

הגישה והניסיון במדידות קוורץ בתחנות כח פחמיות, הולנד

תרגום לעברית¹ מדיווח שנערך ע"י Dr. Ruud Meij, KEMA בהסתייע במאמריו הדיווח הוכן לבקשת עמרי לולב בעקבות פגישתו עם Dr. Ruud Meij, 30.5.07 במסגרת עבודת הצוות המקצועי-מדעי (גהות) על הגדרת אבק אפר מרחף בתקנות העבודה והסביבה בישראל

רקע

מחקר מעמיק על קוורץ בפחם ובאפר פחם מרחף בוצע בהולנד בסוף שנות התשעים במטרה להעריך את הסיכונים הסביבתיים והבריאותיים העלולים להיגרם מאבק שמקורו בפחם ובאפר פחם לעובדי תחנות הכח ולאוכלוסיה בסביבתן. תכולת הקוורץ בפחם המיובא להולנד ממקורות שונים ברחבי העולם נמדדה בכ- 50 דוגמאות. מדידות קוורץ באפר מתוארות להלן. הפחם בתחנות הכח בהולנד נשרף לאחר טחינה לחלקיקים בגודל מתחת ל-0.1 מ"מ. 99.75% מהאפר המרחף (המהווה כ- 88% מהאפר) נלכד במשקעים האלקטרוסטטיים (Electrostatic Precipitators – ESP), 0.7% נוסף נלכד במדיח הגופרית (Flue Gas Desulphurization – FGD) ובסה"כ כ- 0.05% "מצליח" להיפלט לאוויר הסביבה דרך הארובה. אפר התחתית (המהווה כ-12% מהאפר) מורכב מצברי אפר כבדים דיים על מנת לשקוע בתחתית דוודי השריפה, שם הם מתקררים במים. הפחם הנשרף בהולנד בתקופת המחקר הכיל בממוצע כ- 14% אפר משקלית.

האפר המרחף מורכב מחלקיקים בגדלים שונים, חלקם מספיק דק כדי לחדור לגוף בדרכי הנשימה ואף לשקוע בריאות. הסיכון הבריאותי הקיים באפר נובע מתכולת הקוורץ שבו (סיליקה גבישית SiO₂) היכול להגיע אף ל-50% מהמשקל הכולל של אפר הפחם המרחף. חשיפה לקוורץ עלולה לגרום למחלות ריאה דוגמת סיליקוזיס, פיברוזיס וסרטן ריאות, אולם הסיכון הבריאותי קיים רק בנשימת חלקיקי הקוורץ, כלומר על הקוורץ להיות במקטע בר-נשימה (מתחת ל-7 מיקרון קוטר אווירודינמי) כדי שיוכל לחדור לריאות. יתר על כן, השפעות פיברוטיות מיוחסות לתגובות המתרחשות בפני השטח של חלקיקי הקוורץ, אולם מרבית הסיליקה הגבישית החופשית כלואה בתוך הפאזה הזכוכיתית של חלקיקי האפר הנוצרת בתנאי הטמפרטורות הגבוהות השוררות בדוד השריפה, ולכן אין בה פוטנציאל לנזק בריאותי. כלומר, לא הוכח כי לקוורץ באפר הפחם יש פוטנציאל רעילות, וככל הנראה הסיכון הנמוך קשור לטמפרטורות הגבוהות השוררות בעת תהליך שריפת הפחם (Fubini, Italy), כפי שהוכח גם במחקר הולנדי אחר משנת 2000 של R. Meij (להלן בהמשך).

¹ תרגום ע"י דן שריקי מתוך Meij, Quartz, 07-07-31 Meij, Quartz TOS/MEC 07-draft, 59731033 והשלמות מתוך פרסומים אחרים שלו.

שיטת דיגום

כדי להעריך את החשיפה האמיתית לאפר המרחף נדגמה הפרקציה ברת הנשימה מהאפר באוויר באזור שמתחת למשקעים האלקטרוסטטיים (ESP), באמצעות ציקלונים. כמו כן נדגם אפר מהשדה האחרון של ה-ESP בו נאספת הפרקציה הדקה ביותר של האפר המרחף.

המדידות בוצעו ביחידה מס' 13 של תחנת הכח Gelderland, יחידה מס' 8 של תחנת הכח Amer ויחידה מס' 2 של תחנת הכח Maasvlakte, בחודשים יוני ויולי. מכל יחידה נלקחו 3 מדידות כפולות בין 8 בבוקר ל-8 בערב.

הפרקציה ברת-נשימה נדגמה במסנני cellulose-ester של Millipore מטיפוס AAWP, בקוטר 47 מ"מ וגודל נקב 0.8 מיקרון. הדוגמאות עברו אנליזה של דיפרקציית קרני X (XRD) עם שכבת כסף להגברת רגישות המדידה.

תכולת הקוורץ נמדדה ע"י שימוש בשיטת CCSEM שפותחה בחברת KEMA ההולנדית (ראה גם Meij, R., Nagengast, S. and Winkel, B.H. te, 2000. The occurrence of quartz in coal fly ash. Inhalation Toxicology, 12 (supplement 3), pp.109-116).

תוצאות

ריכוז הקוורץ בדוגמאות הפחם שנבדקו נע בין הערכים 0.3 – 7.0 אחוז ובממוצע 2.6 ± 1.4 אחוז. ממדידות קוורץ באפר פחם מרחף שנדגם בשדה האחרון של המשקעים האלקטרוסטטיים, התקבלו ערכים הנעים בין 3-14 אחוז עם ערך ממוצע של 9 ± 3 אחוז. היחס בין הקוורץ בפחם לקוורץ באפר המרחף התקבל תוך שימוש בפקטור RE (relative enrichment - העשרה יחסית), כאשר:

$$RE = (\text{תכולת קוורץ באפר המרחף} / \text{תכולת קוורץ בפחם}) \times (100 / \%)$$

על אף העובדה שבמהלך שריפת הפחם כ-50% בערך מתכולת הקוורץ בפחם נעלמה, קרוב לוודאי כתוצאה מהפיכתו לפאזה זכוכיתית, ההתייחסות היתה לפרקציה ברת הנשימה בלבד של הקוורץ. כדי לקבל אומדן לפרקציה זו, נבדק יחס RE בין תכולת הקוורץ בפחם לתכולת הקוורץ בפרקציה הדקה של האפר המרחף שנאספה בשדה האחרון של מסנני ה-ESP, מהתוצאות שהתקבלו נמצא כי הריכוזים בפרקציה הדקה היו נמוכים מאוד (בפקטור של 4-5) ביחס לריכוזים בכל גדלי הגרגר.

התוצאות פורסמו בדו"ח הבא:

Amount of α -quartz in suspended respirable coal fly ash

מאת: ד"ר R. Meij ו-J. H. M. Overbeek. דו"ח KEMA מספר 97-6538-KST/MAT 65033.300.

ריכוז התוצאות בדו"ח מופיע בטבלה להלן:

טבלה 1. תוצאות מדידה של אבק מרחף בר-נשימה תחת המשקעים האלקטרוסטטיים

| קוורץ (באבק בר-נשימה) | | | אבק בר-נשימה | | |
|-----------------------|-------|------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|
| ריכוז באוויר | תכולה | כמות האבק במסנן ¹ | ריכוז באוויר | כמות האבק במסנן | |
| מ"ג/מ"ק | % | מ"ג | מ"ג/מ"ק | מ"ג | |
| 10 ²¹ | 19 | 19 | 10 ²¹ | 19 | מס' מדידות (כולל דופליקטים) |
| 0.0005 | | | 0.06 | | ממוצע גיאומטרי |
| | 1.0 | 0.03 | 0.08 | 2.3 | ממוצע חשבוני |
| | 0.8 | 0.05 | 0.06 | 1.5 | סטיית תקן |
| | 79 | 144 | 75 | 63 | מקדם שונות (%) |
| 0.00008 | 0.3 | 0.003 | 0.02 | 0.02 | ערך מינימלי |
| 0.0052 | 3.0 | 0.19 | 0.18 | 0.21 | ערך מכסימלי |

(1) ערך רקע במסנן >3 מיקרוגרם.

(2) הממוצע הגיאומטרי מייצג פה את ערכי הדופליקטים.

מהערכים שנמדדו נראה כי רק חלק קטן מאוד מהקוורץ החופשי (פחות ה-מ-1% מתכולת הקוורץ) הינו בר נשימה. נוסף על כך, רובו מקובע בתוך חלקיקי האפר ואינו זמין לנשימה ועל כן אינו מהווה פוטנציאל רעילות. כמות הקוורץ החופשי ברת נשימה שנמדדה הייתה נמוכה מ-0.1%, היא אינה חורגת מהתקן התעסוקתי ההולנדי לקוורץ בר נשימה העומד על 0.075 מ"ג/מ"ק אוויר, ולא נכללת בטווח הערכים של 0.3-7.0 אחוז (ערך ממוצע 1.4±2.6 אחוז) המייצג את תכולת הקוורץ שנמדדה בדוגמאות הפחם.

סיכום ומסקנות

דיגום האבק בר-נשימה נועד למדוד את ריכוזיו וריכוזי הקוורץ באוויר ולהעריךם בתנאים קבועים. ריכוזי קוורץ בר-נשימה שנמדדו תחת המשקעים האלקטרוסטטיים, נעים בין 0.0008-0.005 מ"ג/מ"ק, עם ממוצע גיאומטרי של 0.0005 מ"ג/מ"ק. ערכים אלו מצויים מתחת לערך ההולנדי המותר העומד על 0.075 מ"ג/מ"ק המייצג את התקן התעסוקתי לסף החשיפה המותרת לאדם (Threshold Limited Value-TLV)². מכאן משתמע שלא קיים נזק בריאותי לעובדים בסביבת תחנות הכוח, שעבודתם קשורה ישירות לשינוע וטיפול באפר פחם מרחף.

ריכוזי α -quartz בדגימות האבק המרחף מתחת ל-ESP נעו סביב 1.0 ± 0.8 אחוז, ובין 0.02-0.18 מ"ג/מ"ק עם ממוצע גיאומטרי של 0.06 מ"ג/מ"ק. גם ערכים אלו נמצאים מתחת לערך הסף ההולנדי של TLV לאבק בר-נשימה העומד על 5 מ"ג/מ"ק³.

² התקן התעסוקתי ההולנדי גבוה מהתקן ל"אבק מזיק" שנקבע בארץ לסיליקה גבישית חופשית – 0.05 מ"ג/מ"ק, ומאחר ולא ניתן לבדוד את השפעתו על הריאות והגוף מהשפעת סיליקה, מוגדר האפר המרחף בארץ כ"אבק מזיק". התקן התעסוקתי בארץ לסיליקה גבישית חופשית בר-נשימה (מתחת ל-10 מיקרון) כ"אבק מטריד" הוא 0.1 מ"ג/מ"ק אוויר.

³ לעומת מקבילו הישראלי 0.1 מ"ג/מ"ק ו-3 מ"ג/מ"ק, בתקנות "אבק מזיק" ו"אבק מטריד", בהתאמה.