



# הגדרת אבק אפר פחם בקריטריונים של גהות תעסוקתית וסביבתית

ד"ר אשר פרדו

המוסד לבטיחות ולגיהות

# פוטנציאל חשיפה תעסוקתית לאפר פחם

## מתכות כבדות

קרינה מייננת מאיזוטופים רדיואקטיביים טבעיים בפחם

פחמימנים ארומטיים פוליציקליים

כלל חלקיקים מרחפים

סליקה גבישית חופשית

## מתכות כבדות

**ריכוזן גבוה באפר מרחף יותר מאשר באפר תחתי**

**בשני המקורות מדובר בריכוזי עקבות**

**הריכוז באוויר נמוך בד"כ בשלושה סדרי גודל מרמות  
מירביות תעסוקתיות מותרות לחשיפה**

## קרינה מייננת

□ רדיונוקלידים: אורניום, תוריום, אשלגן, רדיום, פולוניום, עופרת

□ אפקט העשרה במעבר מפחם לאפר

□ תוספת של 1% - 5% מעל רמת קרינת הרקע הטבעי

□ רמות נמוכות בשלושה סדרי גודל מרמות מירביות  
תעסוקתיות מותרות לחשיפה

## פחמימנים ארומטיים פוליציקליים

אין מספיק נתונים כמותיים על פיזורם באוויר, אבל  
אומדן ריכוזיהם באוויר נמוך מריכוזם בפליטות דלק.

חשודות כמסרטנות לאדם.

דוח KEMA עבור מנהלת אפר הפחם בדק ריכוזים בצובר  
(Bulk) ומצא רמות נמוכות מהתקנים המותרים בהולנד.

## פוטנציאל חשיפה נשימתית לכלל חלקיקים מרחפים

### אפר תחתי

1.7% - 0.4% ← חלקיקים שגודלם מאפשר שקיעה  
בעומק דרכי הנשימה

### אפר מרחף

30% ← חלקיקים שגודלם מאפשר שקיעה  
בעומק דרכי הנשימה

רוב החלקיקים של אפר מרחף מסולקים ע"י שיקוע  
בטרם הגיעו לאטמוספירה.

**פחם ביטומני**

**11% אפר**

**10% - 15% אפר תחתי**

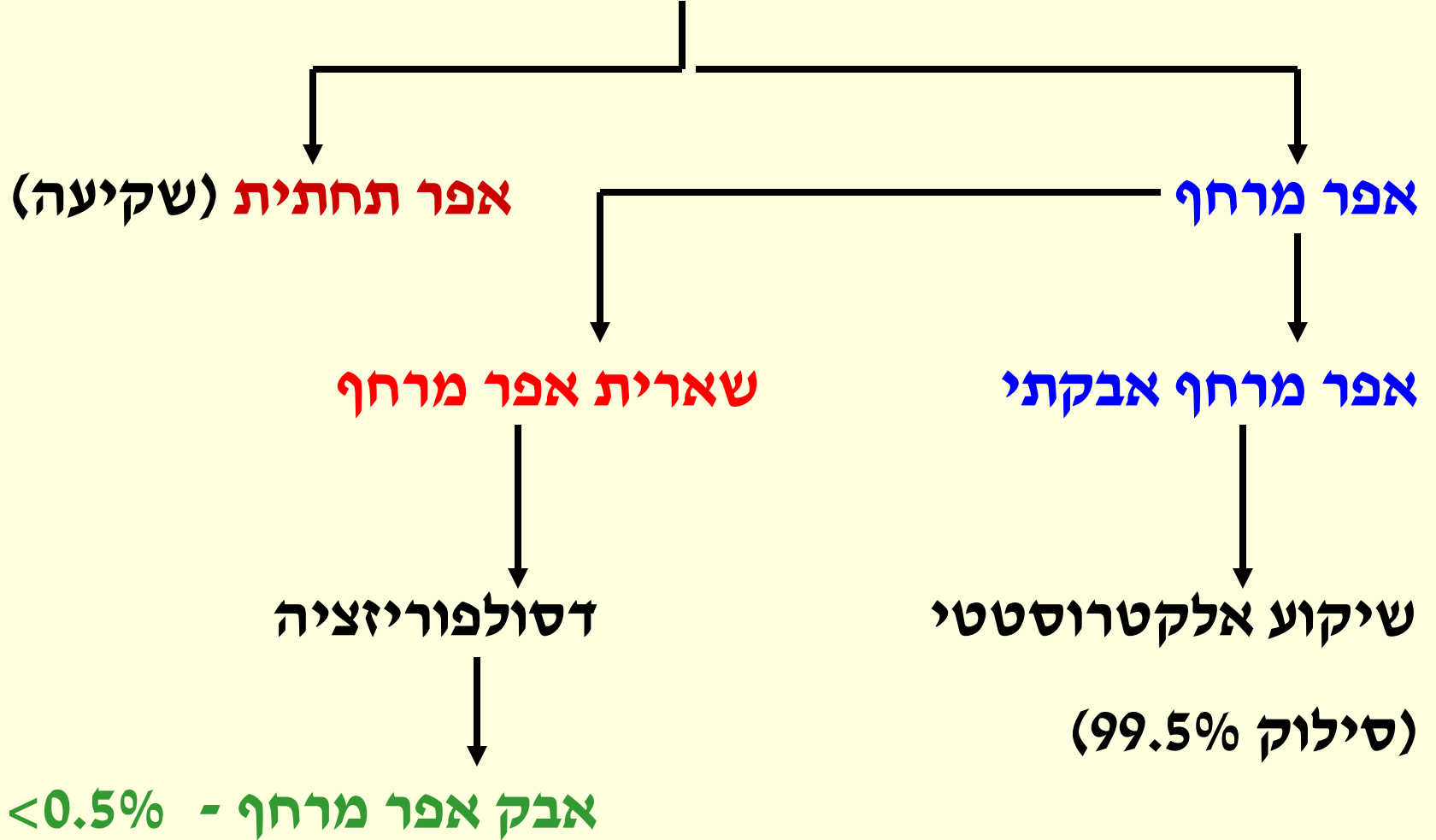
**85% - 90% אפר מרחף**

**60% - 80% זכוכית אלומינן-סיליקטית**

**מתכות קורט**

**קוורץ, מינרלים, תחמוצות**

# פחם אבקתי





## סיליקה גבישית חופשית

מוגדרת כ"אבק מזיק" בתקנות הישראליות בגלל:

יכולתה לגרום למחלת ריאה כרונית מגבילה – סיליקוזיס

הכרתה כגורם מסרטן לאדם

פחם ואפר פחם מוגדרים בגללה כ"אבק מזיק"

## הרכב אפר פחם

אפר תחתי		אפר מרחף		
גבוה	נמוך	גבוה	נמוך	מרכיב כימי
65	40	70	38	SiO <sub>2</sub> (%)
30	18	35	17	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
14	3	16	2	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
6	1	13	0.6	CaO (%)
10.6	2.1	17	1.4	תחמוצות אחרות
		15	0	Loss of Ignition (%)

ההבדלים בין class C ל- class F הם בתכולה המשותפת של הסיליקה ותחמוצות האלומיניום והברזל.

## תכולת קוורץ באפר מרחף

**תכולה :** 15% - 5%

**זמינה (אינה טבועה בפאזה הזכוכיתית):** 7.5% - 2.5%



**מקטע עדין (עד 10 מיקרון)**

**חודר לסימפונות וריאות**

5% - 1.6%



**חודר לריאות בלבד (בר נשימה)**

0.2% - 0.1%



**מקטע גס**

**אינו חודר לסימפונות וריאות**

2.5% - 0.9%

## ריכוז קוורץ במקטע עדין של אפר מרחף

ריכוז קוורץ (%)	מס' דוגמה
אבק בר שאיפה (Inhalable)	
3.3	1
3.2	2
2.3	3
4.3	4
אבק עדין בר נשימה (Respirable)	
2.5	5
2.8	6
2.7	7
2.9	8
צובר אפר	
5.0	9

## השפעות שנצפו בעובדים באפר פחם

**חשיפה לריכוזים גבוהים: גירוי ויובש באף ובגרונ**

**גירוי עיניים**

**גירוי עור ממגע באפר רטוב (חומציות)**

**קשקשת בעור מייבוש ושחיקה מכנית**

**אין ממצאים של סיליקוזיס במחקרים אפידמיולוגיים של עובדים חשופים לאפר פחם, לרבות בישראל.**

**לא הוכח סיכון להתפתחות גידולים סרטניים בעובדים באפר פחם.**

## סיווג טוקסיקולוגי

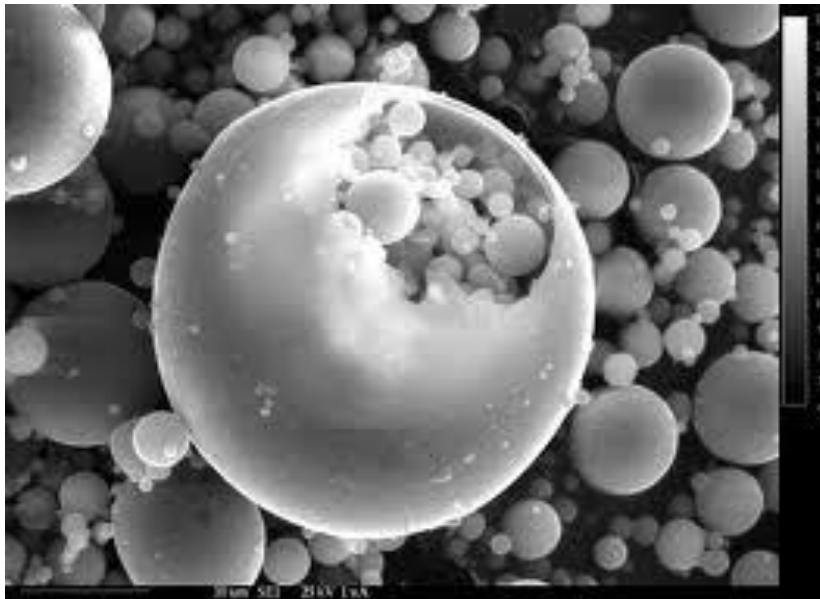
- ❖ אפר פחם לא מסווג בעולם בסיווג טוקסיקולוגי של אבק פיברוגני הגורם לפניאומוקוניוזות.
- ❖ אפר פחם אינו מוגדר ע"י המכון הלאומי לבטיחות ובריאות תעסוקתית בארה"ב (NIOSH) כאבק סיליקוטי (מכיל סיליקה הגורמת לסיליקוזיס).
- ❖ מופע הסיליקה באפר פחם נבדק במיקרוסקופיה אלקטרונית במחקר גדול שנערך בהולנד (Meij, 2003) ונתמך גם ע"י עבודה ישראלית (Natan et al., 2009) ועבודות אחרות.
- ❖ נשאלת השאלה האם עקב התכולה הכימית של אפר פחם (חומרים בעלי פוטנציאל גירוי) ניתן לעשות הכללה לגבי סיווגו כ"אבק מטריד".

## הסבר להעדר פעילות ריאתית מזיקה של סיליקה גבישית

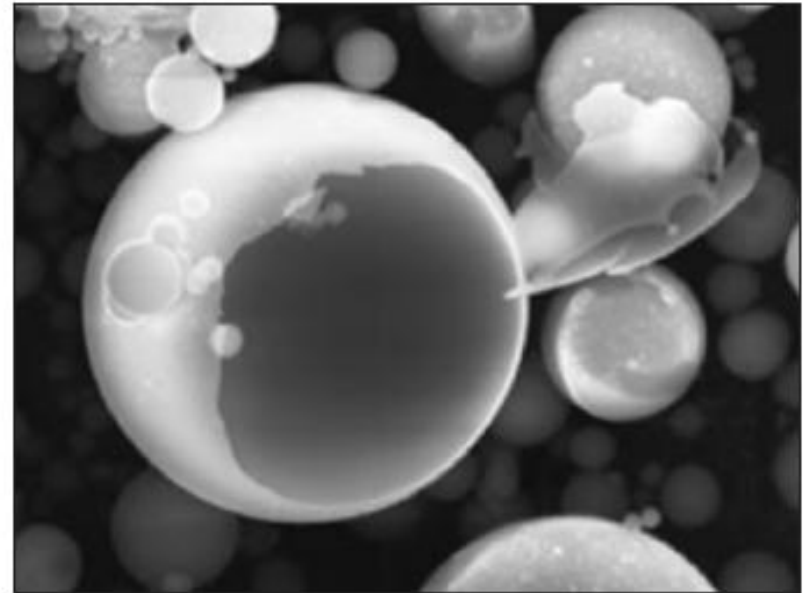
### חופשית באפר פחם

- מירב החלקיקים של קוורץ באפר מרחף טבוע בפאזה האלומינן-סיליקתית הזכוכיתית של חלקיקי אפר הפחם או מצופה בשכבה אלומינן-סיליקטית אמורפית ואינו זמין לפעילות שטח ביולוגית.
- תכולת הקוורץ בחלקיקי אפר החודרים לריאות נמוכה מתכולתו בחלקיקים גדולים.
- חלקיקי הקוורץ באפר פחם נעדרי אתרים ריאקטיביים של משטחי קוורץ טריים שגורמים לעקה חימצונית (רדיקלים חופשיים) ותהליך הצילוק (scarring) ברקמת הריאות.

## מלאים - Plerospheres



## חלולים – Senospheres



Hoffman, G.K., May 2000, Uses of fly ash from New Mexico coals: New Mexico Geology, Vol. 22, No. 2, p. 25-36.



## רמות מרביות מותרות לחשיפה תעסוקתית

תקן החשיפה למקטע בר-נשימה של סיליקה גבישית חופשית הוא התקן הרלוואנטי לאור העובדה שרק חלקיקים במקטע זה הם בעלי פוטנציאל לגרימת תחלואה הקשורה בסיליקה גבישית חופשית.

בישראל עדיין קיים תקן חשיפה גם למקטע כלל החלקיקים.

## רמות מירביות מותרות לחשיפה לעובדים בישראל

סליקה חופשית – מקטע בר נשימה: 0.1 מ"ג/מ"ק

סליקה חופשית – כלל חלקיקים: 0.3 מ"ג/מ"ק

פחם אנתרציט – מקטע בר נשימה: 0.4 מ"ג/מ"ק

פחם ביטומני - מקטע בר נשימה: 0.9 מ"ג/מ"ק

לא נקבע תקן

אפר פחם:

- עד לאחרונה היו רוב רובן של דגימות הסיליקה באוויר דגימות של כלל האבק המכיל סיליקה ולא של מקטע בר-נשימה.
- לכן אין עדיין מספיק נתונים להעריך את פוטנציאל החשיפה מסיליקה גבישית באפר פחם.
- לאחרונה הוציא מנהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית נוהל מחייב לפיו יבדק בניטור סביבתי לסיליקה רק מקטע בר-נשימה.
- שיטת המדידה אינה מפרידה בין הסיליקה הטבועה בחלקיק האלומינו-סיליקטי לבין הסיליקה הבולטת מפני השטח של החלקיק.

## התייחסות לאפר פחם במדינות אחרות

- אפר פחם מוגדר כחלקיקים בלתי ספציפיים (אבק מטריד) במדינות רבות בעולם.
- הרשות האמריקאית לבטיחות ובריאות תעסוקתית (OSHA) לא החילה על אפר פחם הגדרה של חומר מסוכן כמשמעותו בחוק.
- תחמוצות גפרית וחנקן הנפלטות בשריפת פחם ומעורבות באפר כפופות לתקנות הנוגעות לגשם חומצי בפקודת האוויר הנקי בארה"ב.

## התייחסות לאפר פחם במדינות אחרות

- בהולנד ומדינות אחרות מוגדר אפר הפחם כ"אבק מטריד".
- אין מניעה בארה"ב לערבוב אפר פחם במוצרי מלט ובטון.
- החל מ- 1993 לא נכלל אפר פחם בתקנות פסולת מסוכנת בארה"ב. חלק מאפר זה, המשמש לכיסוי קרקע ומכרות מוגדר כפסולת לא מזיקה.
- באיחוד האירופי מוגדרת פסולת אפר פחם כפסולת בלתי מזיקה.

**השוואת תכונות של אפר פחם לתכונות המגדירות חומר כ"אבק מטריד" (חלקיקים בלתי מסווגים).**

**תכונה מגדירה**

**בלתי מסיס**

**רעילות נמוכה**

**לא ציטוטוקסי**

**לא מוטגני**

**לא מסרטן**

**לא רדיואקטיבי**

**לא מגיב כימית עם הריאות**

**אפר פחם**

**בלתי מסיס**

**רעילות נמוכה**

**ציטוטוקסיות חלשה בתאים מסויימים**

**לא מוטגני**

**לא נמצאו ראיות ועדויות**

**סדר גודל של קרינת רקע**

**פעילות דומה לאבק מטריד**

**מה יהיה הסיווג הבריאותי של אפר הפחם בעתיד?**

- ❖ **הוועדה המקצועית לאסבסט ואבק מזיק המליצה בפני המשרד להגנת הסביבה להוציא את האפר התחתי מסיווג של "אבק מזיק".**
- ❖ **מנהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית במשרד הכלכלה יוציא את אפר הפחם מסיווג כ"אבק מזיק" בתקנה החדשה המתגבשת בזמן זה.**

## סוגיות שהדיון בהם טרם הסתיים

1. מה צריכה להיות הרמה המרבית המותרת לחשיפה לאפר פחם כדי להגן על עובדים וציבור?

2. קביעת יעילות ההגנה של אמצעי בקרה הנדסית ואישית הננקטים בארץ.

נסיון של מדינות אחרות בסוגיות עשוי לסייע בקבלת החלטות.



# תודה על ההקשבה

