



מדריך היבטים סביבתיים בשימושי אפר פחם-

יסודות קורט

הוכן ע"י מנהלת אפר הפחם

בסיוע

דר' אריאל מצגר, חברת החשמל

דר' יעקב נתן, המכון הגיאולוגי

דר' ישעיהו בראור, המשרד להגנת הסביבה

אוקטובר 2009

היבטים סביבתיים בשימושי אפר פחם

יסודות קורט

מבוא

אפר פחם הוא חומר מוצק אשר במגע עם מים נשטפים ממנו יסודות, בהם גם יסודות רעילים בריכוזי קורט (יסודות קורט- trace elements), חלקם מקבוצת המתכות הכבדות וכן אוקסיאניונים, אף הם בריכוזי קורט. החשש מזיהום מקורות מים ע"י יסודות רעילים מכתוב הגבלות על השימוש באפר פחם כחומר סלילה ומילוי ביישומי תשתיות וכן ביישומים בחקלאות, ובאופן כללי בכל היישומים בהם האפר ומוצריו חשופים לשטיפה ע"י מי הגשמים, מאחר ויסודות אלו, ללא נקיטה באמצעי הגנה מתאימים, עלולים להשתחרר מהאפר, לחלחל לקרקע ולהיקלט ע"י הגידולים החקלאיים ואף להגיע למי התהום. כדי להימנע מסיכונים אלה קובע הפיקוח הסביבתי תנאים לשימושי האפר ומגדיר ריכוזים מרביים של היסודות המזהמים המצוינים בסיווג אפר כ"אפר בר שימוש". התנאים הסביבתיים נגזרים מהערכת הסיכון הפוטנציאלי לסביבה בהתבסס על הבנת מנגנוני שחרור היסודות מהאפר והתהליכים המשפיעים על שטיפתם. מדריך זה משיב על השאלות המהותיות המצויות ביסוד הערכה הסביבתית של השימוש באפר בתשתיות והתנאים הנדרשים למניעת סיכוני הזיהום.

רשימת השאלות

1. מהי ההגדרה ליסודות קורט?
2. מה מקור יסודות הקורט באפר?
3. אילו צורונים כימיים של יסודות הקורט המזהמים מצויים באפר?
4. האם חשיפה למתכות כבדות המצויות באפר מוגדרת כבעלת סיכון בריאותי או סביבתי?
5. מהו הסיכון הבריאותי הגלום בחשיפה למתכות הכבדות הרעילות?
6. האם כל יסודות הקורט "עוברים" מהפחם לאפר?
7. מהם ההבדלים בין ריכוזי יסודות הקורט באפר ובפחם?
8. מהם ריכוזים טיפוסיים של יסודות קורט מזהמים באפר בהשוואה לחומרים טבעיים (קרקע, מי תהום, סלעים)?
9. כיצד דרגת נדיפות יסודות הקורט באפר משפיעה על זמינותם לשטיפה?
10. מהם ריכוזים טיפוסיים של יסודות קורט מזהמים בתשטיפי אפר בישראל?
11. מהם הגורמים המשפיעים על שחרור מזהמים המצויים באפר?
12. שטיפה היא הגורם העיקרי לשחרור היסודות מגרגרי האפר. במה היא תלויה?
13. כיצד מוערך בבדיקות מעבדה פוטנציאל שטיפת מזהמים מהאפר?
14. מה משמעות ההבדל שבין מיצוי ב- pH קבוע וב- pH משתנים?
15. מהו הקשר בין תכולת יסודות הקורט באפר וריכוזם בתשטיף?
16. האם כל יסוד הנשטף מהאפר יגיע בסופו של דבר למי התהום?
17. האם ניתן להעריך את מידת שחרור המזהמים הצפויה מאפר המיושם בשימוש בתשתיות על סמך בדיקת אפר במעבדה?
18. מהן ההגבלות על ריכוזי יסודות הקורט באפר בארץ?
19. כיצד מוודאים שהאפר עומד במגבלות שנקבעו לריכוזי יסודות קורט?
20. האם קיימות מגבלות על השימוש באפר בתשתיות?
21. מהם התנאים הסביבתיים שנקבעו לשימושי אפר פחם בתשתיות?
22. מהו נוהל מתן היתר לשימוש באפר בתשתיות?
23. האם ממצאים בשטח מצדיקים הנחות שמרניות על חשש זיהום מאפר?
24. מהן המסקנות העולות מהמחקרים על הסיכונים הסביבתיים בשימוש באפר פחם בתשתיות?



1. מהי ההגדרה ליסודות קורט?

יסודות בריכוזים מזעריים, בדרך כלל נמוכים מ- 1000 ppm (0.1% משקלית) אך לרוב מתחת ל- 100 ppm. יסודות קורט מבוטאים ב- ppm (part per million), להבדיל מיסודות עיקריים המבוטאים בדרך כלל באחוזי משקל (%wt) ונמצאים באפר כתחמוצות בריכוזים גבוהים מ- %wt 1 (100,000 ppm). כאמור, ביסודות הקורט המצויים באפר נכללות מתכות כבדות שהן יסודות ותרבות מתכות טבעיות בעלי משקל סגולי העולה על 5 גרם לסמ"ק. הגדרה אחרת מייחסת מתכות כבדות ליסודות מתכתיים גם במשקלים סגולים נמוכים מזה, אך הנחשבים רעילים לאדם. במתכות הכבדות לפי שתי הגדרות אלו, נכללים היסודות כסף, בריום, ארסן, קדמיום, כרום, כספית, מנגן, מוליבדן, ניקל, עופרת וונדיום (Clarke & Sloss, 1992). מלבד מתכות היסודות האלו- מתכתיים בורון וסלן רעילים גם כן בריכוזים מסוימים.

לרשימת השאלות

2. מה מקור יסודות הקורט באפר?

האפר הוא תוצר לוואי של שריפת פחם. מכאן שהרכבו הכימי משקף את הרכב הפחם, בכלל זה תכולת יסודות הקורט. מכיוון שהפחם נוצר מסחף המורכב ממינרלים, סלעים וצמחייה שהצטברו יחד בסביבה ביצתית חסרת חמצן, יש לצפות למצוא בפחם כמעט את כל סוגי היסודות הטבעיים. גורמים שונים משפיעים על תכולת יסודות הקורט בפחם, בהם: הריכוז שלהם בחומרים מהם נוצר הפחם ובתנאים הקיימים עד להיווצרותו- לאורך גידול הצמחייה וריקבונה, תהליכי השקעה, קבורה ומינרליזציה של החומר- למשל שינויים ברמת החומציות (pH) של הסביבה המשפיעים על שטיפת היסודות ויציאתם מהחומר. היסודות מופיעים בפחם הן בתרכובות אורגניות והן (בעיקר) במינרלים שהראשיים בהם הם סיליקטים ואלומינוסיליקטים (חרסיות), קרבונטים וסולפידים (פיריט בעיקר). בנוסף, פחם מכיל גם מינרלים נלווים. ריכוזי היסודות משתנים בין מרבצי הפחם ובמרבץ עצמו, כתוצאה מתהליכים שונים שהתקיימו באזורים ובזמנים שונים.

לרשימת השאלות

3. אילו צורונים כימיים של יסודות הקורט המזהמים מצויים באפר?

כפי שצוין, יסודות הקורט המזהמים כוללים את המתכות הכבדות, המופיעות הן כקטיונים (יונים חיוביים)- למשל Ag^+ , Ba^{2+} , Cd^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} ו- Cr^{6+} , והן כאוקסיאניונים (תחמוצת טעונה שלילית)- MoO_4^{2-} , CrO_4^{2-} , $B(OH)_4^-$, VO_4^{3-} , ובנוסף היסוד האלו- מתכתי SeO_4^{2-} . מכאן שחלק מהיסודות יכולים להופיע בשתי הצורות (למשל כרום).

לרשימת השאלות

4. האם חשיפה למתכות כבדות המצויות באפר מוגדרת כבעלת סיכון בריאותי או סביבתי?

למרות שחלק ניכר מהמתכות הכבדות חיוניות לגוף האדם ולצמחים בריכוזי קורט (כדוגמת ברזל, נחושת, אבץ, קובלט, כרום, מנגן, מוליבדן, ניקל, בדיל, ונדיום), בריכוזים גבוהים הן בדרך כלל רעילות, ובשל נטייתן להצטבר בשרשרת המזון הן עלולות לגרום למפגע סביבתי. לדוגמה השקיה חקלאית במי קולחין (תוצר טיהור שפכים) עם מתכות כבדות שלא נספחו לבוצת השפכים בתהליך הטיהור, עלולה לגרום לזיהום הגידול ולזיהום מי התהום. מלבד המתכות הכבדות, היסוד האלו- מתכתי סלן חיוני אף הוא לפעילות ביולוגית אך מעבר לריכוזים מסוימים מהווה סיכון בריאותי. הרגישות הסביבתית למתכות כבדות מסוימות נובעת מהיותן חומרים קרצינוגניים (מסרטנים)

ומוטוגניים (גורמים לשינויים גנטיים) המזיקים לבריאות האדם. אולם לכל חי או צומח דרגות שונות של סף רעילות וסף רגישות לכל יסוד. לבורון לדוגמא, דרגות השפעה שונות על גידולים חקלאיים. ללימון, שהוא הרגיש ביותר, גם ריכוזים מתחת ל- 0.5 מ"ג/ליטר בתמיסת הקרקע יכולים לגרום לפגמים בעלווה ובפרי. גידולים אחרים מדורגים כרגישים למחצה (1 – 2 מ"ג/ליטר), עמידים למחצה (2 – 4 מ"ג/ליטר), עמידים (4 – 6 מ"ג/ליטר) ועמידים מאוד (6 – 15 מ"ג/ליטר).

אפר פחם מכיל ריכוזים שונים של יסודות מסוכנים. שחרור היסודות מן האפר לסביבה יכול להתרחש כתוצאה של תהליכי שטיפה ושחרור לתמיסה (desorption) של משקעים המכילים אותם בחשיפה למים המחלחלים דרך האפר. על כן בשימוש באפר בקרקע בתשתיות ובחקלאות גלום סיכון הנובע מהאפשרות לשחרור המזהמים מן האפר ע"י מעבר מים דרכו, פיזור מתכות רעילות לקרקע ולסביבה וקליטתן בצמחים הגדלים בקרקע. חלחול מי הגשמים דרך האפר והקרקע יכול לגרום במצבים מסוימים למעבר המזהמים למי התהום.

לרשימת השאלות

5. מהו הסיכון הבריאותי הגלום בחשיפה למתכות הכבדות הרעילות?

הסיכון בחשיפה למתכות בריכוזים מסוימים נובע מהיותן רעילות לגוף האדם בריכוזים אלו, כאשר דרגת הרעילות משתנה ממתכת למתכת. סיכון גדול במיוחד קיים בחשיפה לארסן, קדמיום, כספית, עופרת וכרום שש ערכי. למתכות אלו אין יתרונות סביבתיים ובריאותיים גם בריכוזים נמוכים, כך שרעילותן גדולה יותר.

ארסן – יסוד קרצינוגני בעל פוטנציאל לגרום לסרטן עור וסרטן ריאות, פגיעה במערכת העצבים וכלי הדם, וגרימת אנמיה.

קדמיום – יסוד קרצינוגני, בעל פוטנציאל למחלת ריאות, נזק לכליות, לכבד, ולמערכת הלב וכלי הדם.

כספית – יסוד קרצינוגני, בעל פוטנציאל נזק לכליות ולעצבים, למערכת הלב וכלי הדם.

עופרת – יסוד קרצינוגני בעל פוטנציאל נזק למערכת לב וכלי הדם, מערכת העצבים, לקיבה ולמעיים, יכולה לגרום לעיכוב בגדילה ובהתפתחות הלמידה, השפעות סרטניות, ואנמיה.

כרום שש ערכי – יסוד קרצינוגני בעל פוטנציאל במיוחד לסרטן ריאות.

לרשימת השאלות

6. האם כל יסודות הקורט "עוברים" מהפחם לאפר?

לא בהכרח. בתהליך שריפת הפחם היסודות הקשורים למינרלים באפר נותרים "כלואים" בתוך חלקיקי האפר, בעוד שהיסודות הקשורים לחומר האורגני עוברים לפאזה הגזית בתהליכי נידוף כתוצאה מהתכלות החומר האורגני בשריפה, ונותרים בגזי הפליטה, ולהם מיוחס הדיון להלן. במהלך מעבר גזי הפליטה והאפר המרחף מהדוד אל המשקעים האלקטרוסטטיים בהם מצטבר האפר, מתרחשים תהליכי עיבוי של היסודות בגזי הפליטה עם ירידת הטמפ' (מ- 1300°C – 1700 ל- 130°C – 180 בערך), כאשר ההתעבות של כל יסוד תלויה בהגעה לנקודת הטל שלו. בתהליך זה שוקעים היסודות שהתעבו על גבי שטח הפנים החיצוני של חלקיקי האפר המרחף. כלומר, ייתכן ויסודות מסוימים יהיו מועשרים או מדולדלים באפר ביחס לפחם, כפונקציה של דרגת הנדיפות לכל יסוד, הנקבעת בעיקר לפי טמפ' הרתיחה של כל יסוד בהשוואה לטמפ' השריפה: ככל שטמפ' השריפה גבוה יותר, כך יסודות בעלי נקודת רתיחה נמוכה יעדיפו להישאר באפר ולא להישחרר.

השריפה גבוהה יותר מטמפי' הרתיחה של היסוד, היסודות יעברו יותר לפאזה הגזית ויקטן סיכויים לשקוע באפר.

Meij (1989) ואחרים השתמשו בפקטור ההעשרה היחסית (RE- Relative Enrichment) כדי לסווג יסודות לשלוש קבוצות על פי דרגת נדיפותם:

$$RE = \frac{\text{element conc. in ash}}{\text{element conc. in coal}} \cdot \frac{\% \text{ ash}}{100}$$

קבוצה I יסודות עם הנדיפות הנמוכה ביותר, עם $RE \sim 1$, אשר נוטים להתחלק בצורה שווה בין האפר המרחף והתחתית. אין העשרה יחסית של היסוד באפר ביחס לפחם.

קבוצה II $RE < 0.7$ באפר תחתית, $RE \sim 1$ ביסודות המתעבים באפר המרחף הנקלט במשקעים האלקטרוסטטיים (ESP), ו- $RE > 1.3$ של יסודות בחלקיקים הדקים יותר של האפר המרחף העוברים את המשקעים ונפלטם החוצה לכיוון ה-FGD או לאוויר. קבוצה זו נחלקת עוד לשלוש תת קבוצות לפי פקטור RE עבור החלקיקים הדקים. באופן כללי אלו יסודות עם נדיפות גדולה יותר לעומת קבוצה I. הם מתנדפים בדוד בזמן השריפה אך מתעבים על גבי חלקיקי האפר ב-ESP הקר יותר, עם נטייה להתעבות על גבי החלקיקים הקטנים יותר ששטח הפנים שלהם גדול יותר. לפיכך הם מועשרים יותר באפר המרחף מאשר תחתית.

קבוצה III יסודות בעלי הנדיפות הגבוהה ביותר (עם נקודת טל נמוכה) - $RE \ll 1$ באפר התחתית והמרחף הנקלט ב-ESP. התעבותם באפר המרחף הנקלט ב-ESP חלקית ואף נעדרת לגמרי, ובהיעדר FGD חלקם או כולם נותרים בפאזה הגזית ונפלטם יחד עם גזי הפליטה. מכאן שיסודות אלו מדולדלים באפר ביחס לפחם.

להלן ערכי RE של היסודות בכל קבוצה (Meij, 2005):

קבוצה	אפר תחתית	חלקיקי האפר המרחף הנקלט ב-ESP	חלקיקי האפר הנפלטם לסביבה ובחלק האחרון של ה-ESP	יסוד
I	~1	~1	~1	Al, Ca, Ce, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Mg, Sc, Sm, Si, Sr, Th, Ti
IIa	<0.7	~1	>4	As, Cd, Ge, Mo, Pb, Sb, Tl,

				Zn
IIb	<0.7	~1	$2 < RE \leq 4$	Be, Co, Cu, Ni, P, U, V, W
IIc	<0.7	~1	$1.3 < RE \leq 2$	Ba, Cr, Mn, Na, Rb
III	<<1	<<1		B, Br, C, Cl, F, Hg, I, N, S, Se

נוסף על ההשפעה העיקרית של טמפי' השריפה על דרגת הנדיפות, גורמים נוספים משפיעים על נדיפות היסודות:

- יסודות הנקשרים לחומר האורגני בפחם (בעיקר Br, Hg, U, Co, Sb, W, Mn, Cd, Be, Cr, Ni ו-Se), ישתחררו בשריפת החומר האורגני ונדיפותם תהיה גדולה יותר מאשר יסודות הקשורים למרכיבים האנאורגניים בפחם.
- יסודות הנדיפים יותר בתנאים של עודף חמצן בשלב השריפה (מצב שאינו מתקיים בתחנות הכח בארץ).
- לחץ בדוד השריפה – עליה בלחץ מעלה את הטמפי'.
- נוכחות הלוגנים (על פי הגדרה הלוגנים הם: F, Cl, Br, I, At) – יסודות ריאקטיביים מאוד, נמצאים במצב גזי בתנאי הטמפי' הקיימות בדוד השריפה כיונים בעלי מטען שלילי אחד, ומגיבים (בעיקר Cl) עם יסודות הקורט ליצירת תרכובות נדיפות יותר, כלומר גורמים להקטנת טמפי' הנדיפות של יסודות הקורט. ריכוזים ממוצעים (ביחידות מ"ג/ק"ג למעט Cl שבאחוזים) של הלוגנים שנמדדו באפר ובפחם מהולנד ב-1999 (Meij, 2003):

ריכוז באפר מרחף		ריכוז בפחם		הלוגן
מכסימלי	מינימלי	מכסימלי	מינימלי	
0.008	0.003	0.09	0.04	Cl כלור
16	3.3	13.5	4.4	Br ברום
	0.6	7.6	2.8	I יוד
246	125	213	106	F פלואור

מלבד זאת, מתקיימות ריאקציות בדוד השריפה המקטינות את תכולת היסודות בגזי הפליטה (מצב זה אינו מתקיים בתחנות הכח בארץ):

○ הזרקת חומרים לדוד השריפה הפועלים כסורבנטים – נקשרים ליסודות הקורט שבדרך זו מסולקים מגזי הפליטה. סורבנטים אלו מכילים זאוליט, סידן, פחמן פעיל, סיליקה, אלומינה, וחומרים אחרים כגון תחמוצות Mg ותרכובות Ni, Cr ו-Fe. חומרים אלו סופחים יסודות קורט כ- As, Se, Be, Zn, Ni, V, Pb, Cd, Hg.

לסיכום, חשוב להדגיש כי על אף מעבר יסודות לגזי הפליטה, הם מסולקים מגזי הפליטה ע"י ספיחתם על פני גרגרי האפר באזור ה-ESP, ובכך מצטמצמת פליטתם לסביבה.

לרשימת השאלות

7. מהם ההבדלים בין ריכוזי יסודות הקורט באפר ובפחם?

ההבדלים בין ריכוזי היסודות באפר לעומת הפחם נובעים משריפת החומר האורגני בפחם, כך שהריכוז היחסי באפר גדול יותר לעומת הפחם, וכן כפי שיוסבר להלן בתשובה לשאלה 9, הבדלים אלו תלויים גם בדרגת הנדיפות של כל יסוד וזו תלויה בעיקר בטמפ' השריפה של הפחם. הטבלה הבאה מציגה את ההבדלים בריכוזים (ממוצעים ביחידות ppm) של מתכות קורט הנדרשות לפיקוח ב"אפר בר שימוש", בין הפחם לאפר מרחף ותחתית. על פי הנתונים המוצגים בטבלה ריכוזי היסודות הרפרקטורים (שאינם נדיפים בטמפ' השריפה של פחם בתחנות הכוח), הנשארים בפאזות המוצקות בטמפ' שריפת הפחם, אינו משתנה מאפר מרחף לאפר תחתית. ליסודות האלה אין העשרה יחסית, בנוסף להתרכוזות הנובעת משריפת החומר האורגני בפחם. לעומתם, ליסודות הנדיפים בטמפ' שריפת הפחם, קיימת העשרה יחסית, כך שהריכוז גבוה יותר באפר המרחף מאשר אפר תחתית, כיוון שהם עוברים נידוף בטמפ' השריפה ומתעבים מחדש על גבי חלקיקי האפר המרחף באזור הקר יותר של דוד השריפה.

יסוד	Ag	As	B	Ba	Cd	Cr	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	V
אפר מרחף	5	23	225	1780	0.9	147	<0.2	540	13	100	67	7	197
אפר תחתית	2	6	100	1560	0.2	144	0.2	350	4	69	18	3	127
פחם	<1	5	49	170	0.47	15	0.2	43	3.3	14	11	2.8	22

מקור נתונים- המכון הגיאולוגי.

לרשימת השאלות

8. מהם ריכוזים טיפוסיים של יסודות קורט מזהמים באפר בהשוואה לחומרים טבעיים (קרקע, מי תהום, סלעים)?

אפר פחם ⁴ ppm	סלע סדימנטרי ³ ppm	תקן מי שתייה בישראל ppm	מי תהום ² ppm	קרקעות ¹ ppm	יסוד
<1 – 4	0.1	0.01		—	Ag
8 – 60	10	0.05	<0.0002 – 0.013	<0.1 – 66.5	As
65 – 580	130	—		<1 – 210	B
770 – 3000	600	1	0.008 – 0.34	20 – 1500	Ba
0.2 – 2.3	0.3	0.005	<0.0001 – <0.005	0.01 – 2.2	Cd
77 – 200	90	0.05	0.0042 – 0.025	1 – 1100	Cr
0.03 – 0.34	0.4	1	0.00003 – 0.0006	0.008 – 1.1	Hg
40 – 760	800	0.5	0.0001 – 0.37	7 – 9200	Mn
5 – 33	2	—		0.1 – 7.4	Mo
50 – 120	70	0.05		0.2 – 450	Ni
24 – 70	25	0.01	0.0003 – 0.0448	1.5 – 176	Pb
23 – 30	0.5	0.01	<0.0002 – <0.002	0.005 – 1.9	Se
131 – 280	120	—		6.3 - 500	V

1. מתוך Kabata- Pendias, 2000.
2. מצגר, א., 1995, 2001. מקור הנתונים- המעבדה לבריאות הציבור בתל אביב (1995) והמכון הגיאולוגי (2001).
3. מתוך Nathan and Deutsch, 2004.
4. מקור נתונים- המכון הגיאולוגי (אפר ישראלי שנדגם ע"י מנהלת אפר הפחם בשנים 2004-2007).

לרשימת השאלות

9. כיצד דרגת נדיפות יסודות הקורט באפר משפיעה על זמינותם לשטיפה?

כפי שצוין בתשובה לשאלה 6, דרגת הנדיפות של היסוד תלויה בעיקר בטמפי' השריפה לעומת טמפי' הרתיחה של כל יסוד והמעבר למצב גזי. מכאן נובע שזמינות היסודות באפר (מבחינת מיקומם בחלקיק המשפיע על שחרורם לתמיסה בתהליכי שטיפה ב- pH מסוים) תלויה בטמפי' השריפה של הפחם – ככל שטמפי' השריפה גבוהה יותר, יסודות נוספים עוברים לפאזה הגזית (בתלות בטמפי' הנידוף עבור כל יסוד) ומתעבים אחר כך בחלקים הקרים של הדוד על פני השטח החיצוניים של חלקיקי האפר המרחף. צורת ספיחה זו של היסודות באפר מעלה את זמינותם לשטיפה. בטמפי' שריפה נמוכות יחסית היסודות קשי הנידוף לא יעברו נידוף ועיבוי מחדש, וכתוצאה מכך זמינותם לשטיפה תקטן.

זמינות היסודות מן האפר תלויה גם במשך שהיית חלקיקי האפר בחלק הקר יחסית של דוד השריפה – במשך שהייה ארוך במידה מספקת, יושג הזמן הדרוש להתעבות היסודות ולספיחתם על פני חלקיקי האפר. תלות נוספת היא בגודל חלקיקי האפר המרחף – ככל שהחלקיק קטן יותר

שטח הפנים גדול יותר, וכתוצאה מכך תהיה העשרה של יסודות הקורט (אלה שהתעבו בטמפי' הגבוהות מהטמפי' במשקעים האלקטרוסטטיים) על גבי שטח הפנים בחלקיקים הקטנים בהם היחס בין שטח הפנים לנפח הוא גבוה, ובהתאם לכך זמינותם תגדל.

לרשימת השאלות

10. מהם ריכוזים טיפוסיים של יסודות קורט מזהמים בתשטיפי אפר בישראל? הטבלה הבאה מציגה תחום ריכוזים של יסודות אלו בתשטיפי אפר מרחף ישראלי, בצירוף ערכים מרביים מותרים של המזהמים ב"אפר בר שימוש" ביישומי תשתיות (ראה גם תשובה לשאלה 18).

יסוד ¹	ריכוז ² (ppb)	אפר בר שימוש ³ (ppb)
כסף Ag	<0.1 – 3 <0.2 – 7	150
ארסן As	8 – 1260 <2 – 960	2000
בורון B	665 – 28000 3350 – 19950	20000
בריום Ba	130 – 830 105 – 1300	—
קדמיום Cd	0.3 – 32 0.3 – 26	100
כרום Cr	12 – 950 20 – 610	2000
כספית Hg	<0.02 – 0.35 <0.01 – 4	25
מנגן Mn	<2 – 2700 <2 – 2050	5000
מוליבדן Mo	117 – 1175 115 – 675	2000
ניקל Ni	<10 – 340 38 – 340	2000
עופרת Pb	0.2 – 7.3 0.1 – 8	150
סלניום Se	15 – 1275 23 – 480	700
ונדיום V	340 – 2330 150 – 1550	5000

1. יסודות הנדרשים לפיקוח, לפי תקן ל"אפר בר שימוש".
2. טווח ערכים מינימליים ומכסימליים בתשטיף לפי שיטת TCLP של USEPA. מקור נתונים- המכון הגיאולוגי לישראל (בתשטיפי אפר מרחף ישראלי שנדגם ממקורות מוגדרים ע"י מנהלת אפר הפחם בשנים 2004-2007. מתחתם- חברת החשמל, דוגמאות המשקפות מיצועים חצי שנתיים לתקופה 7/98-12/07, למעט ניקל (דוגמאות בודדות, מנהלת אפר הפחם)).
3. ערכים מרביים מותרים לאפר "בר שימוש".

לרשימת השאלות

11. מהם הגורמים המשפיעים על שחרור מזהמים המצויים באפר?

מאחר ושחרור מזהמים מן האפר לסביבה נגרם כתוצאה ממעבר מים דרך האפר, פוטנציאל השטיפה ע"י המים תלוי בעיקר בקצב השטיפה הנקבע לפי יחס הנוזל למוצק כפונקציה של הזמן, אך גם בתכונות הפיסיקליות והכימיות של החומר. מבין התכונות הפיסיקליות יש לציין את פילוג גודל הגרגר לפיו נקבעת הנקבוביות (אחוז החללים בחומר בהם המים יכולים לשהות) והחדירות, המבטאים למעשה את רמת המוליכות של האפר למעבר מים, וכן מקדמי דיפוזיה של כל יסוד. התכונות הכימיות הן בעיקר pH (דרגת חומציות), ובמידה מועטת למדי שינויים ב-Eh (פוטנציאל חימצון/חיזור) וחוזק יוני, והן משפיעות על תהליכים המתרחשים בין האפר לתשטף ובתוך התשטף, אשר כתוצאה מהם חלים שינויים בריכוזי המזהמים בין שתי הפאזות.

לרשימת השאלות

12. שטיפה היא הגורם העיקרי לשחרור היסודות מגרגרי האפר. במה היא תלויה?

הגורמים המשפיעים על שטיפתם של יסודות הקורט המזהמים (ואחרים) מהאפר, הם:

1. מיקום באפר – בשטיפת הפחם משתחררים יסודות מן החומר האורגני המתכלה. יסודות אלו העוברים בשטיפה תהליכי נידוף ועיבוי מחדש על פני שטח הפנים החיצוני של חלקיקי האפר הדקים (עם קצב התעבות מסוים לכל יסוד הקובע את מיקומו בחלקיק), מאופיינים ע"י מקדם העשרה גבוה (ראה שאלה 6), והם יהיו זמינים לשטיפה מהאפר, כאשר ככל שיסוד נדיף יותר הוא מתעבה אחרון על חלקיקי אפר קטנים ביותר, וזמין יותר לשטיפה במגע האפר עם המים. היסודות הקשורים למינרלים נשארים כלואים בתוך האפר ואינם זמינים לשטיפה.

2. הבדלי ריכוזים בין האפר לתמיסה – שחרור יסוד מסוים מהאפר הינו תוצאה גם של גרדיאנט ריכוזים של אותו יסוד בין האפר לתמיסה, כאשר הגרדיאנט מושפע מתנאים כמו מהירות זרימת המים ויחס השטיפה – ככל שמהירות הזרימה גדולה יותר ו/ או יחס השטיפה (נוזל: מוצק) עולה, תמיסת התשטף תמשיך להישאר במצב של תת רווייה וגרדיאנט הריכוזים יישמר ואולי אף יהיה גבוה יותר, וכל זמן שתנאים אלו יתקיימו, היסודות ימשיכו לעבור מהאפר לתמיסה.

3. שינויי pH – ה-pH של אפר פחם בעולם נע בין חומצי לבסיסי מאוד ותלוי בכמות הגופרית בפחם ובתכולת תחמוצות Ca ו-Mg באפר. מפחם ביטומני שנשרף בארץ נוצר אפר בסיסי בלבד. שינויים ב-pH משפיעים על שטיפת היסודות מהאפר בסביבה מימית: ב-pH המתאים היסודות הספוחים על פני האפר ישתחררו לתמיסה, וב-pH אחר יכול להתרחש תהליך הפוך בו יסודות ייצאו מהתמיסה וייספחו באפר. לרוב, היסודות המצויים בתמיסה בצורת קטיונים כגון Cd, Pb ו-Zn נשטפים באופן מרבי ב-pH סביבה חומציים, ויסודות קורט המצויים בתמיסה כאוקסיאניונים בעיקר, כגון Se, Mo, As, נשטפים באופן מרבי מהאפר ב-pH סביבה נייטרליים או בסיסיים, ובדרך כלל ירידה ב-pH מקטינה את קצב שטיפתם.

לרשימת השאלות

13. כיצד מוערך בבדיקות מעבדה פוטנציאל שטיפת מזהמים מהאפר?

פוטנציאל הזיהום מן האפר מוערך ע"י שטיפת המזהמים ממנו באמצעות מגוון של מבחני שטיפה (leaching tests): batch test ו-percolation test. בשיטה הראשונה מערבבים את האפר במיכל סגור עם נוזל המיצוי ומטלטלים את המיכל לפרק זמן מסוים. בשיטה השנייה האפר מוכנס לקולונה, ונוזל המיצוי מחלחל דרך החומר בקצב קבוע. הוועדה המקצועית לאפר פחס בארץ החליטה לאמץ את שיטת TCLP שהוא סוג של batch test הנדרש ע"י ה-EPA בארה"ב, להערכת סיכוני שטיפה מפסולות תעשייתיות חומציות. בעקבות תהליך בחינה ומחקר ממושך שנערך בארץ המליצה הוועדה להעדיף את שיטת המיצוי הנקוטה בתקינה האירופאית (להלן בתשובה הבאה).

לרשימת השאלות

14. מה משמעות ההבדל שבין מיצוי ב-pH קבוע וב-pH משתנים?

מיצוי ב-pH קבוע (לפי השיטה האמריקאית של הסוכנות להגנה סביבתית (USEPA - TCLP) נותן מידע לגבי מסיסות החומר ושחרור היסודות לתמיסת המיצוי בערך אחד מסוים (5.00) של pH (אם כי הערך עולה בזמן המיצוי, שכן כושר הבופר עבור חומר בסיסי מאוד כאפר מרחף לא מספיק גדול). מצב זה אינו מציאותי מאחר ובשטח חלים שינויים ב-pH עקב תהליכים שונים המושפעים מגורמים סביבתיים, כגון עלייה בריכוז CO₂ בסוללת אפר, שמקורו באטמוספירה ובפירוק מיקרוביאלי בקרקע עליה מונחת הסוללה. בתהליך זה חלה ירידה ב-pH (מ-11 ומעלה בתחילת התהליך ל-8-9 בסופו) ובעקבותיה שינויים בדרגת שחרור היסודות מן האפר. ביקורת נוספת על מבחן השטיפה של TCLP קשורה לגובה ה-pH – רמה חומצית שאינה משקפת את התנאים בטבע (pH נייטרלי). לאור כל זאת, על מנת לחזות את התנהגות האפר בסביבות שונות, יש לבצע מיצוי נפרד ברמות pH שונות, כפי הנעשה בשיטת האפיון (characterization) האירופית prEN 14429, ולבחור מבחן שטיפה עם pH נייטרלי, כפי הנעשה בשיטת ההתאמה (compliance) האירופית EN 12457, המשקף בישראל את הסביבה הטבעית.

לרשימת השאלות

15. מהו הקשר בין תכולת יסודות הקורט באפר וריכוזם בתשטיף?

יש להבחין בין תכולת היסוד באפר לתכולתו בתשטיף. התכולה באפר תלויה בהרכב הפחם ובדרגת הנדיפות של היסוד בתהליך השריפה (ראה תשובה לשאלה 6), בעוד התכולה בתשטיף קובעת את מידת הסיכון מן היסוד, כי זהו הריכוז של היסוד המשתחרר מן האפר לסביבה, והיא תלויה בפוטנציאל השטיפה של היסוד, כאשר זה תלוי במספר גורמים שהעיקריים הם pH התמיסה ומידת השטיפה של האפר – יחס נוזל מוצק (כמות השטיפה ליחידת משקל בפרק זמן). הטבלה הבאה מציגה ריכוזים של מתכות קורט באפר פחס מרחף- בחומר ובתשטיף (בשיטת המיצוי TCLP), ממקורות שונים שנדגמו ע"י מנהלת אפר הפחם בין השנים 2004 - 2007 :

ריכוז בחומר (ppm)	ריכוז בתשטיף (ppm)	יסוד
<0.5 – 100	<0.0001 – 0.025	Ag
2 – 250	<0.001 – 3.9	As

<10 – 2500	<0.01 – 32	B
290 – 5900	0.075 – 17.5	Ba
<0.1 – 4.7	<0.0001 – 0.037	Cd
25 – 280	<0.001 – 3.3	Cr
<0.01 – 4	<0.00001 – 0.005	Hg
40 – 2500	<0.002 – 10	Mn
1 – 600	0.0016 – 1.29	Mo
35 – 40000	<0.005 – 4.25	Ni
2 – 300	<0.0001 – 0.245	Pb
<0.5 – 30	<0.0005 – 1.275	Se
90 – 265000	<0.02 – 470	V

מקור נתונים- המכון הגיאולוגי

לרשימת השאלות

16. האם כל יסוד הנשטף מהאפר יגיע בסופו של דבר למי התהום?

לא. יסודות הקורט המשתחררים מן האפר עוברים דרך תווך קרקעי המצוי מעל למי התהום. לצורה הכימית של יסוד הקורט באפר השפעה על מידת מסיסותו וכושרו לנוע בקרקע ולהגיע למי התהום. היסוד יכול להיקשר למרכיבי הקרקע במספר צורות: 1. שקיעה כמלח קשה תמס, 2. ספיחה אלקטרוסטטית על פני שטח החרסית הטעונים שלילית, כאשר צורתם העיקרית של מתכות כבדות בסביבה מימית היא קטיונים, 3. ספיחה מסוימת ע"י קשר מימני או קוולנטי בין היסוד ומרכיבי הקרקע השונים (כגון תחמוצות ברזל ואלומיניום וקצוות של לוחות חרסית). קשירה זו של היסוד היא חזקה יחסית ולכן שחרורו לתמיסה במקרה זה היא מועטת יחסית ויכולתו לנוע בקרקע קטנה. תהליכים אלו מגבירים את ספיחת היסודות למרכיבי הקרקע ובכך מקטינים את תנועתם למי התהום.

לרשימת השאלות

17. האם ניתן להעריך את מידת שחרור המזהמים הצפויה מאפר המיושם בשימוש בתשתיות על סמך בדיקת אפר במעבדה?

לא ניתן לייצג במעבדה במדויק את התנאים בשטח, וזאת משום שבשטח מתרחשים תהליכים ארוכי טווח המשנים את פוטנציאל השטיפה של היסודות מן האפר כתוצאה מגורמים אחדים:

- שינויים ב-pH של החומר/ התמיסה עקב קרבונציה של האפר בריאקציה עם CO₂ ממקור אטמוספרי, ו/או פירוק מיקרוביאלי בקרקע (במקרה של אפר מעורב בקרקע);
- שינויים בקצב השטיפה (יחס נוזל למוצק וזמני שטיפה משתנים);
- נוזל מיצוי בהרכב שונה (מי גשמים בשדה לעומת חומצה במעבדה);
- ובעיקר הצטופפות האפר עם הזמן בשל הפוצולניות שלמעשה אוטמת את האפר למעבר מים.

עם זאת, לצורכי רגולציה, מקובל בכל העולם להשתמש במבחני שטיפה מעבדתיים ככלי להערכה גסה של פוטנציאל זיהום מקורות המים מתוצרי לוואי ופסולות. לצורכי מחקר קיימים מודלים סטטיסטיים המבוססים על נתונים שנאספו במשך שנים, בעזרתם ניתן להעריך את מידת שחרור המזהמים מהאפר לאורך זמן ואת הסיכון האפשרי לזיהום מי התהום. המודלים מתחשבים במאפייני האפר המשפיעים על מידת המסיסות והשטיפה של המזהמים, במאפייני היישום בשטח וחשיפת האפר לסביבה ובתנאי הסביבה והקרקע המשפיעים על חלחול המזהמים היוצאים מן האפר למי התהום.

לרשימת השאלות

18. מהן ההגבלות על ריכוזי יסודות קורט באפר בארץ?

המגבלות בארץ על ריכוזי היסודות באפר המרחף לשימוש ביישומי תשתיות, מבוססות על הנחות שמרניות בנוגע לתהליכי שטיפתם מן האפר לסביבה והצטברותם במי התהום. על בסיס הנחות אלו נקבעו ערכים מרביים מותרים לריכוזי המזהמים בתשטיף אפר "בר-שימוש" (בשיטת השטיפה TCLP של ה-EPA), הנמוכים מהערכים שנקבעו בארה"ב ע"י EPA לסף רעילות, והאמורים להבטיח בפני זיהום לא קביל. בטבלה הבאה נתונים הערכים המרביים המותרים (ביחידות ppb):

ישראל	קריטריון סף רעילות EPA	יסוד
150	—	Ag
2000	5000	As
20000	—	B
—	100000	Ba
100	1000	Cd
2000	5000	Cr
25	200	Hg
5000	—	Mn
2000	—	Mo
2000	—	Ni
150	5000	Pb
700	1000	Se
5000	—	V

הסיבה להחמרת היתר בהנחיות הישראליות מקורה בהיות האקוויפר מקור מים עיקרי לשתיה.

לרשימת השאלות

19. כיצד מוודאים שהאפר עומד במגבלות שנקבעו לריכוזי יסודות קורט?

מתחילת שנות התשעים מבצעת חברת החשמל מדי חצי שנה מעקב מתמיד אחר תכולת 17 יסודות קורט ו- 3 יסודות רדיואקטיביים עפ"י תנאי התוכניות למניעת מפגעים סביבתיים של תחנות הכוח הפחמיות. הבדיקות מבוצעות על דוגמאות המייצגות חצי שנה של פעילות תחנות הכוח אורות רבין א', אורות רבין ב' ורוטנברג. מבדיקת מאגר הנתונים שהוקם, עולה כי אפר פחם שנוצר מאופיין ע"י ריכוזי היסודות נמוכים ומתאימים להרכב האפר הידוע במדינות מפותחות. בנוסף, משנת 1998 חברת החשמל מבצעת את מבחן השטיפה TCLP על דוגמאות אפר מרחף החצי שנתיות האלה עפ"י הנחיות המשרד להגנת הסביבה ובודקת אם ריכוזי יסודות הקורט בתשטיפי האפר עומדים בערכי הסף להגדרת האפר "אפר בר שימוש" בישראל. מנהלת אפר הפחם בודקת על פי אותה שיטה דוגמאות מייצגות של אפר מרחף שמתקבל משריפת המקורות השונים של פחם המיובא לישראל בנפרד.

חברת החשמל בוחנת מקורות חדשים של פחם בכפוף למגבלות על ריכוזי המזהמים באפר. הבדיקה כוללת ריכוזי 17 מתכות קורט ו- 3 יסודות רדיואקטיביים באפר פחם מעבדתי, בדיקת תשטיפי TCLP והשוואת הממצאים לערכי הסף (ערכים מרביים מותרים) ברשימת "אפר בר שימוש" שנגזרו מערכי הסף לרעילות של EPA (הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה), תוך שמירת מרווח ביטחון נאות מערכים אלו.

לרשימת השאלות

20. האם קיימות מגבלות על השימוש באפר בתשתיות?

על פי התנאים הסביבתיים לשימושי אפר פחם שקבע המשרד להגנת הסביבה, ניתן לעשות שימוש באפר פחם כחומר מילוי בתשתיות (אפר מורטב ומהודק) באופן הבא: באזורי רגישות ג' במפת רשות המים בהם אין סכנה לזיהום מקורות מים, השימוש באפר פחם מותר ללא מגבלה. באזורי רגישות א' (רגישות גבוהה) ו- ב' (רגישות בינונית) מותר השימוש באפר מרחף רק באישור רשות המים לאחר שנמצא על ידה כי אין חשש לזיהום מים בסביבת אתר העבודה בשל מאפיינים גיאולוגיים הידרולוגיים מקומיים. השימוש באפר פחם תחתית טעון בדיקת ריכוזי הבורון המצוי במי התהום המקומיים (כדי להימנע מעליית הריכוזי לרמה שעלולה להיות בעייתית לגידולים חקלאיים מסוימים). הוכח כי פוטנציאל שחרור היסודות האחרים באפר התחתית זניח ולכן לא חלה עליהם כל מגבלה מעשית. למרות ההגבלה על ריכוזי הבורון ניתן פטור לשימוש באפר תחתית בתשתיות בכמויות קטנות המצטברות עד 5000 טון ברדיוס 5 ק"מ. מגבלה זו מתבטלת 5 שנים מהנחת האפר בקרקע בשל התרחשות ריאקציות כימיות הגורמות עם הזמן להיאטמות האפר ולהפסקת תהליכי שטיפת היסודות ממנו.

לרשימת השאלות

21. מהם התנאים הסביבתיים שנקבעו לשימושי אפר פחם בתשתיות?

כפי שצוין כבר בשאלה 20, ניתן להשתמש באפר מרחף ללא הגבלת כמות ליישומי תשתיות באזורי רגישות שלא קיימת בהם סכנה לזיהום מקורות מים (אזורי ג' במפת רשות המים). באזורי אחרים (א' ו- ב') מותר השימוש רק לאחר שמוכח בהתייעצות עם רשות המים, שבתנאים ההידרו-גיאולוגיים המקומיים אין חשש לזיהום מקורות המים. הקריטריונים לבחינת התנאים ההידרו-גיאולוגיים במקום, כוללים בין השאר:

- עובי שכבת קרקע ואזור בלתי רווי ונוכחות שכבות אוטמות בחתך מעל מי התהום ;
- מרחק מגופי מים וקידוחי הפקה פעילים ;
- כיוון זרימת מי תהום ;
- יחסי מיהול.

שימוש באפר תחתית פטור מאישור נציבות המים, בכמות מצטברת של עד 5000 טון באזור ברדיוס 5 ק"מ. מגבלה זו מתיישנת (מתבטלת) 5 שנים מהנחת האפר בקרקע. שימוש בכמות גדולה יותר בלתי מוגבל מלבד באזורים בהם ריכוז הבורון במי התהום מצוי בתחום 0.3 – 0.5 ppm. בתחום ריכוזים זה אישור רשות המים יתחשב בפרמטרים להלן :

- כמות מרבית של בורון העשויה להישטף מהאפר ;
- קצב שחרור הבורון מהאפר ;
- קצב ההגעה למאגר ;
- דינמיקת זרימת המים במאגר- תוספת בגשם, גריעה בשאיבה ;
- כמות מרבית של בורון העשויה להישטף מהאפר ;
- מידת המיהול במאגר ;
- היחס בין הבורון במאגר לבורון הצפוי להישטף מהאפר.

לרשימת השאלות

22. מהו נוהל מתן היתר לשימוש באפר בתשתיות?

כל שימוש באפר פחם מחייב היתר מטעם מנהלת אפר הפחם בשם הדרג המקצועי הארצי (ועדה ממשלתית בינמשרדית המפקחת על ביצוע התוכנית למניעת מפגעים סביבתיים בתחנות הכוח הפחמיות). ההיתר מסתמך על התנאים הסביבתיים שנקבעו ע"י המשרד להגנת הסביבה כמתואר בתשובה לשאלה 20 והוא מותנה באישור רשות המים שאין חשש לזיהום מי תהום או מקווי מים סמוכים. שימוש באפר פחם תחתית בקרבת בארות מי שתייה (בתחום רדיוס מגן ג' של בארות המים, המחושב על פי נוסחה בתקנות המים), טעון גם אישור מהנדס הבריאות המחוזי.

לרשימת השאלות

23. האם ממצאים בשטח מצדיקים הנחות שמרניות על חשש זיהום מאפר?

בעבודות שנעשו בארץ לבדיקת פוטנציאל הזיהום מן האפר, לרבות ניטור סביבתי בסוללות אפר מרחף בגייסר א-זרקא ובכביש 6, הוכח כי יישום אפר מרחף בסלילת כבישים לא מהווה מקור לזיהום סביבתי. בגייסר א-זרקא הוקמו ע"י מכון וולקני בהזמנת חברת החשמל חלקות ניטור ומכלים לאיסוף מי ניקוז בסוללה בנויה מאפר ובסוללת ביקורת סמוכה הבנויה מחומר מילוי טבעי, ללכידת התשטיפים שיחלחלו מן האפר ומשכבת הביקורת, כדי להעריך את סיכוני דליפת המזהמים מן האפר לסביבה. נמצא כי שכבת האפר נאטמה כתוצאה מתהליך טבעי של שקיעת גיר כתוצאה מחשיפתה לסביבה, ולפיכך לא התקבלו ממנה מי ניקוז גם לאחר שנתיים מבנייתה. גם מי הנגר שזרמו במישור המגע בין האפר לשכבת קרקע הכיסוי הכילו ריכוזי מזהמים נמוכים מערכי הסף של תקן מי שתייה. ממעקב אחר שינויים בחדירות מים דרך סוללת אפר מרחף בכביש 6,

נמצא שהמוליכות ההידראולית של האפר ירדה במהירות עם הזמן (פי שלושה, שנתיים מהקמת הסוללה). ממצאים אלו תואמים את ההתנהגות הפוצולנית של האפר המקנה לחומר תכונות מליטה וגורמת להתקשותו ולהצטופפותו. לפיכך, כיוון שהחדירות למים ואיתה אפשרות שטיפת המזהמים מחלקיקי האפר פוחתות במהירות, נמנעת השפעה שלילית על הסביבה. ואמנם קידוחי ניטור למעקב אחר שינויים כימיים ומינרלוגים בסוללת האפר בג'סר א-זרקא שנערכו לאורך 10 שנים מהקמתה, מצביעים על קיבוע המזהמים בתוך גוף האפר. ממצאי ניטור מי תהום שבוצע ליד סוללת האפר בג'סר א-זרקא במשך שנים אחדות מאשרים כי אין שינוי באיכות מי התהום.

עבודות שנעשו בארץ על גידול צמחים וירקות על גבי מצעי אפר תחתית, הראו שריכוזי המזהמים המדודים בגידולים אלה אינם חורגים מהתקן המותר, וחלקם אף לא היו בני מדידה. על סמך ממצאים אלה הוסק כי אין בשימוש באפר פחם תחתית כמרכיב במצע גידול, סכנה בריאותית או סביבתית.

לרשימת השאלות

24. מהן המסקנות העולות מהמחקרים על הסיכונים הסביבתיים בשימוש באפר פחם בתשתיות?

ממצאי מחקרים שנערכו ביוזמת מנהלת אפר הפחם על הסיכונים הסביבתיים הכרוכים בשימוש באפר פחם כחומר מילוי מבני בסלילת כבישים (לאחר שעבר עיבוד בתנאים הנדרשים לסלילה – הרטבה והידוק) הראו כי סוללת האפר נאטמת למעבר מים ולכן הסיכון לסביבה משטיפת מזהמים מסיסים המצויים באפר, ככל הנראה מתבטל. מעקב שוטף של מנהלת אפר הפחם וחברת החשמל, אחר ריכוזי יסודות הקורט המזהמים בתשטיפי אפר מרחף לאורך 17 השנים האחרונות, מראה שהאפר הישראלי אינו חורג מערכי הסף בתקן "אפר בר שימוש" לאורך כל השנים. ממצאים אלה ואחרים מהווים בסיס לשינוי המוצע בהגדרת האפר המרחף כחומר מילוי מבני בסוללות כביש, מ"חומר שאינו מסוכן" (Non-hazardous) ל"חומר אינרטי" (Inert). שינוי זה אמור לאפשר שילוב האפר ללא מגבלות סביבתיות מקומיות בפרויקטים במרחב הפיתוח העתידי העיקרי של רשת הכבישים בישראל הממוקם מעל האקוויפרים הראשיים – שפלת החוף וההר במרכז הארץ.

לרשימת השאלות

מקורות

בן-חור, מ., קרן, ר., ורשף, ג., 1998. השפעת אפר פחם מרחף על זיהום קרקע ומקורות מים ביסודות קורט. דו"ח סופי תלת שנותי, מוגש למשרד לאיכות הסביבה ולמנהלת אפר הפחם.

הרשקוביץ, מ., זביצקי, י., כהן, ח., וקלמן, ח., 1993. שימושים באפר פחם וסילוק עודפים- היבטים סביבתיים. דו"ח מסכם. מרכז הפחם ע"ש ר. בלוד, אוניברסיטת בן גוריון.

טרציצקי, ח., בר-חיל, מ., בני, נ., קרן, ר., ורן, י. 1997. נוכחות בורון וגורמי מליחות במי שפכים. משרד החקלאות ופיתוח הכפר, שה"מ - אגף שירות השדה.

מתקני שריפת פסולת לאנרגיה (פלי"א). דו"ח המשרד לאיכות הסביבה, 1996.

Assessment of the Leaching Risk to the Environment from the use of Pulverised Fuel Ash (PFA).

Clarke, L. B., and Sloss, L. L., 1992. Trace elements. IEA Coal Research. London

Davidson, R. M., and Clarke, L. B., 1996. Trace elements in coal. IEA Coal Research. London.

Gibb, W., Quick, W., and Salisbury, M., 2003. Technology Status Review – Monitoring And Control Of Trace Elements. Report No. COAL R249 DTI/Pub URN 03/1582. November 2003. In:
<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20070807142534/http://www.berr.gov.uk/files/file19031.pdf>

Kabata - Pendias, A., 2000. Trace Elements in Soils and Plants 3rd Edition. CRC press. In:
<http://books.google.com/books?id=Nowwb0x19fYC&pg=PA49&lpg=PA49&dq=trace+elements+soil&source=web&ots=JFbGlacbqv&sig=temnMTNVIRajeENui2dDKbGz3cg#PPP1,M1>

Meij, R., 2003. Status report on the health issues associated with pulverized fuel ash and fly dust. KEMA report, 50131022-KPS/MEC 01-6032.

Meij, R., and Te Winkel, H. The emission of heavy metals and POP's from modern coal-fired power stations.

Nathan, Y., and Deutsch, Y., 2004. Pollution potential of beneficial uses of bottom coal ash (e.g., road bases, structural fills, and agriculture). Report GSI/5/2004, Geological Survey of Israel.

Trace elements, alkali metals. In:
<http://users.abo.fi/rzevenho/tracalk.PDF>