



HELSINGBORG

Inblandning av biokol – effekt på risk för exponering av förorening i gasfas

BALANCE, AP3



Förord

Projektet BALANCE, *Behandling av lågförorenad jord med biokol tillverkat av organiskt avfall för hållbar resursanvändning och cirkulär ekonomi*, genomfördes under perioden 15 augusti 2022 till 31 december 2025.

Syftet med projektet var att utveckla mer hållbara och cirkulära metoder för hantering av lågförorenade jordar, vilka annars ofta deponeras. BALANCE undersökte möjligheterna att minska riskerna med förorenade jordar och samtidigt förbättra markkvaliteten genom att blanda in biokol. När jorden kan återanvändas i stället för att transporteras till deponi minskas mängden avfall och det skapas förutsättningar för en mer cirkulär resurshantering.

Målet var att möjliggöra en storskalig tillämpning av tekniken genom att utveckla ett ramverk för miljö- och hälsoriskbedömning av biokolsbehandlad jord. Miljöpåverkan och resursanvändning kvantifierades med hjälp av livscykelanalys och cirkularitetsbedömning. Projektet omfattade både långtidsuppföljning av ett fältförsök (5 år) och anläggande av ett pilotförsök (beskrivet i föreliggande rapport) för att studera hur biokol kan påverka löslighet, förångning och spridning av föroreningar. Dessa studier ger ett viktigt kunskapsunderlag för framtida saneringsstrategier och för att på sikt öka användningen av in situ-metoder inom svensk efterbehandling.

BALANCE genomfördes i samverkan mellan Statens geotekniska institut (SGI), Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Örebro universitet (ORU), Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR) och Helsingborgs stad. Projektet (P2022-00376) finansierades av deltagande parter och det strategiska innovationsprogrammet RE:Source, med stöd från Vinnova, Energimyndigheten och Formas.

Arbetet var indelat i sex arbetspaket (AP) med följande huvudfokus:

- AP1: Projektledning och samordning (SGI)
- AP2: Långsiktiga effekter av biokolsinblandning på föroreningars rörlighet, biotillgänglighet, toxicitet och markkvalitet (SGI, SLU, ORU, NSR)
- AP3: Biokols påverkan på risken för ånginträngning av flyktiga ämnen (Helsingborgs stad, NSR, SGI)
- AP4: Vägledning och verktyg för bedömning av riskbild och riskreduktion vid biokolsbehandling (SGI)
- AP5: Metoder för att bedöma cirkulär resurspåverkan och miljöpåverkan av biokolsbehandling (SLU, SGI)
- AP6: Kunskapsspridning (SGI)

Projektet hade stöd av en referensgrupp med representanter från följande organisationer: Arnér Consulting, Avfall Sverige, Chalmers, EcoTopic, Innovationsklustret Biokol Sverige, Kemakta Konsult AB, Lektus, Lunds kommun, Länsstyrelsen i Skåne län, Naturvårdsverket, Norrköpings kommun, Nordiczero, Sveriges geologiska undersökning, Stockholm Vatten och Avfall och Structor Miljö AB. Deras synpunkter och erfarenheter har bidragit till att stärka projektets relevans och tillämpbarhet.



Denna rapport sammanfattar resultat och slutsatser från AP3 med fokus på hur inblandning av biokol påverkar risken för ånginträngning av flyktiga ämnen (polycykliska aromatiska kolväten, PAH och kvicksilver) i byggnader.

Samtliga fotografier har tagits av Anna Sorelius om inget annat anges. I organisationen inom Stadsbyggnadsförvaltningen har även Hans Gustavsson ingått.

I AP3 har vi haft ovärderligt expertstöd avseende mätning och analys av porgas av Pär Hallgren, Sweco och haft rådgivande och utvecklande diskussioner med Eurofins Pegasus lab avseende tolkning av resultat.

Helsingborg 2026-02-24

Anna Sorelius, Stadsbyggnadsförvaltningen, Helsingborgs stad

Matilda Johansson, SGI

Dan Berggren Kleja, SGI

Anja Enell, SGI



Innehållsförteckning

1	Inledning	6
1.1	Bakgrund	6
1.2	Syfte	6
1.3	Avgränsning	7
2	Undersökta förorenade jordar	8
2.1	Oceanhamnen	8
2.2	Oslopiren	10
3	Biokol	11
4	Metodbeskrivning	13
4.1	Beredning av jordar	13
4.1.1	Oceanhamnen	13
4.1.2	Oslopiren	16
4.2	Provtagning av jord	19
4.2.1	Oceanhamnen	19
4.2.2	Oslopiren	20
4.3	POM-test, beräkning av ny fördelningskoefficient	21
4.4	Provtagning av porgas	23
4.4.1	Fältanalyser med multigasmätare	24
4.4.2	Förstudie, jord från Oceanhamnen	25
4.4.2.1	Teoretisk beräkning	25
4.4.2.2	Provtagning av porgas	27
4.4.2.3	Resultat	28
4.4.2.4	Slutsatser	29
4.5	Headspace-försök	30
4.6	Fasförskjutning genom temperaturhöjning – porgasmätning	32
4.7	Statistisk bearbetning	33
5	Resultat	34
5.1	Oceanhamnen	34
5.1.1	Jord	34
5.1.2	Fritt löst koncentration av PAH i porvatten	37
5.1.3	Fördelningskoefficient mellan organiskt kol och vatten (K_{oc})	38



5.1.4	Porgas, PAH och VOC	39
5.1.5	Headspace-försök	40
5.2	Oslopiren.....	41
5.2.1	Jord	41
5.2.2	Fritt löst koncentration av PAH i porvatten.....	44
5.2.3	Fördelningskoefficient mellan organiskt kol och vatten (K_{OC}).....	45
5.2.4	Porgas, PAH och VOC	46
5.2.5	Fasförskjutning genom temperaturhöjning – porgasmätning.....	47
6	Diskussion	49
6.1	Effekter av biokolsbehandling.....	49
6.2	Jämförelse med Naturvårdsverkets riktvärdesmodell	52
6.3	Felkällor.....	55
6.4	Biokolens egenskaper	56
7	Slutsats	59
8	Referenser.....	61

Bilagor

Bilaga 1. Analysprotokoll EBC-analys biokol

Bilaga 2a. Resultatsammanställning Oceanhamnen, analys av jord

Bilaga 2b. Resultatsammanställning Oslopiren, analys av jord

Bilaga 3a. Resultatsammanställning Oceanhamnen, PAH analyser av gas (Porgas och Headspace)

Bilaga 3b. Resultatsammanställning Oslopiren, VOC analyser av gas (Porgas och Headspace)

Bilaga 4a. Resultatsammanställning Oceanhamnen, PAH analyser av gas (Porgas och Headspace)

Bilaga 4b. Resultatsammanställning Oslopiren, VOC analyser av gas (Porgas)

Bilaga 5a. Resultatsammanställning Oceanhamnen VOC Porluft

Bilaga 5b. Resultatsammanställning Oslopiren VOC Porluft

Bilaga 6. Sammanställning beräknade Log K_{OC}



1 Inledning

1.1 Bakgrund

Riskbedömning av förorenad jord utgår generellt från föroreningshalter i jorden som jämförs med framtagna generella riktvärden. En behandling med biokol kommer inte leda till att föroreningarna försvinner eller minskar i halter. Det är föroreningarnas spridningsbenägenhet som påverkas (Berggren Kleja, Johansson, & Enell, 2026).

De generella riktvärdena är framtagna för att skydda människors hälsa, markecosystemet, grundvatten och ytvatten. När riktvärden för människors hälsa beräknas tas hänsyn till att exponering från förorenad jord kan ske via flera exponeringsvägar: intag av jord, hudkontakt med jord och damm, inandning av damm, inandning av ånga, intag av dricksvatten och intag av växter. De generella riktvärdena har tagits fram med Naturvårdsverkets riktvärdesmodell (Naturvårdsverket, 2025; Naturvårdsverket, 2009), som också kan användas för att ta fram platsspecifika riktvärden.

En jord är uppbyggd av tre faser, fast fas, vätskefas och gasfas. Den fasta fasen utgörs huvudsakligen av mineral- och lerpartiklar vilka bildar jordens skelett, men kan också utgöras av organiskt material. Hållrummen i skelettet, porerna, är fyllda med porvatten eller porgas eller bådadera. I riktvärdesmodellen beräknas exponeringen via de olika exponeringsvägarna genom modeller som beskriver hur föroreningen fördelas mellan jordens olika faser, hur förorening sprids samt hur exponeringen sker.

För PAH-M är människors hälsa styrande för det generella riktvärdet och inandning av ånga är den dominerande exponeringsvägen. Också för PAH-L, och många andra flyktiga föroreningar, är inandning av ånga den dominerande exponeringsvägen, det vill säga den exponeringsväg som påverkar det hälsobaserade riktvärdet mest. För PAH-L är dock skydd av markmiljö styrande för det generella riktvärdet.

För att undersöka exponering via inandning av ånga kan analys av porgas användas, eftersom flyktiga föroreningar fördelas från den förorenade jorden, via porvatten, till porgasen och därifrån sprids till inomhusluft.

Vid riskbedömning med generella eller platsspecifika riktvärden blir exponering via inandning av ånga ofta styrande för riskbedömningen, särskilt för PAH-M. Om behandling med biokol kan minska risken för inandning av ånga, kan stora resurser sparas genom att jord kan behandlas på plats istället för att schaktas ur och transporteras bort. Detta gäller särskilt om föroreningen finns på stort djup. Risker för inandning av ånga skulle teoretiskt kunna minskas genom att föroreningen fastläggs och inte avgår till gasfas eller genom att föroreningen fångas in under transporten uppåt genom jordlagren.

Eftersom det i tidigare försök visats att biokol minskar, framför allt organiska ämnens, löslighet i markporvatten bör även en biokolsbehandling kunna minska flyktiga ämnens halter i porgas.

1.2 Syfte

Målet med AP3 har varit att undersöka i vilken utsträckning behandling av förorenad jord med biokol kan minska risken för ånginträngning av flyktiga ämnen i byggnader. Projektet syftade till att i första hand bedöma hur risker med polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och kvicksilver och i andra hand risker med andra flyktiga oljekolväten kan minskas med biokolsbehandling.



1.3 Avgränsning

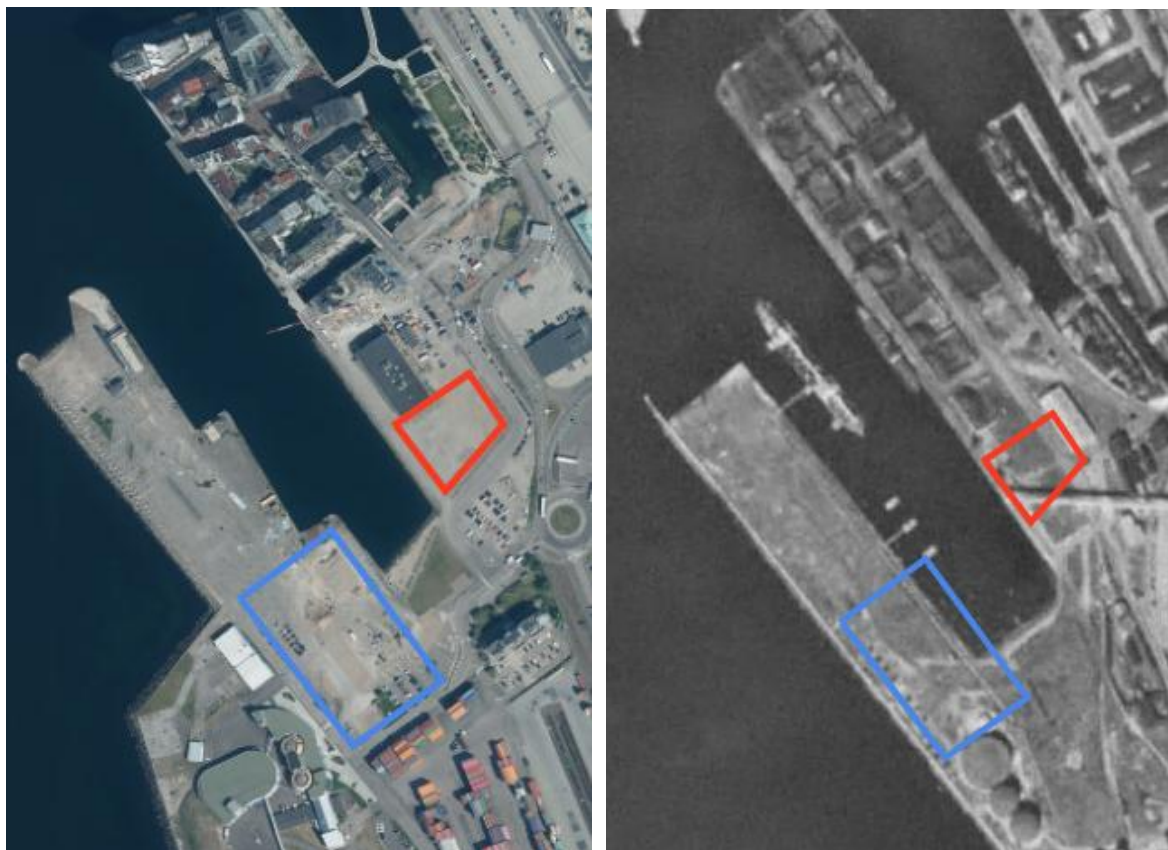
Projektet har avgränsats till föroreningarna PAH och alifatiska kolväten samt kvicksilver eftersom det är dessa ämnen som oftast förekommer i urban lågförorenad jord. Som lågförorenad betraktas i sammanhanget jord med föroreningshalter som överstiger generella riktvärden för känslig markanvändning, KM, men med marginal understiger riktvärden för mindre känslig markanvändning, MKM. För PAH valdes jordmassor med avsevärt högre halter än vad som normalt definieras som lågförorenad jord. Syftet var att optimera försöksupplägget och skapa förutsättningar för att kunna kvantifiera PAH i porgas, det vill säga uppnå halter över analysens rapporteringsgräns.

Vid närmare undersökning av de aktuella massorna framgick dock att kvicksilverhalterna var lägre än vad tidigare utredning pekat på och därför inte möjligt att detektera i porgasen.

Vidare är föroreningarna att betrakta som åldrade då de förorenade massorna härstammar från utfyllnader från början av 1900-talet. Massorna har också en förhållandevis hög halt av organiskt kol (TOC).

2 Undersökta förorenade jordar

Jord från två områden har ingått i studien, se figur 1. Inom de båda områdena, där förorenade massor grävdes upp och ingick i studien, har det i tidigare undersökningar genomförts provtagning enligt en rutnäts-metodik. Föroreningssituationen bedöms som väl utredd.



Figur 1. Ortofoto/Flygbild, Helsingborgs stad från år 2024 t.v. samt från år 1939 t.h. Det aktuella området inom Oceanhamnen har markerats med röd linje och massor till försöket togs från de centrala delarna av området. Området inom Oslopiren har markerats med blå linje och massor till försöket togs från den sydvästra delen av området (nära den fd cisternparken).

2.1 Oceanhamnen

Området är ett i Öresund utfyllt område som har hyst olika typer av hamn- och lagrings-verksamheter. Området fylldes ut under senare delen av 1800-talet. Själva varvsområdet låg öster om det aktuella området. Genom området har det funnits större oljeledningar dock ingen cisternpark. Området är utfyllt med massor av varierande karaktär inklusive avfall (glas, tegel, emballage såsom korgar, porslin, damejeanner mm) även avfall innehållande organiskt material så som trä och kol. I närområdet (centrala delarna av Helsingborg) har det funnits gasverk och kemisk industri samt livsmedelsindustri (sockerbruk grundat på ny utfylld mark i närområdet 1889). Bland de kemiska industrierna märks Skånska Superfosfat- och Svavelsyrefabrikations AB grundad 1872 samt Helsingborgs Gummifabriks AB, som grundades 1891.

Det finns inga dokumenterade utsläpp i området och inga tecken på att de oljeledningar som grävts fram inom området har medfört någon omfattande förorening.



Figur 2. Foto 1950-tal, Helsingborgs Museiesamlingar Carlotta (HelsingborgsMuseum, 2025)

Området undersöktes under 2010-talet genom provtagning genom skruvborrning och provgropsgrävning. Inom det aktuella området har mycket höga halter PAH uppmätts.

Enligt den samlade bedömningen från den systematiska provtagningen, (genom indelning av området i rutnät där det i varje ruta grävdes tre provgropar och prov togs ut halvmetersvis), var halterna i jorden mycket hög, bland annat uppgick halten PAH-M i det aktuella området (D15, 2–3 m) i Oceanhamnen till 580 mg/kg TS och PAH-L: 35 mg/kg.

Jorden grävdes upp och den jord som okulärt (inklusive luktobservationer) bedömdes som mest förorenad lades åt sidan för kompletterande provtagning, på plats. Analyserna visade att halterna var höga, dock inte så höga som i den inledande undersökningen, tabell 1.

Tabell 1. Halter i jord från Oceanhamnen, ruta D15, analys av uppgrävda massor innan transport till NSR. Halter i mg/kg TS och jämförelse med generella riktvärden för känslig markanvändning KM och mindre känslig markanvändning MKM.

Ämne	Enhet	KM	MKM	Halt
PAH-L	mg/kg TS	3	15	1,7
PAH-M	mg/kg TS	3,5	20	48
PAH-H	mg/kg TS	1	10	20
Alifatiska kolväten C5-C8	mg/kg TS	25	150	5,6
Alifatiska kolväten C8-C10	mg/kg TS	25	120	4,5
Aromatiska kolväten C8-C10	mg/kg TS	100	500	<4,0
Kvicksilver	mg/kg TS	0,25	2,5	2,7

Massorna har en heterogen sammansättning med stort inslag av sand, grus och organiskt material. Mängden avfall (det vill säga material som inte tillhör naturlig jordmatris (mineraljord och naturligt organiskt material) i massorna var betydande.



2.2 Oslopiren

Området fylldes ut något senare än Oceanhamnen, i början av 1900-talet (före 1930). I området södra del fanns under 1900-talets första hälft en mindre cisternpark (3 cisterner) för petroleum. Området har undersökts genom provgroppsgrävning och skruvborring i rutnät och bedöms vara väl undersökt.



Figur 3. Oslopiren efter sanering av den ruta U7. Jorden från djupare jordlager användes i fältförsöket.

Enligt den samlade bedömningen från den inledande rutnätsprovtagningen var föroreningshalterna i jorden mycket hög, bland annat uppgick till exempel halten PAH-M i det aktuella området i Oslopiren till 110 mg/kg TS.

Vid den kompletterande provtagning som genomfördes då massorna schaktades upp visade dock på något lägre halter, tabell 2.

Tabell 2. Halter PAH och VOC samt kvicksilver i uppgrävd jord från Oslopiren. Halter i mg/kg TS.

Ämne	Enhet	Provtagning på plats	Provtagning på NSR
PAH-L	mg/kg TS	5,7	3,3
PAH-M	mg/kg TS	81	76
PAH-H	mg/kg TS	47	53
Alifatiska kolväten C5-C8	mg/kg TS	<5,0	<5,0
Alifatiska kolväten C8-C10	mg/kg TS	<3,0	<3,0
Aromatiska kolväten C8-C10	mg/kg TS	<4,0	<4,0
Kvicksilver	mg/kg TS	1,3	0,89



3 Biokol

Inom forskningsprojektet *Biokol – från organiskt avfall till resurs för nyttiggörande av jordavfall* (2018–2020), som föregick BALANCE, visades att biokol producerat vid höga temperaturer (600–900 °C) och av ligninrik biomassa är väl lämpat för behandling av PAH-förorenad jord. Pyrolys vid höga temperaturer, i kombination med ligninrik biomassa, gör biokolet mer hydrofobt och det får en ökad ytareal på grund av ett stort antal mikroporer (Enell, o.a., 2020)

Graden av förkolning kan beskrivas genom att beräkna förhållanden mellan syre (O), väte (H), kväve (N) och kol (C). Låga O/C-, H/C- och (O+N)/C-förhållanden betyder högre grad av förkolning och ett mer aromatiskt biokol. Aromatiskt biokol har många hydrofoba ytor och till dessa ytor kan organiska hydrofoba föroreningar som t ex. PAH fästa.

Pyrolystemperaturen kan fluktuera beroende på årstid, fukthalt i materialet, effektuttag m.m. vilket kan påverka kvaliteten på biokolet. För att säkerställa en jämn kvalitet får inte temperaturen variera mer än 20 % enligt den europeiska certifieringsstandarden (EBC) (Carbon standards international, 2025).

Baserat på de önskade egenskaperna valdes två olika biokol ut till försöken: 1) Bara Mineraler till försök med jord från Oceanhamnen, och 2) Kiplingeberg till försök med jord från Oslopiren). Karakterisering av biokolen genomfördes enligt EBCs upplägg för analys och kontroll av biokol, Tabell 3 och bilaga 1 på prov som togs ut från de aktuella batcherna biokol.

Biokolet från Bara Mineraler har använts i stadens trädplanteringsprojekt och inköpt med en så kallad EBC-certifiering bland annat för att uppfylla specifika kvaliteter avseende föroreningsinnehåll (låga halter PAH). Vilken typ av biokolspanna som använts har inte kunnat härledas. Kolet ska vara baserat på träråvara och vara producerad vid hög temperatur (minst 650 grader).

Biokolet från Kiplingeberg köptes in specifikt till projektet. Även detta kol uppfyller kraven för EBC-certifiering och används i växtbäddar, av ett flertal mellansvenska kommuner. Kiplingeberg har småskalig produktion av biokol i Uppland. Biokolpannan, Biomarcon 224 kW är i drift sedan 2021. Biomassan som eldas är flisad rundved från gran från godsets skog.

Tabell 3. Data över biokol som använts i försök med jord från Oceanhamnen, Uppgifter från leverantör samt resultat från EBC karaktärisering. Se även bilaga 1.

	Analys av batch	Analys av batch
Leverantör	Bara Mineraler	Kiplingeberg
Råvara	Träflis	Träflis
Temperatur ca (°C)	650	750
EBC karaktärisering (Lab: Eurofins Umwelt Ost GmbH)		
Specifik yta	Ingen uppgift	Ingen uppgift
O/C-ratio (mol/mol)	0,064	0,030
H/C-ratio (mol/mol)	0,40	0,23
Halt aska (%w/w ts)	18,3	1,8



	Analys av batch	Analys av batch
Leverantör	Bara Mineraler	Kiplingeberg
Råvara	Träflis	Träflis
Temperatur ca (°C)	650	750
EBC karaktärisering (Lab: Eurofins Umwelt Ost GmbH)		
Karbonat (% w/w ts)	1,6	2,3
pH	8,3	8,4
Total carbon (% w/w ts)	77,6	93,4
TOC (% w/w ts)	77,2	92,8
PAH16 (mg/kg ts)	8,7	3,4
Naftalen (mg/kg ts)	5,1	2,6
Acenaftylen (mg/kg ts)	<0,1	0,3
Fenantren (mg/kg ts)	1,6	0,5
Fluoranten(mg/kg ts)	0,8	<0,1
Pyren (mg/kg ts)	0,5	<0,1



4 Metodbeskrivning

4.1 Beredning av jordar

Fälthållanden påverkar möjligheten att genomföra provtagning av porgas. Mycket täta jordarter (lera) minskar det influensområde som avger flyktiga föroreningar till den specifika provtagningspunkten och i vissa fall är jorden så tät att inga prov kan tas. I sandigare jordar med större porvolym är influensområdet större.

Nederbörd leder till att jordens porer fylls med vatten i stället för luft. Därför bör provtagning undvikas under kraftigt regn och dagen efter ett regn. Provtagning måste ske i den omättade zonen. När massorna till fältförsöken bereddes var de fuktiga men inte mättade med vatten. Samtliga aktiviteter med jordarna företogs vid uppehållsväder eller i skydd av tak.

Personal från NSR bistod med hjullastare och alla vägningar genomfördes på NSR:s internväg.

4.1.1 Oceanhamnen

Massorna från Oceanhamnen togs delvis från den mättade zonen. Massorna avvattades ovan grundvattenytan inom saneringsområdet innan transport till NSR.



Figur 4. Massorna uppgrävda i Oceanhamnen.



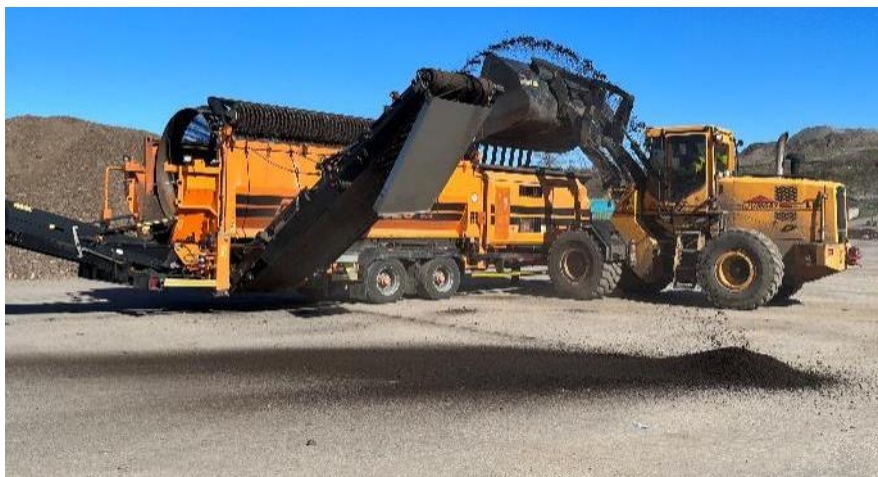
Massorna tippades på asfaltyta under tak, figur 5. Jordarna analyserades efter uppgrävning (på plats i saneringsområdet).



Figur 5. Massorna tippades under skärmtak, inne på NSRs anläggning.

Jordmassorna från Oceanhamnen bereddades på följande sätt:

1. Jorden siktades med en trumsikt (av märket Doppstadt SM 620 plus) genom ett 15 mm såll (figur 6).



Figur 6. Siktning med 15 mm trumma.



2. Eftersom biokolet innehöll en stor andel större fraktioner (runt 3 cm) krossades biokolen genom att platta ut kolen på asfalten med hjälp av hjullastarens skopa upprepade gånger.



Figur 7. Biokolet från Bara Mineraler krossades med skopa.



Figur 8. Biokol från Bara Mineraler innan krossning tv och efter krossning th.

3. Jorden delades i två högar. Från den ena högen togs 1 940 kg fuktig jord som blandades med 52,6 kg krossad biokol, vilket gav en biokolhalt på ca 2,7 % (viktsprocent beräknat på torrvikter). Den andra högen blandades om på samma sätt som vid inblandning av biokol fast utan att något blandades in (för att behandla jordarna lika).



4. Oanvända, helt rena oljefat fylldes med beredningarna. Faten döptes till 1-3 för referensjord (jord från den obehandlade högen), 4-6 fylldes med jord som behandlats med 3 % biokol och fat 7-9 preparerades med ett lager med 10 cm biokol på toppen ovan på obehandlad jord. Ytterligare ett fat, med beteckning 10 fylldes med referensjord.
5. Faten förslöts med tillhörande lock samt en aluminium-film.



Figur 9. Märkta och fyllda fat.

4.1.2 Oslopiren

Massorna från Oslopiren togs delvis från den mättade zonen. Jorden kom till NSR torsdagen 3 oktober 2024, efter att de avvattnats ovan grundvattenytan inom saneringsområdet sedan den 30 september. Massorna täcktes med presenning.



Figur 10. Massorna när de just anlänt till NSR (oktober 2024)

Den 15 oktober, en kylig morgon med uppehållsväder avtäcktes jordhögen. Massorna var fortfarande fuktiga.

1. Jorden siktades med en trumsikt (av märket Doppstadt SM 620 plus) genom ett 15 mm såll. Sikten kördes med något långsammare inmatning än normalt pga den höga fukthalten i materialet.
2. De siktade massorna vägdes på NSRs internvåg 3750 kg.
3. Inblandning av 1/3 krossmaterial 8-11 för att förbättra strukturen. 1 875 kg singel blandades med 3 750 kg förorenad jord. Singel blandades/vändes in med hjälp av hjullastaren till homogen blandning.
4. 1 510 kg av den fuktiga jord/singelblandningen blandades med 24,9 kg biokol och erhållen viktsprocent i torr vikt biokol beräknades till 3,4 %. Både jorden med biokol och referensjorden blandades på samma sätt (trots att det bara blandades in ett nytt material i en av delmängderna).
5. Prover togs på jorden, för analys av TS och TOC (samt PAH, oljekolväten och metaller).
6. Nya oljefat fylldes med blandningarna. Faten döptes till A-C för referensjord (obehandlad jord), D-F fylldes med jord som behandlats med 3,4 % biokol och fat G-I preparerades med ett lager med 10 cm biokol på toppen av obehandlad jord.

Oljefaten placerades i ett kallager (ej uppvärmd fd ladugårdsbyggnad som används idag som lager).



Figur 11. Siktning och inblandning av 8-11 singel (stenkross)



Figur 12. Inblandning av biokol samt fyllning av fat.





4.2 Provtagning av jord

4.2.1 Oceanhamnen

Föroreningsinnehållet i jorden analyserades när massorna anlände till NSR samt efter siktning för att verifiera att jordmassorna fortfarande skulle vara relevanta för försöket. Prov togs ut som samlingsprov (10 delprov med spade), från jordhögen.

För att få relevanta jämförvärden avseende halterna i jorden togs jordprover ut från samtliga fat som ingick i försöket. Provtagningen genomfördes med en **sticksond**. Provtagningen av jorden genomfördes den 4 juni 2024 dvs efter porgassmätningen. Faten var förslutna under tiden mellan porgassmätning och jordprovtagning. Jordproven (ett från varje fat) som skickades för totalhaltsanalys och POM-analys togs ut som samlingsprov bestående av 7 delprov, slumpvis placerade i faten. Proverna togs ut ca 40 cm ner i jordprofilen (motsvarande nivå som porgasspetsarna). Vid provtagning av jorden i de fat med ett lager med biokol ovanpå den förorenade jorden tycktes **sticksonden** ner genom biokolen. Delproverna blandades i en påse och skickades till Örebro universitet för POM-analys. Örebro universitet skickade en delmängd för analys av oljekolväten och PAH i jorden hos Eurofins.



Figur 13. Uttagning av jordprov



4.2.2 Oslopiren

Föroreningsinnehållet i jorden analyserades när massorna anlände till NSR för att verifiera att jordmassorna fortfarande skulle vara relevanta för försöket. Prov togs ut som samlingsprov (10 delprov med spade), från jordhögen.

Jordproven för respektive fat togs ut med samma förfarande som jorden från Oceanhamnen. Jord togs ut före porgasanalys, som genomfördes i januari ca 8 veckor efter jordprovtagningen. Delproverna blandades i en hink från Eurofins och fördelades på två påsar. Ett jordprov skickades till Eurofins för analys av oljekolväten och PAH och ett prov skickades till Örebro universitet för analys av totalhalt och POM.



Figur 14. Uttagning av jordprov med geokäpp.



4.3 POM-test, beräkning av ny fördelningskoefficient

En jords lakegenskaper kan beskrivas genom att ta reda på den specifika jordens fördelningskoefficient, dvs ämnets fördelning mellan det som sitter bundet till jorden och det som finns i vattenlösningen runt jordpartiklarna.

Detta sätt att se på hur hydrofoba organiska ämnen uppför sig och fördelar sig i miljön brukar kallas för teorin om jämviktsfördelning. Det är ett centralt begrepp för riskbedömning av organiska föroreningar. Teorin kan beskrivas med följande ekvation:

$$C_{W,free} = \frac{C_s}{K_D} = \frac{C_s}{f_{OC} \cdot K_{OC}}$$

där $C_{W,free}$ är den fritt lösta markvattenkoncentrationen av föroreningen ($\mu\text{g PAH/l}$ vatten), C_s är koncentrationen i jorden ($\mu\text{g PAH/kg TS jord}$), där "S" står för soil, och K_D är jämviktsfördelningskoefficienten för PAH-ämnet mellan jord och vatten ("D" för distribution). K_D kan i sin tur uttryckas som produkten mellan fraktionen organiskt kol i jorden (f_{OC}) och fördelningskoefficienten mellan jordens innehåll av organiskt kol och vatten (K_{OC}).

Det organiska materialet är den viktigaste markkomponenten när det gäller inbindning av hydrofoba organiska ämnen i jorden.

Koncentrationen i jorden är relativt enkel att bestämma. Då görs en analys av PAH-halten i jorden med konventionella metoder. Däremot är det inte lika vanligt att den fritt lösta halten av ett ämne i en vattenfas uppmärksammas.

Det finns flera metoder för att uppskatta $C_{W,free}$ av organiska ämnen vid jämvikt. Samtliga metoder bygger på att en passiv provtagare är i kontakt med den förorenade matrisen som ska undersökas (sediment eller jord) tills dess att kemisk jämvikt har uppnåtts mellan alla faser. Olika typer av polymermaterial kan användas som adsorbent, t ex polyoxymetylen (POM). Analys med den så kallade POM metoden har beskrivits och utvärderats av SGI bland annat i rapporten *Ekologisk riskbedömning, Att använda kemiska biotillgänglighetsmetoder i platsspecifik ekologisk riskbedömning* (Berggren Kleja & Enell, 2021).

$$K_{OC} = C_s / (f_{OC} \cdot C_{W,free})$$

Fördelningskoefficienten mellan organiskt kol och vatten (K_{OC}) får man genom att dela halten i jorden (C_s , labanalys) med produkten av halten i porvattnet ($C_{W,free}$, POM) och andelen organiskt kol i jorden (f_{OC} , labanalys). Ju högre K_{OC} en jord har desto större fastläggningskapacitet.



Tabell 4. Generella K_{OC} (fördelningskoefficienten mellan jordens organiska kol och markvattnet) för enskilda PAH och för de tre ämnesgrupperna (PAH-L, PAH, M och PAH-H) från Naturvårdsverkets datablad för PAH (Naturvårdsverket, 2017)

PAH	Generellt K_{OC}	Grupp PAH	Generellt K_{OC}
Naftalen	955	PAH-L	1 800
Acenaftylen	2 950		
Acenaften	3 390		
Fluoren	5 890	PAH-M	29 000
Fenantren	17 000		
Antracen	20 000		
Pyren	67 600		
Fluoranten	151 000		
Krysen	525 000	PAH-H	500 000
Benso(a)antracen	617 000		
Benso(k)fluoranten	1 740 000		
Benso(b)fluoranten	219 000		
Benso(a)pyren	661 000		
Benso(a)antracen	2 690 000		
Dibens(ah)antracen	1 380 000		
Indeno(123cd)pyren	1 050 000		

Genom platsspecifika beräkningar (mätningar) på hur mycket (eller lite) som föroreningen lakar kan man justera ingångsvärdena (K_{OC} enligt Naturvårdsverkets tabell ovan) i Naturvårdsverkets beräkningsverktyg för riktvärden. Då kan nya, platsspecifika riktvärden som bygger de aktuella jordmassornas egenskaper beräknas. Hur man gör detta beskrivs i rapport av Berggren Kleja, Johansson & Enell (2026).

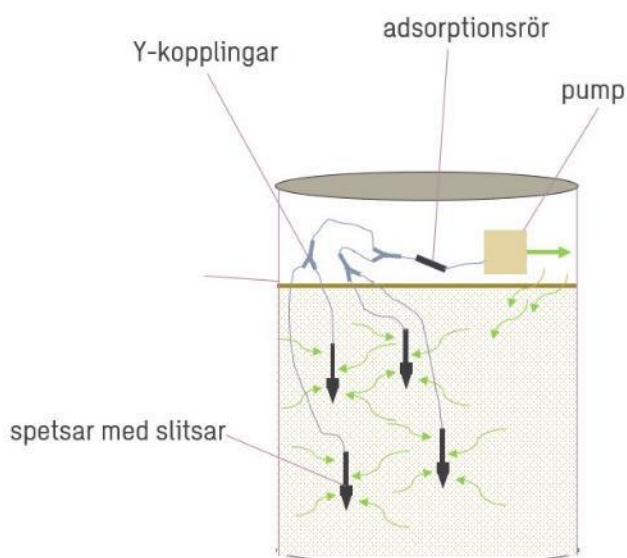
Representativ halt med avseende på K_{OC} bör väljas vid beräkningen. Då ett mindre antal prover representerar en stor volym väljs det mest konservativa värdet (i detta fall lägst K_{OC}).

Vidare bör argument som rör riskreduktion som är baserade på låg utlakning användas med försiktighet för massor med väldigt höga totalhalter t ex bör det uppmärksammas om fri fas förekommer.



4.4 Provtagning av porgas

Mätutrustningen måste installeras på tillräckligt djup för att avskiljas från luften och tätas så att inte atmosfärisk luft späder ut porgasprovet. Med direktvisande fältinstrument för mätning av syrgas och koldioxid kan det enkelt avgöras om genomförd provpunktsinstallationen är fullgod. Porgasprovtagning utförs med hjälp av slangar med en sintrad spets som trycks ner i den siktade jorden med ett stålrör, se figur 15.



Figur 15. Uppställning för porgasförsök

Fyra porgasspetsar, av typen som visas i figur 16, drevs ned med stålrör (diameter 16 mm). Spetsarna installerades på ett djup mellan 40 och 50 cm under markytan. Två spetsar kopplades till en smal teflonslang (diameter 3/5 mm) som drogs upp ovan markytan. De fyra spetsarna kopplades därefter via grenkopplingar till en adsorbent och därefter till en pump. Pumparna hyrdes från Eurofins. Hålet kring spetsen kringfylldes med omgivande jord, som kompakterades med handen.



Figur 16. Sintrad porgasspets



Installationen ska ge minimal störning av gasförhållandena i jordlagren, och själva spetsen och provtagningsslangen har mycket liten gasvolym. Gasprovtagning kan därför utföras strax efter installation av spetsarna, utan någon omfattande väntetid eller rensumpning. En kort rensumpning skedde ändå i och med en inledande mätningen med multigasmätare (Ecoprobe).

Porgasmätningen genomfördes på samma vis i båda försöksomgångarna (jord från Oceanhamnen respektive Oslopiren) samt i försöket med upphettad jord (se avsnitt 4.6).

4.4.1 Fältanalyser med multigasmätare

Fältmätning med multigasmätare genomfördes endast i de inledande försöken, förstudien och vid porgasmätning i försöket med massor från Oceanhamnen.

Med multigasmätare (EcoProbe 5 från RS Dynamics, se figur 17) bestäms koncentrationen av följande ämnen/parameterar:

- Totalhalt flyktiga organiska ämnen > 0,1 ppm (PID - fotojonisationsdetektor)
- Metan > 50 ppm (IR - infraröd detektion)
- Totalhalt flyktiga petroleumprodukter > 50 ppm (IR - infraröd detektion)
- Koldioxid > 50 ppm (IR - infraröd detektion)

Utöver detta mäter även instrumentet atmosfäriskt tryck, mottryck vid pumpning (jordlagrens genomsläpplighet) samt syre. Två upprepade mätningar genomförs för varje provpunkt med uttag av ca 0,5 l gas.



Figur 17. Multigasmätare (av typ Ecoprobe 5 från RS Dynamics) (foto: Pär Hallgren Sweco)

Halterna av syre, koldioxid och metan ger en allmän bild av mikrobiologisk aktivitet (nedbrytningsprocesser) i jordlagren. Undertrycket vid provtagningen ger information om jordlagrens genomsläpplighet kring gasspetsen. Halten atmosfäriskt syre är 21 %. Uppmätt halt av syre i porgas bör vara lägre än detta för att indikera att ingen atmosfärisk luft tränger ned till provtagningsspetsen.



4.4.2 Förstudie, jord från Oceanhamnen

Inför de första porgasmätningarna utfördes en mindre förstudie. Syftet med förstudien var att testa metoden i praktiken och ge möjlighet att optimera analysens rapporteringsgränser genom att justera inställningar för pumptid och luftflöde. För förstudien användes det extra oljefatet med obehandlad jord, (med beteckning 10), från Oceanhamnen. Beredningen beskrivs i avsnitt 4.1.1.

I ett första steg utfördes en teoretisk beräkning av halter i porgas utifrån uppmätta halter i jord och i nästa steg testades provtagningsmetoden. I ett andra steg genomfördes porgasmätning i fat nr 10.

4.4.2.1 Teoretisk beräkning

De teoretiska beräkningarna användes för att bedöma om det skulle vara möjligt att nå rapporteringsgränser som skulle behövas för att kunna mäta de aktuella föroreningarna. Beräkningarna utfördes utifrån halter i jord som uppmättes i prov från den siktade jorden, innan den delades upp och lades i faten. Jordprov uttogs som samlingsprov (10 delprov) med spade från den nysiktade högen.

För den teoretiska beräkningen användes, version 2.1 (Naturvårdsverket, 2022). Inga platsspecifika justeringar av antaganden gjordes, beräkningen utgick från de generella scenarierna. De antaganden som påverkar beräknad halt i porgas har sammanställts i tabell 5. Tidigare studier har visat att Naturvårdsverkets beräkningsverktyg överskattar halter i porgas för PAH (Back, Pettersson, Berggren Kleja, Ohlsson, & Carling, 2016). Därför beräknades teoretiska porgashalter även utifrån att modellen överskattar ångavgången med 10, 100 respektive 1 000 gånger. Beräknade koncentrationer har sammanställts i Tabell 6.

Tabell 5. Antaganden för beräkning av teoretiska porgashalter med Naturvårdsverkets beräkningsverktyg (Naturvårdsverket, 2022). Antaganden har hämtats från Naturvårdsverkets beräkningsverktyg.

Parameter	Enhet	Använt värde
Andel porgas	dm ³ /dm ³	0,08
Halt löst/mobilt organiskt kol	kg/dm ³	0,000003
Torrdensitet	kg/dm ³	1,5
Halt organiskt kol	kg/kg	0,02
Vattenhalt	dm ³ /dm ³	0,32
Henrys konstant	-	Ämnesspecifik
Fördelningskoefficient mellan organiskt kol och vatten	l/kg	Ämnesspecifik

En rapporteringsgräns på 0,4 µg/m³ för enskilda PAH vid en pumpad volym på 24 l användes som utgångspunkt för beräkning av vilka ämnen som skulle kunna mätas. I praktiken varierade rapporteringsgränserna mellan olika PAH. Rapporteringsgränsen minskar med ökad pumpad volym och volymen kan ändras genom justering av luftflöde och/eller tiden



pumpningen pågår. På grund av fatens storlek kan maximalt ca 65 l pumpas. Detta innebär att de lägsta rapporteringsgränser som rimligen kan nås är ungefär 0,1-0,2 µg/m³ för enskilda PAH. För kvicksilver utgick bedömningen från en rapporteringsgräns på ca 1 µg/m³ vid en pumpad volym på 24 l, vilket motsvarar ca 0,4 µg/m³ vid 65 l.

Beräknade halter av PAH och kvicksilver som överskrider bedömda rapporteringsgränser har markerats med grön färg i 6, lila färg anger halter i nivå med bedömd rapporteringsgräns. Av tabellen framgår att det inte går att uppnå rapporteringsgränser som är tillräckligt låga för att kunna mäta halter av PAH-H i porgas. PAH-M kan mätas om modellen överskattar ångavgången 10 gånger eller mindre. Halter av PAH-L bör kunna mätas så länge överskattningen av ångavgången inte är mer än ca 100 gånger.

Tabell 6. Beräknade halter i porgas utifrån uppmätta halter i jord. "NV data" anger att data i beräkningsverktyget använts, i övriga kolumner anges beräknade halter när modellen antas överskatta halterna med angiven faktor. Grön markering anger halter som kan mätas med vald metod, lila markering anger halter i nivå med bedömd rapporteringsgräns.

Ämne	Halt i jord (mg/kg TS)	Beräknad halt porgas (µg/m ³)			
		NV data	10 ggr	100 ggr	1 000 ggr
Naftalen	0,23	140	14	1,4	0,14
Acenaftalen	0,32	160	16	1,6	0,16
Acenaften	1,1	170	17	1,7	0,17
Antracen	1,2	2,7	0,27	0,027	0,0027
Fluoren	2,5	130	13	1,3	0,13
Fenantren	13	52	5,2	0,52	0,052
Fluoranten	18	9,7	0,97	0,097	0,0097
Pyren	13	0,72	0,072	0,0072	0,00072
Benso(ghi)perylene	2,0	0,00012	0,000012	0,0000012	0,00000012
Benso(a)antracen	3,5	0,00049	0,000049	0,0000049	0,00000049
Krysen	3,2	0,0014	0,00014	0,000014	0,0000014
Benso(b)fluoranten	6,0*	0,00048*	0,000048*	0,0000048*	0,00000048*
Benso(k)fluoranten					
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,0	0,00011	0,000011	0,0000011	0,00000011
Dibenso(a,h)antracen	0,46	0,00063	0,000063	0,0000063	0,00000063
Benso(a)pyren	3,1	0,0038	0,00038	0,000038	0,0000038

*Halt i jord avser summan av benso(b)fluoranten och benso(k)fluoranten. För beräkningen har data för benso(k)fluoranten antagits då det ger lägst beräknade halter i porgas.



4.4.2.2 Provtagning av porgas

Provtagning av porgas utfördes den 21 april 2023 på samma sätt som vid övriga porgasprovtagningar, se avsnitt 4.4. Utifrån resultaten från de teoretiska beräkningarna bestämdes att pumpa så stor volym som möjligt, d.v.s. ca 65 l. Vid provtagningen användes ett flöde på 0,25 l/min vilket innebar en pumptid på ca 260 min. Flödet mättes med en manuell flödesmätare.

Totalt sex porgasspetsar installerades och kopplades parvis till tre utgångar, benämnda 1,2 och 3. Till varje utgång anslöts en absorbent för provtagning av kvicksilver, PAH respektive flyktiga organiska föreningar (VOC). Uppgifter om provtagningen har sammanställts i 8. Före provtagningen gjordes mätningar med gasmätare (EcoProbe 5, RS Dynamics) på bakgrundsluft samt på porgas från respektive utgång, se tabell 8.

Efter porgasprovtagningen utfördes också jordprovtagning i tunnan.

Tabell 7. Uppgifter om provtagningen.

Utgång	Adsorbent	Analyspaket	Pumtid (min)	Volym (l)	Installationsdjup spetsar (cm)
1	226-17-3A (från SKC)	Kvicksilver (Hg)	264	66	49,5
					41,3
2	XAD2	PAH (PLUX4)	256	64	48,2
					43,4
3	Anasorb 747	VOC (PLUUU)	256	64	51,8
					42,5

Tabell 8. Resultat fältmätningar med Ecoprobe

	Bakgrundsluft	Utgång 1	Utgång 2	Utgång 3
CO ₂ (ppm)	460	42 000	46 000	46 000
Total petroleum (ppm)	0	0	0	0
Metan (ppm)	0	0	0	0
PID (ppm)	0	11	16	14
O ₂ (%)	19,72	6,1	2,2	2,5
Mottryck (mb)	-19	-21	-22,3	-21,3
Lufttryck (hPa)	1 019	1 019	1 019	1 019

Halterna av syre, koldioxid och metan ger en allmän bild av mikrobiologisk aktivitet (nedbrytningsprocesser) i jordlagren. Halten atmosfäriskt syre är ca 21 %. Uppmätt halt av



syre i porgas bör vara lägre än detta för att indikera att ingen atmosfärisk luft tränger ned till provtagningsspetsen.

Undertrycket vid provtagningen ger information om jordlagrens genomsläpplighet kring gasspetsen.

4.4.2.3 Resultat

Analysresultaten från den utförda porgasprovtagningen redovisas i tabell 9. I tabellen framgår även resultat från analys av jord för respektive PAH, samt VOC och kvicksilver.

Det kan konstateras att halterna i den siktade och homogeniserade jorden är betydligt lägre än vid inledande analyser (enligt miljötekniks markundersökning samt analys av den utvalda uppgrävda jorden).

I porgas kunde endast naftalen, acenaften, bensen och flyktiga organiska kolväten (VOC, huvudsakligen alifater) påvisas i halter över laboratoriets rapporteringsgräns.

Trots att de faktiska rapporteringsgränserna för PAH var lägre än den preliminära bedömningen kunde inga PAH utöver naftalen och acenaften påvisas i halter över aktuella rapporteringsgränser. I tabellen redovisas som jämförelse även teoretiskt beräknade halter för porgas. Beräkningen har gjorts på samma sätt som i avsnitt 4.4.2.1 men utifrån resultat från det jordprov som togs ut från det aktuella fatet.

Tabell 9. Analysresultat porgasprovtagning och jordprovtagning. Beräknade halter i porgas anger beräknad halt utifrån uppmätta halter i jord, "NV data" anger att data i beräkningsverktyget använts och "1 000 ggr" anger beräknad halt om modellen antas överskatta porgashalterna med en faktor 1 000.

Ämne	Halt i jord (mg/kg TS)	Halt i porgas (µg/m ³)	Beräknad halt porgas (µg/m ³)	
			NV data	1 000 ggr
Naftalen	0,14	0,052	85	0,085
Acenaftalen	0,17	0,0090	83	0,083
Acenaften	0,26	<0,016	41	0,041
Antracen	0,57	<0,016	1,3	0,0013
Fluoren	0,34	<0,0078	18	0,018
Fenantren	2,1	<0,031	8,3	0,0083
Fluoranten	4,3	<0,0078	2,3	0,0023
Pyren	3,5	<0,0078	0,19	0,00019



Ämne	Halt i jord (mg/kg TS)	Halt i porgas (µg/m³)	Beräknad halt porgas (µg/m³)	
			NV data	1 000 ggr
Benso(ghi)perylene	1,2	<0,016	0,000071	0,000000071
Benso(a)antracen	2	<0,0078	0,00028	0,00000028
Krysen	1,2	<0,0078	0,00054	0,00000054
Benso(b)fluoranten	3,7*	<0,016	0,00029*	0,00000029*
Benso(k)fluoranten		<0,016		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,3	<0,016	0,000073	0,000000073
Dibenso(a,h)antracen	0,34	<0,016	0,00047	0,00000047
Benso(a)pyren	2,2	<0,016	0,0027	0,00000027
Bensen	<0,035	2,5	<3 300	<3,3
Totalt VOC		40 000		
Alifat >C5-C8	<5,0	5 600	<9 000 000	<9 000
Alifat >C8-C10	<3,0	21 000	<740 000	<740
Alifat >C10-C12	<5,0	12 000	<120 000	<120
Alifat >C12-C16	<5,0	1 700	<25 000	<25
Aromat >C8-C10	<4,0	<40	<47 000	<47
Kvicksilver	2,1	<0,30	2 100	2,1

*Halt i jord avser summan av benso(b)fluoranten och benso(k)fluoranten. För beräkningen har data för benso(k)fluoranten antagits då det ger lägst beräknade halter.

4.4.2.4 Slutsatser

Förstudien på den obehandlade jorden (fat 10) visar att de porgashalter som beräknas teoretiskt med Naturvårdsverkets beräkningsverktyg är mycket högre än vad som faktiskt kunde uppmätas för samtliga PAH och kvicksilver under de testade förutsättningarna. Bensen och flera alifatfraktioner kunde mätas i porgas, men det är svårare att utvärdera mot beräknade halter i porgas eftersom halterna i jord var under rapporteringsgränserna.

Jämfört med de porgashalter som beräknats med Naturvårdsverkets beräkningsverktyg indikerar förstudien att:

- För PAH-L (naftalen, acenaftalen och acenaften), fluoren och kvicksilver överskattar riktvärdesmodellen halter i porgas med >1 000 gånger.
- För antracen, fenantren och fluoranten överskattar riktvärdesmodellen halter i porgas med ca 100 gånger eller mer.
- För pyren överskattar riktvärdesmodellen halter i porgas med ca 10 gånger eller mer.



- För PAH-H är rapporteringsgränserna i porgas för höga för att det ska gå att bedöma hur väl modellen förutsäger halter i porgas (och i förlängningen eventuellt bidrag till exponering via inandning).
- För bensen och alifat >C5-C8 överskattar riktvärdesmodellen halter i porgas med >1 000 gånger
- För alifat >C8-C10, alifat >C10-C12, alifat >C12-C16 och aromat >C8-C10 visar mätningarna inte på att modellen underskattar halter i porgas, men det kan inte uteslutas. Mätningarna visar också att modellen kan överskatta halter maximalt cirka 10 gånger.

Bensen och flera alifatfraktioner kan påvisas i porgas, trots att halter i jord var under rapporteringsgränsen. När halter i porgas beräknas utifrån rapporteringsgränsen i jord kan det konstateras att de beräknade halterna är högre än de uppmätta. Det vill säga, mätningen visar inte att beräkningsverktyget underskattar porgashalterna.

Det bedöms inte vara möjligt att anpassas mätningen så att lägre rapporteringsgränser för dessa analysparametrar i jord kan uppnås.

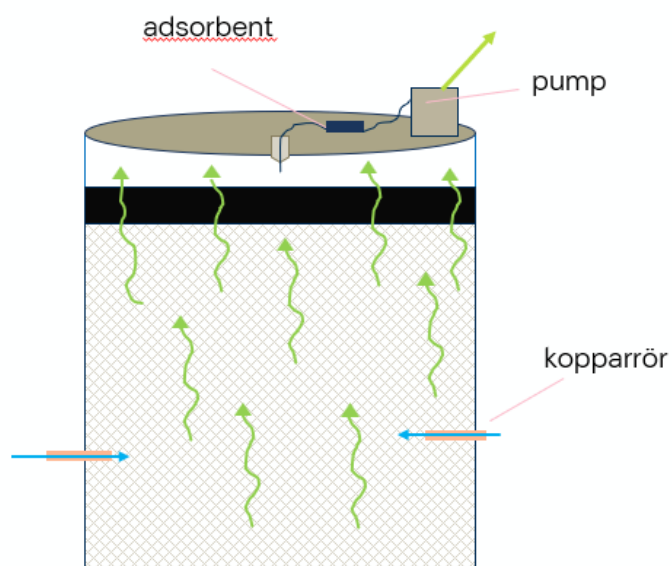
4.5 Headspace-försök

Analysen genomfördes på samma fat och jordmassor som porgassförsöket. När porgassförsöket var klart anpassades faten för provtagning av "headspace". Beteckningen headspace har valts för att det i analysammanhang betecknar den gas som återfinns i behållaren, ovanför provet (som kan vara vätska eller fast material). Försöket genomfördes bland annat för att se om ett lager med biokol ovanpå den förorenade jorden kan fungera som ett filter. Faten stod kvar på samma plats som vid porgassförsöket, under ett skärmtak inne på NSRs område, i anslutning till biogasanläggningen.

Faten preparerades på följande sätt:

- Faten perforeras i nivå med jordmassorna för att möjliggöra intransport av luft.
- Kopparrör, 10-15 cm långa installerades i hålet för att möjliggöra cirkulation av luft. Kopparrören var installerades för att undvika transport av luft längs tunnans kant vilket skulle kunna ske om det endast hade varit ett hål i oljefatet.
- Hål borrades i mitten av locket, slang monteras i en silikon-propp.
- Sintrade spetsar placerades på en distans, ovanpå massorna/biokolen och slangen fördes ut ur locket. Adsorbent och pump placerades på locket, se figur 18 och 19. Luft som passerat adsorptionsrör "släpps ut" följaktligen ut utanför tunnan.

Pumpning genomfördes i ca 48 timmar, 100 ml/min.



Figur 18. Uppställning för Headspaceförsök



Figur 19. Fat med jord från Oceanhamnen. Koppling för provtagning av headspace. Pumpar och genomföring



4.6 Fasförskjutning genom temperaturhöjning – porgasmätning

Eftersom effekten av biokol på samtliga PAH inte kunde studeras vid analys av porgas i 7-15 grader jordtemperatur så gjordes ett försök att höja temperaturen i jorden. Tester genomfördes för att studera med vilken metod och under vilken tid det, under rådande förhållande, var möjligt att höja temperaturen i jorden.

Det kunde konstateras att det gick att använda värmemattor som normalt används för att tina jord med tjäle, vid arbete i bygg- och anläggningsprojekt/ledningsarbeten. Temperaturen i mattorna kan inte justeras, det hade varit att föredra. Målet var att temperaturen i jorden skulle nå 20-25 °C, inte mer. Inledande tester visade att 24 timmar skulle kunna vara en lämplig tid för uppvärmning.



Figur 20. Tunnor inlindade i värmematta. Temperaturen mättes med en digital jordtermometer.

Mattorna placerades runt faten och uppvärmningen startades samtidigt som porgasmätningen påbörjades. Starttemperatur ca 6°C, sluttemperatur 25-31,5°C (beroende på avstånd från ytan och värmemattan (där temperaturen var högre)) efter 24 timmars uppvärmning.

Flödet sattes till 250 ml/min.

Endast XAD2 -adsorbenten, för analys av PAH användes i försöket.



4.7 Statistisk bearbetning

Statistiska analyser har främst genomförts för att visa om behandlingen med biokol har någon effekt på halter av förorening i porgas och markvatten samt på jordens förmåga att binda förorening.

Alla statistiska analyser har gjorts i programvaran SPSS (Version 30.0.0.0). För att avgöra om det finns statistiskt signifikanta skillnader mellan de olika behandlingarna används antingen t-test eller envägs-ANOVA beroende på om det är två eller tre grupper som ska jämföras. Vid ANOVA används Tukey HSD-test (*honestly significant difference*) för att avgöra mellan vilka grupper skillnaderna finns.

Vid samtliga statistiska tester används en signifikansnivå på 5 % vilket innebär att det ska vara <5 % sannolikhet att uppmätta skillnader har uppstått av en slump.

Nollhypotesen i testerna är att det inte finns några skillnader mellan medelvärden i grupperna och alternativhypotesen är att det finns skillnader. Vid en signifikansnivå på 5 % ska nollhypotesen förkastas om p-värdet är <0,05, d.v.s. ett p-värde på <0,05 anger att det finns statistiskt signifikanta skillnader.

När t-test avser parametrar som förväntas påverkas av behandlingen har ensidigt t-test använts. Om behandlingen förväntas ge lägre värden för den undersökta parametern är nollhypotesen att medelvärdet i den behandlade gruppen är större än eller lika med medelvärdet i den obehandlade gruppen och alternativhypotesen att medelvärdet i den behandlade gruppen är lägre.

I de fall halter under rapporteringsgränsen förekommer används halva rapporteringsgränsen i medelvärdesberäkningar, annan statistisk bearbetning och i figurer om inget annat anges. Dataunderlaget är inte tillräckligt stort för att det ska gå att använda något annat än enkla ersättningsmetoder.



5 Resultat

5.1 Oceanhamnen

5.1.1 Jord

Jorden från Oceanhamnen har analyserats vid flera tillfällen: efter uppgrävning i saneringsområdet, efter transport till NSR, efter siktning samt i vardera av de nio tunnor som användes i behandlingsförsöket. Resultaten för PAH, VOC, kvicksilver och TOC har sammanställts i tabell 10. Halterna är generellt lägre i de siktade och fördelade massorna (fat) än i de initiala proverna.

För bedömning av mätningar i porvatten och porgas används halterna i respektive fat eftersom dessa speglar den faktiska försöksmiljön. De tidigare analyserna redovisas som bakgrund.

Tabell 10. Halt i jord enligt miljöteknisk markundersökning, uppgrävd jord samt analys av jorden när den transporterats till NSR (osiktade och siktade) samt medelvärde av halterna i de 9 faten. Halter i mg/kg TS.

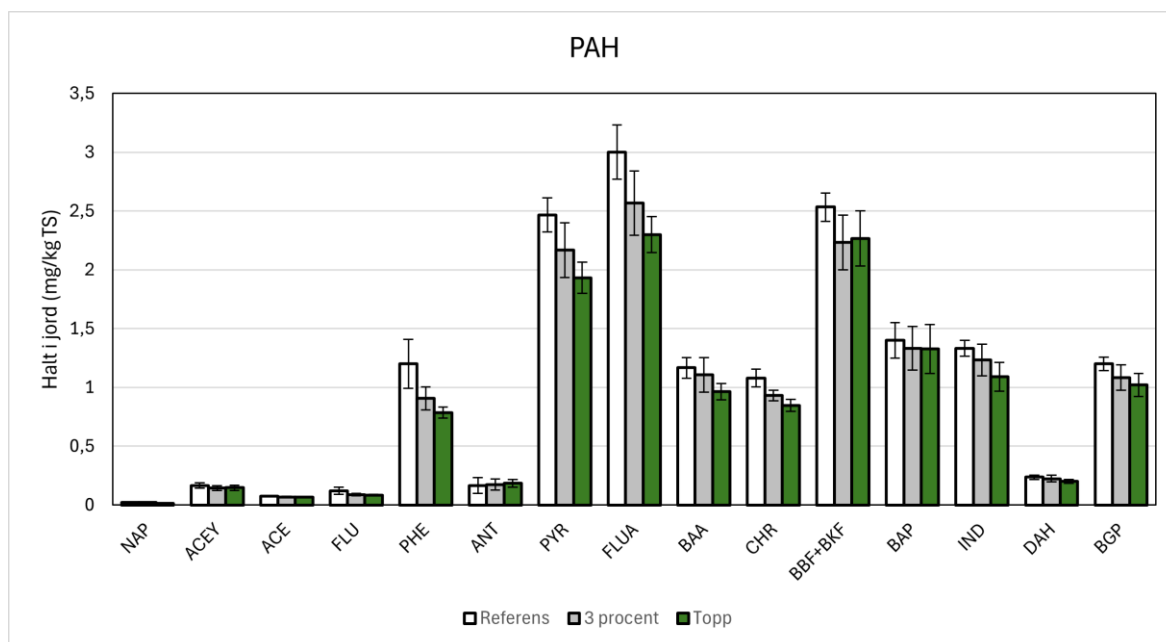
Ämne	D15 direkt efter schakt	NSR, osiktade	NSR, siktade	Medelvärde 9 fat
	2023-01-16	2023-03-09	2023-04-04	2024-12-04
Naftalen	0,23	0,23	0,16	<0,030
Acenaftylen	0,32	0,28	0,19	0,15
Acenaften	1,1	0,49	0,32	0,07
Antracen	1,2	1,3	0,46	0,17
Fluoren	2,5	0,64	0,38	0,10
Fenantren	13	3,9	1,7	0,96
Fluoranten	18	8,6	3,7	2,6
Pyren	13	7,2	2,9	2,2
Benso(ghi)perylene	2,0	2,0	0,89	1,1
Benso(a)antracen	3,5	3,8	1,6	1,1
Krysen	3,2	2,9	1,2	0,95
Benso(b)fluoranten	6,0	5,6	2,6	2,3
Benso(k)fluoranten				
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,0	2,0	0,97	1,2
Dibenso(a,h)antracen	0,46	0,54	0,22	0,22
Benso(a)pyren	3,1	3,4	1,5	1,4
PAH-L	1,7	1,0	0,67	0,24
PAH-M	48	22	9,1	6,0
PAH-H	20	20	9	8,3



Ämne	D15 direkt efter schakt	NSR, osiktade	NSR, siktade	Medelvärde 9 fat
	2023-01-16	2023-03-09	2023-04-04	2024-12-04
Bensen	<0,0035			0,010
Toluen	<0,10			<0,10
Etylbensen	<0,10			<0,10
m/p/o-Xylen	<0,10			<0,10
Aromater 8-10	<4,0			<4,0
Alifater >C5-C8	5,6			<5,0
Alifater >C8-C10	4,5			<3,0
Alifater >C10-C12	<5,0			<5,0
Kvicksilver	2,7	1,4	4,9	
TOC		3,0		2,5

Resultat från analys av PAH i jord, i faten redovisas i figur 21. Diagrammen redovisar medelvärden för de tre faten i respektive behandlingsgrupp och felstaplarna anger standardfelet. Samtliga analysresultat finns i sammanställning i bilaga 2–4.

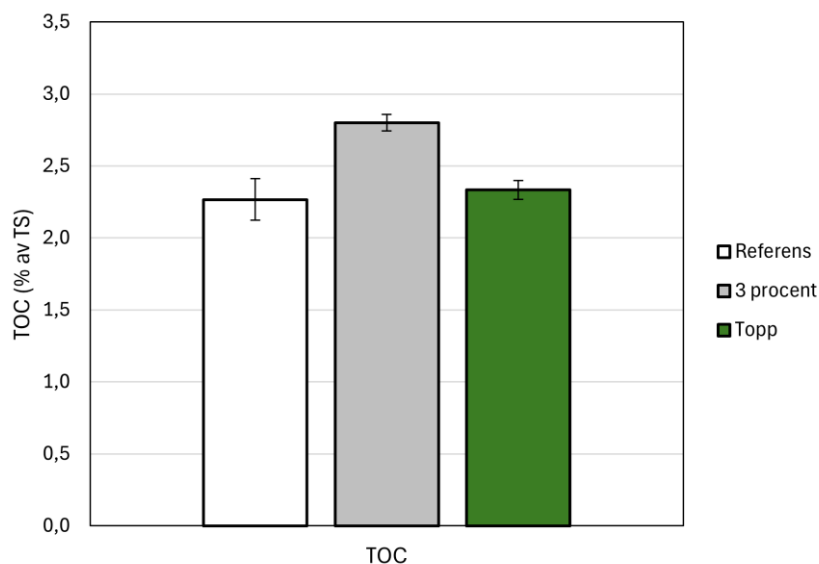
I figur 21 framgår att halterna av flera ämnen är högre i referens-faten än i de med inblandning av biokol (3 procent) respektive de med biokol på toppen (Topp). Dessa skillnader är dock inte statistiskt signifikanta. Utförd ANOVA visade på p-värden mellan 0,076 och 0,97 för undersökta PAH:er.



Figur 21. Medelvärden av halter av PAH i jord från Oceanhamnen i faten med obehandlad jord (Referens), med inblandning av biokol (3 procent) och faten med ett biokolslager ovanpå jorden (Topp). Felstaplarna anger standardfelet.

Uppmätta halter av TOC i de olika behandlingsgrupperna redovisas i Figur 22. Halten TOC är högre i jord med tillsats av 3 % biokol. Utförd ANOVA visade på statistiskt signifikanta skillnader ($p=0,017$). Tukey HSD *post hoc*-test visade på signifikanta skillnader mellan referens och behandling med 3 % ($p=0,020$) samt mellan inblandning av 3 % biokol och biokol på toppen ($p=0,035$).

Tillsatsen av biokol innebär tillsats av organiskt kol, skillnaden i uppmätta halter av TOC mellan obehandlad jord (referens) och jord med tillsats av 3 % biokol är inte så stor som kunde förväntas. TOC i biokolet är ca 77 % (se Tabell 3) och medelvärdet för den obehandlade jorden är ca 2,3 %. Med tillsats av 3 % biokol skulle TOC i den behandlade jorden teoretiskt uppgå till ca 4,5 %, vilket är högre än det uppmätta medelvärdet på 2,8 %. För att undersöka om avvikelsen är statistiskt signifikant utfördes t-test för ett stickprov. Nollhypotesen i detta fall var att medelvärdet av uppmätta halter inte avvek från teoretiskt beräknad TOC och alternativhypotesen var att medelvärdet var lägre än det teoretiskt beräknade värdet. Utförd t-test visar att skillnaden är statistiskt signifikant ($p<0,001$).



Figur 22. Medelvärden av TOC i faten i de olika behandlingsgrupperna, jord från Oceanhamnen. Felstaplarna anger standardfelet.

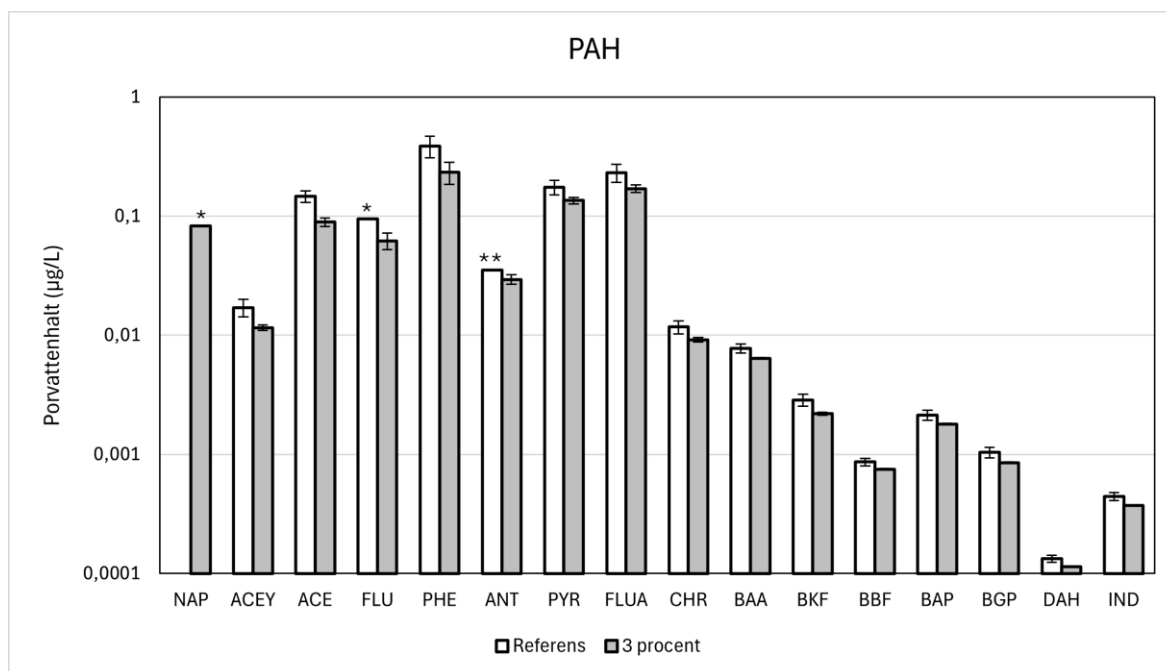
5.1.2 Fritt löst koncentration av PAH i porvatten

Analys av fritt löst PAH i porvatten har gjorts med POM-test för referensjorden och för den jord som behandlats med inblandning av 3 % biokol. Resultaten redovisas som medelvärden per behandling i Figur 22 och finns sammanställda i bilaga 3. På grund av hög utarmning¹ är inte resultaten från POM-testerna tillförlitliga för alla prov, detta gäller för naftalen (5 prov), fluoren (2 prov) och antracen (1 prov). Dessa resultat har därför inte inkluderats i figuren, men resultaten finns i sammanställningen i bilaga 3.

Resultaten i Figur 22 visar att det generellt var lägre halter i porvatten i de tunnor som behandlats med inblandning av biokol än referensfaten. Utfört ensidigt t-test visade att dessa skillnader är statistiskt signifikanta endast för acenaften ($p=0,015$).

För naftalen, fluoren och antracen har de statistiska testerna gjorts även med de resultat som inte bedömts vara tillförlitliga enligt ovan. När samtliga resultat inkluderas visar t-testet på en statistiskt signifikant skillnad även för fluoren ($p=0,025$).

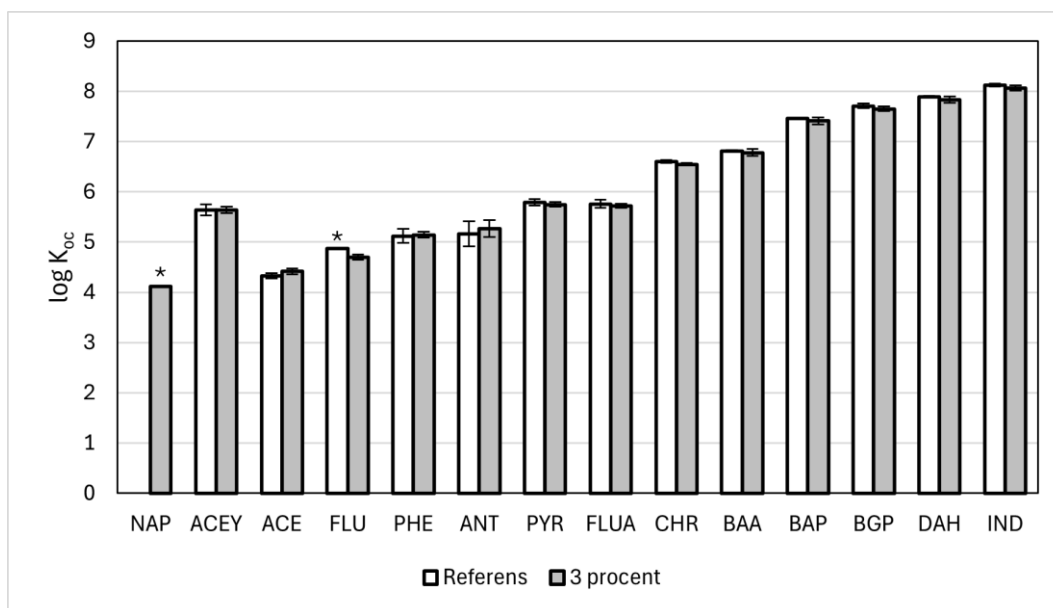
¹ Utarmning – hur stor andel av den ursprungliga mängden PAH i jordprovet som desorberats. Utarmningen bör vara mindre än 10 % för att testvillkoren ska vara uppfyllda (Mayer, Tolls, Hermens, & Mackay, 2003) och resultaten tillförlitliga. Är utarmningen >10 % underskattas den fritt lösta vattenkoncentrationen.



Figur 23. Medelvärden av porvattenhalter analyserade med POM för referensjord och jord med 3 % inblandning av biokol. *Anger att värdet inkluderar endast 1 analys. **Anger att medelvärdet inkluderar 2 analyser.

5.1.3 Fördelningskoefficient mellan organiskt kol och vatten (K_{OC})

Fritt lösta koncentrationer av PAH i vatten mätta med POM-test, halter av PAH i jord och TOC i jord har använts för att beräkna K_{OC} för respektive replikat (se avsnitt 4.3). För naftalen har K_{OC} bara kunnat beräknas för ett replikat (nr 5) eftersom halten i jord var under rapporteringsgränsen i jord i övriga tunnor. Inga K_{OC} har kunnat beräknas för benso(k)fluoranten eller benso(b)fluoranten eftersom de rapporteras som en summahalt i jordproverna. Beräknade K_{OC} redovisas i Figur 23 och log K_{OC} redovisas i Bilaga 6. Generellt är resultaten jämförbara för behandlad respektive obehandlad jord och för flera ämnen är K_{OC} högre i obehandlad än behandlad jord.



Figur 24. Medelvärden av K_{oc} för referensjord och jord med 3 % inblandning av biokol. *Anger att värdet endast avser 1 analys. Felstaplarna anger standardfelet.

5.1.4 Porgas, PAH och VOC

Porgasundersökningar har gjorts två gånger på massorna från Oceanhamnen. Försöken gjordes med ca 9 månaders mellanrum. Den sista mätningen genomfördes i huvudsak för att få en ny referens inför Headspace-mätningen.

Halterna av PAH var huvudsakligen under laboratoriets rapporteringsgränser vid båda tillfällena. Vid första tillfället påvisades halter av naftalen och acenaftylen över rapporteringsgränsen och vid andra tillfället enbart naftalen (Tabell 11). Resultaten har sammanställts i bilaga 4 (PAH) och 5 (VOC).

Flyktiga organiska föreningar (VOC) kunde påvisas vid båda tillfällena, med generellt högre halter vid det första tillfället. Vid det första tillfället kunde bensen, toluen, alifater C5-C8, alifater C8-C10, alifater C10-C12 och alifater C12-C16 påvisas. Och de påvisade ämnena utgjorde en stor andel av VOC. Vid det andra tillfället påvisades inte bensen, men i övrigt påvisades samma ämnen, dock i betydligt lägre andel av VOC. Resultaten har sammanställts i bilaga 5.

Resultaten för de analysparametrar som vid minst ett tillfälle påvisats över rapporteringsgränsen har sammanställts i tabell 11 och tabell 12. Samtliga resultat från porgasmätningarna finns i bilaga 4 och 5.

För VOC visar undersökningen på stora skillnader mellan de båda mätomgångarna. Vad detta beror på är oklart, detta diskuteras vidare i avsnitt 6. Eftersom resultaten från den första omgången visar på högre halter har vi bara använt de resultaten i den fortsatta utvärderingen.



Resultaten visar för de flesta ämnen något lägre halter i porluften, i behandlad än obehandlad jord. Utförda ensidiga t-test visar på statistiskt signifikant skillnad endast för acenaftylen ($p=0,028$). För övriga ämnen var p-värdena mellan 0,18 och 0,94. För naftalen, VOC, alifater C10-C12 och alifater C12-C16 var halterna högre i behandlad jord. Utförda statistiska tester utvärderar om behandlingen leder till lägre halter, varför det egentligen inte är relevant att undersöka när halterna är högre i behandlad jord.

Analys av naftalen är förknippad med olika störningskällor framför allt vid analys av porgas. Resultaten för naftalen blir följaktligen svårtolkade, se vidare i diskussionskapitlet.

Tabell 11. Resultat från första omgången av porgasmätningar. För varje behandling har 3 prov analyserats. Alla halter anges i $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Antal >LOQ anger antal prov med halter över rapporteringsgränsen. SD anger standardavvikelse. Statistiskt signifikant skillnad har markerats med fet stil.

		NAP	ACEY	VOC	Bensen	Toluen	Alif C5-	Alif C8-	Alif C10-	Alif C12-
Refefens	Antal >LOQ	1	3	3	3	3	3	3	3	3
	Medel	0,050	0,098	6800	6,7	1,4	840	2900	2300	500
	SD	0,043	0,019	4600	6,5	0,70	760	2500	1200	480
3 procent	Antal >LOQ	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Medel	0,063	0,039	7800	2,3	1,0	570	2300	3000	1700
	SD	0,014	0,034	6500	1,0	0,53	580	2300	2700	910

Tabell 12. Resultat från andra omgången av porgasmätningar. För varje behandling har 3 prov analyserats. Alla halter anges i $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Antal >LOQ anger antal prov med halter över rapporteringsgränsen. SD anger standardavvikelse.

		NAP	ACEY	VOC	Bensen	Toluen	Alif C5-	Alif C8-	Alif C10-	Alif C12-
Refefens	Antal >LOQ	3	0	3	0	3	1	3	3	3
	Medel	0,044	-	320	-	0,97	0,96	13	6,7	70
	SD	0,013	-	70	-	0,12	1,4	7,3	1,5	14
3 procent	Antal >LOQ	3	0	3	0	2	0	3	3	3
	Medel	0,034	-	310	-	0,47	0,16	1,6	4,5	87
	SD	0,0047	-	20	-	0,17	0,010	0,41	0,37	12

5.1.5 Headspace-försök

Headspace-undersökningar har gjorts vid ett tillfälle, i anslutning till den andra porgasmätningen. Halterna av PAH var huvudsakligen under laboratoriets rapporteringsgränser. Naftalen och acenaftylen över rapporteringsgränsen påvisades.



För samtliga behandlingar analyserades 3 prov utom för "topp" där ett prov utgick på grund av kondens i adsorbenten för PAH-analys.

I tabell 13 visas ämnen som påvisats i något prov. Resultatet från analys av headspace har sammanställts in bilaga 4a (PAH).

Analys av naftalen är förknippad med olika störningskällor framför allt vid analys av luft. Resultaten för naftalen blir följaktligen svårtolkade.

VOC -halterna verkar vara betydligt högre i headspace än i porgasen som mättes i samma fat ca två veckor innan mätning av headspace. En analys av omgivande luft borde genomförts.

Tabell 13. Resultat från andra omgången av porgasmätningar. För varje behandling har 3 prov analyserats. Endast ämnen som påvisats i halt över rapporteringsgränsen i något prov, presenteras. Alla halter anges i $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Antal >LOQ anger antal prov med halter över rapporteringsgränsen. SD anger standardavvikelse.

		NAP	ACEY	VOC	Bensen	Arom C8-10	Alif C8-C10	Alif C12-14
Referens	Antal >LOQ	3	1	3	3	0	0	0
	Medel	0,026	0,0013	7800	0,27	-	-	-
	SD	0,020	0,00078	1800	0,025	-	-	-
3 procent	Antal >LOQ	3	1	3	2	0	0	0
	Medel	0,020	0,0013	6100	0,15	-	-	-
	SD	0,0029	0,00083	4000	0,065	-	-	-
Topp	Antal >LOQ	2 (av 2)	0 (av 2)	3	0	1	2	1
	Medel	0,0085	-	4800	-	0,010	0,00069	0,77
	SD	0,0050	-	1300	-	0,013	0,00047	0,28

5.2 Oslopiren

5.2.1 Jord

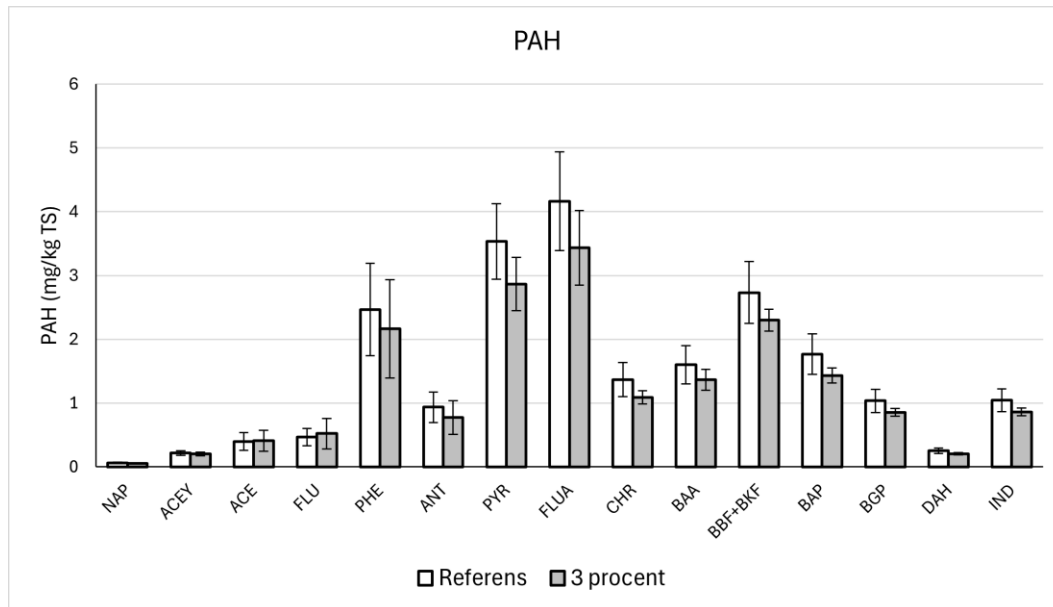
Halterna i jorden som hämtats från Oslopiren anges i tabell 14. I tabellen framgår halterna i jorden när området undersöktes inför sanering, halt i de massor som avskildes för försöket samt medelvärdet för halten i jorden i de nio faten.

Medelvärden för halter av PAH i referensjord respektive jord med 3 % inblandning av biokol redovisas i Figur 25. Halterna är ungefär i samma nivå i båda grupperna. Utförda t-test visar inte på några statistiskt signifikanta skillnader (p-värden mellan 0,18 och 0,48).



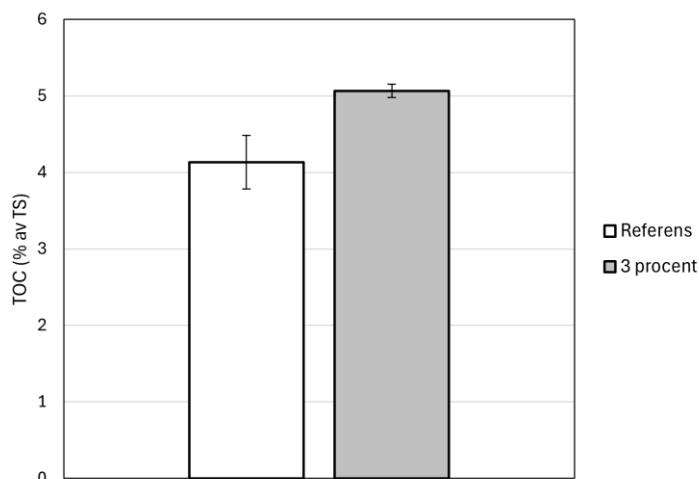
Tabell 14. Halter i jord. Analys av jord inom miljöteknisk markundersökning (U7 Oslopiren), på uppgrävda massor (samlingsprov 10 delprov) samt medelhalter, 9 fat. Halter i mg/kg TS.

Ämne	U7 Oslopiren	U7 Uppgrävda massor	Medelvärde 9 fat
	2024-03-05	2024-10-03	2024-11-27
Naftalen	0,24	1,0	0,10
Acenaftalen	2,2	1,1	0,21
Acenaften	0,78	3,6	0,41
Antracen	9,8	5,5	0,86
Fluoren	2,5	4,4	0,50
Fenantren	28	19	2,4
Fluoranten	40	25	4,0
Pyren	29	27	3,4
Benso(ghi)perylene	5,1	4,2	1,0
Benso(a)antracen	13	10	1,6
Krysen	9,8	8,3	1,3
Benso(b)fluoranten	21	12	2,7
Benso(k)fluoranten			
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6,0	4,3	1,01
Dibenso(a,h)antracen	0,91	1,0	0,24
Benso(a)pyren	11	7,6	2,00
PAH-L	3,2	5,7	0,73
PAH-M	110	81	11,1
PAH-H	67	47	9,48
Bensen	<0,0035	<0,0035	<
Toluen	<0,10	<0,10	<
Etylbensen	<0,10	<0,10	<
m/p/o-Xylen	<0,10	<0,10	<
Alifater >C5-C8	<5,0	<5,0	<
Alifater >C8-C10	<3,0	<3,0	<
Alifater >C10-C12	<5,0	36	6,78



Figur 25. Medelvärden av halter av PAH i jord i faten i de olika behandlingsgrupperna. Felstaplarna anger standardfelet.

För TOC visade resultaten på ett medelvärde på 4,1 % (standardavvikelse 0,60) för referensjorden och 5,1 % (standardavvikelse 0,15) i den behandlade jorden. Resultaten illustreras i Figur 26. Halterna är alltså högre i den behandlade än den obehandlade jorden, och utfört ensidigt t-test visar att skillnaden är signifikant ($p=0,030$).



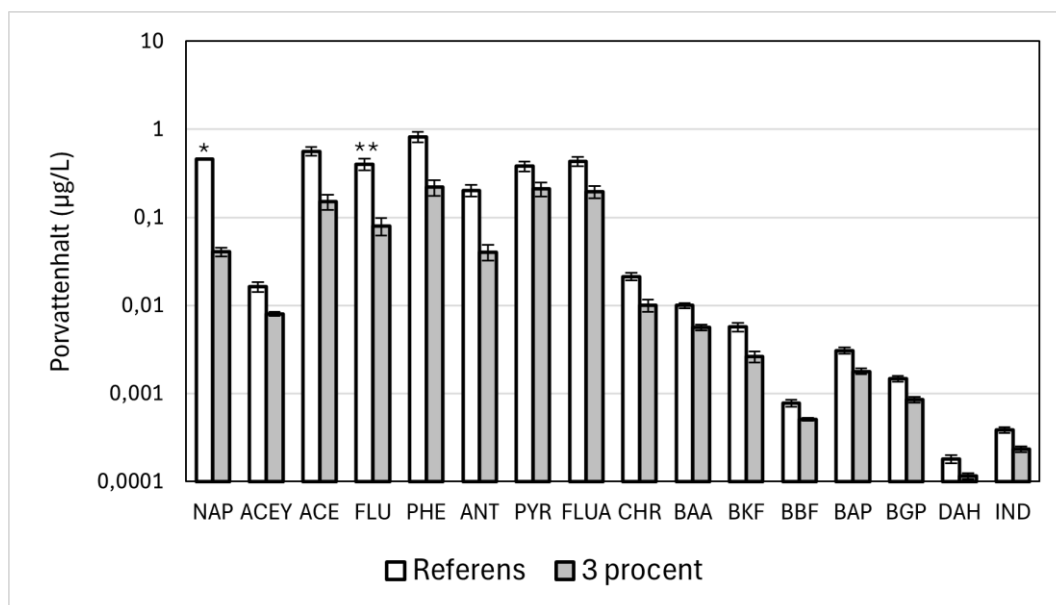
Figur 26. Medelvärden av TOC i faten i de olika behandlingsgrupperna. Felstaplarna anger standardfelet.



Det högre medelvärdet för den behandlade jorden motsvarar inte heller den tillsatta mängden organiskt kol. TOC i biokolet är ca 94 % (se Tabell 3), med en tillsats av biokol på 3 % skulle TOC i den behandlande jorden teoretiskt uppgå till ca 6,8 %, vilket är högre än det uppmätta värdet. Utfört t-test för ett stickprov visar att avvikelserna är statistiskt signifikant ($p=0,003$).

5.2.2 Fritt löst koncentration av PAH i porvatten

Analys av fritt löst PAH i porvatten har gjorts med POM-test för referensjorden och för jord som behandlats med inblandning av 3 % biokol. För varje behandling har 3 prover analyserats. Resultaten redovisas som medelvärden per behandling i Figur 27 och finns sammanställda i bilaga 3. På grund av hög utarmning i POM-testet (vilket betyder att den passiva provtagaren av polyoxymetylen påverkar själva testet eftersom mer än 10% av ämnet man vill mäta "försvinner" från jorden till POM-remsan) är inte resultaten från POM-testerna för naftalen tillförlitliga för 2 av proven med referensjord. Dessa resultat har inte inkluderats i Figur 27, men de finns med i sammanställningen i bilaga 3.



Figur 27. Medelvärden av porvattenhalter analyserade med POM för referensjord och jord med 3 % inblandning av biokol. *Anger att värdet avser 1 analys. **Anger att medelvärdet beräknats på 2 analyser.

Resultaten i Figur 27 visar generellt på lägre halter i porvatten i de tunnor som behandlats med inblandning av biokol än referensfaten. Utförda ensidiga t-test visar att dessa skillnader är statistiskt signifikanta. Resultaten från utförda test har sammanställts i Tabell 15.

För naftalen och fluoren har de statistiska testerna gjorts även med de resultat som inte bedömts vara tillförlitliga enligt ovan. Detta har dock ingen betydelse för slutsatsen. Dessa resultat redovisas inom parentes i Tabell 15.



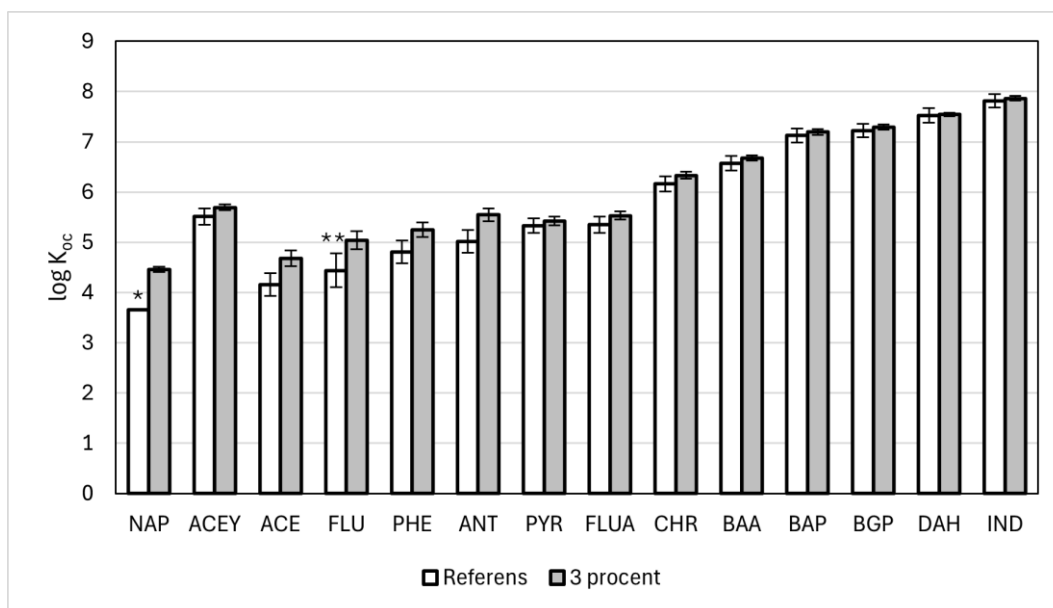
Tabell 15. Resultat från utförda ensidiga t-test avseende porvattenhalter. Värden inom parentes avser tester där även analysresultat med för hög urlakning inkluderats.

Ämne	p
Naftalen, NAP	<0,001 (<0,001)
Acenaftylen, ACEY	0,0097
Acenaften, ACE	0,0019
Fluoren, FLU	0,0043 (0,0017)
Fenantren, PHE	0,0043
Antracen, ANT	0,0036
Pyren, PYR	0,024
Fluoranten, FLUA	0,0089
Krysen, CHR	0,0058
Benso[a]antracen, BAA	0,0028
Benso(k)fluoranten, BKF	0,0083
Benso(b)fluoranten, BBF	0,013
Benso[a]pyren, BAP	0,0044
Benso[ghi]perylen, BGP	0,0048
Dibens[ah]antracen, DAH	0,019
Indeno[123-cd]pyren, IND	0,0061

5.2.3 Fördelningskoefficient mellan organiskt kol och vatten (K_{OC})

Fritt lösta koncentrationer av PAH i vatten mätta med POM-test, halter av PAH i jord och TOC i jord har använts för att beräkna K_{OC} (fördelningskoefficient för organiskt kol) för respektive replikat (se avsnitt 4.3). Inga K_{OC} har kunnat beräknas för benso(k)fluoranten eller benso(b)fluoranten eftersom de rapporteras som en summahalt i jordproverna. Beräknade K_{OC} redovisas i Figur 28, diagrammet inkluderar inte K_{OC} baserade på resultat från POM-analyser som inte bedömts vara tillförlitliga (se avsnitt 5.2.2). Samtliga beräknade K_{OC} har sammanställts i bilaga 6. Resultaten visar på högre K_{OC} i den behandlade jorden, men skillnaderna blir mindre med ökande K_{OC} (det vill säga mindre skillnad för tyngre PAH). För dibens[ah]antracen (DAH i Figur 28) är K_{OC} dock något lägre i den behandlade jorden.

De skillnader som syns i figuren är inte statistiskt signifikanta, p-värden i utförda ensidiga t-test varierade mellan 0,066 och 0,46.



Figur 28. Medelvärden av K_{oc} i referensjord och i jord med 3 % inblandning av biokol. *Anger att värdet avser 1 analys. **Anger att medelvärdet inkluderar 2 analyser. Felstaplarna anger standardfelet.

5.2.4 Porgas, PAH och VOC

Vid porgassanalyserna var det endast naftalen som påvisades i halter över laboratoriets rapporteringsgräns. Resultaten, som har sammanställts i tabell 16 visar på något högre halter i den behandlade jorden. Det bör uppmärksammas att naftalen enligt EBC-analyserna även fanns i det opåverkade biokolet. Eftersom hypotesen är att behandling med biokol ska leda till lägre halter i porgasen har det inte bedömts vara meningsfullt att utföra statistiska tester i detta fall. Samtliga resultat finns i bilaga 4 och 5. Halterna VOC var låga jämfört med halterna i porgasen vid första mätningen på jorden från Oceanhamnen.

Analys av naftalen är förknippad med olika störningskällor framför allt vid analys av porgas. Resultaten för naftalen blir följaktligen svårtolkade, se vidare i diskussionskapitlet.



Tabell 16. Uppmätta halter i porgas i jord från Oslopiren. Halter i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

		NAP
Refefens	Antal >LOQ	3
	Medel	0,041
	SD	0,0075
3 procent	Antal >LOQ	3
	Medel	0,052
	SD	0,013

Laboratoriet gjorde en sökning på vilka VOC som verkade dominera profilen i massorna från Oslopiren och det visade sig att de påvisade alifaterna främst bestod av "adamantan och liknande derivat".

5.2.5 Fasförskjutning genom temperaturhöjning – porgasmätning

Endast två av sex porgasprov analyserades. I samtliga adsorbenter hade det bildats så mycket kondens att flödet genom det adsorberande materialet var kraftigt reducerat, från ett initialt flöde på 0,25 l/min vid start. Flödet när försöket avslutades framgår i tabell 17. När flödet förändras så mycket och då man inte vet om förändringen är linjär är det inte möjligt att dra några slutsatser om halterna i porgasen. Vidare så vet man inte om vattenhalten i adsorbenten påverkar fastläggningen av PAH. Med hänvisning till detta analyserades endast de två adsorbenterna med högst flöde, och då enbart för att studera om det kunde påvisas PAH i proverna och vilka enskilda ämnen.

Det kan konstateras att vid högre temperatur påvisas fler PAH än vid mätning vid lägre, dock mer realistisk, temperatur. Förutom naftalen och acenaftylen påvisades vid de högre temperaturerna även acenaften, fluoren och fenantren se tabell 17.

Vidare kan det konstateras att flödet då försöket avbröts, i de prov som innehåller biokol, var genomgående lägre än referensproverna.

Inga statistiska beräkningar har genomförts på resultatet från testet.



Tabell 17. Flöde när försöket avslutades (uppgift från Pegasus lab) samt uppmätta halter i de två prov som analyserades

	Behandling	Referensjord			3% biokol		
	Fat/Beteckning	A	B	C	D	E	F
	Flöde (ml/min)	0,134	0,130	0,065	0,018	0,032	0,048
PAH-L	Naftalen	0,075	0,011	Ej analyserat			
	Acenaftylen	0,011	<0,034				
	Acenaften	0,0093	<0,034				
PAH-M	Fluoren	0,0075	<0,0034				
	Fenantren	0,012	<0,0034				
	Antracen	<0,0065	<0,0034				
	Floranten	<0,0033	<0,0034				
	Pyren	<0,0033	<0,0034				



6 Diskussion

6.1 Effekter av biokolsbehandling

Två försök med olika biokol har utförts. I försöket med jord från Oceanhamnen användes biokol från Bara Mineraler och i försöket med jord från Oslopiren användes biokol från Kiplingeberg.

Effekterna av behandlingen med biokol studerades med direkt jämförelse av skillnaderna i halter i porgasen mellan behandlad och obehandlad jord. I porgasmätningarna var dock PAH generellt under rapporteringsgränsen varför någon sådan jämförelse inte kunnat göras.

Undantaget är naftalen, som i båda försöken påvisades i högre halter i porgas i behandlad än i obehandlad jord. Osäkerheter kopplat till analys av naftalen diskuteras i avsnitt 6.3. I försöket med jord från Oceanhamnen kunde också acenaftylen påvisas i porgas, här var halten lägre i den behandlade än den obehandlade jorden och skillnaden var statistiskt signifikant. För flyktiga organiska ämnen (VOC) visade porgasanalyserna inte på några systematiska skillnader, halterna var högre av några ämnen och lägre av några ämnen.

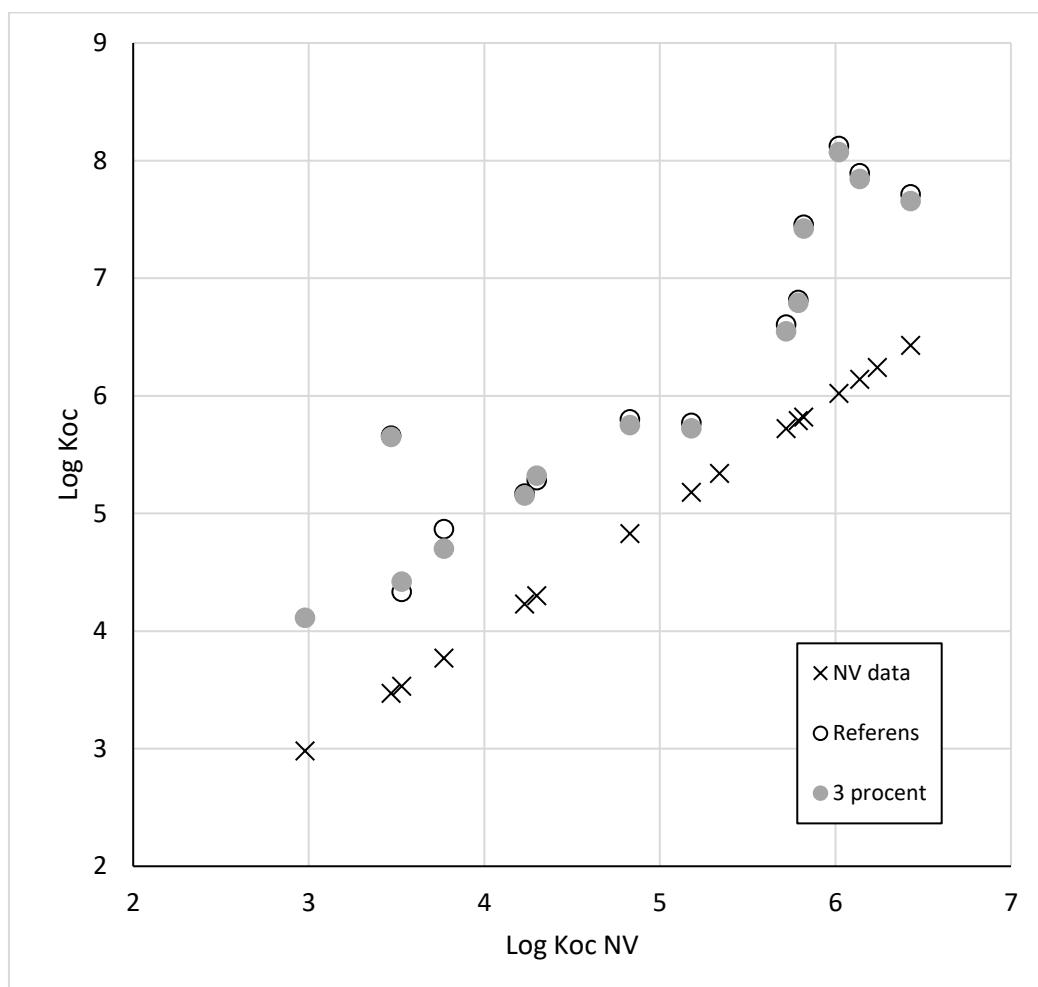
Ett headspace-försök utfördes med jorden från Oceanhamnen. I headspace-försöket inkluderades ytterligare en behandling, ett biokolslager lades ovanpå den förorenade jorden. Försöket visade generellt på högst halter i den obehandlade jorden och lägst halter i faten med ett biokolslager på toppen. Undantag är aromater C8-C10, alifater C8-C10 och alifater C12-C16 som endast kunde påvisas i faten med ett biokolslager på toppen. Inga statistiska analyser av skillnaderna har gjorts. Resultaten är svårtolkade eftersom det är oklart var de föroreningar som uppmäts i analyserna kommer från. Två veckor före headspace-försöket genomfördes en mätning av VOC-halterna i porgasen och låga halter uppmättes. Halterna av VOC var betydligt högre vid headspace-försöket.

Faten med jord från Oslopiren användes också i ett försök att genom att höja temperaturen öka ångavgången av PAH. Det kunde konstateras att fler PAH kunde påvisas i porgasen, men på grund av problem med kondens kunde bara proverna från två tunnor, båda obehandlade, analyseras. Även i dessa adsorbenter fanns kondens vilket gör att porgaskoncentrationerna inte kan bestämmas, eftersom kondensen har påverkat flödet.

Effekten av behandlingen undersöktes också med POM-analys för att mäta de fritt lösta koncentrationerna av PAH i porvatten vid jämvikt. I båda försöken visade resultaten på generellt lägre halter i behandlad jord. Effekten var dock större i jorden från Oslopiren, där var skillnaderna statistiskt signifikanta för alla undersökta PAH. I jorden från Oceanhamnen var skillnaden statistiskt signifikant endast för acenaften.



En jämförelse av K_{OC} i behandlad och obehandlad jord visar att i försöket med jord från Oceanhamnen var K_{OC} generellt ungefär lika i obehandlad och behandlad jord, och i flera fall lägre i behandlad jord. Detta framgår av diagrammet i figur 29 där log K_{OC} för obehandlad (Referens) och behandlad jord (3 procent), för jämförelse redovisas även de K_{OC} -värden som används i Naturvårdsverkets riktvärdesmodell. Biokolet som användes i försöket var alltså inte bättre än det organiska material som redan fanns i jorden på att fastlägga PAH, för några ämnen till och med något sämre. Att porvattenhalterna var något lägre i den behandlade jorden tyder ändå på att tillsatsen av biokol bidrog till fastläggning av PAH.

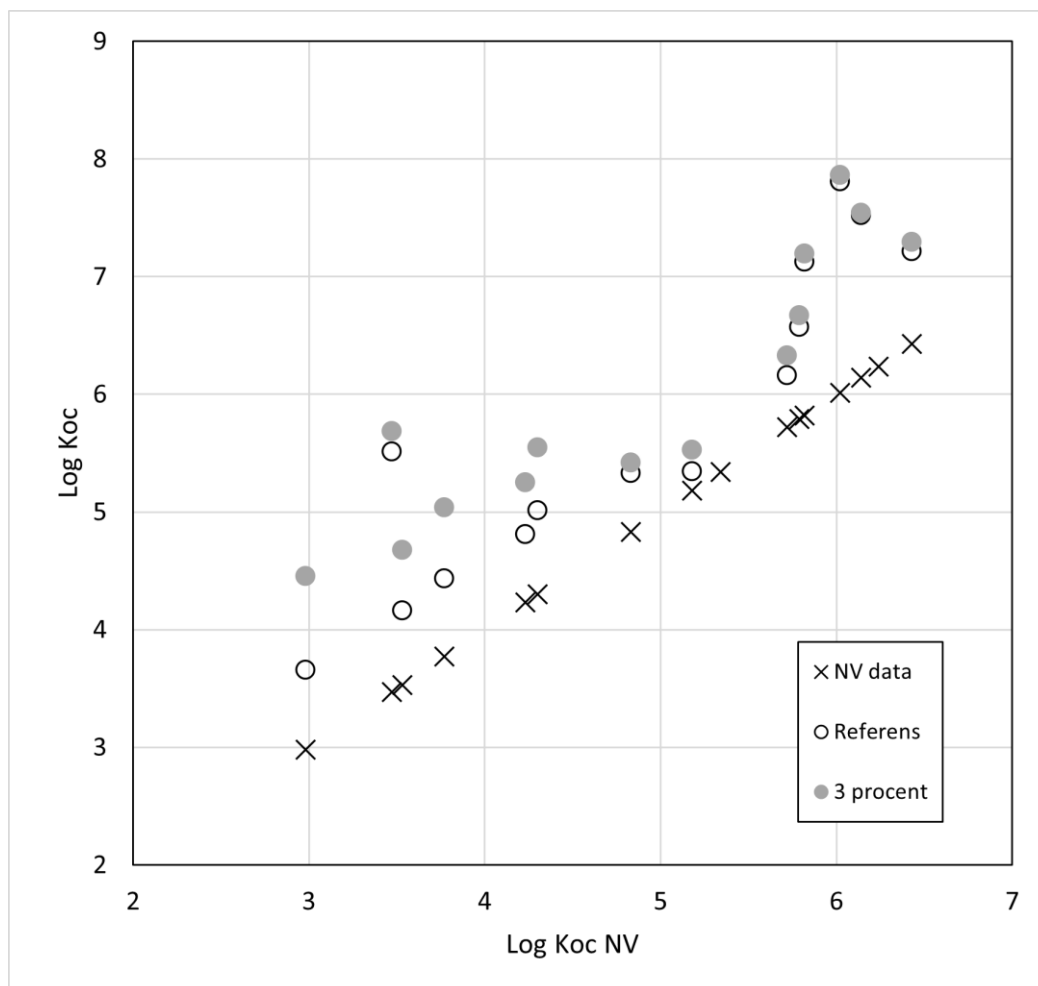


Figur 29. Medelvärden av K_{OC} i behandlad respektive obehandlad jord från Oceanhamnen jämfört med K_{OC} i Naturvårdsverkets beräkningsverktyg. Høgt K_{OC} innebär lägre lakning.



Motsvarande jämförelse för försöket med jord från Oslopiren redovisas i figur 30. Här syns att K_{oc} i den behandlade jorden (3 procent) generellt är högre än i den obehandlade jorden (Referens). Skillnaderna i K_{oc} är inte statistiskt signifikanta. Resultaten indikerar ändå att biokolsbehandlingen i det här fallet ökat fastläggningen mer än vad som motsvaras av bara tillsatsen av organiskt kol.

En jämförelse mellan diagrammen i figur 29 och 30 visar att K_{oc} i den obehandlade jorden från Oceanhamnen var högre än K_{oc} i den obehandlade jorden från Oslopiren, i flera fall även högre än den behandlade jorden från Oslopiren. De två jordarna hade alltså olika förmåga att fastlägga föroreningar från början och har behandlats med olika biokol. Skillnaderna i behandlingsresultat kan bero både på skillnader mellan biokolen och skillnader mellan jordarna.



Figur 30. Medelvärden av K_{oc} i obehandlad (referens) och behandlad (3 procent) jord från Oslopiren jämfört med K_{oc} i Naturvårdsverkets beräkningsverktyg.



6.2 Jämförelse med Naturvårdsverkets riktvärdesmodell

Mycket tyder på att vi generellt vid riskbedömning av förorenad jord, om halter i jord endast jämförs med generella riktvärden eller platsspecifika riktvärden beräknade med Naturvårdsverkets beräkningsverktyg², överskattar riskerna med ånginträngning av PAH.

I figur 31, 32, 33 och 34 jämförs beräknade porgashalter med uppmätta porgashalter. Beräknade halter har tagits fram med hjälp av Naturvårdsverkets beräkningsverktyg från uppmätta halter i jord (bladet "Halter" i beräkningsverktyget) samt från den fritt lösta koncentrationen i porvatten (bestämd med POM) med samma modell för fördelning mellan porvatten och jord som ingår i beräkningsverktyget.

I figur 31 och 32 visas porgaskoncentrationer för PAH-L, PAH-M och PAH-H i fat 5 i försöket med jord från Oceanhamnen. Resultaten är liknande för övriga fat, men fat 5 valdes för att både naftalen och acenaftylen påvisades i halter över rapporteringsgränsen i porgas. I figur 33 och 34 visas medelvärden av porgashalter för PAH-L och PAH-M, beräknade och uppmätta, i obehandlad (referens) och biokolsbehandlad (3 procent) jord i försöket med jord från Oslopiren (resultat för PAH-H redovisas inte).

Det kan konstateras att för PAH-L (figur 31 och 33) och PAH-M (figur 31 och 34) överskattar riktvärdesmodellen halter i porgas när beräkningen utgår från halter i jord. Utgår man istället från halter i porvatten överskattas också halterna i porgas, men i mindre utsträckning. POM-analys verkar alltså ge en bättre, men fortfarande konservativ, skattning av halter i porgas och i förlängningen risken för ånginträngning och människors exponering via inandning av ånga. Detta är i linje med resultat från tidigare forskningsprojekt om PAH i porgas (Back, Pettersson, Berggren Kleja, Ohlsson, & Carling, 2016).

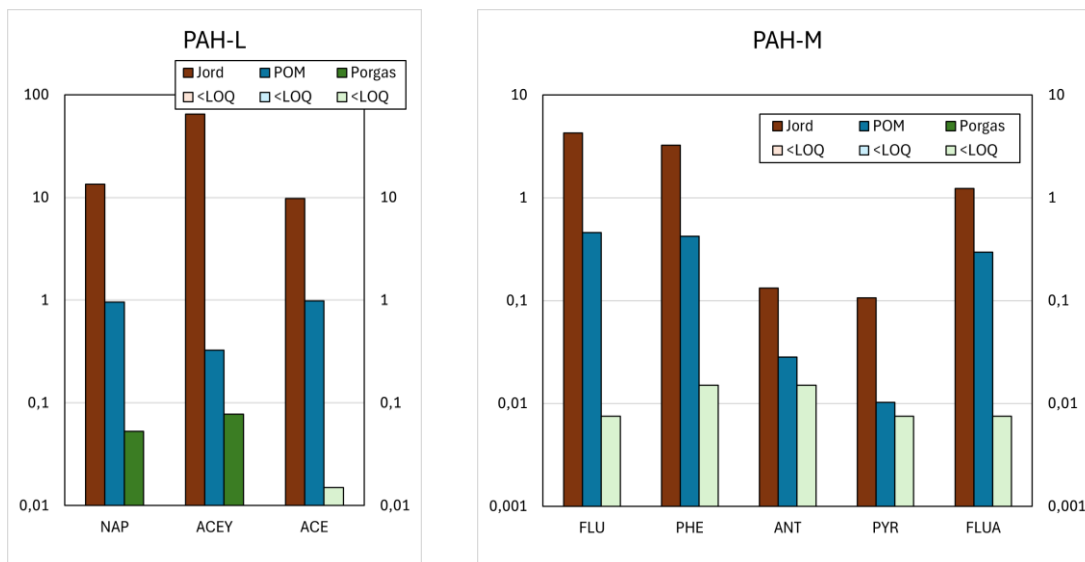
Fördelning mellan jordens olika faser beskrivs i riktvärdesmodellen av fördelningskoefficienter mellan jord och porvatten, K_d , och mellan vatten och gas, Henrys konstant (H). För organiska föroreningar beräknas K_d från K_{OC} och andelen organiskt material (f_{OC}). En mätning av porvattenhalt innebär en mätning närmare den plats där exponering kan uppstå än en mätning i jord. Från jord modelleras halten i porvatten och därifrån halten i porgas (halten i inomhusluft modelleras i sin tur från halter i porgas). Mätning av porvattenhalten innebär alltså att vi skippar ett beräkningssteg i riktvärdesmodellen.

Vi kan konstatera att K_{OC} i de undersökta jordarna är betydligt högre än K_{OC} som används i Naturvårdsverkets beräkningsverktyg (se figur 29 och 30). Detta är en förklaring till att uppmätta porgashalter stämmer bättre med beräknade halter baserade på POM-analys än beräknade halter baserade på jordanalys. Detta är dock inte hela förklaringen, se figur 31, 33 och 34, vilket även diskuteras av Back, Pettersson, Berggren Kleja, Ohlsson, & Carling (2016). När det gäller PAH-H är mätmetoderna för halten i porgasen inte tillräckligt känsliga (figur 32)

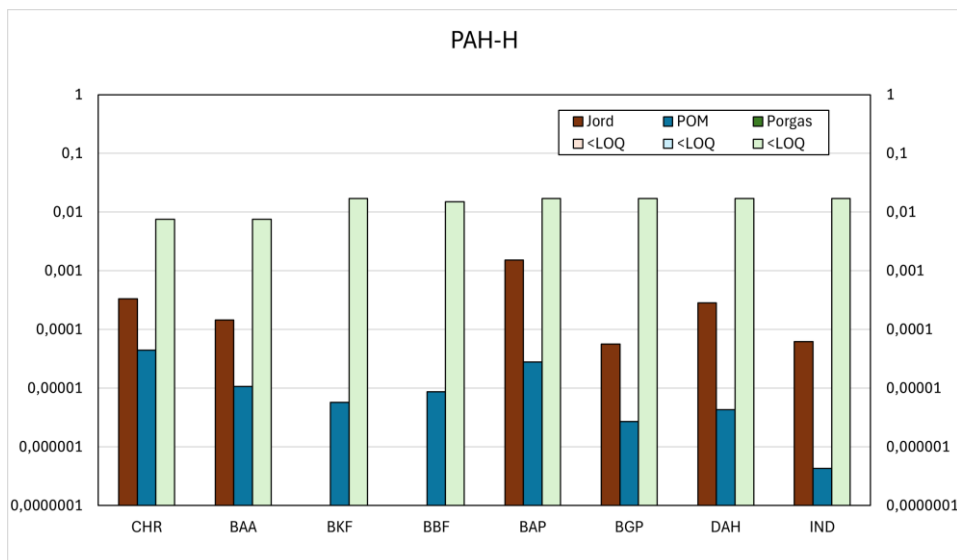
² Med platsspecifika data för jordens fastläggningsförmåga är det möjligt att använda beräkningsverktyget för att ta fram riktvärden som bättre speglar risken för ånginträngning, se (Berggren Kleja, Johansson, & Enell, 2026).



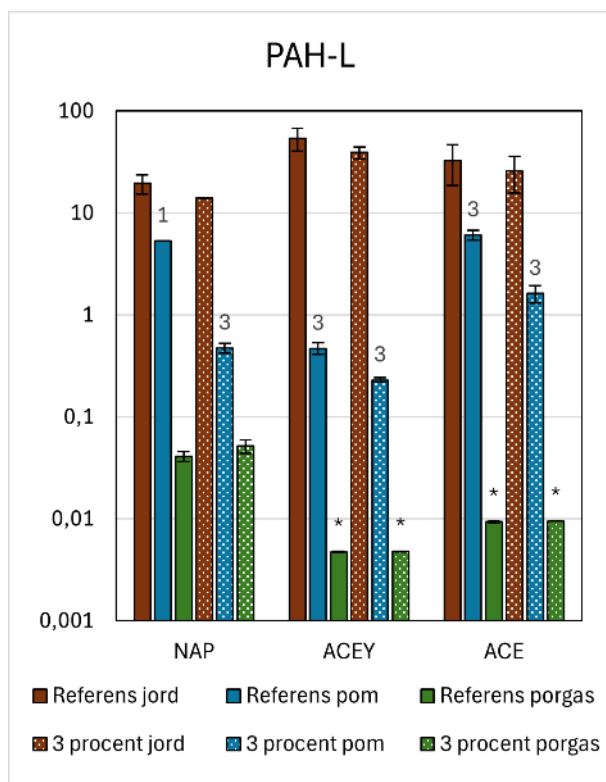
för att visa hur väl de beräknade halterna stämmer. Inandning av ånga är inte styrande för riktvärden för PAH-H, därför bedöms det inte vara ett problem att det inte går att kontrollera de faktiska halterna i porgas.



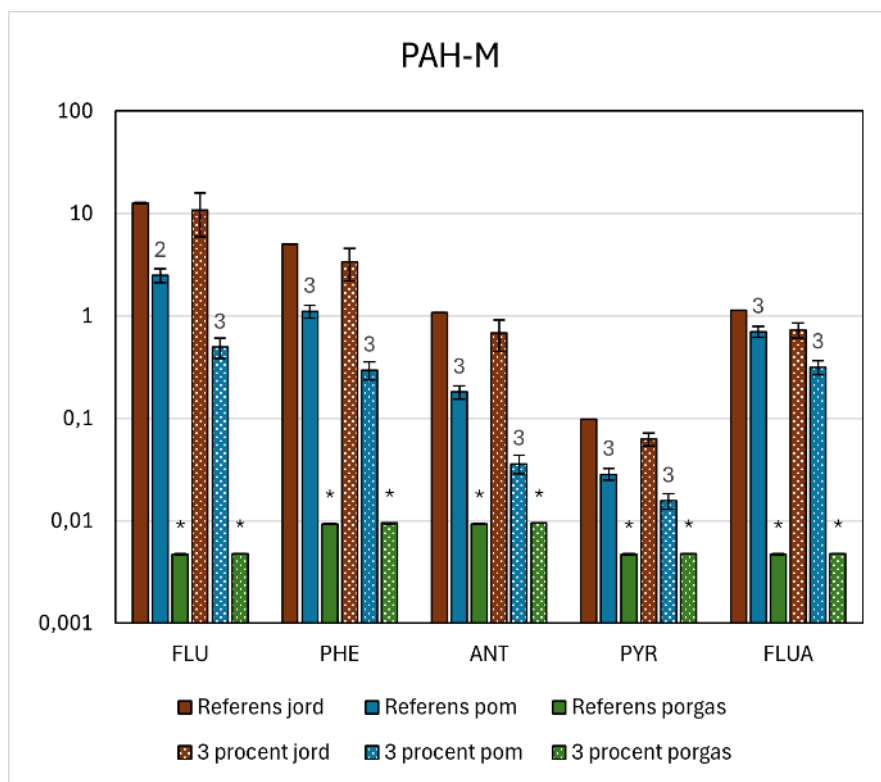
Figur 31. Porgashalter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) beräknade med Naturvårdsverkets riktvärdesmodell från halter i jord (rödbrun), från halter i porvatten (blå) samt uppmätta porgashalter (grön). Ljusare staplar visar analysens rapporteringsgräns då halterna var under rapporteringsgränsen.. Exempel från försöket med jord från Oceanhamnen, fat 5 (med 3% biokol)



Figur 32. Porgashalter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) beräknade med Naturvårdsverkets riktvärdesmodell från halter i jord (rödbrun), från halter i porvatten (blå) samt rapporteringsgränsen för de analyserade porgashalterna (ljusgrön) (samtliga halter var under rapporteringsgränsen). Exempel från försöket med jord från Oceanhamnen, fat 5 (med 3% biokol).



Figur 33. Medelvärden av porgashalter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) beräknade med Naturvårdsverkets riktvärdesmodell från halter i jord (rödbrun), från halter i porvatten (blå) samt uppmätta porgashalter (grön) för jord från Oslopiren. Helfärgade staplar avser referensen och prickade staplar avser biokolsbehandlad jord. Siffran ovanför de blå staplarna visar hur många prov som ingår i medelvärdet (resultat som inte var tillförlitliga på grund av för hög utarmning har uteslutits, se avsnitt 5.2.2). En stjärna ovanför de gröna staplarna visar att halterna var under rapporteringsgränsen i samtliga prov. Notera att skalan är logaritmisk.



Figur 34. Medelvärden av porgashalter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) beräknade med Naturvårdsverkets riktvärdesmodell från halter i jord (rödbrun), från halter i porvatten (blå) samt uppmätta porgashalter (grön) för jord från Oslopiren. Helfärgade staplar avser referensen och prickade staplar avser biokolsbehandlad jord. Siffran ovanför de blå staplarna visar hur många prov som ingår i medelvärdet (resultat som inte var tillförlitliga på grund av för hög utarmning har uteslutits, se avsnitt 5.2.2). En stjärna ovanför de gröna staplarna visar att halterna var under rapporteringsgränsen i samtliga prov. Notera att skalan är logaritmisk.

De genomförda porgasundersökningarna visade att Naturvårdsverkets riktvärdesmodell överskattar ångavgången av PAH-L och PAH-M i de aktuella jordarna. Vid en riskbedömning utifrån de generella riktvärdena skulle det också innebära en överskattning av risken för ånginträngning. Andra undersökningar har visat på liknande resultat, det vill säga att riktvärdesmodellen överskattar halter av PAH-L och PAH-M i porgas (Back, Pettersson, Berggren Kleja, Ohlsson, & Carling, 2016) och resultat från POM-analyser visar på samma resultat i det utförda fältförsöket i AP2 (Enell, Berggren Kleja, Au Musse, Tiberg, & Larsson, 2026). Genom att använda platsspecifika ämnesdata kan platsspecifika riktvärden som bättre beskriver risksituationen på den aktuella platsen tas fram. Hur det kan göras beskrivs i en rapport framtagen inom AP4 (Berggren Kleja, Johansson, & Enell, 2026).

6.3 Felkällor

Vid analys av halten organiskt kol i de behandlade jordarna såg vi inte en så stor ökning av TOC som förväntat (en ökning som skulle motsvara inblandning av 3 % biokol). Resultaten är liknande för båda försöken. Vad detta beror på är inte fastställt. En möjlig orsak är att biokolet vid provtagningen med geokäppen tryckts nedåt i fatet och provet som togs upp innehöll lägre



andel biokol. En annan orsak skulle kunna vara en effekt av att det finkorniga biokolet vid påfyllning och transport av faten har förflyttats nedåt i kärlet. En tredje är att den valda TOC-analysen ger upphov till analysfel. POM-testerna och TOC-analysen är utförda på delprover från samma jord, och den analyserade TOC-halten har använts vid beräkning av K_{OC} . Om TOC-resultaten är sanna har POM-testerna utförts på jord som behandlats med en lägre andel biokol än 3%, men de beräknade K_{OC} -värdena för behandlad jord har inte överskattats. Om det istället skulle vara ett analysfel kan K_{OC} ha överskattats i biokolsbehandlad jord.

Analys av naftalen och övriga PAH-L är förknippad med störningskällor.

Vidare innehöll de använda biokolen naftalen i högre halter än den jord som undersöktes (5,1 mg/kg för biokolet från Bara Mineraler och 2,6 mg/kg från Kiplingeberg) och det kan inte uteslutas att detta påverkat testerna. Biokolet som användes i försöket i AP2 innehöll förhållandevis hög halt av naftalen. Trots detta var de fritt lösta halterna av naftalen lägre i den jord som behandlats med biokol än i den obehandlade jorden (Enell, Berggren Kleja, Au Musse, Tiberg, & Larsson, 2026). Samma mönster kunde noteras i försöket med jord från Oslopiren.

Det kunde konstateras att det var stora skillnader mellan första och andra porgasmätningen på massorna från Oceanhamnen när det gäller totalhalt VOC. Halterna var betydligt lägre vid det andra mättillfället trots att faten under 9 månader varit förslutna (med en aluminiumfilm och plåtlock). Vid analys av VOC analyseras även ett antal ingående ämnen. Vid första tillfället kunde större delen av VOC-halterna (>90 %) förklaras av dessa ämnen, medan dessa ämnen kunde förklara en mindre andel (ca 30 %) vid det andra tillfället. Anledningen skulle kunna vara nedbrytning och omvandling av föroreningarna men detta har inte studerats. Vid headspace-analysen var VOC-halterna högre igen, men vid detta tillfälle kunde i princip inget förklaras av de ingående ämnena.

Vid försöken genomfördes ingen analys av luften som omgav behållarna. Detta vore av betydelse framför allt för headspace-försöket eftersom försöksuppställningen innebar att luft pumpades in utifrån och genom den förorenade jorden. Även vid porgasförsöken skulle omgivningsluften kunna ha påverkat eftersom faten behövde öppnas för att installera pumpar inför varje mättillfälle.

6.4 Biokolens egenskaper

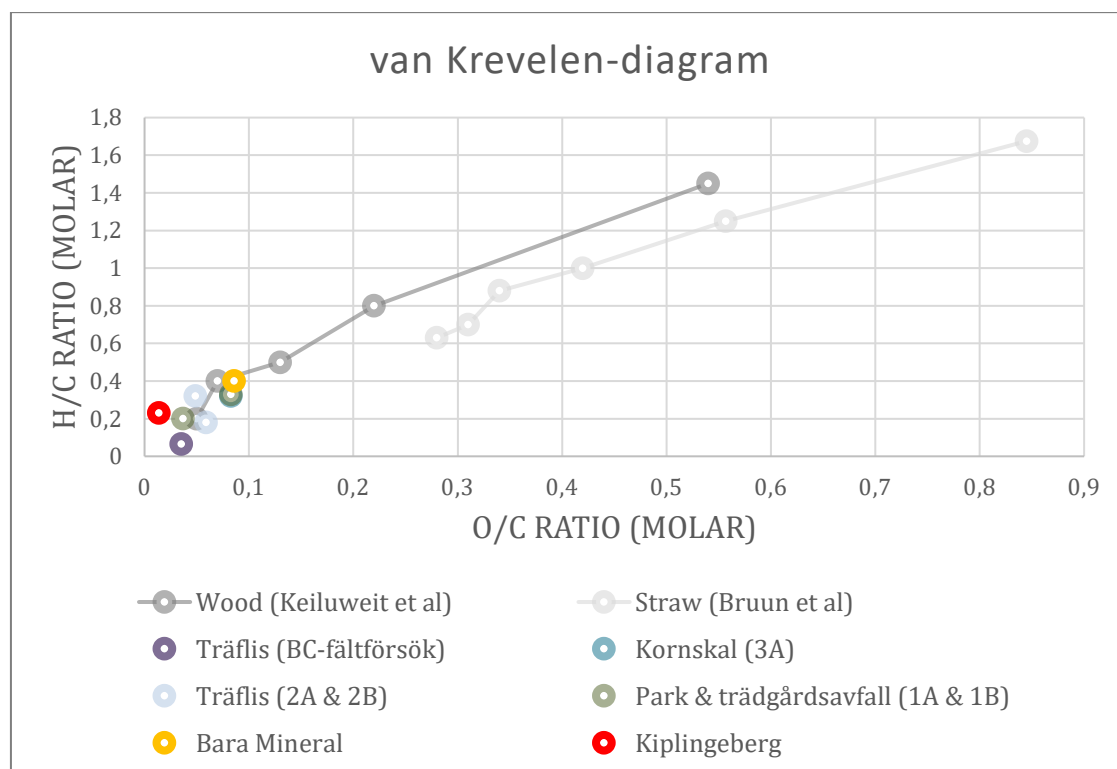
Träbaserade biokol som pyrolyserats vid hög temperatur kan få egenskaper som gör att de får högre bindningsförmåga än naturligt organiskt kol. Dessutom är denna typ av biokol mycket stabilt och motståndskraftigt mot nedbrytning jämfört med naturligt organiskt material (Lehman & Joseph, 2009). Detta är mycket viktigt när vi talar om riskreducering med avseende på exponering för föroreningar, eftersom det innebär en varaktig fastläggning. För de aktuella biokolen kan konstateras att biokolet från Bara Mineraler inte hade bättre fastläggningsförmåga av PAH än den förorenade jorden från Oceanhamnen, men att biokolet från Kiplingeberg hade bättre fastläggningsförmåga än jorden från Oslopiren. Samtidigt hade jorden från Oceanhamnen bättre fastläggningsförmåga än jorden från Oslopiren.



Vi kan konstatera att det är skillnader på olika biokol, resultaten visar att för bäst fastläggningsseffekt är det viktigt välja ett för föroreningen lämpligt biokol, då biokolets förmåga att binda organiska ämnen varierar. Bäst är det att använda ett biokol som bildats vid pyrolys av träråvara med hög ligninhalt vid en hög temperatur, gärna över 700 °C. Biokolet blir då av hydrofob karaktär och askhalten blir låg (hög andel kol). Den specifika ytan blir också högre vid en högre pyrolystemperatur även om det i nuläget är svårt beskriva den specifika ytan med stor noggrannhet genom konventionella analyser.

De båda biokolen som använts skulle på pappret vara liknande, båda är EBC-certifierade och skulle ha låg halt PAH, vara pyrolyserade vid hög temperatur och gjorda på träflis med hög ligninhalt. Det visade sig att kolen skilde sig åt i många avseenden, bland annat askhalt och PAH-halt.

Kolens egenskaper kan presenteras i ett så kallat van Krevelen-diagram för att grafiskt visa förhållandet mellan väte/kol (H/C) och syre/kol (O/C) för olika typer av biokol (t.ex. från träflis eller kornskal) vid olika pyrolystemperaturer. I figur 35 presenteras ett van Krevelen-diagram med där de två biokolens egenskaper åskådliggörs och jämförs med andra i projektet aktuella biokol samt två referenskol (där förbränning skett vid olika temperaturer).



Figur 35. Temperaturserier för två olika råvaror; 1) ligninrik- (Keiluweit, Kleber, Sparrow, Simoneit, & Prah, 2012) och 2) cellulosa-rik biomassa (Bruun, o.a., 2011), samt undersökta biokol i Biokol-RE:source (Enell, o.a., 2020): Träflis: 2A (500 °C), 2B (600 °C), BC-fältstudie (750 °C), Kornskal, 3A (600 °C), Park- (1B, 650 °C)- och trädgårdsavfall (1A, 700 °C), biokol från Bara Mineraler (650 °C) samt från Kiplingeberg (750 °C)



Vidare kan det konstateras att leverantörens specifikation avseende biokolets kvaliteter kan skilja sig från den inköpta batchen. Pyrolysen och därmed biokolets egenskaper påverkas av insatsvarans varierande egenskaper t ex fukthalt, innehåll av grönt material, växtslag m.m. vilket gör det svårt att helt lita på biokolets kvalitet. För att borga för en jämn och hög kvalitet kan man med fördel välja en producent med låg variation på inkommande material samt en hantering av råvaran (alternativt en förbehandling) som medför att fukthalten i ingående material varierar så lite som möjligt.

Sammantaget visar försöken att olika biokol kan ha olika kapacitet att fastlägga PAH samtidigt som platsspecifika förutsättningar också påverkar lösligheten av PAH och möjligheten att behandla med biokol. En viktig lärdom är därför att utföra någon form av förstudie för att undersöka den valda biokolens platsspecifika effekt innan en fullskalig åtgärd utförs.

Vi rekommenderar att man testar biokolets bindningsförmåga tillsammans med den förorenade jorden i labbskala. För PAH och andra liknande hydrofoba organiska ämnen kan testet utföras med POM-metoden (eller likvärdig metod), och tillsammans med analys av TOC och föroreningshalter i jorden kan K_{OC} bestämmas för den obehandlade och den biokolsbehandlade jorden.



7 Slutsats

Förstudien, som utfördes i obehandlad jord, visade att Naturvårdsverkets riktvärdesmodell för flera föroreningar överskattar halter i porgas jämfört med uppmätta halter, i vissa fall kraftigt. Överskattningen varierade från mer än 10 gånger för pyren, ca 100 gånger eller mer för antracen, fenantren och fluoranten till >1 000 gånger för PAH-L (naftalen, acenaftalen, acenaften), fluoren, kvicksilver, bensen och alifat >C5–C8.

I de aktuella förorenade massorna förångas inte PAH-L och -M i lika stor utsträckning som Naturvårdsverkets riktvärdesmodell anger. Detta har visats med direkta mätningar av porgashalter samt indirekt genom beräkningar från resultat från POM-analys. Detta innebär i förlängningen att risker med inandning av ånga kan vara överskattade, men det finns också andra förutsättningar som påverkar spridning från porluft till inomhusluft. Vår bedömning är att åldrade PAH ofta är hårdare bundna till jorden än vad data i riktvärdesmodellen anger.

När det gäller effekten av biokol, på halten i porgasen var det svårt att dra några slutsatser eftersom halterna i porgasen i de obehandlade jordarna (referensen) för de flesta undersökta ämnen var under rapporteringsgränsen. Endast för acenaftylen var halterna i den biokolsbehandlade jorden signifikant lägre än i referensen, det vill säga behandling med biokol medförde att halten acenaftylen i porgas minskade. För VOC kunde ingen reduktion ses vid inblandning av biokol.

POM-analyserna bidrog med värdefull information om lösligheten av PAH och jordarnas fastläggande förmåga, med och utan biokolsbehandling. Biokolen som kom från olika leverantörer hade olika karaktär vilket kan ha påverkat fastläggningen. Förutsättningarna (jordens sammansättning och ursprung) från start var olika i de olika jordarna.

Den generella rekommendationen efter projektets genomförande är att POM-metoden i kombination med analys av TOC och halter i jord för att bestämma K_{oc} och beräkna porgashalt alltid bör användas, se vidare i rapporten från BALANCE AP4 (Berggren Kleja, Johansson, & Enell, 2026).

Sammanfattningsvis bedöms projektet bidra till att nyansera riskerna med några av de vanligaste flyktiga föroreningarna. Det finns nu ett flertal studier som pekar i samma riktning, dvs. beräkningsmodellen ofta underskattar hur hårt dessa föroreningar (framförallt PAH) binds till jordmatrisen. Man kan i många fall förbättra bedömningsunderlaget genom att göra POM-analyser på jorden och/eller porgasmätningar.

Det är inte ovanligt att generella riktvärden används vid bedömning av åtgärdsbehovet. Projektet har visat att detta i många fall kan leda till en överskattning av åtgärdsbehovet. Ett bättre underlag för riskbedömning ger en bättre bedömning av åtgärdsbehovet. En väl underbyggd riskbedömning visar också på vilka risker som behöver beaktas och vilka behandlingsmetoder som kan vara aktuella.



BALANCE har visat att biokol kan öka fastläggningen av PAH vilket bidrar till att riskerna reduceras. Projektet visar också att behandlingsresultaten varierar mellan olika jordar och biokol. Det kan också konstateras att innan fullskaliga avhjälpandeåtgärder projekteras bör tester i labbskala genomföras, inklusive fullständig analys av biokolet med avseende på de parametrar som är betydelsefulla för biokolets egenskaper.

Bättre bedömningar av åtgärdsbehov samt användning av biokol för att reducera risker kan bidra till att reducera mängden av framför allt djupa schaktarbeten genomförs vid exploatering av förorenade områden. Detta kommer i sin tur att ha en positiv inverkan på målen att reducera projektens klimatpåverkan genom minskade transporter och minskad användning av anläggningsmaskiner. Det kommer även att minska belastningen på deponierna och minska användningen av återfyllnadsmaterial som i praktiken ofta innebär användning av naturresurser.



8 Referenser

- Back, P.-E., Pettersson, M., Berggren Kleja, D., Ohlsson, Y., & Carling, M. (2016). *Wermlandskajen och Klaraborgs före detta gasverk – WP2 - PAH i porgas: Provtagning, modellering och övergripande metodik vid riskbedömning*. Linköping: Sveriges Geotekniska Institut (SGI).
- Berggren Kleja, D., & Enell, A. (2021). *Ekologisk riskbedömning, Att använda kemiska biotillgänglighetsmetoder i platsspecifik ekologisk riskbedömning*. Linköping: Statens geotekniska institut, SGI.
- Berggren Kleja, D., Johansson, M., & Enell, A. (2026). *Biokolsbehandling av PAH- och metallförorenad jord, Metodik för platsspecifik riskbedömning*. Linköping: Statens geotekniska institut, SGI. Hämtat från <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:swedgeo:diva-1191>
- Bruun, E. W., Hauggard-Nielsen, H., Ibrahim, N., Egsgaard, H., Ambus, P., Jensen, P. A., & Dam-Johansen, K. (2011). Influence of fast pyrolysis temperature on biochar labile fraction and short-term carbon loss in a loamy soil. *Biomass and Bioenergy*, 35, 1182-1189.
- Carbon standards international. (den 11 12 2025). *European Biochar Certificate (EBC)*. Hämtat från Standard for European Biochar Certification (EBC): <https://www.carbon-standards.com/en/standards/service-492~production-of-biochar.html>
- Enell, A., Azzi, E. S., Berggren Kleja, D., Dahlin, S., Flyhammar, P., Hallin, S., . . . Tiberg, C. (2020). *Biokol-från organiskt avfall till resurs för nyttiggörande av jordavfall Syntesrapport*. Linköping: Statens geotekniska institut, SGI.
- Enell, A., Berggren Kleja, D., Au Musse, A., Tiberg, C., & Larsson, M. (2026). A five year field study of biochar amended contaminated soil: Effects of biochar and peat amendments on freely dissolved concentrations of PAHs, bioavailability to grass and earthworm. Opublicerat manuskript.
- HelsingborgsMuseum. (den 16 09 2025). *Carlotta databas för museiesamlingar*. Hämtat från Bildsamling: <https://museum.helsingborg.se/web;jsessionid=04HG5UIxW3TJltEiCPI0szWJTGRFyJTPGFE8tzNG.a002276>
- Keiluweit, M., Kleber, M., Sparrow, M. A., Simoneit, B. R., & Prah, F. G. (2012). Solvent-Extractable Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Biochar: Influence of Pyrolysis Temperature and Feedstock. 46, 9333-9341. Hämtat från <https://doi.org/10.1021/es302125k>
- Lehman, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. London: Earthscan.



Mayer, P., Tolls, J., Hermens, J., & Mackay, D. (2003). Peer reviewed: Equilibrium sampling devices. *Environmental Science & Technology*, 37(9), 184A-191A.
doi:10.1021/es032433i

Naturvårdsverket. (2009). *Riktvärden för förorenad mark. Modellbeskrivning och vägledning*. Stockholm: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket. (den 28 oktober 2022). Beräkningsprogram. (*version 2.1*).
Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket. (den 25 september 2025). Beräkningsprogram. (*version 2.3.2*).
Naturvårdsverket. Hämtat från
<https://www.naturvardsverket.se/4a7b57/globalassets/vagledning/fororenade-omraden/riktvarden/version-2-3-2-nv-berakningsprogram-rv-mark-2025-09-25.xlsm>

Eurofins Umwelt Ost GmbH - Lindenstraße 11 - Gewerbegebiet Freiberg Ost -
D-09627 Bobritzsch-Hilbersdorf

Eurofins Environment Testing Sweden AB
Box 737
53117 Lidköping
SWEDEN

Title : **Analytical Report for Order 12343483**

Test report number : **AR-23-FR-049062-01**

Project name : **analysis of waste**

Number of samples : **2**

Sample type: **coal**

Sample Taker: **not specified, sample(s) were delivered to lab**

Sample reception date : **2023-10-04**

Sample processing time : **2023-10-04 - 2023-10-19**

The test results solely refer to the analysed test specimen. Unless the sampling was done by our laboratory or in our sub-order the responsibility for the correctness of the sampling is disclaimed. This analytical report is electronically signed and may only be further published completely and unchanged. Extracts or changes require the authorisation of the EUROFINS UMWELT in each individual case.

Our General Terms & Conditions of Sale (GTCS) are applicable, as far as no specific agreements do exist. The GTCS are available on <http://www.eurofins.de/umwelt/avb.aspx>.

Accredited test laboratory according to DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS notification under the DAkkS German Accreditation System for Testing. The laboratory is according (D-PL-14081-01-00) accredited.

Attachments

XML_Export_AR-23-FR-049062-01.xml

Marie Peterhänsel
Analytical Service Manager

+49 3731 2076 543

Digitally signed 10/23/2023
Marie Peterhänsel
Analytical Service Manager



Description	Biokol Balance Bara Mineral
Customer Reference	177-2023-09281597
Sample number	123154771

Parameter	Lab	Accr.	Method	LOQ	Unit	ar	db
-----------	-----	-------	--------	-----	------	----	----

Physico-chemical parameters from the original substance

Bulk density < 3 mm	FR		based on VDLUFA-Methode A 13.2.1		kg/m ³	-	345
Moisture	FR	F5	DIN 51718: 2002-06	0.1	% (w/w)	21.5	-
water holding capacity (WHC) < 2 mm	FR		DIN EN ISO 14238, A: 2014-03		%	-	106.0
pH in CaCl ₂	FR		DIN ISO 10390: 2005-12			8.3	-
Conductivity at 1,2 t pressure	FR		Internal Method SAA-H-Lf-Pflanzenkohle.040	0.01	mS/cm	-	< 0.01
Conductivity at 2 t pressure	FR		Internal Method SAA-H-Lf-Pflanzenkohle.040	0.01	mS/cm	-	< 0.01
Conductivity at 3 t pressure	FR		Internal Method SAA-H-Lf-Pflanzenkohle.040	0.01	mS/cm	-	< 0.01
Conductivity at 4 t pressure	FR		Internal Method SAA-H-Lf-Pflanzenkohle.040	0.01	mS/cm	-	< 0.01
Conductivity at 5 t pressure	FR		Internal Method SAA-H-Lf-Pflanzenkohle.040	0.01	mS/cm	-	< 0.01

Inorganic sum parameters from the original substance

Total inorganic carbon (TIC)	FR	F5	DIN 51726: 2004-06	0.1	% (w/w)	0.3	0.4
carbonate-CO ₂	FR	F5	DIN 51726: 2004-06	0.4	% (w/w)	1.2	1.5
Ash content (550°C)	FR	F5	DIN 51719: 1997-07	0.1	% (w/w)	8.8	11.2
salt content	FR		BGK III. C2: 2006-09	0.005	g/kg	1.15	-
salt content	FR		BGK III. C2: 2006-09	0.005	g/l	0.398	-

Elements from the original substance

Total carbon	FR	F5	DIN 51732: 2014-07	0.2	% (w/w)	60.9	77.6
Hydrogen	FR	F5	DIN 51732: 2014-07	0.1	% (w/w)	2.0	2.6
Total nitrogen	FR	F5	DIN 51732: 2014-07	0.05	% (w/w)	0.36	0.46
Total nitrogen	FR	F5	DIN 51732: 2014-07	0.5	g/kg	3.6	4.6
Sulphur (S), total	FR	F5	DIN 51724-3: 2012-07	0.03	% (w/w)	< 0.03	0.03
Oxygen	FR	F5	DIN 51733: 2016-04		% (w/w)	7.0	8.9
H/C ratio (molar)	FR		Calculation			0.40	0.40
H/Corg ratio (molar)	FR		Calculation			0.40	0.40
O/C ratio (molar)	FR		Calculation			0.086	0.086

Description	Biokol Balance Bara Mineral
Customer Reference	177-2023-09281597
Sample number	123154771

Parameter	Lab	Accr.	Method	LOQ	Unit	ar	db
-----------	-----	-------	--------	-----	------	----	----

Elements from the micro wave pressure digestion acc. to DIN 22022-1: 2014-07

Arsenic (As)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0.8	mg/kg	-	< 0.8
Lead (Pb)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	2	mg/kg	-	15
Boron (B)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	1	mg/kg	-	14
Cadmium (Cd)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0.2	mg/kg	-	0.2
Chromium (Cr)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	1	mg/kg	-	11
Copper (Cu)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	1	mg/kg	-	17
Manganese (Mn)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	1	mg/kg	-	693
Nickel (Ni)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	1	mg/kg	-	1
Mercury (Hg)	FR	F5	DIN 22022-4: 2001-02	0.07	mg/kg	-	< 0.07
Silver (Ag)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	5	mg/kg	-	< 5
Zinc (Zn)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	1	mg/kg	-	115

Elements fr. the borate dig. of ash 550°C acc. to DIN 51729-11: 1998-11 rel. ash

Calcium as CaO	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	% (w/w)	-	9.4
Iron as Fe ₂ O ₃	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	% (w/w)	-	3.8
Potassium as K ₂ O	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	% (w/w)	-	4.1
Magnesium as MgO	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	% (w/w)	-	1.6
Sodium as Na ₂ O	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	% (w/w)	-	1.7
Phosphorus as P ₂ O ₅	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	% (w/w)	-	0.9
sulphur as SO ₃	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	% (w/w)	-	6.7
Silicon as SiO ₂	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	% (w/w)	-	57.0

Elements fr. the borate digestion of ash 550°C acc. to DIN 51729-11:1998-11 (OS)

Calcium as CaO	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	g/kg	-	10.6
Iron (Fe)	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	g/kg	-	3.0
Potassium as K ₂ O	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	g/kg	-	4.6
Magnesium as MgO	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	g/kg	-	1.7
Sodium as Na ₂ O	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	g/kg	-	1.9
Phosphorus as P ₂ O ₅	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	g/kg	-	1.0
sulphur as SO ₃	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	g/kg	-	7.5
Silicon (Si)	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09	0.1	g/kg	-	29.9

Organic sum parameters from the original substance

carbon (organic)	FR		Calculation		% (w/w)	60.6	77.2
------------------	----	--	-------------	--	---------	------	------

				Description		Biokol Balance Bara Mineral	
				Customer Reference		177-2023-09281597	
				Sample number		123154771	
Parameter	Lab	Accr.	Method	LOQ	Unit	ar	db
PAH from the original substance after toluene extraction							
Naphthalene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	5.1
Acenaphthylene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	< 0.1
Acenaphthene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	< 0.1
Fluorene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	0.2
Phenanthrene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	1.6
Anthracene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	0.3
Fluoranthene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	0.8
Pyrene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	0.5
Benz(a)anthracene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	0.1
Chrysene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	0.1
Benzo(b)fluoranthene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	< 0.1
Benzo(k)fluoranthene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	< 0.1
Benzo(a)pyrene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	< 0.1
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	< 0.1
Dibenz(a,h)anthracene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	< 0.1
Benzo(g,h,i)perylene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	< 0.1
Total 8 EFSA-PAH excl. LOQ	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08		mg/kg	-	0.2
Total 16 EPA-PAH excl. LOQ	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08		mg/kg	-	8.7
Benzo(e)pyrene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	< 0.1
Benzo-(j)-fluoranthene	FR	F5	DIN EN 16181:2019-08	0.1	mg/kg	-	< 0.1

Explanations

LOQ - Limit of quantification

ar - as received

db - dry basis

Lab - Abbreviation of the performing laboratory

Accr. - Abbreviation of the accreditation of the performing laboratory

The parameters identified by FR have been performed by the laboratory Eurofins Umwelt Ost GmbH (Lindenstraße 11, Gewerbegebiet Freiberg Ost, Bobritzsch-Hilbersdorf). The accreditation code F5 identifies the parameters accredited according to DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00.

Eurofins Umwelt Ost GmbH - Lindenstraße 11 - Gewerbegebiet Freiberg Ost -
09627 Bobritzsch-Hilbersdorf

Eurofins Environment Testing Sweden AB
Box 737
53117 Lidköping
SWEDEN

Title : **Analytical Report for Order 12525305**

Test report number : **AR-25-FR-040202-01**

Project name : **PO-EUSELI2-0**

Number of samples : **1**

Sample type: **coal**

Sample Taker: **not specified, sample(s) were delivered to lab**

Sample reception date : **2025-06-16**

Sample processing time : **2025-06-19 - 2025-07-08**

The test results solely refer to the analysed test specimen. Unless the sampling was done by our laboratory or in our sub-order the responsibility for the correctness of the sampling, as well as for the customer information or calculation results based on it, is disclaimed. The results then apply to the sample as received. This test report is electronically signed and may only be further published completely and unchanged. Extracts or changes require the authorisation of the EUROFINS UMWELT in each individual case.

Our General Terms & Conditions of Sale (GTCS) are applicable, as far as no specific agreements do exist. The GTCS are available on <http://www.eurofins.de/umwelt/avb.aspx>.

Accredited test laboratory according to DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS notification under the DAkkS German Accreditation System for Testing. The laboratory is according (D-PL-14081-01-00) accredited.

Attachments

XML_Export_AR-25-FR-040202-01.xml

Marie Peterhänsel
Analytical Service Manager

+49 3731 2076 543

Digitally signed 7/8/2025
Marie Peterhänsel
Analytical Service Manager



											Description	Biokol Kiplingeberg		
											Customer Reference	177-2025-06111429		
											Sample number	125087574		
Parameter	Lab	Accr.	Method	1) EBC-FeedPlus	2) EBC-Feed	3) EBC-Agro Organic	4) EBC-Agro	5) EBC-Urban	6) EBC-Consumer Materials	7) EBC-Basic Materials	LOQ	Unit	ar	db
Biochar properties														
Bulk density < 3 mm	FR		based on VDLUFA-Methode A 13.2.1									kg/m³	-	160
water holding capacity (WHC) < 2 mm	FR		DIN EN ISO 14238, A: 2014-03									%	-	276.8
Moisture	FR	F5	DIN 51718: 2002-06								0.1	% (w/w)	64.2	-
Ash content (550°C)	FR	F5	DIN 51719: 1997-07								0.1	% (w/w)	0.7	1.8
Total carbon	FR	F5	DIN 51732: 2014-07								0.2	% (w/w)	33.5	93.4
carbon (organic)	FR		Calculation									% (w/w)	33.3	92.8
Hydrogen	FR	F5	DIN 51732: 2014-07								0.1	% (w/w)	0.5	1.3
Total nitrogen	FR	F5	DIN 51732: 2014-07								0.05	% (w/w)	0.13	0.36
Sulphur (S), total	FR	F5	DIN 51724-3: 2012-07								0.03	% (w/w)	< 0.03	< 0.03
Oxygen	FR	F5	DIN 51733: 2016-04									% (w/w)	1.3	3.7
Total inorganic carbon (TIC)	FR	F5	DIN 51726: 2004-06								0.1	% (w/w)	0.2	0.6
carbonate-CO2	FR	F5	DIN 51726: 2004-06								0.4	% (w/w)	0.8	2.3
H/C ratio (molar)	FR		Calculation										0.16	0.16
H/Corg ratio (molar)	FR		Calculation	< 0.4	< 0.4	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 0.7			0.16	0.16
O/C ratio (molar)	FR		Calculation										0.029	0.030
pH in CaCl2	FR		DIN EN ISO 10390: 2022-08										8.4	-
salt content	FR		BGK III. C2: 2006-09								0.005	g/kg	0.639	-
salt content	FR		BGK III. C2: 2006-09								0.005	g/l	0.102	-
Conductivity at 1,2 t pressure	FR		Internal Method SAA-H-Lf-Pflanzenkohle.040								0.01	mS/cm	-	83
Conductivity at 2 t pressure	FR		Internal Method SAA-H-Lf-Pflanzenkohle.040								0.01	mS/cm	-	100

Parameter	Lab	Accr.	Method	Limit values							Description		Biokol Kiplingeborg	
				1) EBC-FeedPlus	2) EBC-Feed	3) EBC-Agro Organic	4) EBC-Agro	5) EBC-Urban	6) EBC-Consumer Materials	7) EBC-Basic Materials	Customer Reference		177-2025-06111429	
											Sample number		125087574	
											LOQ	Unit	ar	db
Conductivity at 3 t pressure	FR		Internal Method SAA-H-Lf-Pflanzen-kohle.040								0.01	mS/cm	-	150
Conductivity at 4 t pressure	FR		Internal Method SAA-H-Lf-Pflanzen-kohle.040								0.01	mS/cm	-	150
Conductivity at 5 t pressure	FR		Internal Method SAA-H-Lf-Pflanzen-kohle.040								0.01	mS/cm	-	180

Elements from the micro wave pressure digestion acc. to DIN 22022-1: 2014-07

Arsenic (As)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01			13	13	13	13		0.8	mg/kg	-	< 0.8
Lead (Pb)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01			45	120	120	120		2	mg/kg	-	< 2
Cadmium (Cd)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01			0.7	1.5	1.5	1.5		0.2	mg/kg	-	0.3
Copper (Cu)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	70	70	70	100	100	100		1	mg/kg	-	4
Nickel (Ni)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	25	25	25	50	50	50		1	mg/kg	-	< 1
Zinc (Zn)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	200	200	200	400	400	400		1	mg/kg	-	29
Chromium (Cr)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	70	70	70	90	90	90		1	mg/kg	-	< 1
Boron (B)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01								1	mg/kg	-	< 1
Manganese (Mn)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01								1	mg/kg	-	460
Silver (Ag)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01								5	mg/kg	-	< 5
Mercury (Hg)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01								0.2	mg/kg	-	< 0.2

											Description		Biokol Kiplingeberg	
											Customer Reference		177-2025-06111429	
				Limit values							Sample number		125087574	
Parameter	Lab	Accr.	Method	1) EBC-FeedPlus	2) EBC-Feed	3) EBC-Agro Organic	4) EBC-Agro	5) EBC-Urban	6) EBC-Consumer Materials	7) EBC-Basic Materials	LOQ	Unit	ar	db

Elements fr. the borate digestion of ash 550 °C acc. to DIN 51729-11:1998-11(AR)

Calcium as CaO	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	% (w/w)	-	31.2
Iron as Fe ₂ O ₃	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	% (w/w)	-	1.3
Potassium as K ₂ O	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	% (w/w)	-	8.9
Magnesium as MgO	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	% (w/w)	-	4.7
Sodium as Na ₂ O	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	% (w/w)	-	0.6
Phosphorus as P ₂ O ₅	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	% (w/w)	-	2.1
sulphur as SO ₃	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	% (w/w)	-	1.1
Silicon as SiO ₂	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	% (w/w)	-	10.9

Macronutrients

Total nitrogen	FR	F5	DIN 51732: 2014-07								0.5	g/kg	1.3	3.6
----------------	----	----	--------------------	--	--	--	--	--	--	--	-----	------	-----	-----

Macronutrients-LiBO₂/Li₂B₄O₇/LiBr-melt of ash 550°C [DIN 51729-11:1998-11] (OS)

Phosphorus as P ₂ O ₅	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	g/kg	-	0.4
Potassium as K ₂ O	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	g/kg	-	1.6
Calcium as CaO	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	g/kg	-	5.7
Magnesium as MgO	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	g/kg	-	0.9
Sodium as Na ₂ O	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	g/kg	-	0.1
sulphur as SO ₃	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	g/kg	-	0.2

Elements fr. the borate digestion of ash 550°C acc. to DIN 51729-11:1998-11(OS)

Iron (Fe)	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	g/kg	-	0.2
Silicon (Si)	FR	F5	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09								0.1	g/kg	-	0.9

											Description	Biokol Kiplingeberg		
											Customer Reference	177-2025-06111429		
				Limit values							Sample number	125087574		
Parameter	Lab	Accr.	Method	1) EBC-FeedPlus	2) EBC-Feed	3) EBC-Agro Organic	4) EBC-Agro	5) EBC-Urban	6) EBC-Consumer Materials	7) EBC-Basic Materials	LOQ	Unit	ar	db
Organic contaminants from toluene extraction acc. to EN 17503 (method 10.2.3)														
Naphthalene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	2.6
Acenaphthylene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	0.3
Acenaphthene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Fluorene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Phenanthrene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	0.5
Anthracene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Fluoranthene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Pyrene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Benz(a)anthracene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Chrysene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Benzo(b)fluoranthene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Benzo(k)fluoranthene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Benzo(a)pyrene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Dibenz(a,h)anthracene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Benzo(g,h,i)perylene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08								0.1	mg/kg	-	< 0.1
Total 8 EFSA-PAH excl. LOQ	FR		calculated	1	1	1	1	1	1	4		mg/kg	-	(n. c.) ¹⁾
Total 16 EPA-PAH excl. LOQ	FR		calculated	6 ²⁾		6 ²⁾	6 ²⁾					mg/kg	-	3.4
Benzo(e)pyrene	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	0.1	mg/kg	-	< 0.1

											Description		Biokol Kiplingeborg	
											Customer Reference		177-2025-06111429	
											Sample number		125087574	
Parameter	Lab	Accr.	Method	Limit values							LOQ	Unit	ar	db
				1) EBC-FeedPlus	2) EBC-Feed	3) EBC-Agro Organic	4) EBC-Agro	5) EBC-Urban	6) EBC-Consumer Materials	7) EBC-Basic Materials				
Benzo-(j)-fluoranthren	FR	F5	DIN EN 17503, Verfahren 10.2.3: 2022-08	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	0.1	mg/kg	-	< 0.1

Explanations

LOQ - Limit of quantification

ar - as received

db - dry basis

Lab - Abbreviation of the performing laboratory

Accr. - Abbreviation of the accreditation of the performing laboratory

Comments for results

¹⁾ not calculable

The parameters identified by FR have been performed by the laboratory Eurofins Umwelt Ost GmbH (Lindenstraße 11, Gewerbegebiet Freiberg Ost, Bobritzsch-Hilbersdorf). The accreditation code F5 identifies the parameters accredited according to DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00 .

Explanations regarding Limits

Analysis performed according to guidelines for a sustainable production of biochar - EBC, Version 10.3E - of 05/04/2023.

EBC (2012-2024) 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar' Carbon Standards International (CSI), Frick, Switzerland. Version 10.4E from 20th Dec 2024

AR: related to ash

OS: related to original substance

²⁾ The very low PAH limit values only allow an analytical accuracy of 40% for the limit value: "sum 16 EPA-PAH" of 6 mg/kg which implies an accuracy of ± 2.4 mg/kg db, respectively.

The presentation of comparative values in the analytical report is a service provided by EUROFINS UMWELT. The cited comparative values (limit, guideline or other allocation values) are partially simplified and do not take into account all comments, ancillary provisions and/or exemptions of the corresponding regulations.

Comparison with comparative values

The comparison refers solely to the results reported in AR-25-FR-040202-01 and is based on a purely numerical comparison of the obtained measured value with the corresponding comparative values. The measurement uncertainty of the corresponding method is not taken into account.

The samples contained in the analytical report AR-25-FR-040202-01 do not show any exceedance or violation of a comparative value of the list guidelines for a sustainable production of biochar - EBC, Version 10.3E - of 05/04/2023. The investigating body is not responsible for determining the measures to be derived from the comparative value comparison.

Bilaga 2a. Resultatsammanställning. Oceanhamnen, jordanalyser, både PAH och VOC

Environmental EurofinsTesting Sweden AB, ISO/IEC 17025I



Provmärkning			Analys av jord								
		FÖRSTUDIE	Referens			3% biokol			3% biokol		
		Fat 10	Fat 1	Fat 2	Fat 3	Fat 4	Fat 5	Fat 6	Fat 7	Fat 8	Fat 9
Beteckning		177-2023-04240105	177-2024-12040763	177-2024-12040764	177-2024-12040766	177-2024-12040767	177-2024-12040769	177-2024-12040771	177-2024-12040774	177-2024-12040776	177-2024-12040777
Datum		2023-04-01	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14
Ämne	Enhet										
Torrsubstans	%	80,7	83,2	82,9	83,9	83,4	83,6	83,7	83,8	83,4	82,8
Bensen	mg/kg Ts	<0,0035	0,012	0,012	0,0094	0,012	0,0093	0,0048	0,011	0,008	0,0072
Toluen	mg/kg Ts	<0,10	0,19	0,17	0,14	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Etylbensen	mg/kg Ts	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
m/p/o-Xylen	mg/kg Ts	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Summa TEX	mg/kg Ts	<0,20	0,29	0,27	0,24	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Alifater >C5-C8	mg/kg Ts	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Alifater >C8-C10	mg/kg Ts	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Alifater >C10-C12	mg/kg Ts	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Alifater >C12-C16	mg/kg Ts	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Summa Alifater >C5-C16	mg/kg Ts	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0
Alifater >C16-C35	mg/kg Ts	43	39	57	51	46	54	50	54	52	62
Aromater >C8-C10	mg/kg Ts	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0
Aromater >C10-C16	mg/kg Ts	<0,90	<0,90	0,98	0,97	<0,90	0,93	<0,90	<0,90	<0,90	<0,90
Metylkrysener/Metylbenso(a)antracener	mg/kg Ts	1,7	0,96	1,1	1,3	0,79	1,1	0,85	1,1	0,77	1,1
Metylpyrener/Metylfluorantener	mg/kg Ts	3,3	1,7	2,5	2,4	1,5	2,5	1,3	2	1,6	1,6
Summa Aromater >C16-C35	mg/kg Ts	5	2,7	3,6	3,7	2,3	3,6	2,2	3,1	2,4	2,7
Benso(a)antracen	mg/kg Ts	2	1	1,2	1,3	0,93	1,4	0,99	1,1	0,87	0,92
Krysen	mg/kg Ts	1,6	0,94	1,1	1,2	0,85	1	0,94	0,95	0,79	0,8
Benso(b,k)fluoranten	mg/kg Ts	3,7	2,3	2,6	2,7	2	2,7	2	2,5	1,8	2,5
Benso(a)pyren	mg/kg Ts	2,2	1,1	1,5	1,6	1,1	1,7	1,2	1,3	0,98	1,7
Indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg Ts	1,3	1,2	1,4	1,4	1,1	1,5	1,1	1,3	1,1	0,87
Dibenso(a,h)antracen	mg/kg Ts	0,34	0,2	0,26	0,25	0,19	0,28	0,2	0,23	0,19	0,18
Naftalen	mg/kg Ts	0,14	<0,030	0,03	<0,030	<0,030	0,03	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Acenaftylen	mg/kg Ts	0,17	0,12	0,19	0,19	0,12	0,18	0,13	0,13	0,12	0,19
Acenaften	mg/kg Ts	0,26	0,067	0,083	0,073	0,059	0,083	0,062	0,071	0,059	0,065
Fluoren	mg/kg Ts	0,34	0,087	0,18	0,091	0,075	0,11	0,081	0,085	0,07	0,097
Fenantren	mg/kg Ts	2,1	0,9	1,6	1,1	0,79	1,1	0,83	0,88	0,74	0,74
Antracen	mg/kg Ts	0,57	0,15	0,29	0,057	0,21	0,08	0,23	0,16	0,14	0,25
Fluoranten	mg/kg Ts	4,3	2,6	3,4	3	2,2	3,1	2,4	2,6	2,1	2,2
Pyren	mg/kg Ts	3,5	2,2	2,7	2,5	1,8	2,6	2,1	2,2	1,8	1,8
Benso(g,h,i)perylen	mg/kg Ts	1,2	1,1	1,3	1,2	0,97	1,3	0,98	1,2	1	0,86
Summa PAH med låg molekylvikt	mg/kg Ts	0,57	0,2	0,3	0,28	0,19	0,29	0,21	0,22	0,19	0,27
Summa PAH med medelhög molekylvikt	mg/kg Ts	11	5,9	8,2	6,7	5,1	7	5,6	5,9	4,9	5,1
Summa PAH med hög molekylvikt	mg/kg Ts	12	7,8	9,4	9,7	7,1	9,9	7,4	8,6	6,7	7,8
Kol C	% Ts		2,2	2,7	2,5	3,1	2,8	3	2,5	2,4	2,6
TIC	% Ts		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
TOC	% Ts		2	2,5	2,3	2,9	2,7	2,8	2,4	2,2	2,4

Bilaga 2b. Resultatsammanställning Oslopiren, jordanalyser, både PAH och VOC

Environmental EurofinsTesting Sweden AB, ISO/IEC 17025I



Provmärkning		Analys av jord								
		Referens			3% biokol			3% biokol		
		Fat A	Fat B	Fat C	Fat D	Fat E	Fat F	Fat G	Fat H	Fat I
		177-2024-11280460	177-2024-11280461	177-2024-11280462	177-2024-11280463	177-2024-11280464	177-2024-11280465	177-2024-11280466	177-2024-11280467	177-2024-11280468
Beteckning										
Datum		2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14	2024-11-14
Ämne	Enhet									
Torrsubstans	%	82,7	75,5	78,7	81	79,2	79,3	81,2	73,2	77,9
Bensen	mg/kg Ts	<0,0035	<0,0035	<0,0035	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13	<0,14	<0,0035
Toluen	mg/kg Ts	<0,10	<0,10	<0,10	<0,25	<0,26	<0,26	<0,25	<0,28	<0,10
Etylbensen	mg/kg Ts	<0,10	<0,10	<0,10	<0,25	<0,26	<0,26	<0,25	<0,28	<0,10
m/p/o-Xylen	mg/kg Ts	<0,10	<0,10	<0,10	<0,50	<0,51	<0,51	<0,50	<0,55	<0,10
Summa TEX	mg/kg Ts	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Alifater >C5-C8	mg/kg Ts	<5,0	<5,0	<5,0	<13	<13	<13	<13	<14	<5,0
Alifater >C8-C10	mg/kg Ts	<3,0	<3,0	<3,0	<13	<13	<13	<13	<14	<3,0
Alifater >C10-C12	mg/kg Ts	6,2	9,1	7,4	5,7	<5,0	<5,0	5,6	14	9,8
Alifater >C12-C16	mg/kg Ts	20	23	20	16	9,1	14	12	28	24
Summa Alifater >C5-C16	mg/kg Ts	30	36	31	35	25	30	31	56	38
Alifater >C16-C35	mg/kg Ts	170	190	210	150	130	140	87	180	180
Aromater >C8-C10	mg/kg Ts	<4,0	<4,0	<4,0	<6,0	<6,1	<6,1	<6,0	<6,6	<4,0
Aromater >C10-C16	mg/kg Ts	2,5	3,2	4,1	2,6	2	3,3	4,2	5	4,1
Metylkrysener/Metylbenso(a)antracener	mg/kg Ts	1,6	1,5	2,2	1,3	1,3	1,6	1,2	1,9	1,8
Metylpyrener/Metylfluorantener	mg/kg Ts	3,4	3,5	5,1	2,9	2,6	4,8	3,7	4,8	4,3
Summa Aromater >C16-C35	mg/kg Ts	5	5	7,3	4,2	3,9	6,4	4,9	6,7	6,1
Benso(a)antracen	mg/kg Ts	1,3	1,3	2,2	1,2	1,2	1,7	1,3	1,9	2
Krysen	mg/kg Ts	1,1	1,1	1,9	0,98	0,99	1,3	1,2	1,5	1,7
Benso(b,k)fluoranten	mg/kg Ts	2,3	2,2	3,7	2	2,3	2,6	2,8	2,9	3,4
Benso(a)pyren	mg/kg Ts	1,5	1,4	2,4	1,2	1,5	1,6	1,4	1,8	2
Indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg Ts	0,88	0,85	1,4	0,74	0,9	0,95	0,98	1,1	1,3
Dibenso(a,h)antracen	mg/kg Ts	0,22	0,2	0,34	0,18	0,21	0,23	0,24	0,26	0,3
Naftalen	mg/kg Ts	0,055	0,057	0,08	0,056	0,059	0,06	0,37	0,11	0,079
Acenaftylen	mg/kg Ts	0,19	0,18	0,29	0,16	0,19	0,26	0,17	0,24	0,2
Acenaften	mg/kg Ts	0,22	0,3	0,67	0,28	0,22	0,73	0,46	0,47	0,35
Fluoren	mg/kg Ts	0,31	0,36	0,73	0,33	0,24	1	0,56	0,55	0,44
Fenantren	mg/kg Ts	1,6	1,9	3,9	1,5	1,3	3,7	2,1	2,9	2,9
Antracen	mg/kg Ts	0,6	0,81	1,4	0,56	0,46	1,3	0,58	1,2	0,86
Fluoranten	mg/kg Ts	3,2	3,6	5,7	2,9	2,8	4,6	3,6	5	4,9
Pyren	mg/kg Ts	2,8	3,1	4,7	2,5	2,4	3,7	3,1	4,1	4,1
Benso(g,h,i)perylen	mg/kg Ts	0,88	0,83	1,4	0,74	0,9	0,93	0,98	1,1	1,3
Summa PAH med låg molekylvikt	mg/kg Ts	0,47	0,54	1	0,5	0,47	1,1	1	0,82	0,63
Summa PAH med medelhög molekylvikt	mg/kg Ts	8,5	9,8	16	7,8	7,2	14	9,9	14	13
Summa PAH med hög molekylvikt	mg/kg Ts	8,2	7,9	13	7	8	9,3	8,9	11	12
Kol C	% Ts	5,1	4,6	3,8	5,3	5,4	5,5	5,1	5,5	5,7
TIC	% Ts	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4
TOC	% Ts	4,7	4,2	3,5	4,9	5,2	5,1	4,6	5,2	5,3

Bilaga 3a. Resultatsammanställning Oceanhamnen , POM

Analyserna genomförda av Örebro Universitet. Alla resultat i µg/l



Provmärkning Ämne Torrsubstans	Enhet %	POM								
		Referens			3% biokol			3% biokol		
		Fat 1	Fat 2	Fat 3	Fat 4	Fat 5	Fat 6	Fat 7	Fat 8	Fat 9
naftalen	µg/l					0,082				
acenaftylen	µg/l	0,022	0,013	0,016	0,011	0,011	0,013	0,01	0,011	0,011
acenaften	µg/l	0,14	0,12	0,17	0,076	0,091	0,1	0,088	0,13	0,14
fluoren	µg/l		0,094		0,043	0,074	0,069	0,057	0,076	0,089
fenantren	µg/l	0,39	0,25	0,52	0,14	0,31	0,24	0,18	0,24	0,26
antracen	µg/l	0,035	0,035		0,024	0,032	0,032	0,025	0,034	0,041
pyren	µg/l	0,17	0,14	0,22	0,12	0,14	0,15	0,11	0,27	0,14
fluoranten	µg/l	0,21	0,17	0,31	0,14	0,18	0,18	0,14	0,2	0,18
krysen	µg/l	0,011	0,0094	0,014	0,0084	0,0094	0,0097	0,0083	0,011	0,01
benso[a]antracen	µg/l	0,007	0,0072	0,0091	0,0064	0,0062	0,0065	0,0067	0,0086	0,0078
benso[k]fluoranten	µg/l	0,0026	0,0025	0,0035	0,0022	0,0021	0,0023	0,0021	0,0028	0,0027
benso[b]fluoranten	µg/l	0,00078	0,00081	0,00099	0,00077	0,00075	0,00074	0,00075	0,001	0,00086
benso[a]pyren	µg/l	0,0019	0,002	0,0026	0,0018	0,0018	0,0018	0,0019	0,0024	0,0022
benso[ghi]perylen	µg/l	0,00093	0,00094	0,0012	0,00082	0,00086	0,00087	0,00088	0,0011	0,00097
dibens[ah]antracen	µg/l	0,00012	0,00013	0,00015	0,00011	0,00011	0,00012	0,00012	0,00015	0,00014
indeno[123cd]pyren	µg/l	0,00041	0,00042	0,00051	0,00037	0,00037	0,00038	0,00037	0,00047	0,00044

Bilaga 3b. Resultatsammanställning Oslopiren , POM

Analyserna genomförda av Örebro Universitet. Alla resultat i µg/l



Provmärkning Ämne Torrsubstans	Enhet %	POM								
		Referens			3% biokol			3% biokol		
		Fat A	Fat B	Fat C	Fat D	Fat E	Fat F	Fat G	Fat H	Fat I
naftalen	µg/l			0,46	0,047	0,031	0,043	0,025	0,029	0,022
acenaftylen	µg/l	0,019	0,018	0,012	0,0086	0,0071	0,0082	0,0063	0,0063	0,0043
acenaften	µg/l	0,56	0,67	0,46	0,2	0,1	0,15	0,066	0,1	0,058
fluoren	µg/l	0,46	0,53	0,34	0,11	0,048	0,081	0,042	0,062	0,029
fenantren	µg/l	0,87	1	0,6	0,3	0,14	0,22	0,15	0,17	0,09
antracen	µg/l	0,24	0,23	0,14	0,053	0,025	0,043	0,022	0,028	0,013
pyren	µg/l	0,36	0,47	0,31	0,27	0,14	0,21	0,15	0,24	0,14
fluoranten	µg/l	0,42	0,53	0,34	0,24	0,14	0,2	0,15	0,19	0,1
krysen	µg/l	0,021	0,025	0,018	0,012	0,0071	0,011	0,0069	0,0099	0,0057
benso[a]antracen	µg/l	0,01	0,011	0,0087	0,0063	0,0049	0,0056	0,0045	0,0047	0,0034
benso[k]fluoranten	µg/l	0,0055	0,0069	0,0046	0,0032	0,0019	0,0027	0,0019	0,0025	0,0014
benso[b]fluoranten	µg/l	0,00074	0,00091	0,00067	0,00051	0,00047	0,00054	0,00045	0,00043	0,00034
benso[a]pyren	µg/l	0,0031	0,0035	0,0027	0,002	0,0015	0,0018	0,0014	0,0015	0,0012
benso[ghi]perylen	µg/l	0,0014	0,0017	0,0013	0,00094	0,00073	0,00087	0,00067	0,00071	0,00056
dibens[ah]antracen	µg/l	0,00017	0,00022	0,00015	0,00012	0,000099	0,00013	0,000096	0,000092	0,000077
indeno[123cd]pyren	µg/l	0,00038	0,00044	0,00033	0,00025	0,0002	0,00025	0,0002	0,0002	0,00015

Bilaga 4a. Resultatsammanställning Oceanhamnen, alla PAH analyser av gas (porgas och headspace)

Eurofins Pegasus lab. Analyspaket PLUX4, samtliga resultat i µg/m3 (utom för jord där halten anges i mg/kg TS)



			PAH L			PAH M					PAH H								
TEST FÖRSTUDIE	Provmärkning		Luftvolym (l)	Naftalen	Acenaftylen	Acenaften	Fluoren	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren	benso (ghi)perylen	Benso(a)antracen	Krysen	Benso(b)fluoranten	Benso(k)fluoranten	Benso(a)pyren	Indeno(123-c)Pyren	Dibenso(a,h)antracen
Förstudie fat 10	Moderjord	177-2023-05031031		0,052	0,009	<1,0	<0,50	<2,0	<1,0	<0,50	<0,50	<1,0	<0,5	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
			Luftvolym (l)	Naftalen	Acenaftylen	Acenaften	Fluoren	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren	benso (ghi)perylen	Benso(a)antracen	Krysen	Benso(b)fluoranten	Benso(k)fluoranten	Benso(a)pyren	Indeno(123-c)Pyren	Dibenso(a,h)antracen
Referens	1. Referens	177-2023-10051392	61	<0,049	0,087	<0,016	<0,082	<0,033	<0,016	<0,0082	<0,0082	<0,016	<0,0082	<0,0082	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016
	2. Referens	177-2023-10051393	61	0,099	0,088	<0,016	<0,083	<0,033	<0,017	<0,0083	<0,0083	<0,017	<0,0083	<0,0083	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
	3. Referens	177-2023-10051394	60	<0,050	0,12	<0,016	<0,083	<0,033	<0,017	<0,0083	<0,0083	<0,017	<0,0082	<0,0082	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
3% biokol	4. Biokol 3%	177-2023-10051395	57	0,057	0,017	<0,016	<0,087	<0,033	<0,016	<0,0082	<0,0082	<0,016	<0,087	<0,087	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016
	5. Biokol 3%	177-2023-10051396	57	0,053	0,078	<0,017	<0,087	<0,033	<0,017	<0,0083	<0,0083	<0,017	<0,087	<0,087	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
	6. Biokol 3%	177-2023-10051397	57	0,079	0,023	<0,017	<0,087	<0,033	<0,017	<0,0083	<0,0083	<0,017	<0,087	<0,087	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
			Luftvolym (l)	Naftalen	Acenaftylen	Acenaften	Fluoren	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren	benso (ghi)perylen	Benso(a)antracen	Krysen	Benso(b)fluoranten	Benso(k)fluoranten	Benso(a)pyren	Indeno(123-c)Pyren	Dibenso(a,h)antracen
Referens	1. Referens	177-2024-05301476	65	0,033	<0,0076	<0,015	<0,0076	<0,015	<0,015	<0,0076	<0,0076	<0,076	<0,0076	<0,0076	<0,015	<0,076	<0,076	<0,076	<0,076
	2. Referens	177-2024-05301477	65	0,058	<0,0076	<0,015	<0,0076	<0,015	<0,015	<0,0076	<0,0076	<0,076	<0,0076	<0,0076	<0,015	<0,076	<0,076	<0,076	<0,076
	3. Referens	177-2024-05301478	65	0,042	<0,0076	<0,015	<0,0076	<0,015	<0,015	<0,0076	<0,0076	<0,076	<0,0076	<0,0076	<0,015	<0,076	<0,076	<0,076	<0,076
3% biokol	4. Biokol 3%	177-2024-05301479	67	0,029	<0,0075	<0,015	<0,0075	<0,015	<0,015	<0,0075	<0,0075	<0,075	<0,0075	<0,0075	<0,015	<0,075	<0,075	<0,075	<0,075
	5. Biokol 3%	177-2024-05301480	67	0,038	<0,0075	<0,015	<0,0075	<0,015	<0,015	<0,0075	<0,0075	<0,075	<0,0075	<0,0075	<0,015	<0,075	<0,075	<0,075	<0,075
	6. Biokol 3%	177-2024-05301481	67	0,036	<0,0075	<0,015	<0,0075	<0,015	<0,015	<0,0075	<0,0075	<0,075	<0,0075	<0,0075	<0,015	<0,075	<0,075	<0,075	<0,075
			Luftvolym (l)	Naftalen	Acenaftylen	Acenaften	Fluoren	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren	benso (ghi)perylen	Benso(a)antracen	Krysen	Benso(b)fluoranten	Benso(k)fluoranten	Benso(a)pyren	Indeno(123-c)Pyren	Dibenso(a,h)antracen
Referens	1. Referens	177-2024-05301418	287	0,02	0,0022	<0,0035	<0,0017	<0,0035	<0,0035	<0,0017	<0,0017	<0,017	<0,0017	<0,0017	<0,0035	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
	2. Referens	177-2024-05301419	288	0,048	<0,0017	<0,0035	<0,0017	<0,0035	<0,0035	<0,0017	<0,0017	<0,017	<0,0017	<0,0017	<0,0035	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
	3. Referens	177-2024-05301420	288	0,0086	<0,0017	<0,0035	<0,0017	<0,0035	<0,0035	<0,0017	<0,0017	<0,017	<0,0017	<0,0017	<0,0035	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
3% biokol	4. Biokol 3%	177-2024-05301421	287	0,018	<0,0017	<0,0035	<0,0017	<0,0035	<0,0035	<0,0017	<0,0017	<0,017	<0,0017	<0,0017	<0,0035	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
	5. Biokol 3%	177-2024-05301422	287	0,018	0,0023	<0,0035	<0,0017	<0,0035	<0,0035	<0,0017	<0,0017	<0,017	<0,0017	<0,0017	<0,0035	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
	6. Biokol 3%	177-2024-05301423	287	0,023	<0,0017	<0,0035	<0,0017	<0,0035	<0,0035	<0,0017	<0,0017	<0,017	<0,0017	<0,0017	<0,0035	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
Biokol topp	7. Biokol topp	177-2024-05301424	287	0,012	<0,0017	<0,0035	<0,0017	<0,0035	<0,0035	<0,0017	<0,0017	<0,017	<0,0017	<0,0017	<0,0035	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
	8. Biokol topp	177-2024-05301425	287	0,0049	<0,0017	<0,0035	<0,0017	<0,0035	<0,0035	<0,0017	<0,0017	<0,017	<0,0017	<0,0017	<0,0035	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
	9. Biokol topp			Utgår, för mkt kondens i prov															

HALT I JORD			PAH L			PAH M					PAH H							
			Naftalen	Acenaftylen	Acenaften	Pyren	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren	benso (ghi)perylene	Benso(a)antracen	Krysen	Benso(b)fluoranten	Benso(k)fluoranten	Benso(a)pyren	Indeno(123-c)Pyren	Dibenso(a,h)antracen
Halt i jord mg/kg	Datum																	
Moderjord efter siktning	2023-04-04	mg/kg TS	0,16	0,19	0,32	2,9	1,7	0,46	3,7	2,9	0,89	1,6	1,2	2,6	1,5	0,97	0,22	
Fat 10 referens	2023-04-21	mg/kg TS	0,26	0,17	0,26	0,34	2,1	0,57	4,3	3,5	1,2	0,57	1,6	3,7	2,2	1,3	0,34	
Medelhalt 9 fat	2024-12-04	mg/kg TS	<0,030	0,15	0,07	0,17	0,1	0,96	2,6	2,2	1,1	1,1	0,95	2,3	1,4	0,22	0,22	

Bilaga 4a. Resultatsammanställning Oslopiren, alla PAH analyser av gas (porgas samt porgas vid fasförskjutning)

Eurofins Pegasus lab. Analyspaket PLUX4, samtliga resultat i µg/m3 (utom för jord där halten anges i mg/kg TS)



				PAH L			PAH M					PAH H							
PORLUFT 2025-01-28	Provmärkning	Provnummer	Luftvolym (l)	Naftalen	Acenaftylen	Acenaften	Fluroen	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren	benso (ghi)perylen	Benso(a) antracen	Krysen	Benso(b)fluoranten	Benso(k) fluoranten	Benso(a) pyren	Indeno(123-c) Pyren	Dibenso(a,h)antracen
Referens	A	177-2025-02051624	52	0,042	<0,0096	<0,019	<0,0096	<0,019	<0,019	<0,0096	<0,0096	<0,096	<0,0096	<0,0096	<0,019	<0,096	<0,096	<0,096	<0,096
	B	177-2025-02051624	53	0,048	<0,0095	<0,019	<0,0095	<0,019	<0,019	<0,0095	<0,0095	<0,095	<0,0095	<0,0095	<0,019	<0,095	<0,095	<0,095	<0,095
	C	177-2025-02051624	54	0,033	<0,0092	<0,018	<0,0092	<0,018	<0,018	<0,0092	<0,0092	<0,092	<0,0092	<0,0092	<0,018	<0,092	<0,092	<0,092	<0,092
3% biokol	D	177-2025-02051624	52	0,066	<0,0096	<0,019	<0,0096	<0,019	<0,019	<0,0096	<0,0096	<0,096	<0,0096	<0,0096	<0,019	<0,096	<0,096	<0,096	<0,096
	E	177-2025-02051624	52	0,049	<0,0096	<0,019	<0,0096	<0,019	<0,019	<0,0096	<0,0096	<0,096	<0,0096	<0,0096	<0,019	<0,096	<0,096	<0,096	<0,096
	F	177-2025-02051624	52	0,04	<0,0095	<0,019	<0,0095	<0,019	<0,019	<0,0095	<0,0095	<0,095	<0,0095	<0,0095	<0,019	<0,095	<0,095	<0,095	<0,095
Biokol topp	G	177-2025-02051624	53	0,027	<0,0094	<0,019	<0,0094	<0,019	<0,019	<0,0094	<0,0094	<0,094	<0,0094	<0,0094	<0,019	<0,094	<0,094	<0,094	<0,094
	H	177-2025-02051624	53	0,039	<0,0095	<0,019	<0,0095	<0,019	<0,019	<0,0095	<0,0095	<0,095	<0,0095	<0,0095	<0,019	<0,095	<0,095	<0,095	<0,095
	I	Ingen mätninggenomfördes eftersom endast naftalen kunde påvisas i porluften																	
				PAH L			PAH M					PAH H							
FASFÖRSKJUTNING	Provmärkning	Provnummer	Luftvolym (l)	Naftalen	Acenaftylen	Acenaften	Fluroen	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren	benso (ghi)perylen	Benso(a) antracen	Krysen	Benso(b)fluoranten	Benso(k) fluoranten	Benso(a) pyren	Indeno(123-c) Pyren	Dibenso(a,h)antracen
Referens	A	177-2025-04141058	153	0,075	0,011	0,0093	0,0075	0,012	<0,00065	<0,00033	<0,00033	<0,00033	<0,00033	<0,00033	<0,00065	<0,00033	<0,00033	<0,00033	<0,00033
	B	177-2025-04141059	148	0,011	<0,0034	<0,0067	<0,0034	<0,0067	<0,00067	<0,00034	<0,00034	<0,00034	<0,00034	<0,00034	<0,00067	<0,00034	<0,00034	<0,00034	<0,00034
	C	Ej möjligt att analysera, pga kondens i adsorbentrör																	
3% biokol	D	Ej möjligt att analysera pga kondens i adsorbentrör																	
	E																		
	F																		
HALTER I JORD	Samtliga halter i mg/kg TS			PAH L			PAH M					PAH H							
				Naftalen	Acenaftylen	Acenaften	Fluroen	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren	benso (ghi)perylen	Benso(a) antracen	Krysen	Benso(b)fluoranten	Benso(k) fluoranten	Benso(a) pyren	Indeno(123-c) Pyren	Dibenso(a,h)antracen
	Medelvärde 9 fat (A-I)			<0,030	0,15	0,07	0,1	0,96	0,17	2,6	2,2	1,1	1,1	0,95	2,3		1,4	1,2	0,22

Bilaga 5a. Resultatsammanställning Oceanhamnen, alla VOC analyser av gas (porgas och headspace)

Eurofins Pegasus lab. Analyspaket PLUU. VOC fraktionerad - luftanalys (SS-EN ISO 16000-6:2021: mod.)



					µg/m3			% av VOC							
TEST FÖRSTUDIE	Provmärkning	Beteckning	Datum	Luftvolym (l)	VOC	Bensen	Toluen	Etylbensen	Xylen	Arom C8-C10	Alif C5-C8	Alif C8-C10	Alif C10-C12	Alif C12-C16	
	Moderjord	Fat 10	177-2023-04271673	2023-04-21	64	40000	2,5	"störd"	<0,1	<0,1	<0,1	14	53	29	4,2
PORLUFT 2023-09-17															
Referens	Fat 1	177-2023-10051400	2023-09-27	69	1900	1,7	0,91	<0,1	<0,1	<0,1	7,5	26	49	16	
	Fat 2	177-2023-10051401	2023-09-27	69	7500	4,4	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	9,6	37	36	14	
	Fat 3	177-2023-10051402	2023-09-27	69	11000	14	2,2	<0,1	<0,1	<0,1	15	50	29	1,4	
3% biokol	Fat 4	177-2023-10051403	2023-09-27	69	2300	1,4	0,54	<0,1	<0,1	<0,1	4,4	20	30	40	
	Fat 5	177-2023-10051404	2023-09-27	69	6000	2	0,95	<0,1	<0,1	<0,1	6,6	25	40	25	
	Fat 6	177-2023-10051405	2023-09-27	69	15000	3,4	1,6	<0,1	<0,1	<0,1	8,1	32	40	18	
PORLUFT 2024-05-13															
Referens	Fat 1	177-2024-05301494	2024-05-13	54	250	<0,74	0,95	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3,8	3,2	25	
	Fat 2	177-2024-05301495	2024-05-13	54	320	<0,74	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,8	6,7	2,2	19	
	Fat 3	177-2024-05301496	2024-05-13	54	390	<0,74	0,86	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,1	1,3	22	
3% biokol	Fat 4	177-2024-05301497	2024-05-13	56	290	<0,74	0,55	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	1,5	30	
	Fat 5	177-2024-05301498	2024-05-13	56	330	<0,74	0,58	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	1,3	30	
	Fat 6	177-2024-05301499	2024-05-13	56	310	<0,74	<0,54	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	1,6	24	
HEADSPACE 2024-05-13															
Referens	Fat 1	177-2024-05301518	2024-05-28	290	6100	0,27	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
	Fat 2	177-2024-05301519	2024-05-28	290	7700	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
	Fat 3	177-2024-05301520	2024-05-28	290	9600	0,25	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
3% biokol	Fat 4	177-2024-05301521	2024-05-28	289	1600	<0,15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
	Fat 5	177-2024-05301522	2024-05-28	289	7300	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
	Fat 6	177-2024-05301523	2024-05-28	289	9400	0,17	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Biokol på ytan	Fat 7	177-2024-05301524	2024-05-28	289	4200	<0,15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	0,1	
	Fat 8	177-2024-05301525	2024-05-28	289	6200	<0,15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	
	Fat 9	177-2024-05301526	2024-05-28	289	3900	<0,15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	
HALT I JORD															
Halt i jord mg/kg					Bensen		Toluen	Etylbensen	Xylen	Arom C8-C10	Alif C5-C8	Alif C8-C10	Alif C10-C12	Alif C12-C16	
Fat 10 referens					<0,0035		<0,10	<0,10	<0,10	<4,0	<5,0	<3,0	<5,0	<5,0	
Medelhalt 9 fat					0,01		<0,10	<0,10	<0,10	<4,0	<5,0	<3,0	<5,0	<5,0	

Bilaga 4b. Resultatsammanställning Oslopiren, alla VOC analyser av gas (porgas)

Eurofins Pegasus lab. Analyspaket PLUU. VOC fraktionerad - luftanalys (SS-EN ISO 16000-6:2021: mod.)



PORLUFT 2025				µg/m3			% av VOC						
Provmärkning	Beteckning	Provnummer	Luftvolym (l)	VOC	Bensen	Toluen	Etylbensen	Xylen	Arom C8-C10	Alif C5-C8	Alif C8-C10	Alif C10-C12	Alif C12-C16
Referens	A	177-2025-02051518	71	440	<0,57	<0,43	<0,1	<0,1	<0,1	0,7	5,3	48	43
	B	177-2025-02051519	70	910	<0,57	<0,43	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	6	51	42
	C	177-2025-02051520	68	490	<0,57	<0,44	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	5,3	49	42
3% biokol	D	177-2025-02051521	70	470	<0,58	<0,43	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	7,7	49	40
	E	177-2025-02051522	71	120	<0,57	<0,42	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	43	54
	F	177-2025-02051523	69	410	<0,58	<0,43	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	6,1	45	49
Biokol på ytan	G	177-2025-02051514	69	180	<0,58	<0,43	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	2,7	38	55
	H	177-2025-02051525	72	390	<0,57	0,63	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	20	56	21
	I	177-2025-02051526	72	290	<0,58	<0,43	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	5,9	49	41
HALT I JORD													
Halt i jord mg/kg			Datum	Bensen	Toluen	Etylbensen	Xylen	Arom C8-C10	Alif C5-C8	Alif C8-C10	Alif C10-C12	Alif C12-C16	
Medelhalt 9 fat			2024-12-04	0,01	<0,10	<0,10	<0,10	<4,0	<5,0	<3,0	<5,0	<5,0	

Bilaga 6. Sammanställning, beräknade Log Koc

Inga Koc har kunnat beräknas för benso(k)fluoranten eller benso(b)fluoranten eftersom de rapporteras som en summahalt i jordproverna



		PAH L			PAH M					PAH H							
OCEANHAMNEN	Provmärkning	Naftalen	Acenaftylen	Acenaften	Fluroen	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren	benso (ghi)perylene	Benso(a)antracen	Krysen	Benso(b)fluoranten	Benso(k)fluoranten	Benso(a)pyren	Indeno(123-c)Pyren	Dibenso(a,h)antracen
Referens	1		5,42	4,33		5,03	5,31	5,77	5,81	7,77	6,84	6,60			7,46	8,17	7,91
	2		5,78	4,42	4,87	5,40	5,51	5,89	5,89	7,74	6,82	6,66			7,48	8,13	7,90
	3		5,70	4,23		4,93	4,67	5,61	5,68	7,62	6,78	6,54			7,43	8,07	7,86
3% biokol	4		5,59	4,41	4,77	5,26	5,47	5,71	5,70	7,61	6,69	6,53			7,32	8,01	7,75
	5		5,77	4,51	4,72	5,09	4,94	5,79	5,84	7,75	6,92	6,59			7,55	8,18	7,96
	6		5,56	4,32	4,60	5,07	5,39	5,66	5,69	7,60	6,73	6,53			7,36	8,01	7,79
Biokol topp	7		5,73	4,51	4,77	5,30	5,42	5,87	5,89	7,75	6,83	6,67			7,45	8,16	7,88
	8		5,69	4,30	4,59	5,12	5,26	5,66	5,45	7,61	6,65	6,49			7,26	8,02	7,77
	9		5,87	4,26	4,63	5,06	5,39	5,70	5,72	7,56	6,68	6,51			7,51	7,91	7,72
		PAH L			PAH M					PAH H							
OSLOPIREN	Provmärkning	Naftalen	Acenaftylen	Acenaften	Fluroen	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren	benso (ghi)perylene	Benso(a)antracen	Krysen	Benso(b)fluoranten	Benso(k)fluoranten	Benso(a)pyren	Indeno(123-c)Pyren	Dibenso(a,h)antracen
Referens	A		5,32	3,88	4,11	4,56	4,69	5,19	5,20	7,11	6,43	6,03			7,01	7,69	7,43
	B		5,38	3,99		4,62	4,91	5,19	5,17	7,06	6,43	5,99			6,97	7,66	7,33
	C	3,66010372	5,84	4,61	4,77	5,26	5,44	5,66	5,62	7,48	6,85	6,46			7,40	8,08	7,80
3% biokol	D	4,38110135	5,58	4,44	4,77	5,00	5,33	5,37	5,26	7,20	6,58	6,19			7,08	7,78	7,50
	E	4,5549135	5,71	4,61	4,98	5,24	5,54	5,58	5,50	7,37	6,67	6,42			7,27	7,94	7,61
	F	4,43068052	5,79	4,99	5,38	5,51	5,77	5,64	5,52	7,32	6,77	6,37			7,23	7,87	7,53
Biokol topp	G	5,51501189	5,77	5,18	5,46	5,48	5,76	5,71	5,64	7,50	6,80	6,57			7,32	8,02	7,73
	H	4,85659254	5,86	4,93	5,23	5,51	5,92	5,69	5,51	7,47	6,89	6,46			7,35	8,03	7,73
	I	4,83244285	5,95	5,06	5,46	5,78	6,11	5,95	5,74	7,64	7,04	6,74			7,51	8,21	7,87