



סיכונים לחוף הישראלי מפעילות טקטונית ומשינוי האקלים והצעה למדיניות התמודדות ואמצעים

סרג'יו דב רוזן^{1,2} M.Sc., P.E.

¹ ים חוף רוזן מהנדסים יועצים להנדסה חופית, נמלית, ימית וסביבתית,

טל: 050-7270867; דוא"ל: rosenssr@netvision.net.il; אתר: www.seashorerosen.com

² עד 1.8.2014 - מנהל המחלקה לגיאולוגיה ימית ותהליכים חופיים, חקר ימים ואגמים לישראל



חוף דדו בחיפה לאחר סערה ב-07-09.01.2013



סיציליה, לאחר רעידת האדמה והצונאמי ב-28.12.1908

© כל הזכויות שמורות לסרג'יו דב רוזן ים חוף רוזן מהנדסים יועצים



מבנה ההרצאה

□ אפיון הסיכונים לחוף הישראלי מפעילות טקטונית

(רעידות אדמה וגלי צונאמי)

□ אפיון הסיכונים משינוי האקלים ע"י עליית מפלס הים

ושכיחות סערות קיצון

□ המלצות למדיניות מביעה ומיתון הפגיעות

□ המלצות לדרכי יישום



בעקבות הצונאמי 26.12.2004 באוקיאנוס ההודי מליאת IOC/UNESCO החליטה ביוני 2005 על הקמת קבוצת תאום בין-ממשלתית (ICG) להקמת מערכת בינלאומית להתרעה מוקדמת מצונאמי בים התיכון, בחופי אירופה לאוקיאנוס האטלנטי ובימים המקשרים (NEAMTWS).

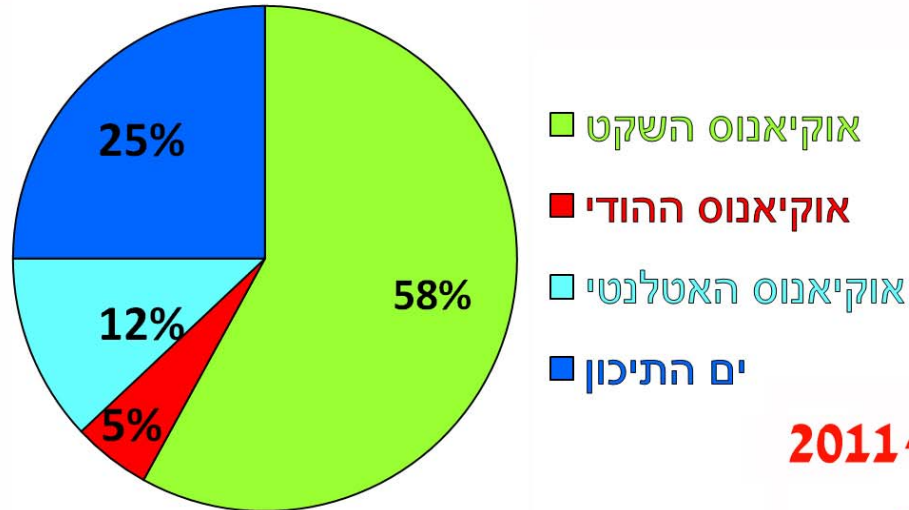
במפגש היסוד של ה-ICG/NEAMTWS ברומה בנובמבר 2005 הוחלט על הקמת מערכת ההתרעה, שפועלת מאז 2010 תוך שדרוג יכולות מתמיד.

הדמיות צונאמי לאירועי קיצון שפגעו בעבר בחופי ישראל שבוצעו בחיא"ל, הצביעו על סיכונים לתשתיות ולאוכלוסייה בחופי ישראל עם הצפות בסדר גודל של 10 מ' מעל אפס האיזון הארצי ברצועת החוף הקרובה לקו המים עד כ-1 ק"מ.

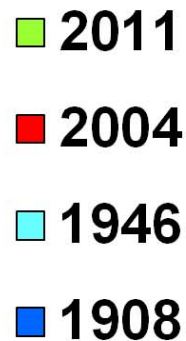
ביוני 2012 החליטה ממשלת ישראל על הקמת מערכת להתרעה מוקדמת מצונאמי "מים אדירים" שהיתה צריכה לפעול מיוני 2014. הוקמה גם וועדה מקצועית להמליץ כיצד ליישמה, שהגישה את הדו"ח סופי לממשלה בתחילת ספטמבר 2014. עד היום, טרם הוקצב ולו שקל לטובת המערכת.

סטטיסטיקה עולמית של צונאמי

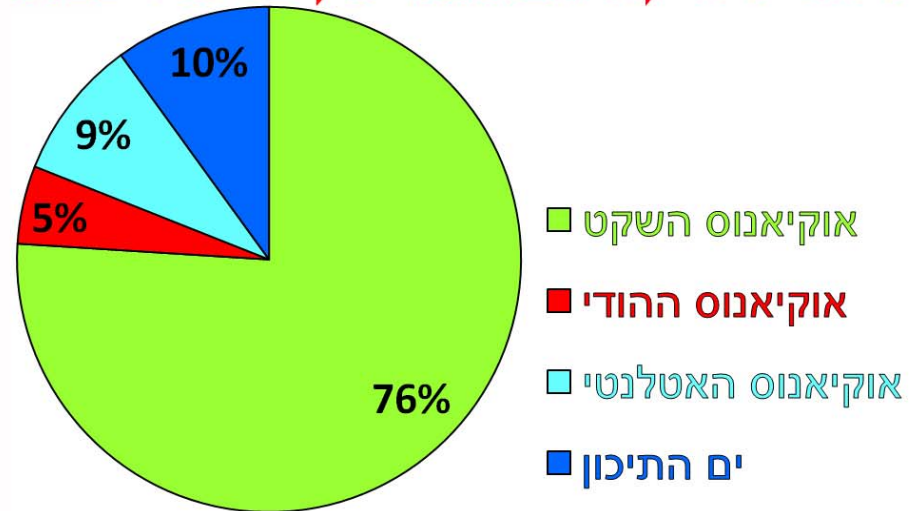
סטטיסטיקת אירועי הצונאמי בעולם בכל ההיסטוריה



הצונאמי הרצחני האחרון



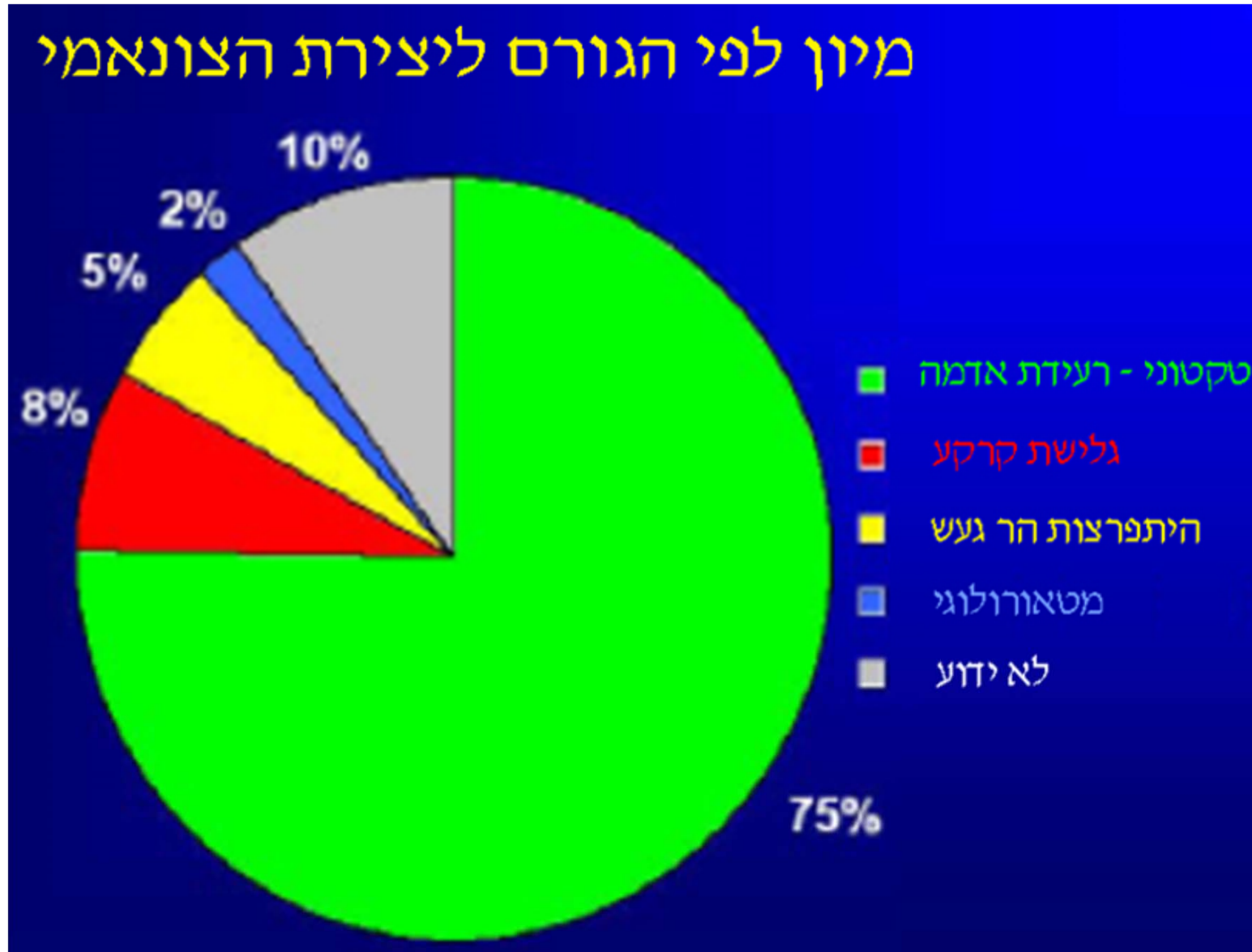
סטטיסטיקת הצונאמי בין 1901 ו-2011



התפלגות אירועי הצונאמי (מכל הגדלים) בכל העולם

לפי בסיס הנתונים העולמי של אירועי צונאמי של IOC/UNESCO

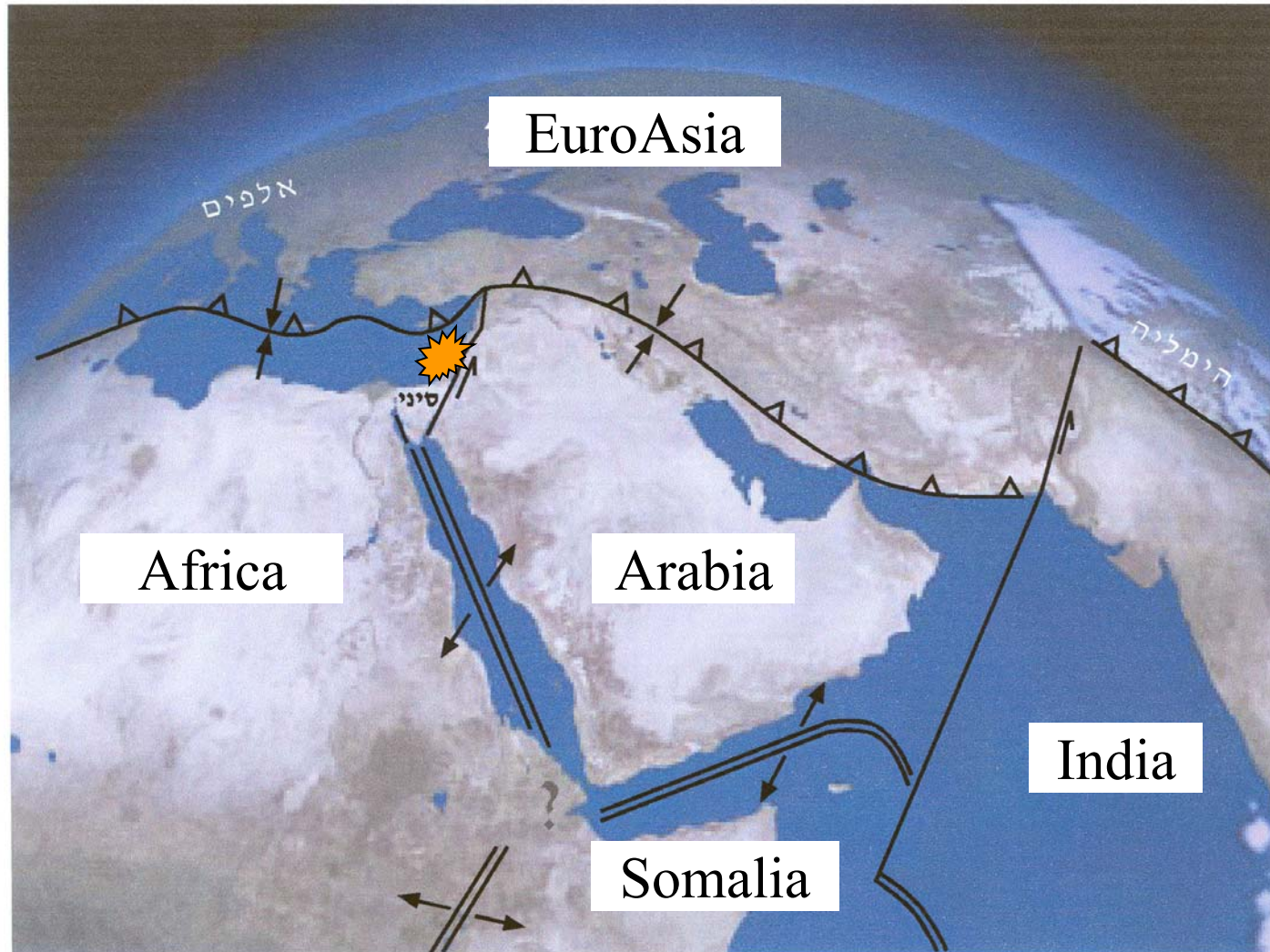
סטטיסטיקה עולמית של הגורמים לצונאמי



לפי בסיס הנתונים העולמי של אירועי צונאמי של IOC/UNESCO



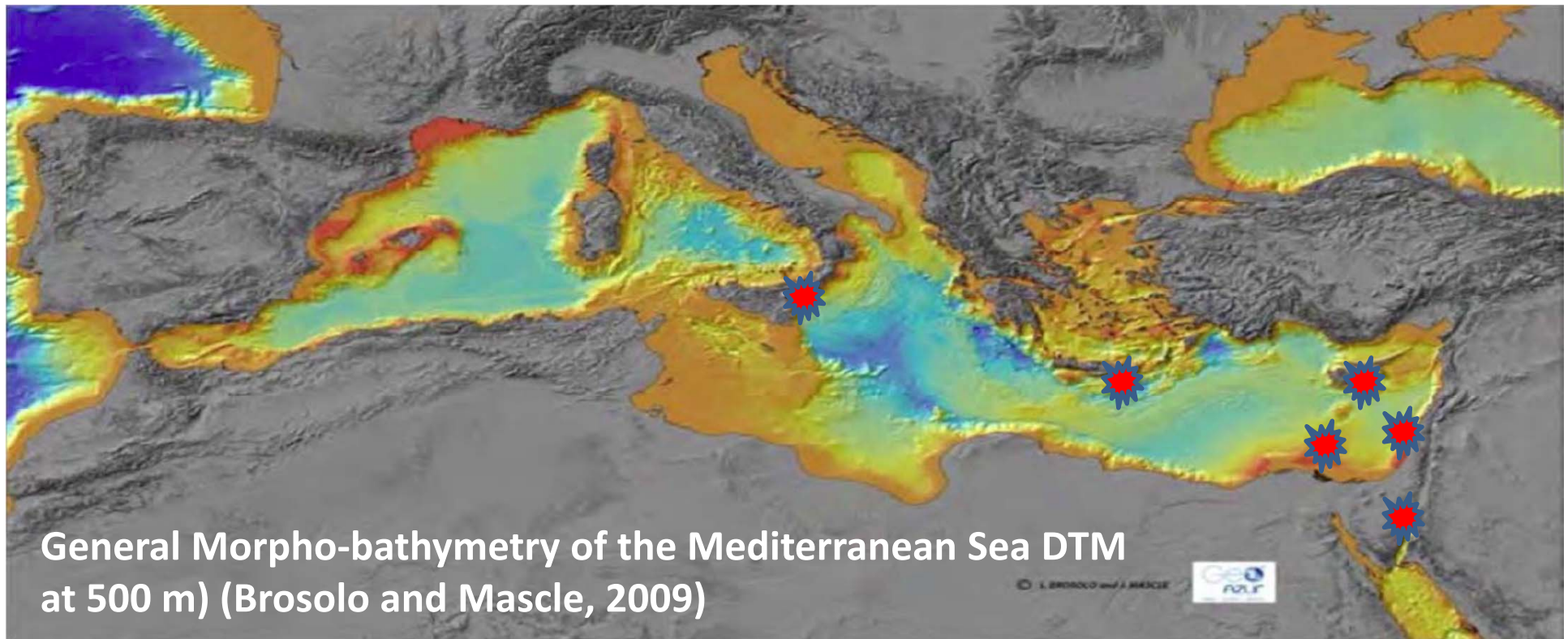
טקטוניקת הלוחות - המקור לרעידות האדמה החזקות



בעקבות סלמון, 2014



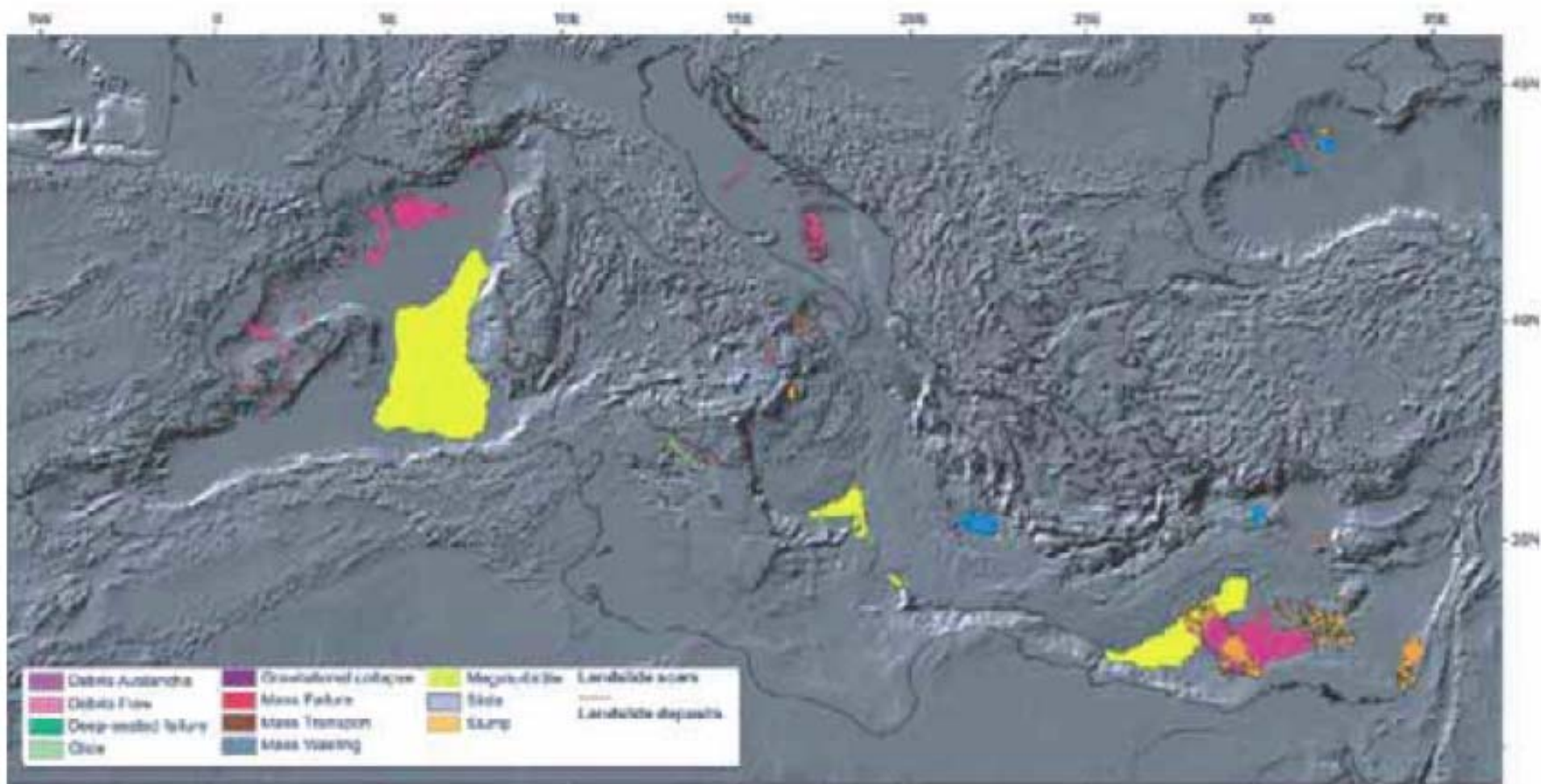
מקורות פוטנציאליים להווצרות צונאמי שיפגע בישראל



איזור ממנו יתכן כי יגיעו גלי צונאמי לישראל *

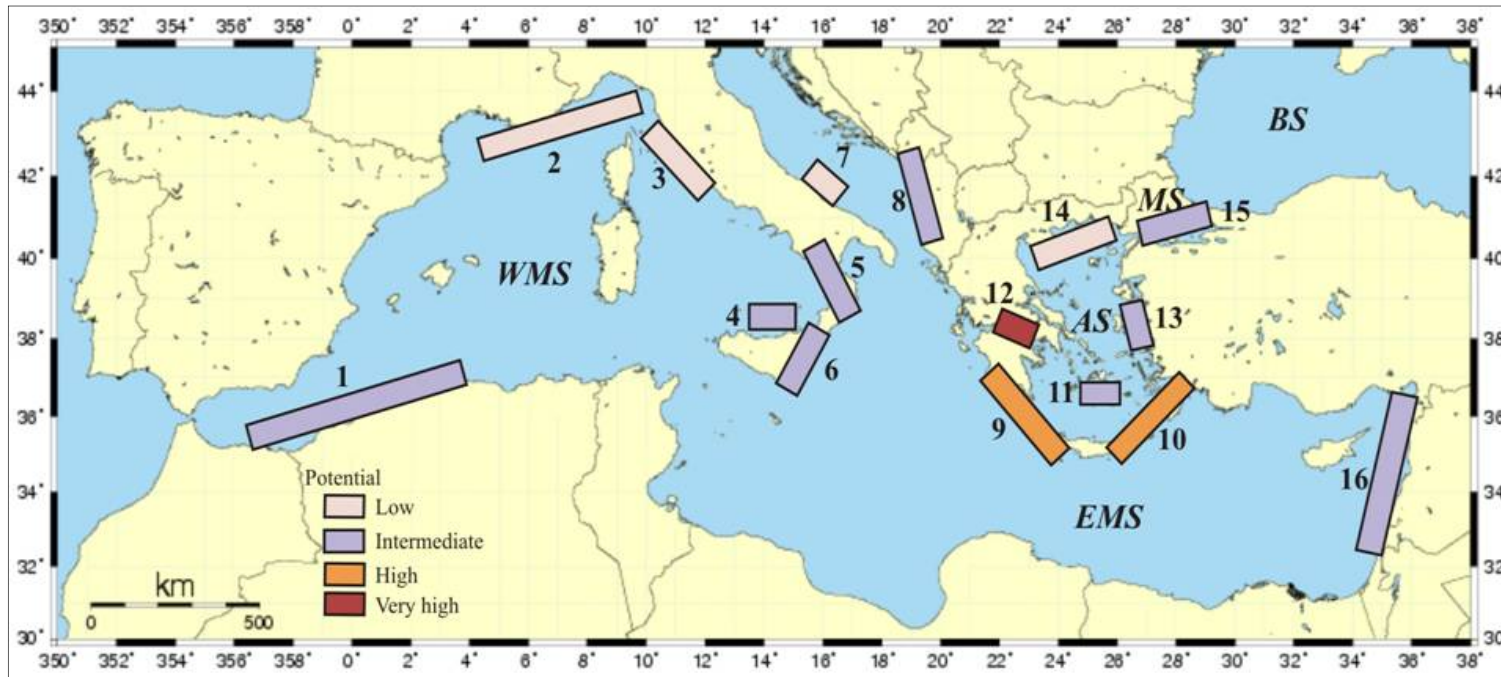


מיקום אירועי הגלישות התת-ימיות העיקריות שדווחו בים התיכון



בעקבות (Papadopoulos, 2010)



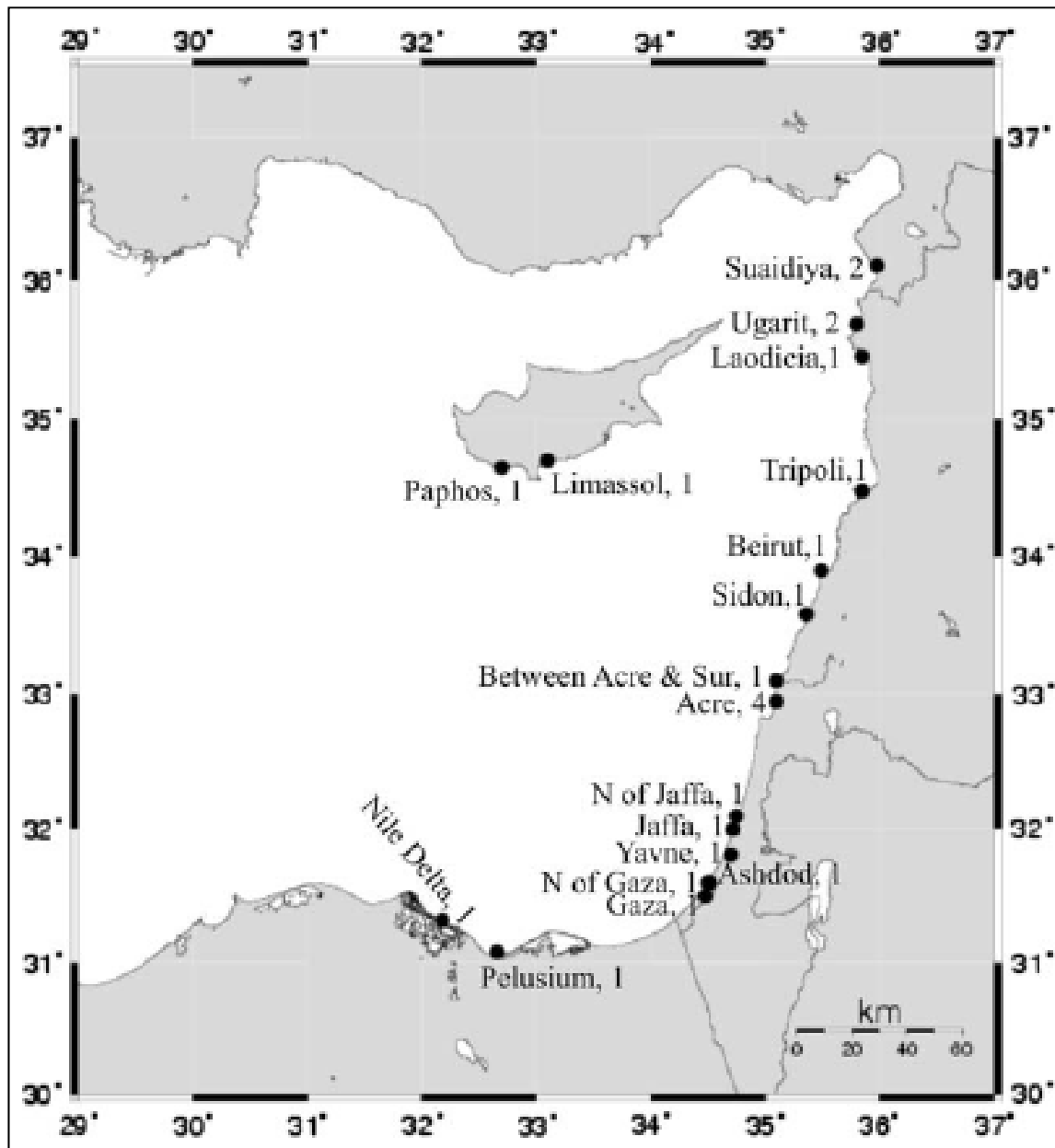


אזורים יוצרי צונאמי (מספרים על בסיס מקורות כתובים) ומיון לפי צבעים של הסיכון היחסי מצונאמי (בעקבות Papadopoulos, 2009)

WMS=Western Mediterranean Sea, EMS=Eastern Mediterranean Sea, AS=Aegean Sea MS=Marmara Sea. Black Sea (BS) is not included in this study.
 Zonation key; 1 = Alboran Sea, 2= Liguria and Cote d' Azur, 3 = Tuscany, 4=Aeolian Islands, 5=Tyrrhenian Calabria, 6= Eastern Sicily and Messina Straits, 7=Gargano, 8=east Adriatic Sea, 9=west Hellenic arc, 10=east Hellenic arc, 11=Cyclades, 12=Corinth Gulf, 13=Maliakos Gulf, 14=east Aegean Sea, 15=north Aegean Sea, 16=Marmara Sea, 17=Cyprus, 18=Levantine Sea



אתרים חופיים במזרח הים התיכון בהם דווחו גלי צונאמי



מספר אירועי הצונאמי בכל אתר כולל אירועים מקומיים ורחוקים

נכללו רק אירועי צונאמי עם רמת אמינות ≥ 2

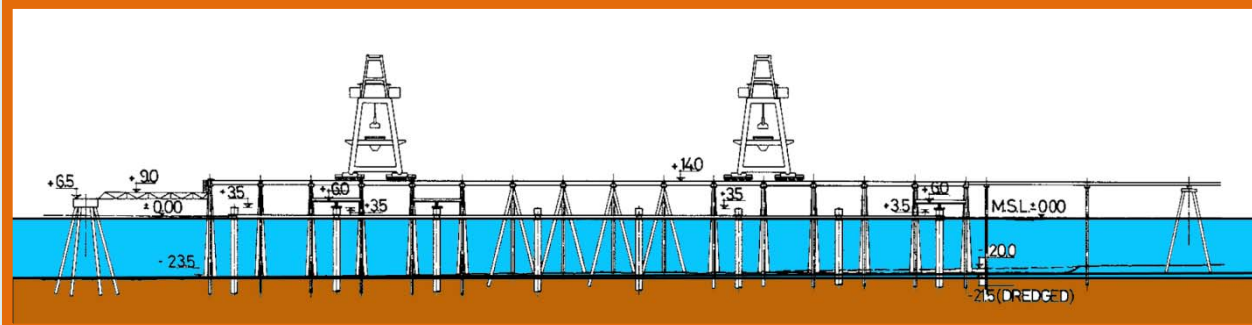
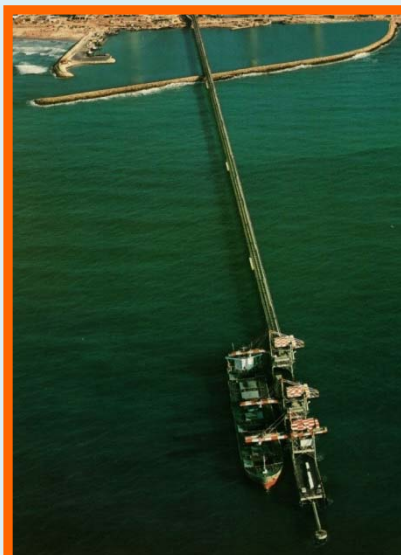
(Fokaefs & Papadopoulos, 2006)



דוגמאות לסיכוני צונאמי : 1 – הצפת החופים



דוגמאות לסיכונים : 2 – מזחי וגשרי מסופי הפחם



נמצאו סיכונים עד רמת אי שרידות למזחי וגשרי מסופי הפחם בחדרה ובאשקלון, ע"י כוחות הזרימה על הכלונסאות שלהם ולראשי היניקה של מתקני ההתפלה הקיימים, הגדולים בהרבה מאלה שהונחו בתכנונם, כ-1.5 מ'שנ' וכוחות גלי רוח שפועלים לא בו-זמנית על כל הכלונסאות.

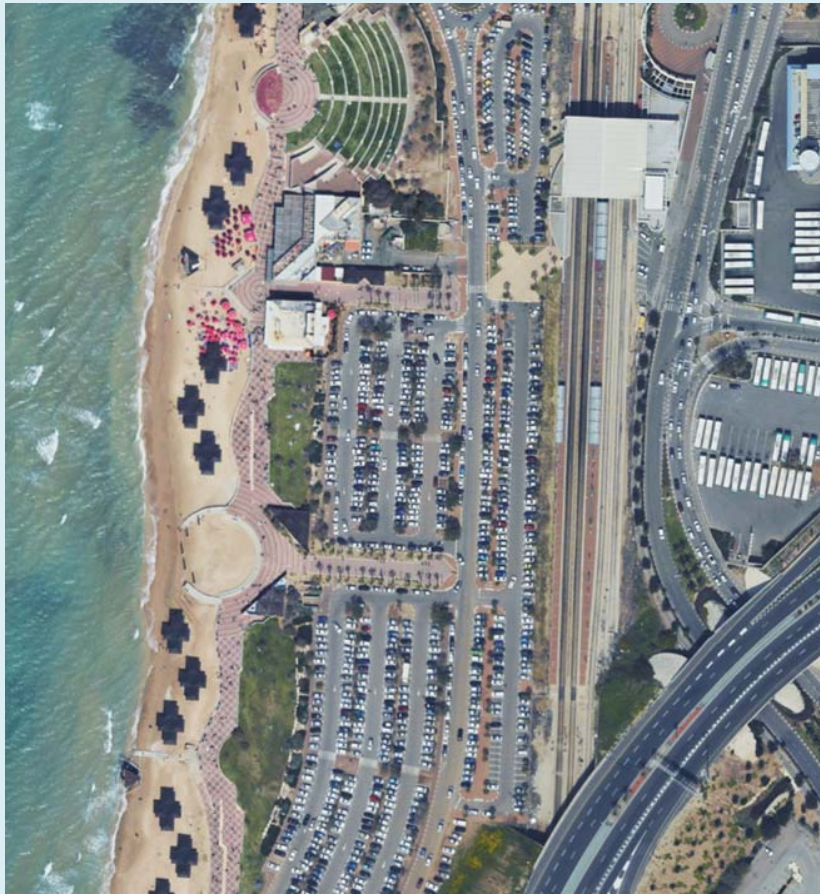


דוגמאות לסיכונים : 3 – הסטת מיכלי דלק



**נזקים דומים מפגיעת צונאמי עלולים להיגרם
למיכל האמוניה ומיכלי חוות דלק בקרבת החופים**

דוגמאות לסיכונים : 4 – מסילת הברזל בדרום חיפה

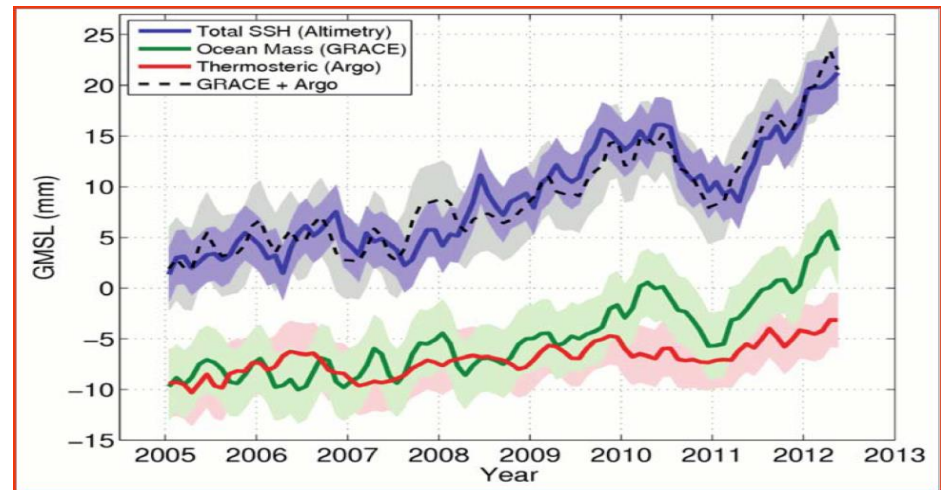
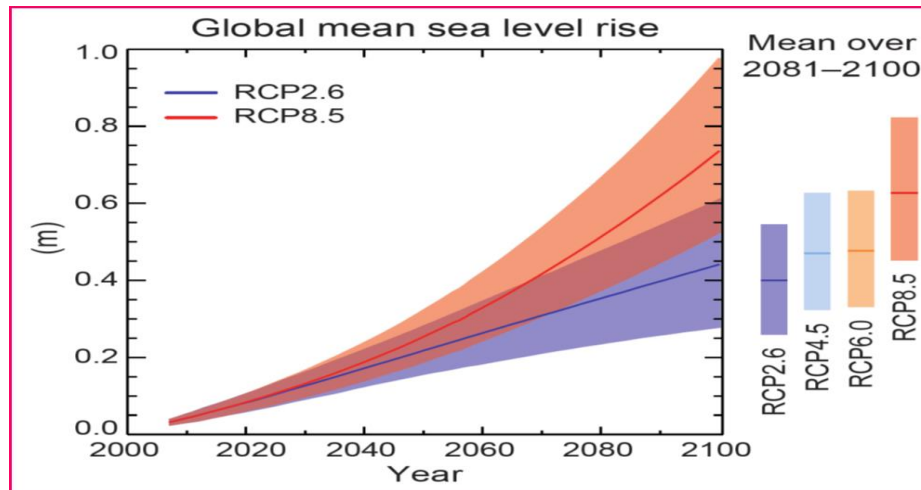


פוטנציאל לנזק דומה עקב צונאמי באזור תחנת הרכבת חוף הכרמל, באזור נמל חיפה, ובאזור חופי כפר גלים ועתלית

הנזק למסילות הרכבת בסרי לאנקה עקב הצונאמי באוקיאנוס ההודי ליד תחנת הרכבת ב- Paiyagala, Sri Lanka

סיכוני שינוי האקלים: עליית מפלס הים ושכיחות סערות קיצון

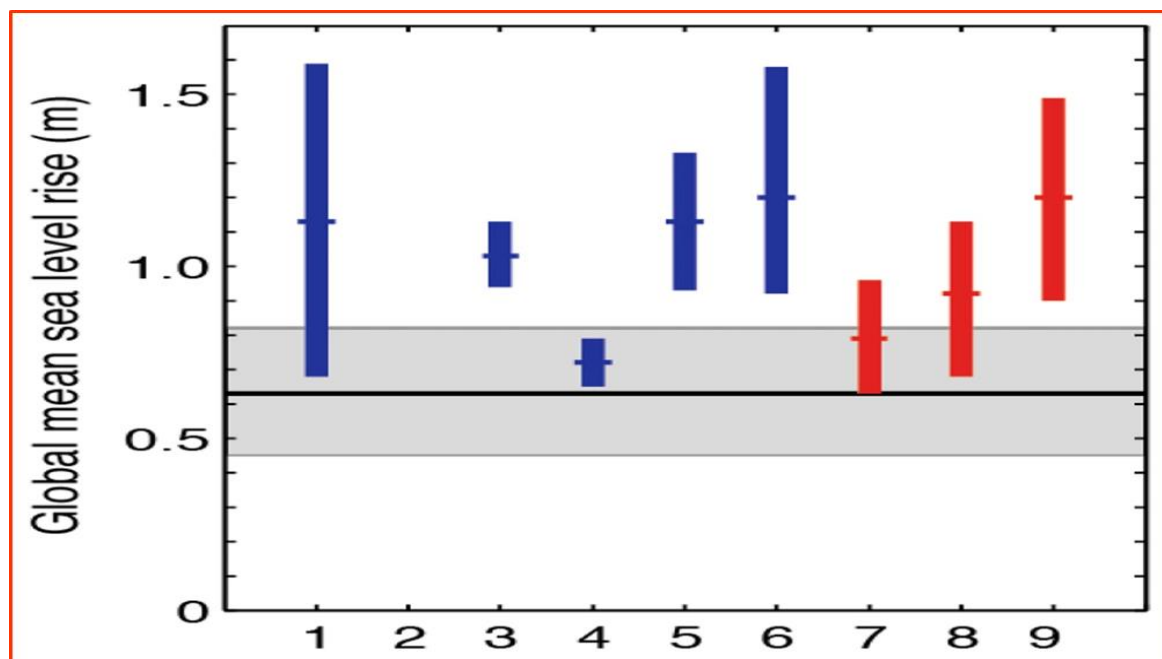
הדו"ח החמישי של הפאנל הבין-ממשלתי להערכת השפעות שינוי האקלים עקב ההתחממות הגלובלית (IPCC, 2013), מדווח על עליית מפלס ים עולמית ממוצעת של כ-3.2 מ"מ בשנה בין 1993 עד 2010, ובהצטבר לשנת 2100 בממוצע עולמי עד 0.98 מ' (ממוצע של 0.63 מ' וטווח 5% עד 95% הסתברות של 0.45 מ' עד 0.82 מ') על פי תרחיש ההתחממות המחמיר RCP8.5 (מ-4 תרחישים) על בסיס מודלים גלובליים.



גרף עליית מפלס הים העולמי הממוצע בין 2005 ל-2012 ממדידות אלתימטריה (הקו הכחול באיור הימני). שינויים במסת האוקיינוסים מוצגים בירוק (על פי מדידות לוויני GRACE) והשינויים במפלס הים כתוצאה מחימום ושינוי הנפח מוצגים בקו האדום (על בסיס מדידות ARGO). הקו השחור מייצג את סכום תרומות שינוי מסת האוקיינוסים ושל התחממות והתפשטות נפח מי הימים

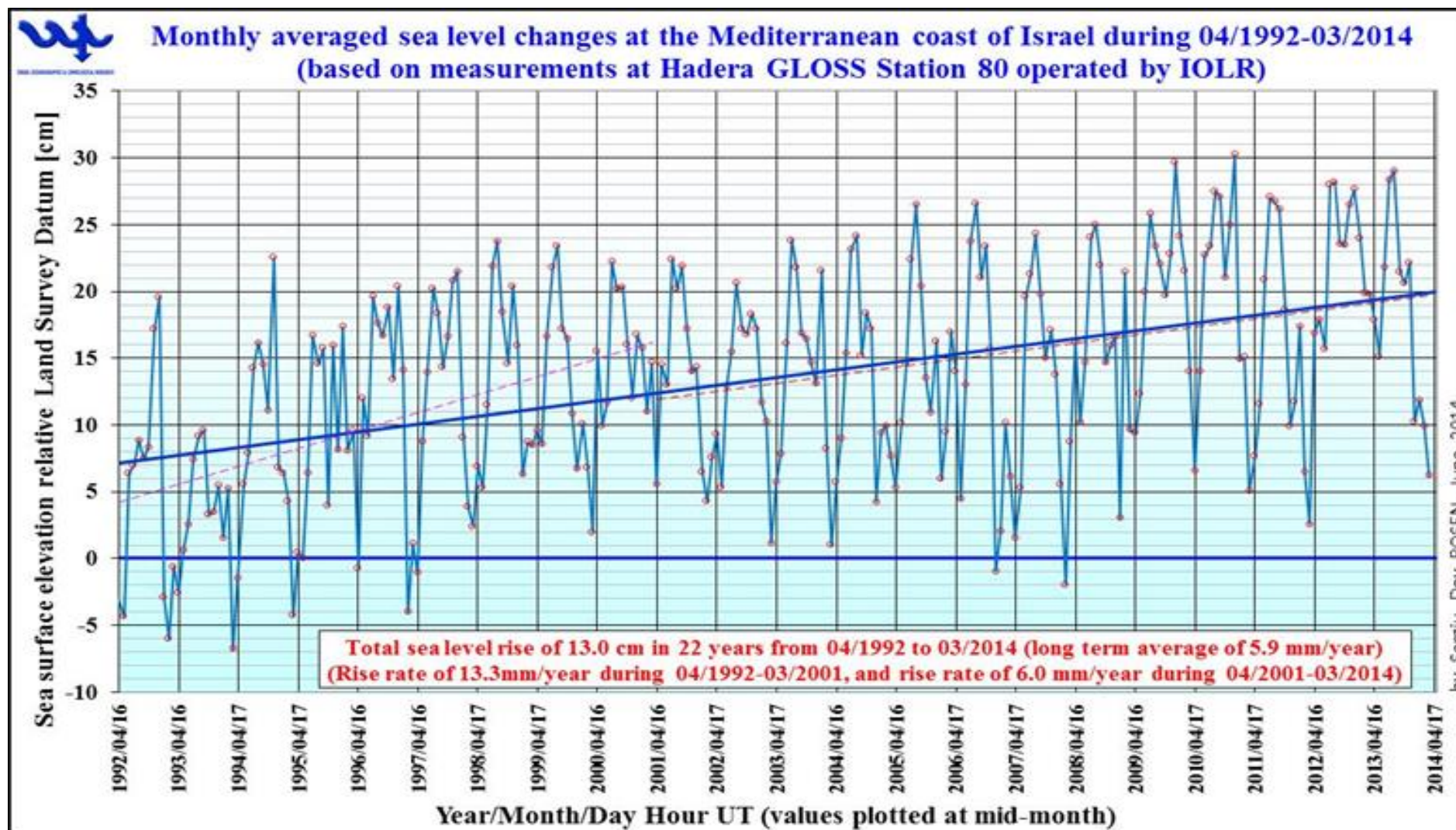
סיכוני שינוי האקלים: עליית מפלס הים ושכיחות סערות קיצון

לעומתם, על פי שיטת הקורלציות הסטטיסטיות בין עליית ההתחממות העולמית למפלס הים הממוצע העולמי (גם כן על פי RCP8.5) מפלס הים העולמי הממוצע ב-2100 יהיה כ-1.2 מ'.



Median and range (5 to 95%) for projections of global mean sea level rise (metres) in 2081–2100 relative to 1986–2005 by semi-empirical models for RCP 8.5. Blue bars are results from the models using RCP (Representative Concentration Pathway) temperature projections, red bars are using RCP radiative forcing (RF). (IPCC 2013, Fig. 13.12)

סיכוני שינוי האקלים: עליית מפלס הים בחוף הישראלי



שינוי מפלס הים החודשי הממוצע בין 04.1992 עד סוף 03.2014 בתחנת GLOSS מס' 80 של חי"ל בקצה מזח פריקת הפחם בחדרה (עלייה של 13.0 ס"מ במפלס פני הים ב-22 השנים ההידרוגרפיות האחרונות, כלומר עלייה של כ- 5.9 מ"מ\שנה בממוצע רב שנתי)



אומדן ההשפעות של עליית מפלס הים בחוף הישראלי

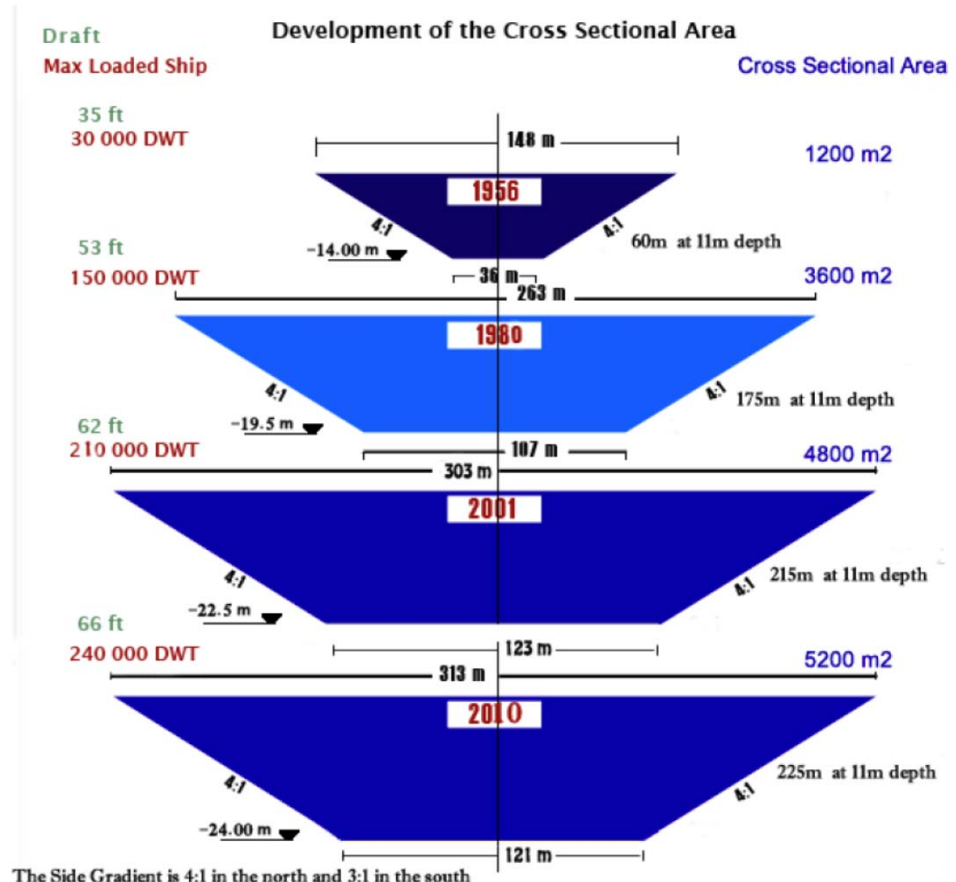
קצב העלייה הגבוה יותר בחופי ישראל מוסבר ע"י המחבר בעיקר ע"י השפעה אנטרופוגנית - העמקת והרחבת תעלת סואץ מאז תחילת שנות ה-1990.

היא גרמה לכך שכיום ובעתיד תעלת סואץ הינה הנהר הגדול ביותר הזורם לים התיכון, בהכניסו כמות של כ-100 עד 120 מיליון ק"מ³/שנה. המים הנכנסים לים התיכון הם מלוחים וחמים יותר מאלה שבים סוף וגם מאלה שבים התיכון, עקב התמלחותם הניכרת וחימומם במעברם בתעלת סואץ, באזור האגמים המרים (Rosen, 2013).

אלמנט זה הביא לעלייה במליחות מי הים בדרום-מזרח הים התיכון, ולתוספת נפח מלח, שהביאה לעלייה של מפלס הים, תופעה שהוסברה ע"י (Jordà and Gomis, 2013).

השינוי בגודל חתך הזרימה של תעלת סואץ בזמן (1869 – 2010)

ITEM	UNIT	1869	1956	1962	1980	1994	1996	2001		2010	
Percentage increase										1869-2001	
WIDTH AT 11M DEPTH	M	44	60	90	160	210	210	210	477%		
MAX DRAFT OF SHIPS	FEET	22	35	38	53	56	58	62	282%		
OVERALL LENGTH	KM	164	175	175	190.25	190.25	190.25	190.25	116%		
DOUBLED PARTS	KM	-	29	29	78	78	78	78	269%		
WATER DEPTH	M	10	14	15.5	19.5	20.5	21	22.5	225%	24	
CROSS SECTIONAL AREA	M2	304	1100	1800	3600	4300	4500	4800	1579%	5208	
MAX. TONNAGE (DWT)	TON	5000	30,000	80,000	150,000	180,000	185,000	210,000	4200%		



סיכוני שינוי האקלים: עליית מפלס הים ושכיחות סערות קיצון

- במסגרת התסקיר הסביבתי של הרחבת נמל חיפה ונמל המפרץ, המחבר אמד את עליית מפלס הים בחוף הישראלי בים התיכון לשנת 2040 ב-0.5 מ' וב-1.0 מ' ל-2100 לעומת מפלס הים ב-1992 (רוזן, 2010).
- על פי הדו"ח ה-5 של IPCC, בעשורים המוקדמים של המאה ה-21 סביר לצפות ולקראת סוף המאה סביר מאוד לצפות לעלייה בשכיחות וְאו בערכים של מפלסי ים גבוהים קיצוניים.
- שינוי האקלים צפוי לגרום גם לעלייה בשכיחות סערות גלים נדירות, אך השינוי האזורי לא נבחן לעומק לגבי מזרח הים התיכון ועדיין לא ברורה מידת השינוי וקצבו, אך קיים אומדן אירופי הצופה עלייה בכ-5% עד 10% בשכיחותם ל-2100.

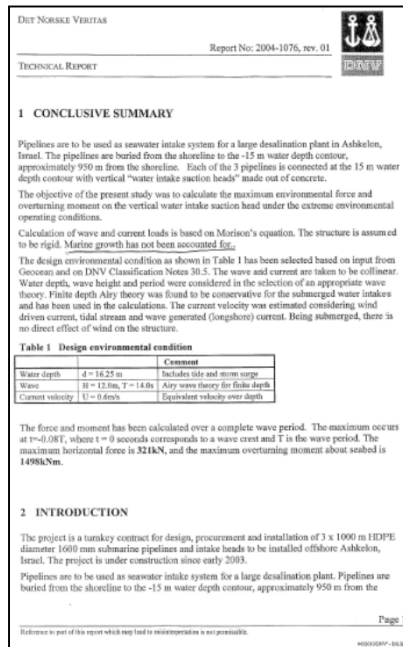
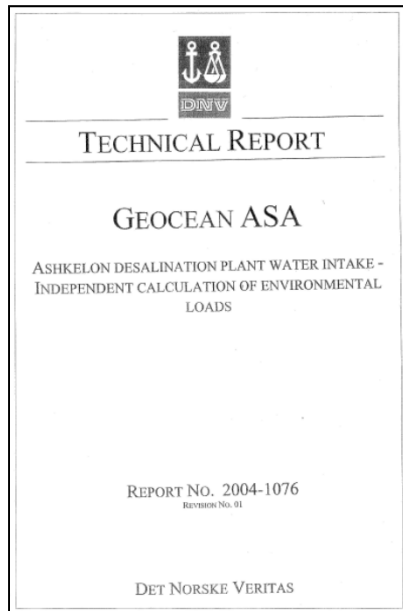


Table 1 Design environmental condition

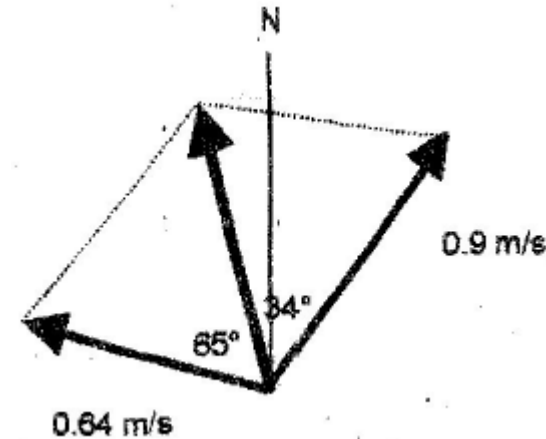
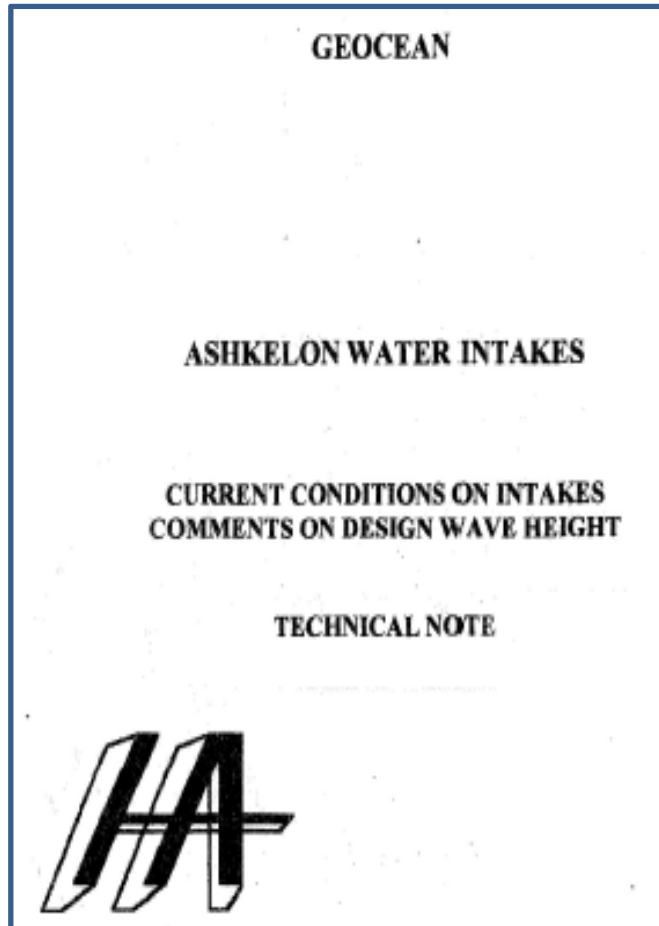
		Comment
Water depth	$d = 16.25 \text{ m}$	Includes tide and storm surge
Wave	$H = 12.0\text{m}, T = 14.0\text{s}$	Airy wave theory for finite depth
Current velocity	$U = 0.6\text{m/s}$	Equivalent velocity over depth

The objective of the present study was to calculate the maximum environmental force and overturning moment on the vertical water intake suction head under the extreme environmental operating conditions.

The design environmental condition as shown in Table 1 has been selected based on input from Geocean and on DNV Classification Notes 30.5. The wave and current are taken to be collinear. Water depth, wave height and period were considered in the selection of an appropriate wave theory. Finite depth Airy theory was found to be conservative for the submerged water intakes and has been used in the calculations. The current velocity was estimated considering wind driven current, tidal stream and wave generated (longshore) current. Being submerged, there is no direct effect of wind on the structure.

ערכי התכן לראשי היניקה באשקלון לפי חו"ד (2004) Det Norske Veritas





4.2.7 - Total current

As a total current, we have to consider:

- the general current : 0.3 m/s direction 34°
- we may neglect tidal current
- longshore current : 0.6 m/s direction 34°
- cross shore or wave drift current on intake pipe 0.64 m/s offshore direction.

Wave orbital velocity has a different status and has to be treated in wave forces calculation.

Resulting current on intake pipe is the summation of the two components, general current + longshore current parallel to coast and undertow current cross shore. The resulting current vector is 1.05 m/s direction 355°N.

ערכי התכנון לזרם לראשי היניקה באשקלון לפי יעוץ HydroAssistance (2004)



מסקנות לגבי היבטים תכנוניים לגבי תכן מתקני ניקוז ומתקני יניקה

- בדומה לצנרת ימית, בעת עליית מפלס פני הים ע"י גל הצונאמי, יוצר גרדיאנט זרימה שלילי, כך שבמקום שהזרימה תהיה הימה, הזרימה תהיה לכיוון בית השאיבה ויכולה לסתום אותו בסחף. מאידך, גם כאן יכולה להיות בעיית שרידות עקב כוחות גרר ועילוי גבוהים בכמה מונים לעומת התכן הרגיל. הדבר יכול לשתק ניקוזים שונים ולגרום הצפות בחוף. התקינה הקיימת שוב אינה מכסה היבט זה.
- לכן, מומלץ לבצע הדמיות פרטניות מפורטות כולל סחף על מנת לאמוד נכון את מידת הנזק הצפויה ולאור התוצאות להחליט על אמצעי המיגון הדרושים.

היבטים תכנוניים לגבי מבנים ואלמנטים נושאי עומס

- במקרה של הצפה, התברר כי מבנים שונים באזור ניו אורלינס קרסו. התברר שהסיבה היתה כי הקורות הנושאות תוכננו למצב של עומס מעליהם אך לא למצב של כוחות עילוי.
- כתוצאה מכך, התהפך מהלך המומנטים, ובמקום שהיה צפוי לקבל כוחות מתיחה התקבלו כוחות לחיצה וההיפך במקומות הלחיצה. אבל, בטון רגיל עומד טוב בלחיצה אך אינו עומד כלל במתיחה.
- כדי לפצות על כך מניחים מוטות פלדה, אך מאחר והתקינה לא דרשה להכניס מספיק ברזל גם באזורי לחיצה למקרים של התפתחות מתיחה, הבטון קרס ועימו המבנה הנתמך.

מסקנות לגבי פגיעות מתקני תשתית בים ובחוף

• בעומקי מים של בין כ-70 מ' עד כ-15 מ', קיימת ייתכנות לתופעות התנזלות בקרקעית הים ו\או עקב גריפה של שכבת החול המכסה בקרקעית הים עקב רעידות אדמה, גלי רוח בסערות חזקות ובעת צונאמי שעלולים לסכן צנרת ימית מוצבת על פני הקרקע או בתוך קרקעית הים. התנזלות יכולה גם לגרום לשקיעות הפרשיות וקריסת שוברי גלים או מבנים ימיים עם ביסוס רדוד.

• בעומקי מים רדודים מ-30 מ' הצונאמי מתבטא לא רק בעליית גובה אלא גם ביצירת זרימה מאוד חזקה בקרוב $V=(g*d)^{0.5}$; לעומקים מעל 10 מ' $V < 10$ מ\שנ'

• תתכן פגיעה במקטעים של מסילת הרכבת הנמצאת בקרבת שפת הים.
• צפויה פגיעה במוצאים הימיים ובמתקני היניקה של תחנות הכח וכן בנמלים ובמעגנות.

• קיים סיכון מהעמקת תעלת סואץ בגלל הגברת הזרימה שצפויה לחתור בבוהן המצבור ולגרום לגלישה של חומר בלתי מלוכד ולצונאמי

סיכום מסקנות לגבי פגיעות מתקני תשתית בים ובחוף

- המשך עליית מפלס הים תקטין את גרדיאנטי הזרימות בנחלים ובמוצאים הימיים באירועי גשמי שיטפונות ועלולה לגרום שיטפונות.
- לעלייה זאת חזויה להצטרף עלייה נוספת בו-זמנית בעת סערות גלים ורוחות מערביות, שחלקם מתרחשות בחפיפה עם הגשמים. כמו כן עליית מפלס הים תגרום להגברת המלחת מי התהום באקוויפר החוף ולארוזיה ונסיגת החופים.
- שינוי האקלים צפוי לגרום גם עלייה בשכיחות סערות נדירות ולחייב להגדיל את גובה גל התכן עבור מבנים חופיים עתידיים ולהוצאות מוגדלות בהקמת ותחזוקת מבנים ימיים.
- מדידות בתחנת חיא"ל בחדרה ב-21 השנים האחרונות (תחנה ראשית ברשת העולמית GLOSS) מראות קצב עלייה ממוצעת של כ-6 מ"מ\שנה, כפליים מהעולמי. חלק ניכר מהעלייה הגבוהה יותר בחוף הים תיכוני של ישראל מיוחס ע"י המחבר להשפעות האנטרופוגניות של העמקת והרחבת תעלת סואץ מאז שנות ה-1990.

סיכום מסקנות לגבי פגיעות מתקני תשתית בים ובחוף

- בדומה לעובדה כי עד לאחרונה (12.2004) לא היתה מודעות לסיכון האמיתי מצונאמי בים התיכון, למרות הכמות הגדולה של אירועים שהיו עד אז בים התיכון ולנזקים החמורים שגרמו, גם התכנון ההנדסי של מבנים ימיים בחוף ובים לא התחשב בפועל מקיומו של סיכון זה המגדיר מצב תכנון לשרידות חדש.
- מצב זה כולל זרימות במהירויות גדולות בהרבה מאלה שמקובלות בחישובים הנדסיים, יצירת לחצים גדולים מהמקובל לחשוב כי עלול להתפתח במצבי שרידות (כולל לחצים דינמיים), ובהתאם גם כוחות ומומנטים גדולים יותר.
- בנוסף, במצבי הצפה מתפתחים כוחות עילוי שכלל לא נלקחים בחשבון בדרך כלל על פי התקינה הקיימת בארץ ובאירופה.
- קיים חשש שיש לבדוק, כי תיתכן הגדלת הסיכון לרעידות אדמה עקב הפקת הגז בים - ראה מחקר שמנהל ה-EPA בנדון בארה"ב.

סיכום המלצות ליישום למניעת פגיעות מתקני תשתית בים ובחוף

- יש צורך לערוך לבדיקה של כושר הניקוז המרבי של הנחלים והנקזים (לפחות העיקריים) בחופי ישראל בים התיכון בתנאי מפלס ים מורם מבלי לגרום להצפות, ולהכין וליישם פתרונות למצבי הניקוז הבעייתיים בתנאי מפלס הים מורם.
- המחבר זיהה סיכונים עד רמת אי שרידות לראשי היניקה של מתקני ההתפלה הקיימים ושל מבני מזחי פריקת הפחם והגשרים המובילים לחוף, כמו גם למבנים חופיים שהוקמו בקרבת החוף על כלונסאות עקב היווצרות זרמים בעת צונאמי, המהירים בהרבה (כ-10 מ'שנ' ויותר) מאלה שנלקחו בתכנונם. לכן, נדרש להיערך להבטחת שרידותם גם בתנאי קיצון כאלה ע"י יישום פתרונות מיגון וחיזוק.
- יש להיערך להכנת תקינה ישראלית שתתחשב בסיכונים שהוצגו כאן, שלא נכללים בתקינת הבנייה הקיימת בארץ
- יש לבצע פעילות חינוכית של הציבור לשם הגברת המודעות לסיכונים שהוצגו כאן

**תודה על ההקשבה
וברכות לשנה טובה!**



ASHKELON WATER INTAKE

WAVE INDUCED FORCES

CALCULATION NOTE

Drag force

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d S U^2$$

U = horizontal velocity

Cd = drag coefficient,

S = surface (z . D)

Inertia force

$$F_i = \rho C_m V \delta U / \delta t$$

Cm = Inertia coefficient

The current existing close to the bottom, with actual surfing waves, flows in an opposite direction to the wave. As it reduces the drag force, we do not take it into account in a conservative approach.

The maximum height to be encountered in way of the intake will be limited by the surfing criteria (Hc), as the deep sea height (H°) of waves which will surf by 16.25 m depth is lower than the Hmax (1/100 yrs) of 14.6.

The Hc values, calculated for non rotational swell with low slope bottom are as follows:

H° (Deep sea)	m	12.8	12.8	12.8	12.7
Hc (at intake loc.)	m	12.4	12.7	13	13.2
T	s	12	13	14	15

These values of Hc will be used to calculate the maximum forces applied on the intake.

4. FORCES AND MOMENTS

Maximum forces are forces originating from action of surfing waves, they are calculated using Morison equation and Stokes first order wave model.

The maximum velocity values increase with the wave period while the maximum acceleration values increase while the period decreases.

We therefore have considered two surfing waves having periods of 12 s and 15 s respectively and two roughness conditions of the intake (smooth and rough) associated with relevant drag and inertia coefficients.

All values are expressed in SI system (m, m/s, m/s², N, mN)

The corresponding drag and inertia forces and corresponding moments are as follows:

Drag force

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d S U^2$$

U = horizontal velocity

Cd = drag coefficient,

S = surface (z . D)

The value of the drag coefficient is the one recommended by API according to relative surface roughness "e", we assume e = 2 10⁻⁴ for smooth condition and e = 0.02 for rough condition.

Extreme values are Cd = 0.7 for smooth condition and 1.1 for rough condition (API C2.3.1.4)

The drag coefficient is assumed to be slightly higher for the upper part, where openings and internal webs provide an added drag resistance.

The current existing close to the bottom, with actual surfing waves, flows in an opposite direction to the wave. As it reduces the drag force, we do not take it into account in a conservative approach.

Inertia force

$$F_i = \rho C_m V \delta U / \delta t$$

Cm = Inertia coefficient

Considering the high value of the Keulegan-Carpenter number (K = 30), the Cm value considered is 1.2 for the rough condition and 1.8 for the smooth condition. (API C2.3.1.8)

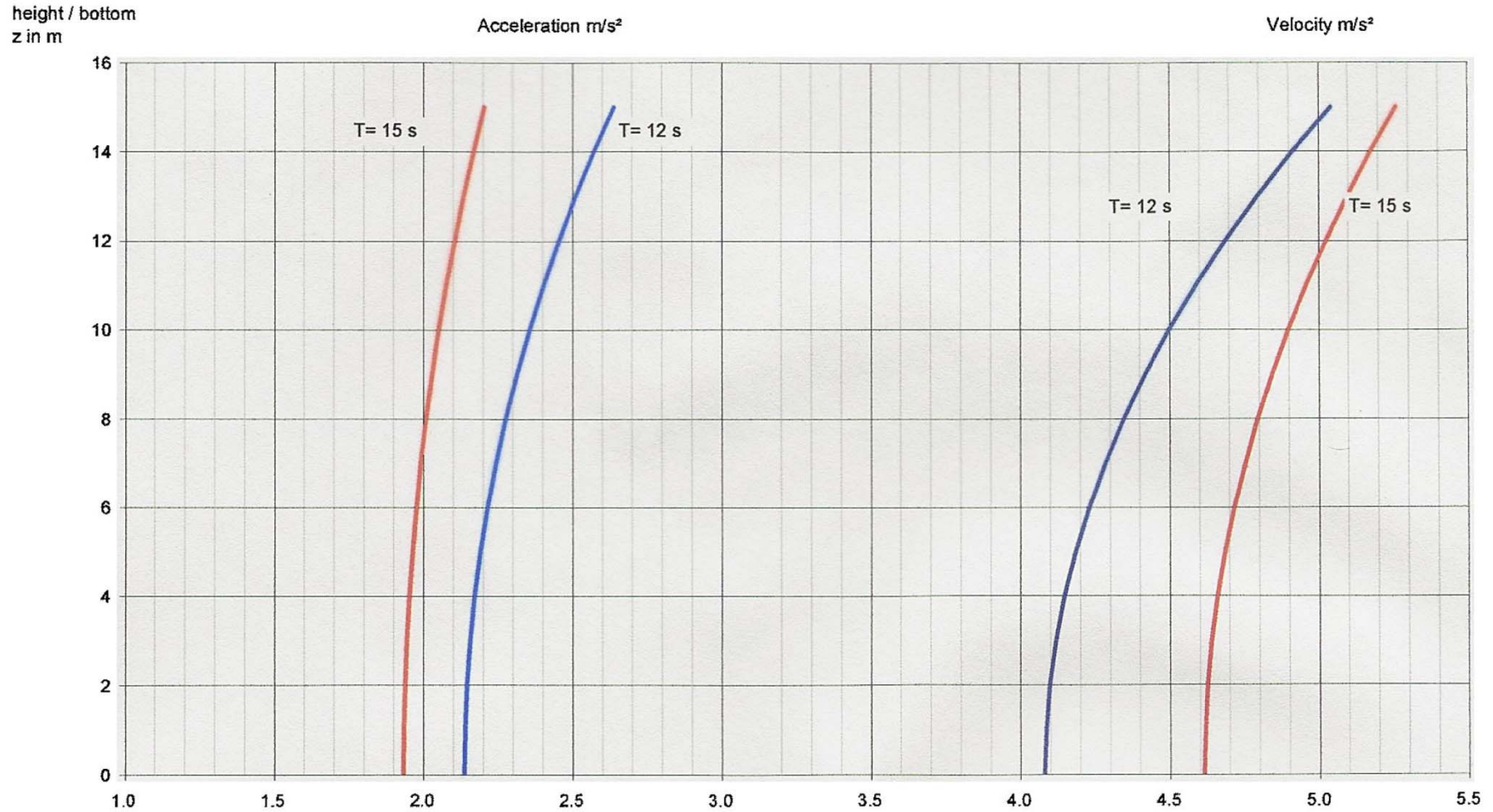
These values are recommended by API for K/Cd > 17, and the actual value for the intake is K/Cd = 27.

ערכי התכן לראשי היניקה באשקלון לפי יעוץ Technitas (2004)

ים - חוף - רוון מהנדסים יועצים להנדסה חופית, נמלית, ימית וסביבתית - ייעוץ - תכנון - פיקוח



Horizontal velocity and acceleration for surfing waves

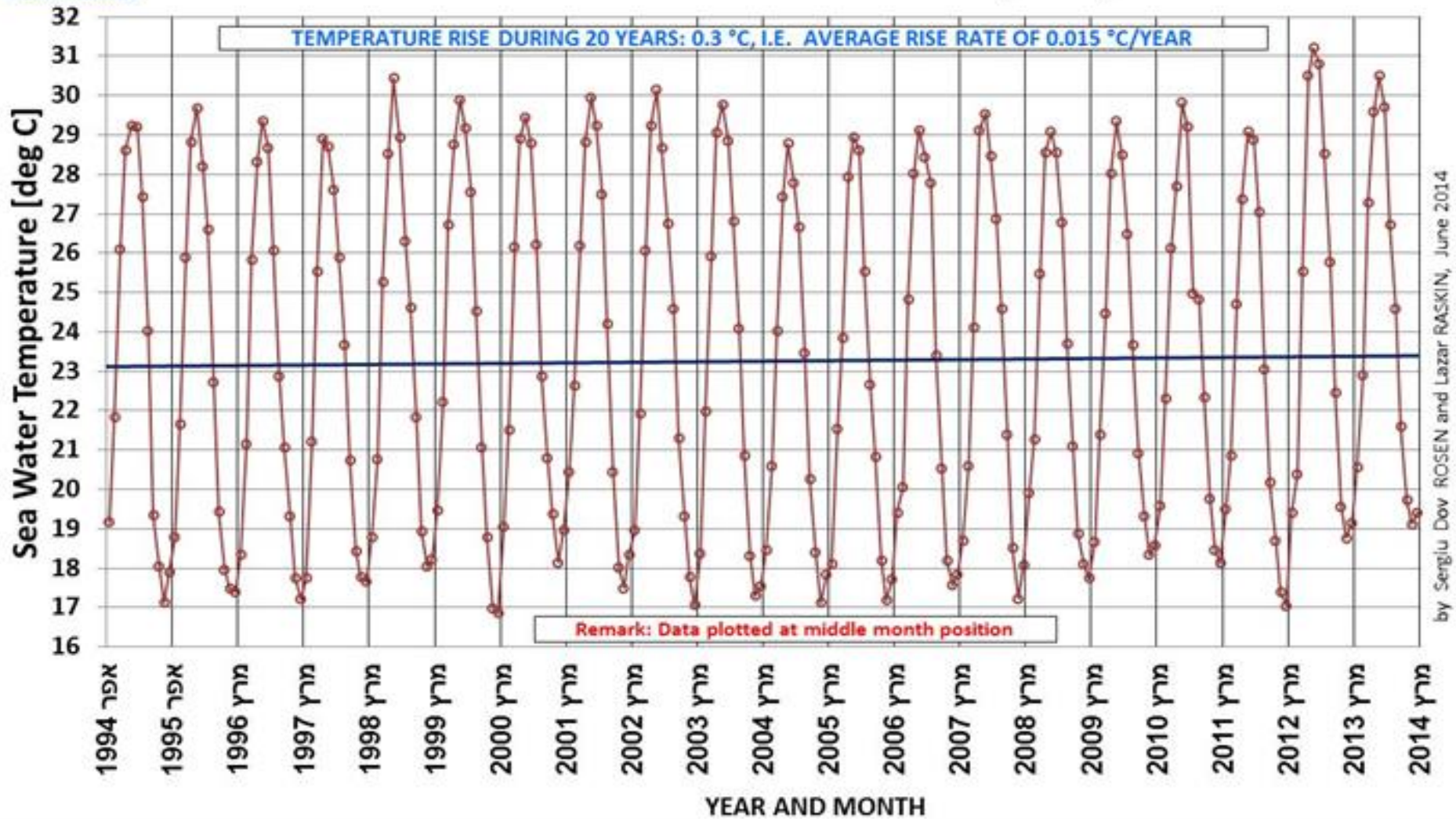


ערכי התכן של המהירות והתאוצה לראשי היניקה באשקלון לפי Technitas





MONTHLY AVERAGES OF SEA WATER TEMPERATURES DURING 04/1994-03/2014
 based on measurements at GLOSS Station 80 - Hadera, Israel, 2.1km offshore



בחינת הסטוריית תנודת הטמפרטורה החודשית הממוצעת של מי הים מול חופי חדרה, בקו עומק 26 מ', בתקופה 04/1994-03/2013 על בסיס שנתי

