

הקרית למחקר גרעיני - נגב

היחידה לביקורת קרינה ובטיחות תעשייתית



תנאים סביבתיים (רדיולוגיים) לשימוש באפר פחם בתשתיות

מאת: עומר פלד, שמעון צרויה ועוזי גרמן



הקרית למחקר גרעיני - נגב
היחידה לביקורת קרינה ובטיחות תעשייתית

פקס : 08-6567210

טלפון 08-6568195

ת.ד. 9001 באר שבע 84190

תנאים סביבתיים (רדיולוגיים) לשימוש באפר פחם בתשתיות

מאת :

עומר פלד, שמעון צרויה ועוזי גרמן

אישר : אבי תשובה

אייר תשס"ב
מאי 2002

עבודה זו בוצעה עפ"י הזמנת מנהלת אפר הפחם

תוכן:

<u>עמוד</u>	<u>נושא</u>
4	1. הקדמה
4	2. ממצאי הסקר
4	2.1 מבוא
5	2.2 רכוזים של חומרים ר"א באפר הפחם
6	2.3 חשיפות עובדים ואוכלוסייה כתוצאה משימוש באפר הפחם בתשתיות
9	2.4 תקנות ה-EPA לשימוש באפר פחם לתשתיות
10	3. מסקנות
11	4. ביבליוגרפיה



תנאים סביבתיים (רדיולוגיים) לשימוש באפר פחם בתשתיות

סקר ספרות

1. הקדמה

סקר זה בוצע בהתאם לבקשת מנהלת אפר הפחם. מטרתו להוות בסיס להמלצות באשר לתנאים הרדיולוגיים הנדרשים לשימוש באפר פחם כחומר מילוי מבני בבניית תשתיות למבני מגורים, תעשייה וכבישים.

סקר הספרות כלל חיפוש במאגרי מידע העומדים לרשות הקמ"ג, במאגרי מידע הקיימים באוניברסיטת בן-גוריון וחיפוש נרחב באמצעות האינטרנט.

2. ממצאי הסקר

2.1 מבוא

בתשתיות משתמשים באפר הפחם למילוי בורות/ בריכות, כבסיס לבניית בתים, הקמת סוללות לסלילת כבישים ובניית גשרים.

בעקבות העובדה כי אפר הפחם לסוגיו (Fly ash, Bottom ash, Commingled ash) מכיל כמויות של חומרים ר"א כאשר העקריים הינם : ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{222}Rn (כולל ^{222}Rn ובנותיו) ו- ^{40}K , עולה חשש שאנשים אשר שוהים בסמוך/על אפר הפחם עלולים להחשף לקרינה חיצונית בעיקר מקרינת ה- γ אשר פולטים חומרים אלו או לקרינה פנימית כתוצאה מנשימת הראדון ובנותיו, נשימת אבק אפר פחם או מחדירת חומרים ר"א למי תהום, נהרות ומזון.

אי לכך יש לבדוק ולהעריך האם שימוש באפר הפחם לתשתיות מהווה גורם סיכון רדיולוגי לאוכלוסיה או לעובדים אשר עובדים בבניית התשתיות, ובמידה וכן להמליץ על פעולות להקטנת החשיפה.

2.2 רכוזים של חומרים ר"א באפר הפחם

החומרים הר"א האופייניים מופעים באפר הפחם בריכוזים הגדולים פי 10 בקירוב⁽¹⁻³⁾ מאלו שנמצאים בפחם לפני שרפתו (רכוז החומרים הר"א בפחם שווה לרכוז באדמה). תופעה זו נובעת מהעובדה שמשקלו של הפחם, לאחר שרפת החומרים האורגניים שבו, קטן פי 10 בקירוב אך תכולת החומרים הר"א אינה קטנה באופן משמעותי.

רכוזי והרכבי החומרים הר"א באפר הפחם⁽³⁾ תלויים במקור הפחם ודרך שריפתו: טמפרטורת השרפה, נידוף גזים, כוחות אלקטרוסטטים, תנועת בראון ויכולת ספיגת החומרים הר"א בפני שטח האפר. גורמים אלו יכולים להשפיע ולשנות באופן ניכר את תכולת והרכב החומרים הר"א באפר. רכוזי האקטיביות הכללית של אפר הפחם (המורכבת בעיקר מ- K-40, Ra-226, Bi-214, Pb-214) תלויה בסוג האפר: Commingled ash ו- Bottom ash מכילים אקטיביות של 0.28-3.7Bq/gr המקבילה לזו של חומרי מבנה מקובלים אחרים (בלוקים, טיט, שיש, חול מילוי וכו'). אקטיביות ה-Fly ash גבוהה מרוב חומרי המבנה בכ- 30-50%, למעט K-40 אשר בו האקטיביות נמוכה יותר. קיימים הרבה תקנים והגבלות על רכוז החומרים הר"א בחומרי בניה, אך לא נמצאו כמעט תקנים או המלצות לרכוז חומרים ר"א באפר פחם המיועד לתשתיות.

בהתאם למחקרים שבוצעו ע"י ה-USGS⁽⁸⁾ (U.S Geological Survey) בנושא רכוזי חומרים ר"א בקרבת אתרי פסולת של אפר פחם, נמצא כי רכוזי האורניום והראדיום נמוכים מהרכוזים המותרים במי שתייה, 5pCi/L לראדיום ו- 20ppb לאורניום, כפי שהוגדרו ע"י ה-EPA (U.S. Environmental Protection Agency).

2.2 מגבלות כימיות לשימוש באפר הפחם

למרות שמטרת הסקר הינה לקבוע מגבלות רדיולוגיות, אי אפשר להתעלם מהמגבלות לשימוש באפר הפחם הנובעות מרכוזים של חומרים כימיים הקיימים באפר הפחם כדוגמת: קדמיום, ארסן, כרום, נחושת, ניקל, עופרת ואבץ. חומרים אלו עלולים להגיע, כמו החומרים הר"א, למי תהום, נהרות ומזון. המגבלות הקיימות בשוודיה⁽⁴⁾ מובאות בטבלה 1:

TABLE 1
Maximum Permitted Contents after Batch Tests (L/S 2). General Permit for NKAB to Use Coal Bottom Ash From Grate Firing

Parameter	Unit	Guideline	Limit
pH		6.5-10	5-11
Conductivity	mS/m	100	300
Chloride	mg/l	300	1000
Sulphate	mg/l	300	1000
Aluminium	µg/l	300	2000
Arsenic	µg/l	20	100
Cadmium	µg/l	5	30
Chromium	µg/l	50	300
Copper	µg/l	100	1000
Nickel	µg/l	100	500
Lead	µg/l	50	500
Zinc	µg/l	200	1000

טבלה 1: מגבלות כימיות באפר הפחם

ממצאי מחקרים שחקרו את השפעת סוללות אפר פחם (כתשתית לכבישים) על הסביבה ואשר נערכו במשך 3 שנים לא הראו כל השפעה על רכוז המתכות במי תהום^(5,6), או באדמת הסביבה (לאחר 3 חודשים)⁽¹¹⁾ כתוצאה מהוספת אפר פחם לאספלט.

תקן ASTM-E-850⁽⁷⁾ מגדיר את הסטנדרטים לשימוש באפר פחם כחומר מילוי מבחינת תכונות מכניות והשפעות סביבתיות על מים הזורמים על פני השטח ומי תהום, אך לא כולל התיחסות לחומרים ר"א. בהמלצות⁽¹⁰⁾ שהועברו ל-DOE (משרד האנרגיה בארה"ב) ע"י ה-EERC נאמר כי בהתאם לבדיקת תכונותיו המכניות והרכבו הכימי של אפר הפחם ניתן להשתמש בו לתשתיות. המלצות אלו מסתמכות על נוהל שפותח לצורך הערכת ובדיקת ההתאמה של האפר לשימוש בתשתיות.

ה-FHWA⁽⁹⁾ (Federal Highway Administration- U.S. Department of Transportation) ממליץ על ביצוע בדיקות כימיות אשר יקבעו אם משתחררים/נשטפים חומרים מאפר הפחם אשר בו יעשה שימוש לתשתיות. כמו כן, יעשו בדיקות מי תהום באזור המיועד לביצוע עבודות התשתית לפני התחלת העבודה, על מנת לקבוע את רקע המתכות הכבדות, ובאופן תקופתי לאחר סיום עבודות התשתית על מנת לקבוע אם אפר הפחם מזהם את מי התהום.

2.3 חשיפות עובדים ואוכלוסייה כתוצאה משימוש באפר הפחם בתשתיות

לעומת מקורות מידע רבים בנושא חשיפת אוכלוסייה כתוצאה משימוש באפר פחם בחומרי מבנה למבנים ובתי מגורים, הכוללים תקנים והמלצות, נמצאו מעט מקורות מידע המעריכים את החשיפה לאוכלוסייה ולעובדים, כתוצאה משימוש באפר פחם לסוגיו בתשתיות. בהתאם למקורות שנמצאו החשיפה מורכבת מחשיפה פנימית וחיצונית.

חשיפה פנימית יכולה להגרם כתוצאה מנשימת הראדון ובנותיו, או מנשימת אפר פחם המפוזר על פני השטח ולא כוסה כראוי (סוללות אפר, בורות שמולאו באפר או מבסיס לכבישים), אשר נישא ברוח ומתפזר בסביבה. כמו כן, חדירת חומרים ר"א למי התהום וכניסתם למעגל המזון והשתיה גורמים לחשיפות פנימיות. לדוגמה: כתוצאה משימוש באפר פחם כבסיס (סוללות) לכבישים, ללא ניקוז מתאים למי הגשמים, חומרים ר"א המצויים באפר עלולים להישטף למי התהום.

חשיפה חיצונית יכולה להגרם כתוצאה מהחומרים הר"א אשר פולטים קרינת γ וחושפים את האוכלוסייה הנמצאת על או בקרבת מקום של תשתיות המבוססות על אפר פחם.

פרסום של ה-NCRP⁽¹²⁾ מעריך כי 5 מליון אנשים בארה"ב נחשפים כתוצאה משימוש באפר פחם בתשתיות לדרכים וכבישים מהירים, כאשר החשיפה מגיעה בממוצע ל- $40\mu\text{Sv/yr}$ לאדם. מכאן שהחשיפה הקולקטיבית האקוולנטית האפקטיבית הינה 200 person-Sv ($20,000\text{ person-rem}$). לשם השוואה, ה-NCRP מעריך את החשיפה לאוכלוסייה מהתעשייה הגרעינית כ: 136 person-Sv . חשיפות כתוצאה מפליטת הראדון מאפר הפחם יהיו קטנות פי 2 ועד פי 10 מאלו הנובעות מאדמה רגילה או פחם^(13,14), עקב העובדה כי שפיעת הראדון מאפר הפחם נמוכה, למרות שרכוז הראדיום באפר הפחם גדול פי 10 בקרוב מאשר באדמה רגילה.

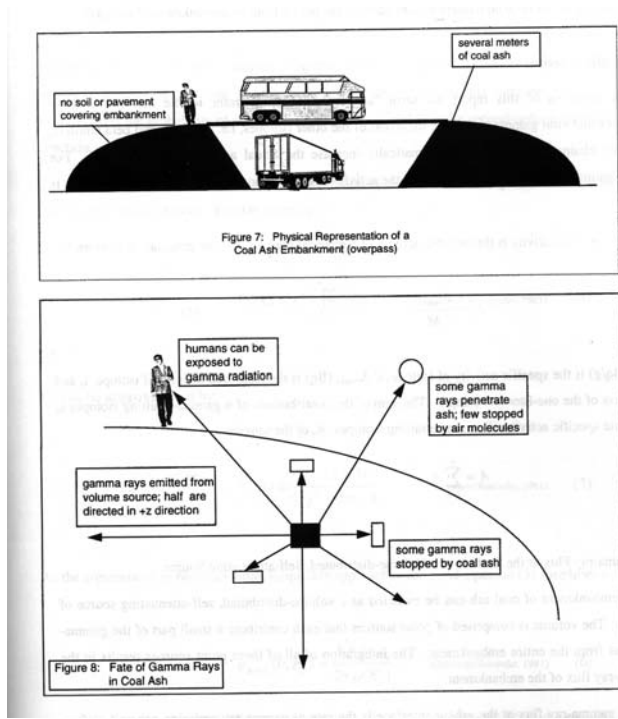
הערכת חשיפה לאנשים העובדים על מרבצי/לגונות של אפר פחם⁽¹⁵⁾ הראתה כי החשיפה החיצונית מלגונה "פתוחה" אשר לא מכוסה באדמה מוערכת כ- $0.165 \mu\text{Gy/h}$. כאשר מכסים את הלגונה בשכבות אדמה בעובי של 0.1, 0.2 ו-0.5 מטר מתקבלת הקטנה של החשיפה ב- 23%, 30% ו-34% בהתאמה. החשיפה הפנימית הנובעת מגזי הרדון המשתחרר מהאפר קטנה מזו אשר תגרם מאדמה רגילה ולכן כיסוי הלגונה באדמה לא יקטין את החשיפה מראדון אלא יגדילה. החשיפה הפנימית כתוצאה מנשימת אבק אפר הפחם המכיל חומרים ר"א מובאת בטבלה 2, כאשר החשיפה מתיחסת ל- 2000 שעות עבודה בשנה (לעובדים אשר עובדים בהקמת תשתיות אפר הפחם), רכוז אבק של $100 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ ובהנחה שכל חלקיקי האבק ברי נשימה. בהתאם לטבלה החשיפה השנתית הינה $16.2 \mu\text{Sv}$ וגודל זה תלוי גם בעוצמת וכיווני הרוח. החשיפה לאנשים אשר גרים בקירבת מקום תהיה אף גבוהה יותר עקב זמני שהיה גדולים יותר. כאשר לגונות אפר הפחם הנ"ל יכוסו באדמה, סכנת החשיפה עקב אפר הפחם תהיה זניחה.

TABLE 5
Committed Effective Doses due to Inhalation of Radionuclides in Airborne Ash Particles

Nuclide	Inhalation class	Committed effective dose per unit intake ($\mu\text{Sv Bq}^{-1}$)	Committed effective dose (μSv)
²³⁸ U	Y	32	0.90
²³⁴ U	Y	36	1.01
²³⁰ Th	Y	70	1.96
²²⁶ Ra	W	2.1	0.06
²¹⁰ Pb	D	3.4	0.10
²¹⁰ Po	W	2.1	0.06
²³² Th	Y	308	9.55
²²⁸ Th	Y	83	2.57
			Total = 16.2

טבלה 2: חשיפה פנימית מנשימת אבק אפר פחם

מחקר אשר בוצע ע"י משרד התחבורה של אינדיאנה ארה"ב⁽³⁾ העריך את החשיפות החיצוניות, עקב קרינת ה- γ הנפלטת מאפר הפחם, לאוכלוסיה ועובדים, כתוצאה מסוללות אפר פחם אשר משמשות כתשתית לגשרים. הערכת החשיפה בגובה 1 מטר מהסוללה מתבססת על ההנחות המחמירות הבאות: עובי ושטח הסוללה הינו אינסופי, לעובדים על הסוללות החשיפה חושבה לפי 2000 שעות עבודה, אפר הפחם לא נדחס והאפר לא כוסה בשכבת אדמה או אספלט. ציור 1 ממחיש את גאומטריית הערכת החשיפה.



ציור 1 : חשיפה עקב סוללות אפר פחם

תוצאות הערכת החשיפה התבססו על רמות האקטיביות של החומרים הר"א באפר הפחם בהתאם לסוגים השונים :

החשיפה השנתית לעובדים כתוצאה מסוללה אשר התבססה על fly ash הינה : 30mrem/y .
 החשיפה השנתית לעובדים כתוצאה מסוללה אשר התבססה על bottom ash או commingled ash הינה : 20mrem/y .
 לשם השוואה חושבה החשיפה מחומרים טבעיים (חול, בטון, שיש וכו') והתקבלה חשיפה של 16mrem/y .

2.4 תקנות ה-EPA לשימוש באפר פחם לתשתיות

במאי 2000 הוציאה ה-EPA (Environmental Protection Agency) תקנה סופית⁽¹⁶⁾ הדנה בטיפול בפסולת הנוצרת כתוצאה משרפת דלקים אורגניים (fossil fuels). תקנה זו קובעת כי תוצרי שרפת הפחם אינם מהווים סכנה לאדם ולסביבה אשר מחייבת להכלילם בקטגוריית פסולת מסוכנת ועל כן אין צורך לטפל בהם בהתאם לתקנת ה-RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) תת כותרת C סעיף 3001(b)(3)(c)⁽¹⁷⁾.

יחד עם זאת התקנה מגדירה שתי התייחסויות נפרדות בהתאם ליעוד והשימוש בפסולת תוצרי הפחם :

- I) שימוש בתוצרי אפר הפחם למילוי מכרות פתוחים ותת-קרקעיים.
- II) שימוש בתוצרי פחם למטרות "מועילות" (Beneficial Uses) כדוגמת : מלט, בטון, לבנים, מוצרי בטון, בסיס/מצע לכבישים ומבנים, קירות, מבודדים וגגות.

התקנה קובעת כי כאשר השימוש בתוצרי הפחם הינו למילוי מכרות, יש לפעול בהתאם לתקנת ה-RCRA תת כותרת D⁽¹⁸⁾ אשר מגדירה את הטיפול בפסולת מוצקה (אשר אינה מוגדרת כפסולת מסוכנת) על מנת למנוע נזקים לאדם ולסביבה, כולל הגדרת מערך ניתור מי תהום.

- כאשר נעשה שימוש בתוצרי פחם למטרות "מועילות" התקנה קובעת כי אינם מהווים סכנה לאדם ולסביבה אשר מחייבת להכלילם בקטגוריית פסולת מסוכנת **ואין צורך בפעולות ומגבלות נוספות כל שהן**. התקנה מציינת כי היא מסתמכת בקובעה היתר זה על הנתונים והשיקולים הבאים :
- א) לא זוהו סיכונים לאוכלוסייה ולסביבה כתוצאה משימוש באפר פחם למטרות "מועילות".
 - ב) לא נמצא כל תיעוד או מסמכים המעידים על נזק שנגרם לאוכלוסייה או לסביבה כתוצאה משימוש באפר פחם למטרות "מועילות".
 - ג) לא מעוניינים להציב מכשולים מיותרים ולא מוצדקים, אשר יקשו את השימוש בפסולת אפר הפחם לצרכים "מועילים", אשר יתרמו לשמירה על משאבי הטבע ולהוזלת עלויות סילוק הפסולת.

3. מסקנות

בהתאם לממצאים בספרות שנסקרה עלו הממצאים הבאים :

- 3.1 לא נמצא כי קיימת בעיה רדיולוגית כתוצאה משימוש באפר פחם למטרות "מועילות" כדוגמת: מלט, בטון, לבנים, מוצרי בטון, בסיס/מצע לכבישים ומבנים, קירות, מבודדים וגגות.
 - 3.2 לא נמצא כי קיימת בעיה אקולוגית עקב חדירת מתכות כבדות כתוצאה משימוש באפר פחם למטרות "מועילות", וגם לא חומרים ר"א , למי התהום או למעגל המזון דבר אשר עלול לגרום לחשיפה כימית או רדיולוגית לאוכלוסייה.
 - 3.3 כיסוי סוללות אפר הפחם, אשר מהוות תשתית לכבישים וחומר מילוי, ע"י שכבת אדמה או אספלט/בטון, יביא את החשיפה לאוכלוסייה לערכים זניחים.
 - 3.4 תקנות ה- EPA קובעות כי השימושים בתוצרי פחם למטרות "מועילות" אינם מהווים סכנה לאדם ולסביבה, אשר מחייבת להכלילם בקטגוריית פסולת מסוכנת ואין צורך בפעולות ומגבלות נוספות כל שהן.
- בהתאם לאמור לעיל שימוש באפר פחם למטרות "מועילות" אינו מהווה סיכון לאדם ולסביבה ואינו מצריך נקיטת אמצעים כל שהם.

(1) ההשלכות הרדיולוגיות של שימוש באפר פחם כמרכיב של חומרי בנייה. דו"ח ממ"ג מס 2681, יוני 1996.

- 2) Styron, C. E. "Assessment of the impact of radionuclides in coal ash", IAEA-SM-254/30, 1981.
- 3) Alleman, J. E. "Identification and quantification of radionuclides in coal ash", Indiana Department of Transportation, Purdue University, Final Report FHWA/IN/JTRP-98/1, July 1998.
- 4) Rogbeck, J. "Coal bottom ash as fill material in construction", Waste Management, vol. 16 pp 125-128, 1996.
- 5) Collins, R. J. "Use of ash in highway construction: Delaware demonstration project, final report", Electric Power Research Institut, Report No. GS-6540, Palo Alto, California, November 1989.
- 6) Brendel, G. F. "Ash utilization in highway: Pennsylvania demonstration project", Electric Power Research Institut, report No. GS-6431, Palo Alto, California, June 1989.
- 7) ASTM E-850-95, "Standard practice for use of inorganic process wastes as structural fill".
- 8) Zielinski, R. "Radioactive elements in coal and fly ash: Abundance, forms and environmental significance", USGS Fact Sheet FS-163-97, October 1997.
- 9) Heinz, R. E. "Use of ash in embankments and bases", U.S. Department of Transportation -Federal Highway Administration, T-5080.09, 16.5.1998.
- 10) Dockter, B. A. "Development of coal by-product classification protocol for utilization, task 5.8", University of North Dakota, Energy & Environmental Research Center-EERC, September 1995.
- 11) Churchill, E. "Coal Ash Utilization in asphalt concrete mixtures", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.11 (No 4), November 1999.
- 12) NCRP, "Ionizing radiation exposure of the population of the U.S", NCRP No.-93, 1987.
- 13) Karamdoust, N. A. "An investigation of radon exhalation from fly ash produced in the combustion of coal", Nucl. Tracks Radiat. Mea. Vol.15, Nos.1-4, pp.647-650, 1988.
- 14) Karamdoust, N. A. "Determination of radon emanation power of fly ash produced in coal-combustion power stations", Nucl. Tracks Radiat. Mea. Vol.19, Nos.1-4, pp.339-342, 1991.

- 15) Tso, M. W. "Radiological impact of coal ash from the power plants in Hong-Kong".
J.Environ.Radiactivity, Vol-30 No-1, pp-1-14, 1996.
- 16) EPA 2000. "Regulatory determination on wastes from the combustion of fossil fuels;
final rule", Federal Register/ Vol. 65, No.99/, EPA Part II, 40 CFR part 261, May 22,
2000.
- 17) RCRA . "Managing hazardous waste", Resource Conservation and Recovery Act,
subtitle C. 1976.
- 18) RCRA . "Managing solid waste", Resource Conservation and Recovery Act, subtitle
D.