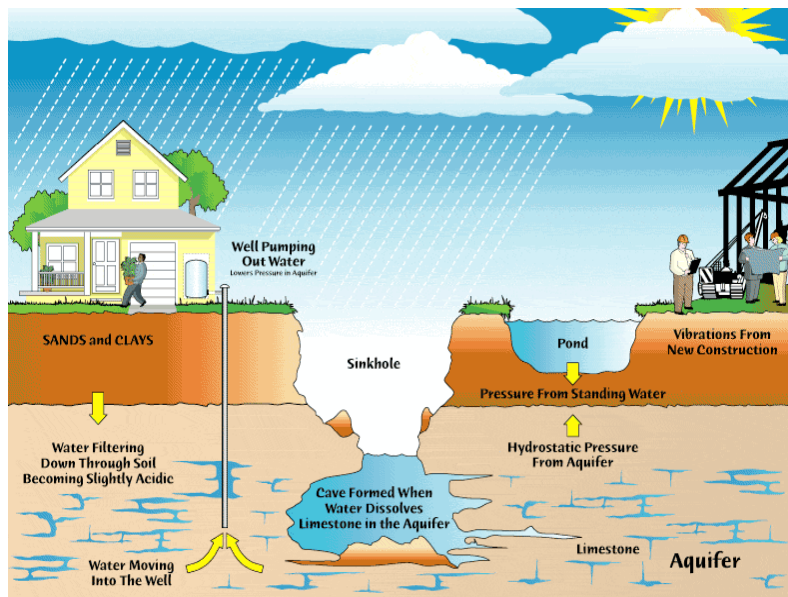


גילוי בולענים, הערכת מצבם וניטור גבי שואף

הרצאה זו ניתנה בכנס של מזרח אירופה לבדיקות לא הורסות, שהתקיים בבולגריה בתאריכים 16-20.06.2013

כללי:

הבולען הוא חלל בחלקה העליון של הקרקע אשר נוצר בשל סיבות הקשורות לשכבות קרקע גיריות ומסיסיות. גודלו יכול להיות מ-1-600 מטר בקוטר ועומק. הם יכולים להתהוות במשך זמן רב או בפתאומיות.

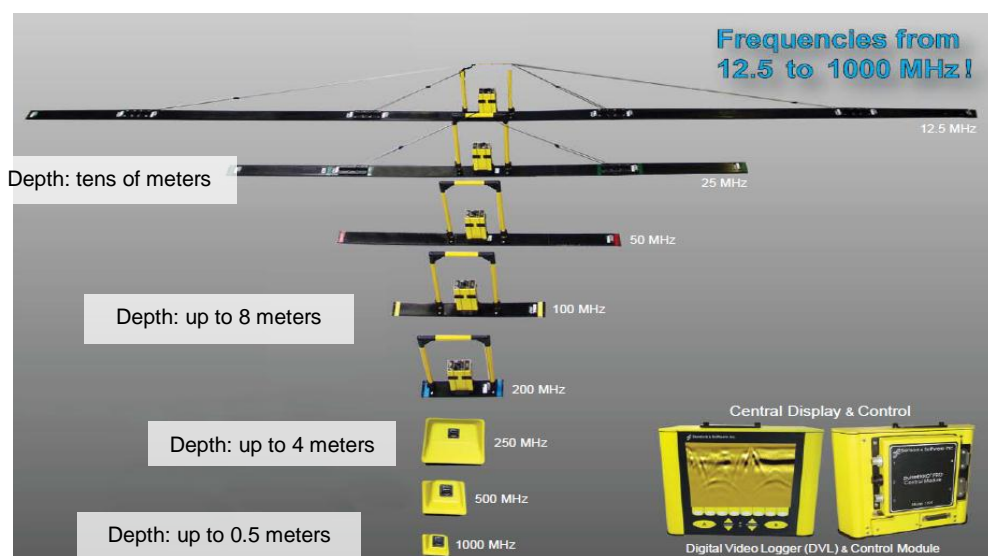


הבולענים בישראל בדרך כלל מופיעים קרוב לים המלח ונוצרים בקצב של כמה מאות בשנה. הם גורמים לנזקים כבדים בתשתיות, מבנים, גשרים ודרכים. בשטח שקרוב לים המלח ישנן שכבות של מלח המתהוות מתחת לפני הקרקע. פני המים של הים יורדים כל שנה בקצב של 1.5 מטר, דבר אשר מגדיל את הסיכויים להיווצרותם של בולענים. מי הגשמים שוטפים את שכבות המלח אל הים, וכך נוצרים חללים. חלק מהם נפתחים במשך הזמן לפני הקרקע. בשנות ה-80 נתגלו כ-1000 בולענים. בשנת 2008, נתגלו כ-2500 בולענים חדשים כשקצב התהוותם גדל, כאמור בשל ירידת מפלס המים של ים המלח.

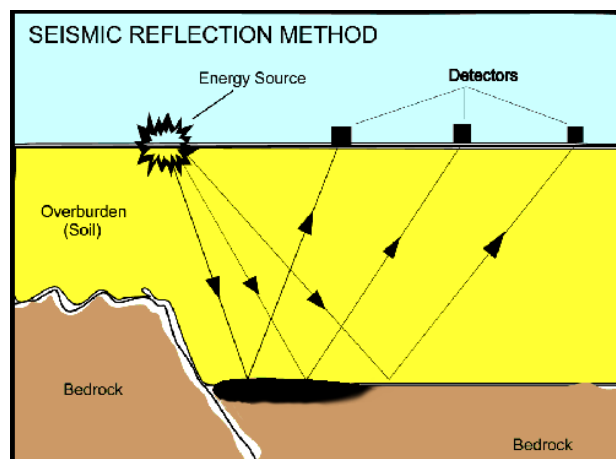
קיימות שיטות שונות לגילוי הבולענים וביניהן:

- **שיטות ויזואליות**- שקיעת אובייקטים, סדקים על פני הקרקע, סדקים או דליפות של מים במבנים ותשתיות. תופעות אלו ניתנות לגילוי במיוחד לאחר שטפונות, הצפות וגשמים חזקים.

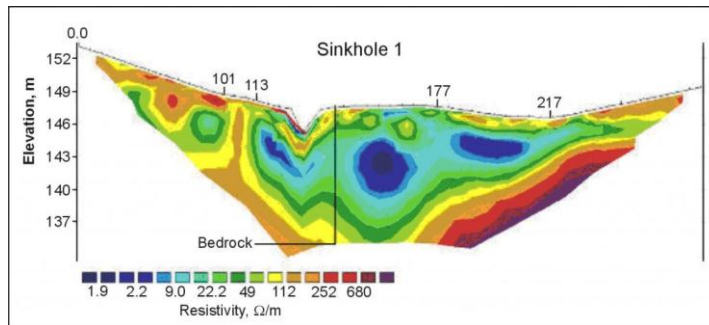
- קידוחים אל עומק הקרקע - שיטה זו הינה מאוד יעילה, אך גם יקרה ביותר ודורשת כמות גדולה של דגמים. הדרך היעילה הינה לשלב אותה עם שיטות הנדסיות אחרות.
- GPR (Ground Penetrating Radar) – זוהי שיטה גאופיזיקלית המשתמשת בפולסים של רדאר שיוצרים את הדמות שאותה צריך לפענח. בשיטה זו משתמשים בגלים אלקטרומגנטיים בתחום הסנטימטרי ופגמים הנמצאים בדרכם מחזירים את הגלים וכך מתאפשרת אינדיקציה. בשיטה זו ניתן להשתמש בתווך כמו סלעים, אדמה, קרח, מים, אספלט ומבנים וניתן לגלות שינויים כגון חללים, סדקים ועוד.



- החזרות סיסמיות – משתמשים בעיקרון של החזרי גלים כדי לגלות את המבנה של שכבות הקרקע, חללים או שינויים אחרים הנמצאים בתוכם. לכל שכבה תכונות המשנות את האימפדנס האקוסטי שלה ובהתאם החזרי הגלים הנקלטים ע"י מגפונים. לאחר עיבוד התמונה, ניתן ליצור חתך של שכבות הקרקע וגילוי חללים.



- התנגדות חשמלית - שיטה זו מודדת את ההתנגדות החשמלית בקרקע. התנגדות זו משתנה בגלל ההרכב השונה וכן בגלל תכולה אפשרית של זיהומים ומרכיבים אחרים בקרקע. בשיטה זו ניתן לגלות עומק וליצור (B SCAN) תצוגה טומוגרפית של חתך הקרקע. המדידות נעשות מעל הקרקע באמצעות קריאות המתקבלות מאלקטרודות התקועות בקדחים.



- מידת כח הכבידה של כדור הארץ - בשיטה זו מודדים את משיכת האדמה המשתנה מחלל שהוא קרוב על פני הקרקע. יחידות המדידה הינם גל – GAL (גלילאו)

$$1 \text{ cm/Sec}^2 = 1 \text{ Gal}$$

דיוק המדידה יכול להגיע ל- μGal . משיכת אדמה יורדת ב-0.3 mGal לכל מטר של גובה.

מכשיר למדידת כח הכבידה	גרף מדידות של כח הכבידה

המדידה נעשית באמצעות מכשיר הנקרא גרבוטר שבו כדור מופל בתוך תא ואקום. מכשיר זה עושה שימוש בלייזר אינטרפרומטר הקובע במדויק את אורך הגל. הכדור מיוצב ע"י קפיץ שגורם לבידודו הסיסימי. שימוש בשעון אטומי (צזיום 137) מאפשר בצוע מדידה מדויקת של זמן נפילתו. בעקומה למעלה ניתן לראות סדרת מדידות שנעשתה במשך יממה. כל קו אנכי מסמל 100 הפלות ופיזור התוצאות ב μGal . דיוק המדידה גבוה ביותר. ניתן לראות את השינויים בגרביציה החלים על כדור הארץ בגלל משיכת הירח.

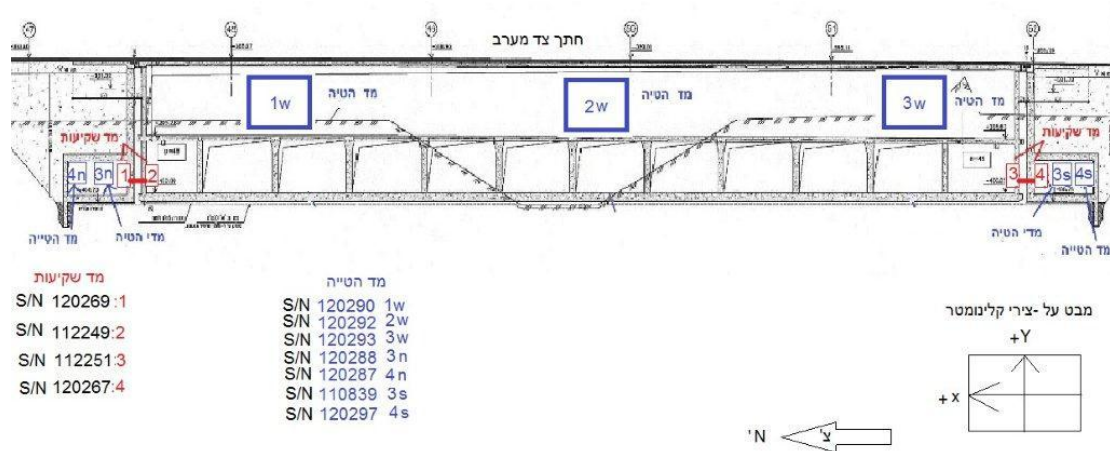
תיאור בדיקת גשר עין גדי וניטורו להשפעת בולענים: (חקר המקרה)

גשר עין גדי ממוקם על וואדי הנשפך לים המלח. מיקומו מעל אזור בו ישנם בולענים רבים. גשר זה עומד על מבנה רפסודה, אורכו 90מ', רוחבו 9מ' וגובהו 4.5מ'.



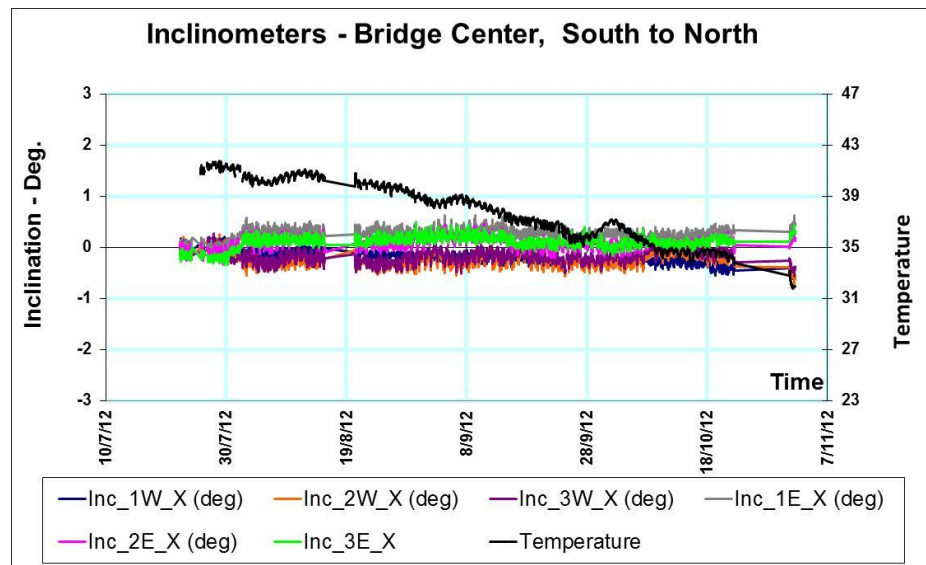
מספר שנים לאחר בנייתו התהוו סדקים בין מרכז הגשר לאחד ממרכיביו הצדדיים. החברה הלאומית לדרכים מחליטה להתקין גלאים אשר יפעלו בזמן אמת ויתריעו על התרחבות הסדקים. חברת גבי שואף זכתה בפרויקט והתקינה מס' סוגים שונים של גלאים כמפורט להלן:

1. גלאי שקיעות – מבוססים על העיקרון הכלים השלובים. גלאים אלו הותקנו במקומות שונים בגשר לשם מדידת שינויים אנכיים ויחסיים בהתייחסות לנק' אפס. רגישותם הינה 0.01 מילימטר, תחום המדידה בין 0-4 מילימטר, דיוק- $0.1 \pm$ מילימטר.
 2. גלאי הטיית - גלאים אלו מבוססים על עיקרון הפעולה של מיתר מרעיד (Vibrating Wire) ותפקידם הינו למדוד תזוזות זוויתיות לאנך. רגישותם 0.001 מעלה, תחום המדידה $10 \pm$ מעלות ודיוקם פחות מ-0.1 אחוז.
- שני סוגי הגלאים תוכננו לפעול בזמן אמת לתקופה ארוכה. גלאי טמפרטורה הותקנו לצורך קיזוז השינויים שבמקורם בשינויי טמפרטורת מאלה המתהווים בבסיס הגשר.



תוכנית הגשר ומיקום הגלאים השונים

תוצאות- תוצאות המדידות שנעשו עד כה במשך התקופה המדוברת, נותנות מידע שוטף עליו החברה הלאומית לדרכים, מזמינת הניטור עוקבת באופן שוטף.



בעקומה למעלה ניתן לראות תוצאות של שינויים במשך כחצי שנה.

תודתנו נתונה למהנדסים מיכאל שיגול ולאוניד קירשנר מהחברה הלאומית לדרכים על שיתוף הפעולה בביצוע פרויקט זה.