



**Risk assessment of contaminants in sewage sludge applied on  
Norwegian soils**

**Opinion of the Panel on Contaminants in the Norwegian Scientific  
Committee for Food Safety**

20 August 2009

**Norsk sammendrag**

## SAMMENDRAG

Faggruppen for forurensninger, naturlige toksiner og legemiddelrester (Faggruppe 5) i Vitenskapskomiteen for mattrygghet (VKM) har på oppdrag fra Mattilsynet risikovurdert bruk av avløpsslam som gjødsel og jordforbedringsmiddel på jordbruksarealer, grøntområder og i jordblandinger solgt til forbrukere. VKM ble spesielt bedt om å vurdere risiko knyttet til bruk av slam for jordlevende organismer, det akvatiske miljøet, beitende dyr og dyr som spiser fôr dyrket på slambehandlet jord. Vurdering av risiko for barn som spiser jord, og mennesker som drikker vann og spiser planter og/eller kjøtt influert av slambehandlet jord var også en del av oppdraget.

VKM ble bedt om å risikovurdere i alt tolv eksponeringsveier for følgende stoffer:

- Kadmium (Cd)
- Bly (Pb)
- Kvikksølv (Hg)
- Nikkel (Ni)
- Sink (Zn)
- Kobber (Cu)
- Krom (Cr)
- Ftalater (DEHP, DBP)
- Oktylfenoler og oktylfenoletoksylder
- Nonylpenoler og nonylfenoletoksylder
- Alkylbenzenesulfonater, lineære (LAS)
- Polyklorinerte bifenyler (PCB)
- Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

VKM ble også bedt om å vurdere risiko knyttet til legemidler av typen hormoner, fluorokinoloner og tetracycliner og andre relevante legemidler avhengig av hva som ble funnet i en undersøkelse av legemidler i avløpsslam gjennomført av Statens forurensningstilsyn (SFT, 2007).

Bruk av avløpsslam som gjødsel/jordforbedringsmiddel medfører en mulig spredning av en rekke forurensende stoffer til jord. Disse stoffene kan bli transportert til forskjellige miljøer slik som luft, overflatevann, grunnvann og nærliggende elver. Videre kan de forurensende stoffene i jord tas opp i planter skal brukes til mat eller fôr, noe som kan resultere i at dyr og mennesker eksponeres for stoffene gjennom maten og fôret de spiser. Konsentrasjonsdata for alle disse forurensende stoffene i slambehandlet jord eller i andre miljøer etter bruk av avløpsslam er ikke tilgjengelig. Estimert konsentrasjon i miljøet (predicted environmental concentration (PEC)) i jord, og eksponering av dyr og mennesker etter bruk av avløpsslam har derfor blitt estimert ved bruk av matematisk modellering basert på retningslinjer gitt i Europeisk unions (EUs) ”Technical Guidance Document on Risk Assessment” (TGD). Retningslinjene er tilpasset norske forhold der dette er relevant. For beregning av konsentrasjoner i vann er det benyttet modeller som er utviklet, validert og brukt for plantevernmidler. Risikovurderingen skal både omhandle en vurdering av de forurensende stoffene etter en tilførsel og vurdering av mulig akkumulering etter gjentatt bruk av avløpsslam. Risiko knyttet til eksponeringsnivåer ble så vurdert.

Det finnes lite informasjon om forekomst av legemidler i norsk avløpsslam. Utvelgelsen av legemidler inkludert i de få undersøkelsene som er tilgjengelige ser ikke ut til å være basert på risiko for effekter eller sannsynlighet for at de gjenfinnes i miljøet. Faggruppen har derfor utviklet en trinnvis tilnærming for å estimere konsentrasjoner av legemidler i avløpsslam. En terskelverdi (cut-off-verdi) på 100 mikrogram per kilo ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) ble brukt i den trinnvise tilnærmingen. Miljørisiko forbundet med konsentrasjoner av legemidler under dette nivået anses som neglisjerbar av de europeiske medisinsmyndighetene (The European Medicines Agency, EMA). For legemidler som tilhører gruppene anticancermedler og hormoner som er

effektive ved veldig lave doser har faggruppen benyttet en ekstra sikkerhetsfaktor på 10, og terskelverdien for disse stoffene er satt til 10 µg/kg. Mulig konsentrasjon av legemidler i avløpsslam ble estimert på grunnlag av salgsstatistikk om legemidler og produsert volum av avløpsslam i Norge. De estimerte konsentrasjonene ble gradvis raffinert ved å ta hensyn til faktorer slik som vannløslighet, biotransformasjon og nedbrytning i miljøet. Utfallet av den trinnvise tilnærmingen er en liste på 14 legemidler som potensielt kan gjenfinnes i jord etter bruk av avløpsslam i konsentrasjoner over terskelverdiene på 100 eller 10 µg/kg jord. En mer detaljert risikovurdering av disse 14 legemidlene ble gjennomført med samme metode som for de andre forurensende stoffene.

Mulig risiko forbundet med eutrofiering av det akvatiske miljøet som følge av bruk av avløpsslam og effekter forårsaket av avløpsslam brukt på beitearealer uten pløying innen 18 timer er ikke vurdert.

### **Farekarakterisering**

Farekarakterisering er basert på tilgjengelige vurderinger utført av internasjonale organisasjoner som The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), EUs kjemiske byrå (EU Chemical Bureau), European Food Safety Authority (EFSA) og lignende. For stoffer der farekarakterisering ikke er utført av slike organer, er relevante nasjonale farekarakteriseringer brukt. For enkelte stoffer har faggruppen ikke funnet etablerte toksikologiske trygge eksponeringsverdier. Mangel på toksikologisk farekarakterisering er i disse tilfellene påpekt som kunnskapshull i risikovurderingen. Etablering av nye tolerable inntaksverdier (TDI) og estimerte ikke-effektsnivåer (predicted no-effect concentration, PNEC-verdier) har ikke vært en del av arbeidet i denne risikovurderingen.

### **Eksponeringsvurdering**

Alle eksponeringsnivåene har blitt estimert ved bruk av matematiske modeller basert på retningslinjene i TGD. Noe modifisering av modellene er gjort for å tilpasse disse til norske forhold. I stor utstrekning gjelder dette bruk av jordparametre, forhold knyttet til vær og jordbrukspraksis. Jordkonsentrasjoner er beregnet basert på nivåer av forurensende stoffer i avløpsslam og dagens bruk av slam (klasse 1, 40 tonn/hektar/hvert 10. år) og en mulig 50 % økning av dagens maksimale bruk av avløpsslam (60 tonn/hektar/ hvert 10. år). For å ta hensyn til mulig akkumulering i jord etter gjentatt bruk av avløpsslam, er jordkonsentrasjonene beregnet i et 100-årsperspektiv hvor det er tatt hensyn til bakgrunnskonsentrasjoner, fordampning, nedbrytning, fjerning via opptak i planter og avrenning til vann. Maksimumskonsentrasjoner av alle de forurensende stoffene, enten rett etter bruk av avløpsslam eller etter gjentatt bruk av avløpsslam i 100 år (tilførsel hvert 10. år), er brukt i eksponeringsberegningene. Avrenning til det akvatiske miljøet er estimert med modeller utviklet for å vurdere bruk av plantevernmidler som tilføres jordbruksarealer. Modellen er validert både for organiske og uorganiske plantevernmidler og den er vurdert som egnet både for å estimere avrenning til overflatevann og grunnvann.

Opptak av forurensende stoffer i planter er beregnet, både for å kunne estimere mulig akkumulering av disse stoffene i jord og for å kunne estimere eksponering for dyr og mennesker som spiser planter. Retningslinjene i TGD tillater kun estimering av konsentrasjoner i rotdelene av plantene og TGD ble derfor benyttet til å beregne konsentrasjoner i rotgrønnsaker, slik som potet og gulrøtter. Andre modeller funnet i vitenskapelige artikler er benyttet for å estimere konsentrasjoner i spiselige deler av planter over bakken, slik som salat og korn. En sammenlikning av flere modeller er gjennomført og den mest konservative modellen som ble ansett å være realistisk, ble valgt. De estimerte

konsentrasjonene i planter ble benyttet til å beregne inntak av forurensede stoffene hos dyr og mennesker. Modellene som er brukt for å beregne plantenes opptak av organiske stoffer fra jord er ikke validert for polare og ioniserbare forbindelser. De fleste legemidler har slike kjemiske egenskaper, og konsentrasjoner av legemidler i planter kunne derfor ikke beregnes. Dyr og menneskers eksponering for legemidler fra fôr og mat kunne følgelig heller ikke beregnes.

Det finnes ingen modeller tilgjengelig i TGD for å vurdere overføring av metaller fra fôr til animalske matprodukter. En overføring av kadmium, bly og kvikksølv til matproduserende dyr er estimert på bakgrunn av tilgjengelige data om inntaks- og vevskonsentrasjoner funnet i litteraturen. Konsentrasjoner av organiske stoffer i animalske produkter er estimert ved bruk av modeller fra TGD.

Konsentrasjoner av forurensende stoffer i animalske matprodukter er beregnet ved å bruke estimerte plantekonsentrasjoner kombinert med typiske fôrmengder benyttet til de forskjellige dyrene (art og alder/produksjonsform).

Humant inntak av forurensende stoffer er beregnet med individuelle kostholdsdata fra Norkost 1997 (Norsk kostholdsundersøkelse) der estimert plantekonsentrasjon, estimerte konsentrasjoner i animalske produkter og estimerte vannkonsentrasjoner inngår i beregningene. For å beregne inntak fra drikkevann er en mengde på 2 liter vann per dag benyttet. Dette er i samsvar med de mengdene Verdens helseorganisasjon (WHO) bruker til å utarbeide retningslinjer for drikkevann.

## **Risikokarakterisering**

### Jordmiljø

Estimert konsentrasjon i jord (PEC) for hvert forurensende stoff ble sammenliknet med tilgjengelig estimert ikke-effektsnivå (PNEC-verdier) for stoffet i jord.

Beregningene viser at ingen av metallene når PNEC-verdiene etablert for jord innenfor tidsrammen på 100 år. Faggruppe 5 anser derfor at avløpsslam medfører en lav risiko for jordlevende organismer. Modellestimeringene viser imidlertid at jordkonsentrasjonene for kadmium og kvikksølv vil øke etter gjentatt bruk av avløpsslam. Disse tungmetallene er spesielt bekymringsfulle på grunn av sine toksikologiske egenskaper, og en økning av jordkonsentrasjoner av disse stoffene er uønsket selv om beregningene viser at konsentrasjonene ikke overstiger PNEC-verdiene. Kadmium tas opp i planter i signifikante mengder. Økte kadmiumkonsentrasjoner i jord vil derfor medføre økt human eksponering for dette metallet. Etter 100-års gjentatt bruk av avløpsslam i gjennomsnittlig jord er fortsatt de estimerte konsentrasjonene av kadmium lavere enn det som maksimalt er tillatt at jordbruksjord inneholder om slam skal kunne tilføres.

Oktyl-, nonylfenol og LAS var de eneste forurensende stoffene der PEC overskred PNEC. Disse stoffene brytes imidlertid raskt ned (halveringstid på 8-10 dager) og den høyeste konsentrasjonen ble funnet rett etter tilførsel av avløpsslam etterfulgt av rask reduksjon av konsentrasjonene. Ved å ta hensyn til usikkerheten knyttet til forekomstdataene, den raske nedbrytningen i jord og de store sikkerhetsfaktorene benyttet ved fastsettelse av PNEC-verdien for oktyl- og nonylfenol, anser Faggruppe 5 risikoen knyttet til disse stoffene å være av liten betydning. Noen få PAH- og PCB-forbindelser ble estimert til å akkumulere etter gjentatt bruk av avløpsslam. Modelleringen indikerer at konsentrasjonene er langt under

PNEC-verdiene, selv etter 100-års bruk. Det finnes imidlertid ikke etablerte PNEC-verdier for PCB-forbindelsene. Faggruppen anser at de vurderte organiske forbindelsene utgjør en lav risiko for jordmiljøet.

Av de over 1400 legemidlene som selges i Norge, er kun 14 legemidler beregnet til å overskride terskelverdien etter slambruk. For de 14 identifiserte legemidlene har ingen terrestriske PNEC-verdier vært tilgjengelig for faggruppen. Terrestriske PNEC-verdier for legemidler har derfor blitt utledet fra akvatiske PNEC-verdier der slike har vært tilgjengelig. De estimerte jordkonsentrasjonene for legemidler er meget lave (konsentrasjoner fra 0,01-2 mg/kg tørrvekt) og langt under de estimerte PNEC-verdiene. Faggruppen anser at rester av legemidler i avløpsslam utgjør en lav risiko for jordlevende organismer.

### Akvatisk miljø

Verken metaller, organiske stoffer eller legemidler vurdert i denne risikovurderingen forventes å komme opp i konsentrasjoner tilsvarende PNEC-verdier, verken på kort eller lang sikt. De fleste vurderte stoffene når maksimumskonsentrasjoner som er langt lavere enn de angitte PNEC-verdiene. To PAH-forbindelser (pyren og ideno(1, 2, 3-cd)pyren) er beregnet til å nå vannkonsentrasjoner som nærmer seg PNEC-verdiene (risikokvotient på henholdsvis 0,99 og 0,88). Faggruppen anser risiko ved bruk av avløpsslam som jordforbedringsmiddel i jordbruket til å være av liten betydning for det akvatiske miljøet.

### Matproduserende dyr

Generelt har matproduserende dyr et kort livsløp, og de forventes derfor ikke å bli langtidseksponert for stoffer med akkumulerende egenskaper. Dette gjelder også for melkeproduserende dyr og avlsdyr, selv om de har et lengre livsløp enn kjøttproduserende dyr. Matproduserende dyrs eksponering for forurensende stoffer via bruk av avløpsslam i jordbruket anses derfor som lav. Det finnes imidlertid begrenset informasjon i litteraturen på effekter av flere av de forurensende stoffene på matproduserende dyr og vurderingen av disse forurensende stoffene er derfor usikre.

Bruk av avløpsslam direkte på beiteområder uten nedpløying er ikke et tema i Norge og problemstillingen er derfor ikke vurdert.

### Human eksponering

#### *Humant inntak fra mat og drikkevann*

I dag brukes omtrent 60 % av produsert avløpsslam på jordbruksområder. Dette vil dekke mindre enn 5 % av det kornproduserende arealet med maksimal tillatt bruk (40 tonn/hektar/hvert 10. år). På grunn av begrenset tilgang på avløpsslam vil andelen av jordbruksarealer som mottar maksimale mengder med avløpsslam være veldig liten, og antatt tilleggsbidrag fra avløpsslam til inntaket fra mat i den generelle befolkningen vil være lavt. For spesielle individer, for eksempel bønder som spiser egenproduserte grønnsaker fra jordarealer der slam er brukt, kan over tid få et inntak som overskrider tolerabelt daglig inntak (TDI) for kadmium og tolerabelt øvre inntaksnivå (UL) for kobber. Faggruppen har ikke vurdert sannsynligheten for at dette scenarioet kan inntreffe.

Humant inntak av forurensende stoffer via drikkevann, planter og animalske produkter er beregnet. Modellberegningene indikerer at i et 100-årsperspektiv vil gjentatte tilførsler (hvert 10. år) av avløpsslam på et jorde, medføre økte jordkonsentrasjoner av visse tungmetaller,

som kadmium og kvikksølv. En konsekvens av denne akkumuleringen i jord kan være en økning i inntaket av tungmetaller, spesielt kadmium, men også kvikksølv.

Tilleggsinntaket av metaller fra drikkevann og animalske produkter som følge av bruk av avløpsslam som jordforbedringsmiddel er estimert til å være veldig lavt (<5 % av estimert total inntak) og dette inntaket vil derfor være av liten betydning.

De organiske stoffene vurdert i denne risikovurderingen nedbrytes enten i jorda eller har lavt opptak i matproduserende planter. Beregningene indikerer en lav økning i human eksponering for disse organiske stoffene fra jord behandlet med avløpsslam, og faggruppen vurderer at dette tilleggsbidraget er av neglisjerbar risiko for forbrukerne.

#### *Barn som spiser jord*

De høyeste konsentrasjonene av forurensende stoffer fra slam er funnet i jordblandinger som selges til private forbrukere. Jordblandingene kan inneholde opptil 30 % avløpsslam. Det er ingen krav til videre utblanding av disse produktene. Estimert inntak av metaller fra jordblandinger hos barn (konsum av 0,2 gram jord) er imidlertid lavt i forhold til fastsatte TDI og UL, og bly som utgjør det høyeste inntaket nærmer seg 13 % av TDI. Om en tar hensyn til at denne eksponeringsveien kun foregår i en begrenset periode, og det relativt lave inntaket sammenliknet med TDI, anser faggruppen at risiko forbundet med denne eksponeringsveien er lav.

#### **Utvikling av resistens**

Det er lite sannsynlig at antibakteriell resistens vil utvikles i avløpsvann fra slamrenseanlegget, i avløpsslammet eller i jord som følge av bruk av avløpsslam som jordforbedringsmiddel. Et unntak kan være mulig utvikling av resistens til fluorokinolonene ciprofloxacin i jord på grunn av persistens og begrenset mobilitet av disse forbindelsene i jord.

#### **Konklusjoner**

Oktyl-, nonylfenol og LAS er de eneste forurensende stoffene i denne risikovurderingen som er estimert til nå konsentrasjoner som overskrider PNEC-verdiene for jord. Disse stoffene brytes raskt ned i jord og de høyeste konsentrasjonene nås rett etter hver applikasjon av avløpsslam. Imidlertid er konsentrasjonene usikre, tilgjengelighet av forekomstdata for oktyl-nonylfenol og LAS i norsk avløpsslam er begrenset og det finnes begrenset informasjon om effektene av disse stoffene i jord. For Oktyl- og nonylfenol er PNEC-verdiene utledet fra akvatiske PNEC-verdier og store sikkerhetsfaktorer er benyttet. Basert på disse funnene finner VKMs Faggruppe 5 at bruk av avløpsslam medfører liten risiko for jordøkosystemet. Den benyttede modellen indikerer imidlertid en potensiell økning av jordkonsentrasjonene av metallene kadmium og kvikksølv i tillegg til kobber og sink. Det anbefales derfor at konsentrasjonene av disse metallene i avløpsslam som brukes i jordbruket bør overvåkes. Videre anbefales kontinuerlig arbeid med å redusere innholde av disse metallene i avløpsslam.

Bruk av avløpsslam antas ikke å utgjøre noen signifikant risiko for det akvatiske miljøet eller for matproduserende dyr.

VKMs Faggruppe 5 anser ikke at konsum av mat (inkludert drikkevann) som følge av bruk av avløpsslam som jordforbedringsmiddel vil utgjøre noe signifikant risiko i den generelle befolkningen for de vurderte forurensende stoffene. Inntaksberegningene indikerer imidlertid

at et scenario der alle grønnsakene som konsumeres er dyrket på slamtilført jord, kan medføre et inntak av kadmium og kobber som overskrider tolerable inntaksverdier (TDI eller UL). Sannsynligheten for et slik scenario, for eksempel der bønder bare spiser egenproduserte grønnsaker, er ikke vurdert.

De beregnede risikoene i denne vurderingen har blitt vurdert stoff for stoff siden det ikke finnes noe metode for risikovurdering av kjemiske blandinger som finnes i avløpsslam. De fleste av de estimerte eksponeringene er lang under de fastsatte effektkonsentrasjonene. Dette gjør interaksjonen mellom stoffer mindre sannsynlig dersom ikke de forurensede stoffene har samme virkningsmekanisme.