



חוות דעת: שדה בריר/001/2008

תאריך: 27 ביולי 2008

לכבוד

מר אורי יסעור

רותם אמפרט נגב בע"מ

א.נ. שלום רב,

חוות דעת מומחה

אני החתום מטה, עמית רונן גיאופיסיקאי- B.Sc., M.Sc., התבקשתי, ע"י מר אורי יסעור מחברת רותם אמפרט נגב בע"מ, לתת חוות דעת מקצועית. חוות הדעת היא בנושא האפשרות להתפתחות סידוק כתוצאה מפיצוצים של חומרי נפץ בערד, במהלך כרייה עתידית של פוספטים במכרה פתוח בשדה בריר. חוות דעתי מתייחסת לנושא זה בלבד.

השכלה:

- בוגר גיאופיסיקה ומדעי האטמוספירה, תואר ראשון, B.Sc., החוג לגיאופיסיקה, פקולטה למדעים מדויקים באוניברסיטת ת"א 1988.
- מוסמך בגיאופיסיקה ומדעים פלנטריים, M.Sc., החוג לגיאופיסיקה, פקולטה למדעים מדויקים באוניברסיטת ת"א 1988.
- השתלמות בקורס בטומוגרפיה בסיימיקה, מרכז גורדון לאנרגיה, אוניברסיטת תל-אביב 1990.
- בוגר קורס שנתי להנדסת תוכנה למערכות זמן אמת משובצות מחשב בחברת IBM – 1995.
- בוגר קורס: 3-D Seismic Exploration של ה- Society of Exploration Geophysicist – 1995
- בוגר קורס עיבוד אותות מתקדם ברדאר חודר קרקע במסגרת GPR2000 אוטרליה- 2000.
- קורס רדאר חודר קרקע בחברת MALÅ GEOSCIENCE AB בשבדיה 2002.
- קורס רדאר חודר קרקע מתקדם I MALÅ GEOSCIENCE AB בשבדיה 2002.
- קורס רדאר חודר קרקע וקידוחים מתקדם II MALÅ GEOSCIENCE AB בשבדיה 2002.
- קורס שיווק ופירסום במסגרת מט"י 2006.

ניסיון מקצועי:

- גיאופיסיקאי 1988-1992 במחלקה לגיאושמל ואלקטרומגנטיות במכון למחקרי נפט וגיאופיסיקה, ראש צוות השדה.



גיאוטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ, ת.ד. 25031 ראש"צ, 75025
טלפון: 03-9516770, פקס. 03-9412150, נייד: 054-7232402,
דוא"ל: geotec@geotec.co.il, אתר אינטרנט: www.geotec.co.il



- גיאופיסיקאי 1992-1995 במחלקת החתך הרדוד במכון הגיאופיסי לישראל.
- גיאופיסיקאי וראש מחלקה 1995-11/2001 במחלקת גיאופיסיקה הנדסית במכון הגיאופיסי לישראל.
- גיאופיסיקאי עצמאי 2001-2003 A.R.GEOPHYSICS.
- גיאופיסיקאי, בעלים, מיסד ומנכ"ל 2003- עד היום של גיאוטק גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ.
- בכל המקומות הנ"ל רכשתי ידע וניסיון עצום מגוון ורחב בתחומי הגיאופיסיקה ההנדסית והסביבתית: בגיאו-חשמל (VES,CVES), גיאו- אלקטרומגנטיות (FDEM,TDEM), גרביטציה, מגנטיות, ראדאר חודר קרקע (GPR), סייסמיקה רדודה (רפרקציה, רפלקציה, מדידות בתוך קידוחים), סריקה אופטית בקידוחים וחלק גדול מאוד במדידות, ניטור זעזועים מגורמים שונים (פיצוצים, כלים מכנים הנדסיים, ניסויים מיוחדים עבור מפא"ת, משרד האנרגיה האמריקאי ועוד). ניתן להצהיר ברמה גבוהה של ודאות כי משנת 1995 ועד היום ביצעתי וחישבתי את מרבית העבודות הקשורות למדידות זעזועים בישראל בכל התחומים.
- ניסיוני המקצועי יושם במדינות שונות: ישראל, ירדן, מצרים, שבדיה, אוסטריה, צ'ילה, גרזיה, ליטא (ובקרוב באוקראינה ופולין).
- אני משתתף בכנסים בינלאומיים בתחומי הגיאופיסיקה ולעיתים בהרצאות ומאמרים.
- ביצעתי חוקי אתר, מדידות וניטור זעזועים: במנהרות הכרמל, ברמת חובב, ברותם אמפרט בנחל חמר וצין, במפעלי ים המלח, בצה"ל, בשב"כ, בפרוייקטים מסווגים שונים, תחנת הרכבת האומה בירושלים, מחצבות תמרה, קדרים, נשר רמלה, נשר הר טוב, מאגר קולחין צפת, בסיס נחשונים לחיל ההנדסה האמריקאי, מחצבת האבן הגדולה ביותר באוסטריה, תוואי הרכבת במודיעין, מחצבת שפיה, מחצבת מודיעים, אזור התעשייה מודיעים, הריסת ממגורות הרכבת בבני ברק, הריסת גשר הרכבת בחצרות יסף, פרוייקט YMCA בירושלים, מנהרות פילדלפי, מפעל להבי ישקר בגוש תפן, נמל כרמל בחיפה, תחנת הכוח גזר, מדידות רבות במפעלים, בתים, מוסדות במבנים מכל סוג, גיל וצורה ועוד רבים שקצרה היריעה מלפרט.

רשימת ספרות:

1. Persson, Holmberg & Lee, 1994, *Rock Blasting & Explosives Engineering*, CRC PRESS LLC, 540pp.
2. McPherson, 1989, *Engineering & Design Blasting Vibration Damage and Noise Prediction and Control*, Technical Letter No. 1110-1-142, Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers. 56pp.
3. Siskind, 2000, *Vibrations from Blasting*, ISEE, 120pp.
4. Dowding 1985, *Blast Vibration monitoring & control*, ISEE. 297pp.
5. Dowding 2000, *Construction Vibrations*, ISEE. 610pp.



גיאוטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ, ת.ד. 25031 ראשל"צ, 75025
 טלפון: 03-9516770, פקס. 03-9412150, נייד: 054-7232402,
 דוא"ל: geotec@geotec.co.il, אתר אינטרנט: www.geotec.co.il



6. Kuzmenko, Vorobev, Denisyuk & Dauetas, 1993, *Seismic Effects of Blasting in Rock*, A.A. Balkema Publishers USA. 169pp.
7. *Deutsche Norm Structural Vibration, DIN4150 part 2 June 1999, part 3 Feb 1999.*

להלן חוות דעתי:

1. פיצוץ יוצר אנרגיה שתפקידה לרסק או לסדוק את הסלע. כמות האנרגיה המופקת היא זו ששולטת ברמת הריסוק, שבירה וסדיקה של הסלע. הפיצוצים מבוצעים בתוך קידוחים. כמות חומר הנפץ הכללית מתחלקת לפיצוצי משנה רבים (השהיות) המתפוצצים אחד לאחר השני בהפרשי זמן קטנים של מילישניות. כמות חומר הנפץ האפקטיבית המשתתפת בפיצוץ היא למעשה כמות חומר הנפץ בכל השהיה. כך שאם מדובר למשל ב- 25 טון חומר נפץ, זו הכמות הכוללת והיא מתפוצצת בשורת פיצוצים, השהיות. חברת רותם אמפרט נגב בע"מ התחייבה בתסקיר השפעה על הסביבה על פיתוח שדה הפוספטים בריר לכמות מרבית של חומר נפץ להשהיה של 500 ק"ג (מדובר בחומר נפץ מסוג אנפו).
2. מקור מס' [1] מפרט את תהליך הפיצוץ בעמוד 267 פרק 9.3. כאשר מטען חומר נפץ מתפוצץ בקדח, הריאקציה הנוצרת של הגזים הצפופים מאוד יוצרת לחץ גבוה מאוד על קירות הקידוח. קירות הקידוח ינועו החוצה כתוצאה מהלחץ הנוצר ויצרו שדה מאמצים דינאמי בסלע המקיף את חור הקידוח. האפקט ההתחלתי בסלע בקרבה המיידית לקדח הוא גל הלם קצר מועד ובעל עוצמה רבה. גל זה דועך במהרה. המשך התפשטות הגזים שנוצרו בפיצוץ מוליך לתנועה נוספת ויוצר שדה מאמצים מתרחב במסת הסלע. היכן שהפנים החופשיות קרובות מספיק לקידוח, הסלע פורץ מרוסק. בכיוונים האחרים התנועה מתפשטת הלאה בצורה של גלים אלסטיים המכונים גלים סייסמיים. הגלים הסייסמיים מתקדמים, בצורות שונות, במהירויות שונות ועוצמות שונות בתוך סוגי הגלים שנוצרים הם: גלי לחיצה (P), גלי גזירה (S) וגלי שטח מסוג ריילי (R). כל גל מתאפיין במהירות (בין מאות מטרים לשנייה בקרקע לאלפי מטרים בשנייה בסלע). כל גל יוצר תנועת חלקיקים שונה במהלך התקדמותו. מהירות תנועת החלקיקים היא זו שיוצרת את הויברציה של



גיאוטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ, ת.ד. 25031 ראש"ל"צ, 75025
 טלפון: 03-9516770, פקס. 03-9412150, נייד: 054-7232402,
 דוא"ל: geotec@geotec.co.il, אתר אינטרנט: www.geotec.co.il



- מבנים . מהירות החלקיק המרבית דועכת עם המרחק מנקודת הפיצוץ (כפי שהגל הסייסמי דועך עם המרחק).
3. הנזק הוא תוצאה של המעוות הסייסמי המושרה. בתווך אלסטי מדובר ביחס בין מהירות החלקיק למהירות ההתקדמות של הגל הסייסמי.
4. באזור הקרוב למטען חומר הנפץ (בקידוח), נוצר נזק קבוע ברמה נתונה של מהירות חלקיק המשתנה בין סוגי מסלע שונים. היקף הנזק (סידוק ושבירה) ניתן לקורלציה מקורבת עם מהירות החלקיקים הנ"ל הפרופורציונאלית למעוות כמידה להרסניות הגל הסייסמי. את מידת ההרסניות ניתן למדוד באמצעים שונים לפני, במהלך ואחרי האירוע. במעגל הקרוב ביותר לפיצוץ נקבל אזור מרוסק לחלוטין. במעגל הבא המרוחק יותר נקבל אזור סידוק קבוע. אזורים אלה הם בעלי התנהגות פלסטית בהיבט המכאני. רק מחוץ לאזור זה נקבל אזור עם מאפיינים של התנהגות סייסמית (אלסטית), מקורות [1,4,5]. ככל שהסלע סדוק ובלוי המהירות הסייסמית שלו קטנה.
5. ניתן לחשב את רדיוס ההרס ורדיוס הסידוק האפשרי מכמות חומר נפץ נתונה לסלע נתון. מקור מס' [1] מביא דוגמאות לפיצוץ אופייני בכרייה במכרה פתוח. מדובר בקידוח לעומק 15 מטר בקוטר 25 ס"מ המאפשר כמות חומר נפץ (המפוזרת ליניארית בקדח) של 75 ק"ג/מטר. פיצוץ חזק שכזה מייצר אזור נזק של 25 מטר ויותר. מקור זה מציין ניסויים לתצפיות על מידת הנזק (עמוד 272 פרק 9.6). בפיצוץ הפקה בקוטר 25 ס"מ, יש הסתברות של 50% לנזק במרחק של 22.5 מטר מהחור הקרוב, כמו כן יש הסתברות של 5% לנזק במרחק של 32 מטר. המדד לנזק היה מספר הסדקים שזוהו בגלעינים לפני ואחרי הפיצוץ.
6. מאחר ולא בוצעו מדידות בשדה בריר במהלך ניסוי פיצוץ, השתמשתי במשוואה כללית לחיזוי רמות הזעזועים כתלות במרחק מהפיצוץ. השתמשתי במשוואות נוחות שונות המוצגות בטבלה מס' 2 בעמוד 28 במקור מס' [3]. עבור פיצוץ של 1000 ליברות חומר נפץ להשהיה (שהם 454.5 ק"ג) במחצבות וקיבלתי את משוואת הניחות הבאה: $V = 97700D^{-1.82}$ כאשר V היא מהירות החלקיק באינץ' לשנייה והמרחק D הוא ברגל. לאחר תרגום הערכים לשיטה המטרית מתקבלת הטבלה הבאה של רמות הזעזועים במ"מ/שנייה כתלות במרחק במטרים (על פי משוואה זו):





מרחק [מטר]	מהירות חלקיק מרבית [מ"מ/שנייה]
50	272
100	77
500	4.11
1000	1.165
1500	0.557
2000	0.33
2500	0.22
3000	0.158
3500	0.12
4000	0.093

7. כלומר במרחק של ק"מ הזעזועים המרביים הצפויים הם מסדר גודל של 1.2 מ"מ/שנייה. במרחק של 4 ק"מ הם מסדר גודל של 0.093 מ"מ/שנייה עבור כמות של 454 ק"ג חומר נפץ. גם משוואות אחרות, המוצגות ע"י אותו מקור כמאפיינות מכרה, נקבל 0.1 מ"מ/שנייה במרחק של 4000 מטר מפיצוץ של 500 ק"ג.
8. מחקרים וניסויים במשך עשרות שנים רבות כפי שבא לידי ביטוי בתקנות הפדראליות של ארה"ב קיבעו בחוקים את רמות הזעזועים למניעת נזק כלשהו מחוץ לאתר (ויהיו דומים בהרגשה למשאית עמוסה או אוטובוס הנוסעים במרחק של כ- 30 מטר). למעשה המחקרים שצינו מצביעים על כך ששבירה בסלע תתקיים עד למרחק של 20-40 קטרים של הקדח. במחצבות רואים שהאנרגיה אינה מספיקה לסדוק את הסלע במרחקים גדולים יותר.
9. במקור מס' [4], עמוד 158 פרק 11, מתוארים הניסויים ובסיס הנתונים ממנו הורכבו התקנות הפדראליות של ארה"ב (שאומצו בארץ ע"י המשרד להגנת הסביבה בפיצוץ מחצבות). ההסתברות לנזק גבולי היא מעט יותר מ- 1% במהירות חלקיק הגבוהה



גיאוטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ, ת.ד. 25031 ראש"ל"צ, 75025
 טלפון: 03-9516770, פקס. 03-9412150, נייד: 054-7232402,
 דוא"ל: geotec@geotec.co.il, אתר אינטרנט: www.geotec.co.il



מ-12 מ"מלשנייה. מדובר כיום באלפי מדידות. נזק גבולי מוגדר כנזק עם התבקעות בשכבת הצבע, סדקים קטנים בטיח בחיבורים בין האלמנטים של קונסטרוקציה. נזק מינורי יתכן רק מעל ל-25.4 מ"מלשנייה בהסתברות נמוכה מאוד של 2%. נזק כזה מדבר על סדקים בעובי שערה: מ-0.9 מיקרומטר ל-3 מ"מ.

10. יתרה מזאת אפשרויות לפתיחת סדקים בסלע ובמבנים ממקורות אנרגיה טבעיים לחלוטין כגון: רעידת אדמה היא בסבירות גבוהה מאוד (ובמיוחד במקום כמו ערד השוכן לצידו של בקע ים המלח). השפעות הקשורות לשינויי טמפרטורה, תנועה ופעילות יום יומית של בני אדם הן בעלות עוצמה גבוהה יותר (טבלה מס' 3 במקור מס' [4]): טריקת דלת מייצרת זעזוע של 3.81 מ"מלשנייה עד 48 מ"מלשנייה. הליכה מייצרת זעזוע של כ-2.54 מ"מלשנייה, פעילות כמו קפיצה כרוכה בזעזוע גבוה אף יותר.

מסקנות:

1. על בסיס הנתונים הידועים לי, מניסיוני המקצועי ועל בסיס ניסיון ומחקר של אחרים, אין אפשרות לייצר סידוק ולו מינורי באמצעות פיצוצים של 500 ק"ג חומר נפץ להשהיה במרחקים העולים על 1 ק"מ ולמעשה גם במרחקים קצרים יותר. דרך סידוק זה בסלע, בקרקע ובמבנים ממנו אמור לצאת ראדון.
2. הנתונים מצביעים על כך שגם פעילות יום יומית של בני אדם עשויה לגרום לזעזועים גדולים יותר מהזעזועים שיגרמו הפיצוצים. ברור שגם פעילות זו אינה גורמת לסידוק בסלע.
3. סידוק ושבירה אפשריים רק במרחק של עשרות מטרים מהפיצוץ.

רון עמית

מנכ"ל, גיאופיסיקאי B.Sc.,M.Sc.

054-7232402, 03-9516770

amitgeeg@geotec.co.il



גיאוסטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ, ת.ד. 25031 ראש"ל צ, 75025
 טלפון: 03-9516770, פקס. 03-9412150, נייד: 054-7232402,
 דוא"ל: geotec@geotec.co.il, אתר אינטרנט: www.geotec.co.il