

גישור על בולענים באמצעות יריעות שריון בעלות מודל אלסטיות גבוה

אזרחית ובשיווק מוצרים לפתרונות אלה, שהם בעיקר יריעות ורשתות גיאואסינטיטיות בעלות חוזק מתיחה גבוה בעיבור* נמוך. בין שאר מוצרי החברה כלולות יריעות לאיטום, הפרדה, ייצוב ושריון. היריעה שהונחה ב-2002 אז על כביש 90 ושימשה מעין גשר מעל לבולען שמתחתיו, מחזיקה מעמד עד היום. אולם הסכנה להתהוות פתאומית מסוכנת של בולענים נוספים מרחפת מעל קטעים אחרים בכביש 90 לאורך חופי ים המלח גם כיום וטרם נמצא לה פיתרון.

לאור זאת החליטה לאחרונה החברה הלאומית לדרכים (יורשתה של מע"צ) לסלול בקטע הסמוך לשמורת עין גדי בלבד, כביש עוקף חלופי זמני, שנתבנו יעקוף את כביש 90 ממערב, בגבול שטח השמורה. הוא מתוכנן לאפשר נסיעה בטוחה של כלי רכב באיזור זה, ללא חשש שבולענים יפערו בו לפתע



אנשי מע"צ בודקים בולען שהתגלה בכביש 90

ויסכנו את חיי הנהגים.

על מבצע הגישור מעל הבולען שנפער בשנת 2002 בכביש 90 ועל אמצעים שניתן לנקוט גם כיום בכביש הקיים, ללא צורך בהשקעה גדולה של עשרות מיליוני שקלים בסלילת כביש עוקף זמני, מספר מהנדס דן עובדיה, שעבודת התואר השני שלו בהנדסה אזרחית בטכניון הייתה בנושא הבולענים:

"בולען הוא תופעה בה נוצרים חללים עמוקים בקרקע כתוצאה מאחד מהגורמים הבאים: גורמים טבעיים כגון אירוויית קרקע, היווצרות מערה קרסטית וכו'; או גורמים מלאכותיים, שנגרמים עקב התערבות אנושית, כמו שאיבת מים, כריית מכרות ועוד. בשני המקרים זוהי תופעה הנוצרת מהתמוטטות קרקע בגלל היווצרות חלל מתחתה מסיבות שונות, שגודלו יכול להגיע עד לקוטר של מספר מטרים.



בולען שנפער באחד הכבישים לחוף ים המלח

בולענים הם בורות או שקעים הנפערים באופן פתאומי בקרקע בהליך טבעי, או מלאכותי, בדוגמת חלל הנוצר בתהליך איטי באזורים בעלי מסלע גירני מסיס, כתוצאה מהמסת שכבות הגיר. בעשורים האחרונים החלו להופיע בולענים בחוף ים המלח כתוצאה מנסיגת מפלס מי הים עקב ההפסקה בהזרמת מי הירדן אליו והתאיידות המים בבריכות המלח של מפעלי ים המלח. המים המלוחים שהגנו בעבר על שכבת המלח שבעומק הקרקע נסוגו ובמקומם עולים מי תהום שממסים את שכבת המלח.

מתחת לשכבה העליונה - הקרומית - שהיא שכבה יציבה, דקה ויבשה, נוצר חלל עד ששכבה זו קורסת ונוצר בולען. לפעמים זהו תהליך איטי ולעתים הקרקע מעל החלל התת-קרקעי קורסת בפתאומיות בלתי צפויה ויוצרת בולען קריסה. לפי הערכה נפערו עד

כה רק בצידו הישראלי של חוף ים המלח כ-3,000 בולענים (בהשוואה ל-40 בלבד שנמנו בשנת 1990), חלקם קטנים מאוד וחלקם גדולים, כשהיקפו של הגדול בהם הוא כ-15 מ'. יש בולענים שנפערו עד לעומק של 20 מ'. סקר שערך המכון הגיאולוגי בשנת 2009 קבע שקצב התפתחות הבולענים לאורך חוף ים המלח נע בין 200 ל-380 בולענים לשנה; ש-80% מבולעני הקריסה האלה הופיעו משנת 2000 ואילך, וכי קצב התפתחות הבולענים באיזור זה הוא, כנראה, המהיר ביותר על פני כדור הארץ. בולענים אלה מופיעים כצבירים, המוכנים "אתרי בולענים".

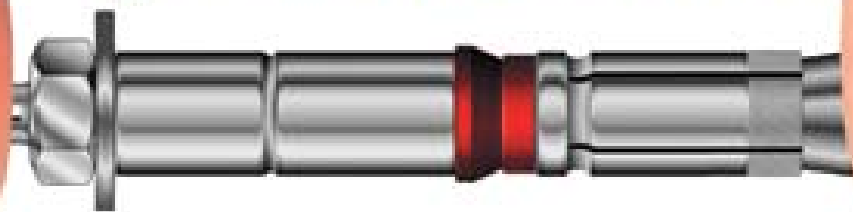
מאחר שכביש 90, הכביש הארוך ביותר בישראל הסלול מאילת ועד מטולה, עובר בחלקו כשהוא צמוד לחוף המערבי של ים המלח, קיימת סכנה מהיווצרות בולענים בכביש זה בעת שרכבים נוסעים עליו ועלולים ליפול לתוכו.

ואכן, בשנת 2002 נפער בולען בקטע מכביש 90 סמוך למטע הדקלים של קיבוץ עין גדי, שם נמצא איזור בולענים הפעיל כבר מסוף שנות ה-80 של המאה שעברה. למרבה המזל התגלה הבולען לפני שכלי רכב הגיעו אליו וכך נמנע אסון. מע"צ הוזעקה אז לתקן את החלל העמוק שנוצר בכביש. בהתייעצות עם מהנדס הקרקע דוד דוד הוחלט אז לפרק קטע מהכביש ולהניח על רצועת הדרך שפורקה מהאספלט שמעל הבולען יריעה אלסטית בעלת חוזק מתיחה של 25 טון למ"א (מטר אורך). המשימה הוטלה על חברת "אדמיר" המתמחה במציאת פתרונות גיאוטכניים בהנדסה

* עיבור (strain) הוא המעוות היחסי המתקבל בחלוקת מידתה החדשה של היריעה במידתה המקורית.



את הקיר אינך יכול לבחור
בחר במיתד הנכון!



חברת "מיתד שיווק" המוכרת בכינוי "בית הדיבל" מתמחה בייצור, יבוא ושיווק של כל סוגי הדיבלים, אמצעי עגינה ושיטות הקיבוע לענף הבניין ולמגזר הפרטי. מעל 40 שנה של מוצרים מעולים ומתן ייעוץ מקצועי

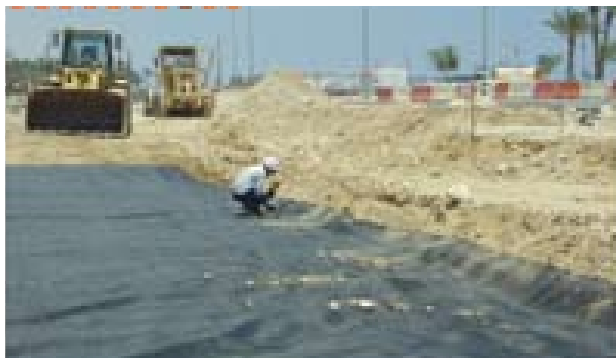


מיתד ◀ סכנולוגיות עיגון בע"מ

03-6880213
www.mytad.co.il

"פריסת היריעות נועדה למנוע נפילת רכב ו/או אנשים לבולענים כאשר יפערו בפתאומיות. היריעה חושבה לבולען בקוטר ארבעה מ' ולעומס נייד של 2 טון/מ"ר. נקבע שהיריעה תתפקד למשך חצי שנה ותגביל את השקיעה לשלושה אחוזים מקוטר איזור השקיעה [$ds/Ds < 0.03$]. השקיעה המכסימלית שנחזתה עבור בולען בקוטר ארבעה מ' הייתה כ-20 ס"מ. היריעה תאפשר קבלת התראה תוך זמן מספיק לפני ההרס כאשר סימני ההתראה יתקבלו על-ידי זיהוי ויזואלי של שקיעה בפני השטח. היריעה שנבחרה כמתאימה ביותר לגישור על פני הבולען הייתה רשת גיאוגריד מסוג 'פורטרק' העשויה PVA בעלת חוזק קריעה של $kN/m600$ בכיוון הראשי, חפיפה רוחבית של 5.0 מ' וחפיפה אורכית של 16 מ'. הבחירה ביריעה מסוג זה, העשויה מפוליויניל-אלכוהול, נעשתה משום שלפולימר זה יש שתי תכונות - עמידות כימית באיזור שבו יש פוספטים ועיבור נמוך לגיאוגריט של 5% המקטין את השקיעות בפני הכביש לחללים גדולים יחסית. "פרשנו את היריעה הזו לאורך הכביש, כדי שאם יוצרו בו חללים נוספים יהיה על פניו גישור שיאפשר להמשיך בנסיעה לאורך הכביש. על גבי היריעה הנחנו בד גיאוטכני מתוצרת חברת 'אורים', על מנת למנוע בריחת חומר דק דרך ה'עיניים' שברשתות יריעות השריון.

"תוך כדי ביצוע העבודה התגלה במעקף הכביש בולען בקוטר של 5 מ' שכוסה גם הוא ביריעת שריון ואיפשר לנו לבדוק איך הגישור שלנו עובד. בפועל הגישור שביצענו בכביש 90 בשנת 2002 עובד עד היום. השקיעה שלו לאחר כל השנים האלו היא 15 ס"מ בלבד לאורך קטע של שבעה מ'. זוהי שקיעה בצורת פרבולה שטוחה שהנוסעים על הכביש כמעט ואינם מרגישים בה."



פורסים יריעות שריון בקטע כביש 90 שבו נפער הבולען

מערכות התראה יעילות

ממשיך מהנדס דן עובדיה ומספר: "כשנה לאחר הגישור מעל הבולען בכביש 90 מול עין גדי, בתחילת שנת 2003, נפער בולען בגודל דומה גם בכביש הגישה לחוף 'סולריום' בעין בוקק. ה'סולריום' הוא אתר מרכזי לטיפול טבעי בחולי מחלות עור ופרקים מכל העולם, המושך אליו תיירות מרפא מחו"ל. המיתקן הוקם ב-1997 על-ידי החברה לפיתוח ים המלח. הוא ממוקם בלב איזור המלוונות עין-בוקק, על חוף ים המלח, מול מלון 'דניאל'.

"בהתייעצות עם יועצי הקרקע אינג' דוד ואינג' דניאל מכטא, הוחלט גם כאן על גישור מעל הבולען שהיה בקוטר של ארבעה מ', עם שקיעה משוערת של כ-50 ס"מ. למטרה זו נקבע שיריעת השריון המתאימה היא יריעת רשת מסוג 'טביילנקה',



הבולען שנפער בכביש הגישה לסולריום בעין בוקק. הכתם הירוק בחלק העליון של הצילום הם עצי קיבוץ עין גדי

"אחד הפיתרונות הגיאוטכניים לתופעת הבולענים בכבישים הוא גישור באמצעות יריעות שריון מעל הבולען והנחת חומר מילוי מעל היריעה. כתוצאה מכך בקרקע יתפתח אפקט הקשתה וזאת במקרה של יחס עובי מילוי נכון כנגד קוטר הבולען. כמו כן יתפתח ביריעת השריון מאמץ מתיחה כתוצאה מהיווצרות החלל.

האפשרות הראשונה היא כי היריעה תקרע, כאשר הכוח שיתפתח בתוכה יהיה גדול מיכולתה לגשר על פני חלל הבולען. האפשרות השנייה היא, שביריעה יתפתח עיבור שיגרום להתפתחות כוח מתיחה בתוכה וכתוצאה מכך תוכל היריעה לגשר על פני חלל הבולען. אפשרות שלישית היא שהיריעה תפתח עיבור עד אשר יוצר מגע עם תחתית חלל הבולען. "בתיאוריה ישנם שני סוגי חללים של בולענים - עגולים ואליפטיים. אבל בדרך כלל אנו מעריכים שנצטרך לבצע גישור באמצעות יריעות שריון מעל חלל שהוא בצורת אליפסה. תהליך ההעמסה מתבצע כך: שכבת הקרקע מתחת ליריעה היא בעלת בסיס חזק - השכבה העליונה שקרסה אל קרקעית הבולען. מתחת ליריעה מתפתח חלל. ואז, כתוצאה ממשקל המילוי פלוס עומסים נוספים היריעה עוברת עיבור - שינוי צורה. עיבור זה גורם לשני תהליכים - להקשתה בקרקע ולהתפתחות מאמץ מתיחה ביריעה. כתוצאה מכך היריעה מתנהגת כממברנה אשר יכולה להעביר את הכוחות להיקף החלל."

יריעות מספקות התראה

"בבריטניה, שבה נוצרים בולענים רבים בעיקר מעל חללי מכרות שננטשו, קיים תקן מיוחד למתיחת יריעות שריון למטרות גיאוטכניות. לגבי בולענים מתייחס התקן (BS-8006) באופן הבא:

1. קבע את הדפורמציה המכסימלית על פני השטח.
2. קבע את גודל החלל המכסימלי שיכול להיווצר.
3. קבע מכסימום עיבור ביריעת השריון.
4. קבע את תכונות המתיחה של יריעת השריון שעמיה נתכנן. "כאשר התגלה הבולען ליד כביש 90, באיזור עין גדי ונחל ערוגות, נערך דיון מקצועי בנושא במע"צ. בעקבות המלצותיהם של יועצי הקרקע אינג' דוד וסמנכ"ל מע"צ מהנדס יוסי קופ, הוחלט לבצע בדיקות באתר לפני ביצוע גישור כלשהו על מנת לזהות את הבולענים הקיימים כבר באיזור. כמו כן הוחלט לבצע קטע ניסוי בכביש 90 במקום בו נפער הבולען על מנת לבחון את השיטה המוצעת ולחשב גישור עבור קוטר בולען הקטן מארבעה מטר. עוד הוחלט לבצע מעקב אחר הגישור באמצעות יריעות השריון מעל הבולען.

האספלט על פני הכביש, כאשר הסדקים הולכים וגדלים במהירות. ב-19.30 התרחשה התמוטטות. היריעה נקרעה אך לא נשלפה. מרכז התמוטטות הכביש היה בשטח הבולען עליו נפרשו היריעות.

"מה שהפתיע הוא שהיריעות מעל הבולען נקרעו מבלי שמערכת ההתראה פעלה ומבלי שהמחסומים לעצירת התנועה על הכביש הורדו. בבדיקת המערכת התברר שהתקלה נגרמה בגלל טעות אנוש. בבדיקה האחרונה שנערכה בה שכח הבקר פשוט להרים את המתג שמפעיל את המערכת, שהורד זמנית בשעת הבדיקה.

ברגע שהמתג הורם חזרה המערכת לפעול כשורה. "בסיכומו של אירוע זה הסתבר שהמערכת פעלה מעבר לכל הציפיות ויישום היריעות מנע נפילת רכב ו/או אנשים לבולען במצב בו הוא נפער בפתאומיות. הצלחת הפרויקט זרזה את הכללת הפיתרון של התקנת מערכת התראה ביריעות המותקנות מעל בולענים בתקן הבריטי אשר אושר בשנת 1995. יעילות השיטה ואופן ביצועה הוכחו בפועל. מאז ועד היום פותחו מערכות התראה יעילות יותר, הפועלות בצורה אלקטרונית באמצעות חיישנים. הן רגישות מאוד לכל תזוזה תת-קרקעית ומסוגלות לקבוע בדיוק היכן מתהווים חללים מתחת לפני הכביש והיכן עלול להתפתח בולען. בארץ ישנה מערכת התראה כזאת, שפותחה על-ידי פרופ' אסף קלר מהטכניון בחיפה, המשתמשת בסיבים אופטיים. זוהי מערכת חיישני הכביש המתקדמת ביותר הנמצאת בשוק.



בדיקה של יריעת השריון שהונחה מעל הבולען שנפער בדרך המובילה לסולריום

"גישת התקן הבריטי היא השמרנית ביותר, וזאת בשל זניחת אפקטי ההקשתה והקוהזיה. בחישובי תכנון גישור על גבי בולענים באמצעות יריעות שריון יש לחפש את היחס האופטימלי בין גובה המילוי לחוזק היריעה, על-פי עלות היריעה וחומר המילוי. חשוב

AVIV AMCG
MANAGEMENT & CONSULTING

**ניהול פרויקטי תשתית, בינוי ותחבורה
באמצעות מתודולוגיות וכלי ניהול מתקדמים,
בדגש על היבטים סביבתיים**

AVIV AMCG | העבודה 27 ראש העין
טל': 073-2590222 פקס: 03-9024224
avivamcg@avivamcg.com
www.avivamcg.com



יריעות רשתות השריון של חברת "אדמיר" נמתחות לאורך הכביש

העשויה פוליאסטר ומשמשת בדרך כלל לשריון בסיסי סוללות ומדרונות. היא בעלת חוזק קריעה של 200 kN/m בכיוון הראשי. כוח המתיחה שלה הוא 20 טון. נקבע שהחפיפה הרוחבית שלה תהיה 0.5 מ' והחפיפה האורכית 8 מ'. כעבור שנתיים התגלה גם שם מתחת ליריעה בולען נוסף שגרם לשקיעה של היריעה בכחצי מטר. זה לא היה נורא, שכן מדובר בדרך להולכי רגל ולא בכביש לכלי רכב. היריעה שהונחה מעל הבולען תפקדה כמו טרמפולינה. הרמנו את קצותיה, מילאנו את החלל בחול וכיסינו את הדרך שוב ביריעת הרשת המשוריינת. "השימוש ביריעות שריון גיאוטכניות לגישור מעל פני בולענים אינו המצאה שלנו.

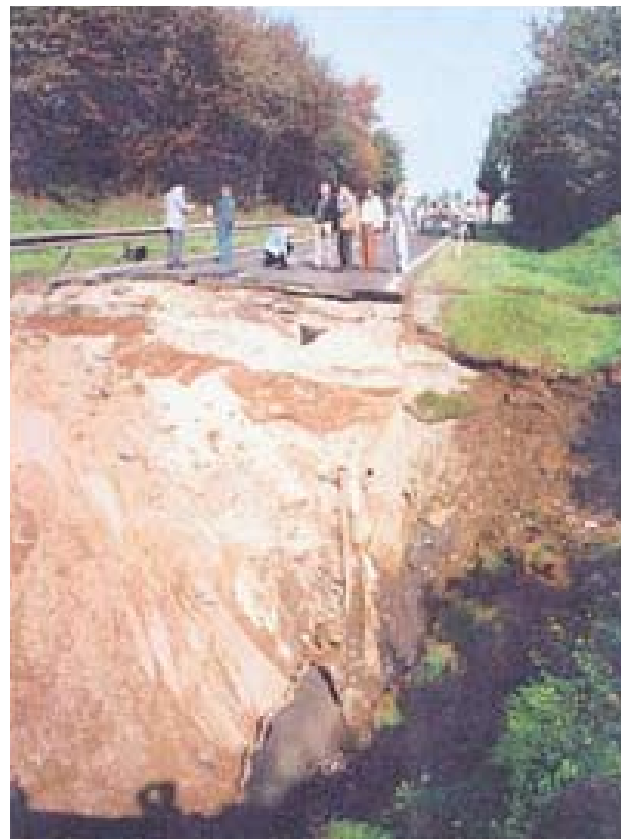
כבר בשנת 1987 נפער בולען בקוטר של שמונה מ' ובעומק של מעל 30 מ' במרכז הכביש הפדראלי B180 ליד העיר אייזלבן בגרמניה. עקב כך נסגר הכביש לתנועה. בבדיקת הבולען הסתבר, כי הוא נוצר עקב זרימות מים בתת-הקרקע. לאחר מילוי הבולען נערכה בדיקה עבור חלופות שונות לתכנון הגישור מעליו. רק בשנת 1993 נבחרה חברת HUESKER הגרמנית, יצרנית חומרים גיאופולימריים וגיאוגרידים, לבצע את התכנון והפיקוח על ביצוע תיקון הכביש ביריעות על מסוג High Tensil.

בפרויקט זה נעשה לראשונה שימוש בגיאוגריד בעל חוזק מתיחה גבוה ועיבור נמוך העשוי מסיבי על מסוג 'ארמיד', בעלי חוזק קריעה של 120 טון/מ"א. ככל שכוח היריעה הוא יותר גודל, כך השקיעה העלולה להיווצר בה היא קטנה יותר. עם זאת, עדיין אין יריעה שאפשר למתוח אותה לאפס אחוזי שקיעה.

"בנוסף ליריעות העל התקינו שם מערכת התראה פשוטה. על גבי היריעה מתחו בהצלבה ארבעה כבלי פלדה, שייגעו זה בזה כאשר תיווצר שקיעה מסוכנת. כאשר נוצר מגע בין הכבלים משודר פולס לחיישן המוריד מיד אוטומטית מיד מחסומים על הכביש לעצירת התנועה עליו. כל חצי שנה נערכה בדיקה למערכת הזאת כדי לוודא שהיא תקינה.

"ב-17 באוקטובר 2001, בשעה 18.00, שהיא שעת שיא התנועה על הכביש, החלה תופעת דפורמציה במדרונות משני צידי הכביש. כעבור כחצי שעה החלו להתפתח סדקים בפני הכביש כאשר התנועה עליו זורמת במהירות של 100 קמ"ש. כעבור 15 דקות נוספות הסדקים הלכו והתרחבו. כמה תושבים מהאיזור, שהבחינו בכך, ניסו לעצור את התנועה, אך ללא הצלחה. רק כאשר הוזעק שוטר למקום עלה בידו לעצור את התנועה. אז כבר ניתן היה להבחין בהתבקעות

יעילה וקלה לביצוע, אחר שינויים גיאומטריים המתרחשים מתחת לכביש, כולל היווצרות בולענים מתחתיו. "בארץ אפשר היה לצפות, שמערכות התראה חדשניות משולבות ביריעות שריון יותקנו בכביש 90 באזורים לאורך חוף ים המלח המועדים להתהוות בולענים. זאת, על מנת למנוע אסונות ברכוש ובנפש. החברה הלאומית לדרכים, שקיימה לאחרונה דיונים ממושכים בנושא, מתלבטת עדיין באם לבצע כביש עוקף בעלות אסטרטגומית, שרשות הטבע והגנים מתנגדת לו בתוקף מתוך חשש לפגיעה בבעלי החיים בשמורת עין גדי, או לחדש את שיטת כיסוי כביש 90 ביריעות שריון, שהפעם ישולבו בהן מערכות התראה יעילות".



הבולען שנפער בכביש הפדרלי B180 בגרמניה, שכוסה ביריעות עם חיישני התראה להתאים את סוג היריעה על-פי דרישות התכנון והפיתרון. כמו כן ניתן להסיק, ששילוב של מערכת התראה ביריעת השריון הוא הכרחי, שכן מערכת התראה נותנת אפשרות למעקב בצורה



מהנדס דן עובדיה

מהנדס ראשי בחברת "אדמיר". בן 45. יליד חיפה. שירת בצה"ל בחיל התותחנים ביחידת איכון מטרות. בוגר הנדסה אזרחית במסלול קונסטרוקציה והנדסת קרקע בטכניון, ובוגר תואר שני בהנדסת קרקע. עבודת המאסטר שלו בטכניון בשנת 2000 עסקה בגישור מעל בולענים. בשנת 1996 הצטרף ל"אדמיר" ומאז פועל בשירותה. תושב רעננה. נשוי ואב לשלושה.

חיזוק מבני בטון ע"י יריעות ורצועות פחמן מתוצרת (USA) Fyfe



- יריעות פחמן מסוג SCH41 ג' למ"ר, חוזק מתיחה לתכנון בעיבור 0.4% - 32 טון למטר רוחב היריעה
- רצועות מוכנות מסוג UC בעובי 1.4 - 2.0 מ"מ לכוחות מתיחה גבוהים במיוחד
- אספקת חומרים מרוכבים במחירים אטרקטיביים + הדרכה + פקוח עליון
- תכנון החיזוק ע"י חומרים מרוכבים לפי התקן האמריקאי ACI 420 - 2R
- ביצוע עבודות (קומפלט), תכנון - ביצוע, כ-Certified Applicator של יצרנית החומרים

Power Mesh Ltd
חברת פאואר מש בע"מ, נייד: 054-7698041, פקס: 09-7423748, מייל: zvira40@gmail.com