

## Sotares exponering för sot (black carbon)



**Therese Klang, Yrkeshygieniker**  
**Håkan Tinnerberg, Yrkeshygieniker**

**Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Universitetssjukhuset**

**Göteborg, juli 2020**

**ISBN 978-91-7876-166-1**



## **Förord**

Tack till den sotarkammare och sotare som medverkade i projektet och även har bidragit med viktig kunskap om sotarbetet och verktyg som används. Tack också till Arbets- och miljömedicins laboratorium vid Lunds universitet för gott samarbete med analyser av urinprover.

## Innehåll

<b>Förord</b> .....	<b>3</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Bakgrund och syfte</b> .....	<b>7</b>
1.1. Sotarnas arbete och sotningstekniker .....	7
1.2. Sotares exponering .....	8
<b>2. Material och metoder</b> .....	<b>8</b>
2.1. Luftmätning av BC.....	8
2.2. Exponeringsbiomarkörer, PAH-metaboliter i urin.....	10
2.3. Dagbok .....	10
2.4. Skyddsutrustning.....	10
2.5. Analys av data .....	10
<b>3. Resultat</b> .....	<b>10</b>
3.1. Luftmätning av BC.....	11
3.1.1. Skillnad mellan de två sotningsteknikerna och mellan olika bränslen/panntyper.....	12
3.1.2. Halt BC för olika mättdagar .....	13
3.2. Exponeringsbiomarkörer, PAH-metaboliter i urin.....	15
3.3. Jämförelse mellan BC och PAH-metaboliter .....	16
<b>4. Diskussion</b> .....	<b>18</b>
4.1. Luftmätning av BC.....	19
4.1.1. Skillnad mellan de två sotningsteknikerna .....	19
4.1.2. Skillnad mellan bränslen/panntyper .....	19
4.1.3. Jämförelse med allmänbefolkningen.....	19
4.2. Exponeringsbiomarkörer, PAH-metaboliter i urin.....	20
4.3. Jämförelse mellan BC och PAH-metaboliter .....	20
4.4. Hudexponering.....	20

<b>5. Slutsats och framtid.....</b>	<b>21</b>
<b>6. Referenser.....</b>	<b>22</b>
<b>Bilaga 1.....</b>	<b>24</b>

## Sammanfattning

Ett pilotprojekt har genomförts där en ny metod använts för att undersöka en sotares exponering för sot. Som markör för sot mättes black carbon (BC) i luft med det direktvisande instrumentet microAeth® AE51. Mätningarna gjordes personburet i andningszonen. För att jämföra med en tidigare använd metod mättes också exponeringsbiomarkörer i form av PAH-metaboliter i urin. Urinprov togs morgon och eftermiddag och analyserades för fem PAH-metaboliter. Sotaren administrerade själv mätningarna samt fyllde i en dagbok med information om arbetsmomenten. Mätningar är gjorda under 14 arbetsdagar fördelat på fyra veckor under perioden december 2018 till mars 2019. Under mätperioden använde sotaren två olika sotningstekniker, traditionell teknik och en ny, så kallad stavteknik.

Syftet med projektet var att undersöka om metoden var genomförbar och lämplig för att mäta sotares exponering för sot. Vidare, att samtidigt undersöka om den nya sotningstekniken, stavteknik, genererade mindre exponering för sot än traditionell sotning.

Den använda metoden för att mäta sot fungerade väl och sotaren kunde själv administrera mätning av BC. BC-halt och toppar med kortvarigt högre halt kunde detekteras samtliga mätdagar. Halten BC kunde relateras till information i dagboken som var utförligt ifylld och viss överensstämmelse fanns mellan halt BC och PAH-metaboliter i urin. Under mätperioden utfördes 154 sotningsuppdrag, varav 119 med traditionell teknik och 35 med stavteknik. Medelhalten BC under sotning för alla mätdagar var  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Halten BC var lägre vid sotning med stavteknik,  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , jämfört med traditionell sotning,  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Utifrån projektet dras slutsatsen att metoden fungerar och är lämplig för att mäta sotares exponering för sot. Vidare indikerar resultatet att stavteknik genererar mindre exponering för sot än traditionell teknik samt att korrelation finns mellan BC och PAH-metaboliter i urin. Inga säkra slutsatser kan dras utifrån dessa indikationer med hänsyn till detta begränsade material. En uppföljningsstudie kommer att utföras där metoden används hos en utökad grupp sotare.

## 1. Bakgrund och syfte

Uppskattningsvis arbetar idag ca 1500 personer på sotarföretag i Sverige (1). Skorstensfejare som yrkesgrupp, ofta kallade sotare, har en ökad risk för cancer och hjärtkärlsjukdom (2, 3). Redan 1775 fann sir Percivall Pott en ökad förekomst av hudcancer på pungen (scrotalcancer) bland sotare och man kopplade detta till exponeringen för sot (4). Sot är klassificerat som cancerogent för människor av det internationella cancerforskningsinstitutet (IARC) (5) och består bland annat av polyaromatiska kolväten (PAH) (6). PAH är ett samlingsnamn för en grupp substanser bestående av minst två sammansatta aromatiska ringar (7). Vid ofullständig förbränning av organiskt material bildas bland annat PAH. Sammansättningen av PAH kan variera mycket och beror på förhållandena vid förbränning och själva bränslet. Det finns olika typer av bränslen och vanliga bränslen för energi och uppvärmning i Sverige är ved, träpellets, kol, olja och naturgas (7). Sotare exponeras för en blandning av flera olika hälsoskadliga ämnen däribland PAH och damm vilka har kopplats till den ohälsa man sett hos sotare (2, 7, 8).

### 1.1. Sotarnas arbete och sotningstekniker

I sotningsarbetet skiljer man på svart- och vitsotning. Svartsotning innebär att det svarta sotet rensas bort från olika typer av pannor och skorstenar. Vitsotning innebär t.ex. brandskyddskontroller samt rengöring och kontroll av ventilationssystem. (7) I detta projekt berörs endast svartsotning.

Vid traditionell sotning (figur 1 a) stängs först luckan till pannan inne i byggnaden. Uppifrån taket släpper sotaren sedan ned en viska (borste med stålspröt) på en vajer i skorstenen. Viskan lösgör sot i skorstenen som faller ned i pannan. Sotaren öppnar därefter luckan till pannan och dammsuger upp det lösa sotet med en så kallad sotsugare (en typ av dammsugare).

Vid stavteknik, en ny teknik för sotning (figur 1 b), täcks luckan till pannan för med plast. Sotsugare och viska på teleskopsarm monteras till en koppling i plasten. Sotsugaren skapar ett undertryck i skorstenen och pannan och när viskan förs upp i skorstenen lösgörs sot som direkt samlas in av sotsugaren. Vid stavteknik undviks därmed momentet då sotaren öppnar luckan för att dammsuga upp det lösa sotet som fallit ned vid traditionell sotning. Att undvika detta moment förväntas minska sotarens exponering för sot.



Figur 1 a. Traditionell sotning



Figur 1 b. Stavstotning

## 1.2. Sotares exponering

Det är välkänt att sotare exponeras för sot (7). Under de senaste 35 åren har sotares arbete och användning av skyddsutrustning förbättrats (7) men fler insatser behövs för att minska sotares hälsoskadliga exponering. För att kunna göra detta behövs mer kunskap om vilka arbetsmoment som ger mest exponering och alternativa sotningsmetoder som kan minska exponeringen men man måste också hitta lämpliga mätmetoder för att kunna övervaka exponeringen.

Det finns idag ingen självklar metod för att mäta exponering för sot, vilken kan ske via inandning, hudkontakt och oralt intag (7). En metod som tidigare använts är mätning av exponeringsbiomarkörer genom biologiskt provtagning. Exempelvis kan halten av PAH-metaboliter mätas i urin. Längre har 1-Hydroxypyren (1-OH Pyr) i urin använts som en markör för exponering för PAH (9, 10). 1-OH Pyr är en metabolit till Pyren som är en PAH med fyra ringar. 1-OH Pyr och andra metaboliter har tidigare undersökts hos sotare. Halveringstiden för 1-OH Pyr i urin är mellan 4-35 timmar. (11) Senare studier har analyserat ett bredare urval av PAH-metaboliter i urin i syfte att bättre kunna bedöma exponeringen (10, 12).

Man kan också mäta exponering för sot genom luftprovtagning av olika ämnen. I en studie från 1989 mätte man halten av 20 olika PAH i luft hos sotare (13). I en annan studie beskriver man att mätningar av inhalerbart damm gjorts i luften hos sotare (2).

I detta projekt har en metod som inte tidigare använts för sotare använts för att undersöka exponering för sot. Metoden innebär personburen luftprovtagning av black carbon (BC). Kolhaltiga ämnen, däribland BC, är en huvudkomponent i sot (14) varför BC kan ses som en markör för sotet. Syftet med projektet var att undersöka om metoden var genomförbar och lämplig för att mäta sotares exponering för sot. För att jämföra resultaten med en tidigare använd metod mättes även exponeringsbiomarkörer i form av PAH-metaboliter i urin. Om metoden var genomförbar ville vi samtidigt undersöka om den nya sotningstekniken, stavteknik, genererade mindre exponering för sot.

## 2. Material och metoder

Vi har mätt BC och exponeringsbiomarkörer hos en sotare som lämnat skriftligt samtycke till deltagande i studien.

Vi planerade att mäta BC och exponeringsbiomarkörer under 16 arbetsdagar (måndag-torsdag) under fyra veckor. BC-mätningar kunde genomföras under 14 dagar och urinprover togs 27 gånger mot förväntat 32. Mätningarna är gjorda inom perioden december 2018 till mars 2019. Under de två första mätveckorna utfördes samtliga sotningsuppdrag med traditionell teknik. Under de två sista mätveckorna användes stavteknik i de fall det var möjligt och annars traditionell teknik. Samtliga mätningar är gjorda vid svartsothning.

### 2.1. Luftmätning av BC

BC mättes med instrumentet microAeth® AE51 (figur 2 a-b). Instrumentet använder en optisk metod och mäter kontinuerligt halten av deponerad BC-aerosol som förändring i absorption av transmitterat ljus vid 880 nm. Instrumentets mätområde är 0-1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Provtagning görs på ett teflonbelagt glasfiberfilter och instrumentet registrerar när filtret blir mättat och därmed bör bytas. Vid mättat filter fortsätter instrumentet att mäta men med större osäkerhet.

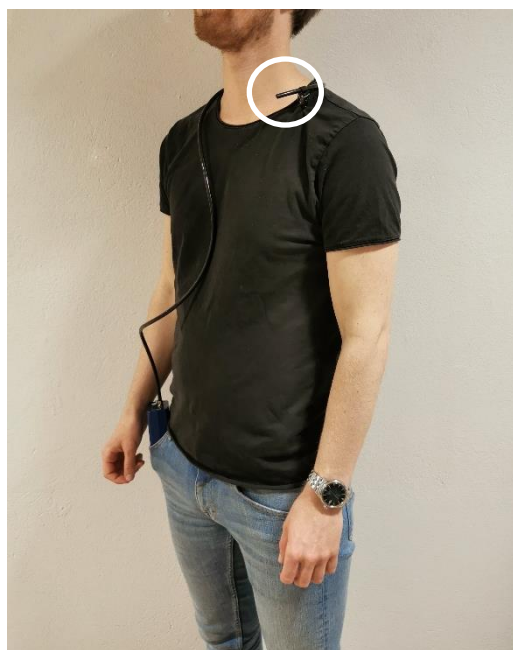
Instrumentet har vissa begränsningar. Vid förändringar i luftfuktighet kan korta tidsperioder med negativa resultat genereras. Förändring i luftfuktighet sker bland annat när man går mellan inomhus och utomhus vilket sker minst en gång per sotningsuppdrag, oftast fler.



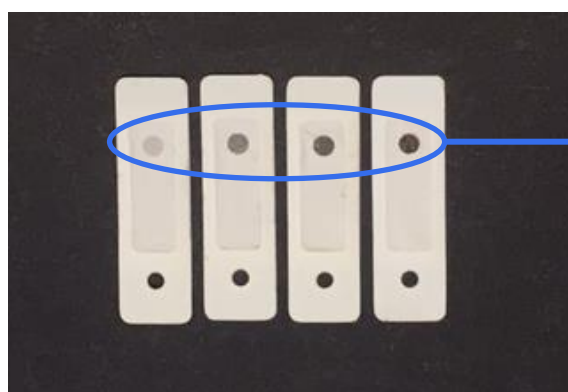
Sotaren fick instruktioner om hur mätningen skulle genomföras och utförde sedan själv mätningen. Mätning skedde personburet i andningszonen under minst 7 timmar per dag utan avbrott vid raster. Flödes hastigheten var 50 mL/min och data loggades som medelvärde varje minut. Filtret byttes av sotaren efter varje mätdag. Exempel på hur använda filter kan se ut visas i figur 3.



**Figur 2 a.** Mätinstrumentet microAeth® AE51 som använts i projektet.



**Figur 2 b.** Mätning gjordes i andningszonen med slangens mynning placerad på sotarens krage som på bilden. Instrumentet placerat i innerfickan på sotarens jacka.



Instrumentets  
mätpunkter

**Figur 3.** Exempel på hur använda filter kan se ut. De flesta filter från detta projekt liknande de två till höger i bilden, med mest svärta.

## 2.2. Exponeringsbiomarkörer, PAH-metaboliter i urin

Sotaren tog själv två urinprov per mättag, ett innan påbörjat arbete (morgonprov) och ett som inkluderade samlad urin från de sista fyra timmarna av arbetsdagen (eftermiddagsprov). Urinproverna förvarades kylt och pipetterades till provrör för att sedan frysas tills alla prov var insamlade. Proven analyserades med vätskekromatografi kopplat till masspektrometri (LC-MS/MS) av Arbets- och miljömedicins laboratorium vid Lunds universitet. De fem PAH-metaboliter som analyserades var 1-hydroxypyren (1-OH Pyr), summan av 2- och 3-hydroxyfluoren (2,3-OH Flu), summan av 2- och 3-hydroxyfenantren (2,3-OH Phe), 1-hydroxyfenantren (1-OH Phe) och 4-hydroxyfenantren (4-OH Phe).

## 2.3. Dagbok

Sotaren fyllde i en dagbok under mätningarna (bilaga 1). Dagboken omfattade information om varje sotningsuppdrag, t.ex. tidpunkt då sotning påbörjades och avslutades, vilken sotningsmetod som användes samt vilket bränsle som förbränts i pannan.

## 2.4. Skyddsutrustning

Sotaren använde långärmad tröja och långa byxor, handskar och sotsugare under alla uppdrag. Andningsskydd användes endast vid ett tillfälle, då ett dammsugarfilter blåstes rent med tryckluft.

## 2.5. Analys av data

Arbetstid inkluderar i denna rapport den tid som instrumentet varit igång och BC mätts. Uppdragstid är den tid som sotaren angivit att olika sotningsuppdrag pågått och inkluderar inte t.ex. transport mellan olika uppdrag och raster. BC-halt för olika sotningsuppdrag har kunnat urskiljas med hjälp av klockslag i resultatfilen från microaethelometern tillsammans med angivna tider i dagboken.

Endast BC-halter inom instrumentets mätområde (0-1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) är inkluderade. De kortvariga tidsperioder då BC-halten låg utanför instrumentets mätområde har tagits bort. Sammanlagt fanns 786 negativa mätvärden ( $<0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) av totalt 7075 mätvärden under hela mätperioden. Av de negativa värdena detekterades 258 under uppdragstid. Tre mätvärden låg över instrumentets mätområde och dessa inträffade då sotaren blåste av dammsugarfiltret med tryckluft.

BC-halter uppmätta då sotaren använt andningsskydd är inte inkluderade då mätning skedde utanför andningsskyddet och halten därför inte blir representativt för faktisk exponering.

BC-halter som uppmätts då filtret varit mättat är inkluderade. Filtret blev mättat vid ett tillfälle som varade i 115 min.

Samtliga urinprov analyserades som dubbelprov och vid analys av data har medelvärde av dubbelproven använts.

Beräkningar och analys av data är gjorda i Excel.

## 3. Resultat

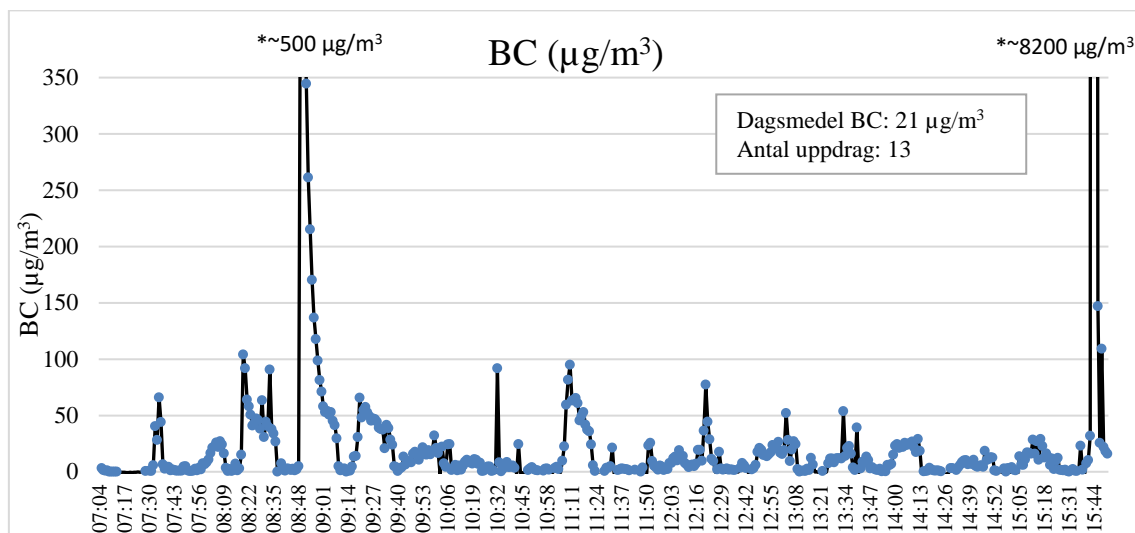
Personburna mätningar av BC som administrerades av sotaren själv genomfördes under 14 mättagar. Under dessa dagar utfördes alla sotningsuppdrag utom ett i bostäder. Ett sotningsuppdrag utfördes i en industrilokal.

Urinprov togs vid 27 tillfällena och även dessa administrerades av sotaren själv.

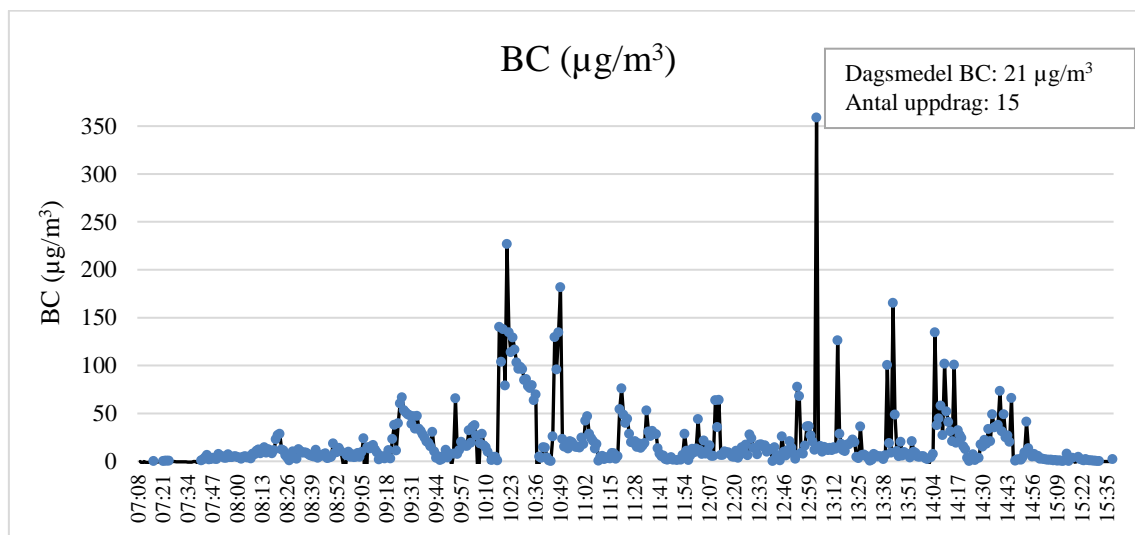
### 3.1. Luftmätning av BC

Toppar med exponering för BC detekterades under alla mätdagar. I figur 4 till 7 nedan visas exempel på hur BC-exponeringen varierade under några av mätdagarna de olika veckorna.

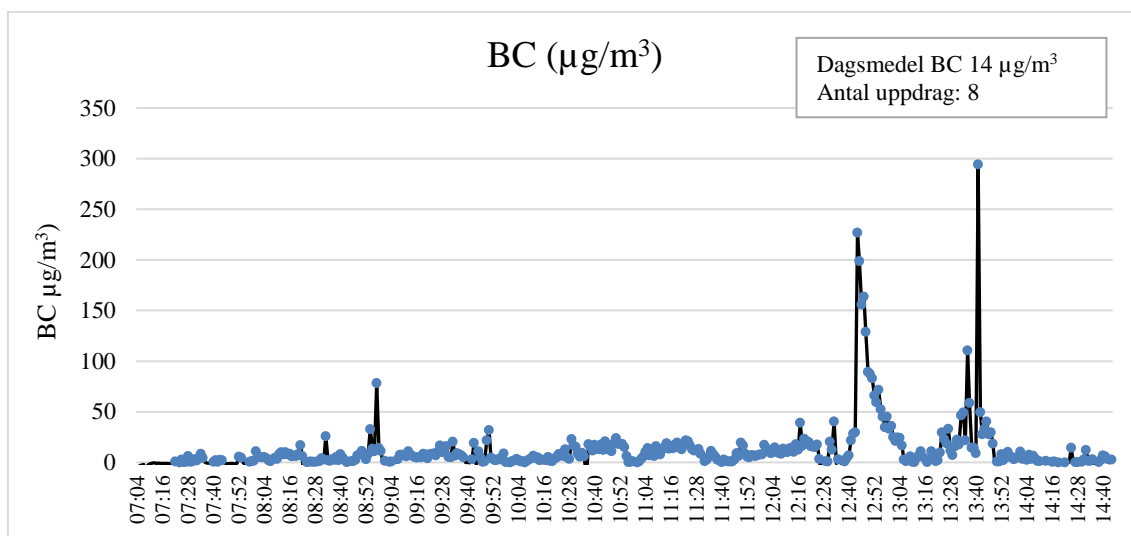
Rengöring av dammsugarfilter som beskrivits tidigare utfördes i slutet av första mätdagen. Arbetsmomentet pågick under ett par minuter och genererade en hög exponeringstopp där högsta halten var över 8000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , vilket är utanför instrumentets mätområde (se figur 4).



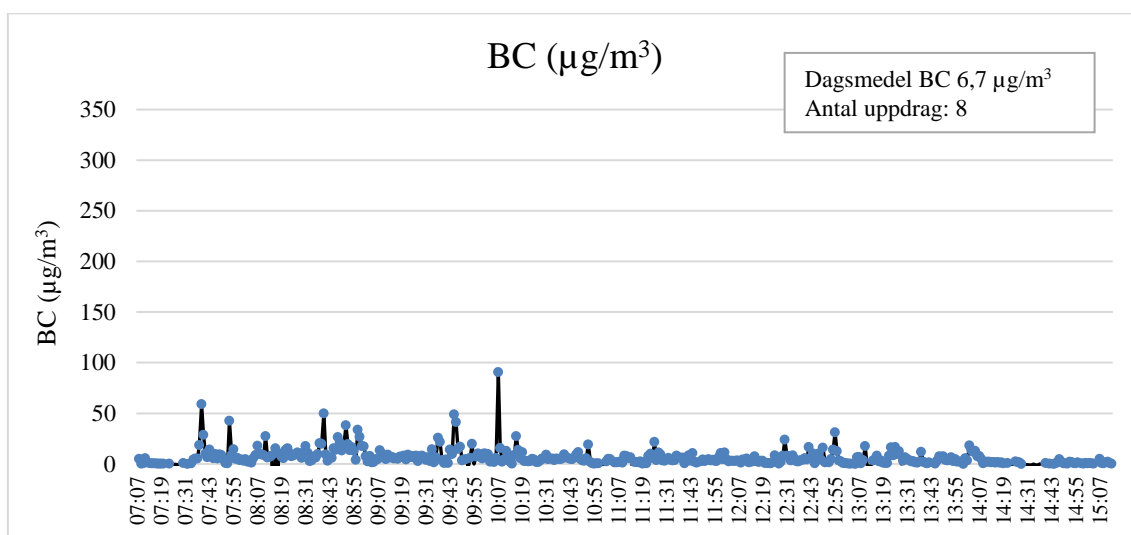
**Figur 4.** Figuren visar BC-halten under första mätdagen. I slutet av dagen rengjorde sotaren ett dammsugarfilter med tryckluft vilket genererade en hög topp av BC. Halterna som noterats med \* ligger utanför figuren och beskriver toppens högsta värde. Dagsmedelhalten BC denna dag var 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figur 5.** Figuren visar BC-halten under mätdag sju i andra mätveckan. Dagsmedelhalten BC denna dag var 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figur 6.** Figuren visar BC-halten under mättag nio i tredje mätveckan. Dagsmedelhalten BC denna dag var  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figur 7.** Figuren visar BC-halten under mättag 13 i fjärde mätveckan. Dagsmedelhalten BC denna dag var  $6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3.1.1. Skillnad mellan de två sotningsteknikerna och mellan olika bränslen/panntyper

Utifrån information i dagboken och resultat från mätningar av BC sammanställdes antal sotningsuppdrag, teknik och medelhalt BC. Under de 14 mättagarna utfördes totalt 161 sotningsuppdrag. Av dessa utfördes 155 i byggnader med en panna i varje (omnämns framöver enkelpannor) och sex uppdrag utfördes i byggnader med två pannor i samma byggnad där samma eller olika bränslen förbränts (omnämns framöver dubbelpannor). En sotning gjordes i en enkelpanna där flis förbränts.

I tabell 1 nedan visas medelhalten BC för de två sotningsteknikerna och för olika bränslen/panntyper. I tabellen visas endast sotningsuppdrag som utförts i enkelpannor och flispannan är inte inkluderad, totalt 154 uppdrag.

Av de 154 sotningsuppdragen utfördes 119 med traditionell teknik och 35 med stavteknik. Medeltiden för att utföra ett sotningsuppdrag med traditionell teknik var 25 min per uppdrag och för stavteknik 38 min per uppdrag. Medelhalten BC under uppdragstid för alla 154 sotningsuppdragen var  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sotning med traditionell teknik gav  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  och stavteknik  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Flest sotningar utfördes i pannor där ved förbränts (96 av 154) och endast två sotningar utfördes i pannor där olja förbränts. Under två sotningsuppdrag i vedkaminer/mysbrador (totalt 115 min) var filtret på microaethelometern mättat. Detta skedde under de två sista sotningsuppdragen under mättag fem.

**Tabell 1.** Antal sotningsuppdrag (n) och vilken teknik som använts (traditionell- eller stavteknik). Halten BC anges som medelvärde och endast enkelpannor och de fem vanligaste bränslena/panntyperna är inkluderade.

	Antal uppdrag n (traditionell- /stavteknik)	Uppdrags- tid min	BC traditionell teknik $\mu\text{g}/\text{m}^3$	BC stavteknik $\mu\text{g}/\text{m}^3$	BC totalt $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Olja</b>	2 (2/0)	44	7,1	-	7,1
<b>Ved</b>	96 (72/24)	2789	29	16	24
<b>Pellets</b>	28 (24/4)	705	21	9,8	19
<b>Vedkamin/ mysbrasa</b>	22 (15/7)	674	8,9	5,4	7,8
<b>Spannmål</b>	6 (6/0)	156	12	-	12
<b>Totalt</b>	154 (119/35)	4368	23	14	20

### 3.1.2. Halt BC för olika mättdagar

För att kunna jämföra uppmätt halt BC med uppmätt halt PAH-metabolit sammanställdes även mätningar av BC uppdelat per dag där samtliga sotningsuppdrag inkluderades (dvs även dubbelpannor och flispannan, till skillnad från i tabell 1). Resultatet visas i tabell 2 nedan.

Medelhalten BC för sammanlagd arbetstid för alla mättdagar var  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  och under sammanlagd uppdragstid  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Medelhalten BC utanför uppdragstid var  $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Medelhalten BC per dag varierade mellan  $4,7\text{-}42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  för uppdragstid och  $5,4\text{-}33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  för total arbetstid. Antalet sotningsuppdrag var fler per dag under första och andra veckan (13-16 st) jämfört med de två senare veckorna (7-11 st).

Klang, T och Tinnerberg, H. Sotares exponering för sot (black carbon)

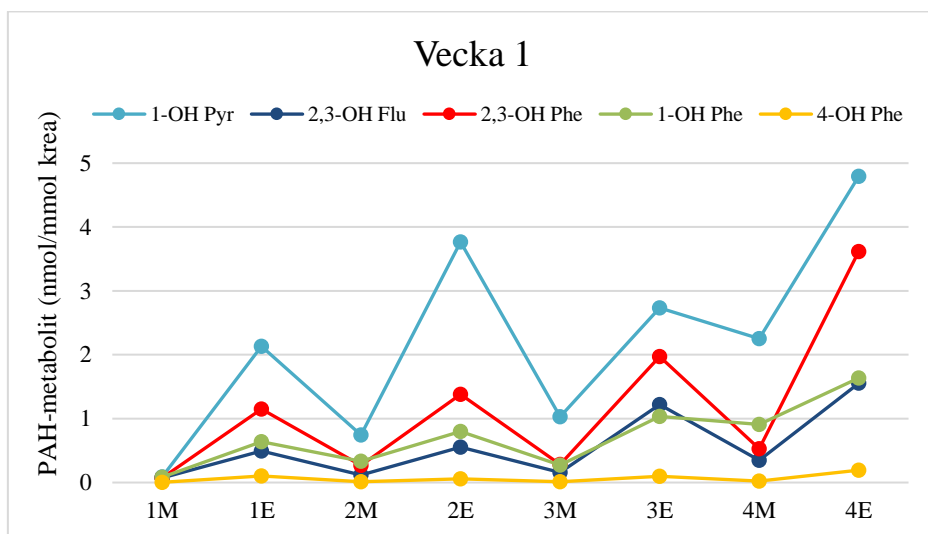
**Tabell 2.** Uppdrag som utförts under de 14 mätdagarna uppdelat på sotningsteknik och bränsle/panntyp. Halten BC anges som medelvärde för arbetstiden per dag (BC arbetstid) och som medelvärde under uppdragstid (BC uppdragstid). Samtliga 161 sotningsuppdrag har inkluderats.

Mätdag	Vecka 1				Vecka 2			Vecka 3				Vecka 4			Totalt
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
<b>Antal uppdrag</b> (traditionell-/stavteknik)	13 (13/0)	13 (13/0)	16 (16/0)	15 (15/0)	15 (15/0)	15 (15/0)	15 (15/0)	7 (0/7)	8 (3/5)	8* (5/4)*	9 (3/6)	11 (3/8)	8 (3/5)	8 (6/2)	161* (125/37)*
<b>Enkelpannor</b>	13	12	16	15	14	14	15	7	7	7	9	11	7	8	155
Olja	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Ved	7	5	6	11	12	8	15	7	5	4	6	10	0	0	96
Pellets	5	5	6	3	0	2	0	0	2	1	3	1	0	0	28
Vedkamin/mysbrasa	0	0	2	0	2	1	0	0	0	2	0	0	7	8	22
Spannmål	0	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Flis	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Dubbelpannor</b>	0	1 (ved, pellet)	0	0	1 (pellets, vedkamin)	1 (ved, vedkamin)	0	0	1 (ved, vedkamin)	1 (ved, vedkamin)	0	0	1 (ved, vedkamin)	0	6
<b>Arbetstid (min)</b>	516	426	538	517	534	479	511	507	461	531	536	531	487	501	7075
<b>Uppdragstid (min)</b>	333	327	360	397	391	335	355	303	315	284	353	437	252	219	4661
<b>BC arbetstid (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	21	20	15	19	33	16	21	15	14	9,9	8,0	13	6,7	5,4	16
<b>BC uppdragstid (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	26	24	18	21	42	20	27	20	17	13	10	15	8,5	4,7	20

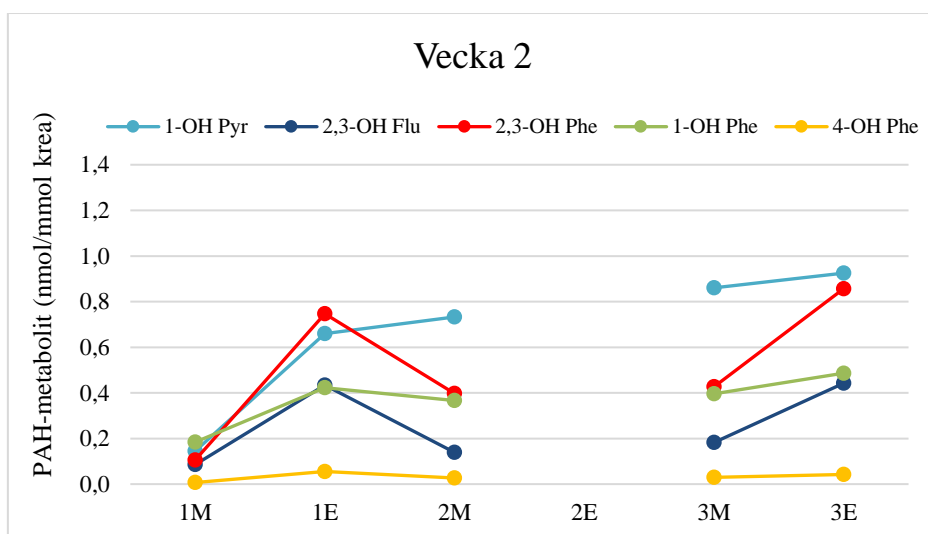
\* Under mätdag 10 utfördes ett uppdrag inkluderade en dubbelpanna som sotades med olika tekniker, därav totalt 8 uppdrag men sammanlagt 9 sotningar med antingen traditionell- (5 st) eller stavteknik (4 st). Av samma anledning påverkas det totala antalet uppdrag under hela mätperioden (totalt 161 uppdrag men sammanlagt 162 sotningar med antingen traditionell- eller stavteknik).

### 3.2. Exponeringsbiomarkörer, PAH-metaboliter i urin

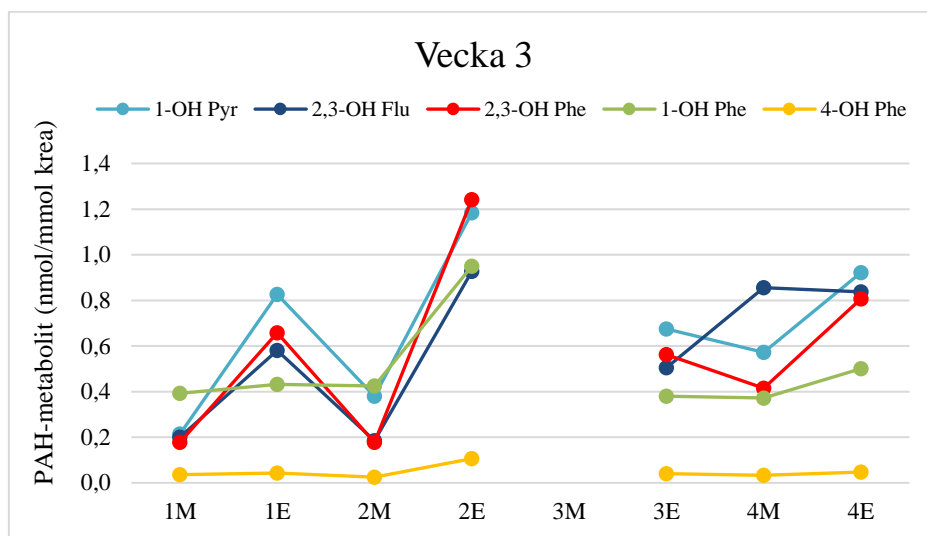
Fem PAH-metaboliter analyserades i urinproven och resultat redovisas som halt metabolit per andel kreatinin. I figur 8 till 11 visas hur halten av de fem metaboliterna varierade under mätveckorna. I figurerna har varje urinprov märkts med provdag den veckan (1-4) samt M för morgonprov och E för eftermiddagsprov. Vissa dagar saknas morgon- eller eftermiddagsprov vilket ses som ett avbrott i kurvan. Alla dagar utom mättag elva var halten av de olika PAH-metaboliterna högre i eftermiddagsprovet jämfört med morgonprovet. Mättag elva var halten 2,3-OH Flu liknande i morgon- och eftermiddagskvällsprovet (0,87 respektive 0,84 nmol/mmol kreatinin), (4M och 4E i figur 10). Vecka ett var halten 1-OH Pyr högre i framförallt eftermiddagsproven jämfört med de andra veckorna (notera skillnaden i skala på den vertikala axeln i figur 8 jämfört med figur 9 till 11).



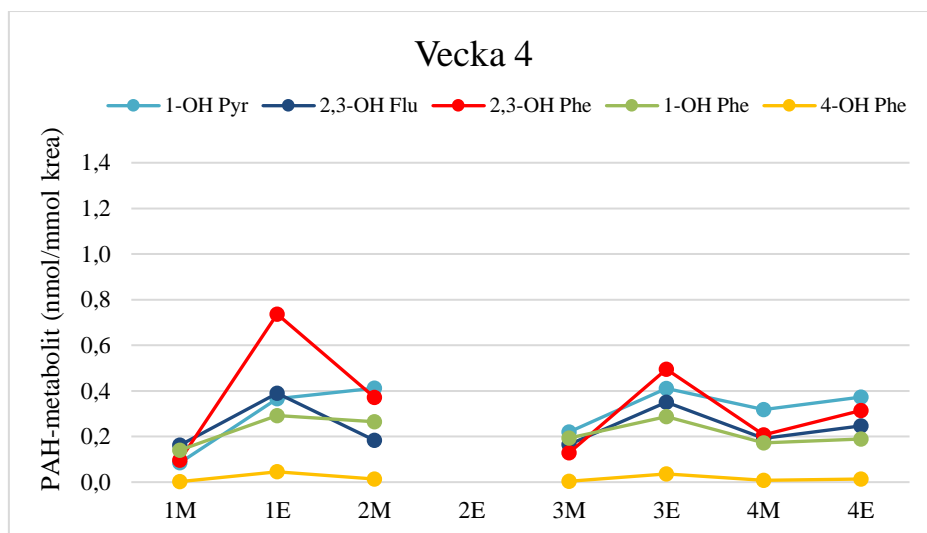
**Figur 8.** Halt av de fem PAH-metaboliterna i morgon- (M) respektive eftermiddagsprov (E) under första mätveckan.



**Figur 9.** Halt av de fem PAH-metaboliterna i morgon- (M) respektive eftermiddagsprov (E) under andra mätveckan.



**Figur 10.** Halt av de fem PAH-metaboliterna i morgon- (M) respektive eftermiddagsprov (E) under tredje mätveckan.

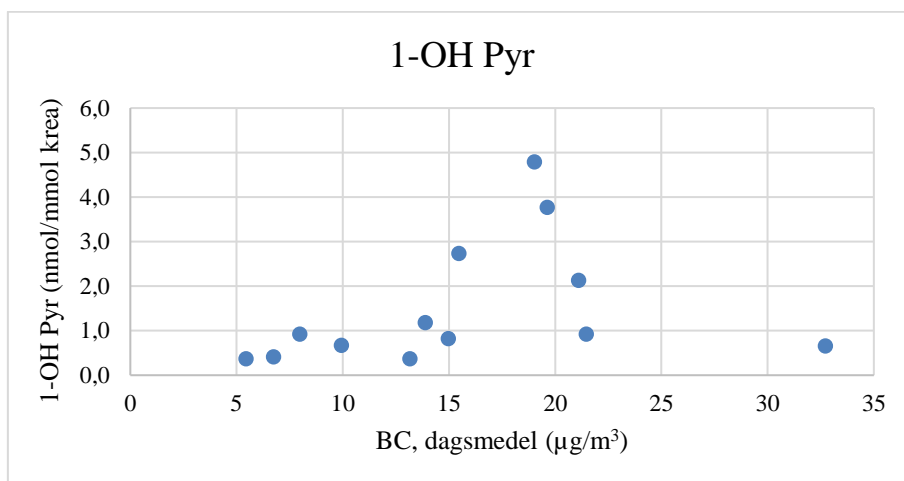


**Figur 11.** Halt av de fem PAH-metaboliterna i morgon- (M) respektive eftermiddagsprov (E) under fjärde mätveckan. Dag två denna vecka arbetade inte sotaren men ett urinprov togs på morgonen (2M). Inga andra resultat finns från denna dag som inte omfattas av de 14 mätdagarna.

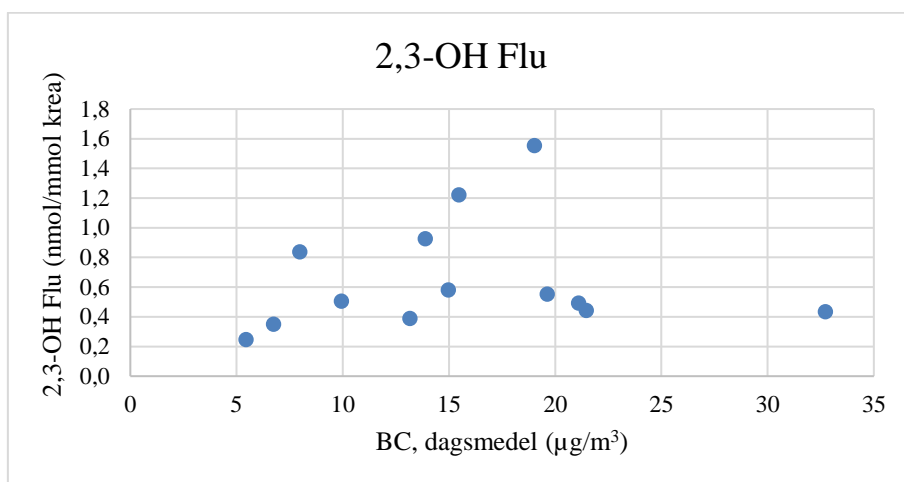
### 3.3. Jämförelse mellan BC och PAH-metaboliter

I figur 12 till 16 anges halten av en viss PAH-metabolit i eftermiddagsprov som funktion av dagsmedelvärdet för BC. Mätdag sex saknas eftermiddagsurinprov vilket ger sammanlagt 13 datapunkter i varje figur. (Dagsmedelvärde för BC redovisas i tabell 2 ovan). Ett visst samband kan noteras mellan de olika metaboliterna och halten BC.

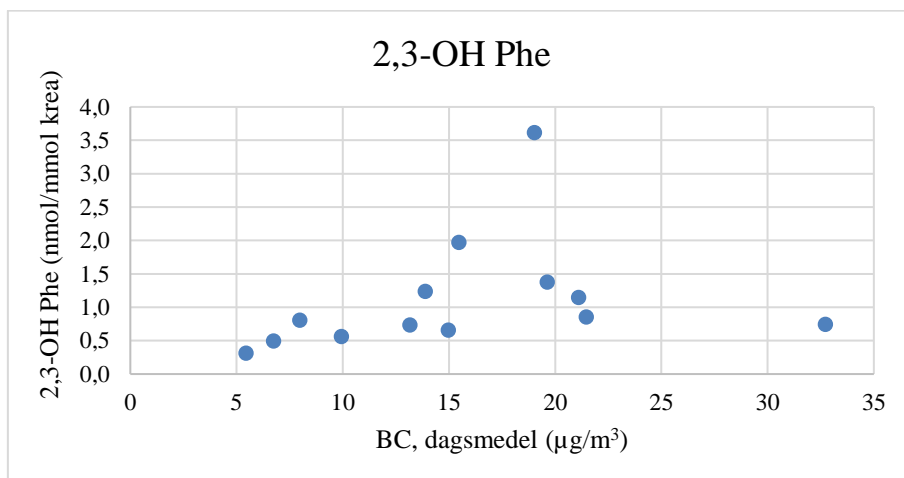




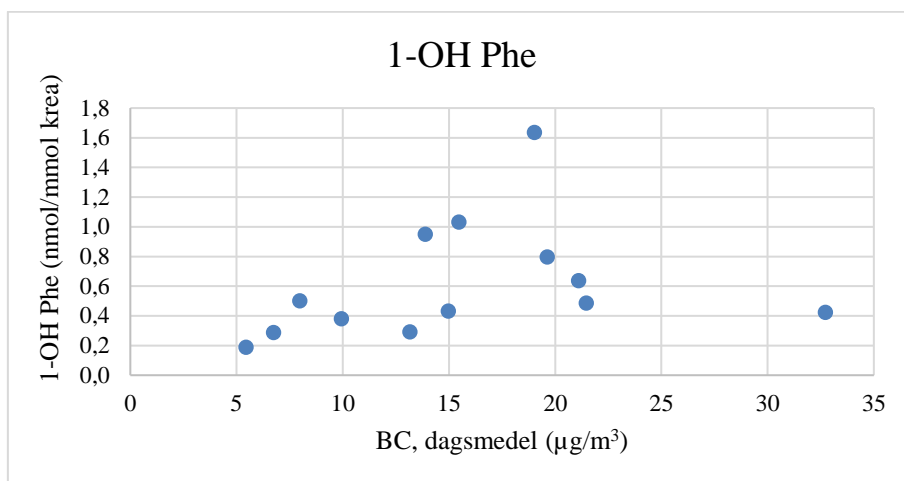
Figur 12. Halt 1-OH Pyr i eftermiddagsprov som funktion av medelhalten BC samma dag.



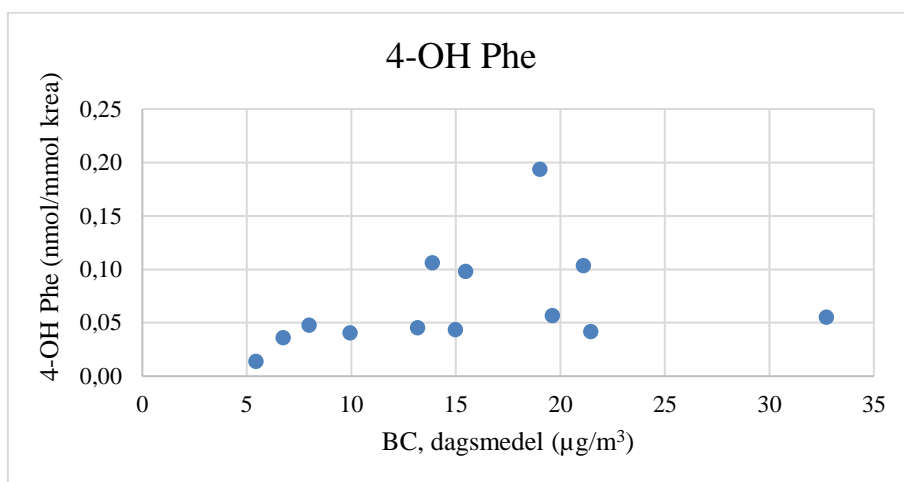
Figur 13. Halt 2,3-OH Flu i eftermiddagsprov som funktion av medelhalten BC samma dag.



Figur 14. Halt 2,3-OH Phe i eftermiddagsprov som funktion av medelhalten BC samma dag.



**Figur 15.** Halt 1-OH Phe i eftermiddagsprov som funktion av medelhalten BC samma dag.



**Figur 16.** Halt 4-OH Phe i eftermiddagsprov som funktion av medelhalten BC samma dag.

## 4. Diskussion

I projektet har en ny metod för att mäta sotares exponering för sot undersökts. Luftburen exponeringen för BC har mätts som markör för sot med det direktvisande instrumentet microAeth® AE51. Exponeringsbiomarkörer för sot har mätts som PAH-metaboliter i urin. Sotaren administrerade själv mätningarna samt fyllde i en dagbok (bilaga 1).

Metoden fungerade väl i denna pilotstudie och sotaren kunde själv administrera mätning av BC. BC-halt och toppar med kortvarigt högre halt kunde detekteras samtliga mättdagar (figur 4 till 7). Notera t.ex. att mättdag ett och sju var dagsmedelhalten BC lika stor men exponeringsbilden över dagen skiljde sig åt, se figur 4 och 5. Halten BC kunde relateras till information i dagboken som var mycket utförligt ifyllt. Viss överensstämmelse fanns också mellan halt BC och PAH-metaboliter i urin.

#### **4.1. Luftmätning av BC**

Totalt utfördes 161 sotningsuppdrag under mätperioden, varav 154 utfördes i enkelpannor där något av de fem vanligaste bränslena förbränts.

##### **4.1.1. Skillnad mellan de två sotningsteknikerna**

Sotaren använde två olika tekniker vid sotning, traditionell och den nya tekniken stavteknik. Medelhalten BC vid sotning (uppdragstid) för de 154 uppdragen var  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Medelhalten BC var högre vid traditionell sotning ( $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) jämfört med stavteknik ( $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), vilket stämmer överens med vår hypotes. Sannolikt beror den lägre exponeringen främst på att man vid stavteknik samlar in sotet direkt jämfört med att först behöva öppna pannan för att sedan samla in sotet med sotsugaren. Att öppna luckan förväntas virvla upp sotet som precis fallit ned i pannan.

Färre sotningar utfördes med stavteknik jämfört med traditionell teknik (35 respektive 119 st) och stavtekniken var ny för sotaren. Av dessa anledningar är resultaten för stavteknik något mindre säkra än resultaten för traditionell sotning vilket är en metod sotaren använt i flera år.

En fördel med stavteknik jämfört med traditionell teknik är att den tenderar generera lägre exponering för BC vilket är positivt ur arbetsmiljösynpunkt. En annan fördel är att vid stavteknik behöver sotaren inte klättra upp på taket, vilket är en välkänd risk för fallolyckor i sotarbetet. Sotaren i projektet berättar att de flesta sotare någon gång är med om en fallolycka i sitt arbete. En begränsning med stavteknik som upptäcktes under projektet är att den inte är tillämpbar för alla typer av pannor. T.ex. kan pannor med en kraftig böj ovanför pannan upp till skorstenen inte sotas med denna teknik då stavarna endast kan böjas i viss mån. En nackdel med stavteknik är också att medeltiden per sotningsuppdrag blev längre (38 min,  $n=35$ ) jämfört med traditionell sotning (25 min,  $n=119$ ). Dock kan skillnaden i tidsåtgång per sotningsuppdrag mellan teknikerna sannolikt förklaras till viss del med att stavtekniken var ny för sotaren.

Det är välkänt att skillnader i arbetssätt mellan olika arbetstagare kan generera olika exponering, så kallad mellan-individvariation. Då projektet endast omfattar en sotare har detta inte studerats och inga säkra slutsatser kan dras utifrån arbetssätt eller sotningsteknik.

##### **4.1.2. Skillnad mellan bränslen/panntyper**

Skillnad i halt BC fanns mellan olika bränslen/panntyper. Ved genererade högst medelhalt BC ( $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) och olja och vedkamin/mysbrasa genererade lägst ( $7$  respektive  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). I en tidigare studie där man mätt PAH i luften hos sotare såg man en tendens till högre halt av PAH då fast bränsle eller en blandning av fast och olje-bränsle förbränts jämfört med då enbart olja förbränts (13) vilket är i linje med resultaten från detta projekt. Möjligen påverkar det också i vilken omfattning en panna används. En vedkamin/mysbrasa användas sannolikt i mindre utsträckning än en ved- eller pelletsanna.

Vid utformning av dagboken valdes bränslen/panntyper som är vanligt förekommande i Sverige så som olja, ved, pellets och vedkamin/mysbrasa. Under projektet noterades att sotaren också sotat sex pannor där spannmål förbränts varför detta bränsle lades till i resultatet.

##### **4.1.3. Jämförelse med allmänbefolkningen**

Medelhalten BC för all arbetstid och alla mät dagar, där samtliga 161 sotningsuppdrag inkluderades, var  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Halten BC utanför uppdragstid var  $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Exponering för BC förekommer även i allmänbefolkningen men få studier har mätt BC hos allmänbefolkningen. I en studie där man mätt BC vid promenad, cykling, resa med buss och resa med bil i stadsmiljö i Stockholm var medelhalten BC som personlig exponering  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $n=4218$ ,  $0,03-37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) och som urban bakgrundshalt  $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $n=4056$ ,  $0,07-6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (15). I en studie från Danmark har man mätt exponering för BC vid resa med bland annat elektriska tåg. Den

personliga medelexponeringen för BC var  $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $n=7$ ,  $1,2-3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). (16) I Göteborg har man mätt BC i urban miljö mellan 2017-2019. Medelhalten kan från dessa data beräknas till  $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (17). Om dessa halter kan antas representera ett ungefärligt mått på allmänbefolkningens exponering för BC bekräftar projektet att sotarens exponering för BC är högre än allmänbefolkningens vilket var väntat. Även halten BC utanför uppdragstid var högre än ovan beskrivna halter. Detta indikerar att bakgrundsemissioner av BC kan förekomma, möjligen från sot som kontaminerat sotarens kläder och fordon.

## 4.2. Exponeringsbiomarkörer, PAH-metaboliter i urin

För samtliga PAH-metaboliter och alla dagar utom en hade halten metabolit i urin ökat från morgonprovet till eftermiddagsprovet. Halten av 1-OH Pyr, som är en vanlig markör för PAH-exponering, hade i de flesta fall sjunkit från eftermiddagsprov till efterföljande morgonprov vilket var väntat med hänsyn till den korta halveringstiden (4-35 timmar). Vid jämförelse av 1-OH Pyr-halterna med vad man funnit i en studie av sotare från 2017 ( $n=148$ ) ligger halterna i eftermiddagsproven över medianvärdet i studien (18). I studien varierade dock arbetsuppgifterna bland studiedeltagarna och alla utförde inte sotning under hela arbetsdagen, vilket sotaren i detta projekt gjorde. Därmed är halterna inte jämförbara.

## 4.3. Jämförelse mellan BC och PAH-metaboliter

Då BC inkluderar partikulära PAH förväntades en korrelation finnas mellan halten BC och halten PAH-metabolit i urin. Okulärt från figur 12 till 16 kan en trend urskiljas att högre dagsmedelvärde av BC motsvarar en högre halt av respektive PAH-metabolit. Medelhalten BC under arbetstid var högst mättdag fem ( $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) men halten PAH-metabolit var inte som högst denna dag för någon av de fem metaboliterna, vilket hade väntats. Ingen tydlig förklaring har hittats till detta. Mättdag fem blev dock filtret i BC-instrumentet mättat vilket innebar att ca 22 % av BC-resultaten den dagen var osäkra.

Då exponering för PAH även förekommer vid inandning av förorenad luft (t.ex. trafikavgaser), cigarettrök och intag av vissa födoämnen exponeras också allmänbefolkningen (10). Detta innebär att sotaren förväntas ha både en yrkesexponering och en varierande bakgrundsexponering för PAH, vilka inte kan skiljas åt i resultat från urinprover. Att mäta BC i luften under arbetstid begränsar det uppmätta resultatet till att främst spegla yrkesexponeringen även om också en viss bakgrundsexponering för BC kan förväntas förekomma under arbetstid. Detta kan vara av betydelse vid jämförelse mellan halten BC och halten PAH-metabolit i urin.

## 4.4. Hudexponering

En datapunkt som utmärker sig i figur 12 till 16 är då halten av respektive metabolit är som högst. Det inträffar mättdag fyra för samtliga metaboliter. Denna dag blåstes dammsugarfiltret rent vilket genererade en mycket hög exponeringstopp av BC. Då sotaren använde andningsskydd under momentet förväntas exponeringen via inandning inte ha påverkats av detta, alternativt användes andningsskyddet på ett sådant sätt att det inte skyddade optimalt. Möjligen kan den höga halten PAH-metabolit förklaras av en ökad exponering via hudkontakt. Sotaren använde handskar, långärmad tröja och långa byxor under sitt arbete men viss hudexponering har sannolikt förkommit, bland annat via huden i ansiktet. Hudexponering för sot har inte undersökts i detta projekt men en möjlig metod för att undersöka det är med hjälp av tejpprover (19).

## 5. Slutsats och framtid

Utifrån projektet dras slutsatsen att detta är en genomförbar metod för att undersöka sotares exponering för sot. Att sotaren själv kunde administrera mätningen är en fördel med metoden. Detta då sotare oftast arbetar ensamma vilket begränsar möjligheten till studier som kräver att kvalificerad personal följer varje individ under mätningen, något som annars kan göra större studier ineffektiva i fråga om tidsåtgång och ekonomisk kostnad. Att inte följa individen kan dock också ses som en begränsning för metoden då vi inte med säkerhet vet hur mätning eller olika arbetsmoment utförts. Vi vet av erfarenhet att det förekommer skillnad mellan olika individer i hur utförligt man t.ex. fyller i en dagbok eller hur man tolkar instruktioner om provtagning/mätning. Dock anser vi att momenten som krävs av individen i aktuell metod är få och relativt enkla varför vi inte ser detta som något hinder.

En potentiell nackdel med att mäta BC är att man bara mäter partiklar och således inte t.ex. gasformiga PAH vilka också kan generera negativa hälsoeffekter. Dock avses med detta arbete inte att konstatera halten PAH utan undersöka om halten BC kan vara ett lämpligt mått på sotares exponering.

Baserat på fynden i detta projekt kommer ett uppföljningsprojekt genomföras där aktuell metod används hos en grupp sotare och jämförs med andra tillgängliga metoder.

## 6. Referenser

1. Sveriges skorstensfejarmästares riskförbund. [Hämtad: 2020-06-23]; Tillgänglig via: <https://www.sverigessotare.se/>.
2. Hogstedt, C., C. Jansson, M. Hugosson, et al., *Cancer incidence in a cohort of Swedish chimney sweeps, 1958-2006*. American journal of public health, 2013. 103(9): p. 1708-1714.
3. Gustavsson, P., C. Jansson, and C. Hogstedt, *Incidence of myocardial infarction in Swedish chimney sweeps 1991-2005: a prospective cohort study*. Occup Environ Med, 2013. 70(7): p. 505-7.
4. Alhamdow, A., H. Tinnerberg, C. Lindh, et al., *Cancer-related proteins in serum are altered in workers occupationally exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons: a cross-sectional study*. Carcinogenesis, 2019. 40(6): p. 771-781.
5. IARC, *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans - Polynuclear Aromatic Compounds, Part 4, Bitumens, Coal-tars and Derivec Products, Shale-oils and Soots*. 1985.
6. IARC, *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (Volume 92). Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures*. 2010.
7. Alhamdow, A., P. Gustavsson, L. Rylander, et al., *Chimney sweeps in Sweden: a questionnaire-based assessment of long-term changes in work conditions, and current eye and airway symptoms*. Int Arch Occup Environ Health, 2017. 90(2): p. 207-216.
8. Alhamdow, A., Y.J. Essig, A.M. Kraus, et al., *Fluorene exposure among PAH-exposed workers is associated with epigenetic markers related to lung cancer*. Occup Environ Med, 2020. 77(7): p. 488-495.
9. Jongeneelen, F.J., R.B. Anzion, C.M. Leijdekkers, et al., *1-hydroxypyrene in human urine after exposure to coal tar and a coal tar derived product*. Int Arch Occup Environ Health, 1985. 57(1): p. 47-55.
10. Li, Z., L. Romanoff, S. Bartell, et al., *Excretion profiles and half-lives of ten urinary polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites after dietary exposure*. Chem Res Toxicol, 2012. 25(7): p. 1452-61.
11. Alhamdow, A., C. Lindh, M. Albin, et al., *Early markers of cardiovascular disease are associated with occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons*. Sci Rep, 2017. 7(1): p. 9426.
12. Fan, R., R. Ramage, D. Wang, et al., *Determination of ten monohydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons by liquid-liquid extraction and liquid chromatography/tandem mass spectrometry*. Talanta, 2012. 93: p. 383-391.
13. Knecht, U., U. Bolm-Audorff, and H.J. Weitowitz, *Atmospheric concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons during chimney sweeping*. Br J Ind Med, 1989. 46(7): p. 479-82.

14. European Environmental Agency (EEA) Technical report, *Status of black carbon monitoring in ambient air in Europe*. 2013.
15. Merritt, A.S., A. Georgellis, N. Andersson, et al., *Personal exposure to black carbon in Stockholm, using different intra-urban transport modes*. *Sci Total Environ*, 2019. 674: p. 279-287.
16. Andersen, M.H.G., S. Johannesson, A.S. Fonseca, et al., *Exposure to Air Pollution inside Electric and Diesel-Powered Passenger Trains*. *Environ Sci Technol*, 2019. 53(8): p. 4579-4587.
17. SMHI. *Datavärdskap för luftkvalitet*. [Hämtad: 2020-06-23]; Tillgänglig via: <http://www.smhi.se/data/miljo/luftmiljodata>.
18. Alhamdow, A., C. Lindh, M. Albin, et al., *Early markers of cardiovascular disease are associated with occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons*. *Scientific Reports*, 2017. 7(1): p. 9426.
19. Kammer, R., H. Tinnerberg, and K. Eriksson, *Evaluation of a tape-stripping technique for measuring dermal exposure to pyrene and benzo(a)pyrene*. *J Environ Monit*, 2011. 13(8): p. 2165-71.

## **Bilaga 1**

Efterföljande två sidor visar den dagbok som sotaren fyllde i under mätningarna.



(Fylls i en gång per person)

Namn \_\_\_\_\_

Arbetsgivare (sotarkammare) \_\_\_\_\_

### Sotarmetod

	Traditionell sotning
	Stavteknik

### Bil

Bilmodell	
Senast städad i bilen	

### Tider

Fyll i arbetstider för mätdagar (start och stopp på mätaren)

	Datum	Start (klockslag)	Blåsa av filter i dammsugare (klockslag)	Stopp (klockslag)
Mätdag 1				
Mätdag 2				
Mätdag 3				
Mätdag 4				
Mätdag 5				

(Fylls i en gång per uppdrag)

Datum

Klockslag då uppdraget

*Påbörjades*

*Avslutades*

### 1. Uppdrag

	Svartsotning
	Brandskyddskontroll / OVK / Ventilationsrengöring
	Storkök / Restaurang

Annat \_\_\_\_\_

### 2. Typ

	Privat bostad
	Centralpanna
	Industri

### 3. Panna

	Oljepanna
	Vedpanna
	Pelletspanna
	Vedkamin/mysbrasa

### 4. Skyddsutrustning

	Andningsskydd
	Handskar
	Heltäckande kläder (långa ärmar och byxben?)
	Sotsug

Filtertyp \_\_\_\_\_