

## POLYCYKLISKE AROMATISKE KULBRINTER (PAH)

### Jordkvalitetskriterier:

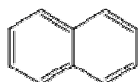
0,3 mg benzo[a]pyren/kg

0,3 mg dibenz[a,h]anthracen/kg

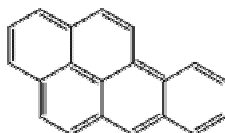
4 mg/kg for sum af benzo[a]pyren, dibenz[a,h]anthracen, fluoranthen, benz[b+j+k]fluoranthen og indeno[1,2,3-cd]pyren

Polycykliske aromatiske kulbrinter / hydrocarboner (PAH) er en gruppe af kulbrinter opbygget af to eller flere aromatiske ringe og består udelukkende af kulstof og brint.

Naphthalen er den simpleste PAH med 2 aromatiske ringe. Benzo(a)pyren (BaP) er den bedst undersøgte PAH og benyttes ofte som markør for PAH. Vandopløseligheden falder med stigende antal aromatiske ringe. Opløseligheden af naphthalen er 30 g/liter, mens opløseligheden af PAH'er med flere end 3 ringe ligger væsentligt under 1 mg/l.



Naphthalen



Benzo(a)pyren (BaP)

### Miljømæssige forhold

PAH er naturligt forekommende komponenter i kul og råolie, men kan også dannes ved termiske forarbejdningsprocesser af olie- og kulprodukter. PAH dannes også ved forbrændingsprocesser og afbrænding af organisk materiale. Ufuldstændig forbrænding fremmer dannelsen af PAH.

PAH udledes til miljøet fra en række forskellige kilder, hvor de væsentligste kilder er fra brændeoovne, trafik, affaldsforbrænding samt tobaksrygning og madlavning.

I luften er PAH overvejende bundet til sodpartikler. I byområder er nedfald af disse partikler en væsentlig årsag til PAH-forurenet overfladejord. Jord kan også være forurenet med PAH fra virksomheder, der har forarbejdet og/eller anvendt petrokemiske produkter, f.eks. tankstationer og gasværker, samt som følge af deponering af slam og andet affald. Baggrundsniveauet for dansk jord uden belastning fra punktkilder eller trafik skønnes at være 0,01 mg/kg BaP og ca. 0,06 – 0,6 mg total PAH/kg, baseret på målinger fra landområder samt arealer uden længerevarende belastning fra trafik.

PAH er generelt kemisk stabile forbindelser, men ved tilstedeværelse af lys kan ske oxidation og fotonedbrydning. I jord kan PAH også nedbrydes mikrobielt. Halveringstider for aerob biologisk nedbrydning af PAH i jord under naturlige forhold er 6-16 år. Det er hovedsagelig de lettere komponenter, der nedbrydes. Restforureningen domineres af de tungere, mere immobile stoffer.

### Human eksponering

Den generelle befolkning (ikke-rygere) udsættes primært for PAH via levnedsmidler (>90%) samt ved inhalation af forurenede luft (<10%). Indtagelse af BaP via føden er oplyst at være gennemsnitlig ca. 4 ng/kg legemsvægt pr. dag for børn. (EU 2002). Andre eksponeringskilder er indtagelse af forurenede støv og jord samt hudkontakt med produkter indeholdende PAH som f.eks. tjæreprodukter. Børn indtager i gennemsnit 0,1 g jord per dag i de første 1 – 3 år af deres liv.

### Optagelse, omdannelse og udskillelse

Hos rotter optages BaP hurtigt efter oral indtagelse, og optagelsen fra foderet er 20-50%. Efter optagelse fordeles PAH til stort set alle organer og ophobes i fedtrige organer og væv, hvorfra der efterfølgende sker en langsom frigivelse. PAH kan overføres til fosteret gennem moderkagen, ligesom der også er set udskillelse i modermælk. PAH omdannes til en række forskellige metabolitter især i leveren, og PAH samt metabolitterne udskilles primært med galden og dermed fæces, mens en mindre del af den optagne dosis udskilles via urin.

### Sundhedsmæssige effekter

PAH har lav til moderat akut toksicitet i forsøgsdyr.

Ved længerevarende eksponering for PAH ses en række forskellige effekter som f.eks. effekter på forskellige blodparametre (hæmatologiske effekter), lever og nyrer, immunsystemet, samt reproduktion og fosterudvikling. For BaP kan sættes et nul-effekt niveau (NOAEL) på 3 mg/kg bw/dag for effekter på leveren baseret på et 13-ugers studie i rotter samt for effekter på immunsystemet baseret på et 35-dages studie også i rotter. På

baggrund af de eksisterende data kan der ikke vurderes et NOAEL for effekter af BaP på reproduktion og fosterudvikling.

En række PAH giver skader på arvematerialet (mutagen og/eller genotoksisk effekt). Binding af PAH til DNA er vist i en række eksperimentelle studier, ligesom der også hos mennesker er fundet såkaldte DNA addukter (indikation på binding til DNA) udskilt i urinen.

En række PAH såvel som kultjære og en række komplekse forbindelser, som indeholder PAH, er kræftfremkaldende hos forsøgsdyr og giver tumorer i bl.a. i mave-tarm kanalen, leveren og lungerne efter oral indgift.

Hos mennesker giver PAH tumorer i lungerne efter inhalation. Der er ingen humane data vedr. en eventuel kræftfremkaldende virkning af PAH efter indtagelse.

## Reguleringer / vurderinger

Klassificering: BaP: Carc.2;R45 Mut 2; R46

Rep 2; R60-61 N;R50/53.

B-værdi: Stenkulstjærebeg 3%, 0,00001\* mg/m<sup>3</sup>, Hvgr. 1

Stenkulstjærebeg 10%, 0,000004\* mg/m<sup>3</sup>, Hvgr. 1

Stenkulstjæredestillater (kp>200°C): 0,00003 mg/m<sup>3</sup>, Hvgr. 1

Drikkevand: BaP: 0,01 µg/l; Fluoranthen: 0,1 µg/l. Sum af benzo(b)fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, benzo(ghi)perylene, og indeno(1,2,3-cd)pyren): 0,1 µg/l.

Grænseværdi, arbejdsmiljøet: 0,2 mg/m<sup>3</sup> (partikulær, benzenopløselig fraktion)

IARC (WHO): BaP: Gruppe 1, kræftfremkaldende hos mennesker.

## Grundlag for kvalitetskriteriet

Den kritiske effekt ved eksponering for PAH er den kræftfremkaldende effekt, en effekt som med al sandsynlighed kan tillægges evnen til at skade arvematerialet (generne).

Det er ikke muligt ud fra data vedrørende den kræftfremkaldende effekt af PAH generelt eller af BaP at fastsætte en nedre grænse for den kræftfremkaldende effekt.

### Kvalitetskriterium baseret på livstidsrisiko:

Sædvanligvis anses en tolerabel dosis for komponenter, der er både genotoksiske og carcinogene, at være den gennemsnitlige daglige dosis, der gennem en hel livstid svarer til ét ekstra kræfttilfælde blandt en million personer (10<sup>-6</sup> livstidsrisiko). På baggrund af de nyeste undersøgelser i rotter og mus med oral indgift af BaP er det (for alle tumorer kombineret) beregnet (kvantitativ risikoberegning), at en dosis på 0,6-5 ng/kg legems-

vægt/dag svarer til en livstidsrisiko på 1 x 10<sup>-6</sup>.

Som en konservativ betragtning vurderes den kræftfremkaldende potens af total PAH i jord at være 10 gange højere end den potens, der vurderes ud fra en antagelse af, at BaP alene udgør den kræftfremkaldende effekt af PAH blandingen. Under anvendelse af denne 10-faktor på dosis på 0,6-5 ng/kg legemsvægt/dag for en livstidsrisiko på 1 x 10<sup>-6</sup> for BaP beregnes en dosis på 0,06-0,5 ng BaP/kg legemsvægt/dag svarende til en livstidsrisiko på 1 x 10<sup>-6</sup> for total PAH i jord (BaP er markør for total PAH i jord).

Et sundhedsmæssigt baseret kvalitetskriterium for total PAH (alle kræftfremkaldende PAH) i jord baseret på børns jordspisning beregnes til 0,013 mg BaP/kg jord ud fra en dosis på 0,1 ng/kg legemsvægt/dag (gennemsnit for en livstidsrisiko på 1 x 10<sup>-6</sup>) og under forudsætning af at et barn på 13 kg i gennemsnit indtager 0,1 g jord per dag.

Med denne metode fås JKK på niveau med baggrundskoncentrationen for BaP.

### Kvalitetskriterium baseret på usikkerhedsfaktorer:

Som et alternativ til den kvantitative risikoberegning ovenfor er der foreslået at mekanismen for PAH's carcinogenicitet kan vurderes ud fra en tærskel-tilgang. Det er en sådan vurdering de Australiske myndigheder har taget udgangspunkt i. De foreslår derfor en såkaldt 'virtuel sikker dosis' på 80 ng BaP/kg legemsvægt/dag, der beregnes ud fra en benchmark dosis på 0,362 mg BaP/kg legemsvægt/dag (beregnet ud fra et af de nye studier i mus) og under anvendelse af en samlet usikkerhedsfaktor på 4500. Usikkerhedsfaktoren består af en faktor på 10, idet mennesker kan være mere følsomme end forsøgsdyr; en faktor på 10 for at beskytte særligt følsomme mennesker; en faktor på 5 fordi den kræftfremkaldende effekt af PAH med al sandsynlighed kan tillægges evnen til at skade arvematerialet (generne) – en effekt for hvilken, der ud fra data normalt ikke kan fastsættes en nedre dosisgrænse; og en faktor på 9 pga. den kræftfremkaldende effekt. Denne vurdering af PAH's kræftfremkaldende mekanisme er efterfølgende anbefalet af EFSA.

Et sundhedsmæssigt baseret kvalitetskriterium for total PAH (alle kræftfremkaldende PAH) i jord baseret på børns jordspisning beregnes til 0,28 mg BaP/kg jord ud fra en dosis på 80 ng BaP/kg legemsvægt/dag under forudsætning af at et barn på 13 kg i gennemsnit indtager 0,1 g jord per dag.

Ud fra ovenstående sundhedsmæssige betragtninger og med hensyntagen til baggrundsbelastningen fastsættes et administrativt jordkvalitetskriterium til 0,3 mg BaP/kg jord.

Praksis for jordforurening benytter også jordkva-

\* fastsat ud fra indholdet af BaP

litetskriterier for dibenz(a,h)anthracen og for sum af PAH. Idet stoffet har omtrent samme ækvivalensfaktor som BaP mht. toksikologisk effekt, fastsættes det administrative jordkvalitetskriterium for dibenz(a,h)anthracen forholdsmæssigt til 0,3 mg/kg.

For sum af PAH (dvs. benzo[a]pyren, dibenz[a,h]anthracen, fluoranthen, benz[b+j+k]fluoranthen og indeno[1,2,3-cd]pyren) fastsættes jordkvalitetskriteriet ligeledes ved forholdsregning til 4 mg/kg.

## Referencer

Larsen JC (2004): Evaluation of health hazards by exposure to PAH. Afdeling for Toksikologi og Risikovurdering, Fødevareinstituttet, Danmarks Tekniske Universitet. Baggrundsrapport udarbejdet for Miljøstyrelsen.

Falkenberg AJ, Hjuler H, Grøn C, Dybdahl HP, Broholm K og Østfeldt P (2002): Kilder til jordforurening med tjære, herunder benzo(a)pyren i Danmark. Miljøprojekt Nr. 728 2002, Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

NHMRC (1999). Toxicity assessment for carcinogenic soil contaminants. NHMRC Technical Working Party on Carcinogenic Risk Assessment for Soil Contaminants. National Health and Medical Research Council of Australia.

Opinion of the Scientific Committee on a request from EFSA related to A Harmonised Approach for Risk Assessment of Substances Which are both Genotoxic and Carcinogenic  
(ADOPTED ON 18 OCTOBER 2005)  
[http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/sc\\_op\\_ej282\\_gentox\\_en3.0.pdf](http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/sc_op_ej282_gentox_en3.0.pdf)

December 2010 MST/ELSN/Fødevareinstituttet - DTU.