

פוטנציאל הזיהום ושימושי אפר פחם תחתית (כגון: לתשתית כבישים,

אדמת מילוי וחקלאות)

דר' יעקב נתן ויועץ דויטש, 2004

המכון הגיאולוגי, ישראל

בשריפת פחם בתחנות כוח נוצרים מספר תוצרי לוואי (CCB). העיקרים הם אפר מרחף, אפר תחתית וכן גזי פליטה. ריכוז ה-CCB הוא כ-20% – 10 מכמות הפחם הנשרף וריכוז אפר התחתית הוא כ-15% מכלל האפר הנוצר. בחינות אפיון אפר התחתית שנוצר בישראל, הראו שאפר התחתית ניתן להגדרה כ"פסולת אינרטי" (ע"פ ההגדרה של האיחוד האירופי (EU), אין הוא מהווה סיכון סביבתי, למי תהום או אטמוספרי, וריכוז הקרינה המייננת הנפלטת ממנו, זניח.

הסיכון הפוטנציאלי העיקרי של אפר פחם הוא זיהום מי תהום והסיכון המשני הוא זיהום האטמוספירה (אבק). הזיהום הרדיואקטיבי נבדק ונמצא נמוך מאד (תוספת שנתית של mrem - ים בודדים לקרינת רקע של למעלה מ-100 mrem). במסגרת בדיקות לאפשרות זיהום מי תהום נעשו לאפר הפחם אנליזות כימיות רבות, הן ליסודות ראשיים והן ליסודות קורט. התוצאות הממוצעות מרוכזות בטבלאות 1, 2.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
אפר מרחף	52	25	9	1	6	2	1	1	3
אפר תחתית	53	26	9	1	4	2	1	1	3

טבלה מס' 1. ריכוז יסודות ראשיים באפר פחם, תחתית ומרחף (אחוזי משקל).

	Ag	As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu
פחם	< 1	5	49	170	0.47	6.1	15	16
אפר מרחף	5	23	225	1780	0.9	45	147	77
אפר תחתית	2	6	100	1560	0.2	31	144	43
סלע סדימנטרי *	0.1	10	130	600	0.3	20	90	60

טבלה מס' 2. ריכוז יסודות קורט בפחם ובאפר פחם תחתית ומרחף (חלקים למיליון – ppm)
* - ממוצע בקרום כדור הארץ, Wedepohl

	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	V	Zn
פחם	0.2	43	3.3	14	11	2.8	22	53
אפר מרחף	< 0.2	540	13	100	67	7	197	114
אפר תחתית	0.2	350	4	69	18	3	127	47
סלע סדימנטרי *	0.4	800	2	70	25	0.5	120	150

טבלה מס' 2 (המשך). ריכוזי יסודות קורט בפחם ובאפר פחם תחתית ומרחף (חלקים למיליון)

עיון בטבלה 1 מראה שלא קיים הבדל משמעותי, בריכוזי היסודות הראשיים, בין אפר התחתית לאפר המרחף, מה שאינו כן ביסודות הקורט (טבלה 2). ריכוזי יסודות הקורט הרפרקטורים, אלה שאינם נדיפים בטמפרטורת השריפה של הפחם בתחנת הכוח, אינו משתנה. ריכוזם בפחם, תוך התחשבות בחומר האורגני שבפחם הנשרף, זהה לריכוזי בשני סוגי האפר. היסודות המובהקים בקבוצה זו הם Ba, Cr, Mn, V. לעומתם היסודות הנדיפים בטמפרטורת השריפה של תחנת הכוח, ריכוזם בפחם, ושוב תוך התחשבות בחומר האורגני שבפחם, גבוה משמעותית מאשר באפר. היסודות המובהקים בקבוצה זו הם As, Hg, Mo, Pb, Se, Zn. ביסודות אלה הריכוז באפר המרחף גבוה משמעותית מאשר באפר התחתית. כל יסודות הקורט באפר פחם תחתית נמצאים בריכוז דומה או נמוך לזה של סלע סדימנטרי ממוצע. ההשוואה נעשתה לסלע סדימנטרי. סלע המהווה את החלק הארי משטחה של ישראל.

הסבר מוצע לתופעות שהוזכרו הוא הבא:

1. יסודות רפרקטורים - קשי נידוף, נשארים בפאזות המוצקות בטמפרטורת השריפה בתנור. ריכוזם באפר עולה לכאורה בזמן השרפה, אולם עליה זו בריכוזי הינה רק הודות לשריפת החומר האורגני שבפחם. בגלל היותם לא נדיפים הם נשארים עם החומר האנאורגני. מסיבה זו הריכוז באפר המרחף דומה לזה שבאפר התחתית. הריכוז באפר התחתית נמוך במידת מה מאשר באפר המרחף, וזאת כיון שלמרות הרפרקטוריות, הם נדיפים במידה מועטה. אותו חלק קטן נדיף יוצא מאפר התחתית, הנמצא בטמפרטורה גבוהה בתנור, מתנדף וככל הנראה אף שוקע על חלקיקי האפר המרחף באזור הקר ביציאה מהתנור.
2. יסודות נדיפים, עוברים וולטיזציה בטמפרטורת השריפה, יחד עם גזי השריפה של החומר האורגני שבפחם. האפר המתהווה, חשוף לטמפרטורה השרפה הגבוהה, כך שקיים נידוף משמעותי של יסודות נדיפים אלו באפר. קיימת שקיעה מחדש של היסודות הנדיפים על חלקיקי האפר המרחף באזור הקר יותר של התנור, וזו ככל הנראה הסיבה להעשרתם באפר המרחף (יחסית לאפר תחתית).

על מנת לקבוע את פוטנציאל הנדידה של יונים מהאפר לסביבה ולאקוויפרים, נעשו במכון הגיאולוגי הישראלי, בדיקות מיצוי (על פי התקן האמריקני). התוצאות מרוכזות בטבלה 3.

	Ag	As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu
אפר מרחף	1	175	7465	3810	1.3	24	455	15
אפר תחתית	0.7	14	775	735	0.4	8.9	8.8	7.8
תקן מי שתייה	10	50	-	1000	5	-	50	1400
	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	V	Zn
אפר מרחף	0.7	275	270	140	3.4	83	765	65
אפר תחתית	< 0.3	495	11	30	3.8	5.5	2.3	173
תקן מי שתייה	1	500	-	50	10	10	-	5000

טבלה מס' 3. ריכוז יסודות קורט בתמיסות המיצוי של אפר פחם תחתית ומרחף בהשוואה לתקן הריכוז המרבי במי שתייה (חלקים לביליון – ppb)

מעיון בטבלה 3, רואים שעבור כל יסודות הקורט, הריכוז בתמיסת המיצוי של אפר התחתית נמוך מהערכים המותרים למי שתייה (דבר שאינו כך עבור אפר מרחף). מיצוי במים נותן ערכים נמוכים אף יותר. גם בהשוואה עם ערכי המיצוי של יסודות קורט עבור חומר אינרטי, קריטריון EU, ערכי המיצוי של יסודות קורט מאפר תחתית נמוכים ממנו, כך שאפר תחתית לפי קריטריון EU, מוגדר כחומר אינרטי.

ניסוי שדה בקנה מידה גדול, 50,000 טון אפר תחתית שהונח כחומר מילוי באזור זיקים, וניטור בארות בסביבה, הראה על יציבות בריכוז יסודות הקורט במי בארות אלו. לא חלה כל עליה בריכוז וזאת בתקופת ניטור בת שנתיים (הניטור ימשך לפחות ארבע שנים נוספות).

זיהום האטמוספירה (אבק סיליקה גבישית חופשית).

נמצא שאפר תחתית יכול להחליף טוף ולשמש כמצע לגידולים חקלאיים, בעיקר בחממות. כמצע (ללא קרקע) נעשה שימוש באפר תחתית גס ($> 2 \text{ mm}$). מאחר וגם אפר גס מכיל אחוז מסוים של מקטע דק, נשאלות שתי שאלות; האם אפר זה יעלה אבק בכמות משמעותית והאם אבק זה מכיל סיליקה גבישית חופשית (SiO_2). אפר תחתית גולמי מורכב מכ- 25% חלקיקים הקטנים מ- 2 mm וכ- 0.4% חלקיקים $< 10 \mu\text{m}$. מאחר וניפוי אפר תחתית לפרקציה הגסה אינו מושלם, הרי אפר תחתית גס, מכיל עדיין כ- 4% חלקיקים הקטנים מ- 2 mm , וכ- 0.07% חלקיקים $< 10 \mu\text{m}$. ריכוז סיליקה גבישית חופשית, למעשה קיים רק קוורץ, כפי שנמדד באמצעות קרני-X, יורדת עם גודל הגרגר, ובפרקציה המהווה סיכון נשימתי ($< 10 \mu\text{m}$) הריכוז נמוך מ- 0.1%. הסיבה לירידת ריכוז הקוורץ עם גודל הגרגר היא שפאזה זו רזיודואלית, וחלקיקים קטנים ריאקטיביים יותר מגדולים (למשל עם CaO).

ננסה לחשב את פוטנציאל זיהום האטמוספירה בקוורץ, מאבק העלול להתרומם משימוש באפר תחתית גס:

1000 m^2	שטח בו נעשה שימוש במיכלי אפר תחתית גס:
0.05 m	עומק מירבי במיכלים ממנו קיימת אפשרות לעליית אבק:
50 tons	כמות האפר ממנה קיימת אפשרות לעליית אבק:
	האפר: $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
$50000\cdot 0.0007 = 35 \text{ kg}$	כמות החלקיקים $<10 \mu\text{m}$ בשטח האמור
$35\cdot 0.001 = 35 \text{ g}$	כמות הקוורץ הכללית בפרקציה הניתנת לנשימה בשטח האמור
$35\cdot 0.1 = 3.5 \text{ g}$	בהנחה מירבית של 10% אבק מכלל החומר הדק
$1000\cdot 20 = 20000 \text{ m}^3$	נפח האוויר הרלוונטי, האבק משתרע עד לגובה 20 m
	הריכוז המירבי האפשרי של קוורץ ב- 1 m^3 אויר:
$3.5/20000 = 0.01 \text{ g} = 0.175 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3} = 175 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	

אלה הם ערכים מירביים. הערכים בעין יהיו נמוכים בהרבה כיוון שהחלקות מושקות, עד 6 פעמים ביום וכן אין רוחות חזקות מעל לחלקות הנמצאות בחממות מוגנות.

נציין כאן את ערך התקן ההולנדי לריכוז קוורץ מירבי באוויר לעובדים, ערכו $0.075 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.