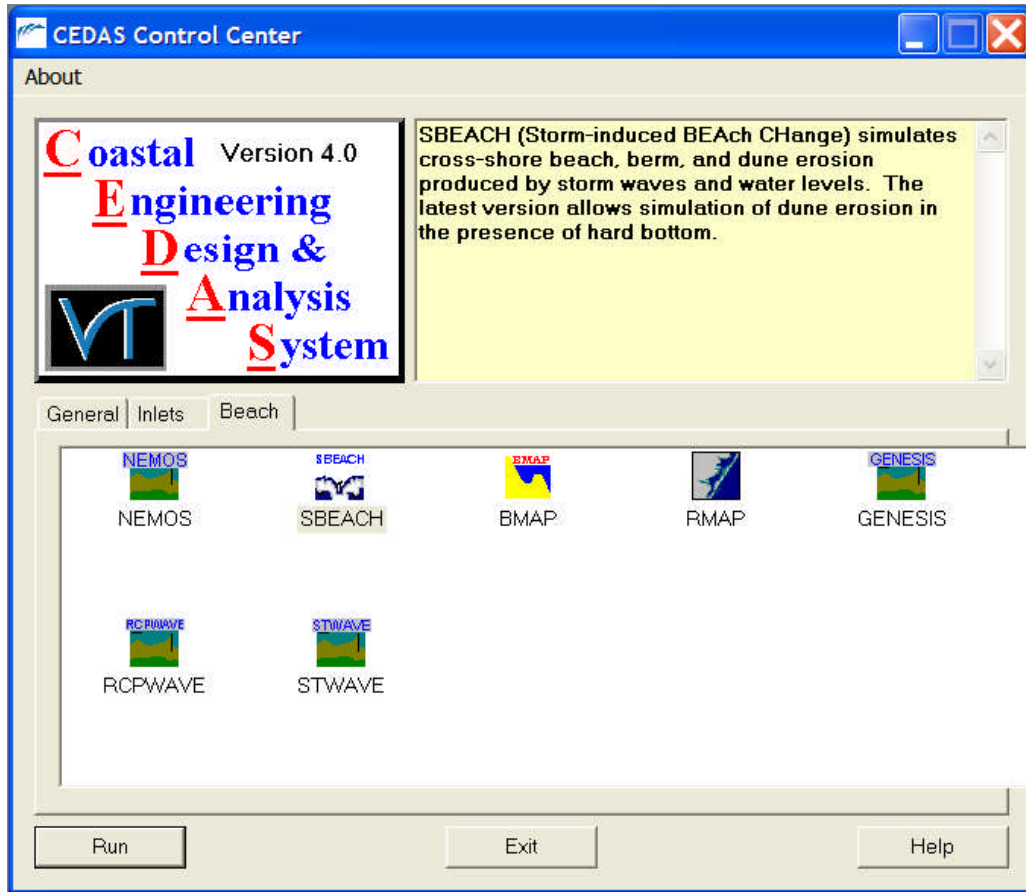
The present work is an outcome of an SBEACH enhancement requested by the US Army Engineer District, Jacksonville, to represent hard bottoms in the model. A hard bottom is a non-erodible bottom feature that may be located anywhere on the beach profile calculation grid. Documentation of the hard-bottom algorithm and tests is given in a companion report (Larson and Kraus 1995).

References:

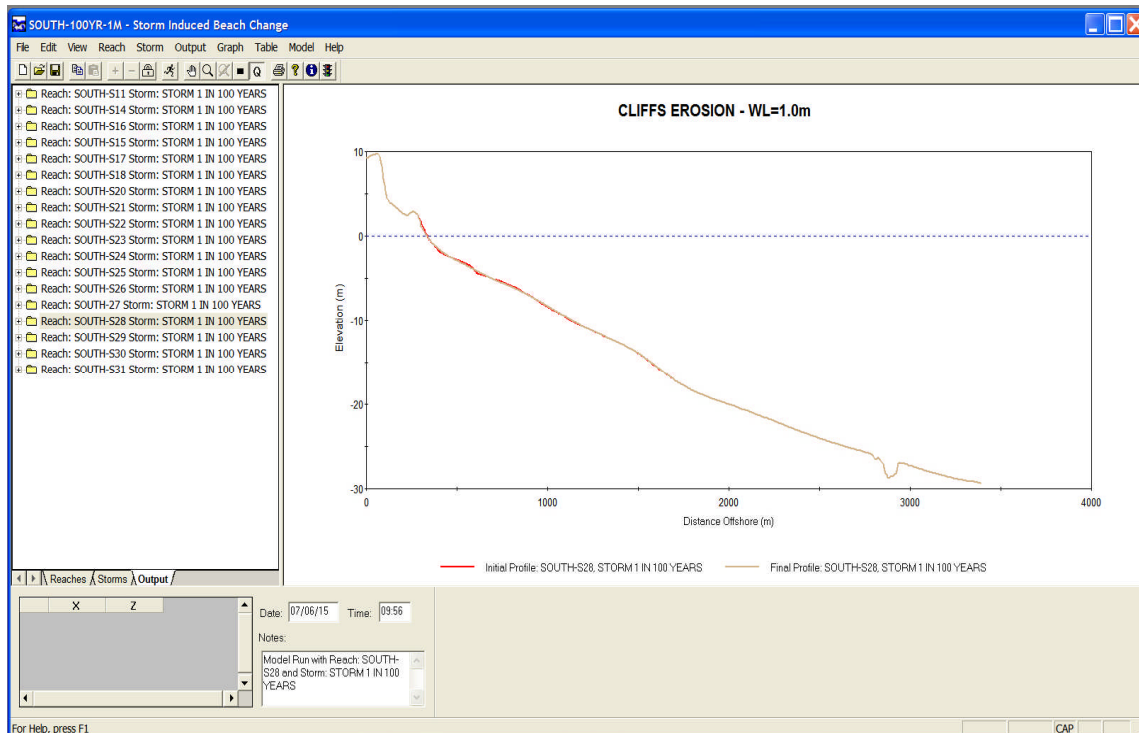
Donnelly, C., Kraus, N. C., and Larson, M. (2004). "Coastal overwash, Part 1: Overview of processes," ERDC/CHL CHETN IV-___, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. ERDC/CHL RSMP CHETN-IV-XXI , July 2004.

Hughes, M. G. (1992). "Application of a non-linear shallow water theory to swash following bore collapse on a sandy beach," *Journal of Coastal Research*, 8(3), 562-578.

- Kraus, N. C. (2003). "Analytical model of incipient breaching of coastal barriers," *Coastal Engineering Journal* 45(4), 511-531.
- Kraus, N. C., and Wamsley, T. V. (2003). "Coastal barrier breaching, Part 1: Overview of breaching processes," Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note ERDC/CHL CHETN-IV-56, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. <http://chl.wes.army.mil/library/publications/chetn/pdf/chetn-iv-56.pdf>.
- Kraus, N.C., and Wise, R.A. (1993). "Simulation of January 4, 1992 storm erosion at Ocean City, Maryland," *Shore & Beach* 61(1), 34-41.
- Larson M., Wise R.A., Kraus N.C., 2004, Coastal Overwash Part 2: Upgrade to SBEACH, U.S. Army Corps of Engineers, Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note Number
- Larson, M., and Kraus, N. C. 1989. "SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-induced Beach Change; Report 1: Empirical Foundation and Model Development," Technical Report CERC-89-9, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- Larson, M., Kraus, N. C., and Byrnes, M. R., 1995. "Representation of Non-Erodible Bottoms in SBEACH-32," TAMUCC-CBI-95- 11, Conrad Blucher Institute for Surveying and Science, Texas A&M University-Corpus Christi, Corpus Christi, TX.
- Larson, M., Kraus, N. C., and Byrnes, M. R., 1991. "Mathematical Modeling of the Fate of Beach Fill," in: H. D. Niemayer, J. van Overeem, and J. van de Graaff, (Editors), *Artificial Beach Nourishments*, Special Issue of *Coastal Engineering*, 16: 83-114.
- Larson, M., Kraus, N. C., and Byrnes, M. R. 1990. "SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-induced Beach Change; Report 2: Numerical Formulation and Model Test," Technical Report CERC-89-9, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- Rosati, J. D., Wise, R. A., Kraus, N. C., and Larson, M. 1993. "SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-induced Beach Change; Report 3: User's Manual," Instruction Report CERC-93-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- Sommerfeld B. G., Kraus N. C., Larson M., 1996, "SBEACH-32 Interface - Final Report", Conrad Blucher Institute for Surveying and Science, Texas A&M University-Corpus Christi, 6300 Ocean Drive, Corpus Christi, Texas 78412-5503, Report TAMU- CC-CBI-95-12, January 1996, prepared for U.S. Army Corps of Engineers.
- Wise, R. A. and Kraus, N. C. 1993. "Simulation of Beach Fill Response to Multiple Storms, Ocean City, Maryland," in: *Beach Nourishment Engineering and Managenzent Considerations*, Stauble, D. K. and Kraus, N. C. (Volume Editors), *Proceedings Coastal zone '93*, American Society of Civil Engineers, 133-147.

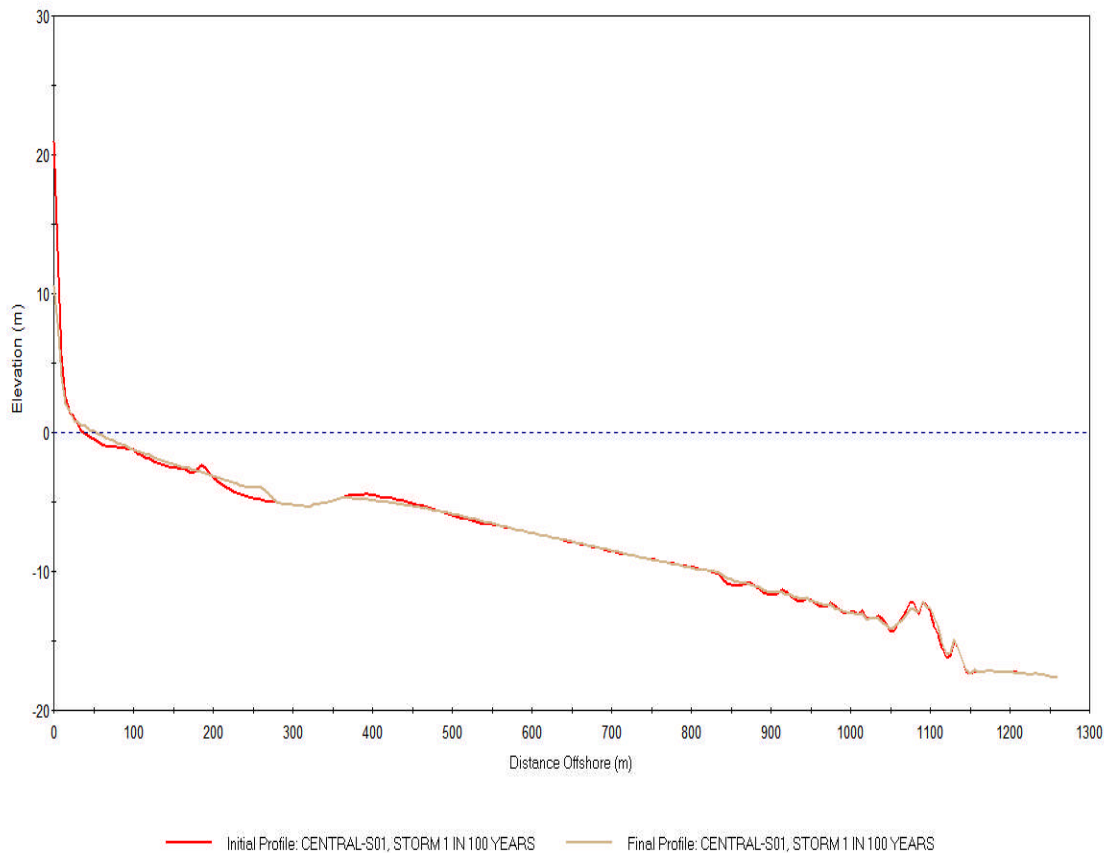


תצוגת פתיחה של SBEACH בתוך מערכת CEDAS



דוגמה של תוצאות הרצות במודל SBEACH

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



דוגמה של תוצאות הרצות במודל SBEACH השוואה בין מצב לפני הסערה למצב הצדודית בסוף הסערה

BMAP (Beach Morphology Analysis Package) is a collection of automated and interactive tools to analyze morphologic and dynamic properties of beach profiles. BMAP is dynamically linked with SBEACH to support beach erosion analysis, but can be operated as a stand-alone program for general analysis of beach profile shape and beach profile change. The program operates in the CEDAS graphical user interface that enables rapid and intuitive analysis and manipulation of large amounts of beach profile data.

BMAP is an integrated set of beach profile analysis routines developed to automate and support mainframe and desktop studies of beach profile change, beach-fill design, and numerical simulation of storm-induced beach erosion.

BACKGROUND: Cross-shore modeling of storm-induced beach erosion is a central component of modern shore-protection planning. BMAP is an integrated set of computer analysis routines compiled at the U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center (CERC), to support mainframe and desk-top computer simulation studies of cross-shore modeling of storm-induced beach erosion and to aid in beach-fill design (Sommerfeld et al. 1993, 1994).

Originally, BMAP was conceived to simplify and automate the numerical modeling work flow and associated analyses of the input data and results of computations from CERC's Storm-induced BEACH CHange model (SBEACH) (Larson and Kraus 1989; Larson, Kraus, and Byrnes 1990).

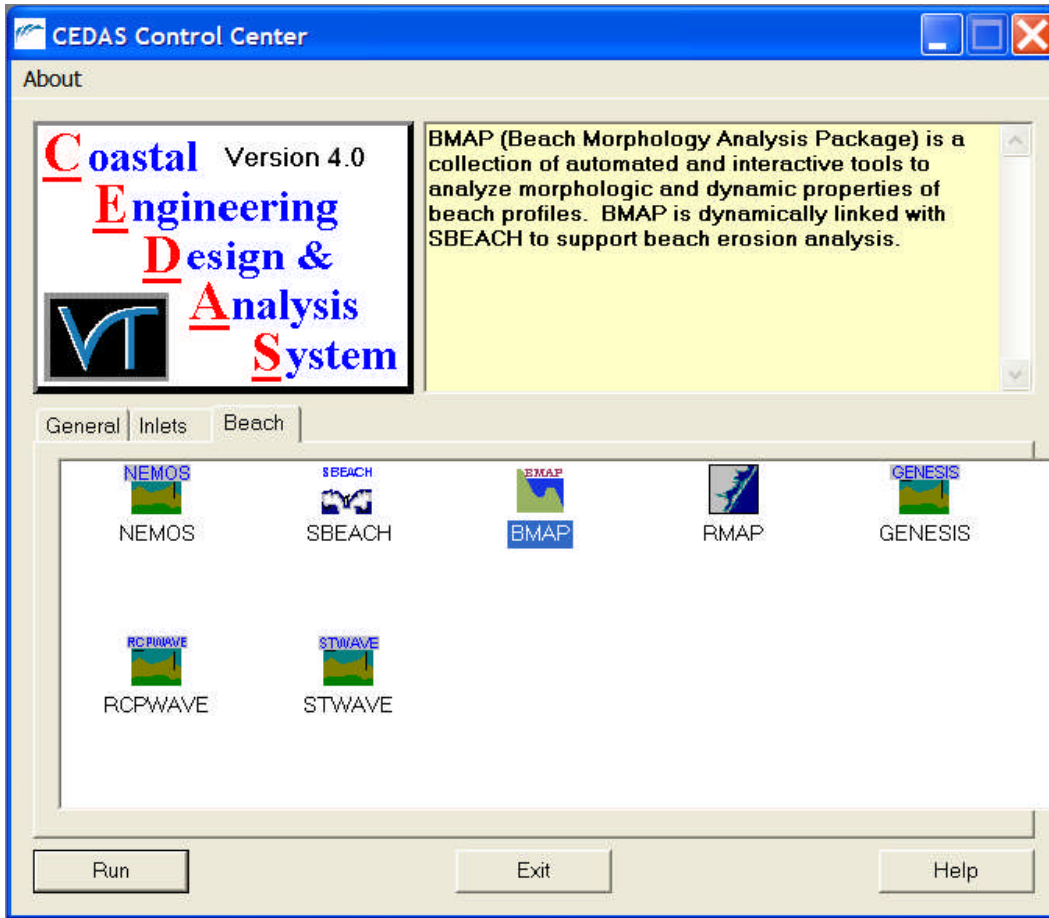
Because of the proven utility and convenience of the routines often used as a group, BMAP evolved as an integrated set of calculation, plotting, and input/output (I/O) procedures for analyzing beach profile morphology and its change (e.g., Larson and Kraus 1992).

The BMAP graphical interface produces on-screen plots of selected profiles and other calculation results which can be sent to a printer. The package allows storage of related data and parameters in files called "projects," allowing different users to access the package on the same computer system in analysis of the same or different projects.

BMAP complements and is file-compatible with the Interactive Survey Reduction Program (ISRP) (Birkemeier 1984) used by the U.S. Army Corps of Engineers to clean, compare, and analyze beach profile survey data.

However, BMAP is intended to be a stand-alone analysis package which can be used independently for a wide range of cross-shore modeling functions. Utilities are presently being developed to support beach-fill cross-section design. In one compact and convenient software package,

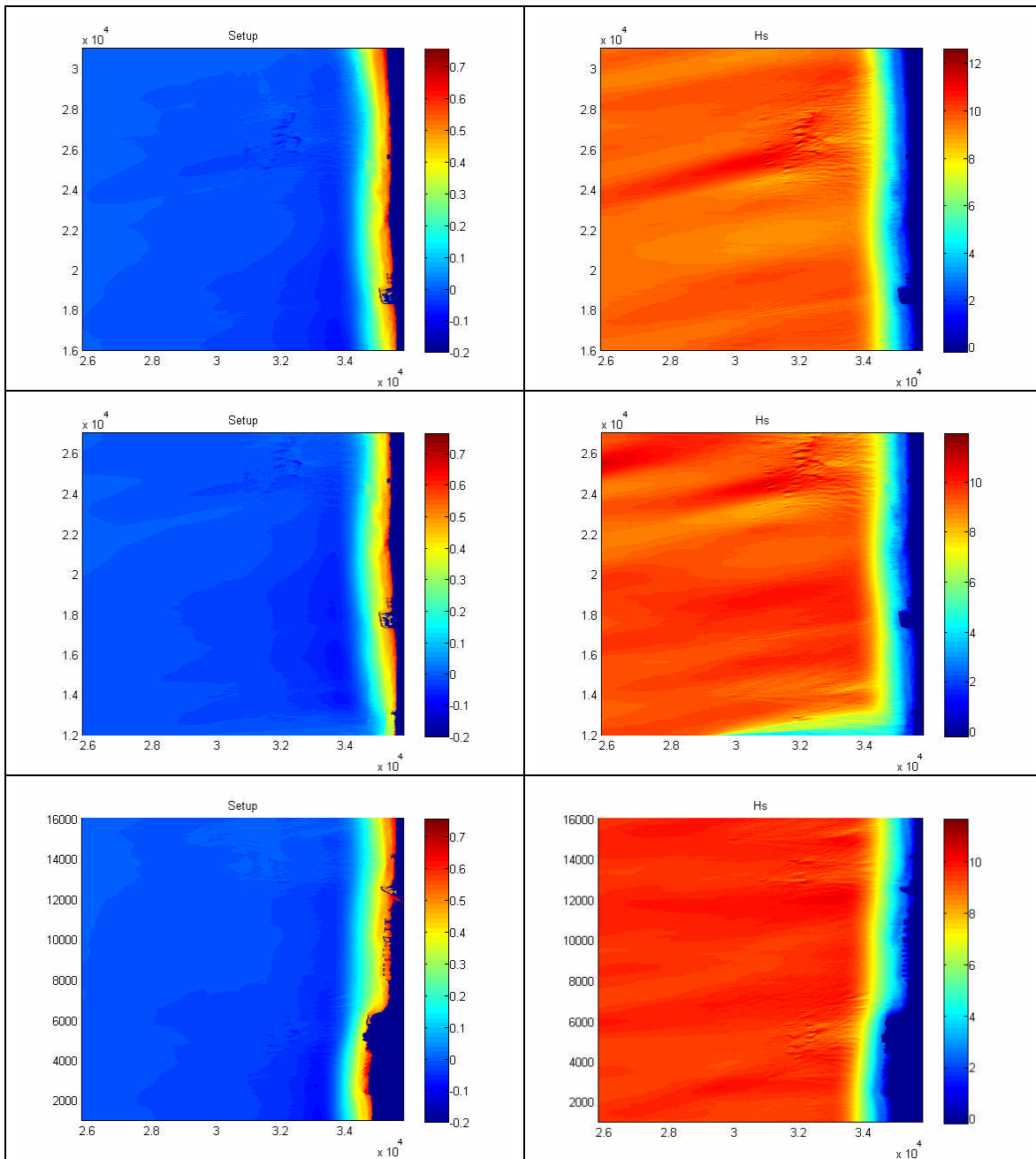
BMAP provides the coastal engineer and scientist with a multitude of capabilities in support of beach profile analysis, beach fill design, and cross-shore modeling of beach profile change and storm-induced beach erosion.



תצוגת פתיחה של BMAP בתוך מערכת CEDAS.

נספח A3

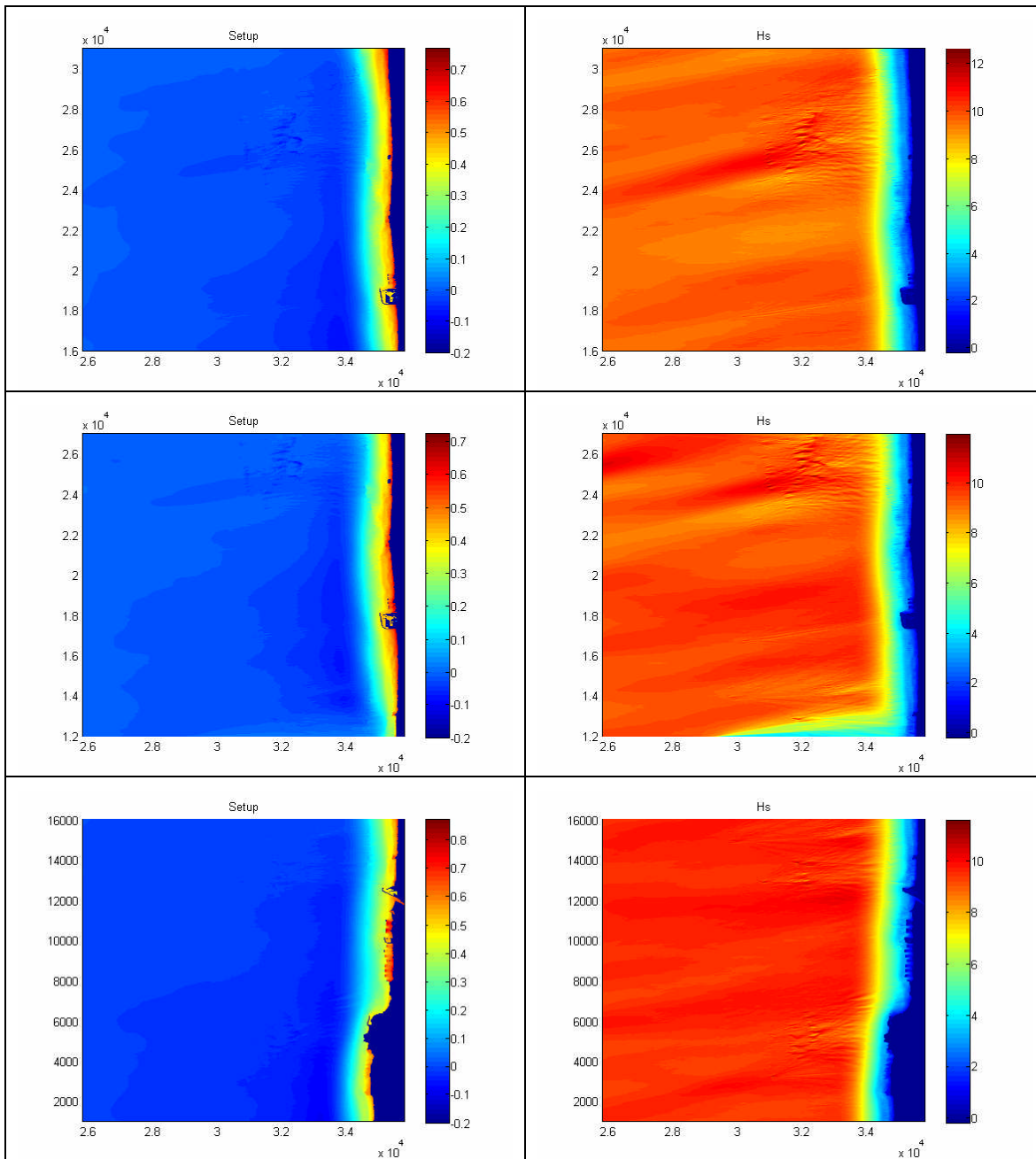
מפות גובה הגלים וההערמות שנתקבלו לחופי המרכז ללא אמצעי מיגון



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 1 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

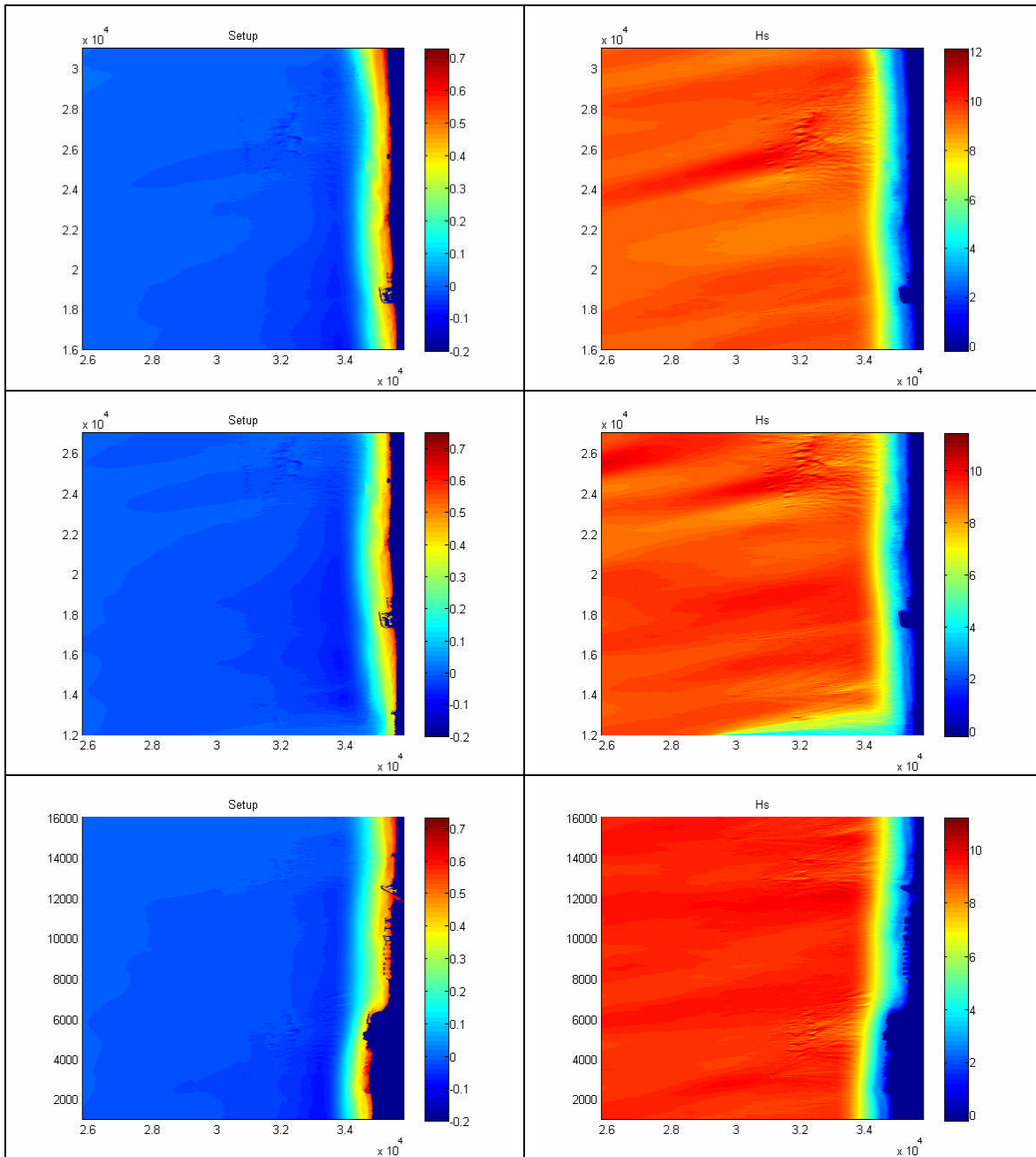
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,0}=8.7m$, $T_p=15.5s$, $Az,0=270^\circ$, $WL=0.0m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 2 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

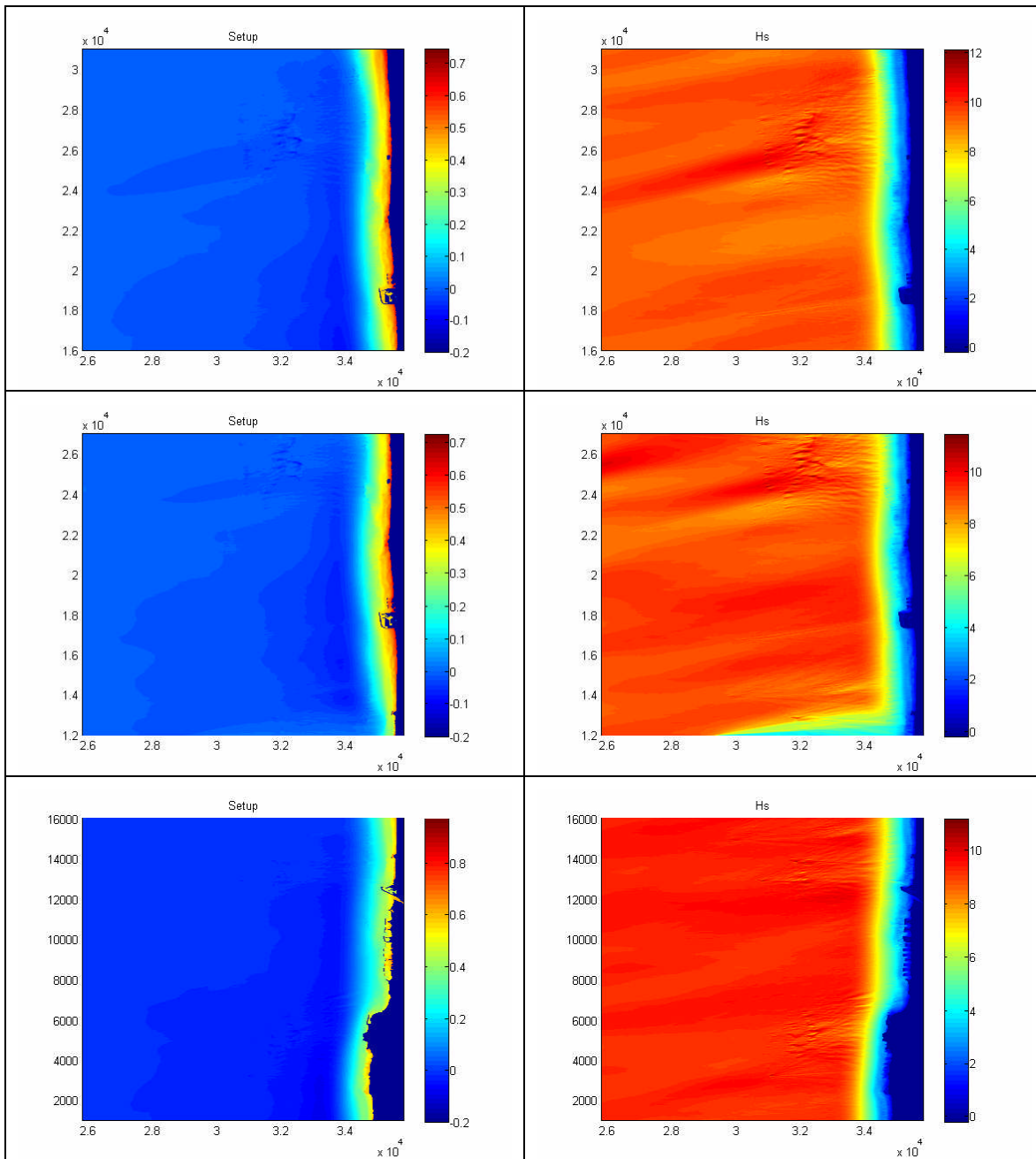
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים עתידי ל-100 שנה, $H_{s,0}=8.7\text{m}$, $T_p=15.5\text{s}$, $A_{z,0}=270^\circ$ $WL=1.0\text{m}$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 3 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

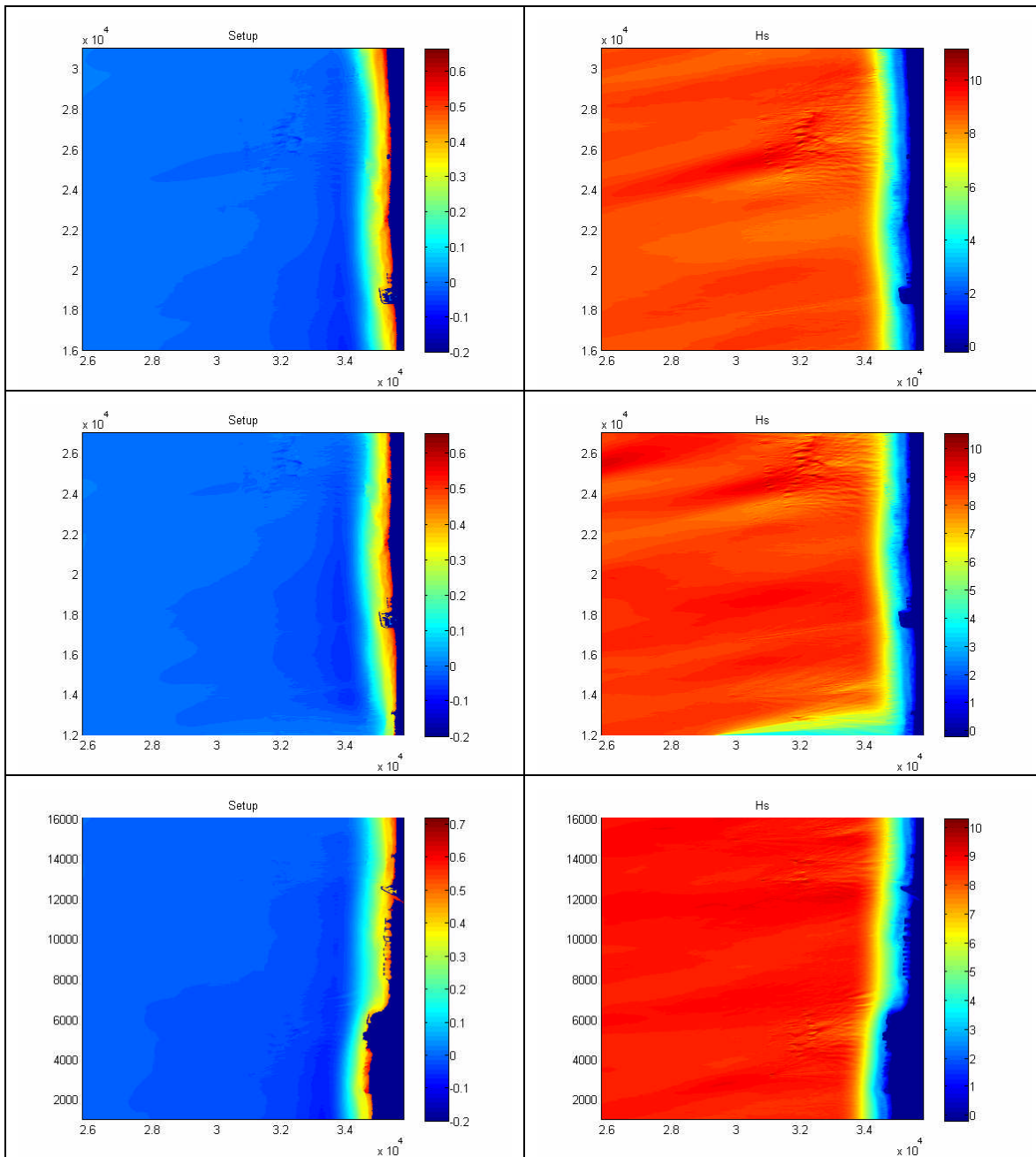
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,o}=8.2m$, $T_p=15.0s$, $Az,o=270^\circ$, $WL=0.0m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 4 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

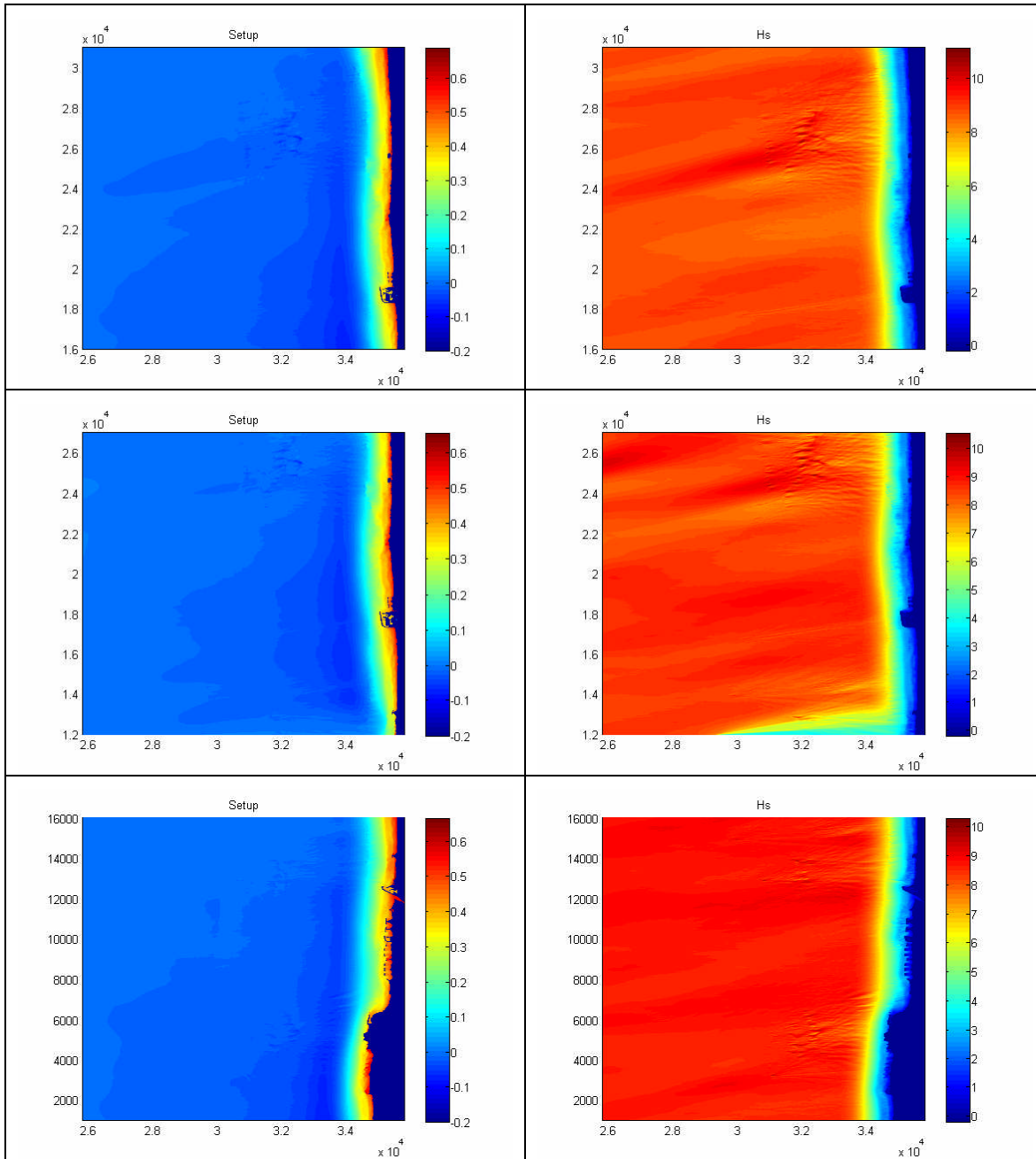
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים עתידי ל-50 שנה, $H_{s,0}=8.2m$, $T_p=15.0s$, $Az,0=270^\circ$ $WL=0.5m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 5 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

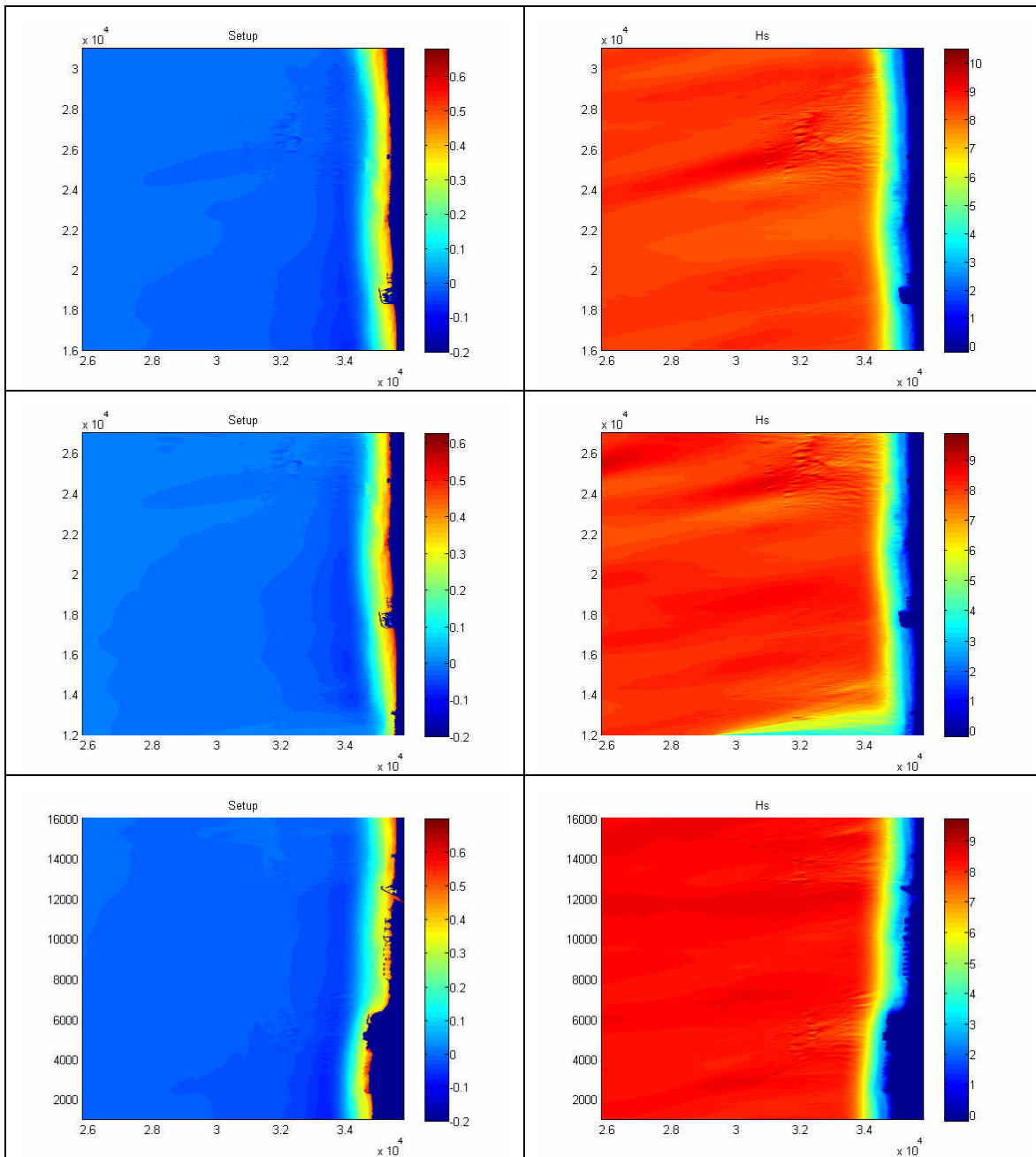
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 20 שנה לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,o}=7.4m$, $T_p=14.0s$, $Az_o=270^\circ$, $WL=0.0m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 6 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

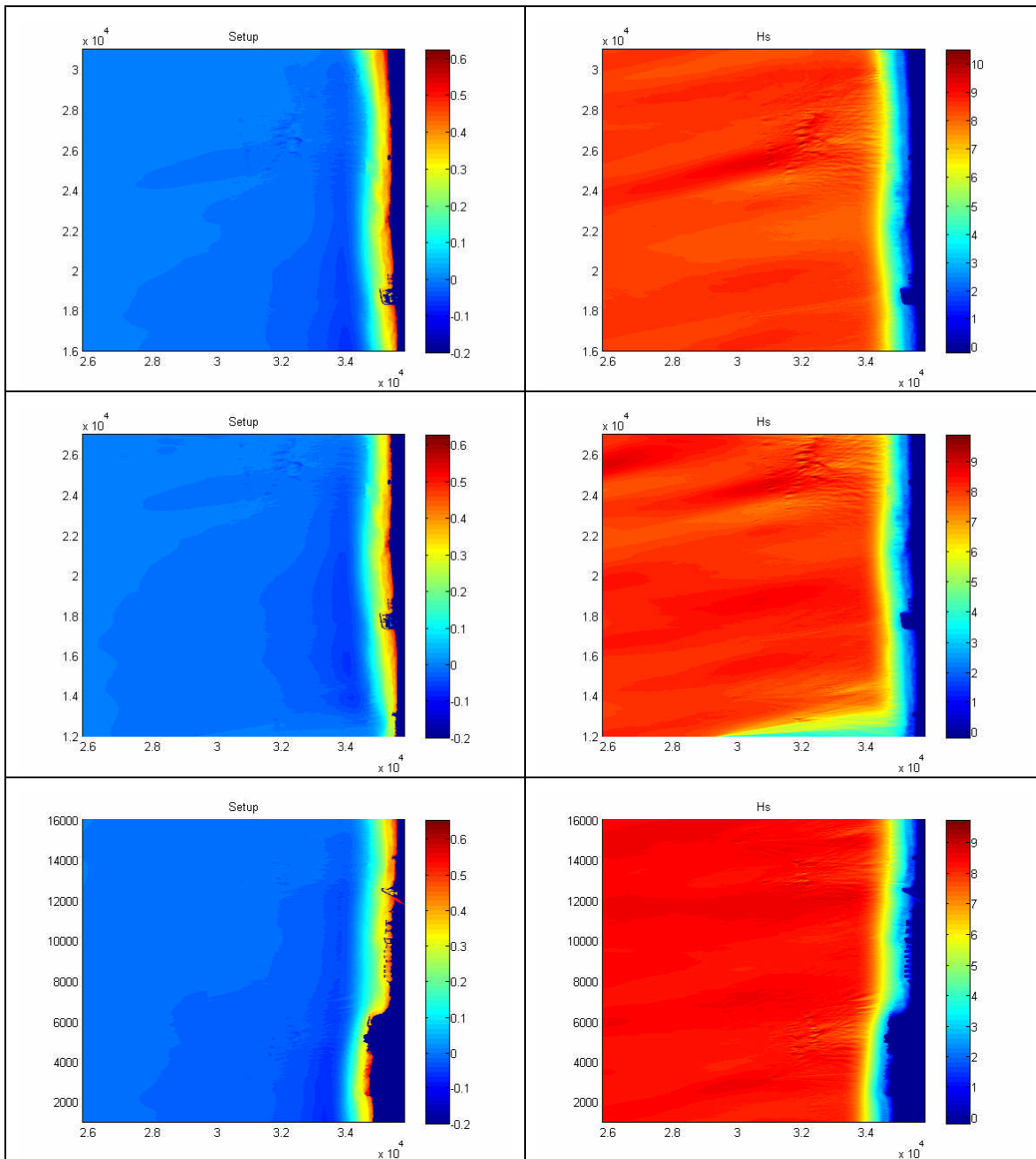
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 20 שנה לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים עתידי ל-1 שנה, $H_{s,0}=7.4m$, $T_p=14.0s$, $Az,0=270^\circ$ $WL=0.2m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 7 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

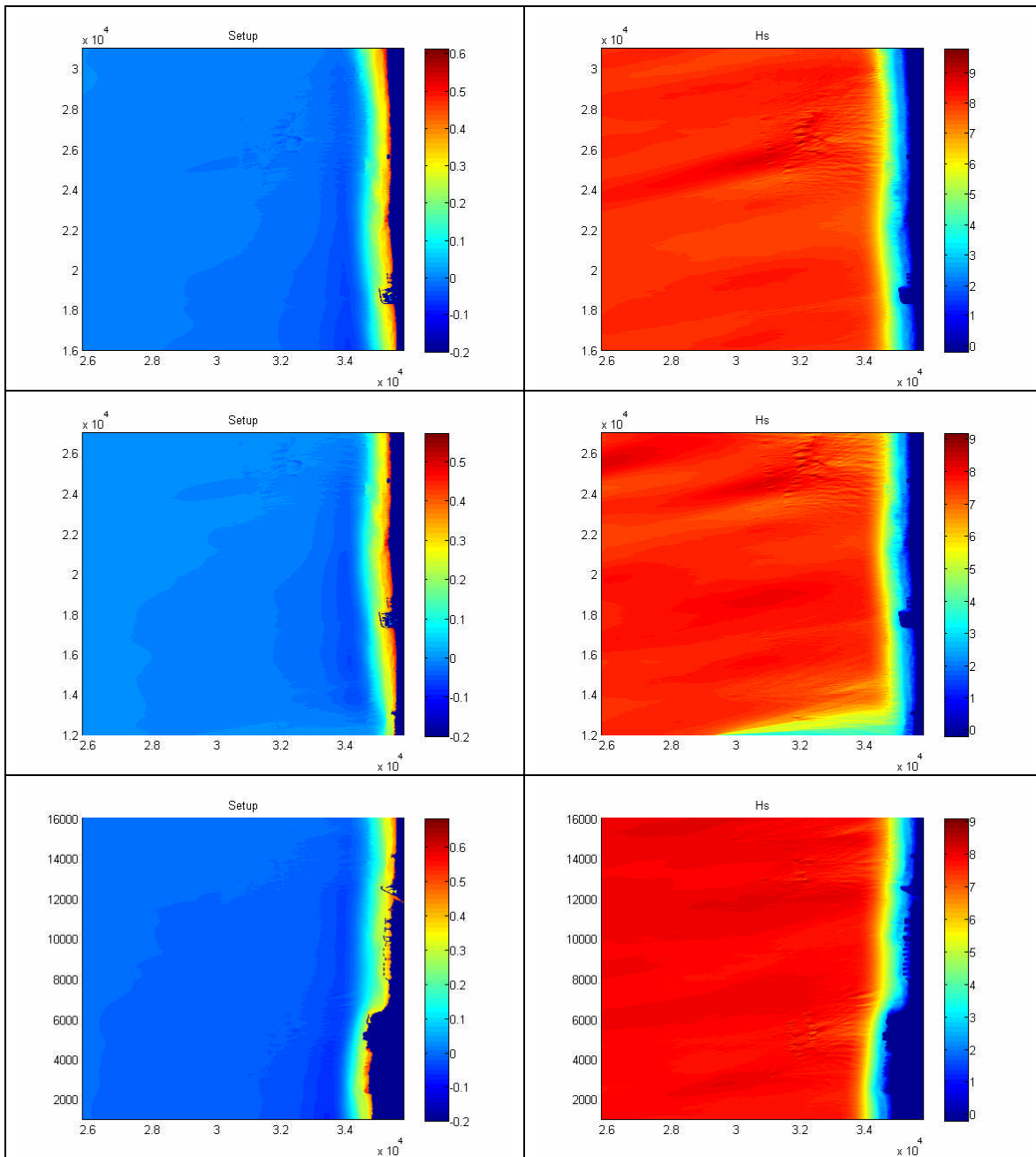
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 10 שנה לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,0}=6.8m$, $T_p=13.5s$, $Az_0=270^\circ$, $WL=0.0m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 8 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

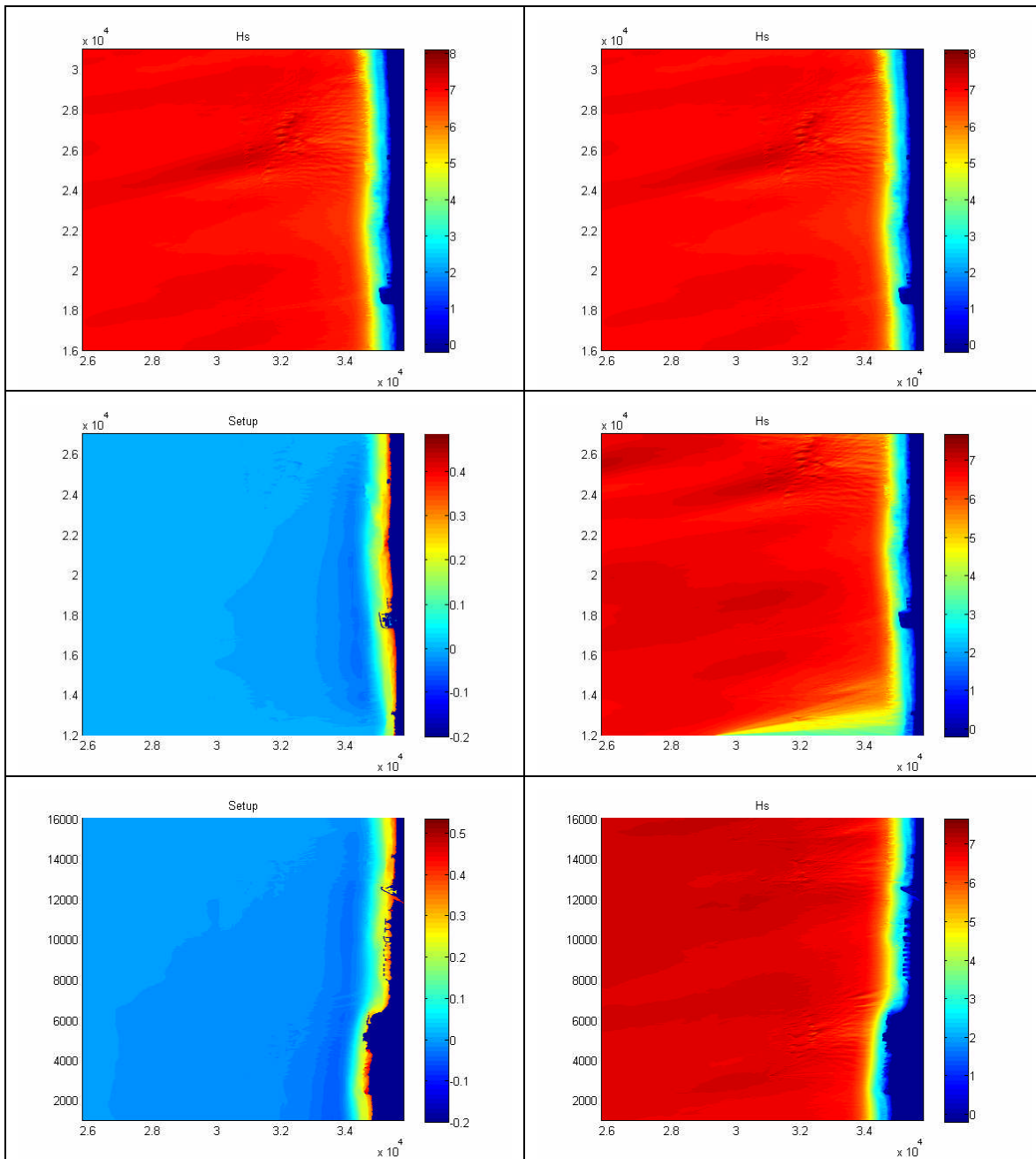
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 10 שנה לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים עתידי ל-10 שנה, $H_{s,0}=6.8m$, $T_p=13.5s$, $Az,0=270^\circ$ $WL=0.1m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 9 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 5 שנה לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,0}=6.15\text{m}$, $T_p=13.0\text{s}$, $A_{z,0}=270^\circ$, $WL=0.0\text{m}$



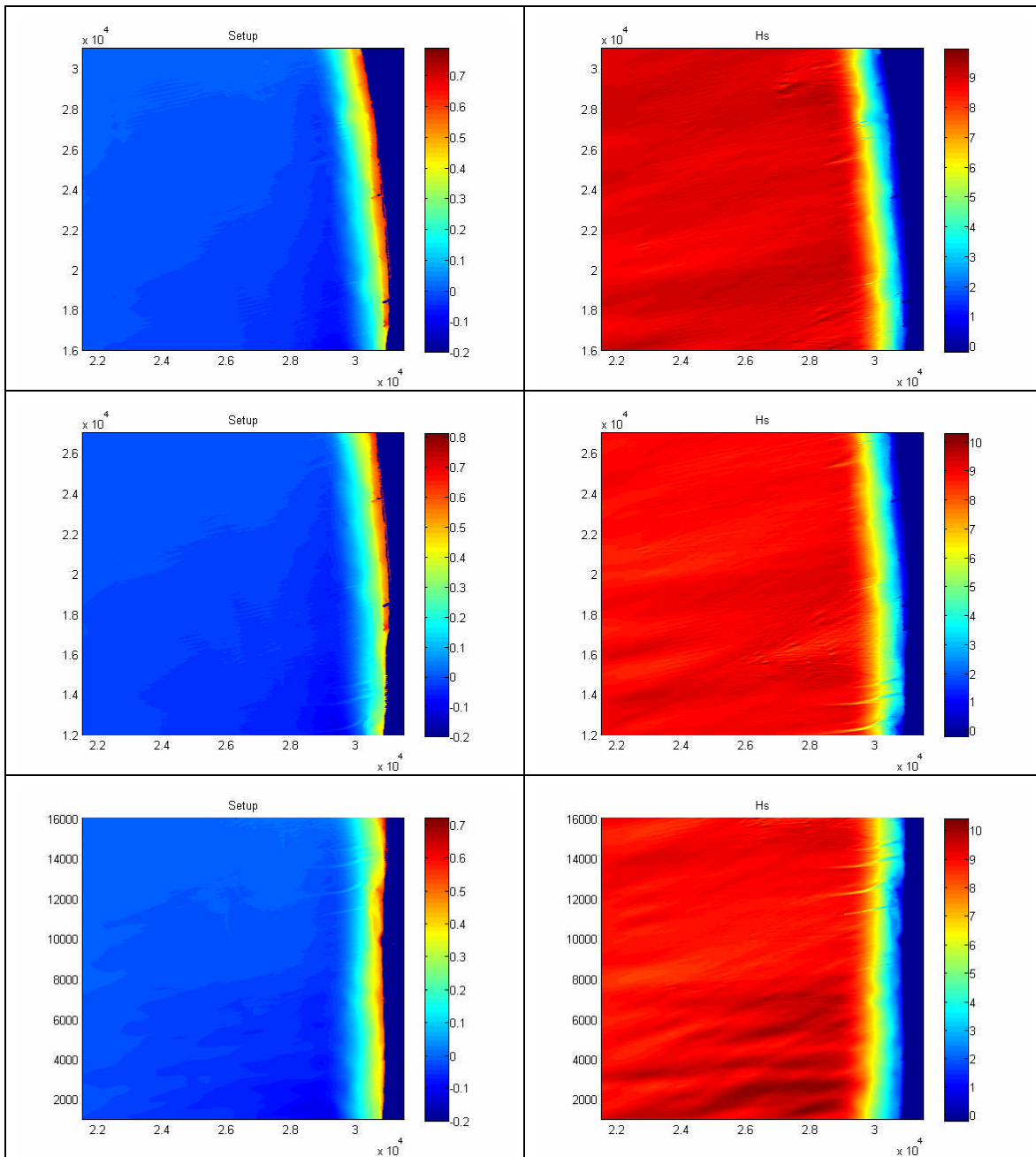
המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 10 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 1 שנה לאזור המרכז, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,0}=4.80m$, $T_p=11.5s$, $A_{z,0}=270^\circ$, $WL=0.0m$

נספח A4

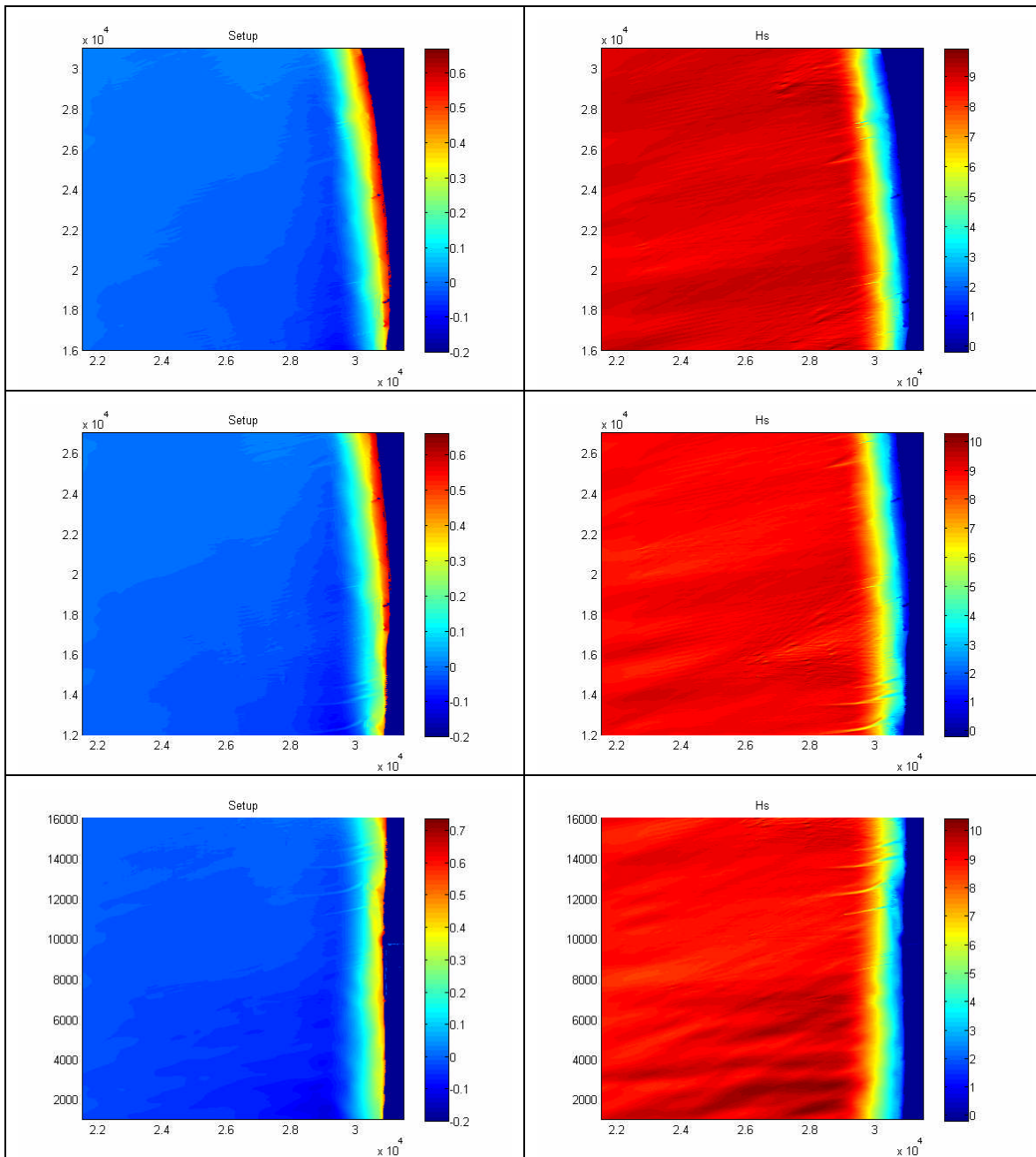
מפות גובה הגלים וההערמות שנתקבלו לחופי אשקלון-אשדוד ללא אמצעי מיגון



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 11 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

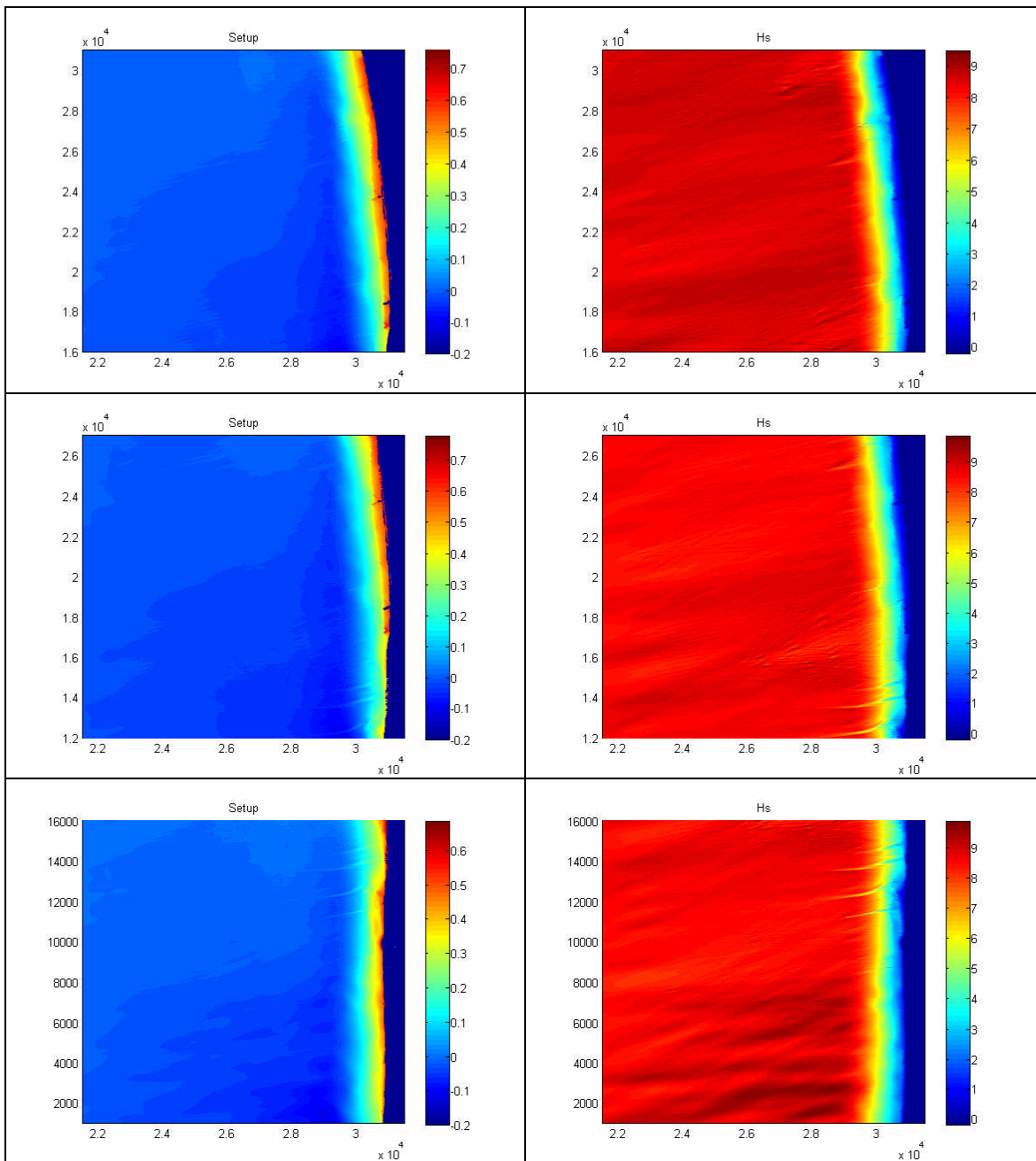
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,o}=8.7m$, $T_p=15.5s$, $A_{z,o}=270^\circ$, $WL=0.0m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 12 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

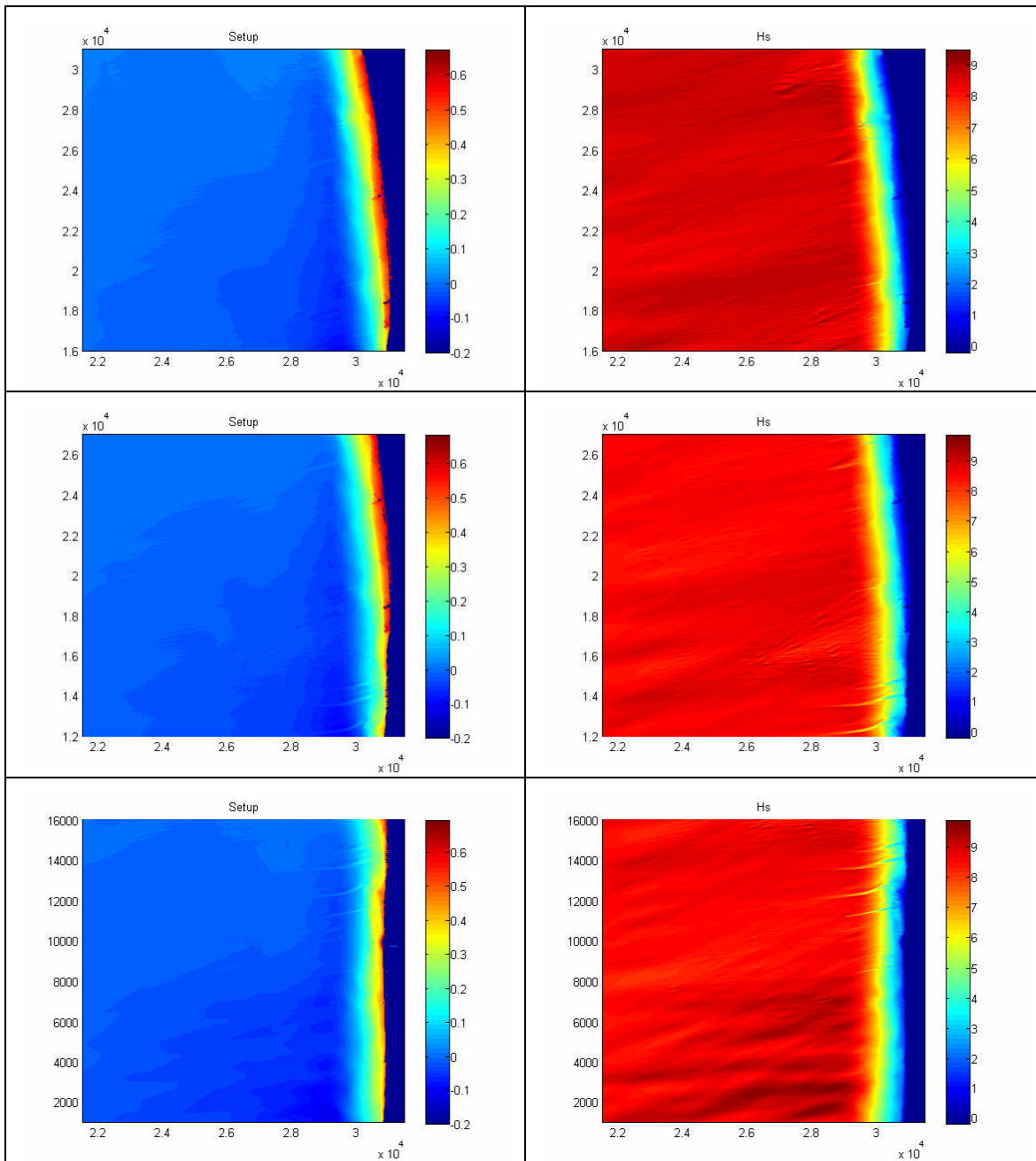
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים עתידי ל-100 שנה, $H_{s,0}=8.7\text{m}$, $T_p=15.5\text{s}$, $Az_0=270^\circ$ $WL=1.0\text{m}$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 13 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

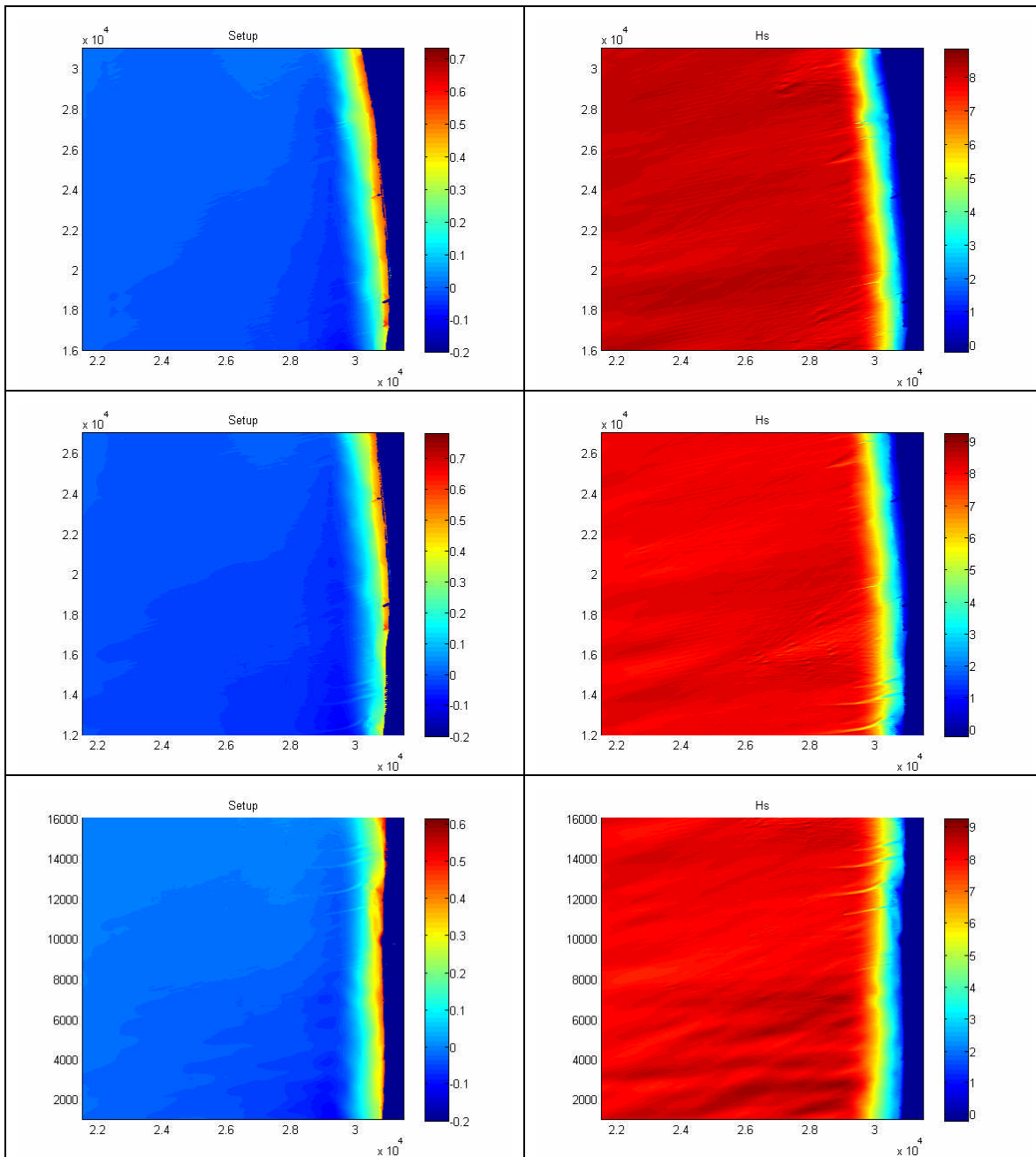
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,o}=8.2m$, $T_p=15.0s$, $Az,o=270^\circ$, $WL=0.0m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 14 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

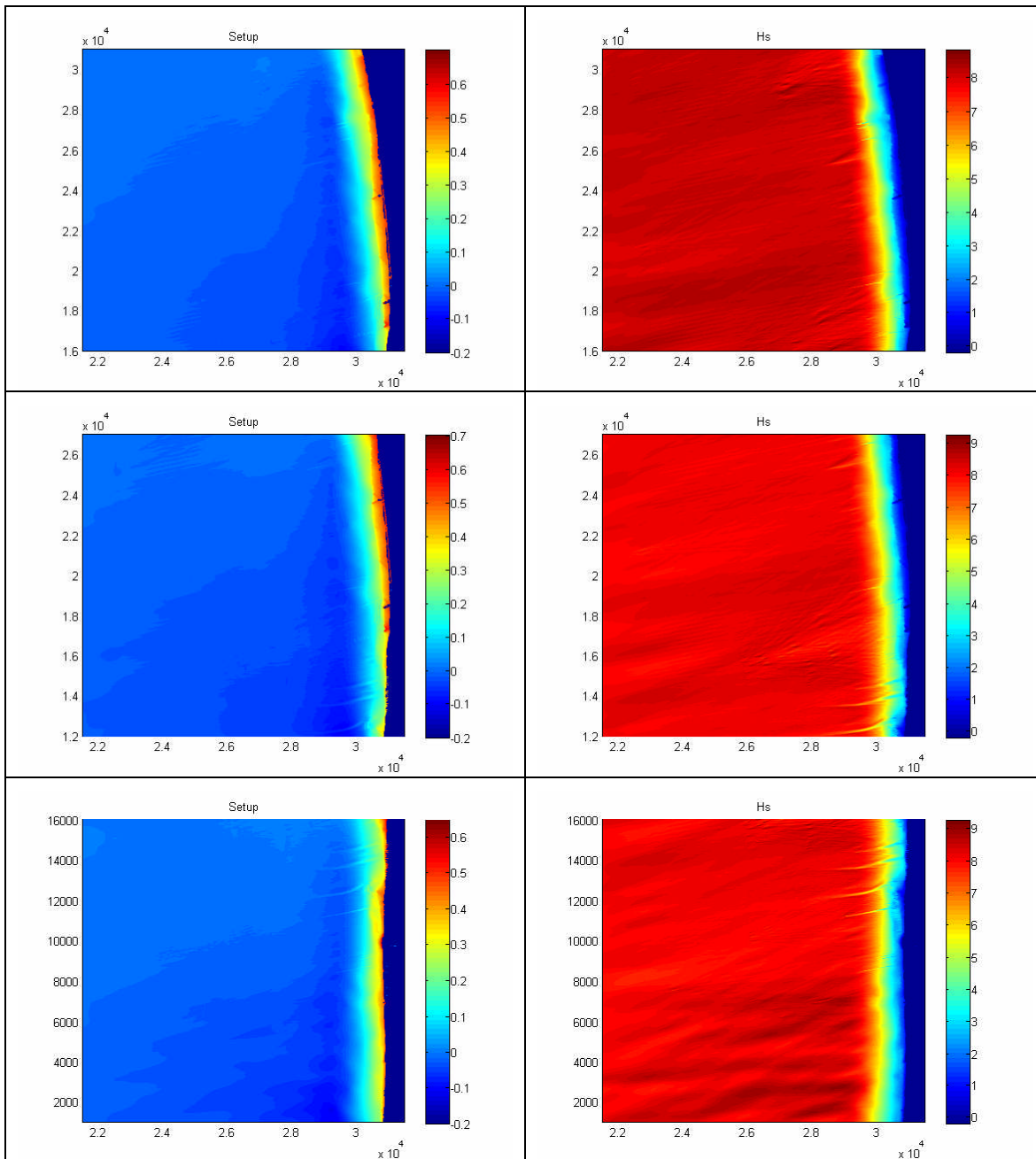
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים עתידי ל-50 שנה, $H_{s,0}=8.2\text{m}$, $T_p=15.0\text{s}$, $Az,0=270^\circ$ $WL=0.5\text{m}$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מ־15 מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

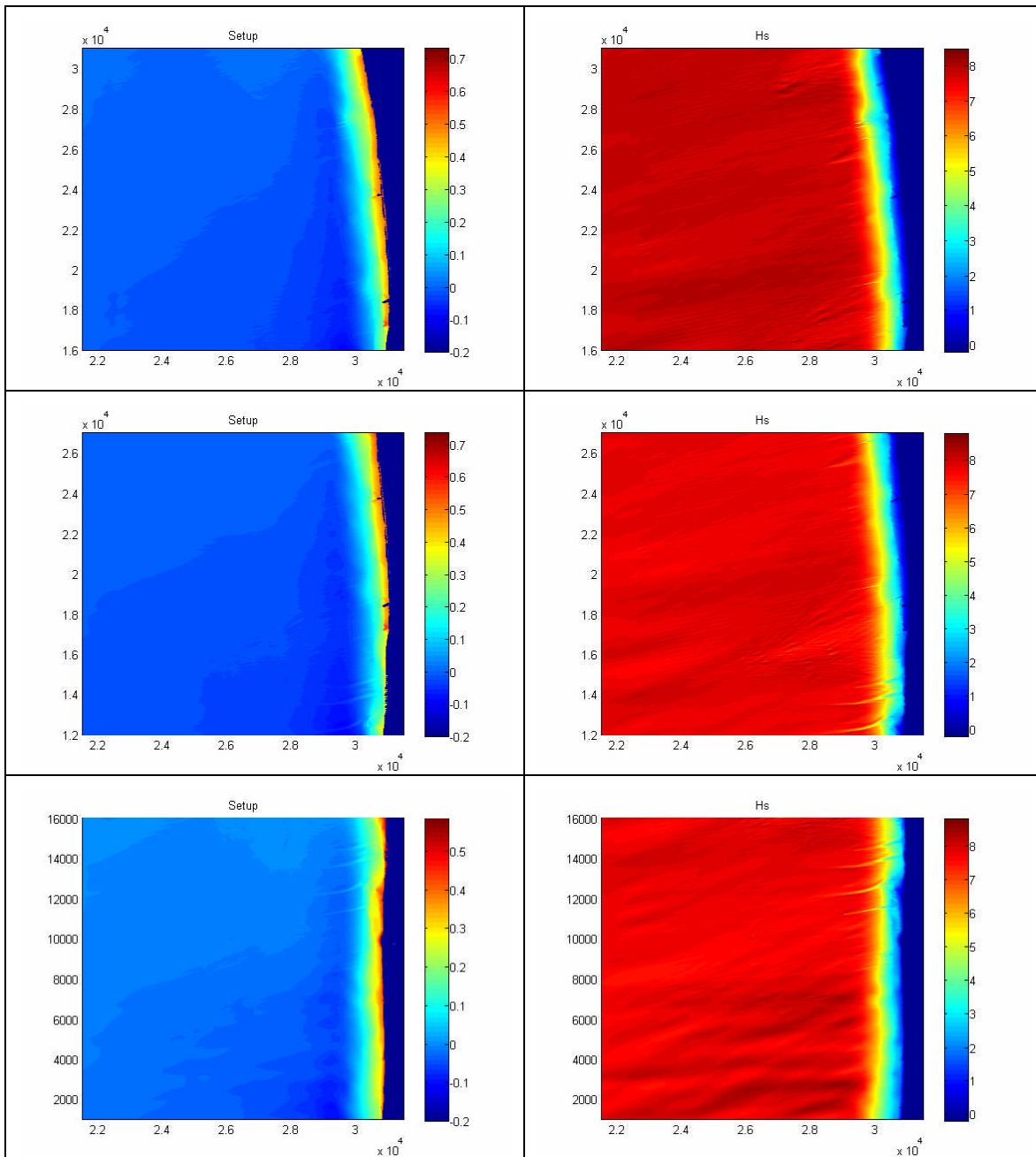
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 20 שנה לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,o}=7.4m$, $T_p=14.0s$, $A_{z,o}=270^\circ$, $WL=0.0m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מסי' 16 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

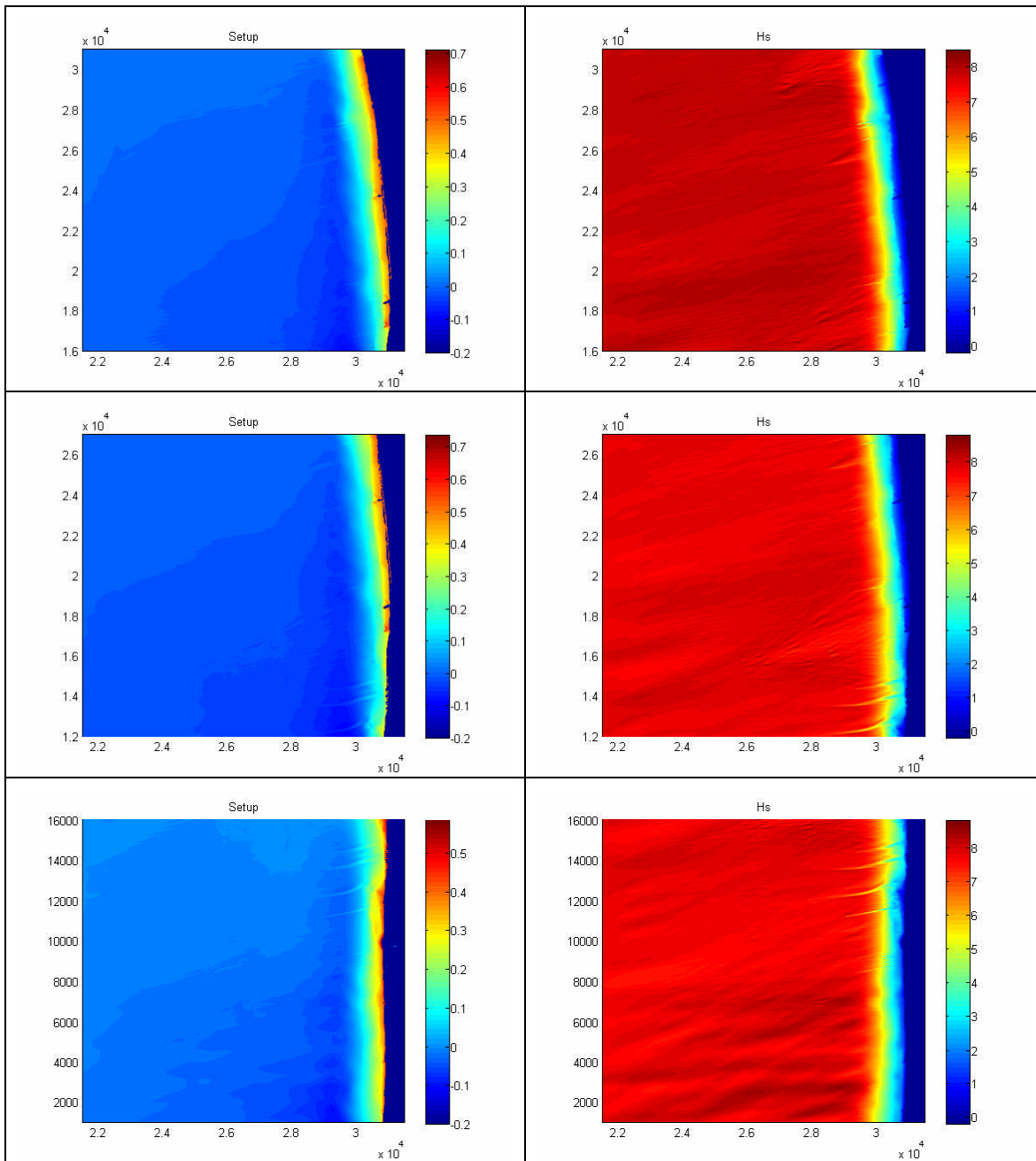
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 20 שנה לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים עתידי ל-50 שנה, $H_{s,0}=7.4m$, $T_p=14.0s$, $Az,0=270^\circ$ $WL=0.2m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 17 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

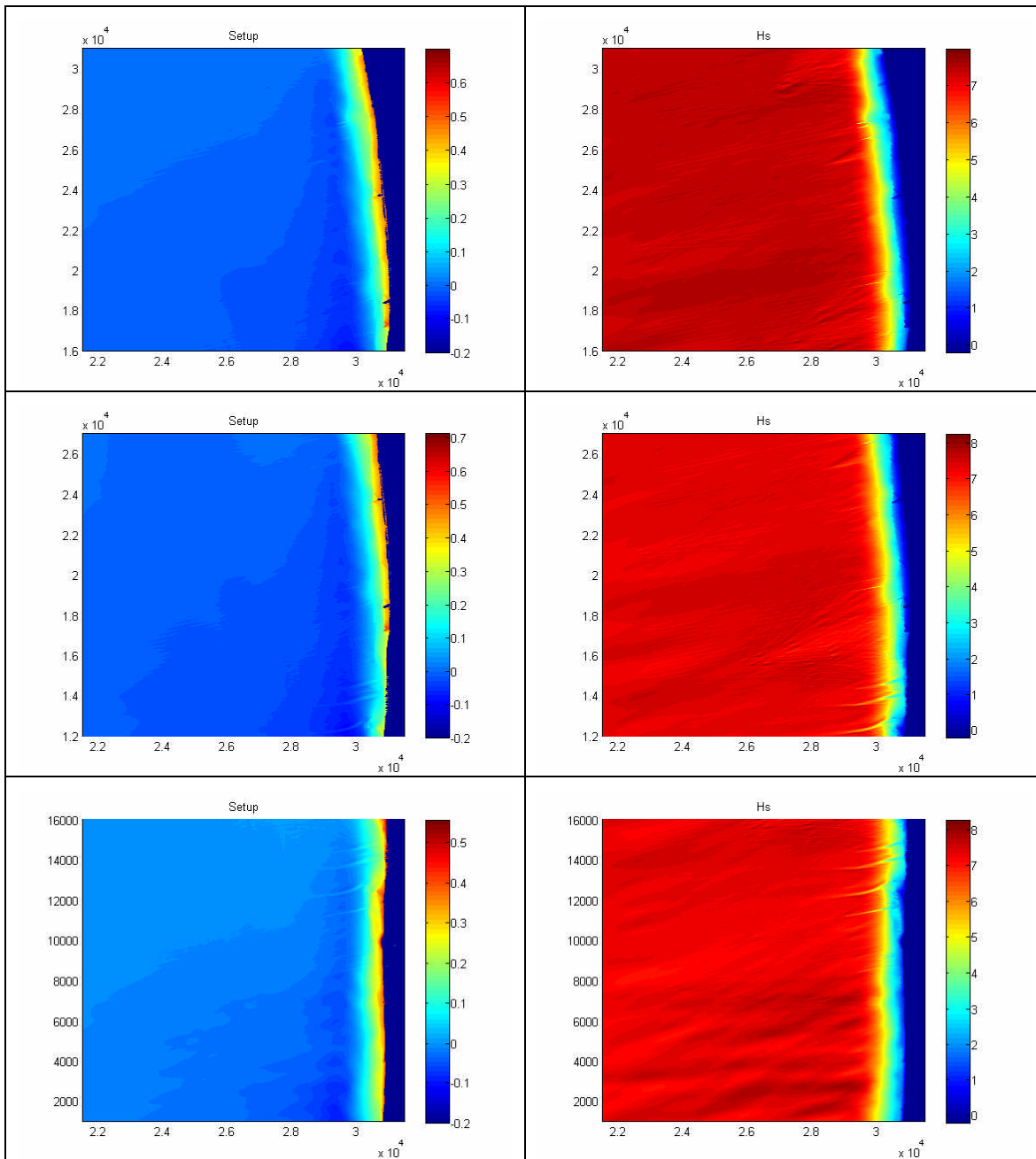
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 10 שנה לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,0}=6.8m$, $T_p=13.5s$, $A_{z,0}=270^\circ$, $WL=0.0m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 18 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

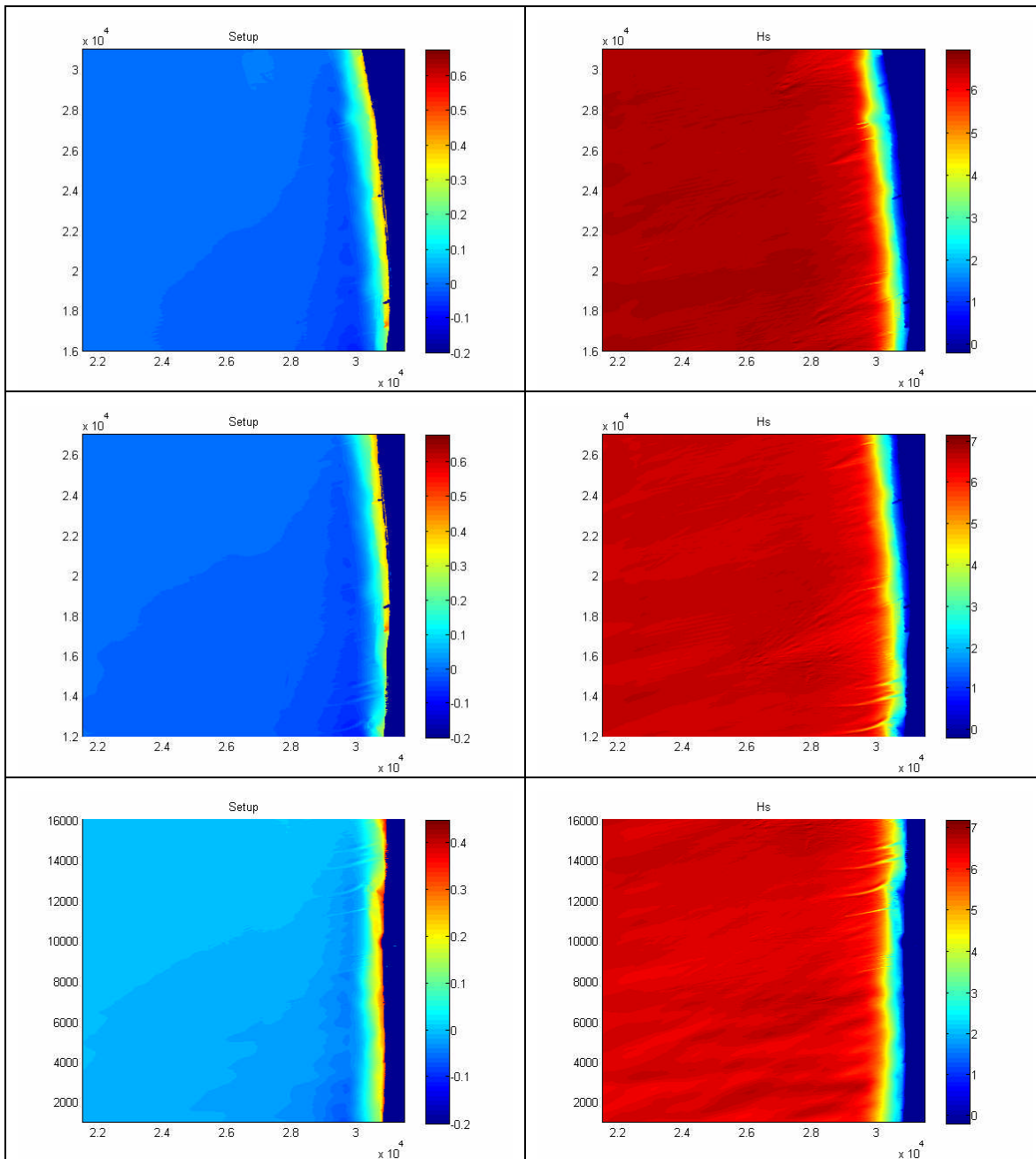
סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 10 שנה לאזור אשקלון, חלק דרומי למטה, חלק מרכזי באמצע וחלק צפוני למעלה, מפלס ים עתידי ל-10 שנה, $H_{s,0}=6.8m$, $T_p=13.5s$, $Az,0=270^\circ$ $WL=0.1m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

ציור מס' 19 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 5 שנה לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,o}=6.15m$, $T_p=13.0s$, $A_{z,o}=270^\circ$, $WL=0.0m$



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (למטה לאורך החוף במטרים)

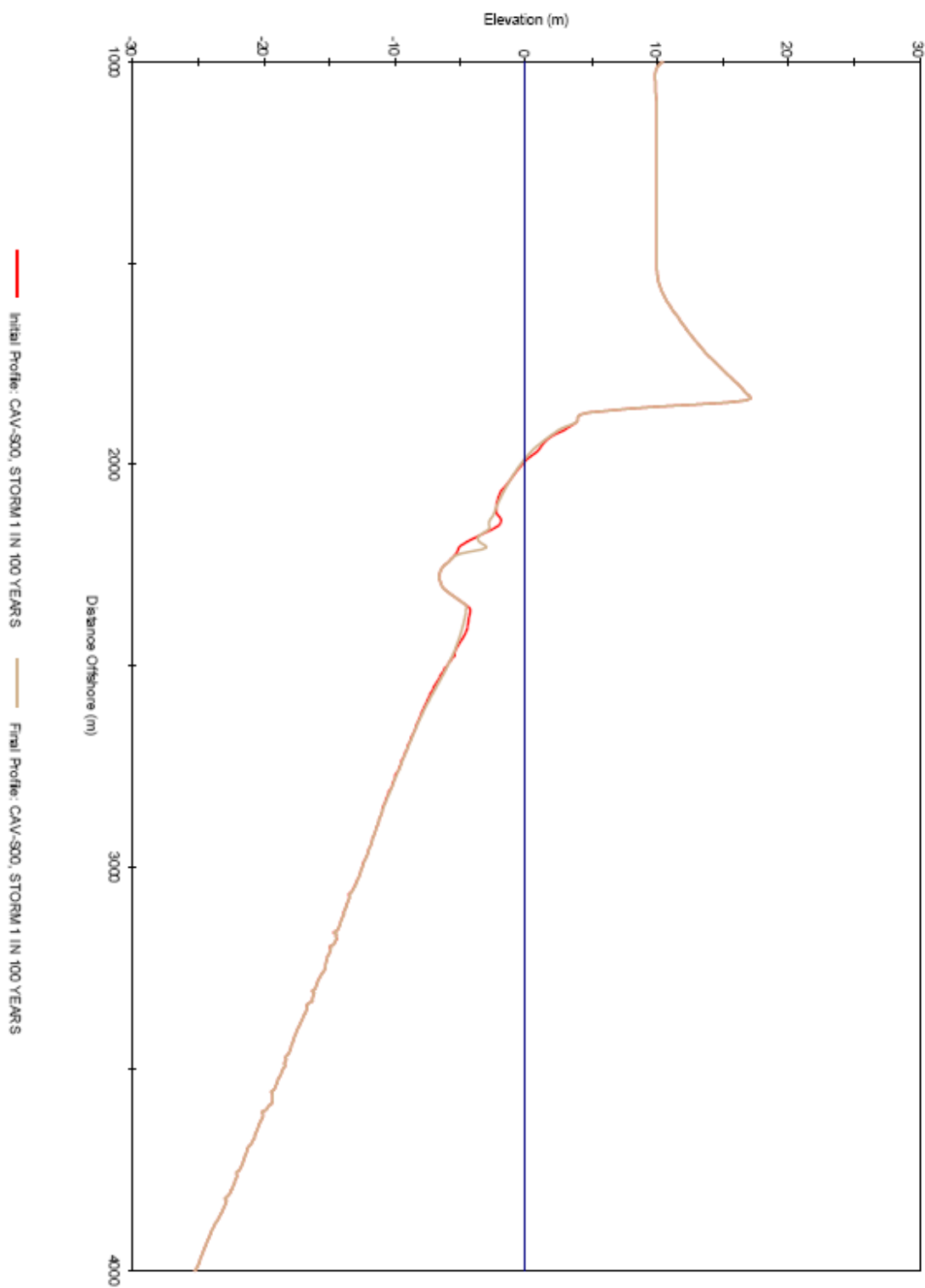
ציור מסי' 20 – מפת השתנות גובה גלים (צד ימין) ומפת השתנות הערמות גלים (צד שמאל)

סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 1 שנה לאזור אשקלון, חלק דרומי (למטה), חלק מרכזי (באמצע) וחלק צפוני (למעלה), מפלס ים קיים (0), $H_{s,0}=4.80m$, $T_p=11.5s$, $A_{z,0}=270^\circ$, $WL=0.0m$

נספח A5

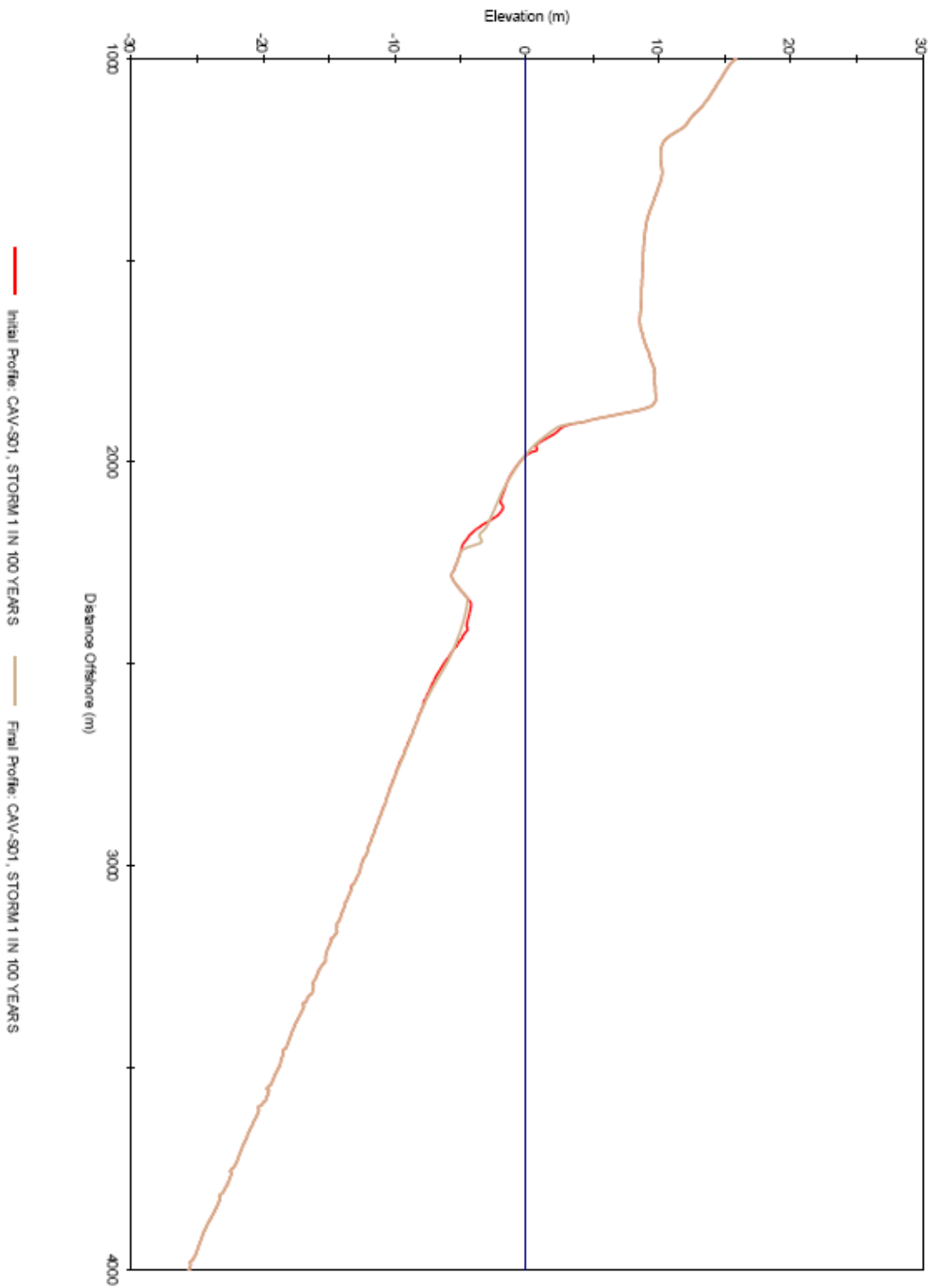
תוצאות של הבדיקות במודל SBEACH מבחינת השינויים בצדודית בתחום חופי המרכז בסערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס ים עתידי של +1.0 מ'

CLIFFS EROSION - WL=1.0m

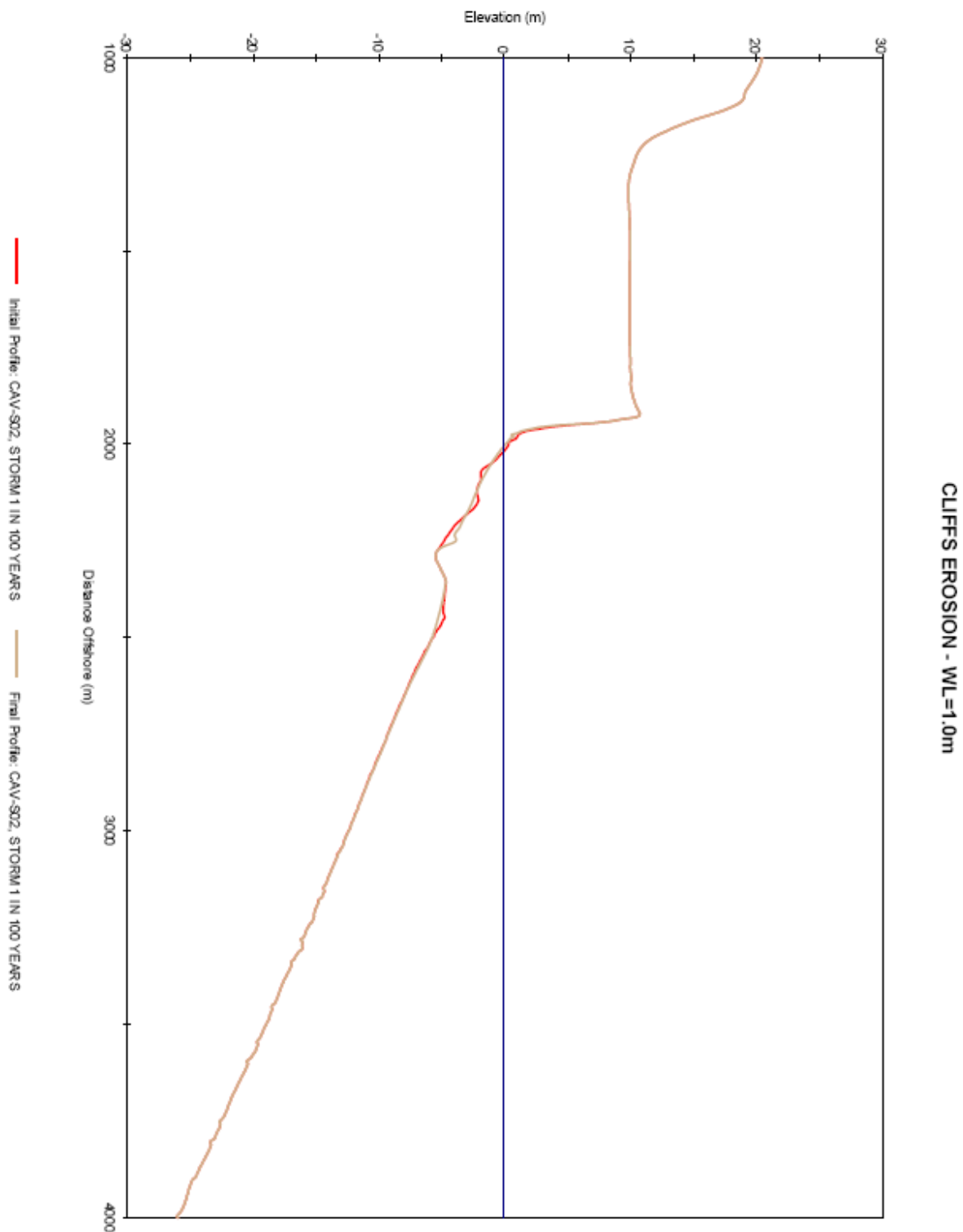


שינוי הצודדית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 0 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m

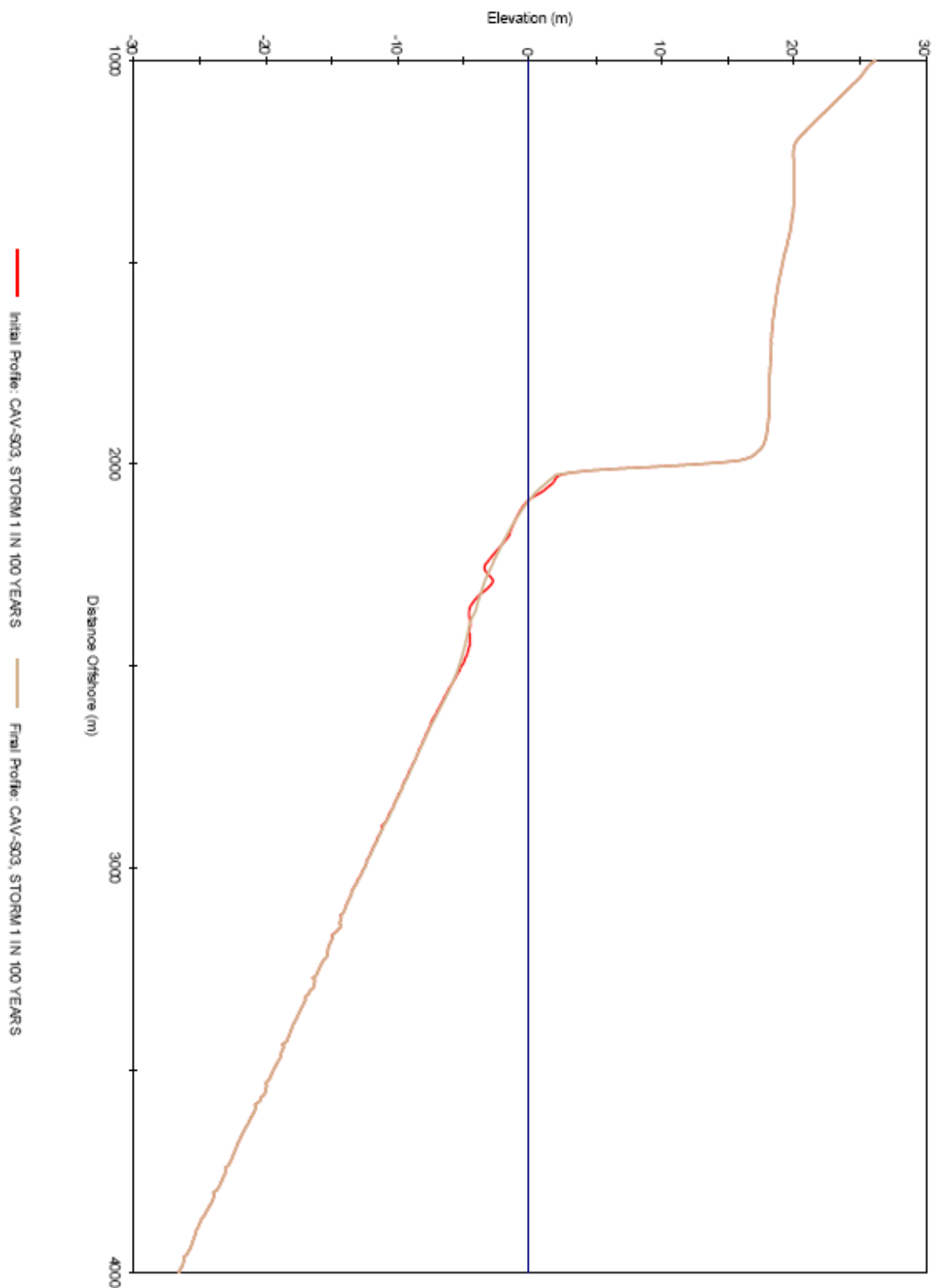


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 1 באזור המרכז

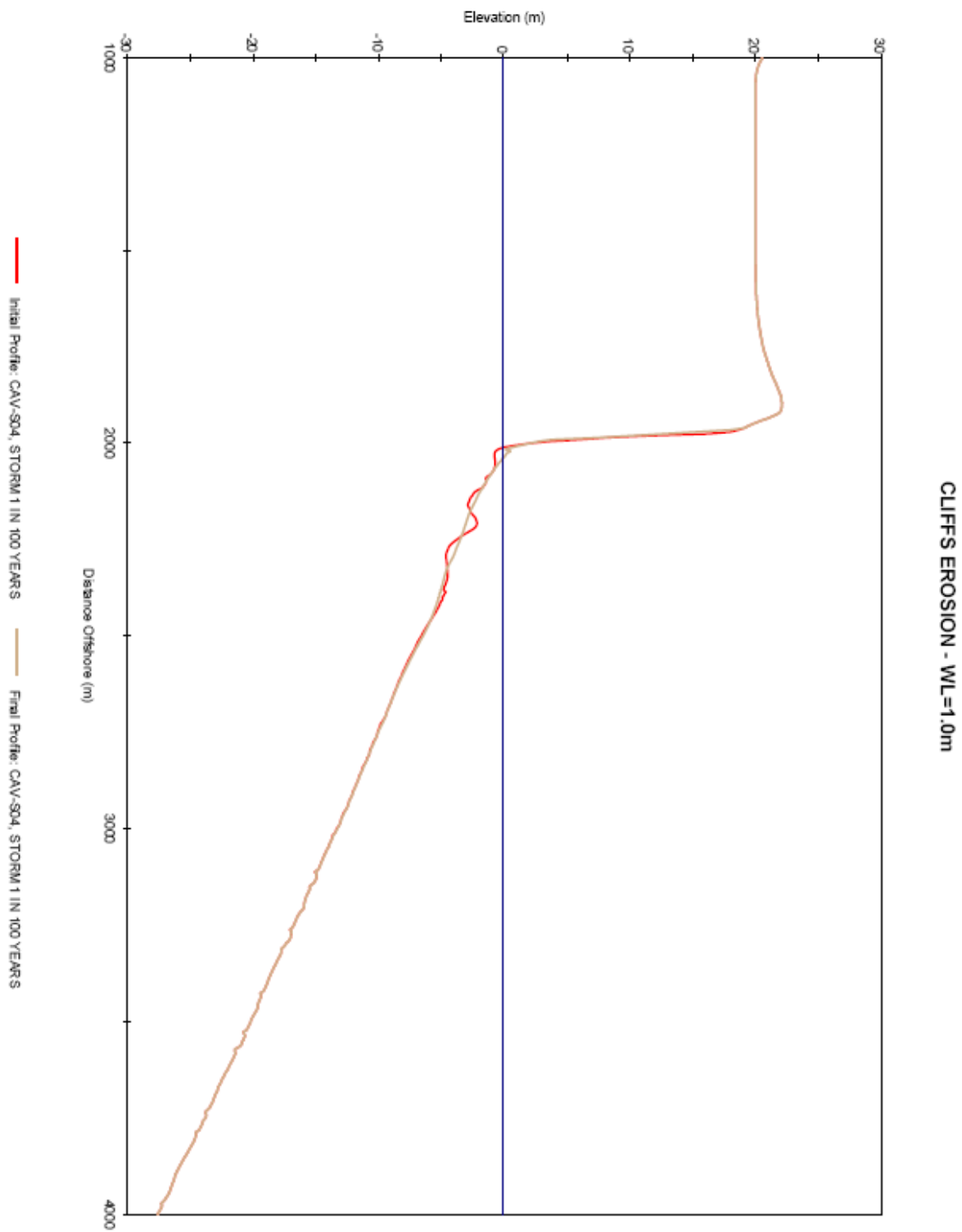


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 2 באזור המרכז

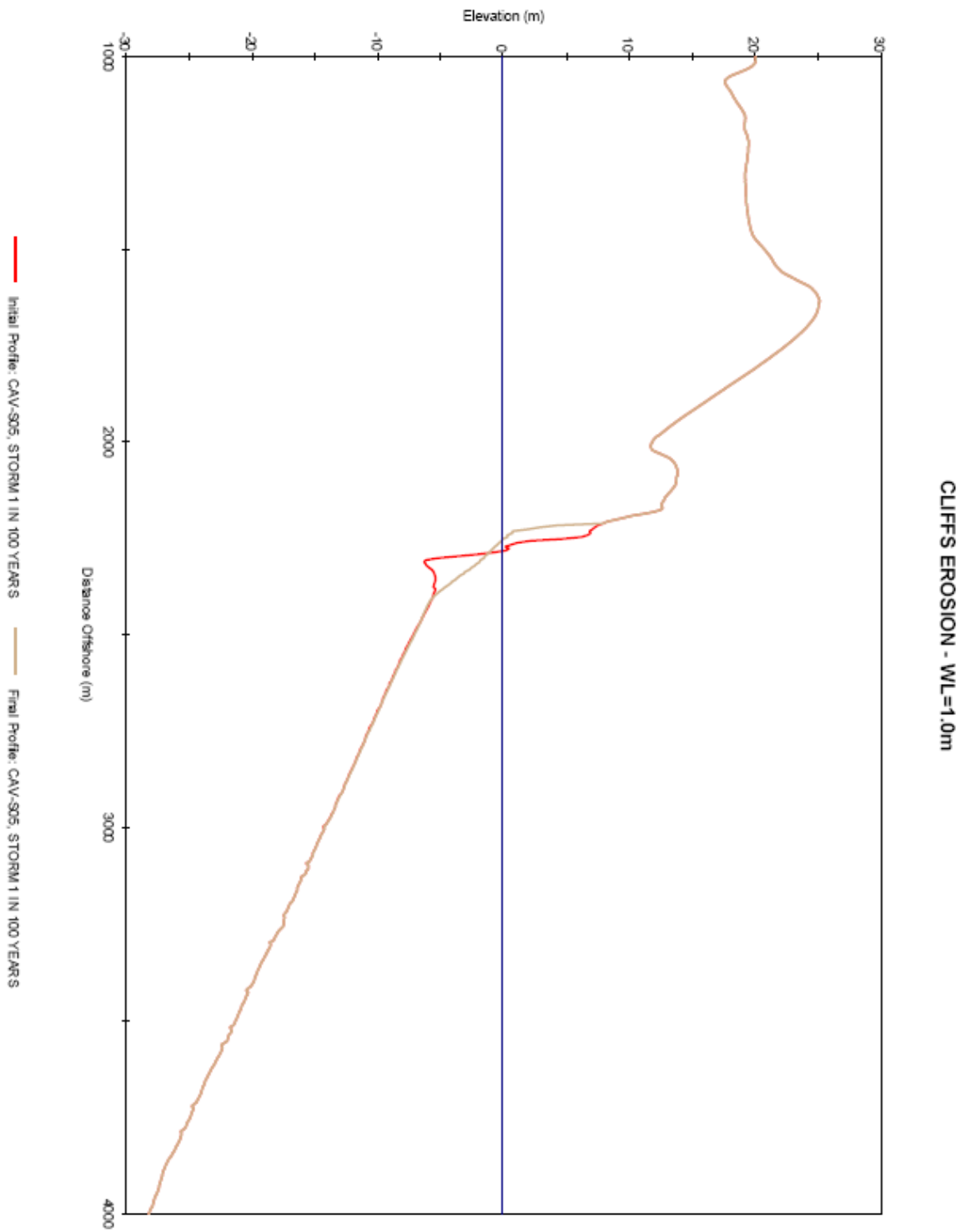
CLIFFS EROSION - WL=1.0m



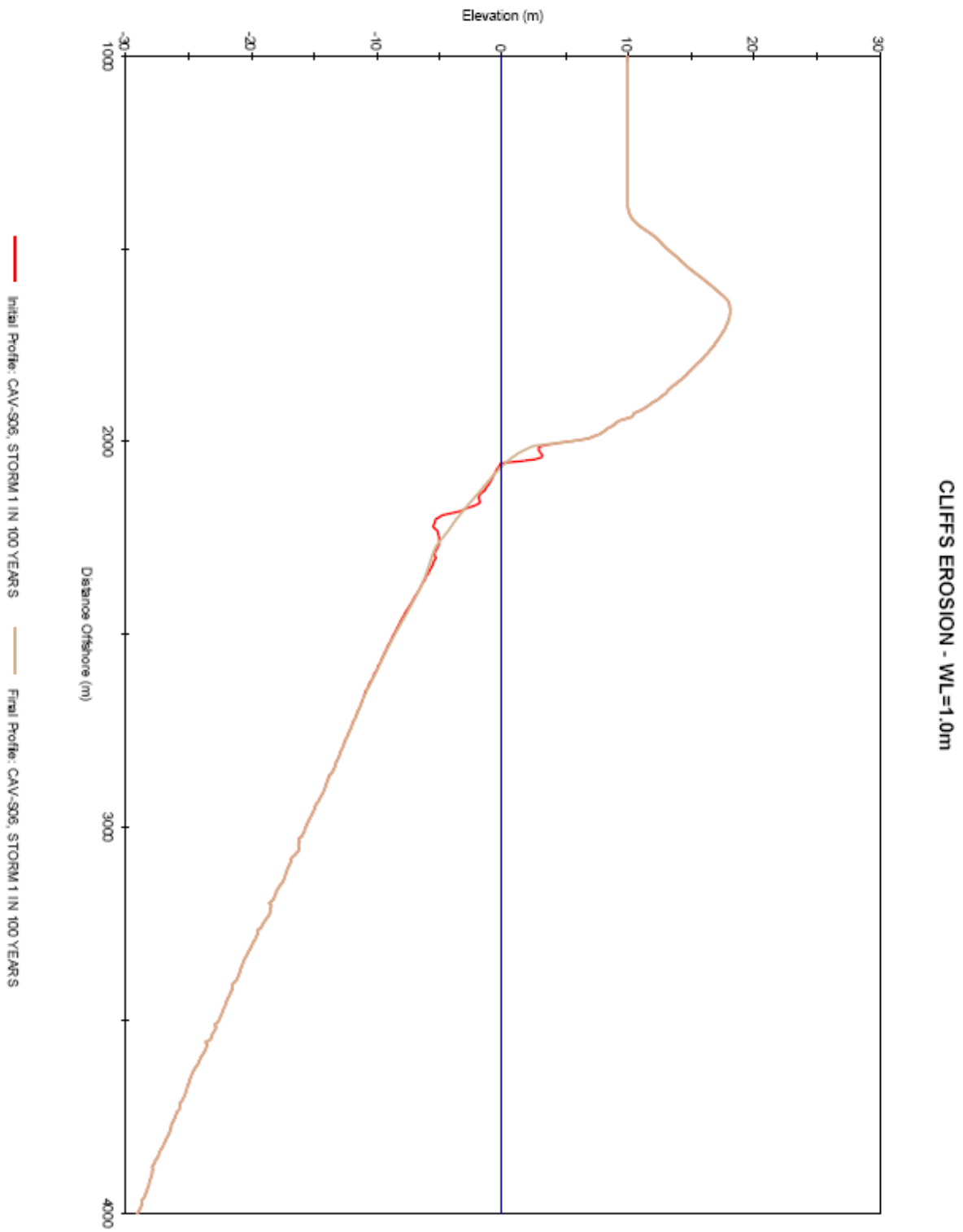
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 3 באזור המרכז



שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 4 באזור המרכז

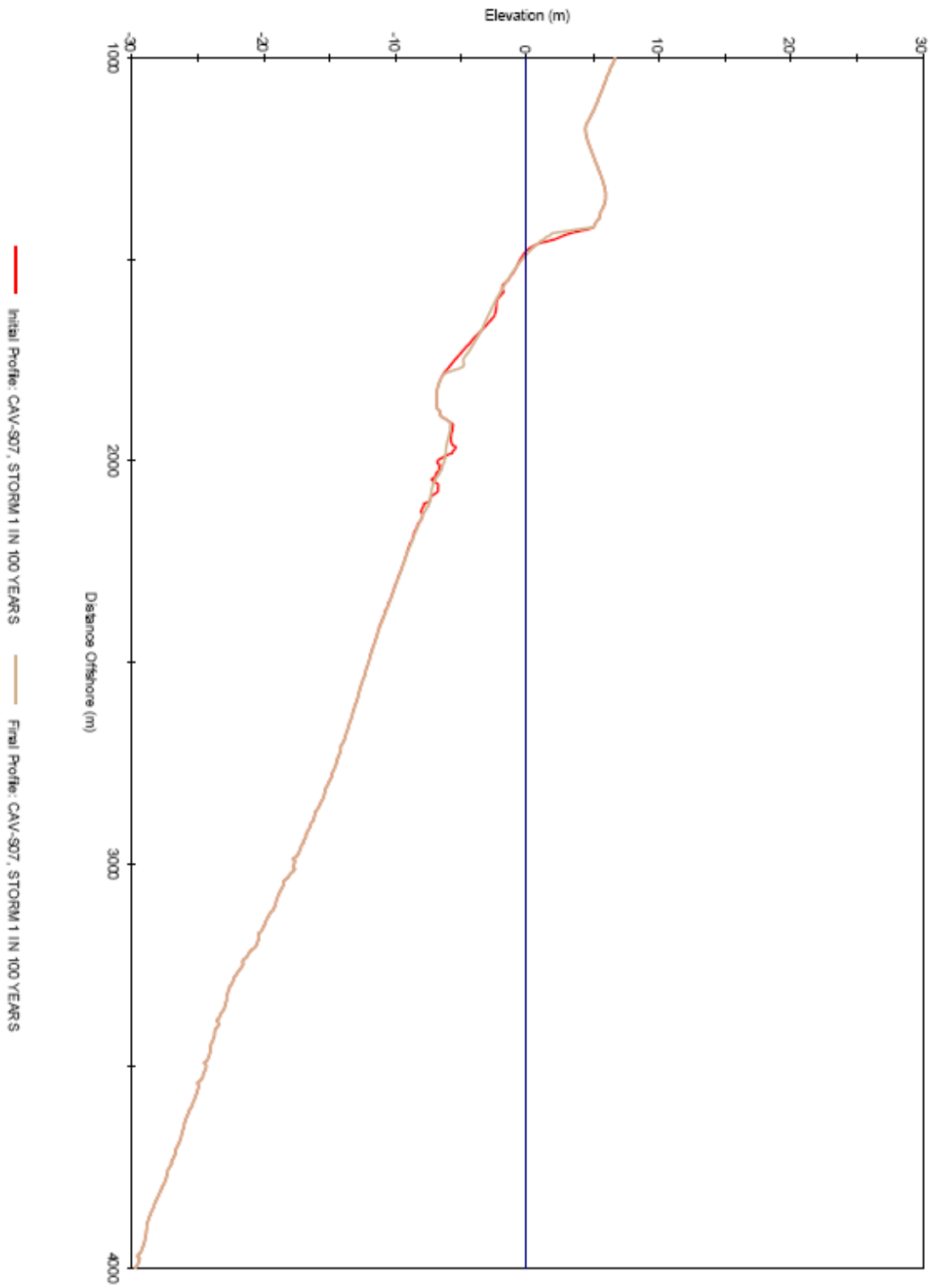


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 5 באזור המרכז

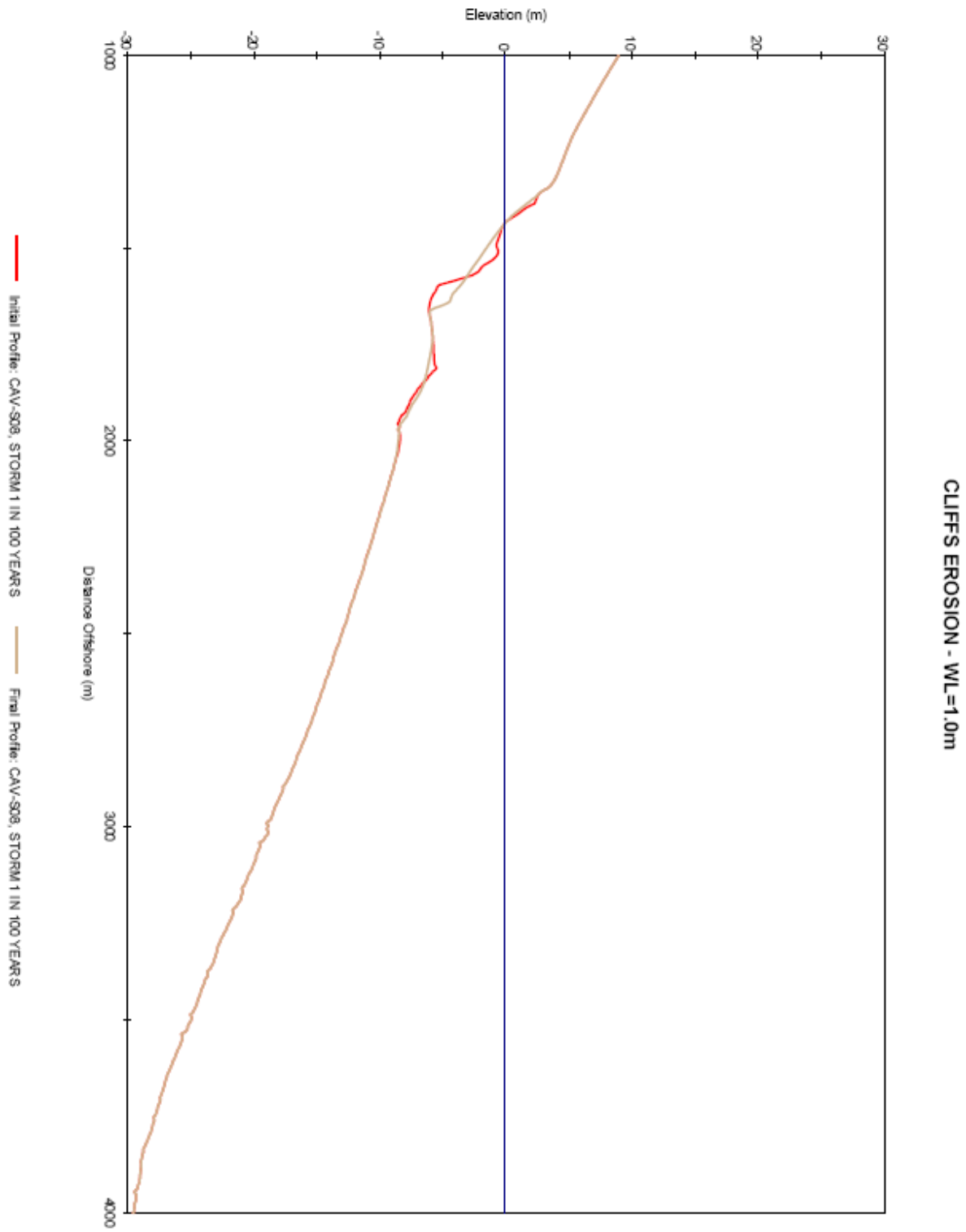


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 6 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m

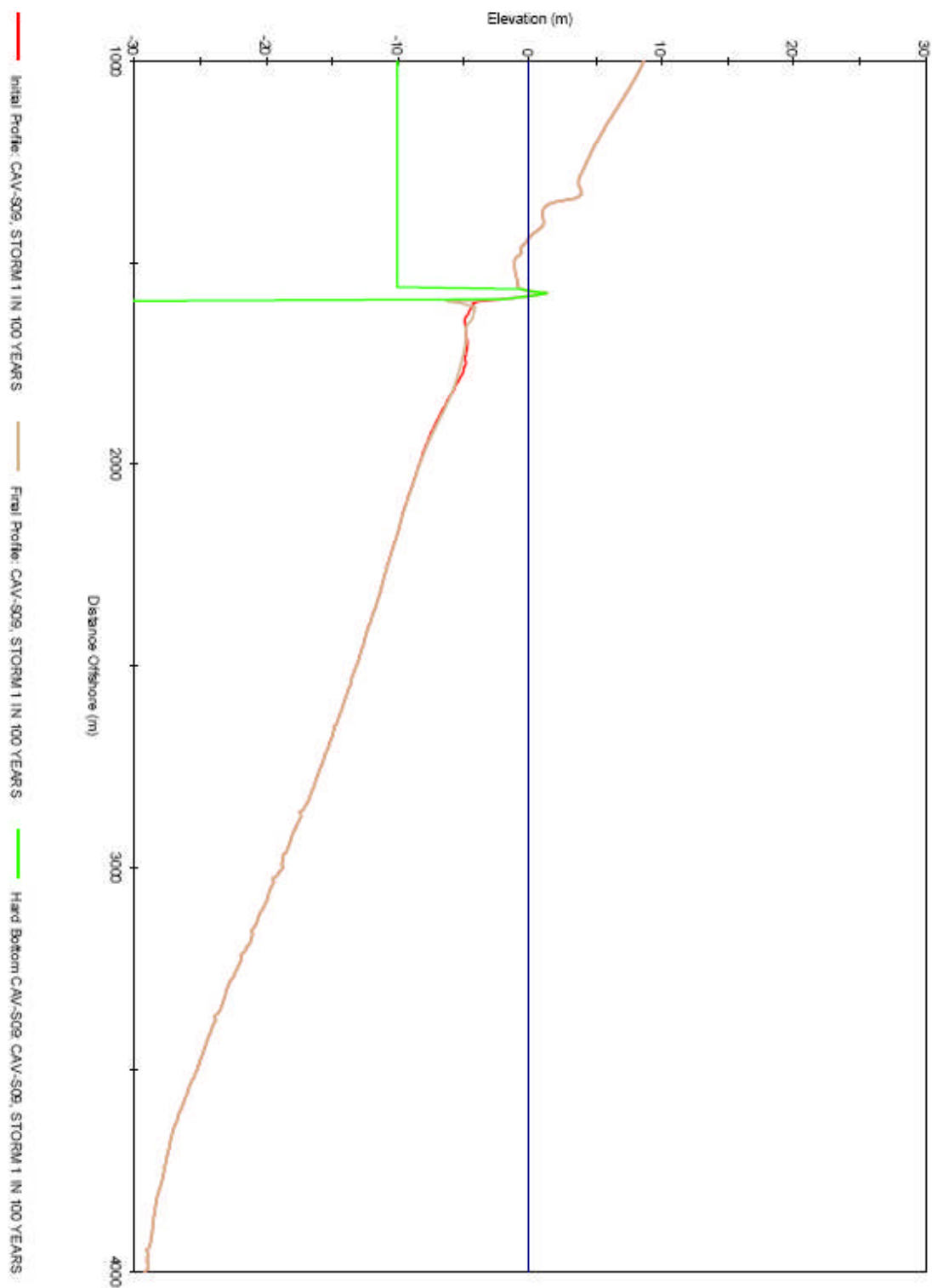


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 7 באזור המרכז



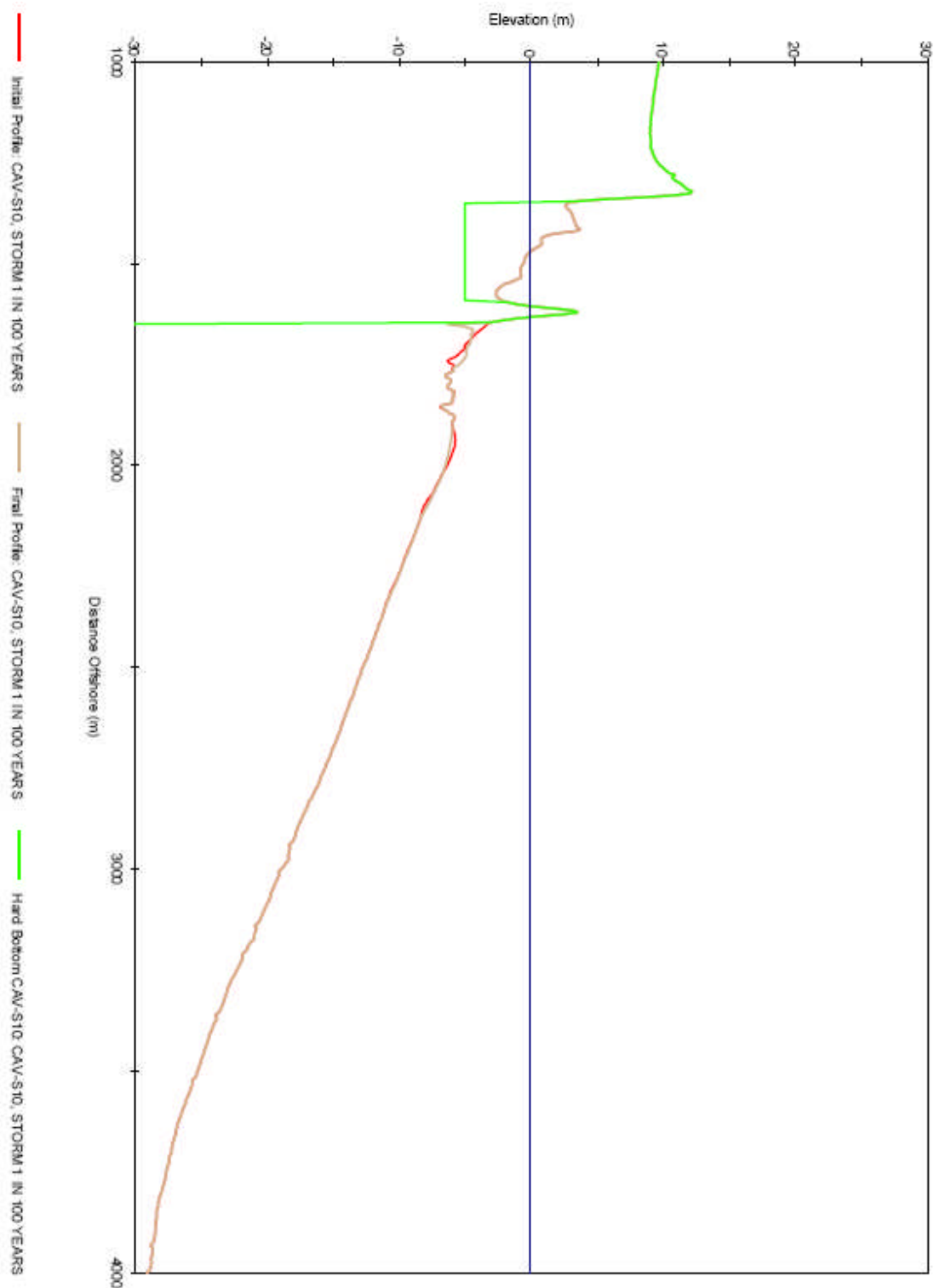
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 8 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



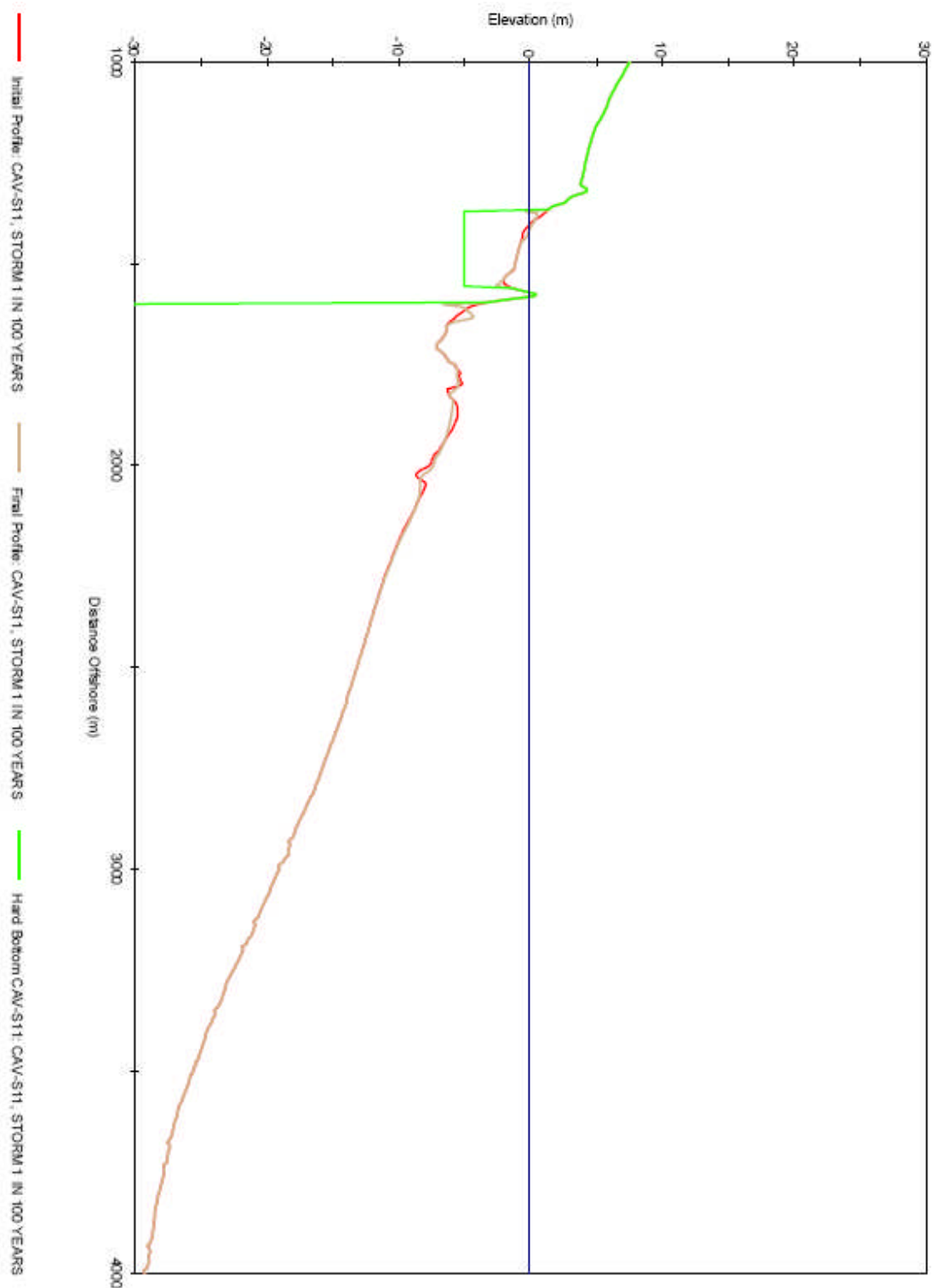
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 9 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



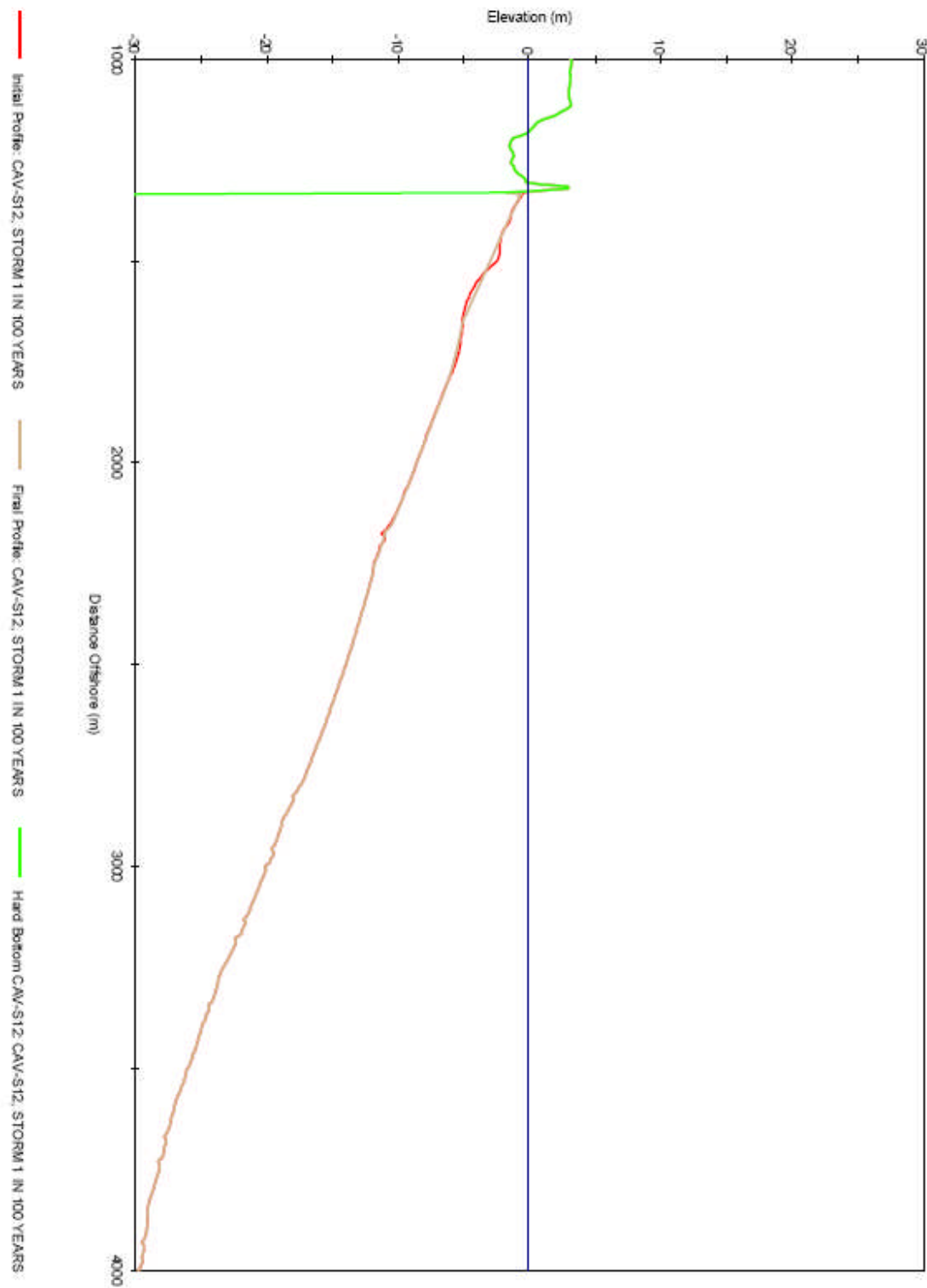
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 10 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



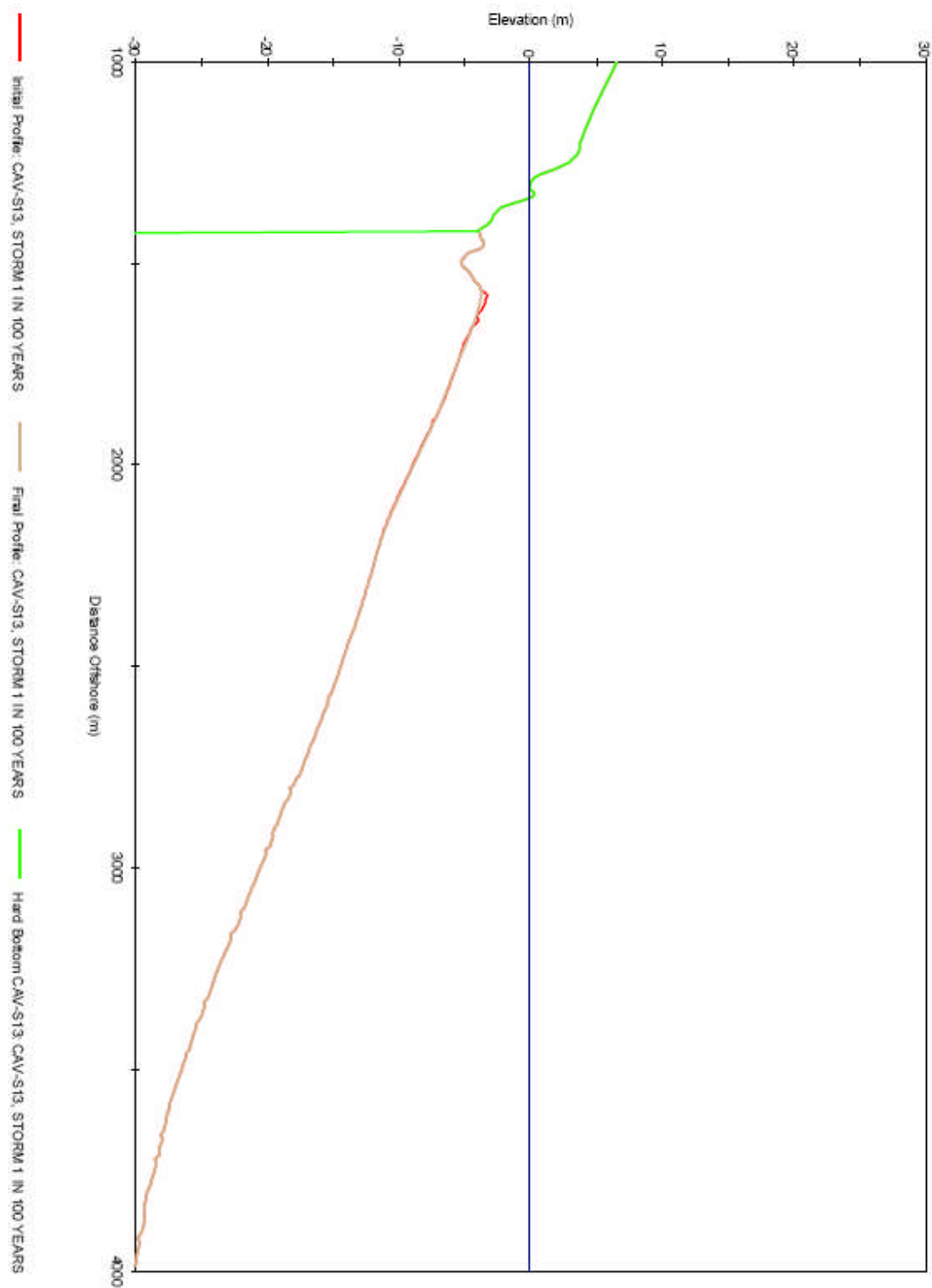
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 11 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



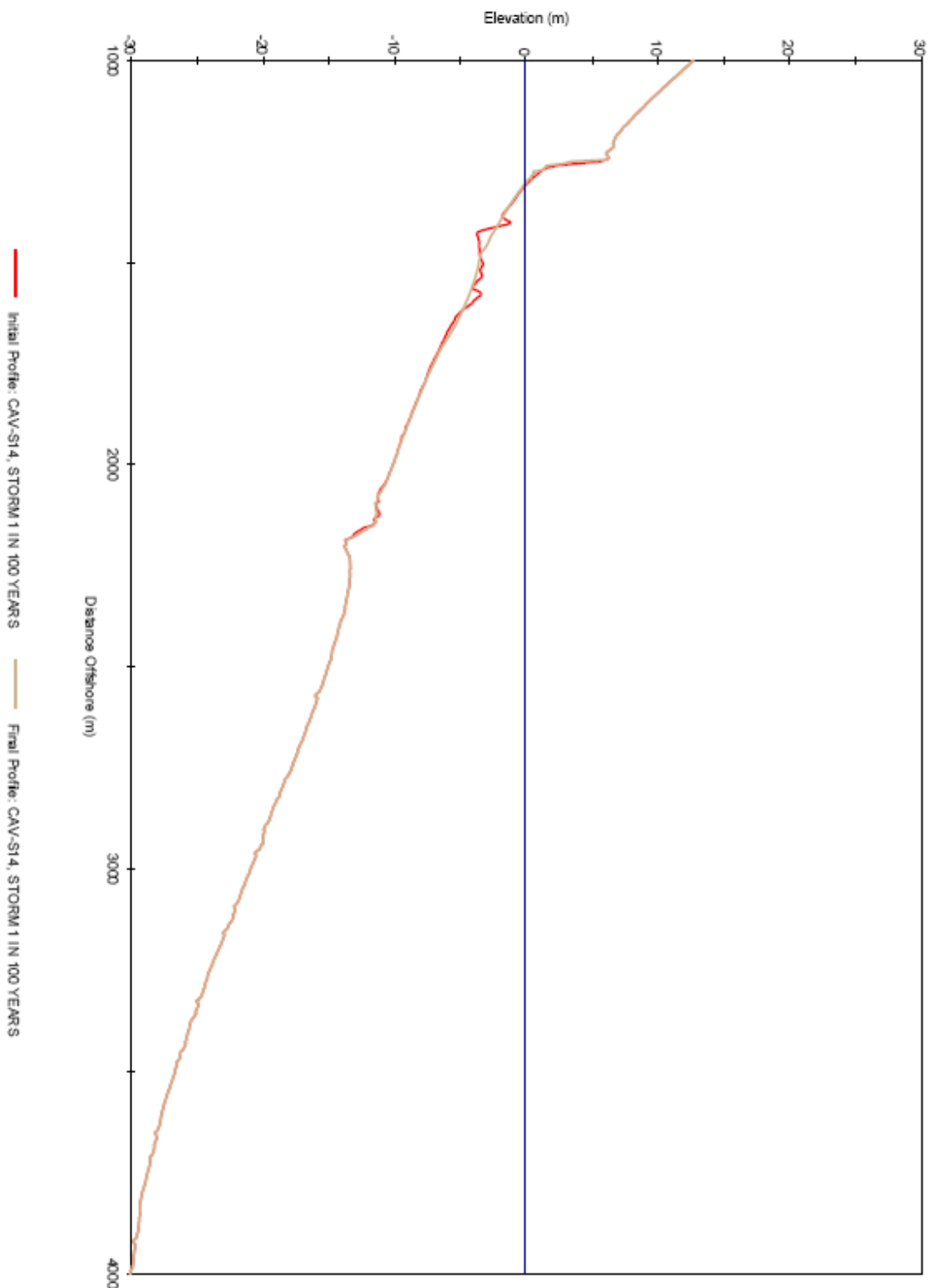
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 12 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



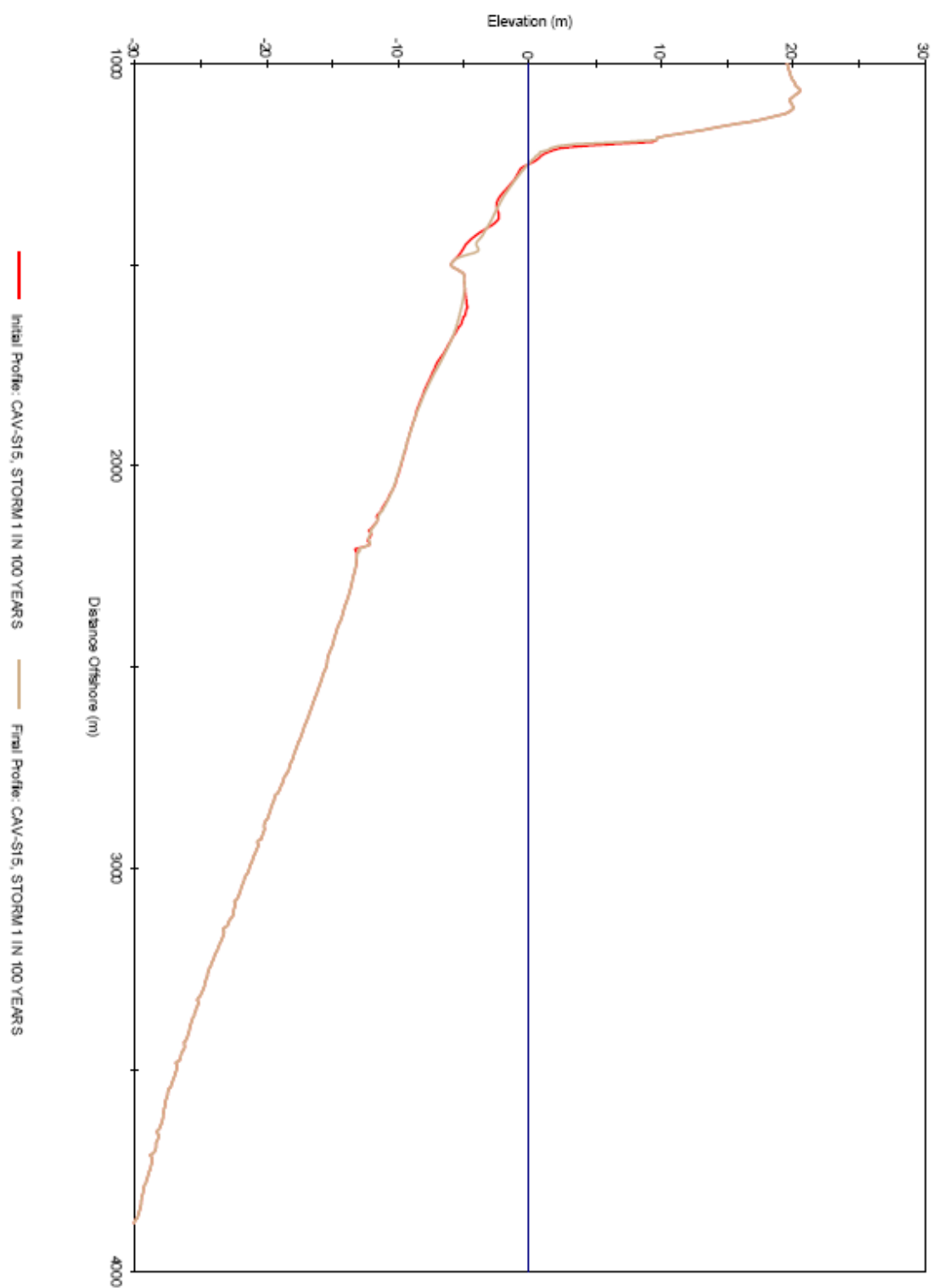
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 13 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



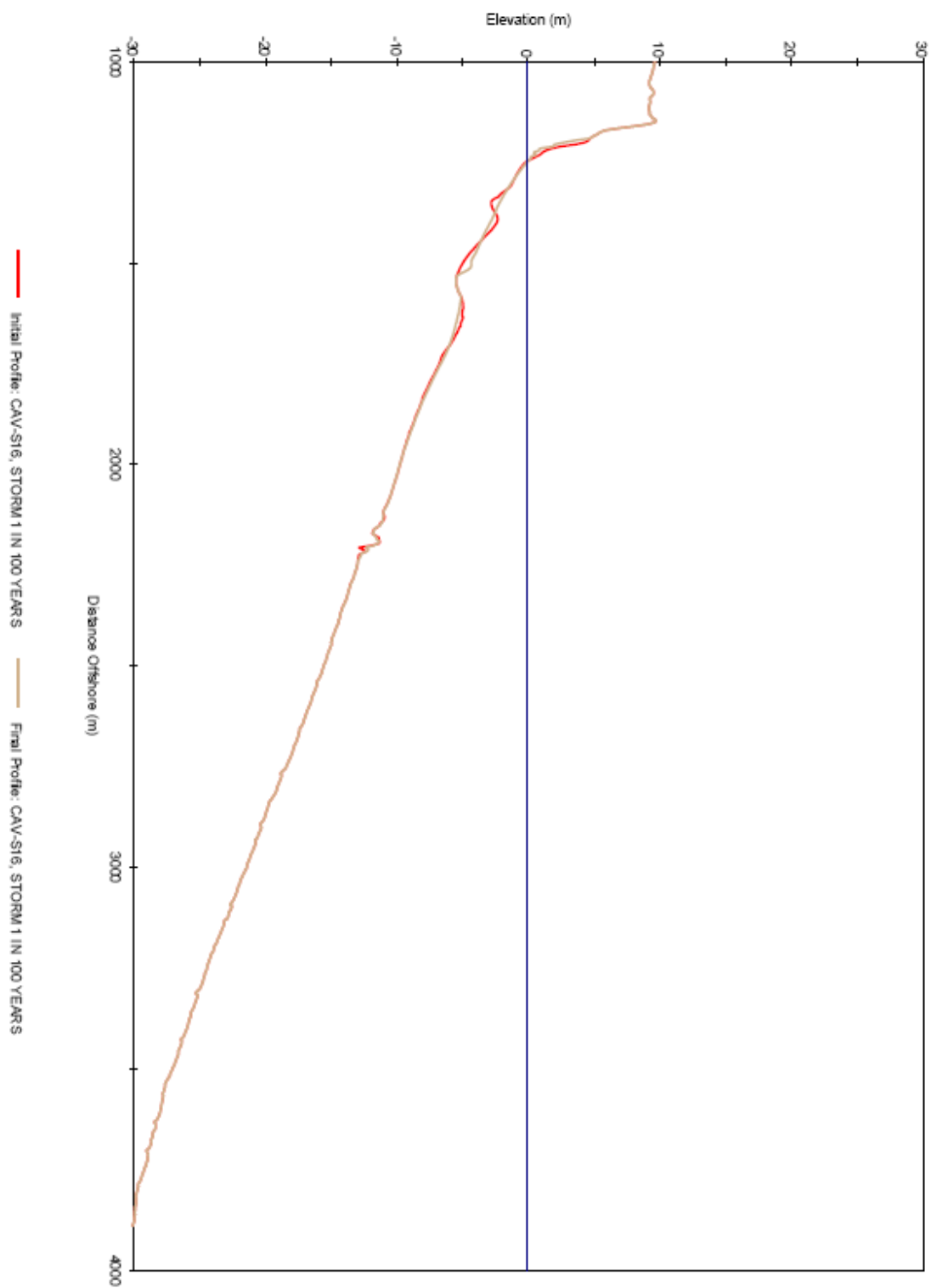
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 14 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



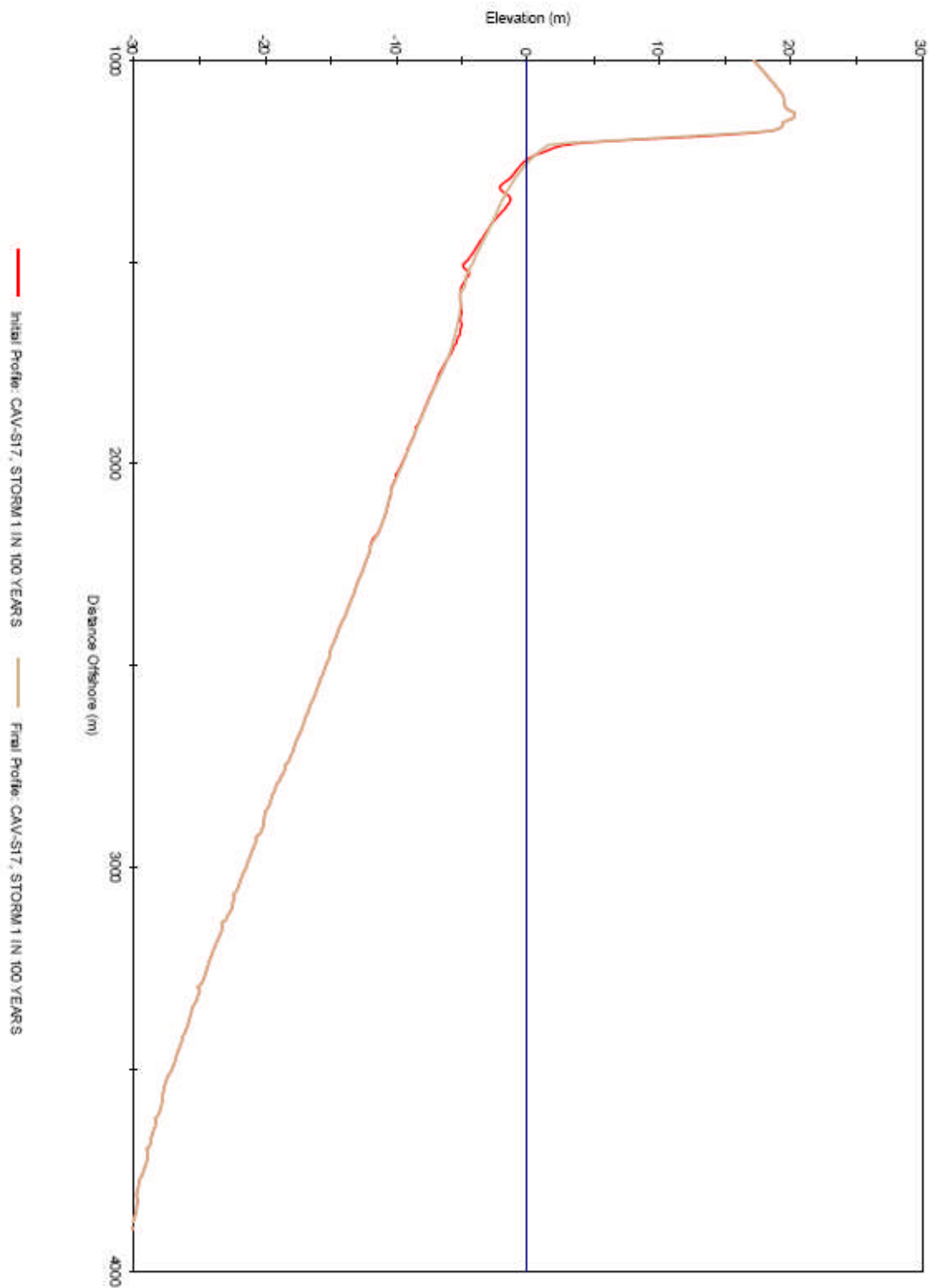
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 15 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



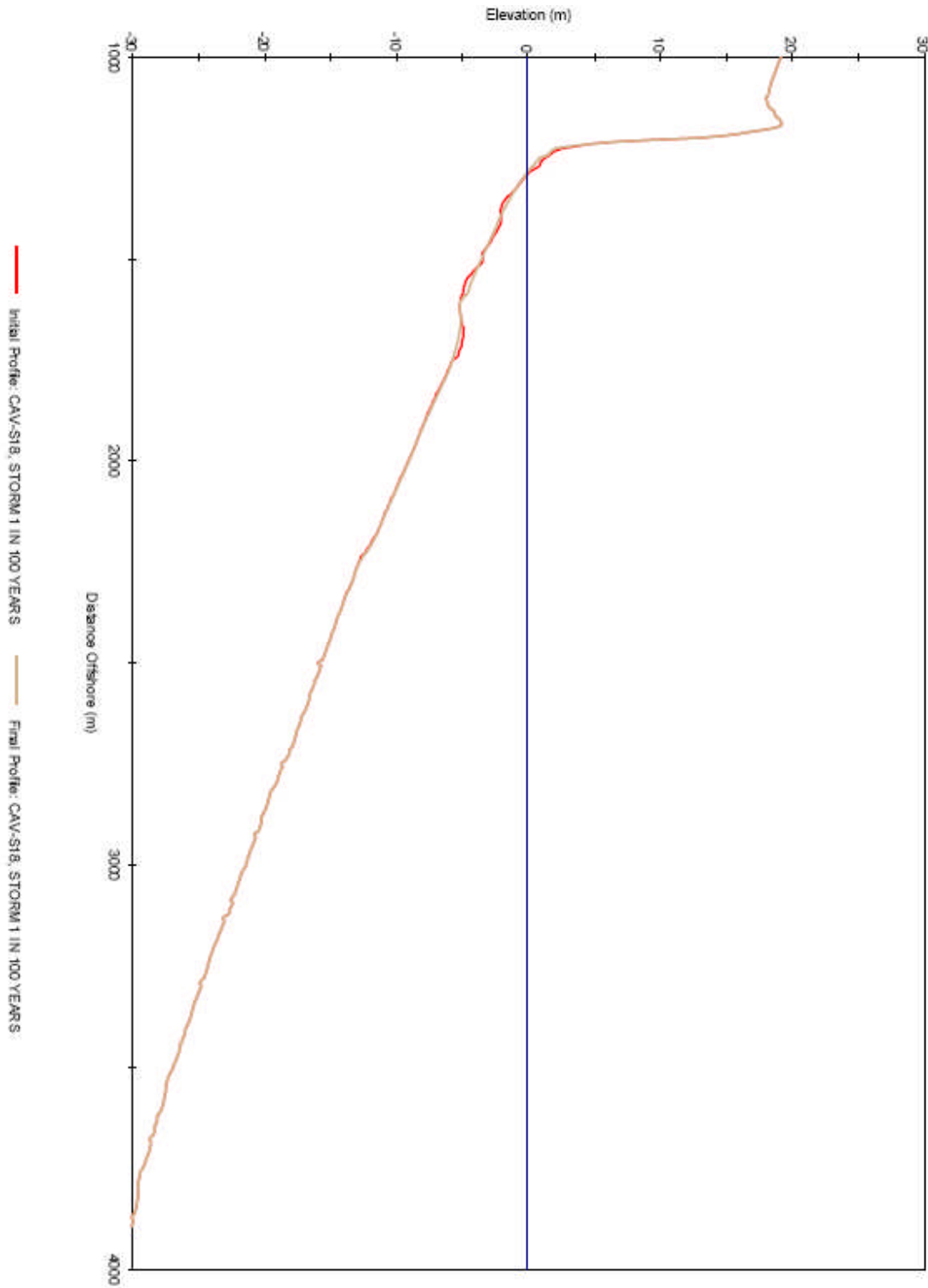
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 16 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



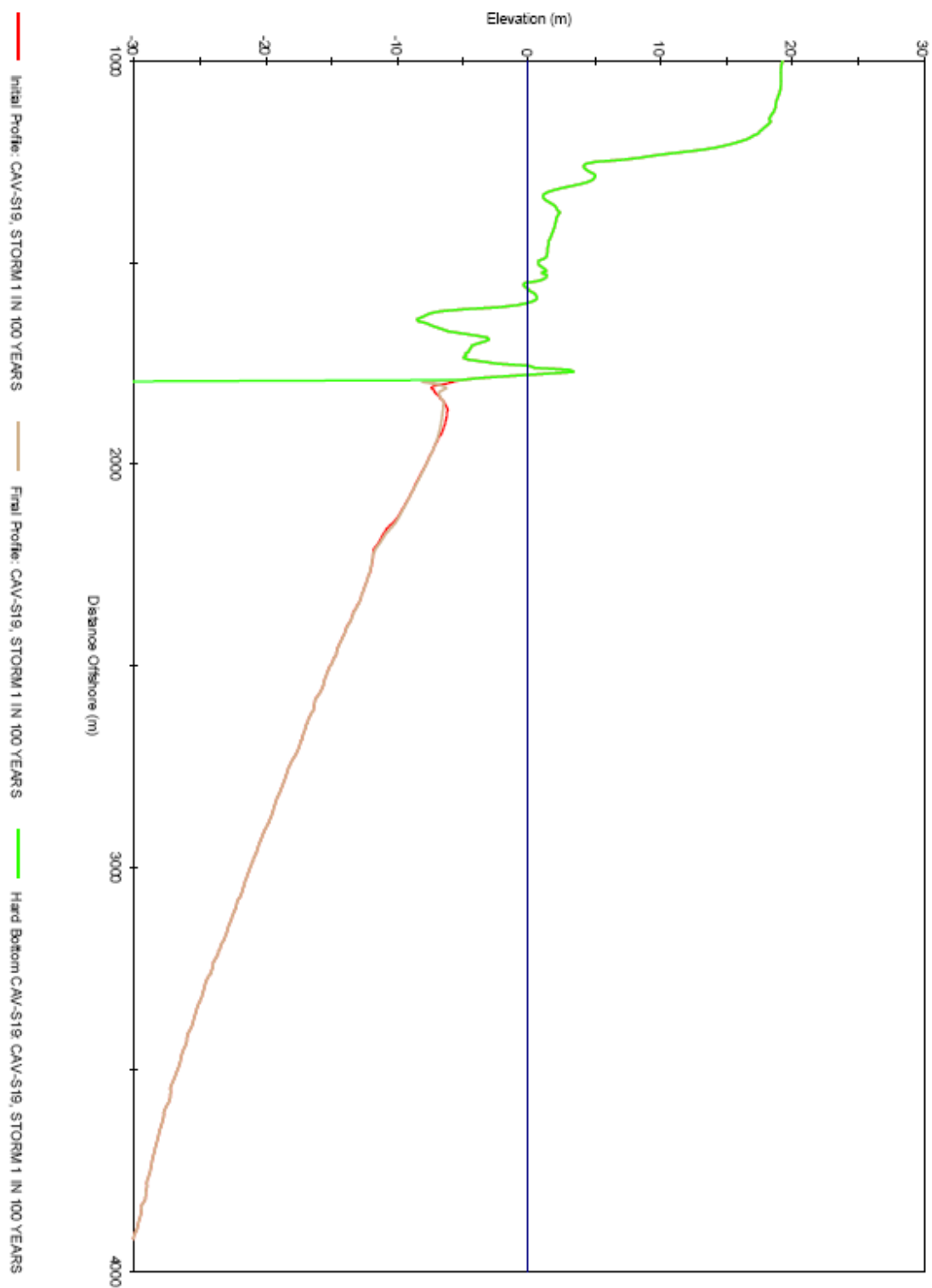
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 17 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



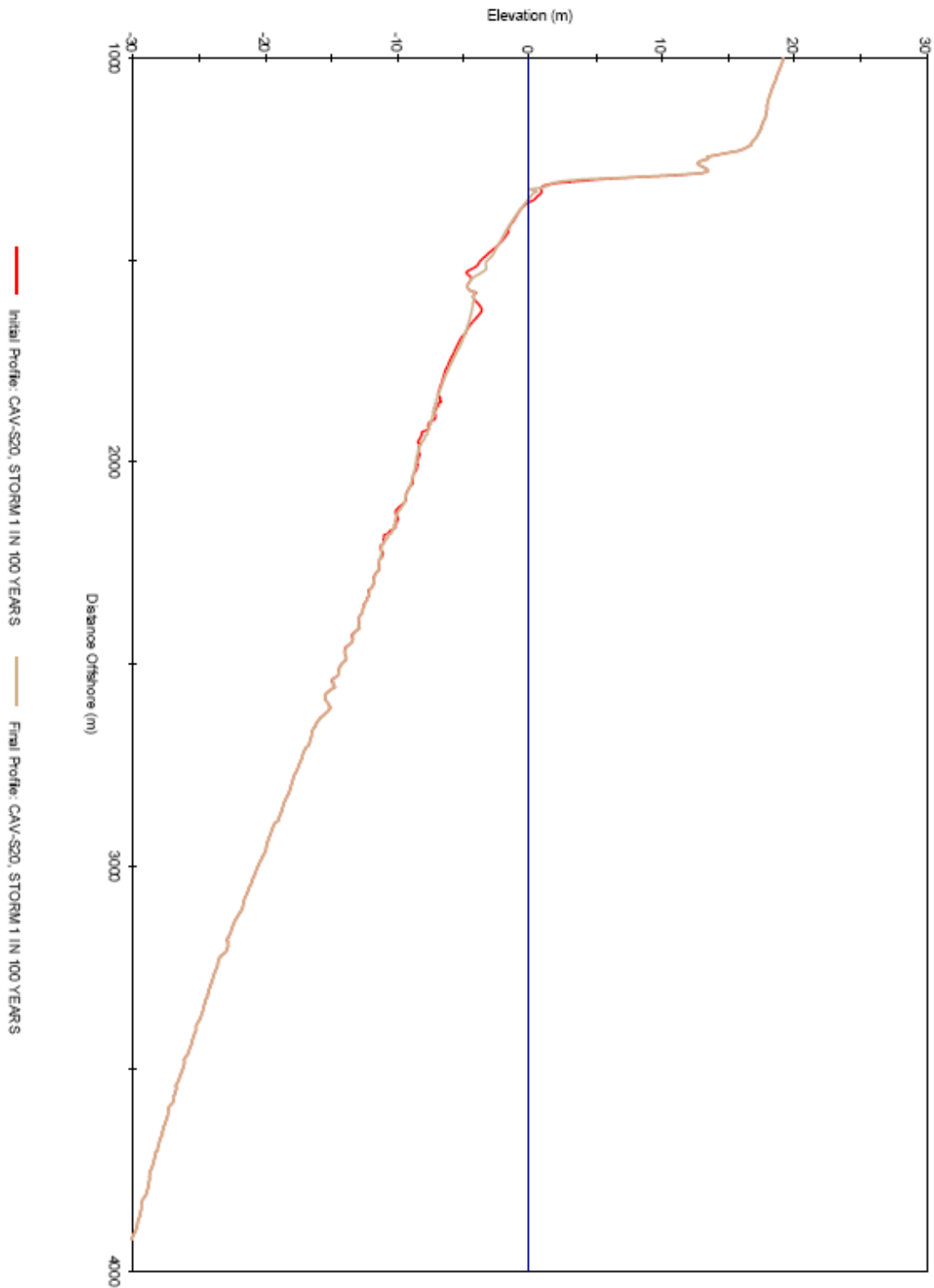
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 18 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m

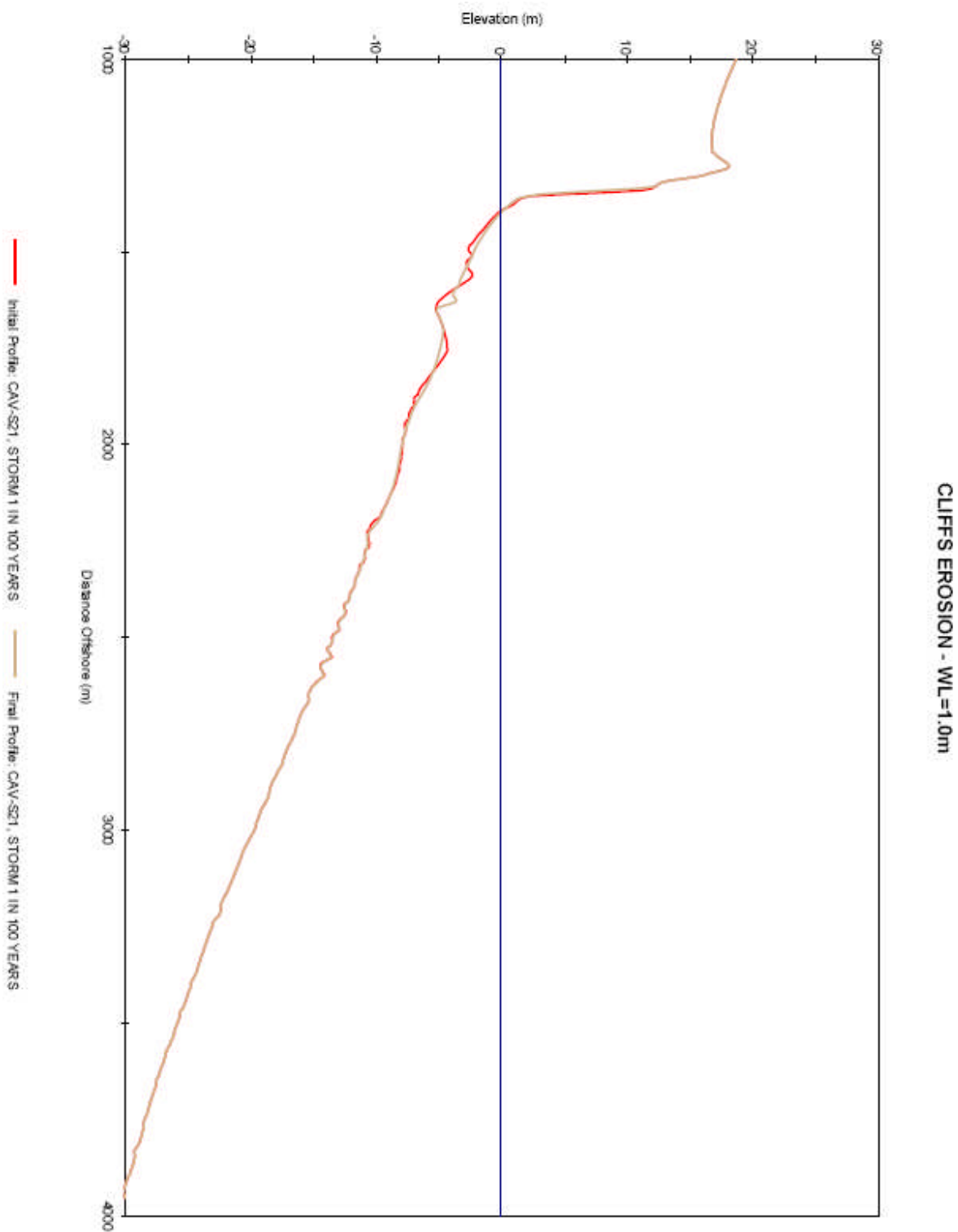


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 19 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m

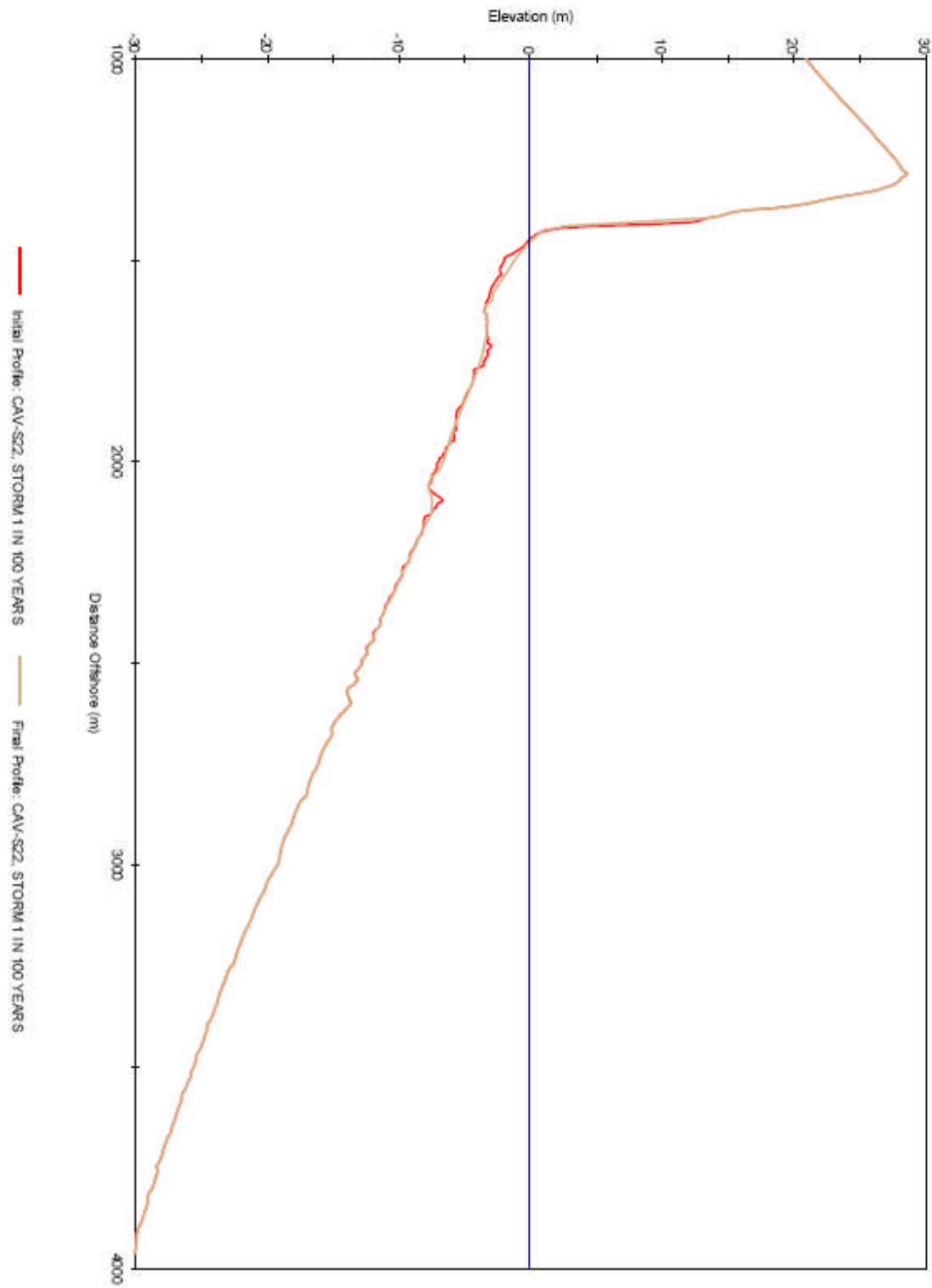


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 20 באזור המרכז

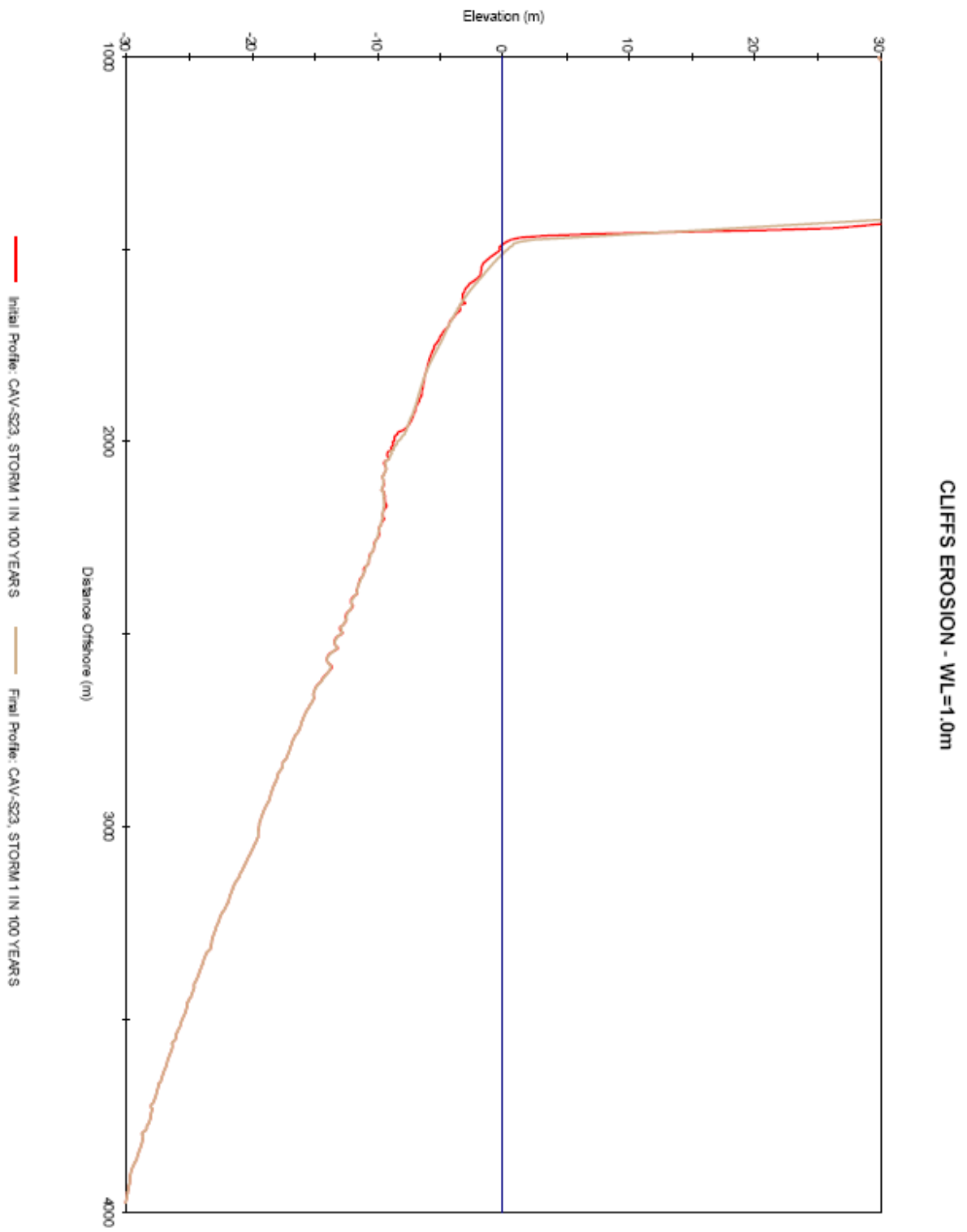


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 21 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m

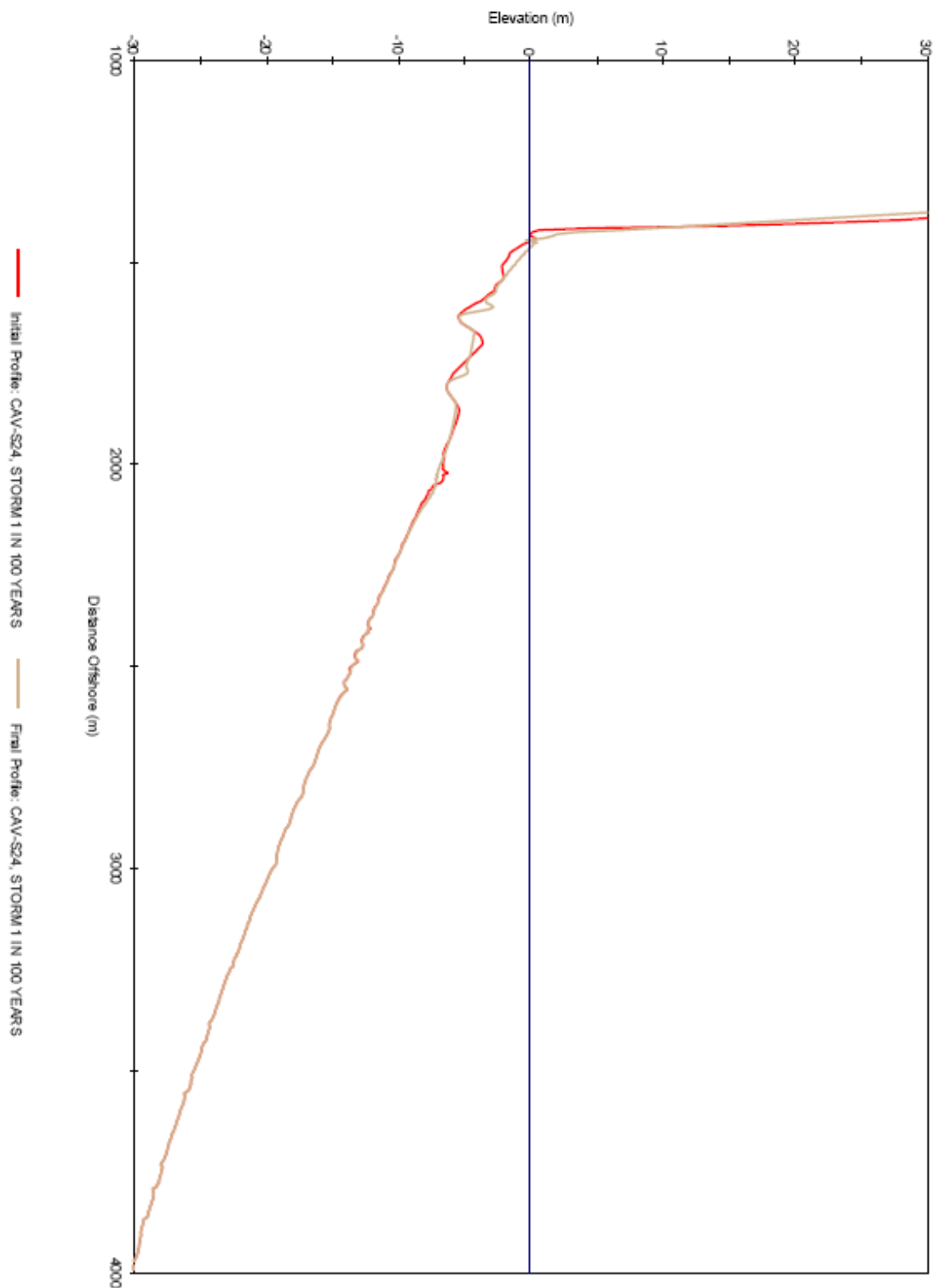


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 22 באזור המרכז



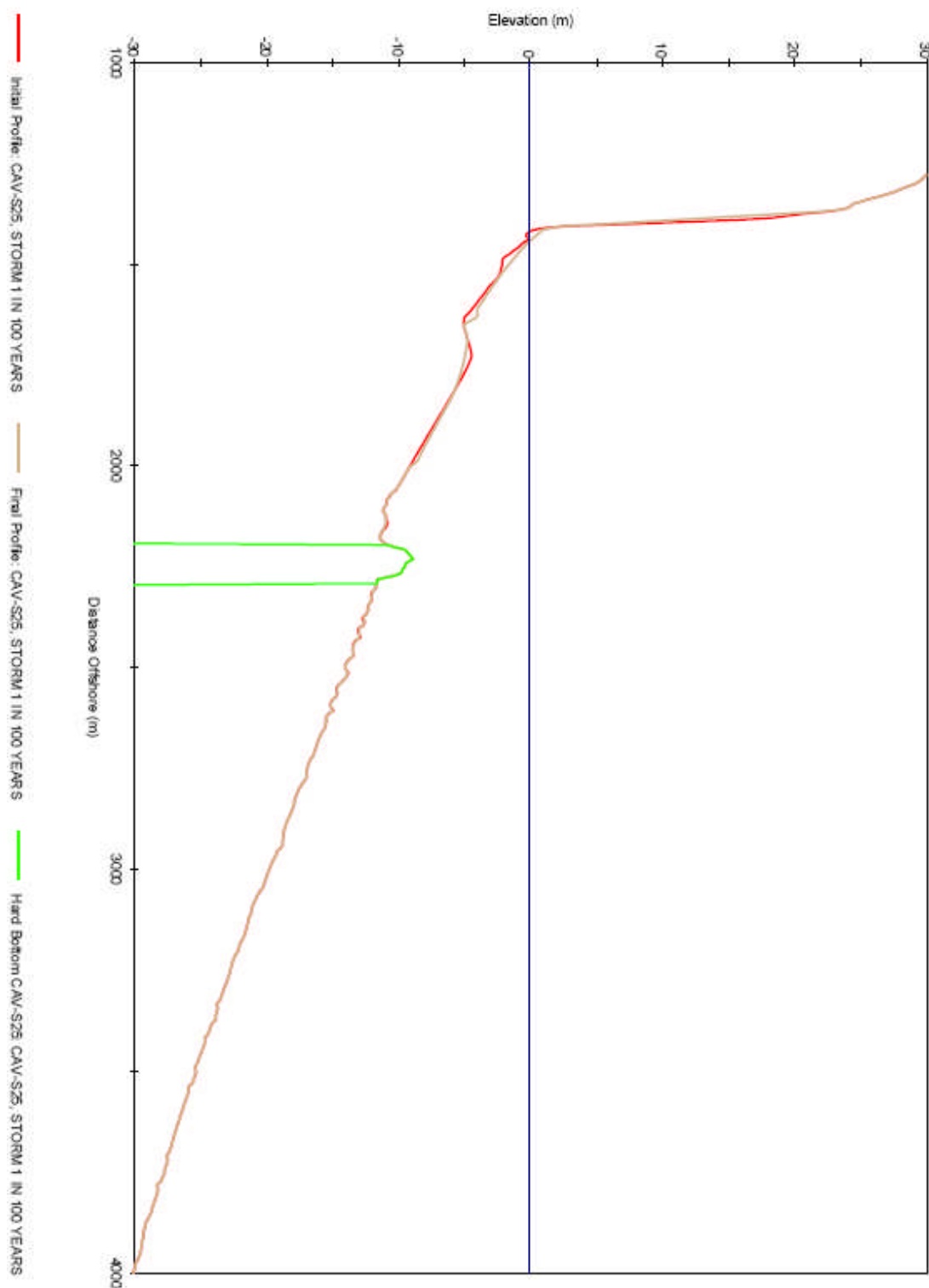
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 23 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



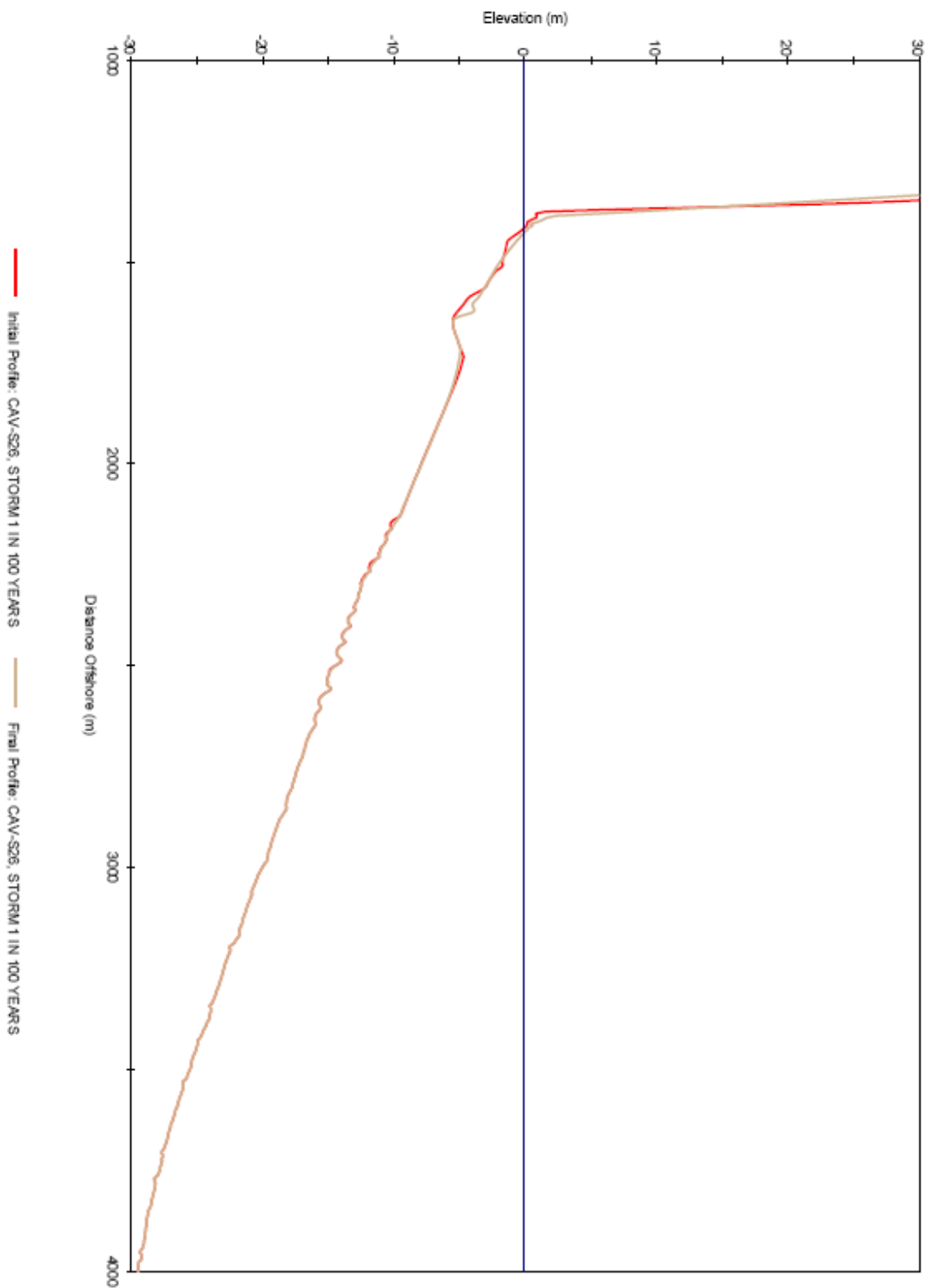
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 24 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m

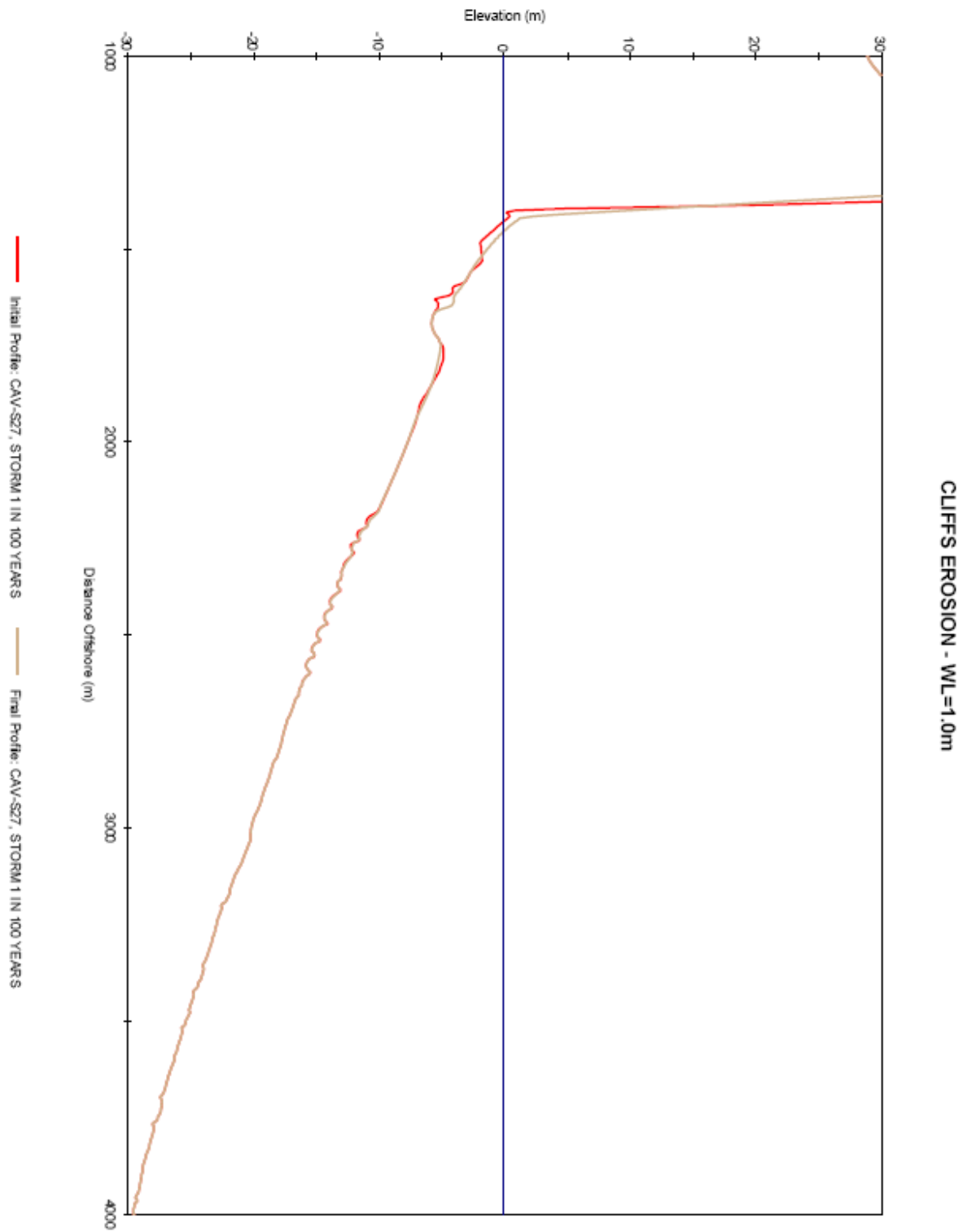


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 25 באזור המרכז

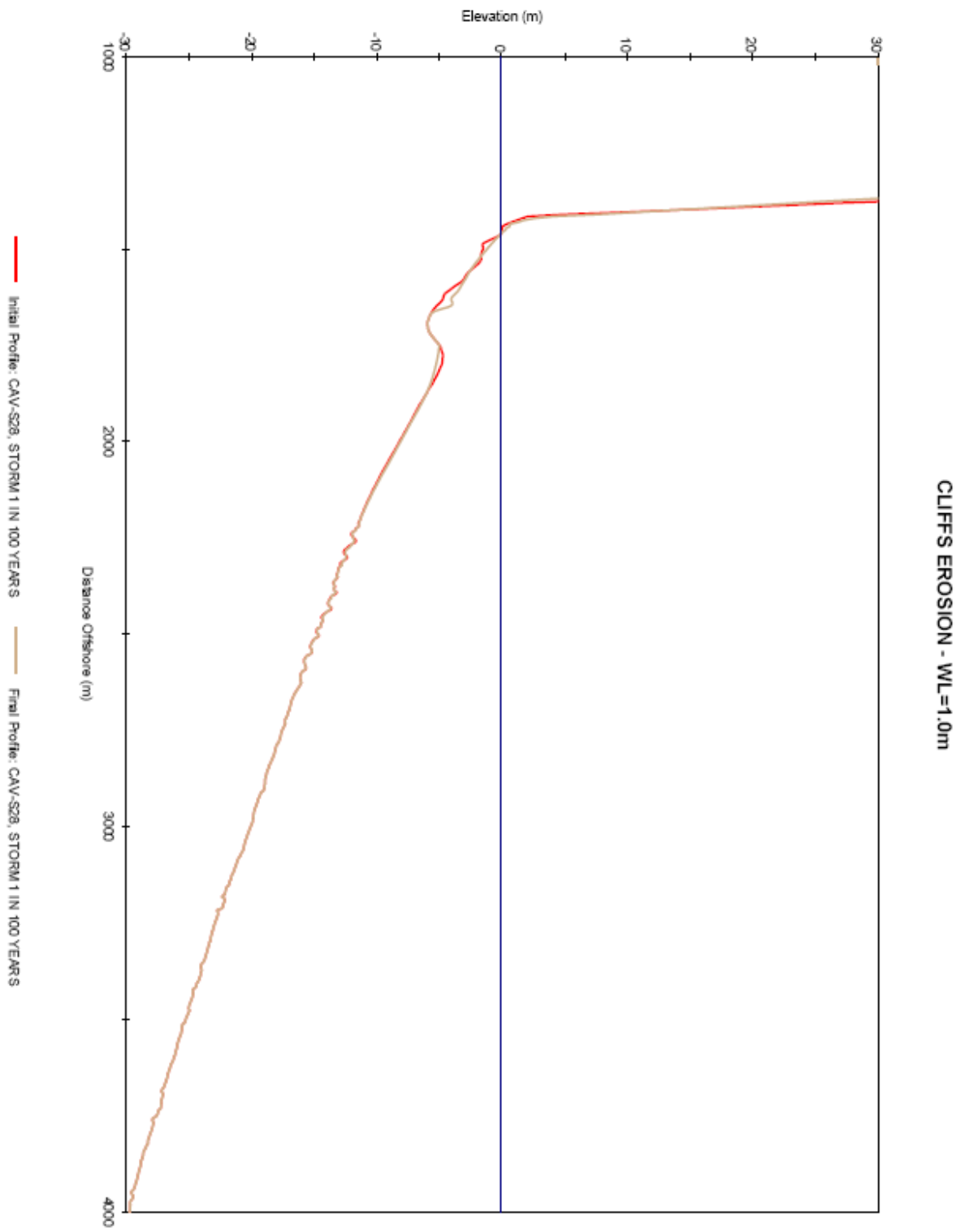
CLIFFS EROSION - WL=1.0m



שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 26 באזור המרכז

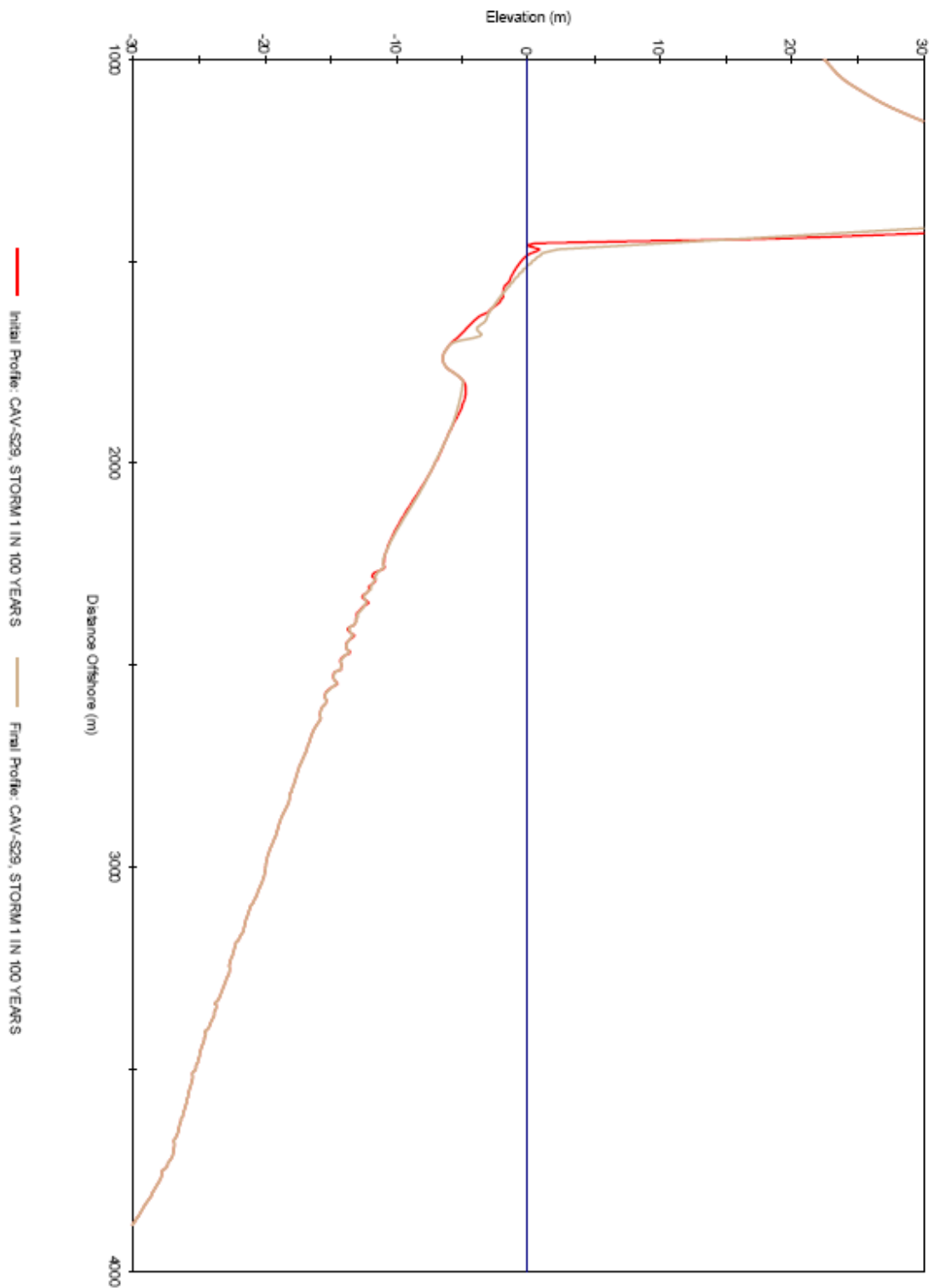


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 27 באזור המרכז

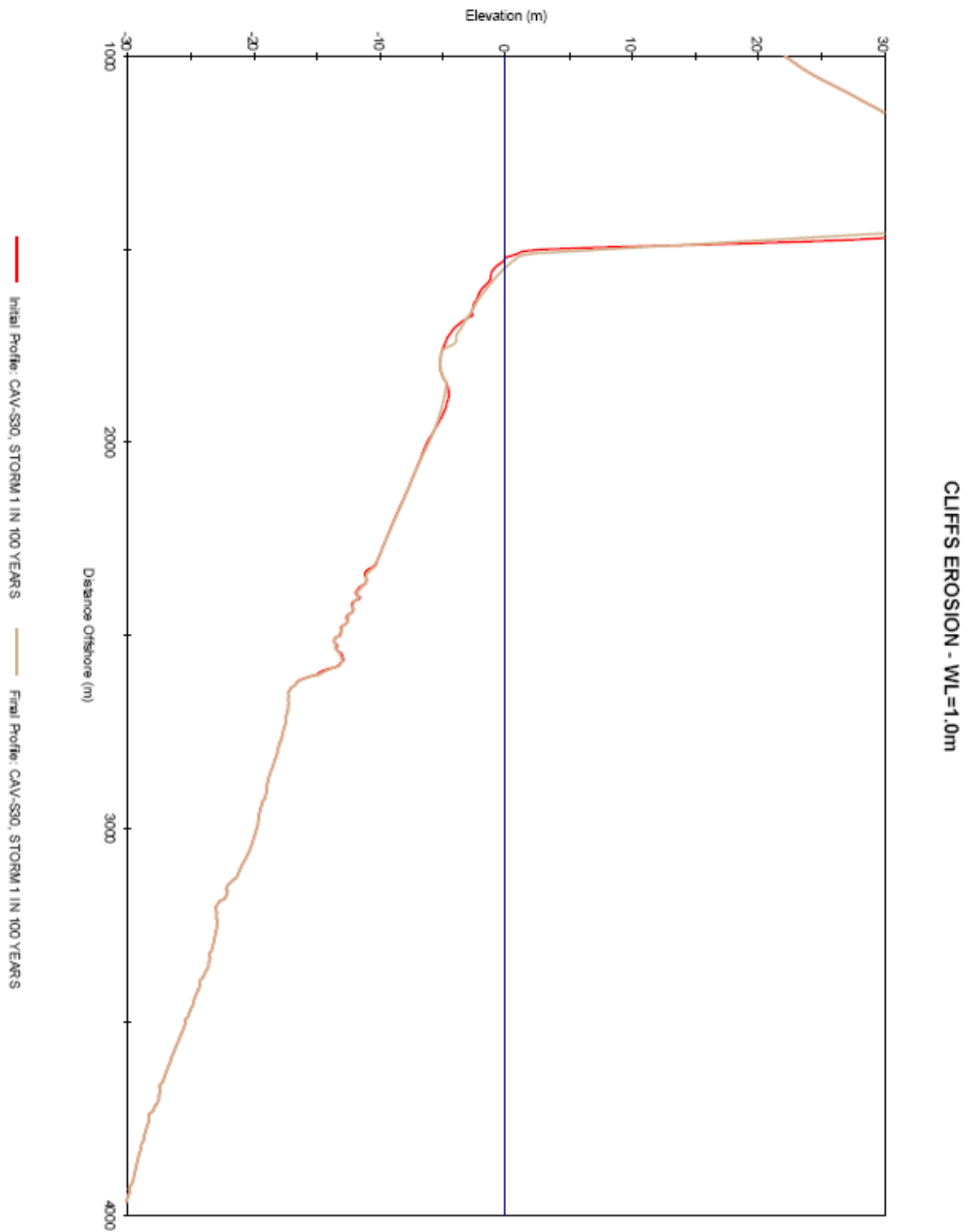


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 28 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m

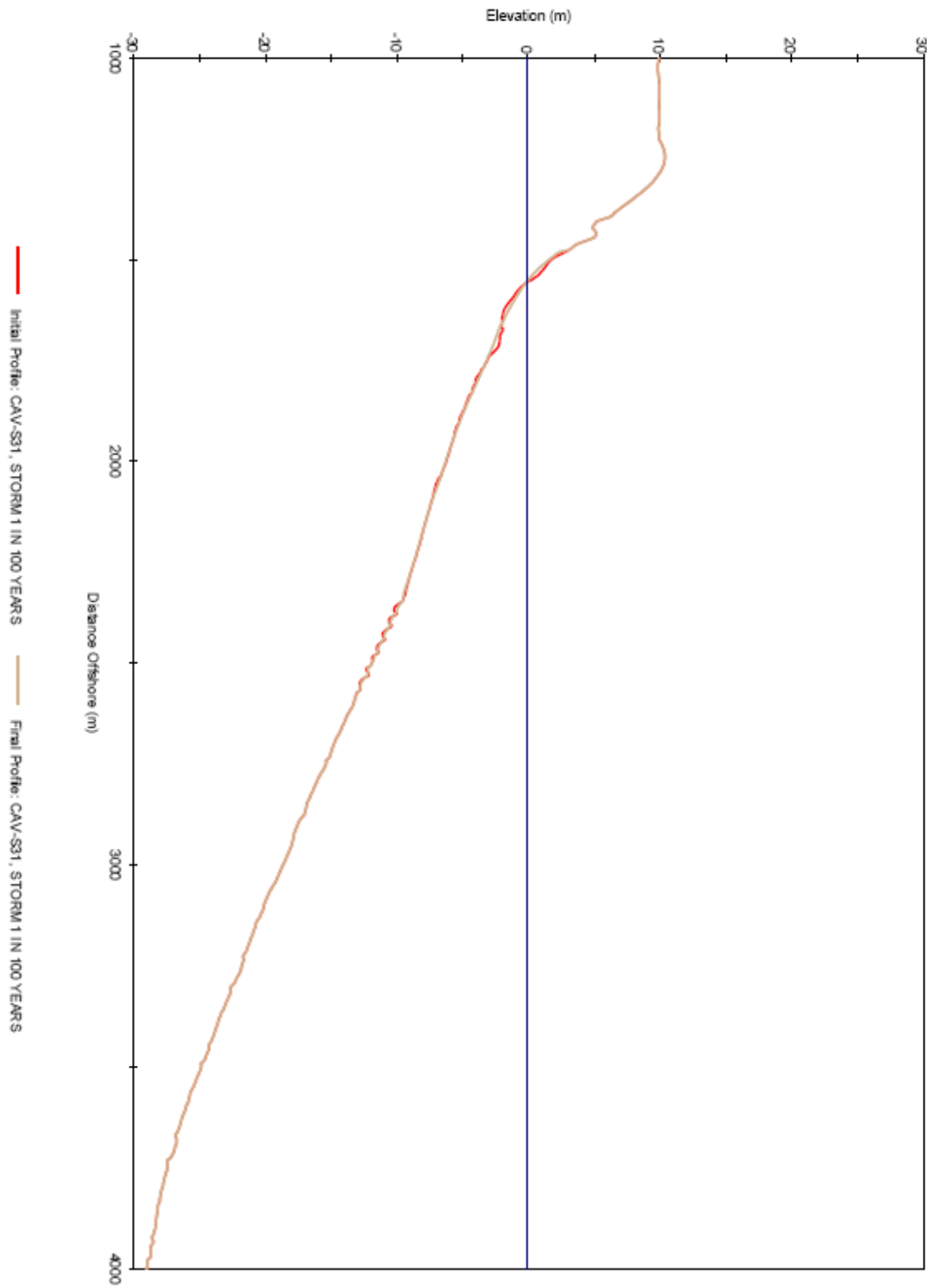


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 29 באזור המרכז



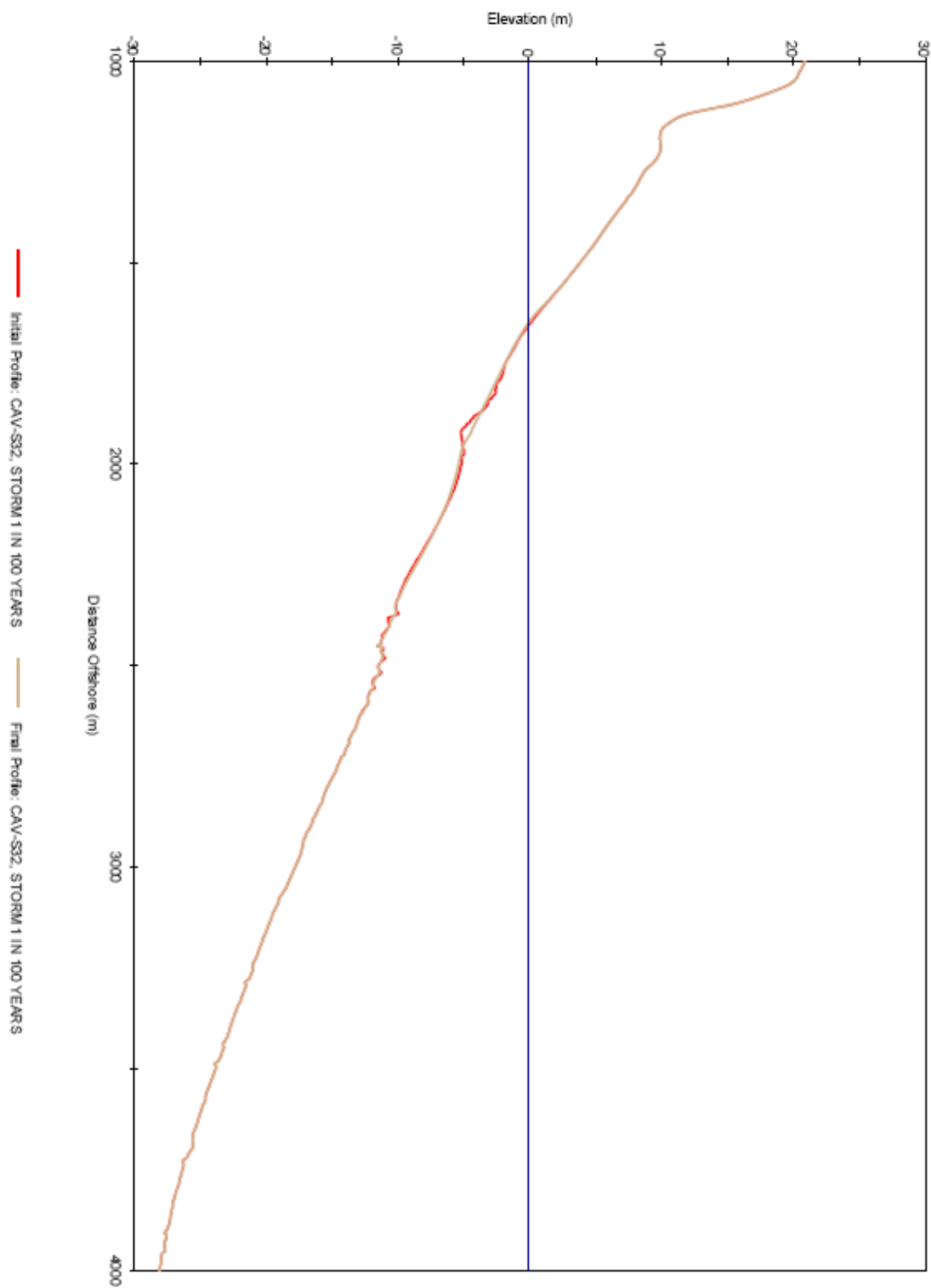
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 30 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 31 באזור המרכז

CLIFFS EROSION - WL=1.0m

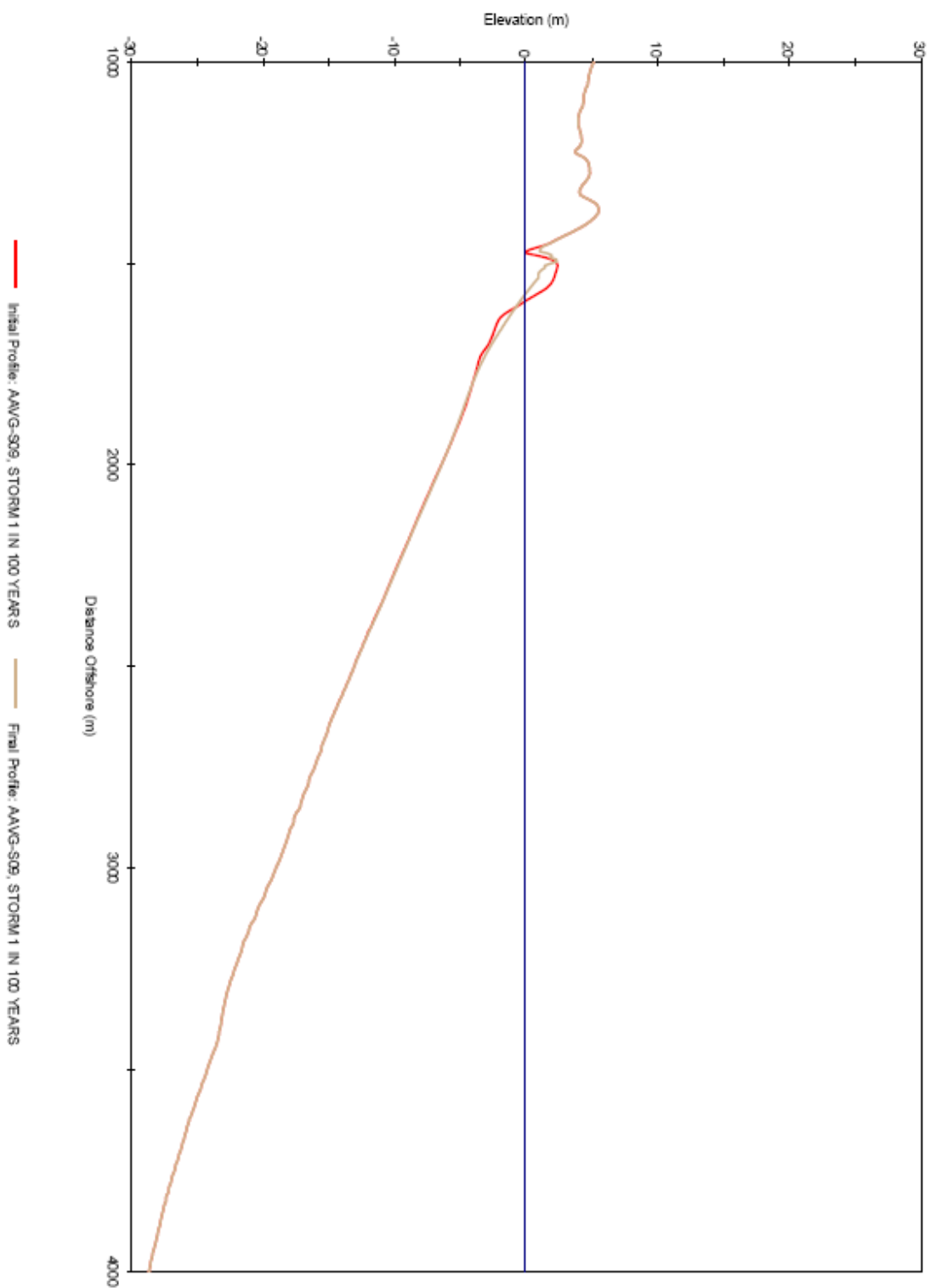


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 32 באזור המרכז

נספח A6

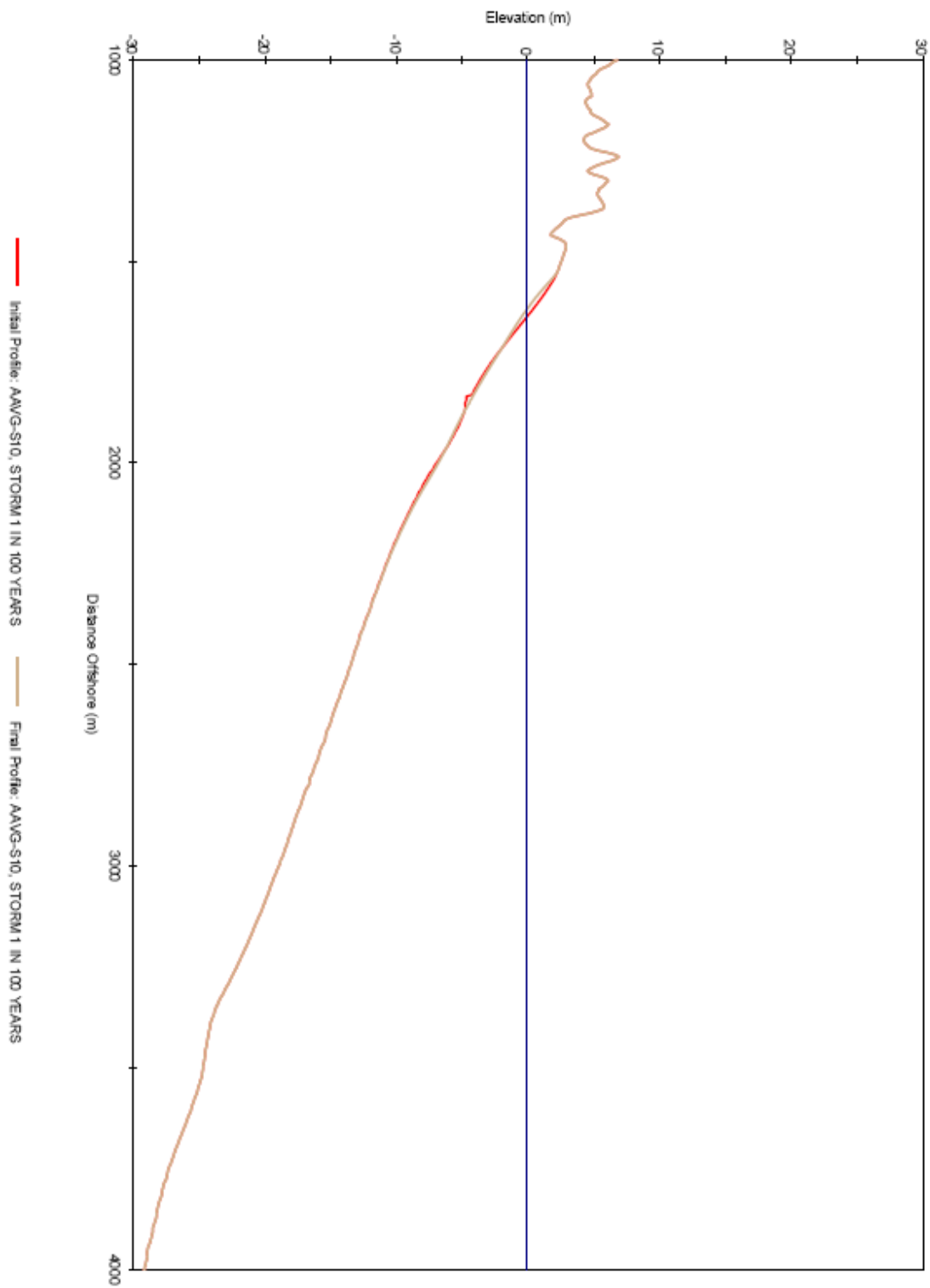
תוצאות של הבדיקות במודל SBEACH מבחינת השינויים בצדודית בתחום חופי אשקלון – אשדוד בהשפעת סערה עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה ומפלס ים עתידי של +1.0 מ'

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



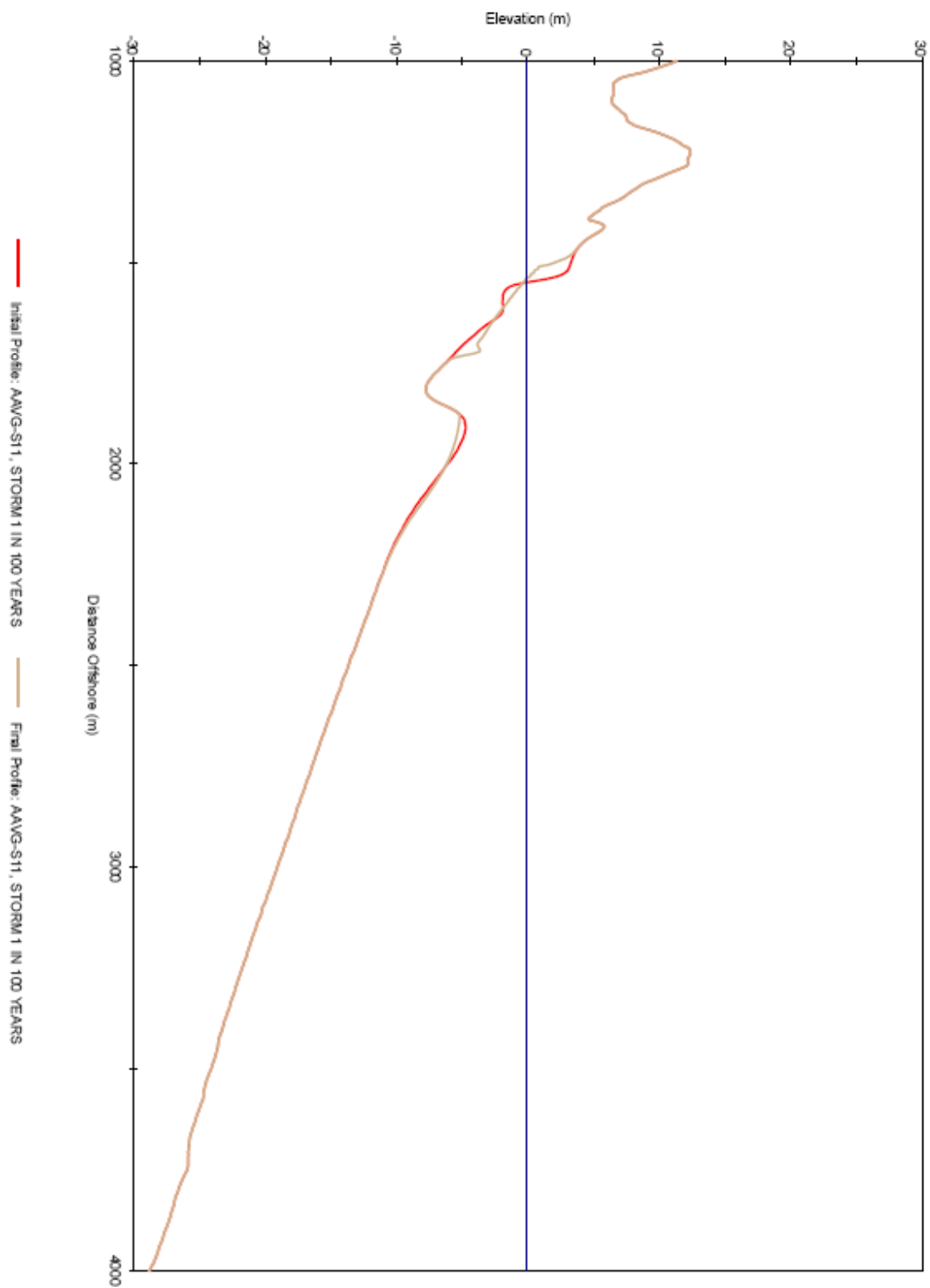
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 9 באזור אשקלון-אשדוד

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



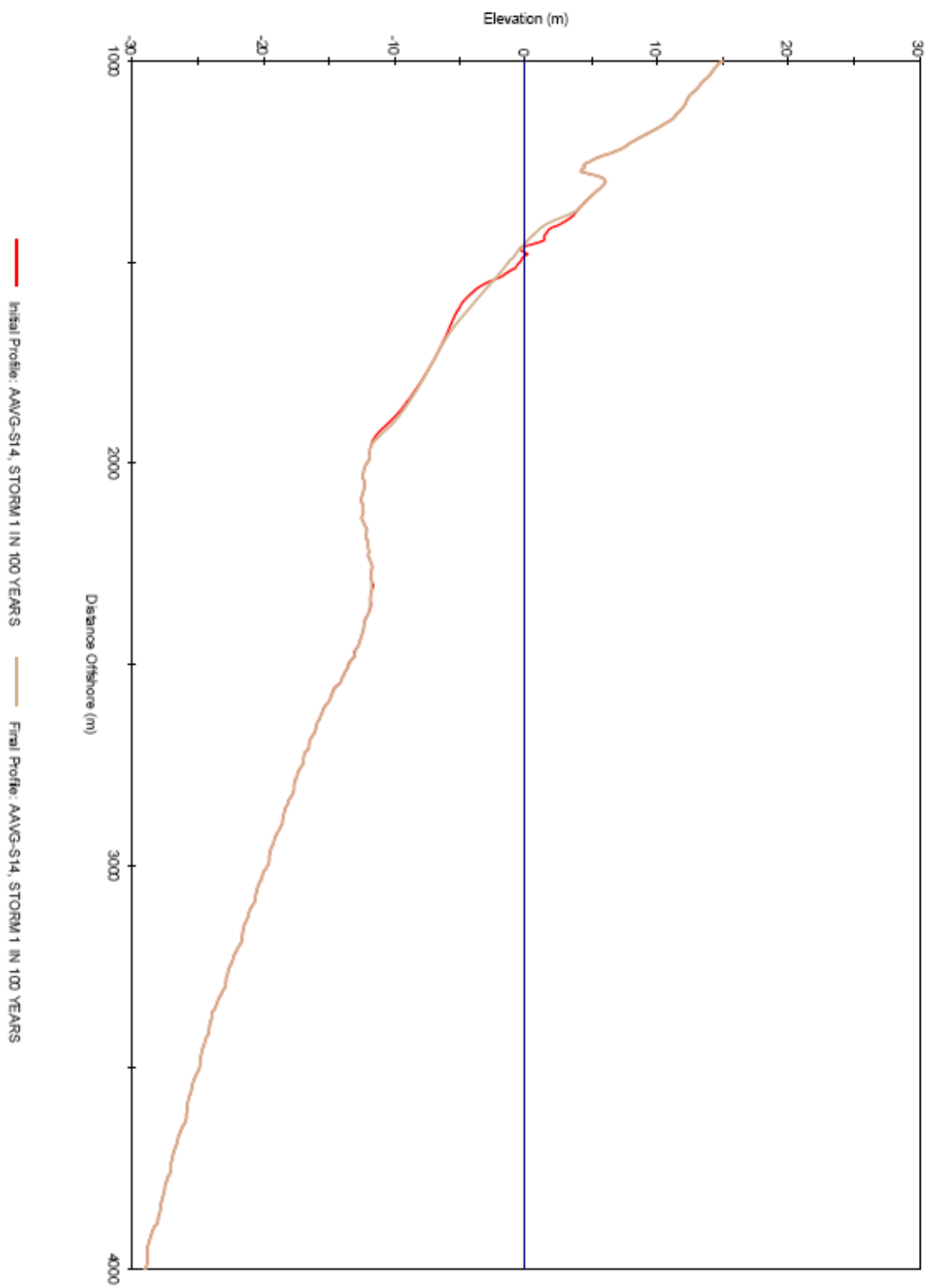
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 10 באזור אשקלון-אשדוד

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



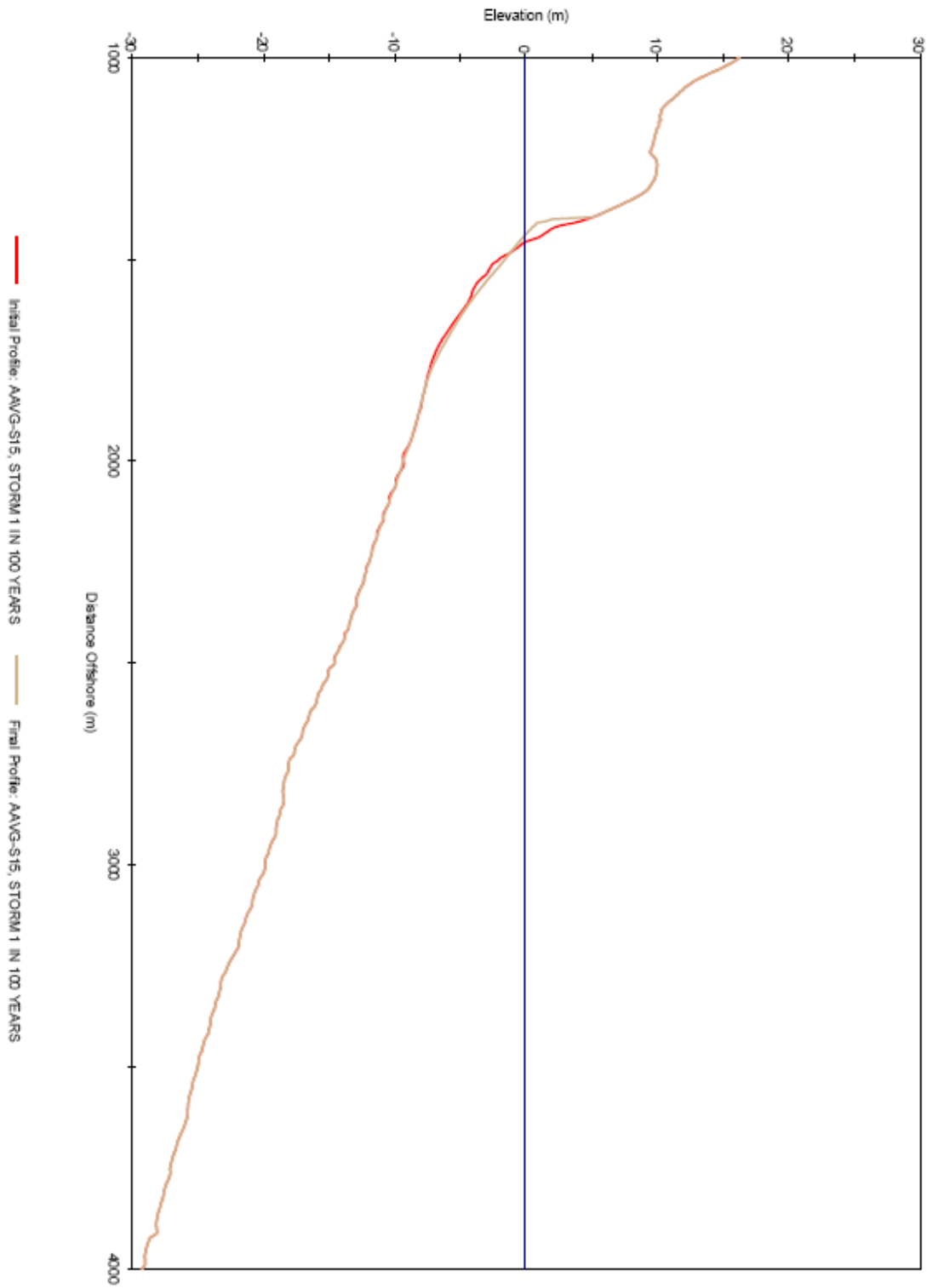
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 11 באזור אשקלון-אשדוד

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



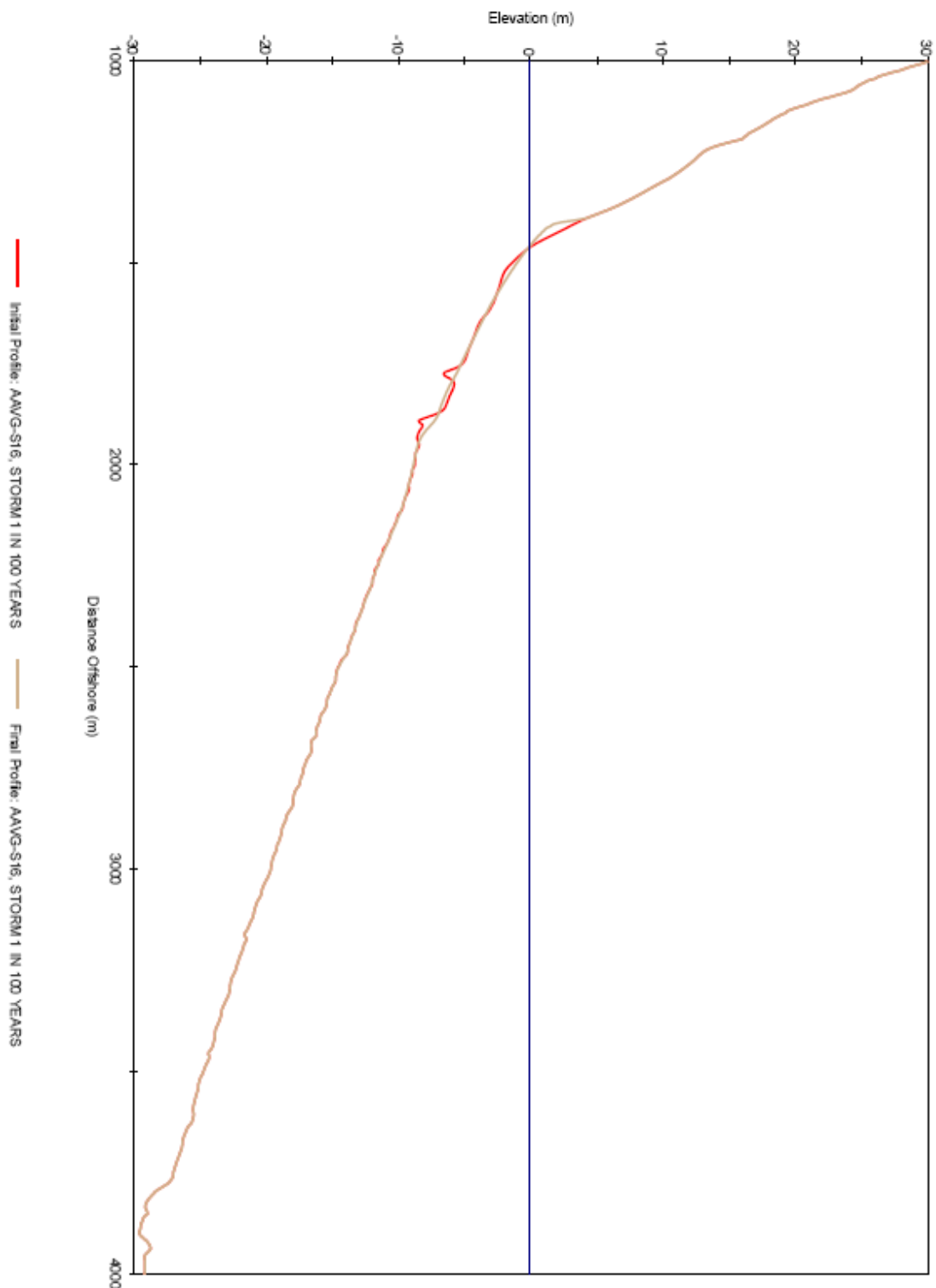
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 14 באזור אשקלון-אשדוד

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



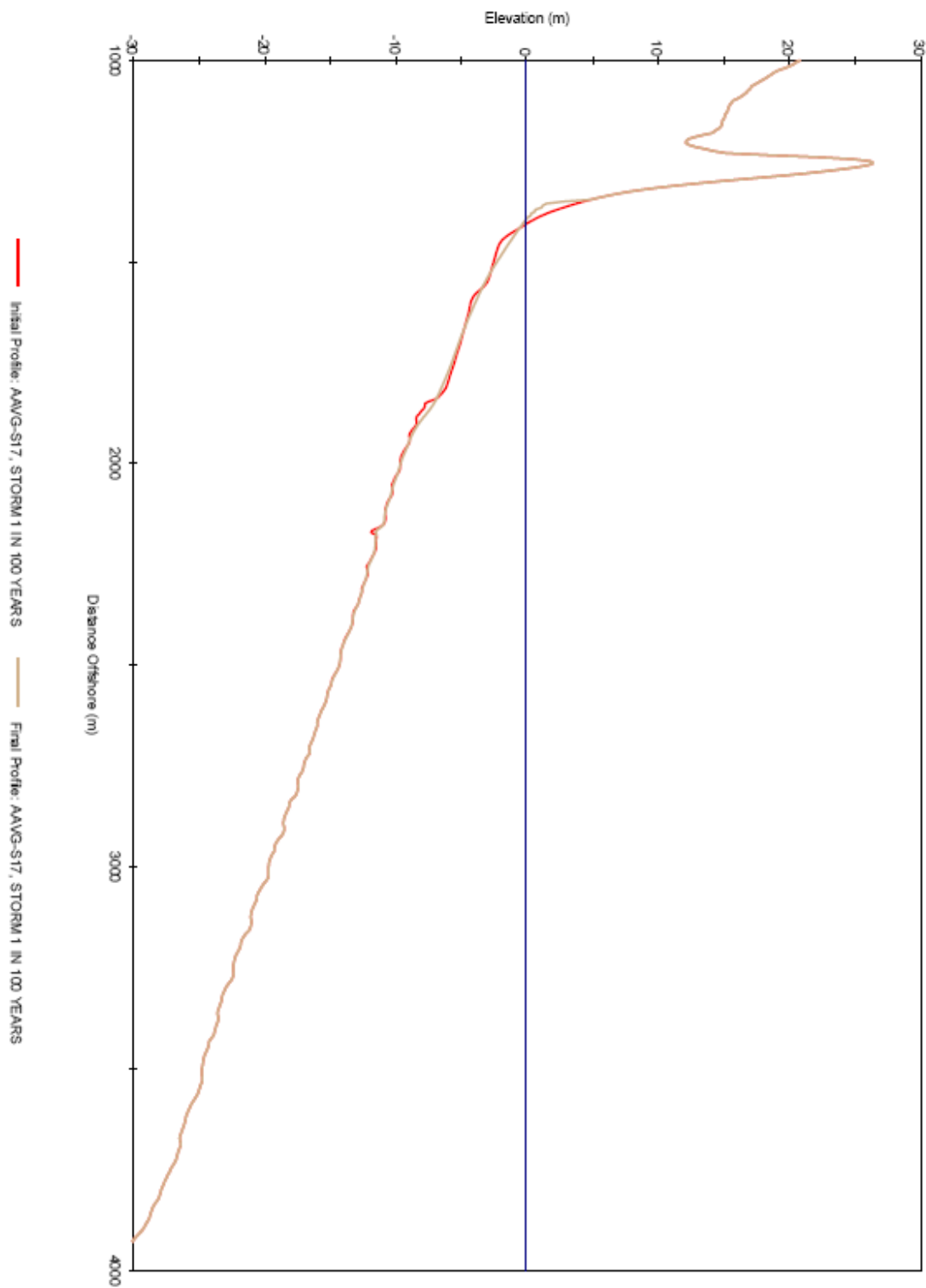
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 15 באזור אשקלון-אשדוד

CLIFFS EROSION - WL=1.0m



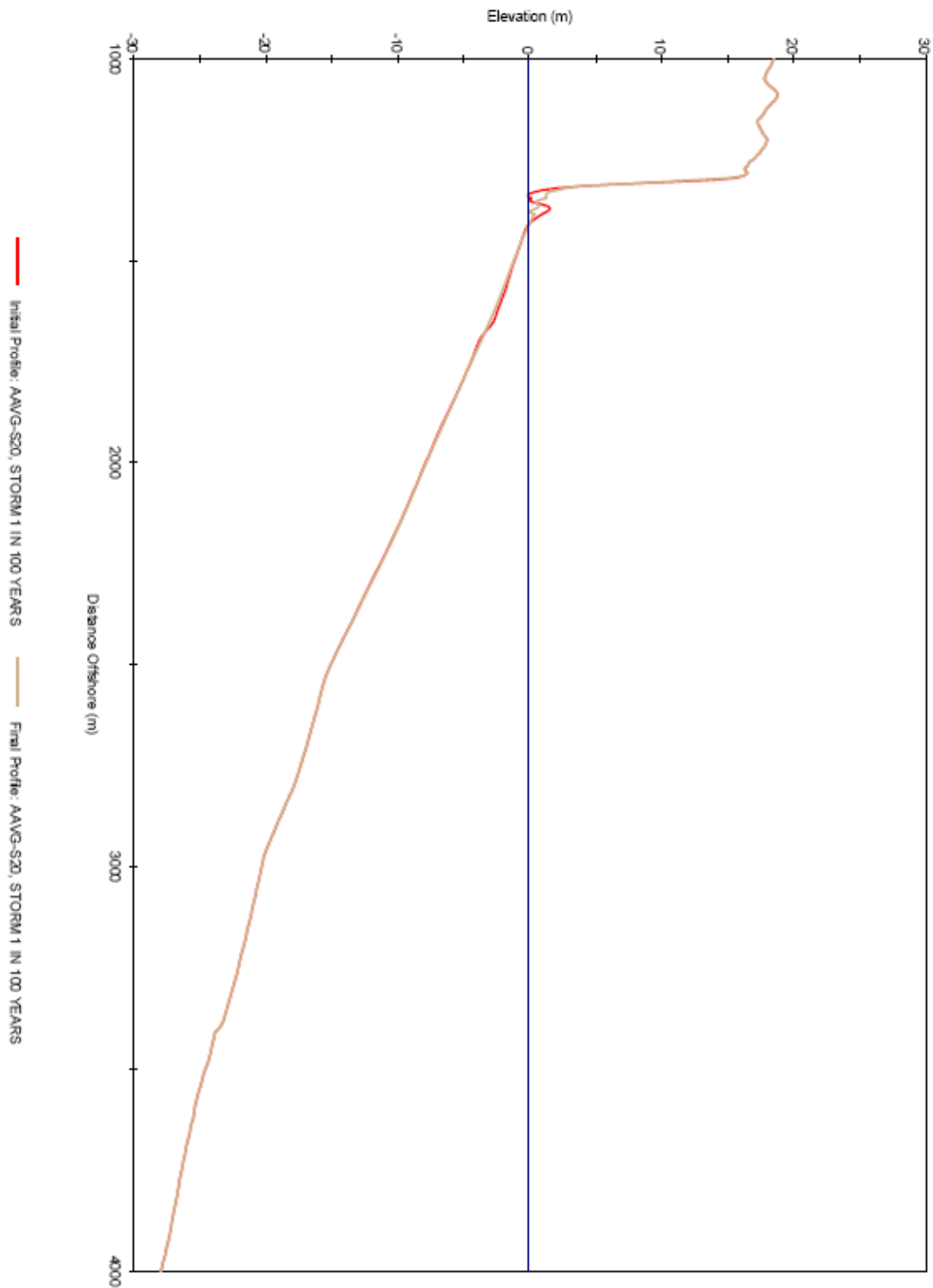
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 16 באזור אשקלון-אשדוד

CLIFFS EROSION - WL=1.0m

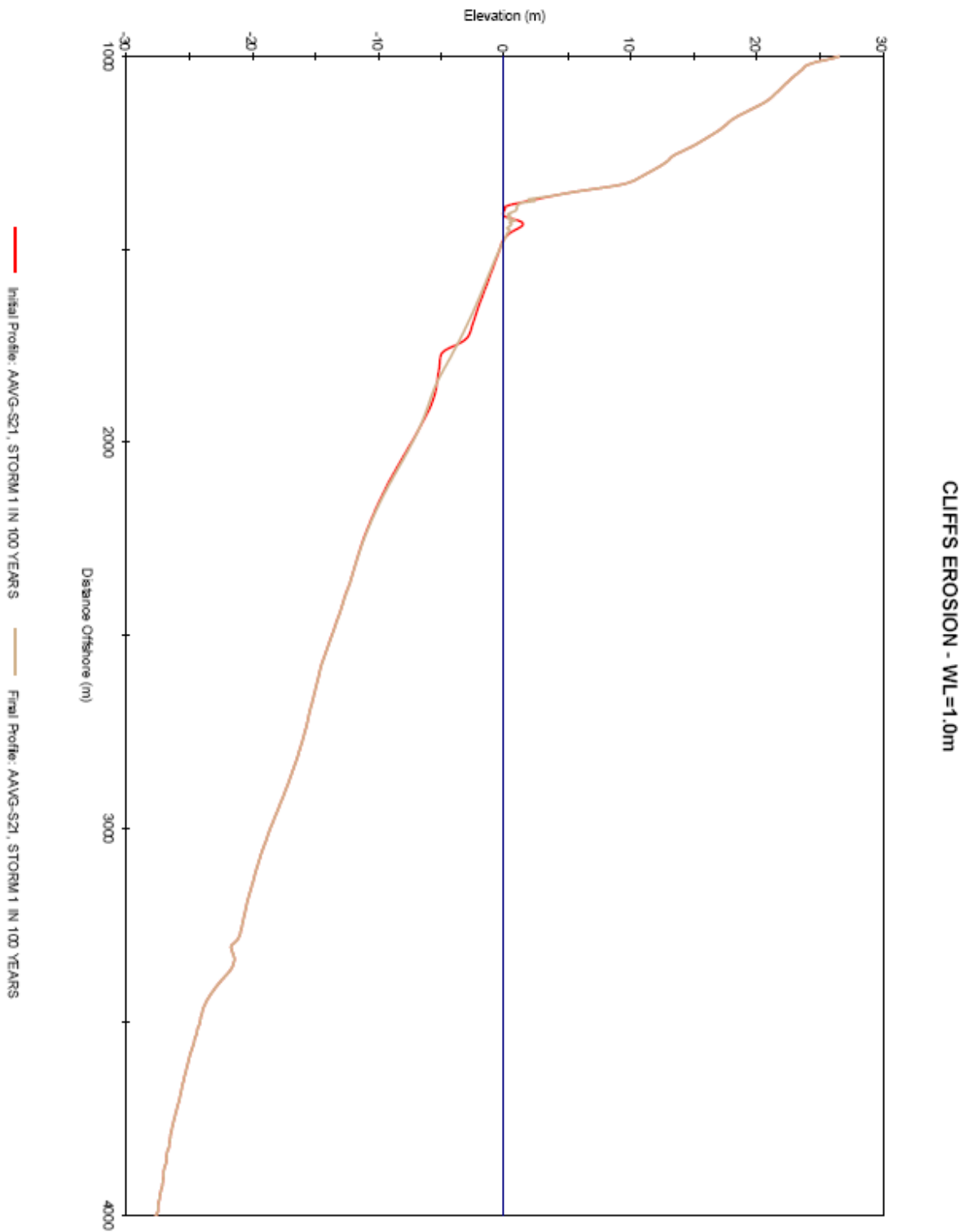


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 17 באזור אשקלון-אשדוד

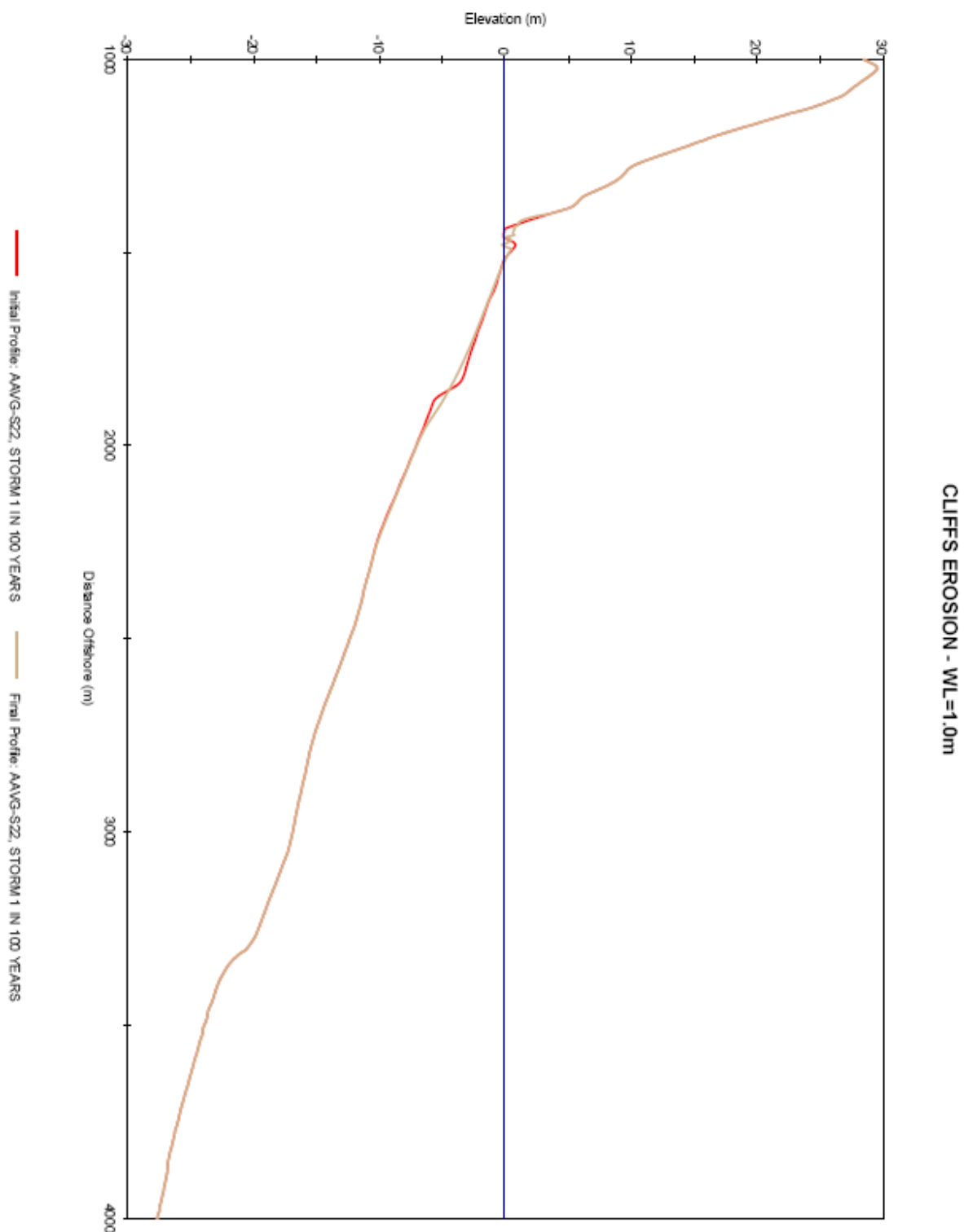
CLIFFS EROSION - WL=1.0m



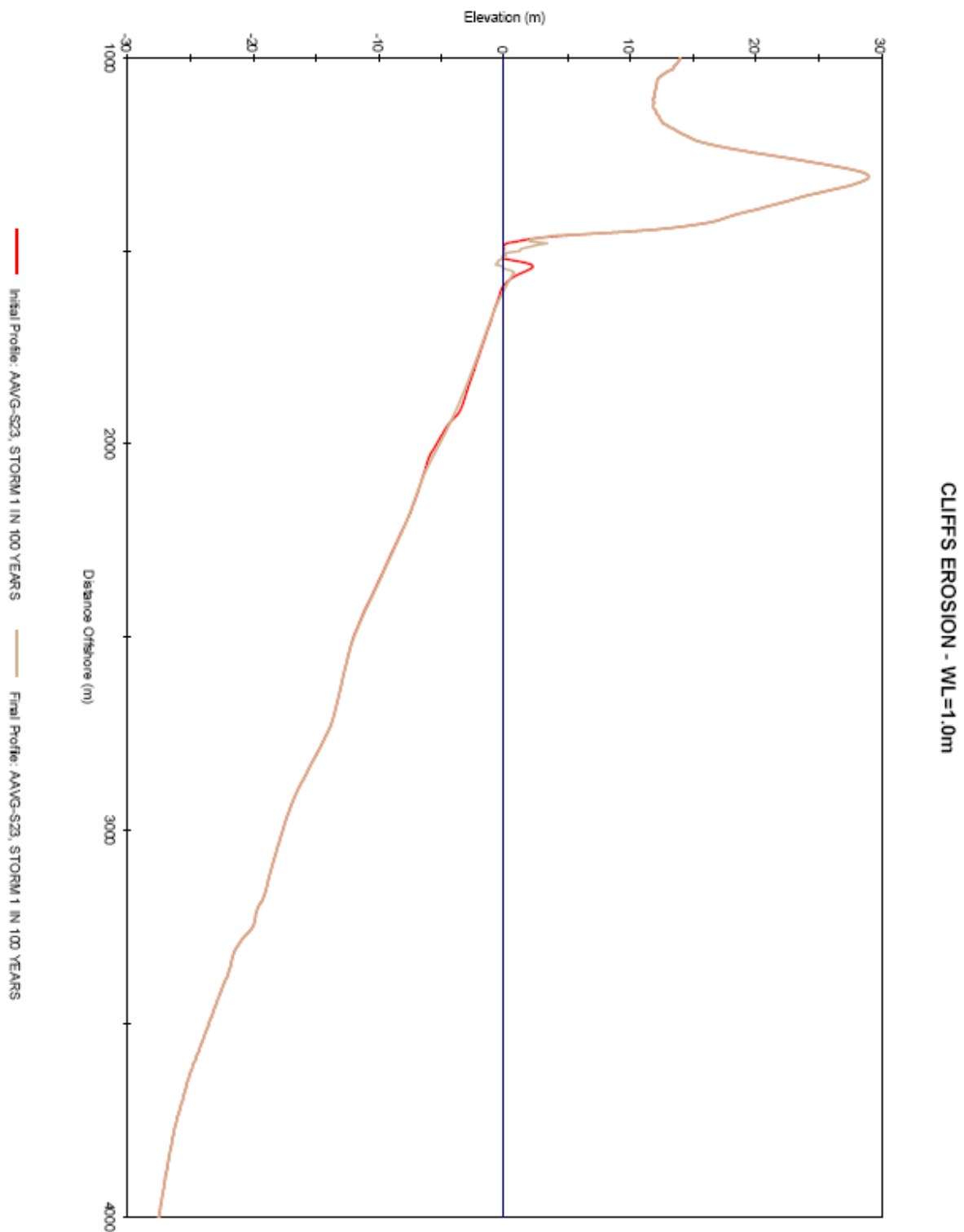
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 20 באזור אשקלון-אשדוד



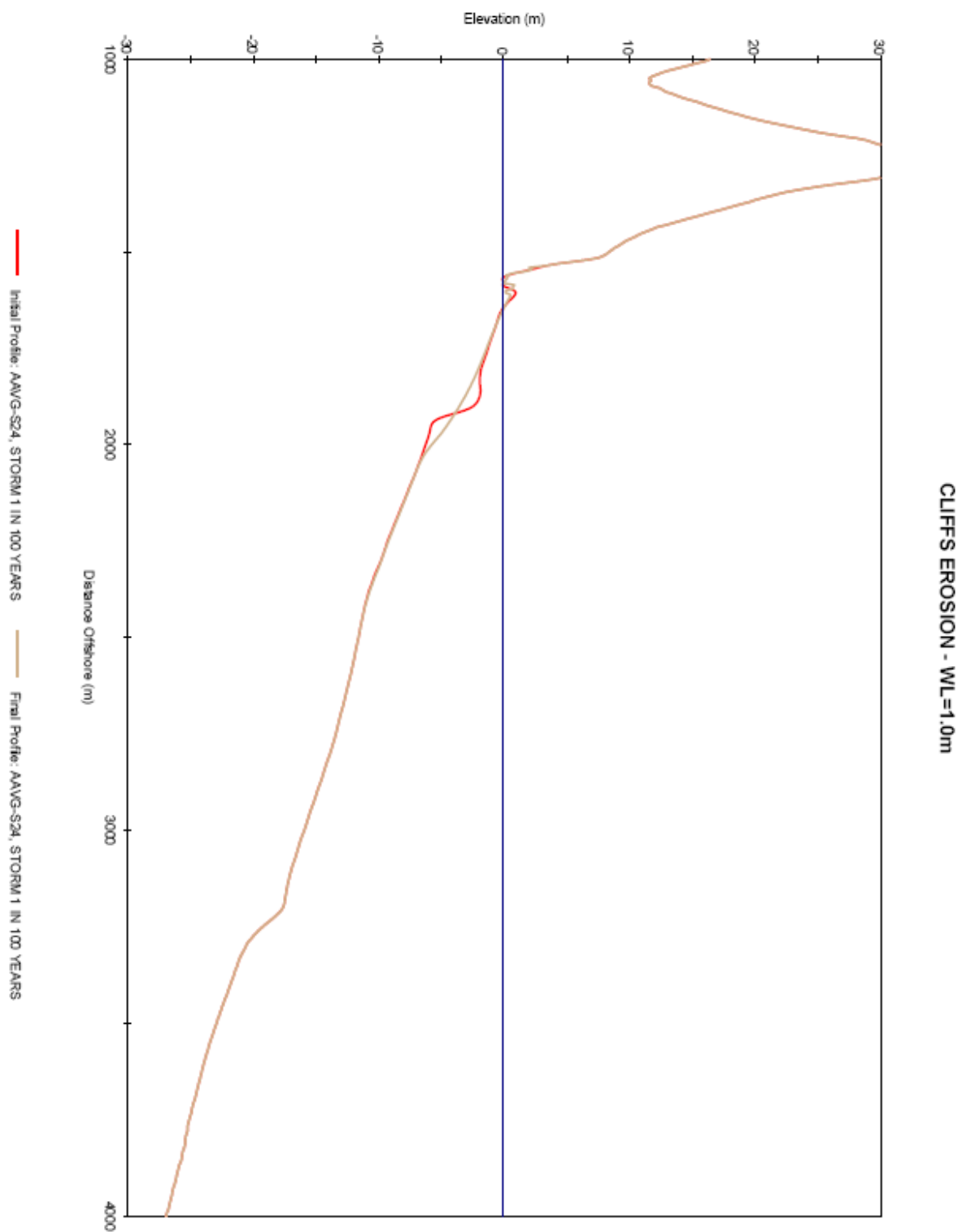
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 21 באזור אשקלון-אשדוד



שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 22 באזור אשקלון-אשדוד

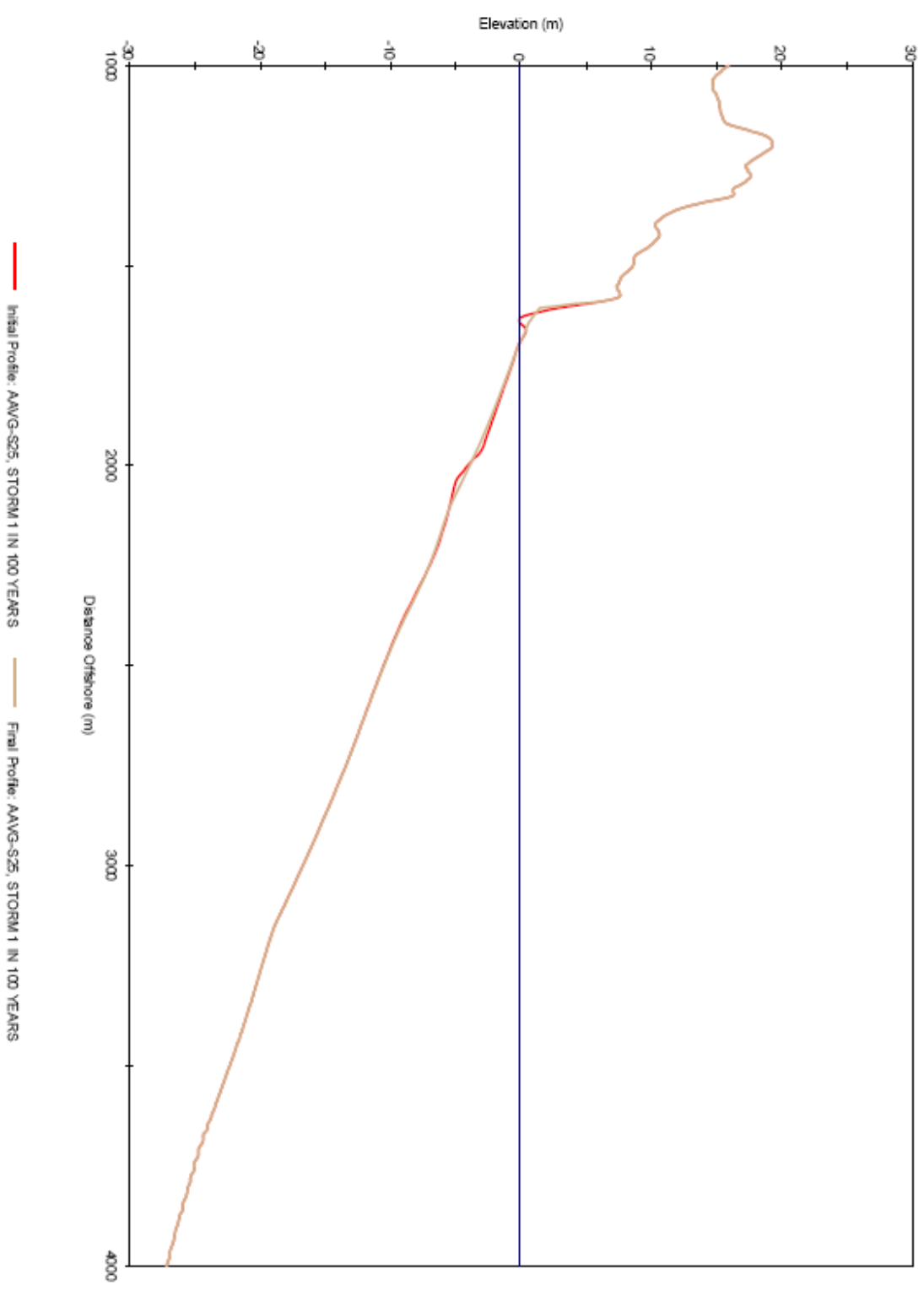


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 23 באזור אשקלון-אשדוד

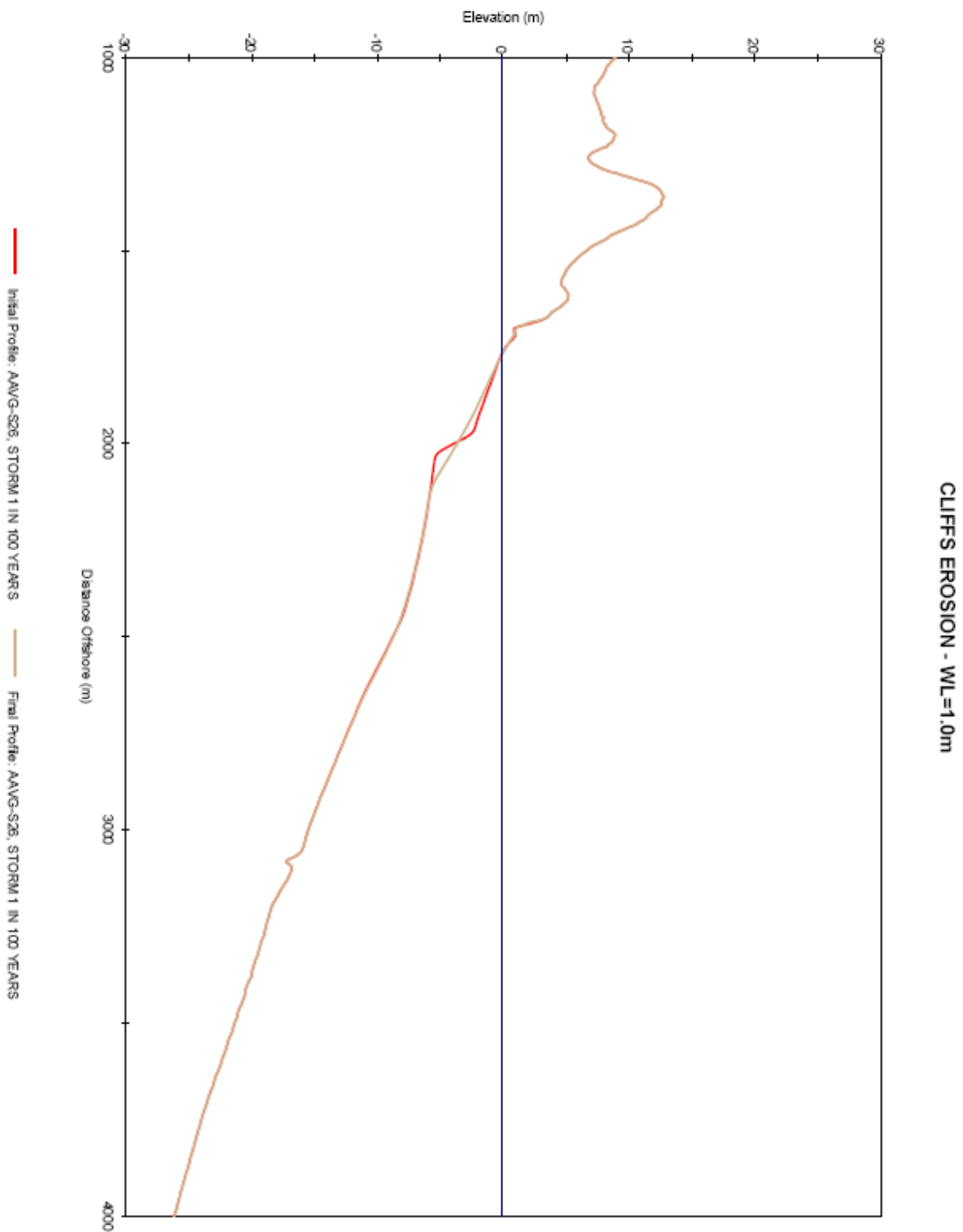


שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 24 באזור אשקלון-אשדוד

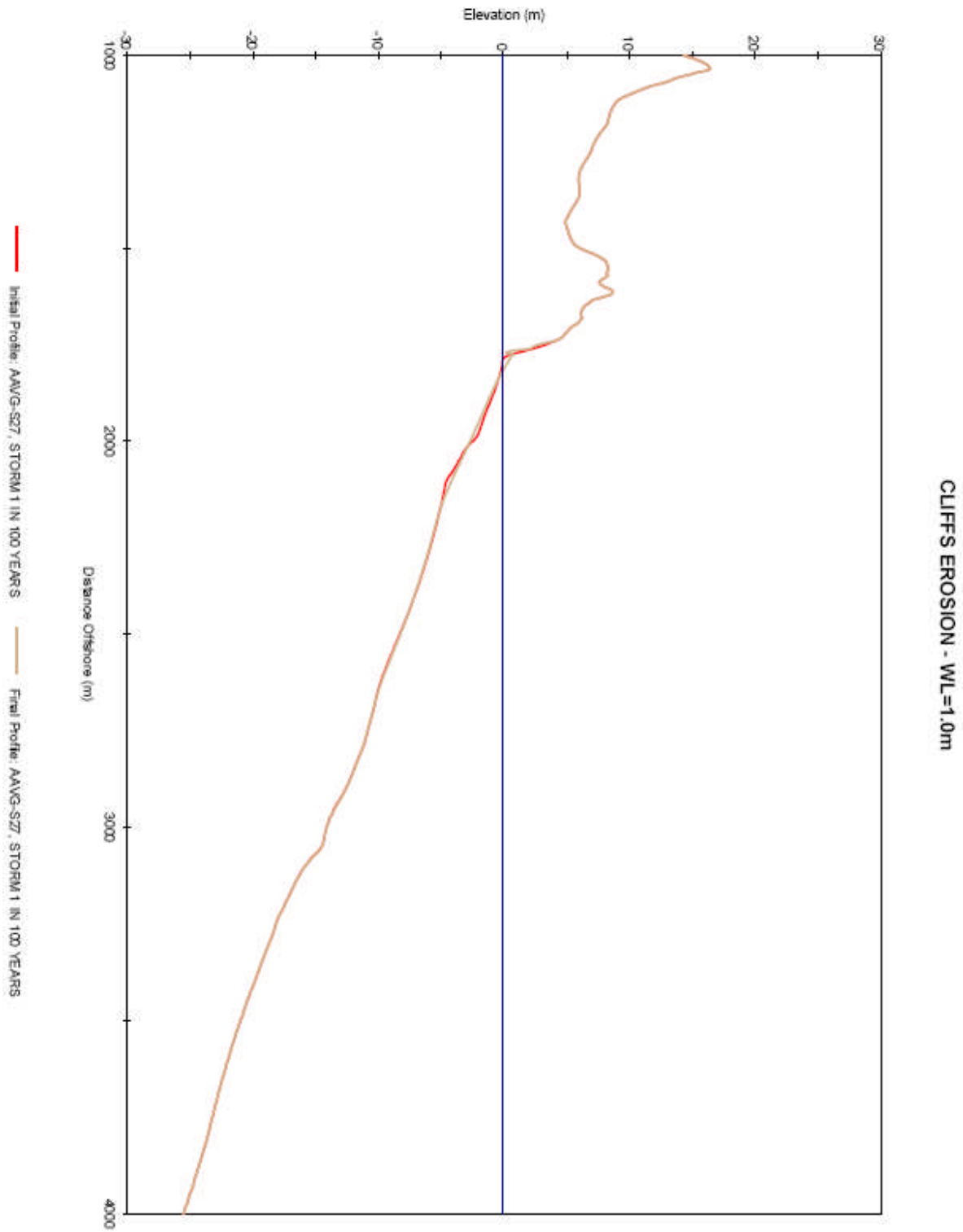
CLIFFS EROSION - WL=1.0m



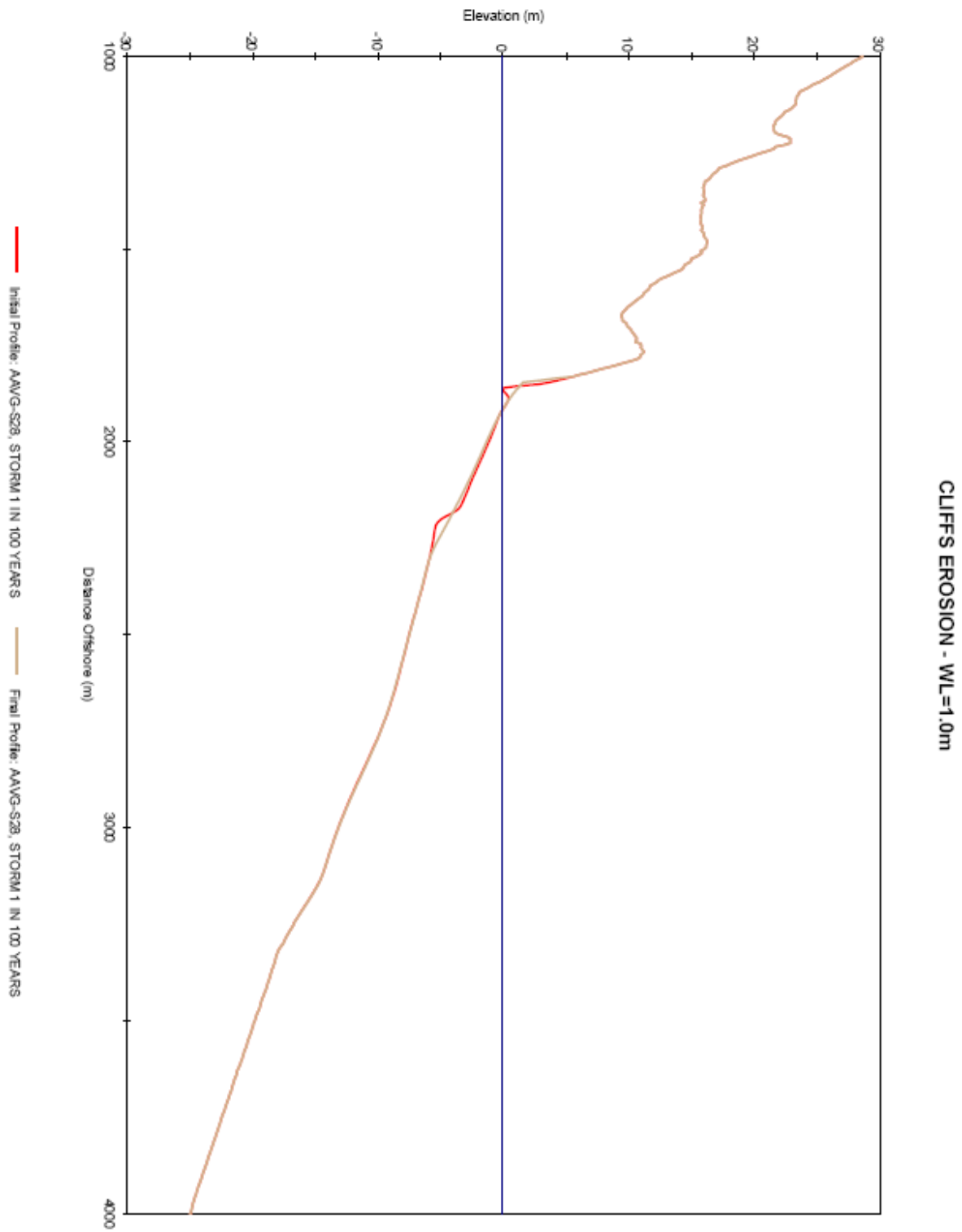
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 25 באזור אשקלון-אשדוד



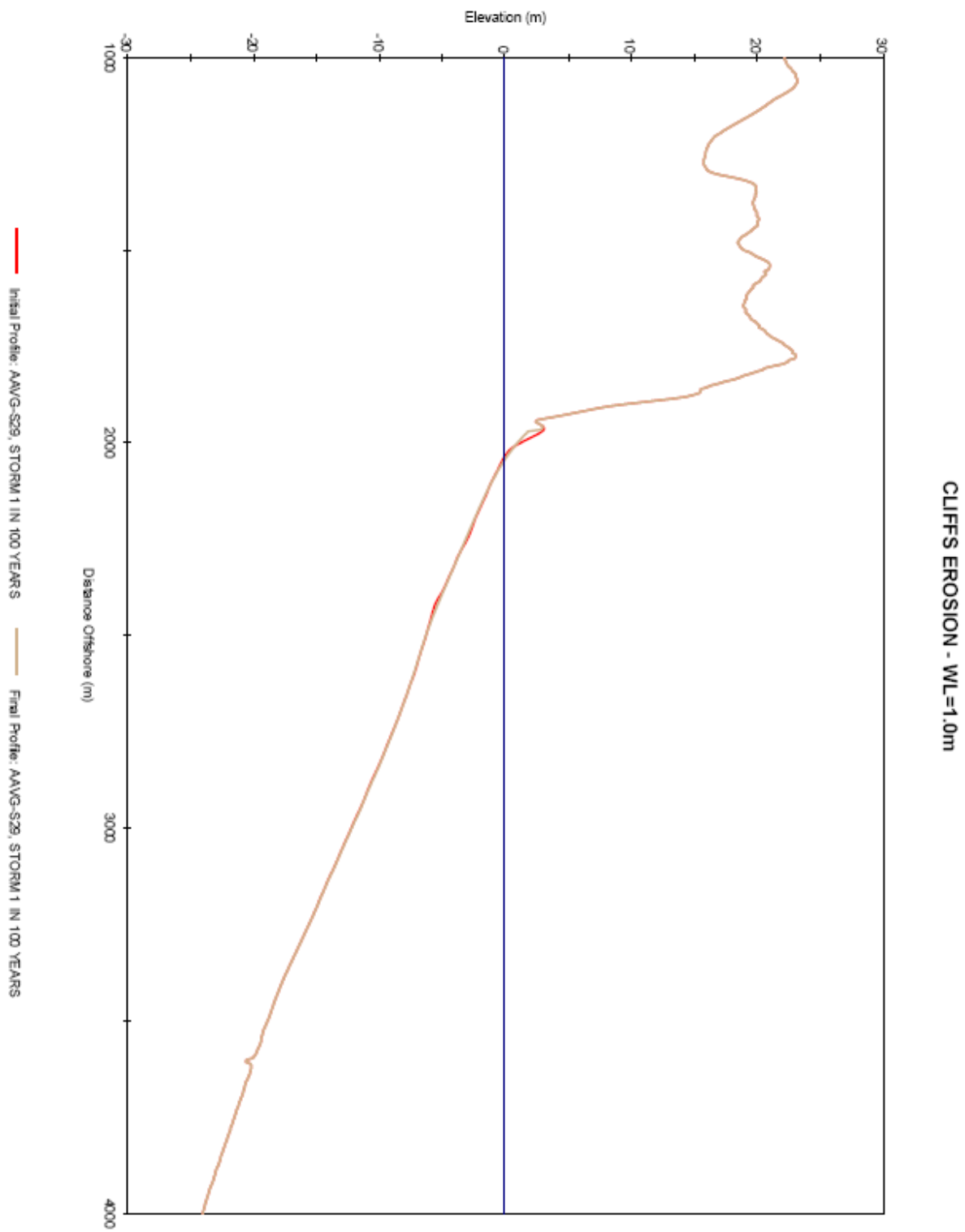
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 26 באזור אשקלון-אשדוד



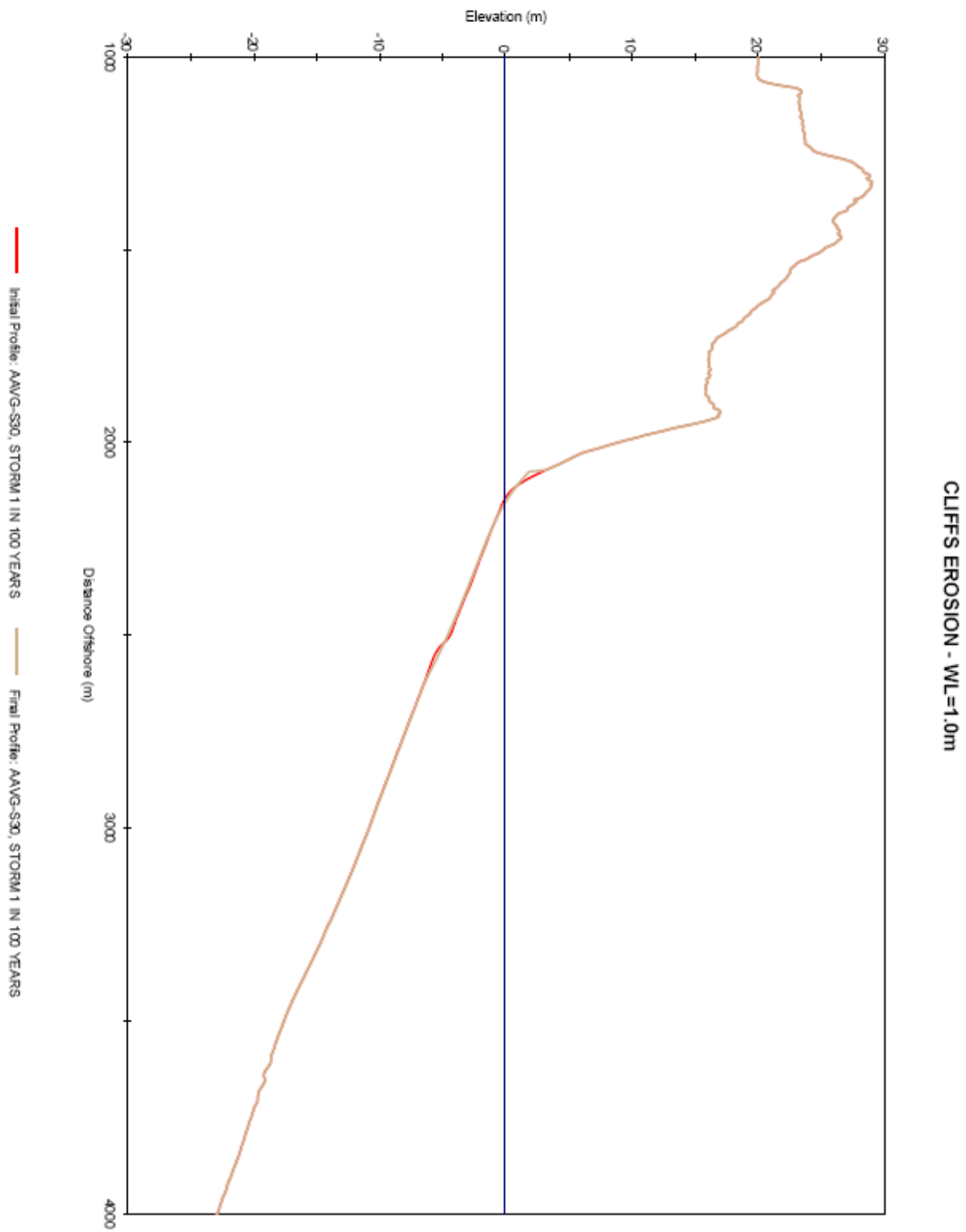
שינוי הצודדית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 27 באזור אשקלון-אשדוד



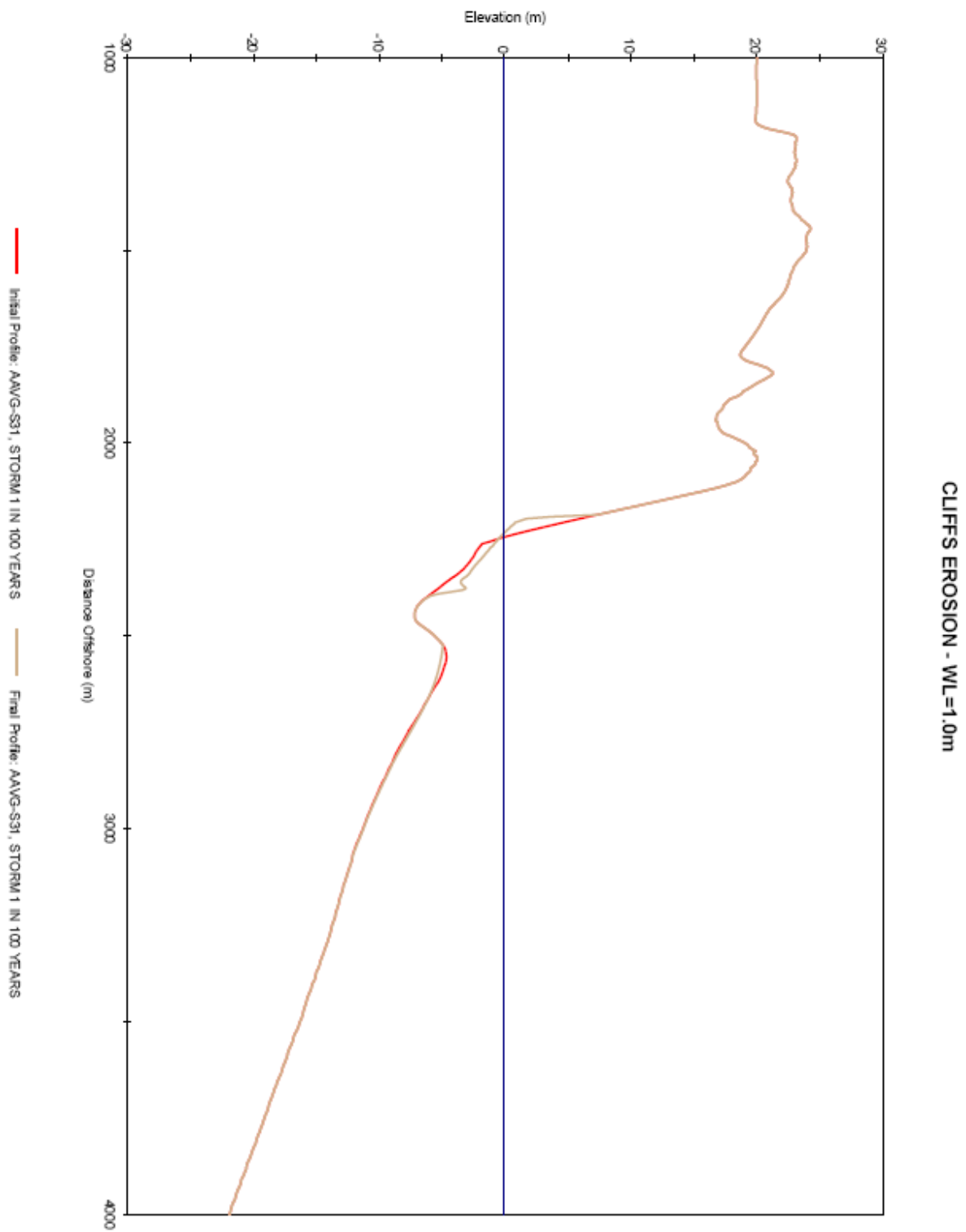
שינוי הצודדית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 28 באזור אשקלון-אשדוד



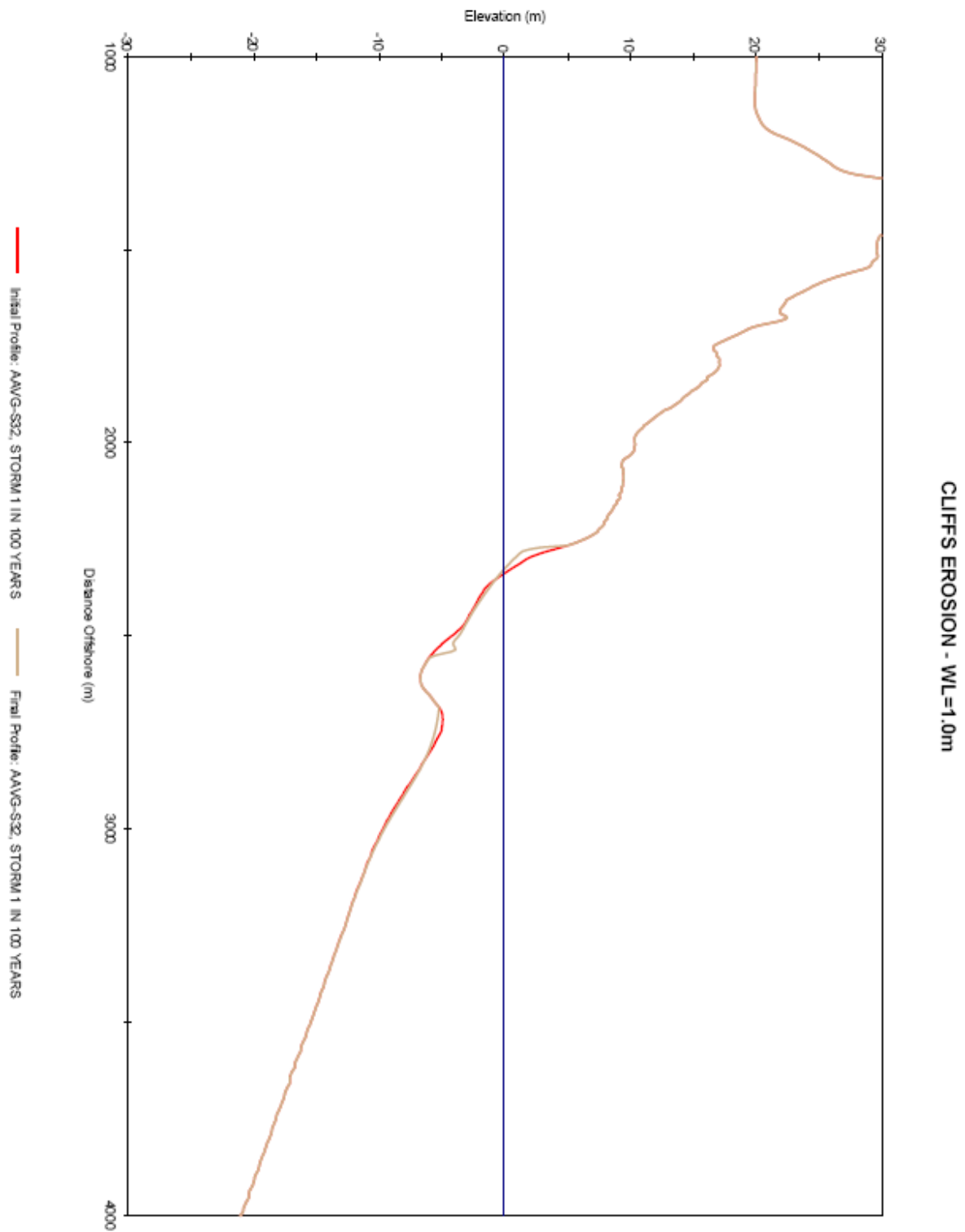
שינוי הצודדית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 29 באזור אשקלון-אשדוד



שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 30 באזור אשקלון-אשדוד



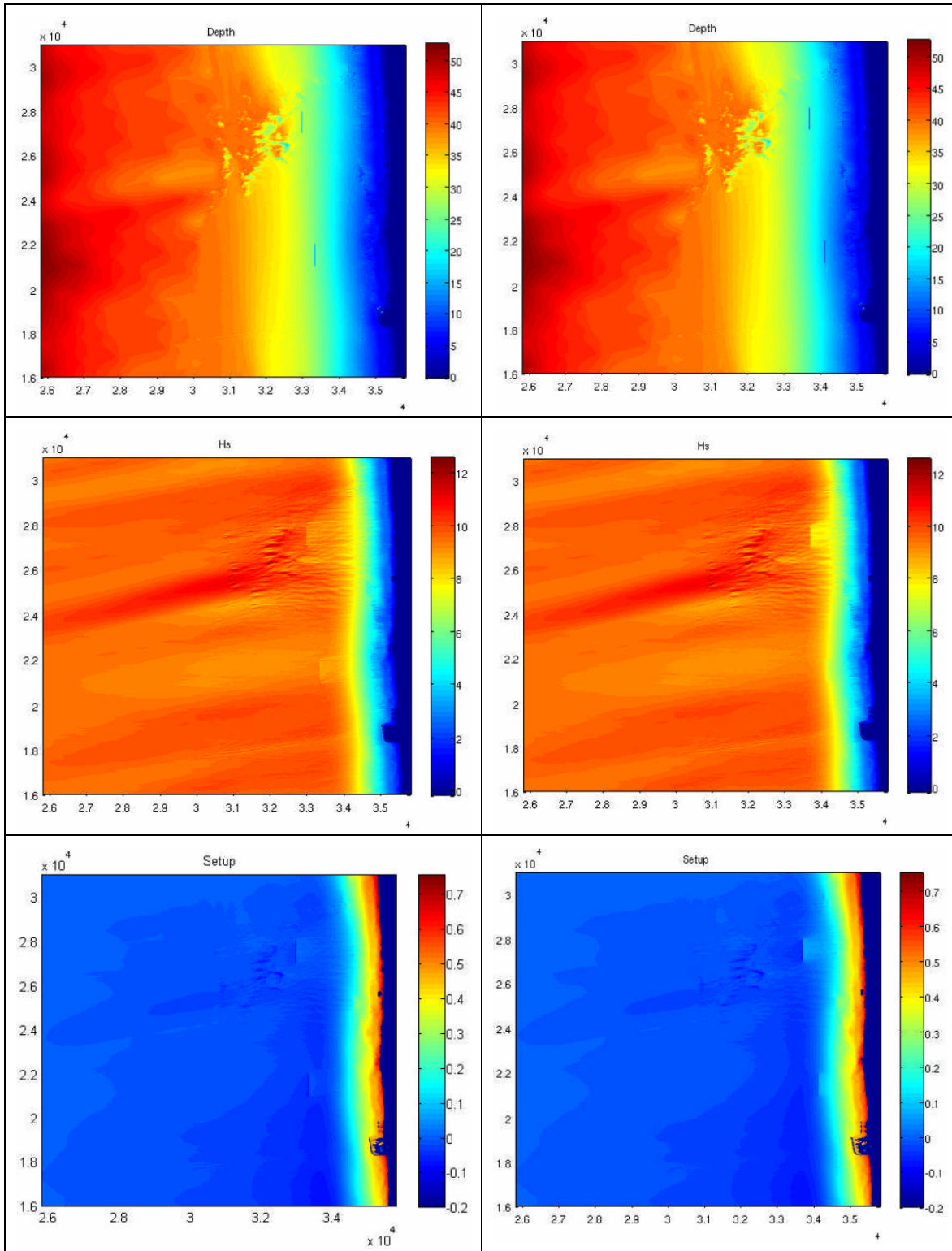
שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 31 באזור אשקלון-אשדוד



שינוי הצדודית בעקבות סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה, ומפלס 1 מ' בחתך 32 באזור אשקלון-אשדוד

נספח A7

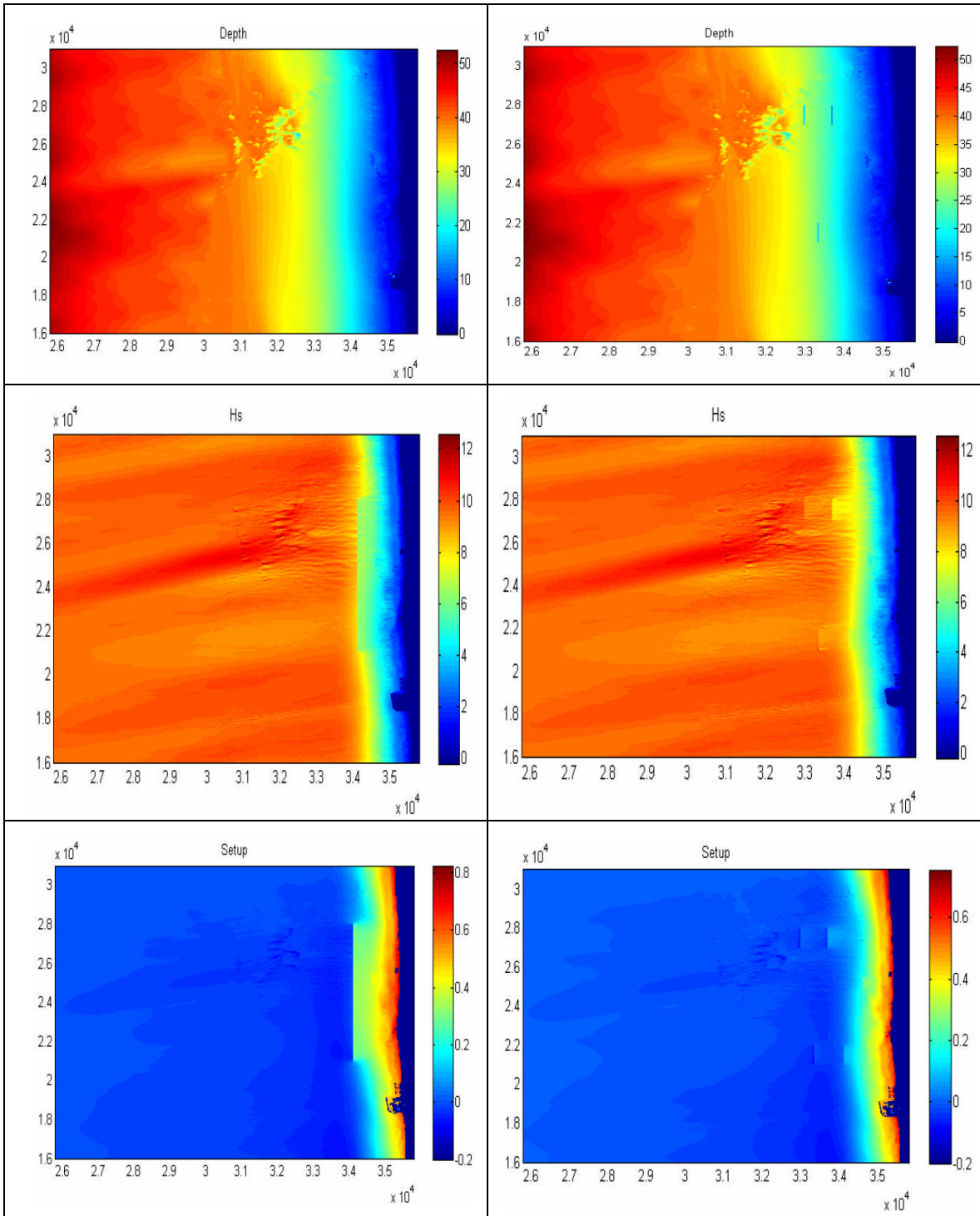
מפות גובה הגלים וההערמות שנתקבלו בחלופות המיגון שנבדקו במודל הגלים



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים

ציור מס' 1 – חלופת מיגון 1: מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור הרצליה –פולג סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס קיים

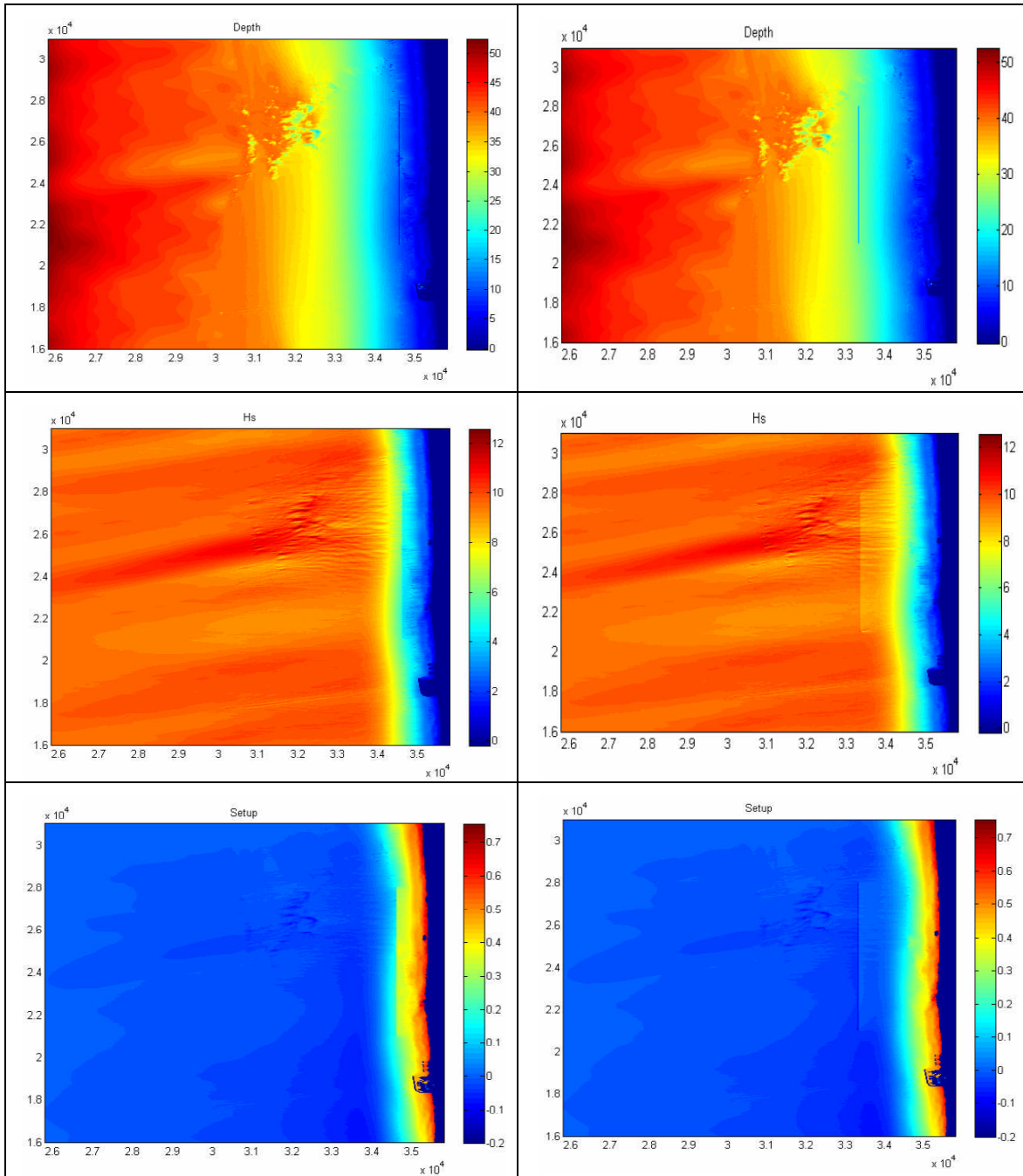
ציור מס' 2 – חלופת מיגון 2: מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור הרצליה –פולג סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס קיים



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים

ציור מס' 3 – חלופת מיגון 3: מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור הרצליה – פולג סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס קיים

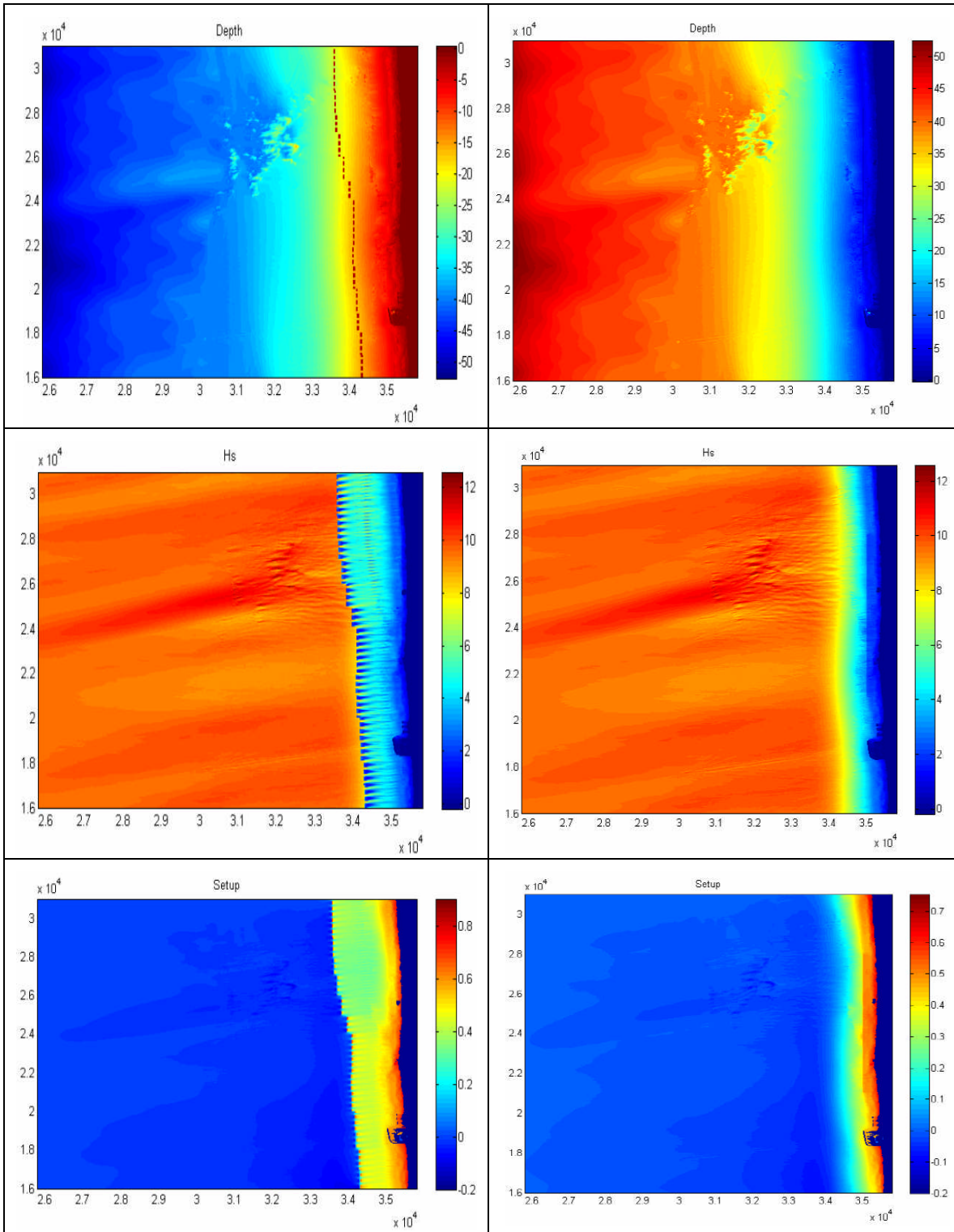
ציור מס' 4 – חלופת מיגון 4: מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור הרצליה – פולג סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס קיים



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים

ציור מס' 5 – חלופת מיגון 5: מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור הרצליה – פולג סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס קיים

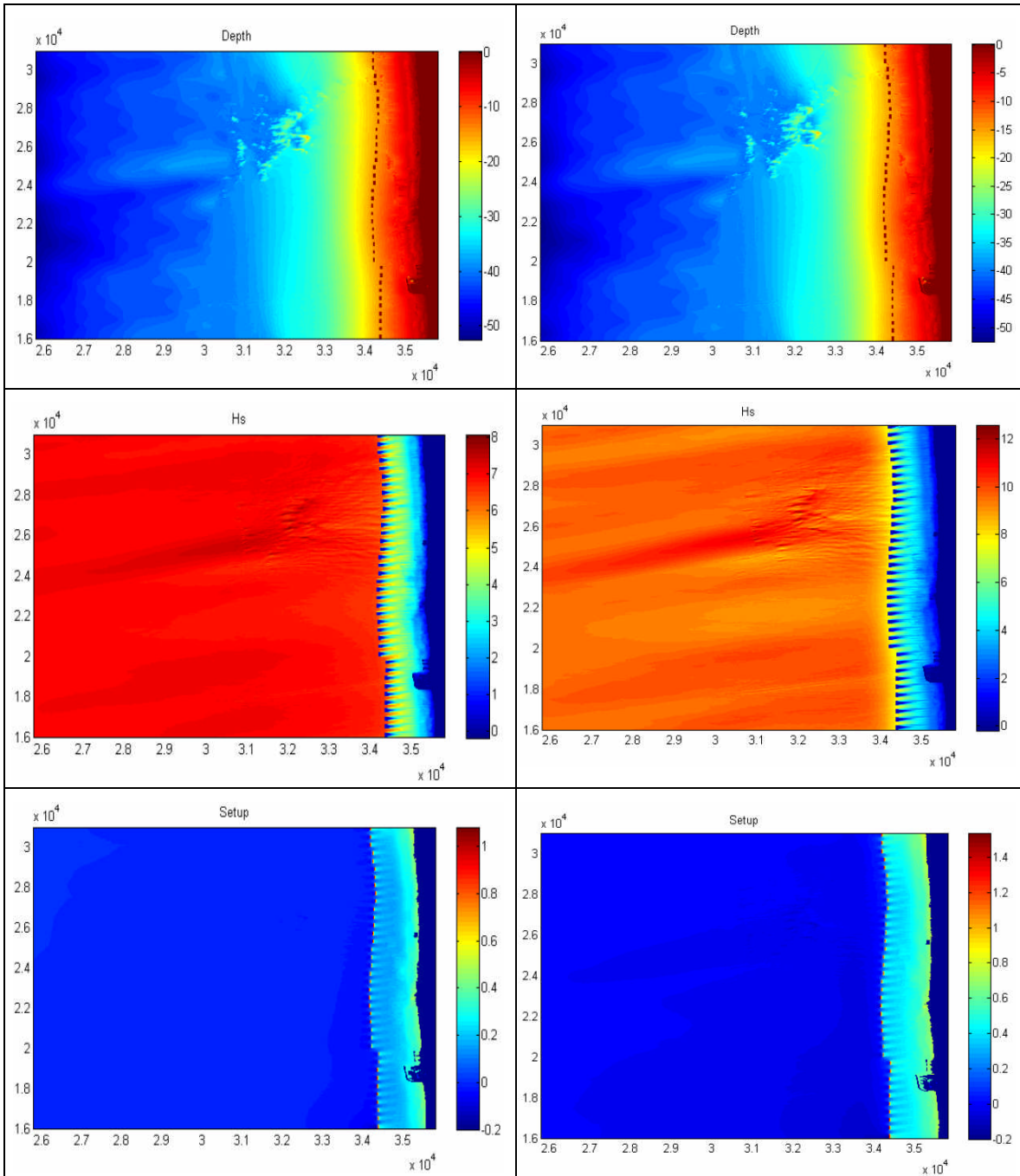
ציור מס' 6 – חלופת מיגון 6: מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור הרצליה – פולג סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס קיים



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים

ציור מס' 7 – חלופת מיגון 7: מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור הרצליה – פולג סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס קיים

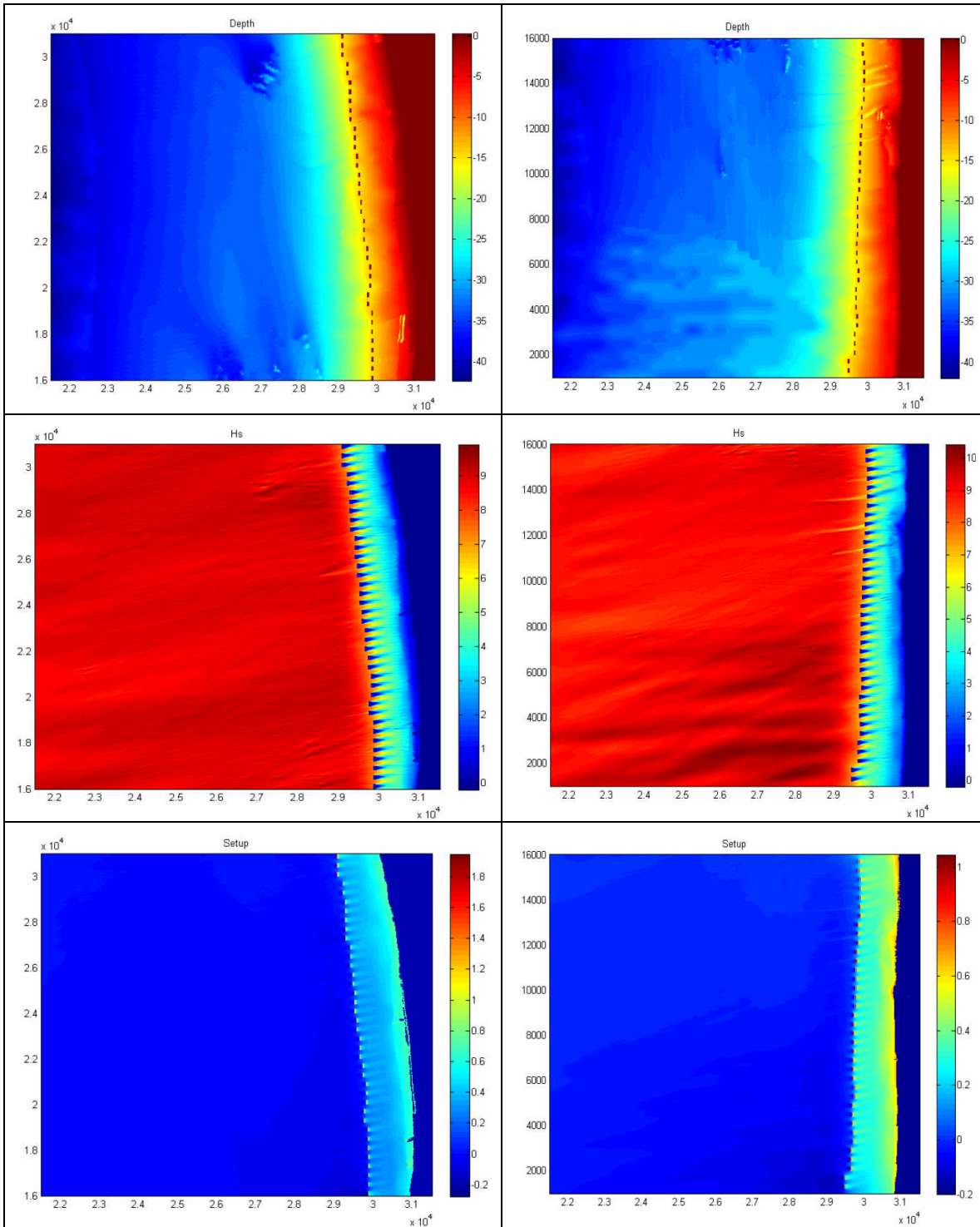
ציור מס' 8 – חלופת מיגון 8: מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור הרצליה – פולג סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס קיים



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים

ציור מס' 9 – חלופת מיגון 9 מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור הרצליה – פולג סערה עם תקופת חזרה של 1 שנה ומפלס קיים

ציור מס' 9 – חלופת מיגון 9: מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור הרצליה – פולג סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס קיים



המרחקים לאורך ובניצב לחוף הם בקילומטרים (או מטרים) לפי הערכים המצוינים

ציור מס' 12 – חלופת מיגון 9A מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור אשקלון צפון סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס קיים

ציור מס' 11 – חלופת מיגון 9A: מפת עומקים עם מיקום הקיסונים המטובעים, מפת גובה גלים (באמצע) והערמות גלים באזור אשקלון דרום סערה עם תקופת חזרה של 100 שנה ומפלס קיים