



14 ספטמבר, 2014  
מנ – 38983

## הערכות לבקרת אמוניה באפר מרחף לתעשיית הבטון עם הפעלת מתקני הפחתת NOx בתחנות הכח

### מבוא

חח"י מקימה כיום בתחנת הכח אורות רבין חדרה ובעתיד גם ברוטנברג אשקלון מתקנים להפחתת תחמוצות חנקן (NOx) מגזי הפליטה בטכנולוגיית SCR - Selective Catalytic Reduction. הטכנולוגיה מבוססת על הזרקת אמוניה, NH<sub>3</sub>, לזרם הגזים ביציאה מהדוודים, הגורמת בעזרת קטליזטורים מתאימים לריאקציה מחזרת של תחמוצות החנקן הנוצרות בשריפת הפחם לחנקן חופשי הנפלט דרך הארובות לאוויר. בתפעול שגרתי מוזרקת האמוניה לגזים ביתר, כדי להבטיח עמידה במגבלת ריכוז תחמוצות החנקן בגזי הפליטה על פי דרישת הגנת הסביבה. האמוניה העודפת שאינה משתתפת בתהליך החיזור (הידועה בשם ammonia slip) מגיבה עם הגופרית שבמערכת ליצירת מלח אמוניום סולפט המתעבה ברובו על חלקיקי אפר הפחם בשעת הקירור.

בסביבה האלקלית הקיימת בבטון מגיב האמוניום סולפט שעל פני גרגירי אפר הפחם ומשתחרר גז אמוניה NH<sub>3</sub> המתאפיין בריח לא נעים העלול לגרום לאי נוחות לעובדים ואף ולחרוג מסף גהותי תעסוקתי (בעיקר ביציקה בחללים סגורים).

תהליכים אלה מעוררים שתי סוגיות שיש להן משמעות לגבי שימוש באפר פחם שעבר תהליך כזה בבטון:

- האם לנוכחות האמוניום סולפט יש השפעה על תכונות הבטון, בעיקר חוזק והתקשרות?
- האם ובאיזו מידה משפיע גז האמוניה שנפלט מתערובת הבטון על בטיחות ונוחות סביבת העבודה?

במספר עבודות ובדיקות שבוצעו בעולם לא נמצאה השפעה של האמוניום על תכונות הבטון, כפי שהדבר בא לידי ביטוי בזמני ההתקשרות ובהתפתחות החוזק. על כן מבחינה מעשית הסוגיה העיקרית שבה יש לדון בהקשר השימוש באפר עם אמוניה בבטון היא ההשפעה הסביבתית - גהותית של גז האמוניה המשתחרר בייצור הבטון.

### מעריך בקרת אמוניה

התקן הרגולטורי - גהותי בישראל לריכוז אמוניה באוויר הוא 25 ppm על בסיס נפחי או 18 מ"ג/מ"ק על בסיס משקלי (TLV - Threshold Limit Value). רמת הפעולה (Action Level), מעליה נדרש המעסיק לנקוט אמצעי הגנה על העובדים, היא מחצית ערכים אלה, כלומר 12.5 או 9 מ"ג/מ"ק באוויר. יצוין שסף הרגישות לריח נמוך בהרבה, עד כדי 3 מ"ג/מ"ק.

להבטחת התקינות הגהותית במפעלי הבטון ובאתרי הבניה נדרשת הפעלת מערך בקרה המבטיח שלא יסופק למפעלים אפר בעל ריכוז אמוניה העלול לגרום לחריגה מערכי הסף הללו. חברת החשמל מתארגנת לבקרת תפקוד המתקנים באמצעות מדידת ריכוזי תחמוצות חנקן בגזי הפליטה. לא מצאנו בספרות המקצועית קורלציה חד משמעית בין ריכוזי אמוניה בגזי הפליטה, באפר ובאוויר סביבת העבודה של הבטון. ככל הנראה הקשר בין ערכים אלה מותנה במספר פרמטרים רב, בכללם אפיון פיזיקו-כימי של האפר, אחוז הגופרית בפחם וריכוזה בגזי הפליטה, משטר תפעול הכבשן בתחנת הכח, הרכב תערובות הבטון ואפיון סביבת העבודה בייצור הבטון וביישומו ועוד.

על פי הידוע בעולם, הקפדה על ריכוז מרבי של 2 ppm אמוניה בגזי הפליטה (רמת התכן המרבית במתקני SCR בתחנות בכח בישראל) מבטיחה בתנאי תפעול שגרתיים אי חריגה מרמה של 100 ppm אמוניה באפר, המקובלת כבטוחה בהיבט הגהותי. כאשר יעילות הקטליזטורים פוחתת עם הזמן, עמידה בדרישת איכות הסביבה לריכוז NOx בארובות מחייבת הזרקה כמות גדולה יותר של אמוניה לדוודים ומאליו, בשל יעילות פחותה, נגרמת שקיעה מוגברת של אמוניום סולפט באפר. בנוהל תחזוקה שגרתי, כאשר הקטליזטורים מתוגברים או מוחלפים במחזור רב שנתי קבוע (3 – 4 שנים, לפי הניסיון בעולם), מתקבלים שינויי ריכוז אמוניה בגזי הפליטה במתאר דמוי מסור – רמה התחלתית נמוכה (ככל הנראה 0.5 ppm), עלייה מתמשכת בריכוז עם הירידה ביעילות תפקוד הקטליזטורים עד לקרבת רמת המקסימום המתוכננת (2 ppm) וירידה מיידית לרמה התחלתית חדשה, עם תגבור או החלפה כאמור.

מבירורים שערכנו בעולם, בעיקר באירופה, עולה כי מעט תחנות כח עורכות בקרה שוטפת של האמוניה באפר המשמש לבטון. בגרמניה למשל לא מבצעים בקרה שיטתית של האמוניה באפר ומסתפקים בהקפדה על תפקוד יעיל של ה-SCR (מהניסיון התפעולי הגרמני – לאחר כ-12,000 שעות עבודה עולה ריכוז האמוניה באפר ל-30 ppm בהשוואה ל-10 ppm בתחילת העבודה).



בהולנד מופעלת מערכת בקרה וולונטרית בחלק מתחנות הכח המיועדות להבטיח שריכוז האמוניה באפר המסופק לייצור בטון לא יעלה על 75 מ"ג/ק"ג (ערך מטרה תפעולי – 50 מ"ג/ק"ג).

מערך הבקרה המיועד צריך להתמקד בתכולת האמוניה באפר ביציאה מתחנת הכח, כאשר בהתבסס על תשתית נתוני הריכוזים בשרשרת הייצור – בגזי הפליטה, באפר, בפליטה מהבטון, ומקדם מתאם נגזר בין ריכוז האמוניה באפר לבין ריכוזו הצפוי באוויר לאחר יישומו בתערובת הבטון, יסייע במניעת כשלים גהותיים ואסתטיים בתעשיית הבטון.

### תוכנית הפעולה

בדיון שהתקיים בצוות המקצועי-הנדסי בקרת איכות (בנייה) בהשתתפות נציגי חברת החשמל ויצרני הבטון הוחלט על הערכות מקדימה לקראת הפעלת המתקנים בתחנות הכח בהתאם לל"ז חח"י להפעלת מתקני SCR – במאי 2015 יתחיל להתקבל אפר עם אמוניה עם כניסת מתקן SCR לפעולה ביחידה 5 בתחנת הכח אורות רבין בחדרה. בדצמבר 2015 תתווסף יחידה 6 בחדרה, ושנה לאחר מכן ברוטנברג באשקלון (ייתכן שיהיה גם אפר ללא אמוניה שיתקבל ביחידות מ"ד 1 עד 4 באורות רבין, אבל לא ידוע לכמה זמן. יח' אלה צפויות לפעול עד 2017):

1. **שלב ראשון (הערכות מקדימה)** – עד מועד תחילת הפעלת ה- SCR הראשון בחדרה (מאי 2015):

תאופיין מערכת תקינה ושיטות בדיקה שישמשו בעתיד לבקרה שוטפת של ריכוזי אמוניה באפר ולהערכת החשיפה הצפויה של עובדי תעשיית הבטון לאמוניה באוויר.

א. חברת החשמל תבחן במעבדות תחנות הכח את שיטות בדיקת אמוניה באפר המקובלות בעולם ותתרגל ניסוי בדיקה בדוגמאות אפר (בריכוזי אמוניה שונים) מייבאות מתחנות כח באירופה (הולנד, גרמניה) אשר שורפות פחמים ממקורות דומים לישראל, בהן נעשה שימוש במתקני SCR (רצוי בתחנות הכח בהן מופעל מתקן FGD להדחת תחמוצות גופרית). שיטת הבדיקה שתינקט בעתיד תיקבע בתיאום עם ועדת המומחים במכון התקנים במסגרת הרוויזיה לת.י. 1209 – אפר מרחף לבטון.

ב. יוקם מתקן למדידת פליטת אמוניה ביציקות בטון במכון לחקר הבניה ויערכו בדיקות מקדימות של ריכוז אמוניה באוויר ביציקות בטון עם אפר מיובא (כ"ל). הבדיקות יבוצעו בשיטות גהותיות תקינות בהתייעצות עם דר' אשר פרדו.

ג. במקביל יתקיים דיון עם מנהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית במשרד הכלכלה להבהרת הפעולות הנדרשות מתעשיית הבטון בנוגע לנוכחות אמוניה באוויר בסביבת העבודה במפעלי הבטון בעת עבודה עם אפר פחם.

2. **שלב שני (הרצה ראשונית)** – בתקופה שבין מאי - דצמבר 2015 בקבוצת מפעלי בטון מייצגת יבוצע ניסוי ייצור בטון עם אפר המכיל אמוניה מיחידה 5 באורות רבין:

- א. ריכוז האמוניה באפר שיישלח למפעלי הבטון ייבדק במעבדות חברת החשמל.
- ב. דגימות בטון מהמפעלים ייבדקו במערך הבדיקה בטכניון. תכן הבטונים ייקבע בהתייעצות עם הצוות המקצועי – הנדסי (בנייה).
- ג. יבוצע ניטור אמוניה גהותי במפעלי הבטון בסביבת העבודה של מפעלי מערך הייצור בפיקוח מנהל הבטיחות בעבודה.

**לוט:** [הצעת המחקר, פרופ' ארנון בנטור, המכון לחקר הבניה, הטכניון, ספטמבר 2014](#)  
[סקירת ספרות, דן שריקי, ינואר 2009](#)