



משרד התשתיות הלאומיות

המכון הגיאולוגי

מעקב אחר שינויים באפר הפחם בסוללה של מחלף ג'סר-א-זרקא
היבטים מינרלוגיים וכימיים - שלב ב'

יועץ דויטש



דו"ח מוזמן עבור מנהלת אפר הפחם



משרד התשתיות הלאומיות

המכון הגיאולוגי

מעקב אחר שינויים באפר הפחם בסוללה של מחלף ג'סר-א-זרקא
היבטים מינרלוגיים וכימיים - שלב ב'

יועץ דויטש

דו"ח מוזמן עבור מנהלת אפר הפחם

תוכן העניינים

עמוד

תקציר

1	הקדמה
2	תכולת המים במדגמים
4	הרכב כימי של האפר
7	הרכב כימי של סוללת הגשר
10	הרכב כימי של סוללת הכביש
13	מבחני שטיפה לפי תקן TCLP, סוללת הגשר
20	הרכב מינרלוגי של האפר. דיפרקציה בקרני X
27	סיכום

איורים

3	איור מס' 1. ריכוזם של מי רטיבות במדגמי הסוללות
7	איור מס' 2. הרכב כימי של מדגמי סוללת הגשר
8	איור מס' 2 (המשך). הרכב כימי של מדגמי סוללת הגשר
9	איור מס' 2 (המשך). הרכב כימי של מדגמי סוללת הגשר
10	איור מס' 3. הרכב כימי של מדגמי סוללת הכביש
11	איור מס' 3 (המשך). הרכב כימי של מדגמי סוללת הגשר
12	איור מס' 3 (המשך). הרכב כימי של מדגמי סוללת הגשר
18	איור מס' 4. ריכוז יסודות קורט נבחרים באפר סוללת הגשר, עומק 80 cm, stage I, אפר שנדגם בשנת 2000, stage II
18	איור מס' 5. ריכוז יסודות קורט נבחרים בתמיסת המיצוי בשיטת TCLP מאפר סוללת הגשר, עומק 80 cm, stage I, אפר שנדגם בשנת 2000, stage II
18	איור מס' 6. ריכוז יסודות קורט נבחרים באפר סוללת הגשר, עומק 140, 150 cm, stage I, אפר שנדגם בשנת 2000, stage II
19	איור מס' 7. ריכוז יסודות קורט נבחרים בתמיסת המיצוי בשיטת TCLP מאפר סוללת הגשר, עומק 140, 150 cm, stage I, אפר שנדגם בשנת 2000, stage II
19	איור מס' 7. ריכוז יסודות קורט נבחרים בתמיסת המיצוי בשיטת TCLP מאפר סוללת הגשר, עומק 140, 150 cm, stage I, אפר שנדגם בשנת 2000, stage II

עמוד

20	איור מס' 8 . ריכוז הפאזה החדשה באפר, stilpnomelane בשתי הסוללות, בשני שלבי הדיגום. יחידות הריכוז המנורמלות לקוורץ, זהות בשני השרטוטים
21	איור מס' 9. דיפרקטוגרמות קרני – X של מדגמי הגשר מעומקים שונים
22	איור מס' 10. דיפרקטוגרמות קרני – X של מדגמי הגשר מעומקים שונים
23	איור מס' 11. דיפרקטוגרמות קרני – X של מדגמי הגשר מעומקים שונים
24	איור מס' 12. דיפרקטוגרמות קרני – X של מדגמי הגשר מעומקים שונים
25	איור מס' 13. דיפרקטוגרמות קרני – X של מדגמי הגשר מעומקים שונים
26	איור מס' 14. דיפרקטוגרמות קרני – X של מדגמי הגשר מעומקים שונים

טבלאות

2	טבלה מס' 1. תכולת מי הרטיבות בשתי הסוללות בשני שלבי הדיגום
4	טבלה מס' 2. טבלה מס' 2. ריכוז יסודות קורט נבחרים באפר המקורי
5	טבלה מס' 3. ריכוזי יסודות כימיים במדגמי שתי הסוללות
6	טבלה מס' 3 (המשך). ריכוזי יסודות כימיים במדגמי שתי הסוללות
13	טבלה מס' 4. תוצאות אנליזה כימית של אפר סוללת הגשר ותוצאות אנליזה כימית של תמיסות מיצוי TCLP. המדגמים נדגמו בשנת 2000 (stage I) ונבדקו בשנת 2004. המדגמים נלקחו מעומק 80 cm
14	טבלה מס' 5. תוצאות אנליזה כימית של אפר סוללת הגשר ותוצאות אנליזה כימית של תמיסות מיצוי TCLP. המדגמים נדגמו בשנת 2003 (stage II) ונבדקו בשנת 2004. המדגמים נלקחו מעומק 80 cm
15	טבלה מס' 6. תוצאות אנליזה כימית של אפר סוללת הגשר ותוצאות אנליזה כימית של תמיסות מיצוי TCLP. המדגמים נדגמו בשנת 2000 (stage I) ונבדקו בשנת 2004. המדגמים נלקחו מעומק 140 cm
16	טבלה מס' 7. תוצאות אנליזה כימית של אפר סוללת הגשר ותוצאות אנליזה כימית של תמיסות מיצוי TCLP. המדגמים נדגמו בשנת 2003 (stage II) ונבדקו בשנת 2004. המדגמים נלקחו מעומק 150 cm
17	טבלה מס' 8. תוצאות אנליזה כימית של אפר סוללת הגשר ותוצאות אנליזה כימית של תמיסות מיצוי TCLP. המדגמים נדגמו בשנת 2000 (6.9.2000) ונבדקו בשנת 2005. המדגמים נלקחו משני עומקים 20-40 cm, 90-120 cm

תקציר

שתי הסוללות, סוללת הגשר וסוללת הכביש, שעליהן בוצעה העבודה, שונות זו מזו. מילוי האפר בסוללת הגשר, הומוגני יותר מאשר בסוללת הכביש. הדבר בולט בתכולת מי הרטיבות שהינה בי-מודלית בסוללת הכביש, לעומת ריכוז מים קבוע, פחות או יותר, בסוללת הגשר (איור מס' 1). בנוסף מעיון בדיפרקטוגרמות קרני X (איור מס' 13), נראה שמדגם F-8, מסוללת הכביש בעומק 140 ס"מ, מכיל ריכוז נמוך יותר של המינרל mullite שהוא מינרל ייחודי לאפר (לעומת סלע הסביבה), יחסית למדגמים מעומקים גבוהים ונמוכים יותר. הדבר מעיד על מילוי לא בלעדי של אפר בסוללה זאת. ככל הנראה הוספה לאפר בעומק זה תוספת של חומר מהסביבה. אפר פחם שומר על מי רטיבות, במידה טובה יותר מאשר סלע סביבה מקומי, גם ממצא זה מעיד על הוספת שכבה של חומר שונה מאפר בסוללת כביש זו. בנוסף ריכוז מי הרטיבות נמוך יותר בסוללת הכביש יחסית לסוללת הגשר, אולי נובע הדבר מהשוני המבני בין שתי הסוללות; סוללת הגשר נמצאת כולה מעל לפני השטח, לעומת סוללת הכביש הקבורה. אם מי הרטיבות מביעים אינדיקטור לפעילות כימית - מינרלוגית, הרי פעילות זו תהיה אינטנסיבית יותר בסוללת הגשר.

מעיון בעקומות ריכוזי היסודות עם העומק ובשני שלבי הדיגום, ניתן לראות, שכלל, כמעט ולא חל שום שינוי בהרכב האלמנטרי של מילוי האפר הפחם. מניתוח פרטני נראה בכל זאת מספר יסודות בעלי פעילות. כספית בסוללת הגשר נודדת כלפי מטה. בשלב הדיגום הראשון, רואים שהריכוז עולה עם העומק. בשלב הדיגום השני, נעלמה כל הכספית, כנראה ונדדה כלפי מטה (איור מס' 2). גם בסוללת הכביש, ריכוז הכספית נמוך יותר בשלב השני, לעומת השלב הראשון (איור מס' 3).

מנגן, מתנהג גם הוא באופן לא שגרתי. בסוללת הגשר, שהיא קרוב לודאי פעילה יותר, הריכוז גבוה קרוב לפני השטח, אבל ריכוז גבוה זה קיים גם בפני השטח עצמו, בסלע הסביבה. לעומת זאת בסוללת הכביש, בשלב הדיגום השני, ריכוז המנגן עולה עם העומק. ברור שפני השטח מזוהמים במנגן, אם במנגן שמקורו באפר או במנגן ממקור שאינו קשור לאפר. מנגן זה, יהא מקורו אשר יהיה, נודד כנראה לעומק, כפי שניתן לראות בסוללת הכביש, שלב דיגום שני (איור מס' 2).

מתוך מבחני השטיפה, שיטת TCLP (איורים מס' 6, 4), נראה שלפחות בסוללת הגשר (מבחני השטיפה נעשו רק במדגמים מסוללה זו) ריכוז היסודות הכימיים באפר משני עומקים, 80 ו 150 - 140 ס"מ, לא השתנה בשלושת השנים שעברו בין שני הדיגומים, שלב דיגום ראשון בקיץ 2000 ושלב דיגום שני בקיץ 2003. גם מבחני השטיפה מראים על שעור דומה אך לא זהה של יסודות, הנשטף מהאפר בתהליך הסטנדרטי של מבחן השטיפה TCLP (איורים מס' 7, 5). (ליסודות רבים הריכוז נמוך מכדי להבחין בשינויים משמעותיים). הבדלים בריכוז היסודות הנשטפים קיימים ביסודות הבאים: מנגן (Mn), וונדיום (V) - הבדלים משמעותיים, מוליבדן (Mo) רק בעומק העמוק יותר, ואבץ (Zn) - הבדלים קטנים יותר. שעור השטיפה של יסודות אלו עלה עם הזמן, דהיינו גבוה יותר בשלב הדגימה השני.

בדיפרקציה של קרני X, זוהתה פאזה חדשה שלא היתה קיימת באפר המקורי - stilpnomelane - $(\text{Fe,Mg})_6(\text{Si,Al})_8\text{O}_{19}(\text{OH})_9$. ריכוז פאזה זו stilpnomelane שונה בשתי הסוללות. בסוללת הגשר הפעילה יותר, הריכוז גבוה מאשר בסוללת הכביש. כמו כן ריכוז הפאזה בסוללת הכביש (לפחות), עולה עם הזמן. הריכוז בסוללה זו בשלב הדגימה השני, גבוה משמעותית יחסית לשלב הדגימה הראשון.

ניתן להסיק שריכוז רוב היסודות הכימיים קבוע ונודד אנכית במידה מעטה, להוציא כספית וונדיום ומנגן.

האפר אינו אינרטי בסוללות. בנוכחות מים הוא פעיל ואף יוצר פאזה חדשה stilpnomelane והכספית נעלמת.

ריכוז היסודות הנשטפים, מבחן TCLP, אינו משתנה עם הזמן, להוציא מנגן וונדיום.

הקדמה

סוללת המחלף של כביש ג'סר-א-זרקא הוקמה לפני כשבע שנים ע"י מע"צ לצורך סלילת כביש גישה לישוב, שיחצה את הדרך המהירה תל-אביב - חיפה. בקטעים מהסוללה נעשה שימוש מבוקר באפר פחם מרחף עם התקנים לניטור המים מפני הסוללה ומים המחלחלים דרכה.

מטרת המחקר הנוכחי היא לבחון, האם קיימת סכנת זיהום למי תהום ו/או לקרקע מסוללות כביש המורכבות בעיקר מאפר פחם מרחף. ניסויי מעבדה שונים בנושא פוטנציאל זיהום בוצעו ע"י חוקרים במספר מוסדות מחקר, ביניהם; הטכניון, מכון וולקני והמכון הגיאולוגי. המחקר הנוכחי, הינו ניסוי שדה בקנה מידה מלא בו נעשה שימוש בעשרות אלפי טון אפר פחם המשמש לבניית חלקי הסוללה. מטרת העבודה היא לעקוב, עם הזמן, במשך מספר שנים, אחרי השתנות ההרכב המינרלוגי והכימי, של חומר הסוללה לכל עומקה. נדידה אנכית של יסודות כימים מזהמים בריכוזים משמעותיים תציין זיהום אפשרי, בעוד שיציבות כימית ומינרלוגית מקטינה את הסבירות לזיהום אפשרי. נוכחותן של פאזות מגובשות חדשות, כאלה שלא היו קיימות באפר הטרי, מעידות על פעילות כימית – מינרלוגית בתוך הסוללות.

שלב ראשון של ניטור חומר הסוללות מבחינה כימית ומינרלוגית התבצע בשנת 2000 וסוכם בדו"ח המכון הגיאולוגי מס' GSI/20/2001. עבודת המחקר הנוכחית מהווה המשך ישיר לעבודה זו.

במסגרת העבודה נקדחו בשנת 2003 שני קידוחים חודרים בסוללה בסמוך לקידוחים מהשלב הראשון; האחד מדרום מזרח לגשר וקרוב אליו בצמוד לחלקת הניטור, והשני כחצי ק"מ מדרום לגשר. מהסוללה הקרובה לגשר - "סוללת הגשר" נלקחו 11 מדגמי קידוח הכוללים גם את חומר הכיסוי ואת התשתית. מהסוללה הרחוקה מהגשר - "סוללת הכביש", הנמצאת מספר מאות מטרים מדרום לסוללת הגשר, נלקחו 15 מדגמי קידוח הכוללים גם הם את חומר הכיסוי ואת התשתית. גובה (או עומק) כל אחת משתי הסוללות הוא פחות משלשה מטר. במדגמים נבדקו הפרמטרים הבאים: תכולת מי רטיבות, הרכב מינרלוגי גבישי, והרכב כימי. כמו כן נבדקו מספר מדגמים נבחרים במינרלוגיה בשיטת TCLP ואנליזה ליסודות קורט של תמיסות המינרלוגיה.

מהלך העבודה

שני קידוחים בסוללה לכל עומקה, האחד ב"סוללת הגשר" והשני ב"סוללת הכביש".

1. דיגום של 27 מדגמים.
2. טיפול במדגמים, ייבוש וקביעת תכולת מי רטיבות, טחינה והכנה לאנליזה.
3. המסה ואנליזה כימית ל 20 יסודות קורט נבחרים.
4. הכנת מיצויים בהתאם להליך האמריקאי (Method 1311 Toxicity Characteristic, TCLP Leaching Procedure) ואנליזה לתמיסות המינרלוגיה.
5. קביעת הפאזות הגבישיות - מינרלים, המרכיבות את המדגמים, בשיטת דיפרקציה בקרני X קרינת נחושת $CuK\alpha$.

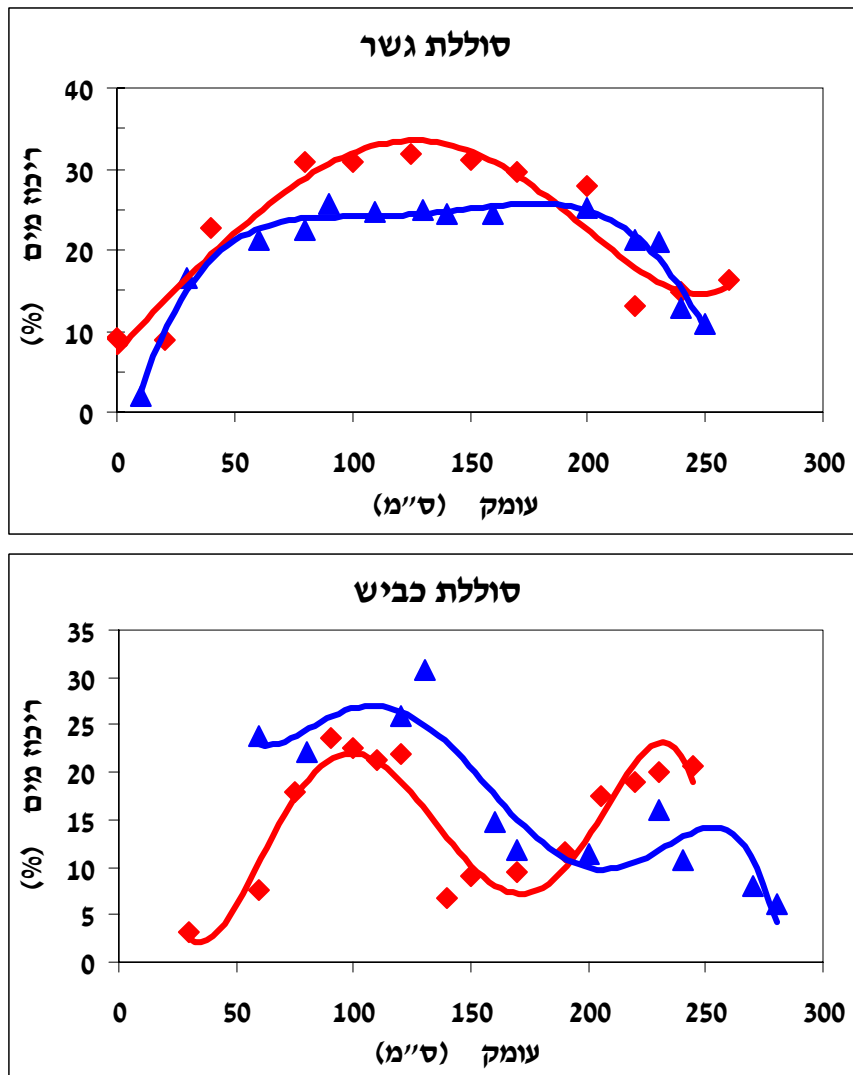
בעמודים הבאים נתונות התוצאות של בדיקות המעבדה בעבודה הנוכחית, שעבודת השדה שלה יצאה לפועל בשנת 2003, וכן נתונות להשוואה תוצאות של שלב העבודה הראשון שעבודת השדה שלה בוצעה בשנת 2000.

תכולת המים במדגמים

שיטת העבודה: לקיחת המדגמים מלהב המקדח מטיפוס "אוגר", אריזה מיידית בשקיות פלסטיק שנאטמו מיד על מנת למנוע נידוף. תכולת מי הרטיבות במדגמים, חושבה מאבוד המשקל של מדגם האפר, לאחר חימום במשך כ 24 שעות בטמפרטורה של $105^{\circ}C$. בטבלה מס' 1 מופיעים ערכי מי הרטיבות בשתי הסוללות, בשני שלבי הדיגום.

טבלה מס' 1. תכולת מי הרטיבות בשתי הסוללות בשני שלבי הדיגום. D סוללת גשר שלב I, E סוללת כביש שלב I, G, I סוללת גשר שלב II, F סוללת כביש שלב II.

סימון מדגם	עומק (ס"מ)	רטיבות (%)		סימון מדגם	עומק (ס"מ)	רטיבות (%)
G - 0	פני השטח	9.18		D - 1	10	1.90
G - 1	20	8.81		D - 2	30	16.46
G - 2	40	22.78		D - 3	60	21.26
G - 3	80	30.76		D - 4	80	22.46
G - 4	100	30.77		D - 5	90	25.63
G - 5	125	31.97		D - 6	110	24.76
G - 6	150	31.08		D - 7	130	25.01
G - 7	170	29.54		D - 8	140	24.53
G - 8	200	27.88		D - 9	160	24.33
G - 9	220	13.21		D - 10	200	25.12
G - 10	240	14.91		D - 11	220	21.33
G - 11	260	16.20		D - 12	230	21.03
				D - 13	240	12.85
				D - 14	250	10.91
F - 1	30	3.17		E - 1	60	23.91
F - 2	60	7.54		E - 2	80	22.07
F - 3	75	18.00		E - 3	120	25.89
F - 4	90	23.55		E - 4	130	30.68
F - 5	100	22.57		E - 5	160	14.68
F - 6	110	21.28		E - 6	170	11.89
F - 7	120	21.91		E - 7	200	11.45
F - 8	140	6.77		E - 8	230	16.11
F - 9	150	9.05		E - 9	240	10.71
F - 10	170	9.49		E - 10	270	7.94
F - 11	190	11.59		E - 11	280	6.15
F - 12	205	17.46				
F - 13	220	19.06				
F - 14	230	20.11				
F - 15	245	20.72				



איור מס' 1. ריכוז מי הרטיבות בסוללות. למעלה, סוללת הגשר; למטה, סוללת הכביש. כחול, משולשים - שלב ראשון נדגם בקיץ 2000, אדום, מעוינים - שלב שני נדגם בקיץ 2003.

האנליזה נעשתה בסמוך לדיגום כאשר המדגמים הוכנסו לשקיות אטומות מיד עם הדיגום. השרטוט בכחול, משולשים, מתייחס לשלב הראשון של העבודה, כלומר לשלב שנדגם בקיץ 2000. השרטוט באדום, מעוינים, מתייחס לשלב השני של העבודה, כלומר לשלב שנדגם בקיץ 2003.

מבנה הסוללות אינו זהה בעוד שסוללת הגשר נמצאת רובה ככולה מעל לפני השטח, סוללת הכביש נמצאת רובה מתחת לפני השטח.

תכולת מי הרטיבות בשתי הסוללות מתנהגת באופן שונה, בסוללת הגשר תחולת המים כמעט קבועה לעומק כל שכבת האפר שבסוללה. בסוללת הכביש נמצאו שני שיאי רטיבות כאשר במרכז עומק הסוללה ריכוז המים נמוך יותר. בשתי הסוללות ריכוז המים יורד כלפי מעלה וכלפי מטה. התופעה מובנת מעליה כאשר מדובר בקצה הקרוב לפני השטח, שם חומר הסוללה אינו אפר, אולם גם בעומק, מתחת לשכבת האפר ריכוז המים נמוך יותר בהשוואה לריכוז בתוך אפר הפחם. התשובה המתבקשת היא שהאפיניות של אפר הפחם למים גבוהה בהרבה מאשר הנטייה של סלעי הסביבה לספוח מים.

ההבדל במבנה הסוללות אינו יכול להסביר את ההתנהגות השונה בקשר לספיחת מים. חומר המילוי בסוללת הכביש, אינו אפר פחם בלבד וכנראה שבזמן הקמתה ערמו בעומק של כ 150 ס"מ גם חומר שאינו אפר. מעיון בדיפרקטוגרמות קרני ה - X, נבחין שהמדגמים E-5 - E-7, עומקים 200 - 160 סנטימטר בהתאמה, בדו"ח שלב א' מכילים משמעותית פחות mullite מאשר אלה בעומקים הרדודים יותר, Mullite הינה פאזה המופיעה באפר פחם ואינה נמצאת בסלעי הסביבה. נתון זה בולט יותר בדיפרקטוגרמות המופיעות בדו"ח הנוכחי; מדגם F-8 מעומק 140 סנטימטר מכיל משמעותית פחות mullite מאשר מדגם F-7 שמעליו (עומק 120 ס"מ) ומהמדגמים F-9 ו F-10 שמתחתיו (עומקים 150, 170 ס"מ בהתאמה).

ריכוז גבוה של מים באפר הפחם, ומדובר בריכוז של 20 - 35%, מהווה אמצעי לפעילות כימית - מינרלוגית בחומר הסוללות.

הרכב כימי של האפר

הריכוז של 20 יסודות כימיים נבדק לבחינת אפשרות נדידה אנכית של יסודות כימיים (יונים) לעומק הסוללות. עקומות הריכוז ליסודות כסף תוריום ואורניום לא שורטטו כיון שריכוז הכסף נמוך מכדי שיהיה ניתן להבחין בשינויים וריכוז התוריום והאורניום לא נבדק במדגמי שלב I. נמצא, ככלל, שהריכוז המירבי הוא במרכז עומק הסוללה, ריכוז היורד לשני הכוונים. לעיתים מבחינים בהתנהגות בימודלית (שני שיאי ריכוז), כמו למשל בסלן (Se) ואבץ (Zn) בסוללת הגשר. לעיתים הריכוז גדל עם העומק, מנגן (Mn) בסוללת הכביש שלב II וכספית (Hg) בסוללת הגשר שלב I.

על מנת להסיק על אפשרות נדידה אנכית של יסודות כימיים, נחוץ לדעת מה היה ריכוזם, עם העומק, בזמן ההקמה של הסוללות. מאחר ונתונים אלה חסרים והאפר אינו הומוגני בהרכבו, נשווה את הריכוז הנוכחי למדגם אפר מקורי (לא מייצג), שנשמר במעבדה ולא נחשף לתנאי הסביבה המשתנים. הרכב האפר המקורי ניתן כבר בדו"ח השלב הראשון. נביא אותו כאן לנוחיות ההשוואה.

טבלה מס' 2. ריכוז יסודות קורט נבחרים באפר המקורי, חלקים למיליון (ppm).

יסוד כימי :	Cd קדמיום	Be בריליום	Ba בריום	B בור	As ארסן	Ag כסף
ריכוז (ppm) :	0.7	10	2600	150	12	< 1
יסוד כימי :	Mo מוליבדן	Mn מנגן	Hg כספית	Cu נחושת	Cr כרום	Co קובלט
ריכוז (ppm) :	8	420	< 0.2	80	170	60
יסוד כימי :	Zn אבץ	V ונדיום	Se סלן	Sb אנטימון	Pb עופרת	Ni ניקל
ריכוז (ppm) :	85	170	2	1.7	65	110

טבלה מס' 3. ריכוזי יסודות כימיים בחלקים למיליון (ppm) במדגמי שתי הסוללות. G מצוין את סוללת הגשר, F את סוללת הכביש.

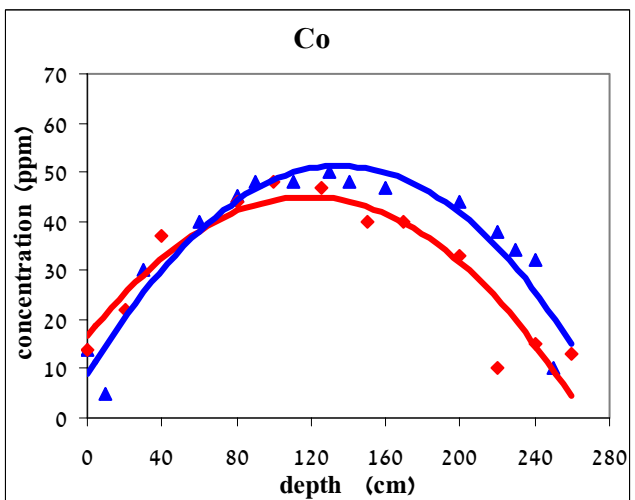
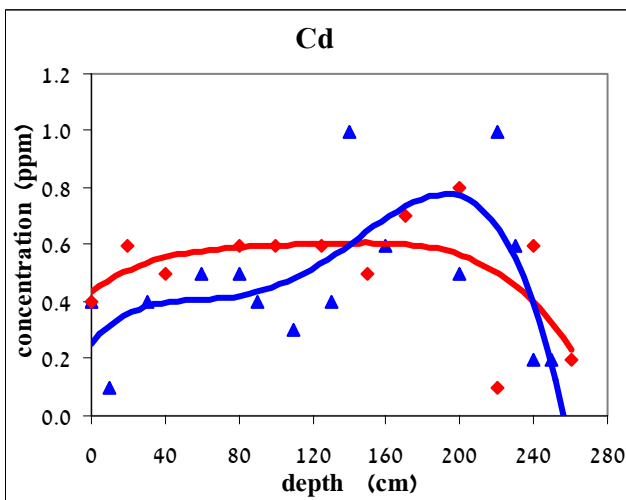
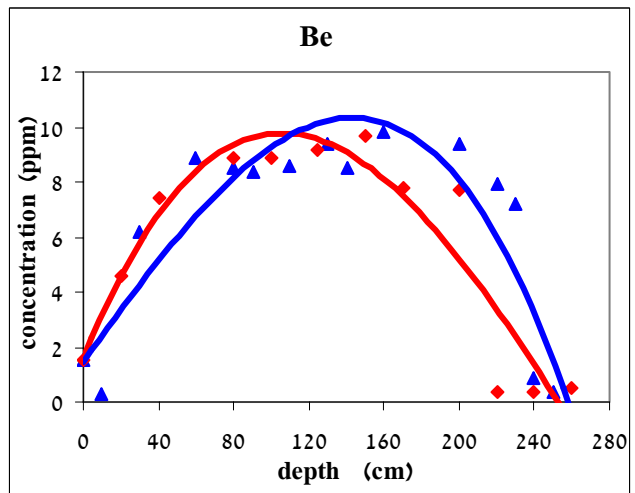
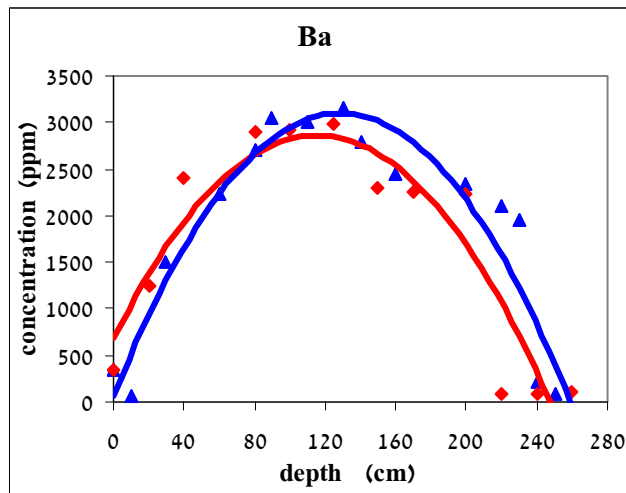
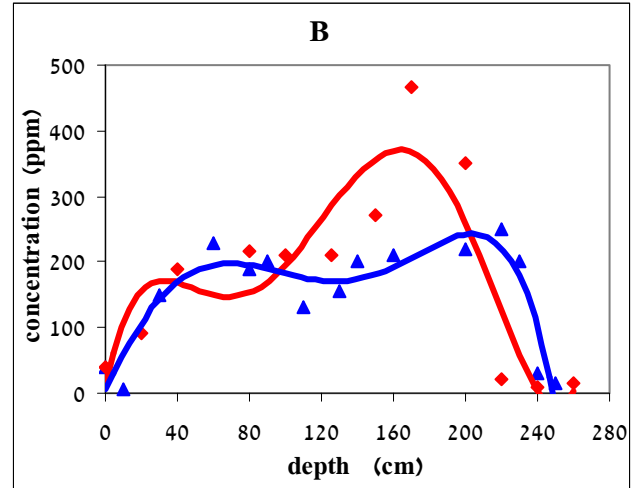
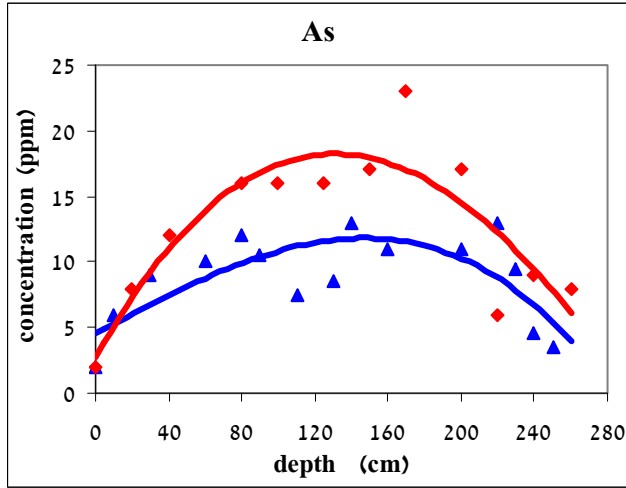
סימון מדגם	עומק (ס"מ)	Ag כסף	As ארסן	B בור	Ba בריום	Be ברליום	Cd קדמיום	Co קובלט	Cr כרום	Cu נחושת	Hg כספית
G - 0	0	< 1	2	40	345	1.5	0.4	14	95	33	≤ 0.02
G - 1	20	< 1	8	90	1245	4.6	0.6	22	90	45	0.06
G - 2	40	< 1	12	190	2400	7.4	0.5	37	140	70	0.17
G - 3	80	< 1	16	215	2900	8.9	0.6	44	180	80	0.17
G - 4	100	< 1	16	210	2925	8.9	0.6	48	180	83	0.23
G - 5	125	< 1	16	210	2985	9.2	0.6	47	180	83	0.24
G - 6	150	< 1	17	270	2300	9.7	0.5	40	165	77	0.09
G - 7	170	< 1	23	465	2250	7.8	0.7	40	150	74	0.18
G - 8	200	1.5	17	350	2235	7.7	0.8	33	135	73	0.15
G - 9	220	< 1	6	20	92	0.4	0.1	10	40	20	< 0.02
G - 10	240	< 1	9	10	94	0.4	0.6	15	50	30	< 0.02
G - 11	260	< 1	8	15	103	0.5	0.2	13	50	30	< 0.02
F - 1	30	< 1	14	100	670	3.9	0.3	21	55	70	0.06
F - 2	60	< 1	26	165	1100	5.9	0.5	27	65	120	0.11
F - 3	75	< 1	21	225	1550	7.7	0.5	36	95	110	0.18
F - 4	90	< 1	17	360	1790	8.6	0.5	39	120	95	0.22
F - 5	100	< 1	17	380	1875	9.1	0.5	40	135	100	0.19
F - 6	110	< 1	11	260	1620	7.6	0.5	36	115	85	0.15
F - 7	120	< 1	13	360	1790	8.7	0.5	40	135	85	0.12
F - 8	140	< 1	3	130	1875	7.4	0.1	30	130	53	< 0.02
F - 9	150	< 1	10	240	2080	6.7	0.6	33	135	95	0.03
F - 10	170	< 1	3	150	1755	6.1	0.2	27	120	55	≤ 0.02
F - 11	190	< 1	20	170	2380	6.3	1.3	36	110	80	0.08
F - 12	205	< 1	7	85	590	1.8	0.4	19	85	33	0.09
F - 13	220	< 1	9	95	440	1.6	0.2	19	85	30	0.11
F - 14	230	< 1	9	115	500	1.7	0.2	20	85	30	0.10
F - 15	245	< 1	8	110	375	1.6	0.2	18	80	28	0.14

טבלה מס' 3 (המשך). ריכוזי יסודות כימיים בחלקים למליון (ppm) במדגמי שתי הסוללות. G מציין את סוללת הגשר, F את סוללת הכביש.

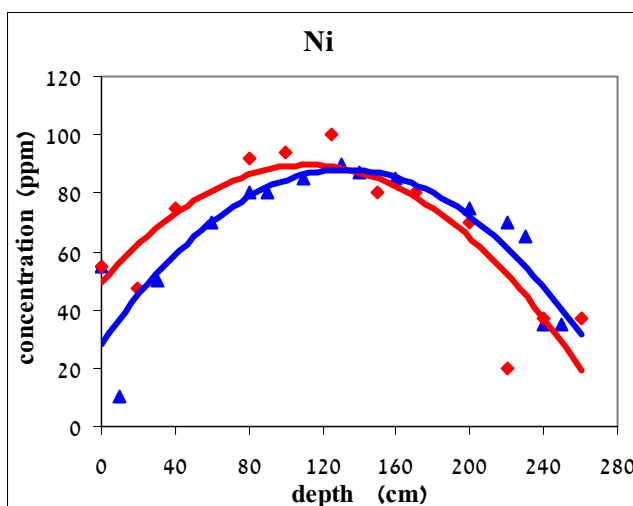
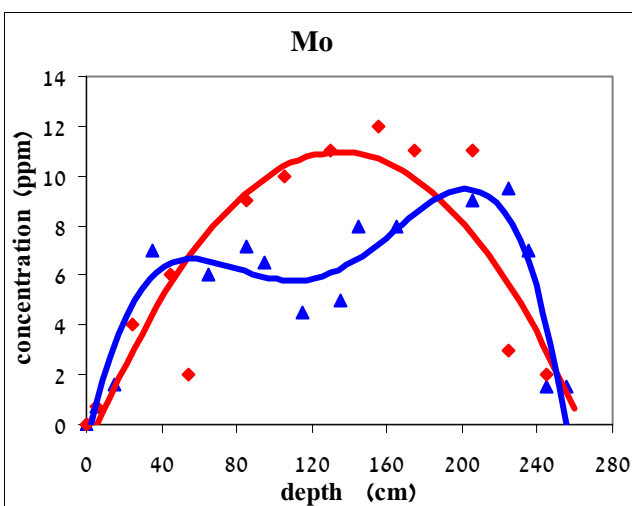
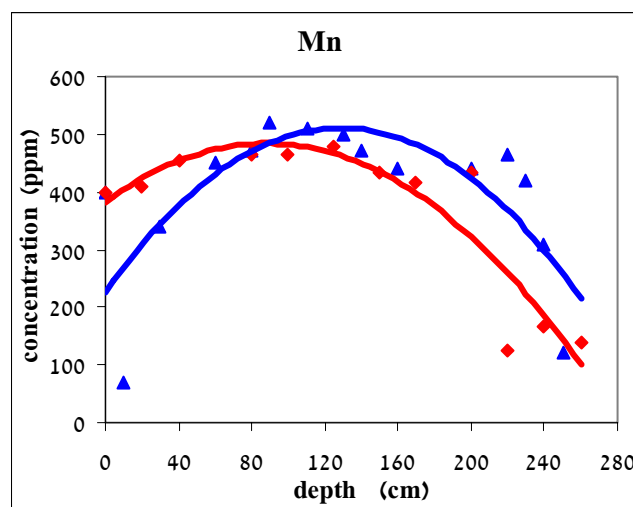
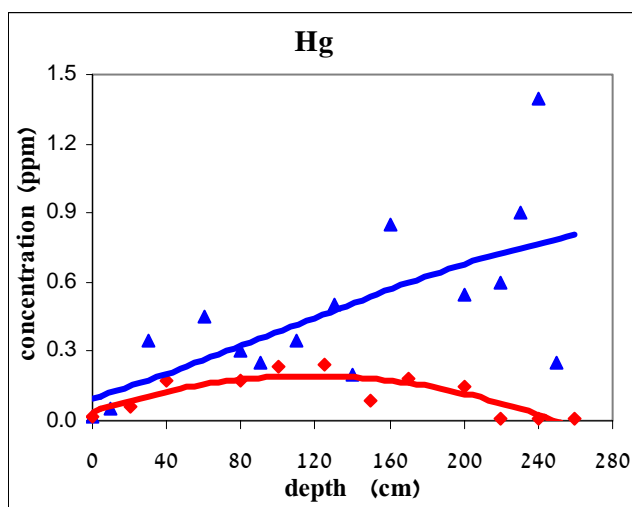
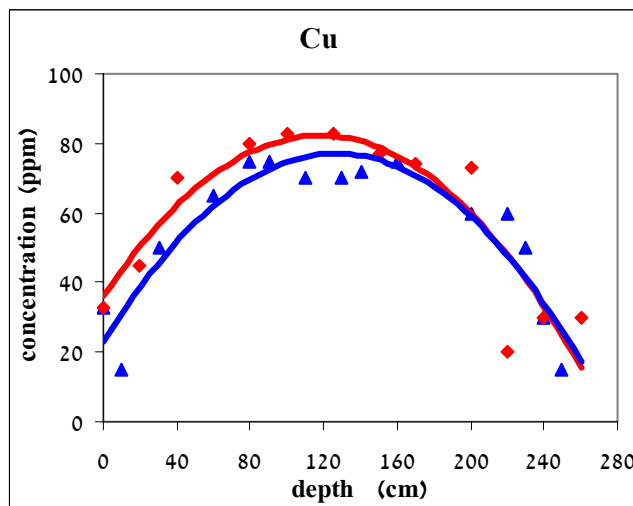
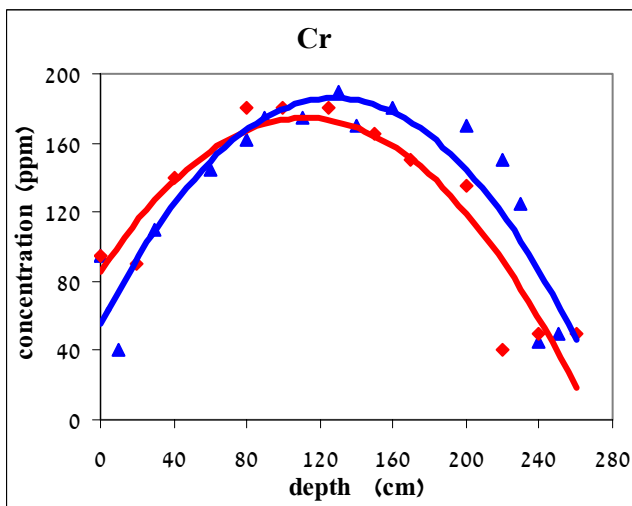
סימון מדגם	עומק (ס"מ)	Mn מנגן	Mo מוליבדן	Ni ניקל	Pb עופרת	Sb אנטימון	Se סלן	Th תוריום	U אורן	V ונדיום	Zn אבץ
G - 0	0	400	0.7	55	15	0.3	3	7	2	69	85
G - 1	20	410	4	47	37	1.3	6	24	8.5	93	83
G - 2	40	455	6	75	60	1.3	4	45	14	137	72
G - 3	80	465	9	92	70	1.5	4	53	17	174	78
G - 4	100	465	10	94	70	1.5	4	52	17	177	81
G - 5	125	480	11	100	67	1.6	2	37	16	179	76
G - 6	150	435	12	80	62	2.0	6	45	15	147	84
G - 7	170	415	11	80	56	2.2	9	39	13	163	97
G - 8	200	435	11	70	47	3.0	12	35	11	150	87
G - 9	220	125	3	20	2	0.2	< 2	2	2.5	55	24
G - 10	240	165	2	37	4	0.3	< 2	2	3	65	34
G - 11	260	140	2	37	3	0.3	< 2	2	2.5	65	34
F - 1	30	225	3	38	28	1.9	3	13	5	110	49
F - 2	60	355	3	50	45	4.7	4	20	7	180	67
F - 3	75	390	4	65	50	4.2	4	25	9	190	77
F - 4	90	415	8	75	51	3.3	4	28	11	185	78
F - 5	100	415	8	85	53	3.1	4	28	11	195	82
F - 6	110	340	6	75	30	1.8	3	18	6	160	77
F - 7	120	380	6	85	34	2.0	5	20	7	185	78
F - 8	140	440	3	73	10	0.4	2	26	9	140	24
F - 9	150	395	5	76	27	2.0	5	28	9	145	75
F - 10	170	385	4	60	14	0.7	2	27	8	125	31
F - 11	190	290	5	80	32	0.5	2.3	17	6	175	116
F - 12	205	600	2	43	14	0.6	3	5	1.5	100	57
F - 13	220	685	1	45	11	0.4	3	6	1.3	95	53
F - 14	230	665	1.5	45	10	0.4	3	6	1.5	95	55
F - 15	245	560	1.5	45	10	0.3	< 2	6	1.5	90	47

הרכב כימי של סוללת הגשר

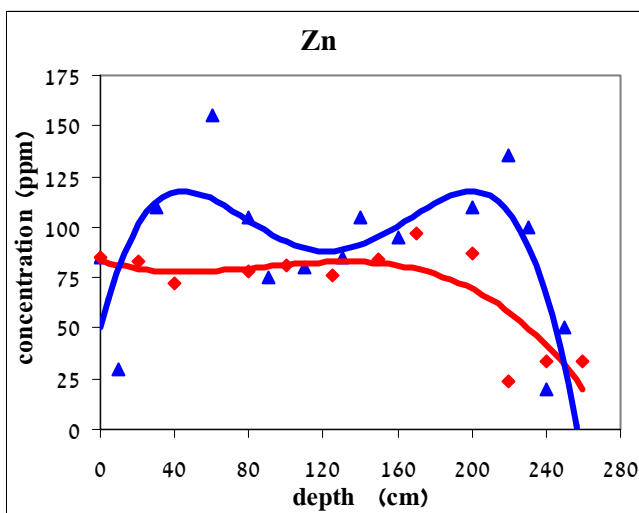
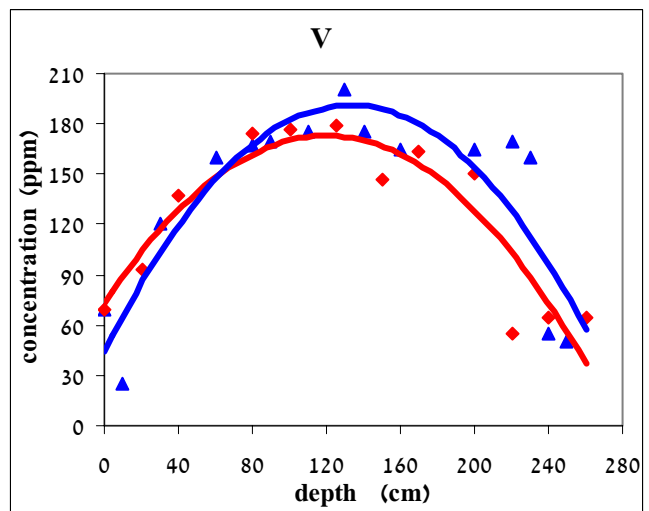
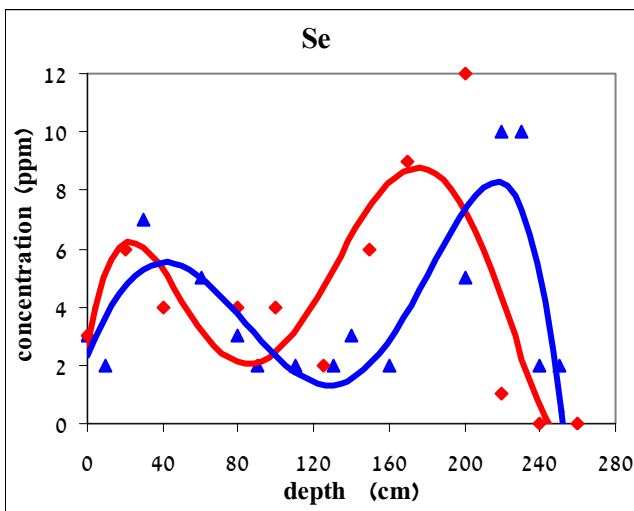
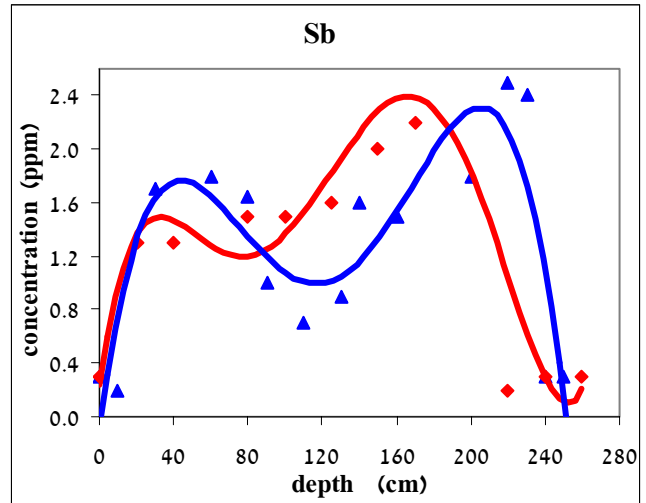
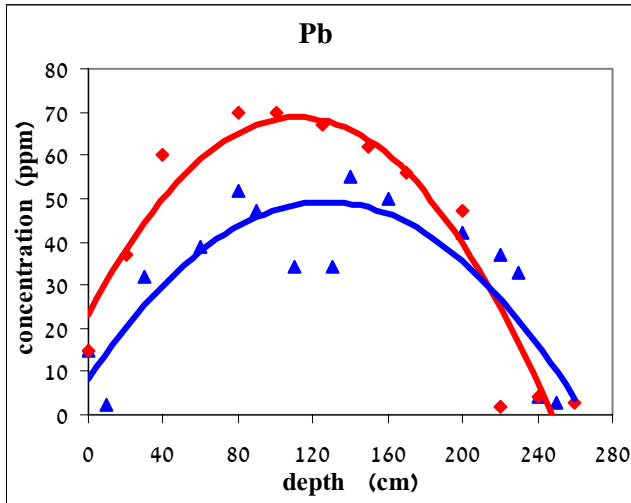
אנליזה כימית של מדגמי סוללת הגשר. המדגמים נטחנו, ויובשו לפני האנליזה בטמפרטורה של 105°C למשך לילה. גם בשרטוטים אלה השרטוט בכחול, משולשים, מתייחס לשלב הראשון של העבודה, כלומר לשלב שנדגם בשנת 2000. השרטוט באדום, מעוינים, מתייחס לשלב השני של העבודה, כלומר לשלב שנדגם בשנת 2003.



איור מס' 2. ריכוז יסודות כימיים במדגמים של סוללת הגשר. כחול, משולשים - שלב I. אדום מעוינים - שלב II.



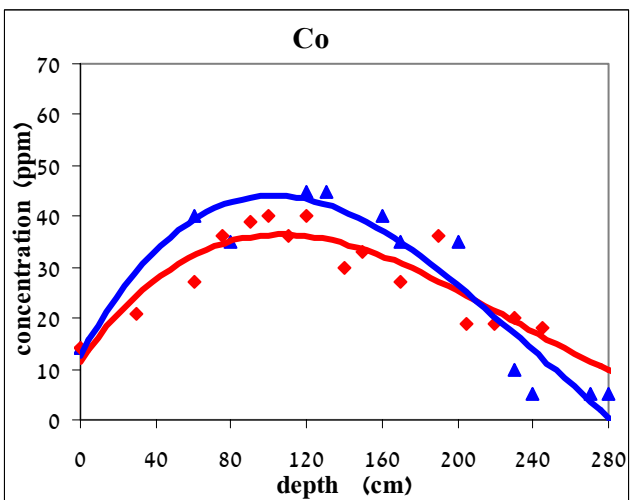
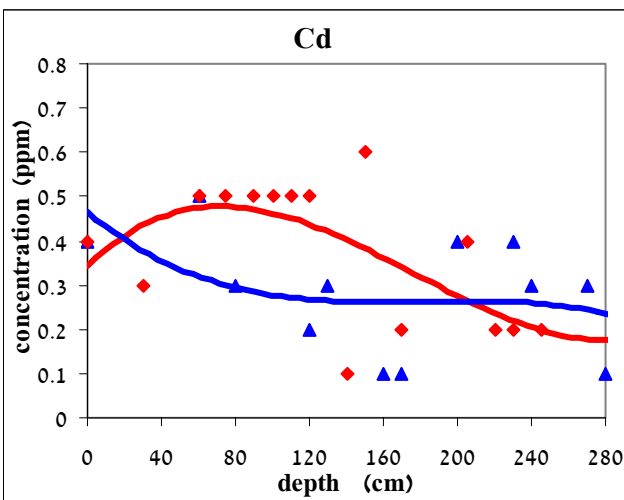
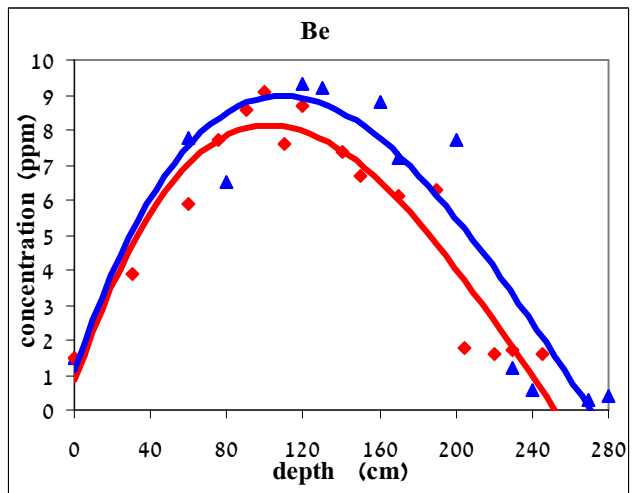
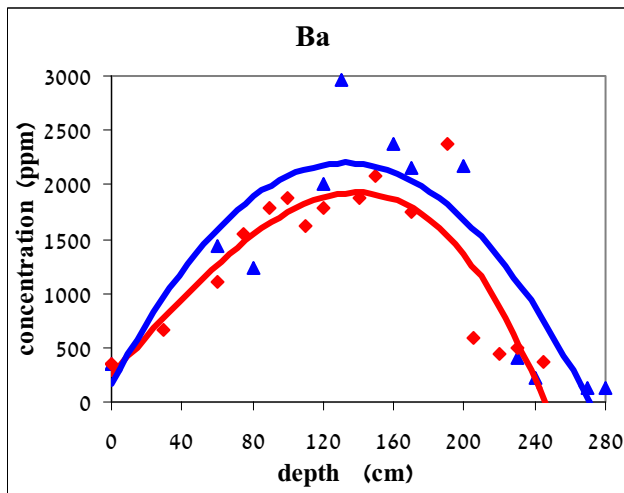
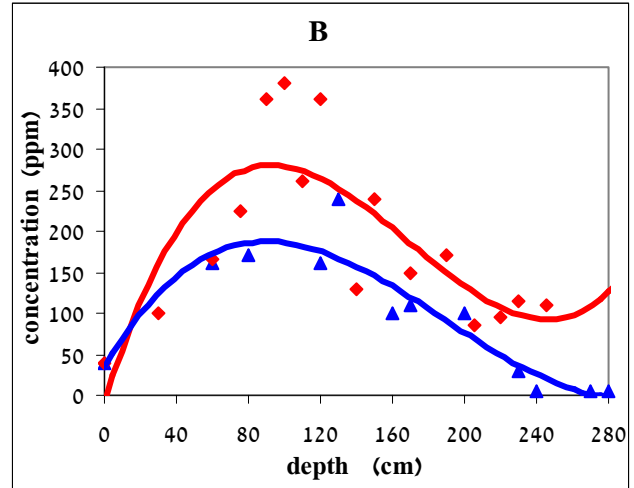
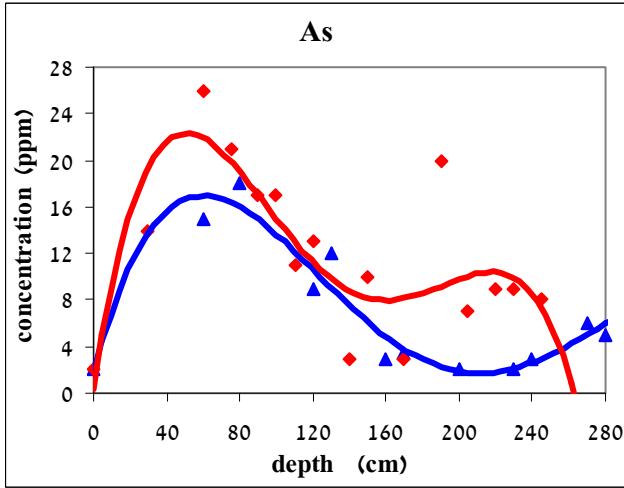
איור מס' 2 (המשך). ריכוז יסודות כימיים במדגמים של סוללת הגשר. כחול, משולשים - שלב I. אדום מעוינים - שלב II.



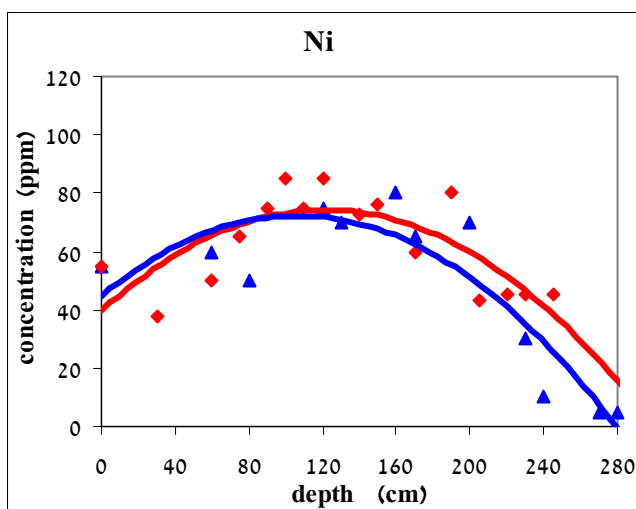
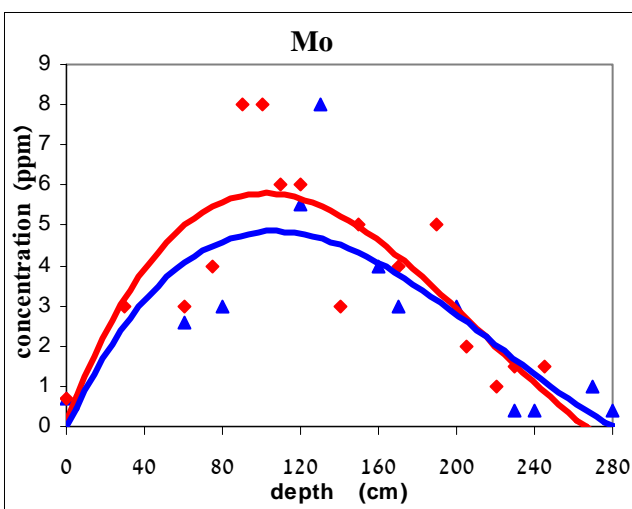
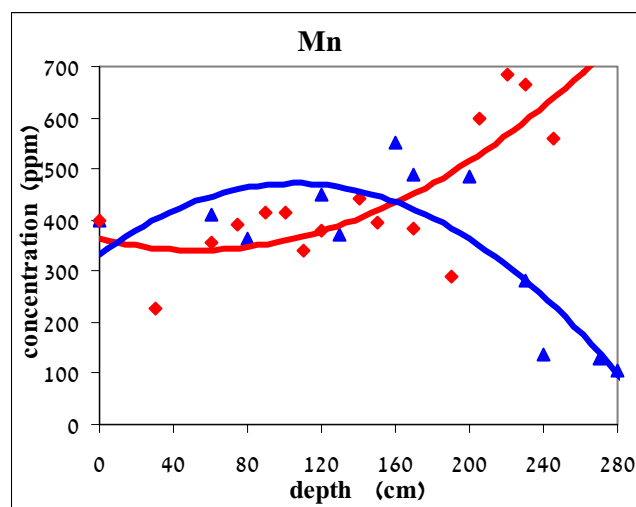
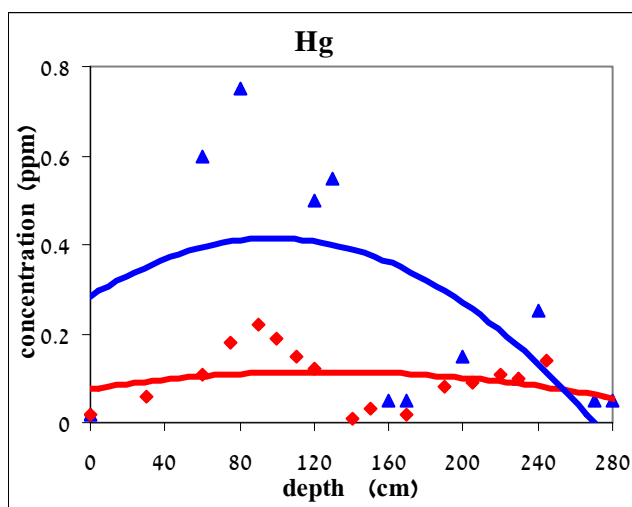
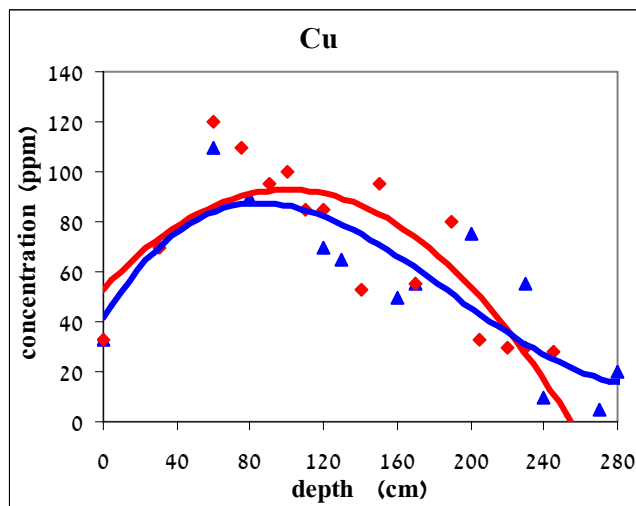
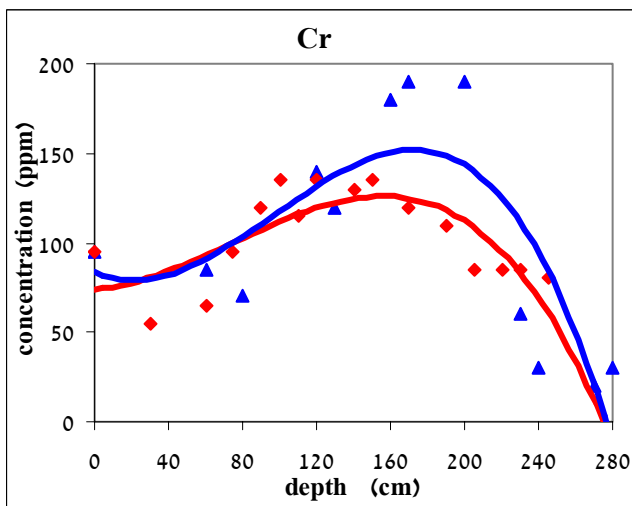
איור מס' 2 (המשך). ריכוז יסודות כימיים במדגמים של סוללת הגשר. כחול, משולשים - שלב I. אדום מעוינים - שלב II.

הרכב כימי של סוללת הכביש

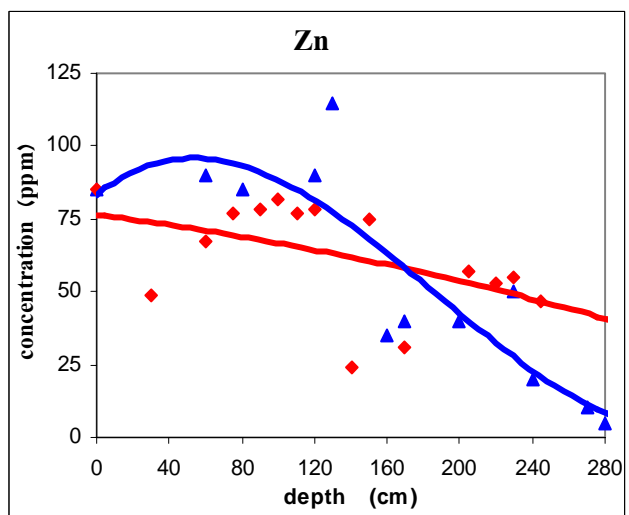
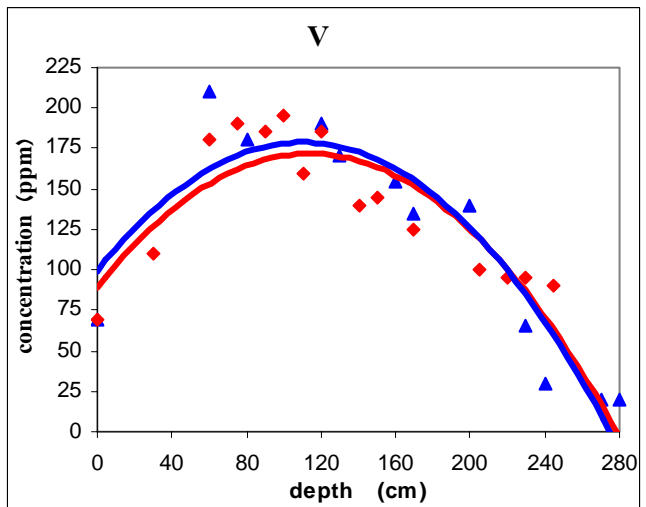
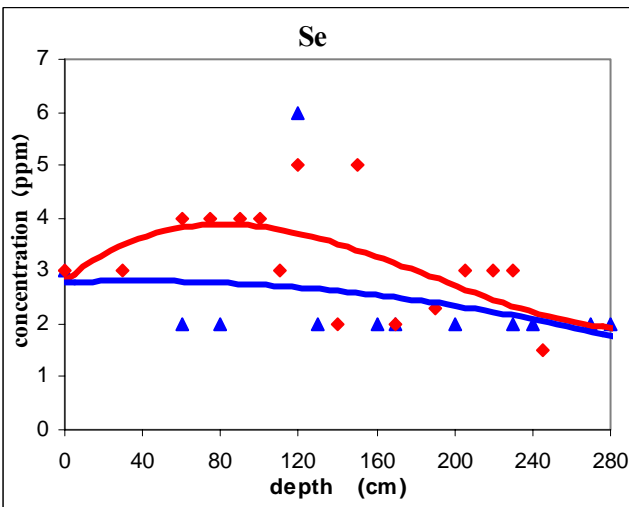
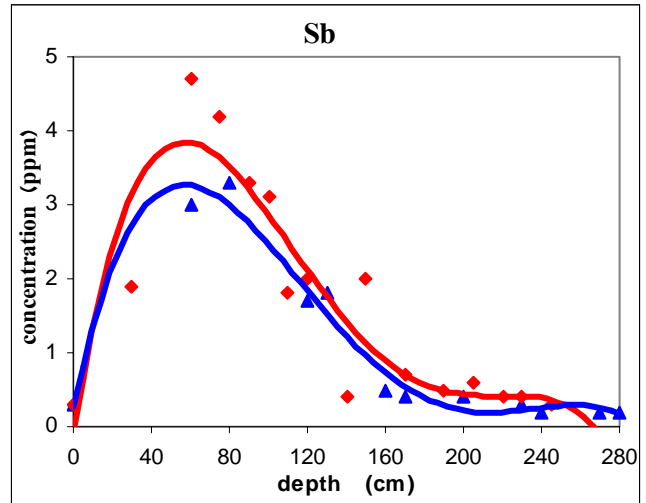
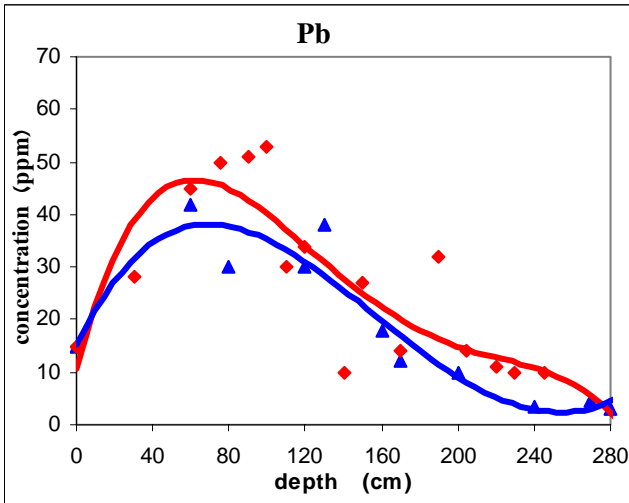
אנליזה כימית של מדגמי סוללת הכביש. המדגמים נטחנו, ויובשו לפני האנליזה בטמפרטורה של 105°C למשך לילה. גם בשרטוטים אלה השרטוט בכחול, משולשים, מתייחס לשלב הראשון של העבודה, כלומר לשלב שנדגם בשנת 2000. השרטוט באדום, מעוינים, מתייחס לשלב השני של העבודה, כלומר לשלב שנדגם בשנת 2003.



איור מס' 3. ריכוז יסודות כימיים במדגמים של סוללת הכביש. כחול, משולשים - שלב I. אדום מעוינים - שלב II.



איור מס' 3 (המשך). ריכוז יסודות כימיים במדגמים של סוללת הכביש. כחול, משולשים - שלב I. אדום מעוינים - שלב II.



איור מס' 3 (המשך). ריכוז יסודות כימיים במדגמים של סוללת הכביש. כחול, משולשים - שלב I. אדום מעוינים - שלב II. (המשך).

מבחני שטיפה לפי תקן TCLP, סוללת הגשר

לבדיקת אפשרות נדידה אנכית של יונים נעשו בדיקות מיצוי, בסוללת הגשר, בשיטת TCLP של מדגמים משני עומקים. המדגמים נלקחו מעומק של 80 ס"מ ושל 150 - 140 ס"מ. נבדקו שני מדגמים מאלה שנדגמו בשנת 2000 ושני מדגמים מאלה שנדגמו בשנת 2003.

טבלה מס' 4. תוצאות אנליזה כימית של אפר סוללת הגשר ותוצאות אנליזה כימית של תמיסות מיצוי TCLP. המדגמים נדגמו בשנת 2000 (stage I) ונבדקו בשנת 2004. המדגמים נלקחו מעומק 80 cm.

element	ash (ppm)	ash (ppm)	ash (ppm)	אפר מקורי (ppm)	TCLP (ppb)	TCLP (ppb)	TCLP (ppb)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Ag	1	< 1	< 1	< 1	0.2	0.2	0.2
As	13	3.5	12	12	37	35	36
B	200	185	190	150	7800	7700	7750
Ba	2600	2800	2700	2600	670	700	685
Be	8.5	8.5	8.5	10	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cd	0.6	0.4	0.5	0.7	0.4	0.4	0.4
Co	44	45	45	60	< 10	< 10	< 10
Cr	160	165	162	170	910	900	905
Cu	80	70	75	80	< 10	< 10	< 10
Hg	0.22	0.45	0.3	< 0.2	0.08	0.12	0.1
Mn	460	485	470	420	130	145	137
Mo	8	6.5	7.2	8	242	243	242
Ni	80	80	80	110	40	50	45
Pb	60	44	52	65	0.5	0.3	0.4
Sb	1.7	1.6	1.65	1.7	9	7	8
Se	4	2	3	2	20	23	21
V	170	165	167	170	300	305	302
Th	39		39		0.3	0.3	0.3
U	15		15		38	38	38
Zn	115	95	105	85	46	40	43

- (1) תוצאות אנליזה האפר שנבדק בשנת 2004, בחלקים למליון (ppm).
- (2) תוצאות אנליזה האפר שנבדק בשנת 2001 - 2000, ומופיעות בדו"ח שלב א' 2001, חלקים למליון (ppm).
- (3) ריכוזים מומלצים בחלקים למליון (ppm) של היסודות הכימיים באפר.
- (4) תוצאות אנליזה האפר המקורי. יש לזכור שהאפר ששימש לסוללות אינו הומוגני.
- (5) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), בדיקה ראשונה.
- (6) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), בדיקה שנייה.
- (7) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), ערכים ממוצעים.

טבלה מס' 5. תוצאות אנליזה כימית של אפר סוללת הגשר ותוצאות אנליזה כימית של תמיסות מיצוי TCLP. המדגמים נדגמו בשנת 2003 (stage II) ונבדקו בשנת 2004. המדגמים נלקחו מעומק 80 cm.

element	ash	ash	ash	TCLP	TCLP	TCLP
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppb)	(ppb)	(ppb)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Ag	1	< 1	1	0.1	0.1	0.1
As	14	16	15	68	68	68
B	220	215	217	6650	6630	6640
Ba	2800	2900	2850	430	480	455
Be	8.5	8.9	8.7	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cd	0.8	0.6	0.7	0.5	0.5	0.5
Co	48	44	46	10	< 10	< 10
Cr	170	180	175	820	835	827
Cu	78	80	79	< 10	< 10	< 10
Hg	0.23	0.17	0.2	< 0.02	< 0.02	< 0.02
Mn	480	470	475	245	265	255
Mo	9	9	9	200	206	203
Ni	95	92	93	70	75	72
Pb	69	70	70	0.3	0.7	0.5
Sb	1.7	1.5	1.6	8	8	8
Se	3	4	3.5	26	30	28
V	185	175	180	525	530	527
Th	58	53	55	0.2	0.3	0.25
U	16	17	16.5	38	35	36
Zn	120	80	95	68	68	68

- (1) תוצאות אנליזה האפר שנבדק בשנת 2004, בחלקים למליון (ppm), בדיקה ראשונה.
- (2) תוצאות אנליזה האפר שנבדק בשנת 2004, בחלקים למליון (ppm), בדיקה שנייה.
- (3) ריכוזים מומלצים בחלקים למליון (ppm) של היסודות הכימיים באפר.
- (4) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), בדיקה ראשונה.
- (5) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), בדיקה שנייה.
- (6) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), ערכים ממוצעים.

טבלה מס' 6. תוצאות אנליזה כימית של אפר סוללת הגשר ותוצאות אנליזה כימית של תמיסות מיצוי TCLP. המדגמים נדגמו בשנת 2000 (stage I) ונבדקו בשנת 2004. המדגמים נלקחו מעומק 140 cm.

element	ash	ash	ash	TCLP	TCLP	TCLP
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppb)	(ppb)	(ppb)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Ag	< 1	< 1	< 1	0.1	0.1	0.1
As	14	12	13	43	46	45
B	205	200	200	7350	7300	7325
Ba	2600	3000	2800	730	700	715
Be	8	9.1	8.5	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cd	0.7	1.3	1	0.5	0.4	0.45
Co	45	52	48	< 10	< 10	< 10
Cr	160	180	170	760	790	775
Cu	74	70	72	< 10	< 10	< 10
Hg	0.19	1	0.2	0.03	0.02	0.025
Mn	460	480	470	160	150	155
Mo	9	7	8	222	220	221
Ni	85	90	87	55	45	50
Pb	65	45	55	0.4	0.2	0.3
Sb	2	1.2	1.6	10	10	10
Se	4	2	3	33	34	33
V	160	190	175	320	315	317
Th	58		58	38	38	38
U	15		15	0.3	0.3	0.3
Zn	115	95	105	36	40	38

- (1) תוצאות אנליזה האפר שנבדק בשנת 2004, בחלקים למליון (ppm).
- (2) תוצאות אנליזה האפר שנבדק בשנת 2001 – 2000, ומופיעות בדו"ח שלב א' 2001, חלקים למליון (ppm).
- (3) ריכוזים מומלצים בחלקים למליון (ppm) של היסודות הכימיים באפר.
- (4) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), בדיקה ראשונה.
- (5) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), בדיקה שנייה.
- (6) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), ערכים ממוצעים.

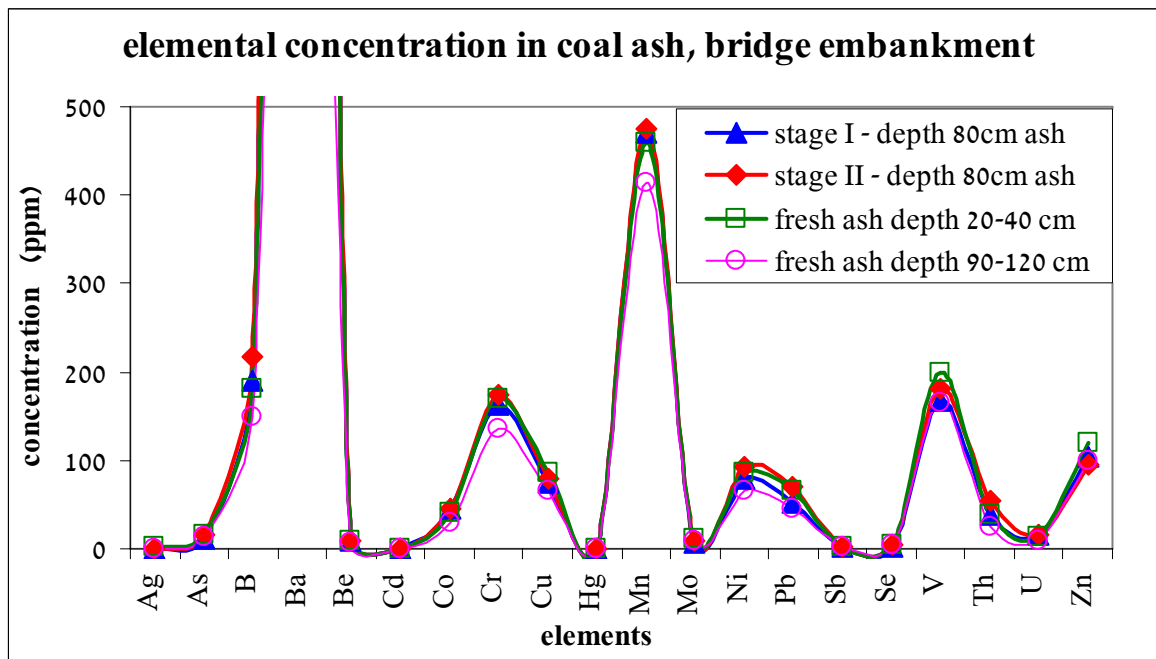
טבלה מס' 7. תוצאות אנליזה כימית של אפר סוללת הגשר ותוצאות אנליזה כימית של תמיסות מיצוי TCLP. המדגמים נדגמו בשנת 2003 (stage II) ונבדקו בשנת 2004. המדגמים נלקחו מעומק 150 cm.

element	ash	ash	ash	TCLP	TCLP	TCLP
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppb)	(ppb)	(ppb)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Ag	1	< 1	1	0.1	0.1	0.1
As	15	17	16	99	102	100
B	260	270	265	9950	10000	9975
Ba	2200	2300	2250	565	550	557
Be	10	9.7	9.8	0.2	0.3	0.25
Cd	0.6	0.5	0.55	0.8	0.6	0.7
Co	45	40	42	< 10	< 10	< 10
Cr	165	165	165	780	760	770
Cu	75	77	76	< 10	< 10	< 10
Hg	0.18	0.1	0.14	0.03	0.05	0.04
Mn	440	435	437	345	330	337
Mo	12.5	12	12.2	320	295	307
Ni	90	80	85	75	80	77
Pb	64	62	63	0.8	0.6	0.7
Sb	2.2	2	2.1	9	10	9.5
Se	4.5	6	5.2	79	78	78
V	165	150	157	620	635	627
Th	49	45	47	0.4	0.2	0.3
U	15	15	15	30	31	30
Zn	120	90	105	55	85	70

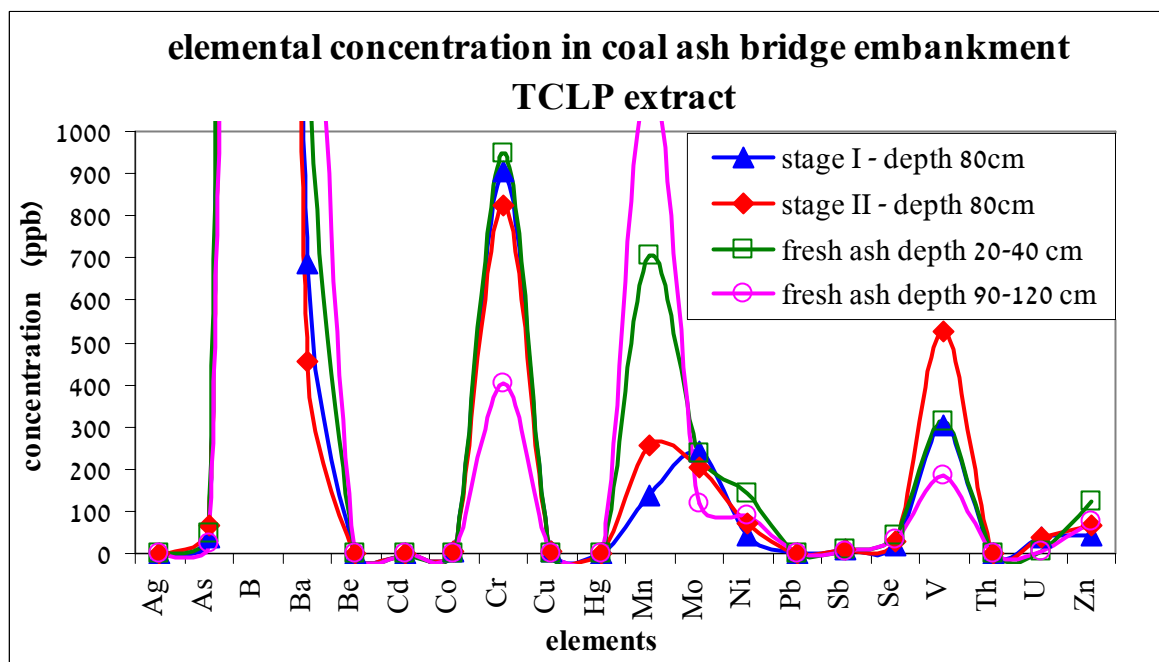
- (1) תוצאות אנליזה האפר שנבדק בשנת 2004, בחלקים למליון (ppm) בדיקה ראשונה.
- (2) תוצאות אנליזה האפר שנבדק בשנת 2004 בחלקים למליון (ppm). בדיקה שניה.
- (3) ריכוזים מומלצים בחלקים למליון (ppm) של היסודות הכימיים באפר.
- (4) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), בדיקה ראשונה.
- (5) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), בדיקה שניה.
- (6) תוצאות אנליזה תמיסת מיצוי TCLP, בחלקים לבליון (ppb), ערכים ממוצעים.

טבלה מס' 8. תוצאות אנליזה כימית של אפר סוללת הגשר ותוצאות אנליזה כימית של תמיסות מיצוי TCLP. המדגמים נדגמו ע"י מינהל המחקר החקלאי בית דגן, בשנת 2000 (6.9.2000) ונבדקו בשנת 2005. המדגמים סומנו בשם Fresh ash ונלקחו משני עומקים 20-40 cm, 90-120 cm.

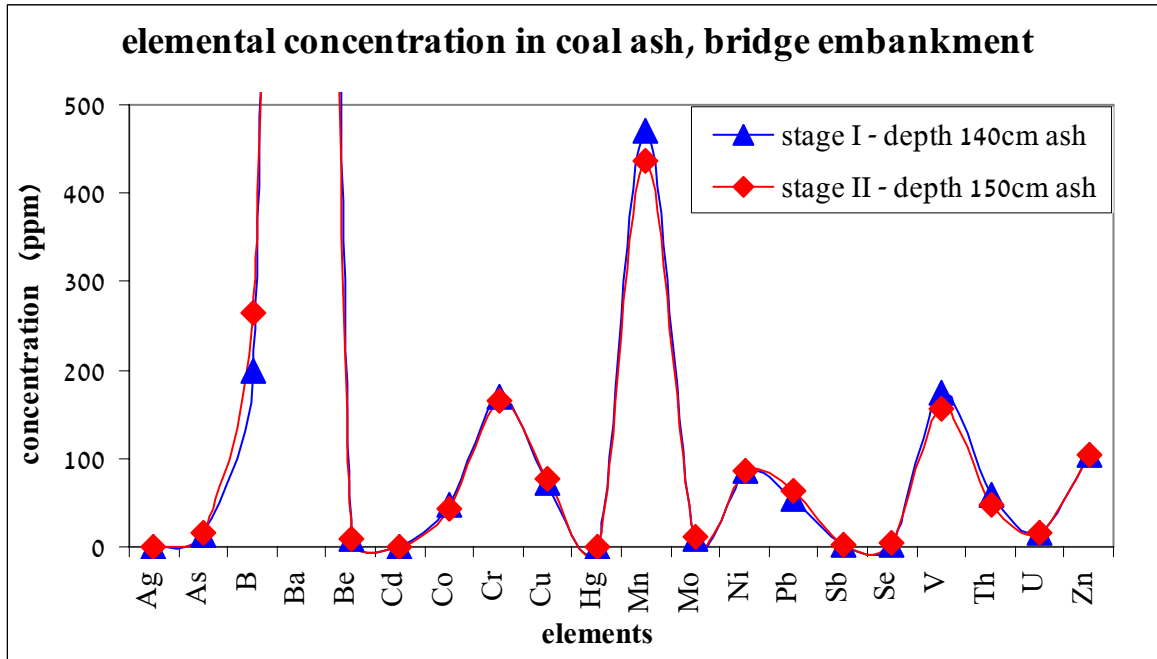
element	ash	TCLP	ash	TCLP
	(ppm)	(ppb)	(ppm)	(ppb)
	Fresh ash depth 20-40 cm	Fresh ash depth 20-40 cm	Fresh ash depth 90-120 cm	Fresh ash depth 90-120 cm
Ag	2	< 1	1	0.1
As	15	46	14	25
B	180	10400	150	6200
Ba	2550	1275	1750	2050
Be	10	< 0.5	7	< 0.5
Cd	0.7	1.2	0.6	1.6
Co	40	< 10	30	< 10
Cr	170	950	135	405
Cu	85	< 10	65	< 10
Hg	0.25	0.07	0.2	< 0.05
Mn	460	705	415	1155
Mo	11	235	9	120
Ni	85	140	65	92
Pb	65	2	45	0.7
Sb	2	7.4	2	6.3
Se	4	43	4	35
V	200	315	165	185
Th	38	0.25	26	0.2
U	14.5	4	10	3.4
Zn	120	125	100	75



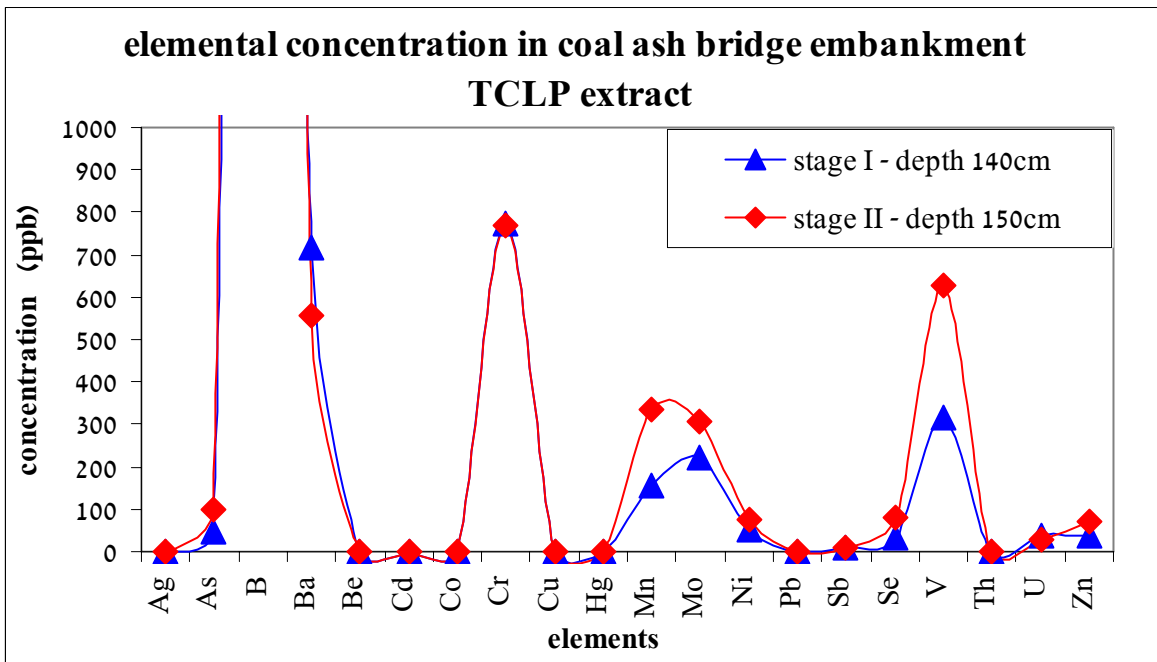
איור מס' 4. ריכוז יסודות קורט נבחרים באפר סוללת הגשר, עומק 80 cm. stage I, אפר שנדגם בשנת 2000. stage II, אפר שנדגם בשנת 2003. הערכים ביחידות ppm. בנוסף מובאים ריכוזי היסודות באפר טרי שהיה קבור בסוללה זמן קצר (נדגם ביום 6.9.2000).



איור מס' 5. ריכוז יסודות קורט נבחרים בתמיסת המיצוי בשיטת TCLP מאפר סוללת הגשר, עומק 80 cm. stage I, אפר שנדגם בשנת 2000. stage II, אפר שנדגם בשנת 2003. הערכים ביחידות ppb. בנוסף מובאים ריכוזי היסודות בתמיסת המיצוי בשיטת TCLP באפר טרי שהיה קבור בסוללה זמן קצר (נדגם ביום 6.9.2000).



איור מס' 6. ריכוז יסודות קורט נבחרים באפר סוללת הגשר, עומק 140, 150 cm, stage I, אפר שנדגם בשנת 2000, stage II, אפר שנדגם בשנת 2003. הערכים ביחידות ppm.

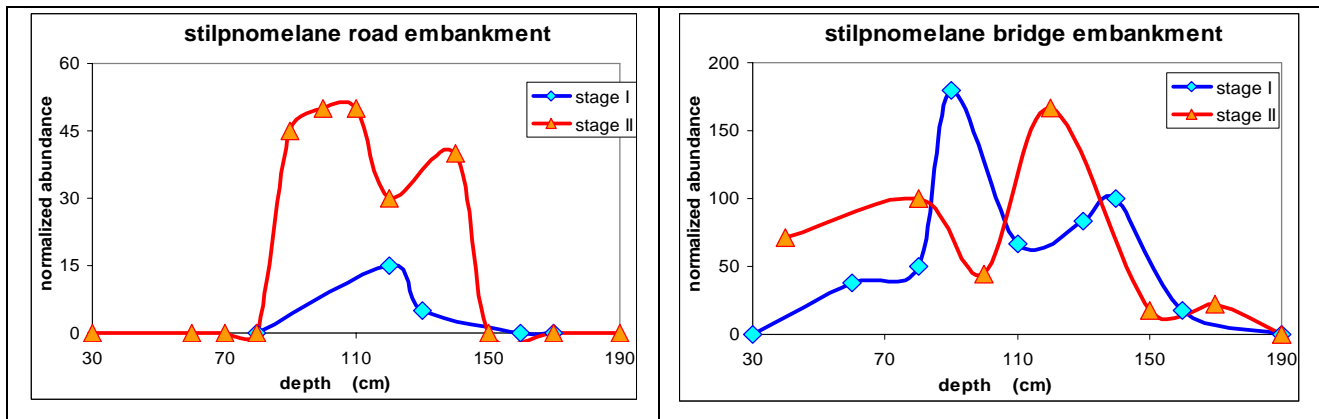


איור מס' 7. ריכוז יסודות קורט נבחרים בתמיסת המיצוי בשיטת TCLP מאפר סוללת הגשר, עומק 140, 150 cm, stage I, אפר שנדגם בשנת 2000, stage II, אפר שנדגם בשנת 2003. הערכים ביחידות ppb.

X – דיפרקציה בקרני – הרכב מינרלוגי של האפר. דיפרקציה בקרני – X

בששת הדפים הבאים 30 - 25, מובאות דיפרקטוגרמות של מדגמי שתי הסוללות. תמונות הדיפרקציה של אפר הסוללות, בניגוד לשולים; קרוב לפני השטח ובעומק, דומות למדי. החרג העיקרי, כפי שכבר נמסר בדו"ח הראשון הוא נוכחותה של פאזה חדשה שאינה קיימת באפר טרי: $\text{stilpnomelane } (\text{Fe, Mg})_6(\text{Si, Al})_8\text{O}_{19}(\text{OH})_9$. על מנת לבחון את ההתנהגות של פאזה זו, שרטטנו עוצמת שיא של המינרל, מנורמל לעוצמת שיא של קוורץ. מטרת הנרמול היא להתגבר, במידה מסוימת, על שינויים בתנאי הבדיקה, והמינרל קוורץ נבחר בהיותו יציב ונוכח בכל המדגמים.

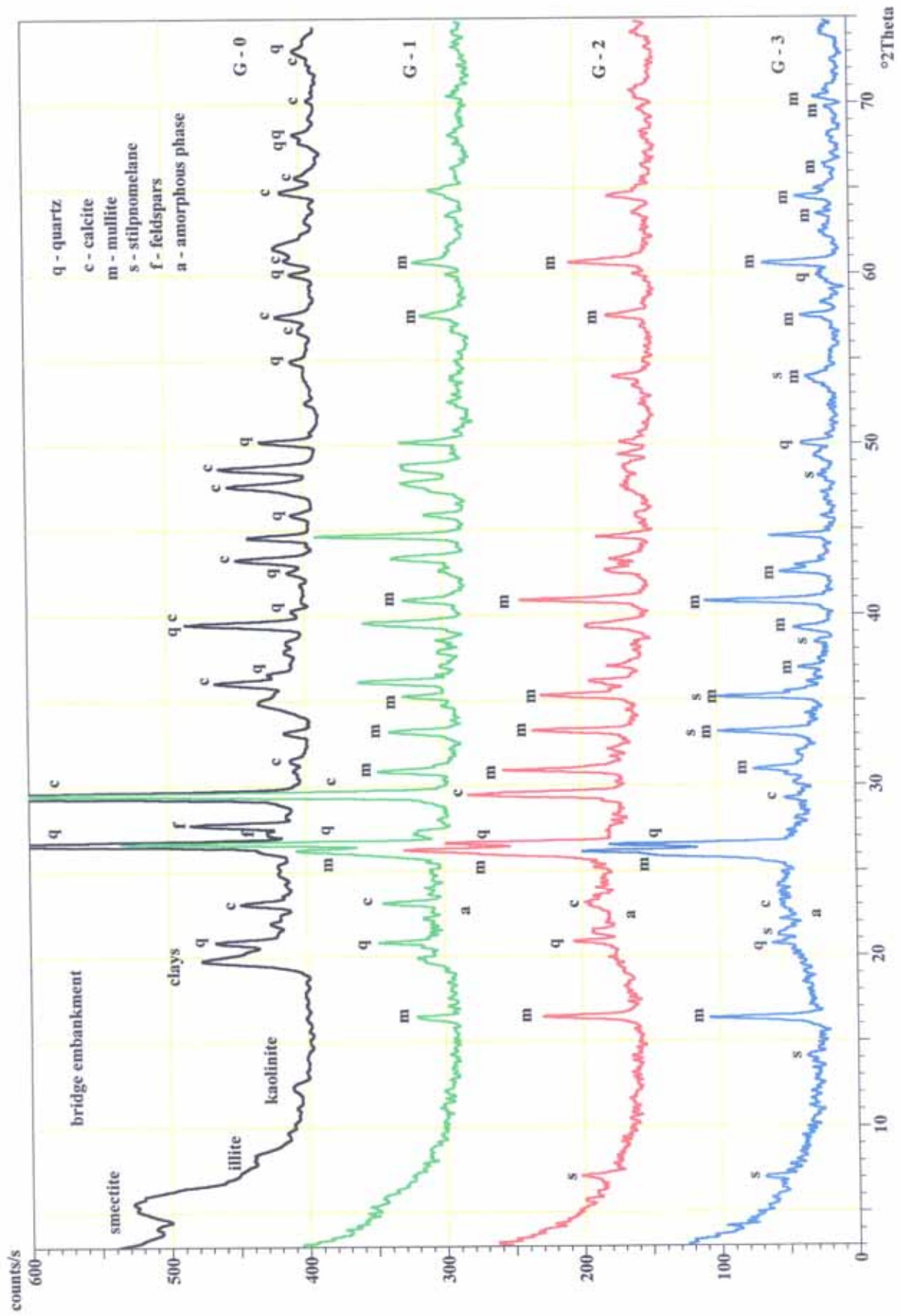
הפאזה stilpnomelane קיימת בשתי הסוללות. בסוללת הכביש, הפחות פעילה, ריכוזה נמוך בהרבה מאשר בסוללת הגשר הפעילה יותר (לפחות הלחה יותר). כמו כן ניתן לראות שבסוללת הכביש, ריכוז הפאזה גדל עם הזמן, הריכוז גבוה יותר בשלב הדגימה השני, יחסית לשלב הראשון.

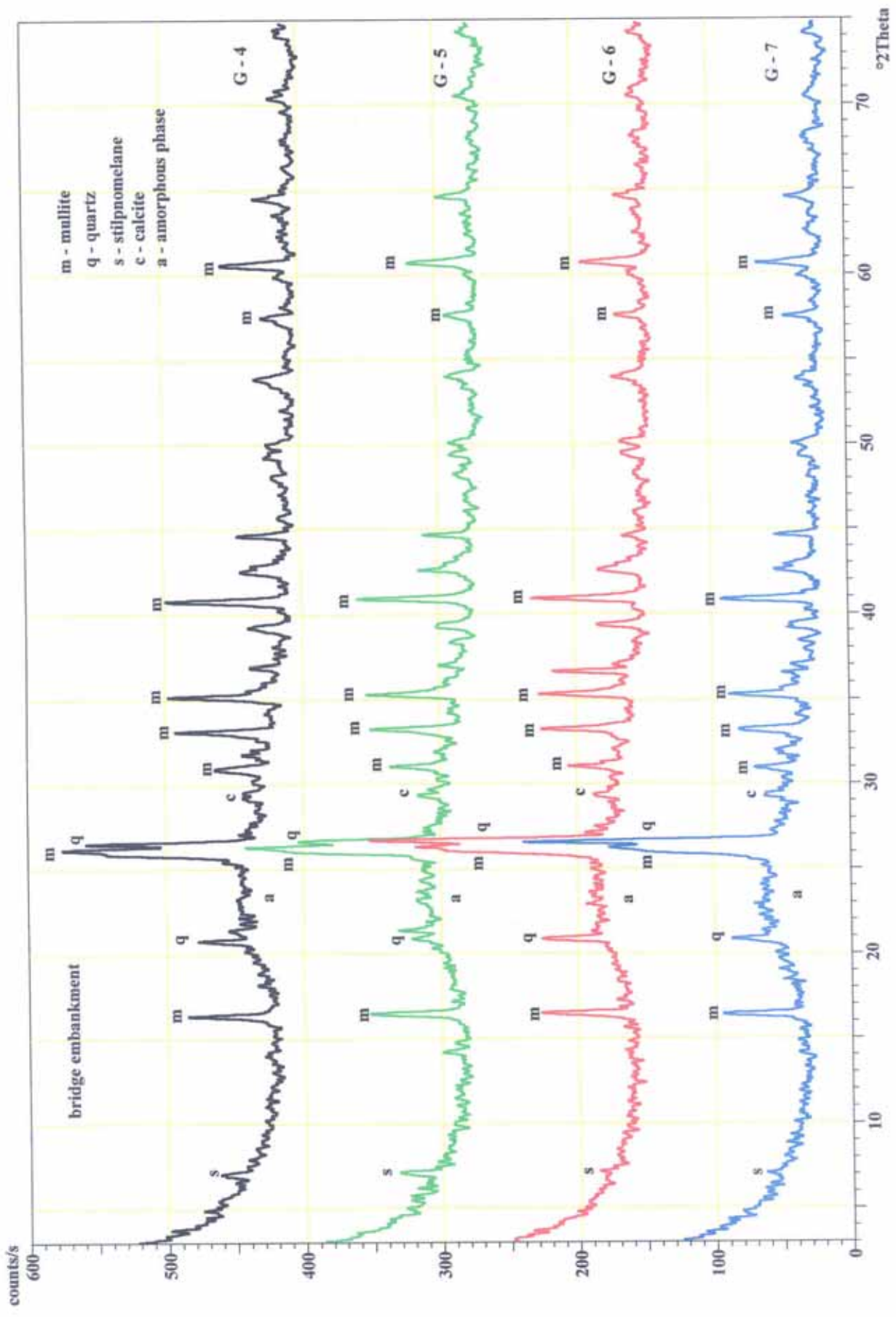


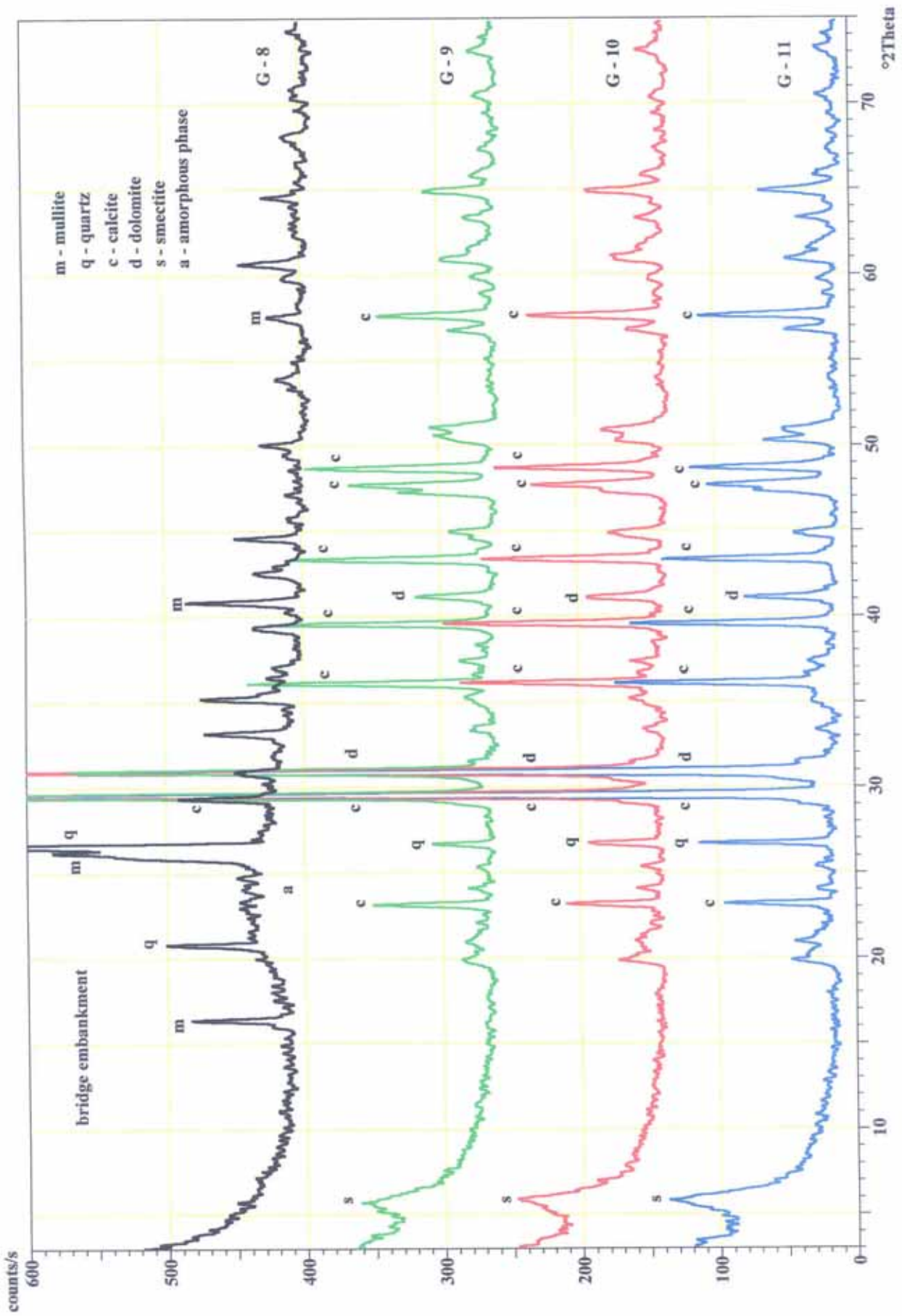
איור מס' 8. ריכוז הפאזה החדשה באפר, stilpnomelane בשתי הסוללות, בשני שלבי הדגימה. יחידות הריכוז המנורמלות לקוורץ, זהות בשני השרטוטים.

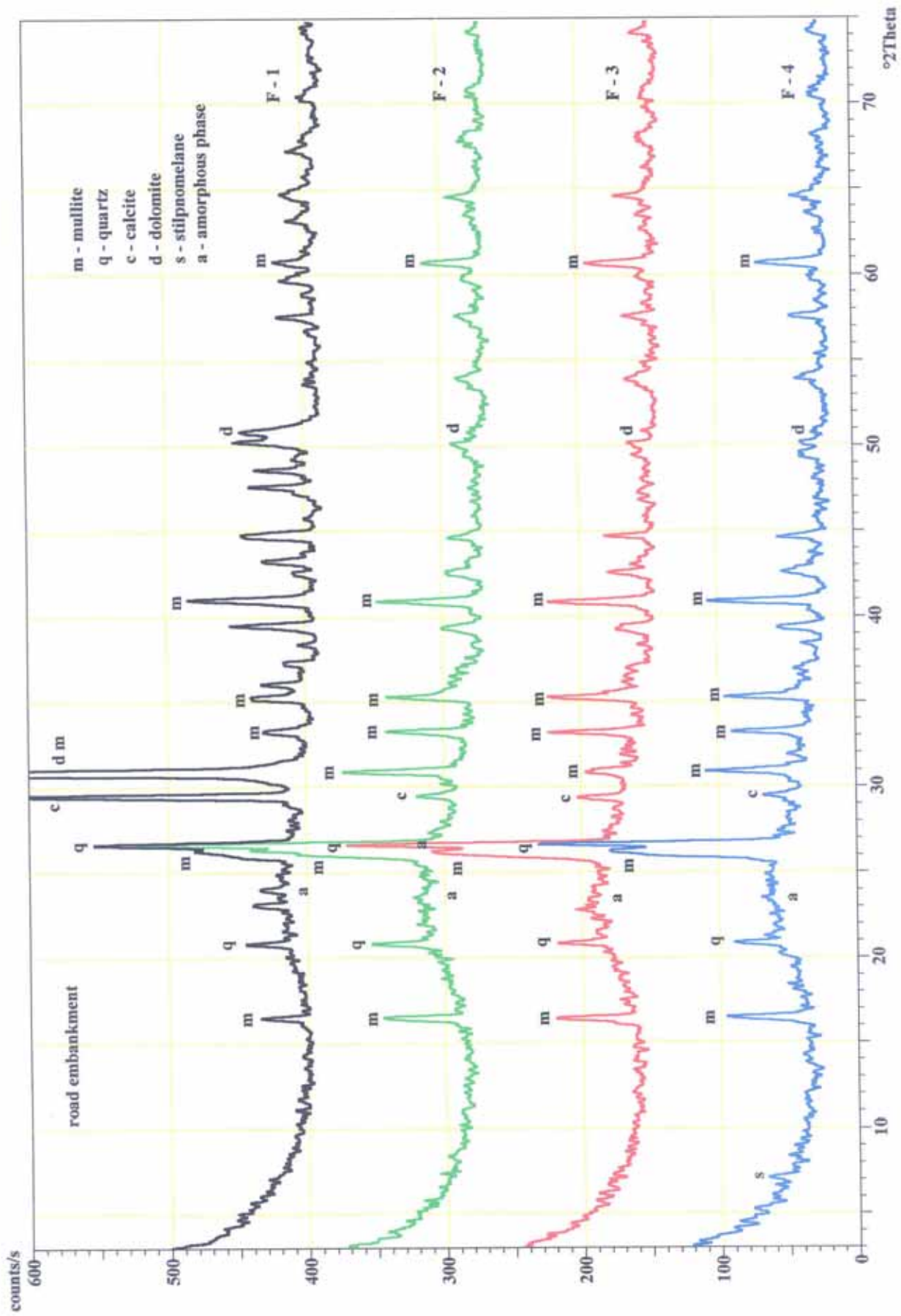
איורים מס' 9 – 11. דיפרקטוגרמות קרני – X של מדגמי הגשר מעומקים שונים (עמודים 23 – 21).

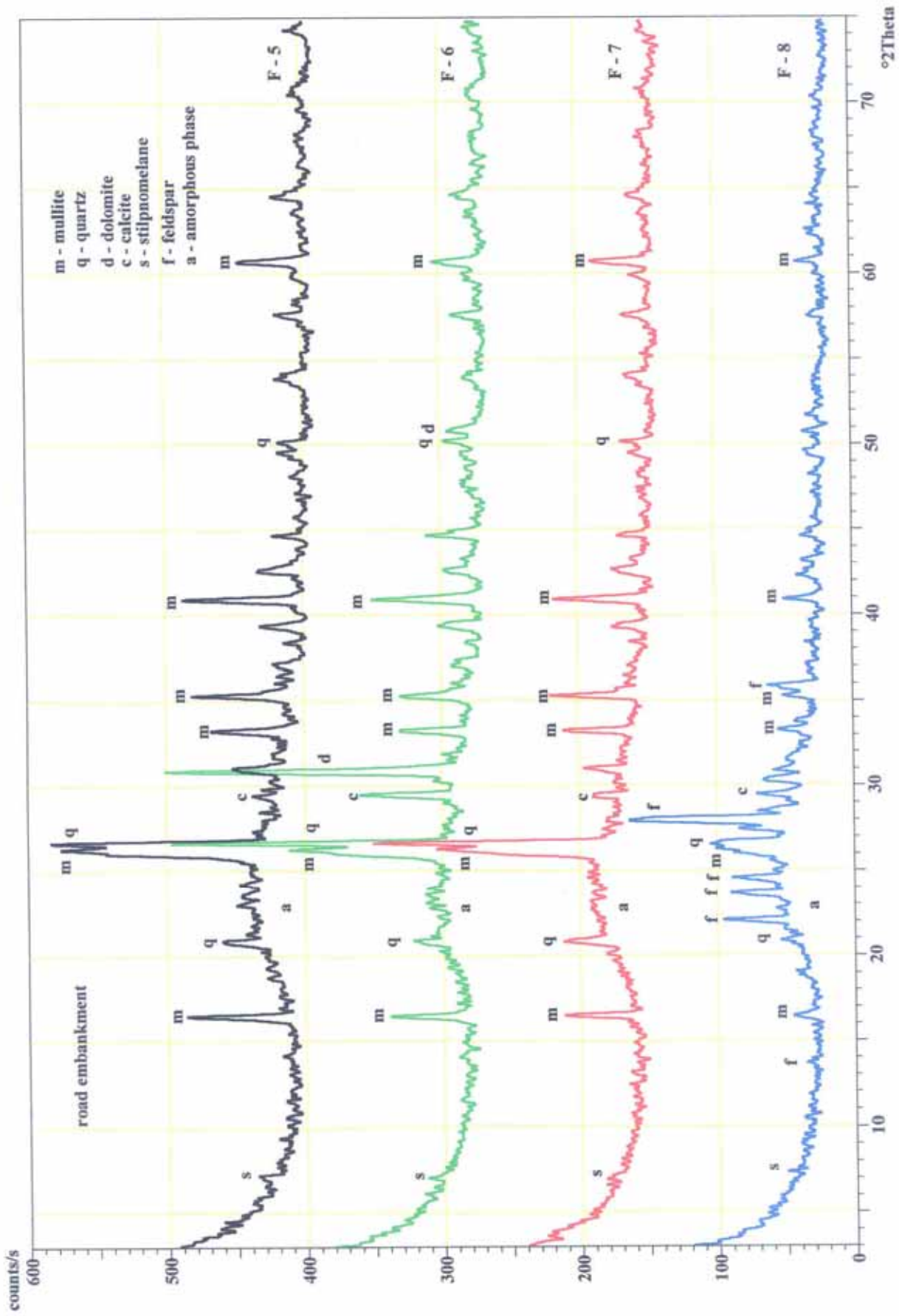
איורים מס' 12 – 14. דיפרקטוגרמות קרני – X של מדגמי הכביש מעומקים שונים (עמודים 26 – 24).

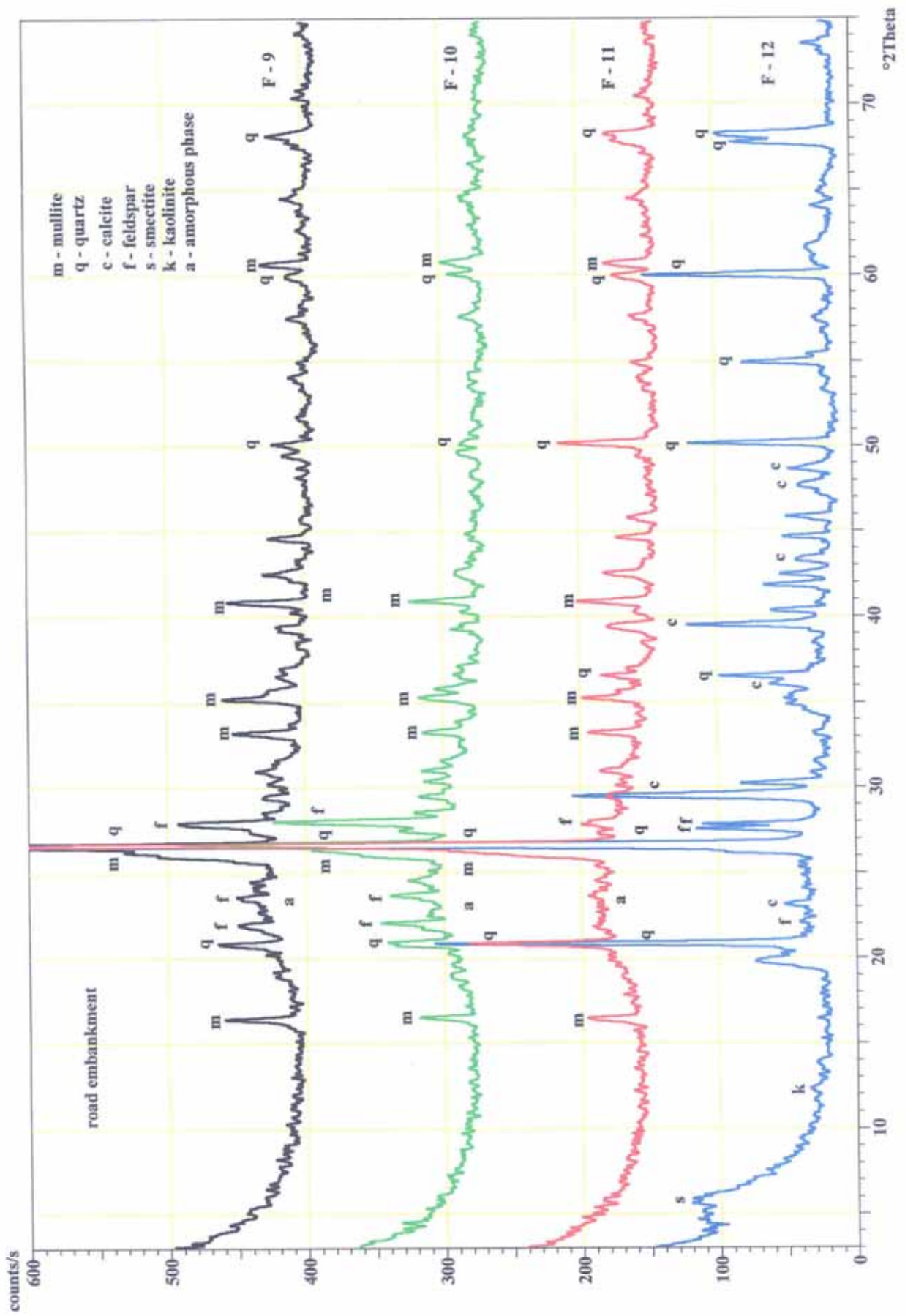












סיכום

במשך זמן קיומן של הסוללות, עד לדגימה השנייה בקיץ 2003, לא הובחנו שינויים משמעותיים בהרכב הכימי שלהן להוציא ירידה כלפי מטה בריכוז כספית (Hg) עד להיעלמותה. נדידת הכספית הייתה כלפי העומק, מסקנה שניתן להסיק בעיקר מתוך התנהגות מתכת זו כפי שניתן לראות בסוללת הגשר מתוך איור מס' 2 (עמוד 8). בעקומות המופיעות באיור זה נבחין בהתרכזותה של הכספית בשלב I בעומקים הגדולים והיעלמותה למעשה בשלב II. בסוללת הכביש הפעילה פחות, ההבחנה אינה ברורה אם כי הריכוז בשלב II נמוך משמעותית יחסית לשלב I.

במבחני השטיפה, התמונה מורכבת יותר. התנהגות הכספית אינה חד משמעונית; בעומק של 80 cm ריכוז הכספית הנשטפת יורדת מ 0.1 ppb בשלב I אל מתחת לגבול המדידה בשלב II. בעומק עמוק יותר 140 – 150 cm ריכוז הכספית הנשטפת דווקא עולה מ 0.025 ppb בשלב I ל 0.04 ppb בשלב II. יתכן והסיבה לכך הם הריכוזים הנמוכים, על סף גבול הרגישות של המיכשור האנליטי, או זיהום. נזכור שמדובר בכמה עשרות (10^{-12}) ppt. היסודות מנגן (Mn) וונדיום (V) ובמידה פחותה יותר גם מוליבדן (Mo) ואבץ (Zn) הופכים עם הזמן למסיסים יותר. מבחן השטיפה מראה שיסודות אלו נשטפים בריכוזים גדולים יותר עם הזמן, ריכוזם בתמיסות השטיפה בשלב II גדול יותר מאשר בשלב I וזאת למרות שהריכוז שלהם בסוללות לא השתנה. בבדיקה מינרלוגית הובחנה פאזה גבישית חדשה stilpnomelane. פאזה זו אינה קיימת באפר הטרי ונוצרה בסוללות במשך הזמן. ריכוז הפאזה גדול בסוללת הכביש, בשלב II יחסית לשלב I כלומר ריכוז הפאזה החדשה גדל עם הזמן. בסוללת הגשר הפעילה יותר המצב אינו חד משמעוטי. בכל אופן נוכחות פאזה מינרלוגית חדשה, שנוצרה בסוללה in situ מעידה על פעילות כימית מינרלוגית.