



Vurdering av bromerte flammehemmere til Mjøsa fra deponier, kommunale renseanlegg og elver.

Oppdatert versjon

Vurdering av bromerte flammehemmere til Mjøsa fra deponier og kommunale renseanlegg
(TA-2104/2005)



Senter for jordfaglig miljøforskning

Hovedkontor:
Fredrik A. Dahls vei 20,
1432 Ås
Tel. 64 94 81 00
Fax 64 94 81 10
Besøksadr.: Saghellingsgata,
NLH

Nord-Norge kontoret
Vågønes
forskningsstasjon
8010 Bodø
Tel. 75 58 32 22
Fax. 75 58 80 99

<i>Tittel:</i> Vurdering av bromerte flammehemmere til Mjøsa fra deponier, kommunale renseanlegg og elver
<i>Forfattere:</i> Petter Snilsberg ¹ , Trine Eggen ¹ , Eirik Fjeld ² og Martin Schlabach ³ ¹ Jordforsk, ² NIVA, ³ NILU

<i>Dato:</i> 30.11.05	<i>Tilgjengelighet:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr.:</i> 4130	<i>Arkiv nr.:</i> 6.04.31
<i>Rapport nr.:</i> 65/05 – versjon 2	<i>ISBN-nr.:</i> 82-7467-543-6	<i>Antall sider:</i> 59	<i>Antall vedlegg:</i> 0

<i>Oppdragsgiver:</i> SFT	<i>Kontaktpersoner:</i> Jon L. Fuglestad
------------------------------	---

<i>Stikkord:</i> Bromerte flammehemmere, deponier, renseanlegg, elver, Mjøsa	<i>Fagområde:</i> Jordforurensning
---	---------------------------------------

<i>Sammendrag:</i> Det er foretatt en sammenstilling av eksisterende data av bromerte flammehemmere fra deponi, renseanlegg, og tilførselselver til Mjøsa. Dataene er sammenholdt med tidligere funn i sedimenter og fisk i Mjøsa. Beregnet relativ bidrag fra de ulike kildene viser at det kommer tilnærmet like store bidrag fra kommunale renseanlegg og fra tilførselselvene. Utslippene i nordre del av Mjøsa domineres av lavbromerte kongenerer, mens utslipp fra Hamar og Gjøvik domineres av den fullbromerte forbindelsen deka-BDE. Disse profilene i avløpsvann stemmer med profilene funnet i sedimentene i tilsvarende deler av Mjøsa. Størst bidrag til PBDE i Mjøsa er via Lillehammer renseanlegg og fra elvene ved Hamar. Mesteparten av BFH inn på renseanleggene gjenfinnes i kloakkslammet, som dokumenterer god rensing. Høyt innhold av BFH i slam på Rambekk stammer fra Lillehammer. Oppdatert versjon med ny beregning av tilførsel fra elver.
--

<i>Land/fylke:</i> Hedmark/Oppland	<i>Kart 1:50 000:</i> Økon. kart 1:5 000: UTM-koordinater
<i>Kommune:</i> Mjøsa	

Ansvarlig leder

.....
Roald Sørheim

Prosjektleder

.....
Petter Snilsberg

Forord

På oppdrag fra Statens forurensningstilsyn har Jordforsk, Norsk institutt for luftforskning (NILU) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA) sammenstilt analyseresultater av bromerte flammehemmere av typen bromerte difenyletere (PBDE), heksabromosyklododekan (HBCDD) og tetrabrombisfenol A (TBBPA), i mulige tilførselskilder til Mjøsa.

Dette er en sammenstilling av data innhentet i flere ulike prosjekt, i regi av SFT og fylkesmannen i Oppland og i Hedmark, i tillegg til et det er innhentet og analysert en del supplerende prøver i dette prosjektet.

De som har deltatt i sammenstillingen er Martin Schlabach, NILU, Eirik Fjeld, NIVA og Trine Eggen og Petter Snilsberg, Jordforsk.

Jordforsk, Ås, august 2005

Petter Snilsberg
Prosjektleder

Ny versjon av rapporten med oppdaterte beregninger av tilførsel til elvene. Opprinnelig versjon benyttet feil vannføringsdata for elvene.

Jordforsk, Ås, november 2005

Petter Snilsberg
Prosjektleder

Innhold

Sammendrag:	5
1. Bakgrunn og formål	6
1.1. Tidligere undersøkelser	7
2. Materiale og metoder	10
2.1. Kjemisk analyse	10
2.2. Stasjonsbeskrivelse	12
2.2.1. Lillehammer regionen	14
2.2.2. Gjøvik - regionen	15
2.2.3. Hamar regionen	16
2.3. Vannmengder	17
3. Resultater	18
3.1. PBDE i Lillehammer regionen	18
3.1.1. PBDE i Lillehammer Renseanlegg	18
3.1.2. PBDE i deponi og forurenset grunn fra Lillehammer	21
3.2. PBDE i Hamar regionen	23
3.2.1. PBDE i renseanlegg fra Hamar , Moelv og Nes	23
3.2.2. PBDE i deponier i Hamar regionen	25
3.3. PBDE i Gjøvik regionen	27
3.3.1. PBDE Rambekk renseanlegg	27
3.3.2. PBDE andre renseanlegg i Gjøvik regionen	29
3.3.3. PBDE i deponi i Gjøvik regionen	31
3.3.4. PBDE i innløpselver til Mjøsa	32
3.4. HBCDD, TBBPA og BPA	33
3.4.1. HBCDD, TBBPA og BPA i Lillehammer regionen	33
3.4.2. HBCDD, TBBPA og BPA i Hamar regionen	37
3.4.3. HBCDD, TBBPA og BPA i Gjøvik regionen	39
3.4.4. HBCDD, TBBPA og BPA i tilførselselver	42
3.5. Beregnet transport til Mjøsa fra ulike kilder	43
3.5.1. Beregnet bidrag fra renseanlegg	43
3.5.2. Beregnet bidrag fra tilførselselver	45
3.5.3. Beregnet bidrag fra deponiene	46
3.5.4. Beregnet ansamling av BFH i slam	47
4. Multivariat analyse	48
4.1. Metoder	48
4.2. Resultater	49
5. Oppsummering	53
5.1. Oppsummering av PBDE	53
5.1.1. Lillehammer- regionen	53
5.1.2. Hamar - regionen	53
5.1.3. Gjøvik- regionen	54
5.2. Oppsummering av HBCDD	54
5.2.1. Lillehammer regionen	54
5.2.2. Hamar regionen	55
5.2.3. Gjøvik regionen	55
5.3. Oppsummering av TBBPA og BPA	55
5.4. Samlet tilførsel til Mjøsa	56
6. Referanser	59

Sammendrag:

På oppdrag fra Statens forurensningstilsyn har Jordforsk, Norsk institutt for luftforskning (NILU) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA) sammenstilt analyseresultater av bromerte flammehemmere av typen bromerte difenyletere (PBDE), heksabromosyklododekan (HBCDD) og tetrabrombisfenol A (TBBPA), i mulige tilførselskilder til Mjøsa.

Formålet med sammenstillingen er å vurdere i hvilken grad de bromerte flammehemmerne (BFH) bidrar til forurensningen som er påvist i Mjøsa ved at BFH lekker ut fra deponier og forurenset grunn, tilføres med elvene eller slippes ut fra renseanlegg til Mjøsa.

Sammenstillingen er en del av handlingsprogrammet for kontroll med utslipp av miljøgifter til Mjøsa, som flere statlige myndigheter står bak, inkludert SFT.

Det er noe usikkerhet knyttet til beregningene, da datamaterialet er samlet inn og analysert av flere ulike instanser og med forskjellig formål. Stor variasjon i deteksjonsgrensene i analysene bidrar også til usikre tolkninger.

Sammenstillingen viser at utløpsvann fra renseanleggene og tilførselselvene bidrar med i samme størrelsesorden av BFH til Mjøsa. Periodevis store bidrag fra de aktive deponiene i området ledes til renseanleggene og bidrar dermed via renseanleggene. Bidragene fra de nedlagte deponiene er vanskelig å beregne pga usikkerhet mhp vann gjennomstrømningen.

Dataene er sammenstilt for hver region og for hver av hovedtypene av BFH. Samlet bidrag fra de ulike kildene er summert opp til slutt. Da er også totale årlige bidrag beregnet basert på tilgjengelig analyser og vannføring fra de ulike kildene.

Sammenstillingen viser at fra de undersøkte kildene tilføres det totalt over 5000 gram BPA per år, mens tilførselen er ca 700 gram HBCDD, 240 gram PBDE og nesten 80 gram TBBPA i året. Sammenstillingen viser videre at via tilførselselvene kommer de største bidragene av PBDE, og særlig HBCDD, mens utløpsvann fra renseanleggene bidrar med de største tilførselene av TBBPA og BPA til Mjøsa.

Beregningene viser at de største enkeltbidragene av Σ PBDE er via Svartelva (57 g/år) og Flagstadelva (22 g/år) ved Hamar samt Lenaelva (29 g/år) og via utløp fra Lillehammer renseanlegg (45 g/år).

Bidrag fra de aktive deponiene kan være en betydelig kilde til BFH inn på renseanleggene. Konsentrasjonen av BFH i slam fra renseanleggene viser at rensingen her er effektiv.

1. Bakgrunn og formål

Våren 2003 ble det presentert resultater som viste at ørret fra Mjøsa hadde høye konsentrasjoner av bromerte flammehemmere (BFH). Våren 2004 presenterte Statens forurensingstilsyn en oppfølgende rapport som blant annet viste at også sedimentene i Mjøsa har til dels høyt innhold av BFH, med de høyeste nivåene i området rett sør for Lillehammer. I oppfølgende analyser for å avdekke kildene til BFH til Mjøsa, har Fylkesmennene i Hedmark og Oppland pålagt eiere av kommunale renseanlegg og deponier å foreta analyser av BFH samt at SFT har fått utført undersøkelse av tilførselene av BFH inn til Mjøsa med Gudbrandsdalslågen. Den eneste kjente punktkilden til den kommersielle penta-BDE blandingen stanset bruken i 2003. For de andre bromerte flammehemmerne er det ingen kjente punktkilder til utslipp til Mjøsa.

Formålet med sammenstillingen er å vurdere i hvilken grad de bromerte flammehemmerne polybromerte difenyletere (PBDE), heksabromsyklododekan (HBCDD), tetrabrombisfenol A (TBBPA) samt bisfenol A (BPA), bidrar til forurensningen som er påvist i Mjøsa ved at forurensningen lekker ut fra deponier og forurenset grunn eller slippes ut fra renseanlegg til Mjøsa. Der deponiene og renseanleggene ikke har direkte utslipp til Mjøsa, er det vurdert i hvilken grad stoffene kan nå frem til Mjøsa. Som en del av vurderingsgrunnlaget er også benyttet resultatene fra tidligere undersøkelser av BFH til og i Mjøsa.

Resultatene vil inngå som grunnlag for beslutninger om tiltak for eventuelt å redusere utlekking fra tilførselselver, deponier og renseanlegg.

1.1. Tidligere undersøkelser

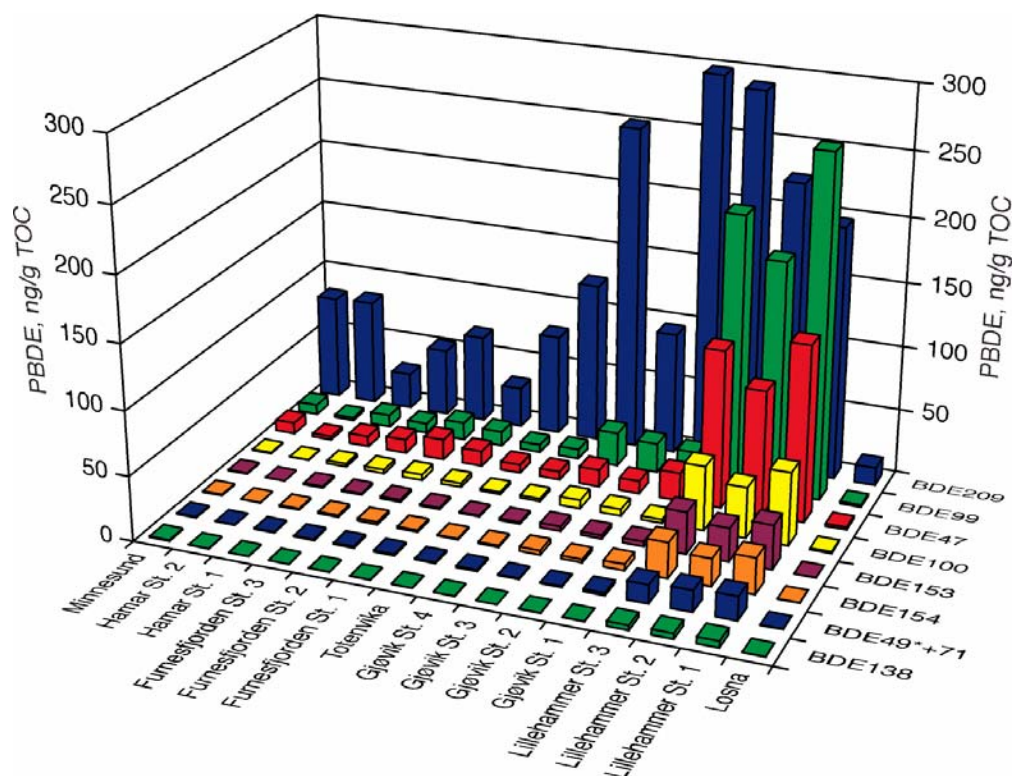
Det er tidligere dokumentert høye forekomster av bromerte flammehemmere i Mjøsa (Fjeld et al., 2001, Fjeld et al., 2004 og 2005), både i sedimenter og i fisk.

PBDE - polybromerte difenyletere

I screeningundersøkelsen fra 2003 ble det vist at konsentrasjonene av Σ PBDE i sedimenter fra Mjøsa varierte mellom 0,6–27 ng/g tørrvekt, eller 50–740 ng/g TOC (justert for mengden organisk karbon i prøvene). De høyeste konsentrasjonene var ved Lillehammer (600–740 ng/g TOC). I Losna, lenger opp i Gudbrandalslågen, var konsentrasjonen i sedimentet markert lavere (21 ng/g TOC). Ved Lillehammer var andelen av tetra- til hekso-BDE (BDE-47, -99, -100, -153 og -154) spesielt høy (60–70% av sum PBDE). Ved de øvrige stasjonene lenger sør i Mjøsa dominerte BDE-209 (50–90%).

Variasjonsmønsteret mellom konsentrasjonene av de enkelte PBDE-kongenerene er vist i Figur 1, som er hentet fra Fjeld et al. (2004). Her ser man hvordan tetra-, penta- og hekso-BDE dominerer i prøvene fra Lillehammer, mens de er relativt lavt representert ved de andre stasjonene. Ved disse andre stasjonene var BDE-209 den dominerende kongeneren (50–90%). Figur 1 viser et noe spesielt variasjonsmønster for BDE-209. Konsentrasjonene er høye (200–300 ng/g TOC ved Lillehammer og ned til Redalen nord for Gjøvik (St. 1), for så å synke til 95 ng/g TOC ved Gjøvik St. 2. Denne stasjonen ligger rett utenfor Rambekk kloakkrenseanlegg. Ved Gjøvik St. 3, som ligger noe nedstrøms Hunnselva og utløpet fra Rambekk kloakkrenseanlegg, steg nivåene markert igjen til 250 ng/g TOC. For de resterende stasjonene lå konsentrasjonene betydelig lavere (30–80 ng/g TOC. Det høye nivået ved Gjøvik St. 3 kan tyde på at det finnes en ekstra kilde for BDE-209 i Gjøvikregionen. Figur 2 viser en forenklet fordeling og konsentrasjon av penta-BDE og deka-BDE er vist for stasjonene i Mjøsa (Fjeld).

I screeningundersøkelsen fra 2003 ble det videre vist at konsentrasjonen av Σ PBDE i fisk fra Mjøsa lå i området 1 200–22 000 ng/g lipid (50–980 ng/g våtvekt). De laveste konsentrasjonene var i zooplanktonspisende byttefisk som lagesild og krøkle, de høyeste fantes i abbor, gjedde, ørret og lake. Midlere konsentrasjon i 10 ørret (gjennomsnittsvikt 3,5 kg) var 5 450 ng/g lipid, og de individuelle konsentrasjonene varierte fra 3 300–17 500 ng/g lipid. Dette er de høyeste konsentrasjonene rapportert i laksefisk internasjonalt. Midlere konsentrasjon i 10 lake fra Lillehammer (gjennomsnittsvikt 1,5 kg) var 22 000 ng/g lipid (variasjonsbredde: 7 100–45 000 ng/g lipid).



Figur 1. Konsentrasjoner av polybromerte difenyletere (PBDE) i innsjøsedimenter i Mjøsa og Losna. Konsentrasjonene er normalisert mot mengden organisk karbon (TOC) i prøvene (ng/g TOC). Observasjoner lavere enn deteksjonsgrensen er satt lik halve denne. Figuren er hentet fra Fjeld et al. (2004) (TA-2006/2004).

Screeningundersøkelsen i 2004 (Fjeld et al., 2005) viste at konsentrasjonen av PBDE i stor Mjøsørret (omlag 300 ng/g våtvekt eller 5000–6000 ng/g lipid) ikke var særlig forskjellig fra de nivåene som tidligere ble rapportert i Fjeld et al. (2004). Nivåer som ble målt var fortsatt blant de høyeste som er rapportert internasjonalt for slik fisk.

Storørret fra Losna i Gudbrandalslågen hadde vesentlig lavere Σ PBDE-konsentrasjon (15 ng/g våtvekt eller 332 ng/g lipid) enn Mjøsørreten. Dette viser at ørreten fra Losna er noe påvirket av PBDE-forurensninger, men i langt mindre grad enn ørreten som lever i Mjøsa.

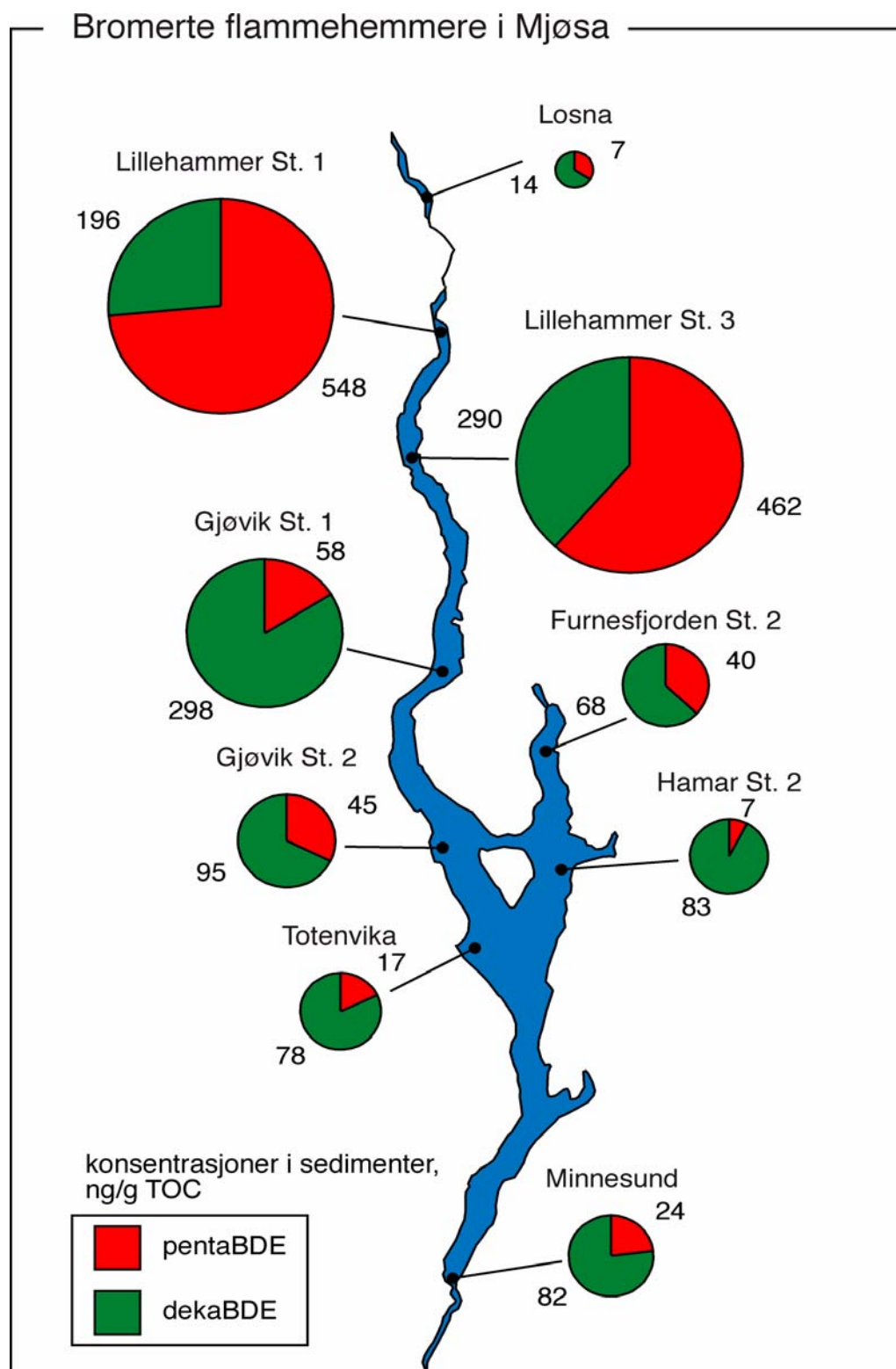
HBCDD - heksabromsyklododekan

Screeningundersøkelsen i 2004 (Fjeld et al., 2005) viste at i sedimenter fra Mjøsa ble Σ HBCD påvist ved Lillehammer (7,9 ng/g tørrvekt), men ingen andre isomerer ble funnet over deteksjonsgrensen. I fisk fra Mjøsa ble det påvist HBCD i alle undersøkte fiskeprøver, og isomeren α -HBCD hadde en dominerende forekomst. Nivåene av Σ HBCD lå i området 90–880 ng/g lipid; høyest i gjedde fra Mjøsa.

TBBPA - tetrabrombisfenol A og bisfenol A

Screeningundersøkelsen i 2004 (Fjeld et al., 2005) viste analyser av sedimentprøver fra Losna og Mjøsa med lave nivåer av TBBPA (0,04–0,13 ng/g tørrvekt), og høyere nivåer av Bisfenol A (11–48 ng/g tørrvekt). Konsentrasjonene av TBBPA i samtlige fiskeprøver var lave og

detekterbare konsentrasjoner (0,2–9 ng/g lipid) ble kun funnet i prøvene fra Mjøsa, Vorma og Øyeren. De høyeste nivåene ble funnet i abbor og gjedde fra Mjøsa. Bisfenol A ble funnet i vesentlig høyere konsentrasjoner. I fisk fra Mjøsa, Vorma og Øyeren lå nivåene i området 33–1 390 ng/g lipid; lavest for abbor i Øyeren, høyest for ørret i Vorma og gjedde i Mjøsa.



Figur 2. Kakediagram som viser konsentrasjoner i ng/g TOC for henholdsvis dekaBDE og teknisk pentaBDE blanding (sum BDE-28, 47, 49+71, 77, 99, 100, 119, 138, 153 og 154).

2. Materiale og metoder

2.1. Kjemisk analyse

Analysen av forbindelser vist i Tabell 1 er sammenstilt i denne rapporten. Majoriteten av analysene er gjort på NILU, men noen analyser er foretatt hos AnalyCen og Analytica. Dette har ført til at det er vanskelig å gjøre en optimal sammenligning av resultatene, da de ulike analyselaboratoriene har ulike utvalg av analyserte kongenerer og noen har tildels svært høye deteksjonsgrenser.

Tabell 1 Navnsetting av bromerte flammehemmere.

Betegnelse enkeltforbindelse	IUPAC nr	Forkortelse	Forkortelse gruppenavn	Gruppenavn
2,4,4'-TriBDE	28	TriBDE	PBDE	Polybromerte difenyletere
2,2',4,4'-TetBDE	47	TetraBDE		
2,3',4',6-TetBDE	71			
3,3',4,4'-TetBDE	77			
2,2',4,4',5-PenBDE	99	PentaBDE		
2,2',4,4',6-PenBDE	100			
2,3',4,4',6-PenBDE	119			
2,2',3,4,4',5'-HexBDE	138	HexaBDE		
2,2',4,4',5,5'-HexBDE	153			
2,2',4,4',5,6'-HexBDE	154			
2,2',3,4,4',5',6-HepBDE	183	HeptaBDE		
DekaBDE	209	DekaBDE		
TBBPA		TBBPA	TBBPA	Tetrabrombisfenol A
alfa-HBCD		HBCDD	HBCDD	Heksabrom-syklododekan
beta-HBCD				
gamma-HBCD				

For å kunne håndtere prøven til kjemisk analyse, må alt som skal påvises (analyttene) overføres til et organisk løsemiddel (ekstraksjon). Oftest er det også nødvendig å fjerne forstyrrende prøvematriks og som regel blir ekstraktet oppkonsentrert for å øke metodens følsomhet. Alle NILUs analyser ble gjennomført etter internstandardmetoden med bruk av 7 isotopmerkete PBDE, 2 isotopmerkete HBCDD og isotopmerket TBBPA. Det betyr at til alle prøvetyper ble det tilsatt et sett av relevante internstandarder for å kontrollere utbytte av ekstraksjon og opparbeidelse. De samme forbindelser ble senere benyttet som intern standard ved kvantifiseringen. Dette medfører at prøveresultatene automatisk blir korrigert for eventuelle tap under ekstraksjon og opparbeidelse. Etter ekstraksjon ble prøvene renset vha. gelpermeasjonskromatografi og/eller svovelsyre-behandling. Før kvantifisering ble ekstraktet oppkonsentrert og tilsatt gjenvinningsstandard.

De mest relevante analytiske detaljer er gitt i Tabell 2.

Tabell 2: De mest relevante analytiske parametrene.

	PBDE	PBDE Analycen	PBDE Analytica	HBCDD	TBBPA
Isotopmerkete internstandarder	7	0	0	3	1
Ekstraksjon vann	Væske/ væske			Væske/ væske	SPE
Ekstraksjon, sediment/slam	Soxhlet	Soxhlet	Soxhlet	Soxhlet	Soxhlet
Videre opprensing	GPC/ Svovelsyre/ silika	?	?	GPC/ Svovelsyre/ silika	SPE
Kvantifisering	GC/HRMS	GC/LRMS	GC/LRMS	LC/MS	LC/MS
Ioniseringsteknikk	EI	EI	EI	ESI(-)	ESI(-)
GC/LC-kolonne	ZB-1 15*0,25*0,11	?	?	XTerra C18 3,5 µm 15cm*2,1mm	XTerra C18 3,5 µm 15cm*2,1mm
Analyseusikkerhet	25 – 35 % *)	20 %	15 -25 %	30 – 40 % *)	25 –35 % *)

EI: Elektronstøt ionisering.

ESI (-/+): negativ/positiv elektropray.

GC/HRMS: Gasskromatografi koplet til høyoppløsende massespektrometri (Instrument: Waters AutoSpec).

GPC: Gelpermeasjonskromatografi (BioBeads SX-3).

LC/MS: Væskeskromatografi koplet til massespektrometri (Instrument: Waters ZMD).

SPE: Fast fase ekstraksjon. (OASIS HLB).

*) : Konservativt estimat av den totale ekspanderte måleusikkerheten som også inkluderer lab-til-lab variasjoner.

Analyser av bromerte flammehemmere må fortsatt anses som en forholdsvis ny analysemetode. Det finnes begrenset av data fra laboratoriesammenligninger (interkalibreringer) som er forutsetning for å kunne estimere variasjoner mellom de forskjellige laboratorier.

For beregning av ΣPBDE er observasjoner under deteksjonsgrensen satt lik det halve av denne.

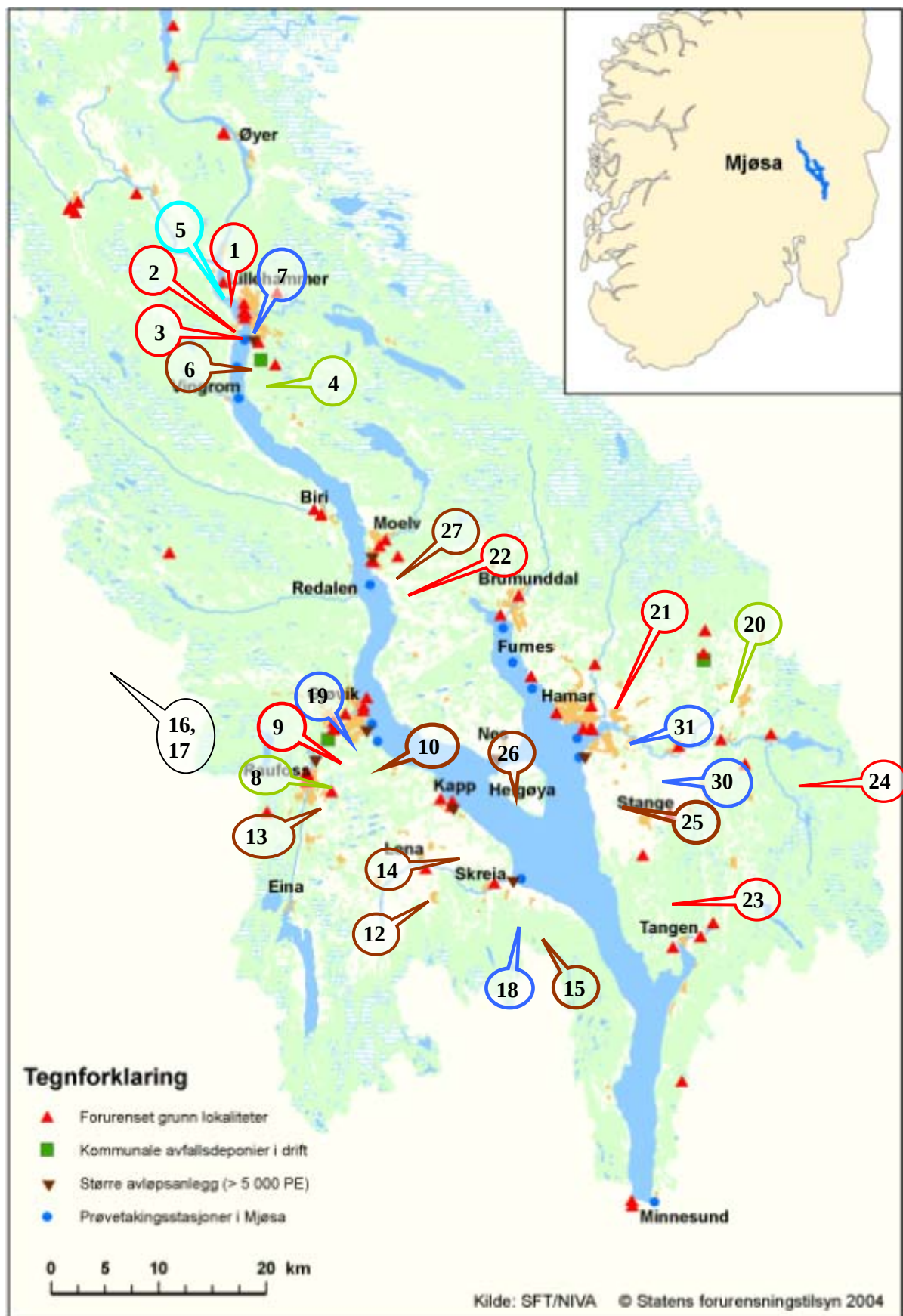
2.2. Stasjonsbeskrivelse

Etter pålegg fra SFT, og fylkesmannen i Oppland og i Hedmark har flere aktører samlet inn og analysert prøver fra mulige kilder med forurensning av bromerte flammehemmere (BFH) til Mjøsa. Dataene i sammenstillingen er derfor hentet fra flere kilder som er benyttet i ulike sammenhenger tidligere. Det er i tillegg innhentet supplerende prøver i dette prosjektet. Da prøvetakingen er foretatt i flere prosjekter, vil prosedyre og metode være noe forskjellig. Sammenstillingen er basert på prøver som er tatt fra avfallsdeponier, renseanlegg og tilførselselvene til Mjøsa, samt noen prøver fra lokale vannverk.

Alle avfallsdeponiene som er med i sammenstillingen, har vært virksomme i perioden hvor bromerte flammehemmere (BFH) er benyttet. BFH forekommer spesielt ved deponering av tekstiler, elektriske og elektroniske artikler som TV, radio, bildeler, kabler og pc-er. Flere av deponiene tilføres slam fra de regionale og lokale renseanleggene samt avfall fra annen industri i området. Prøvene er i hovedsak tatt av sigevann og sedimenter ved utløpet fra deponiene. Ulik prøvetaking har blant annet medført at noen av prøvene er analysert på sigevann med partikler, mens andre prøver er analysert på filtrerte prøver.

Prøver fra renseanlegg er fra både innløp og utløp fra renseanleggene.

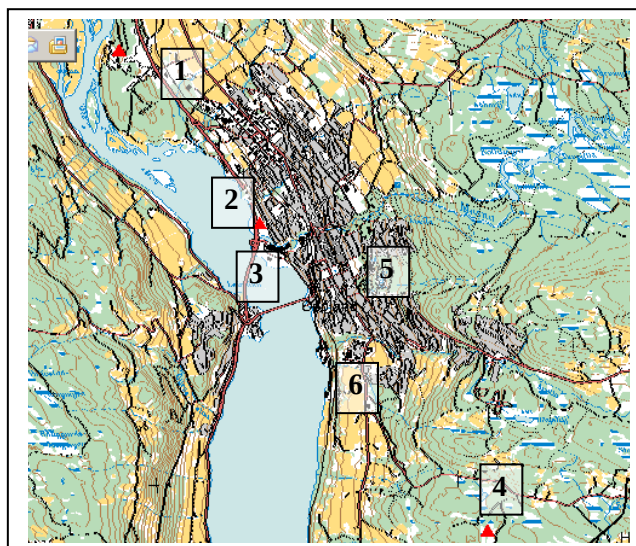
Alle prøvene av de større tilførselselvene til Mjøsa er tatt som stikkprøve under samme klimatiske forhold. Tilførselselvene representerer en blandprøve fra regionen oppstrøms, da noe sigevann og avrenning fra industri og annen virksomhet kan gå direkte til resipienten. Sammenstillingen er i det videre presentert ved at prøvesteder er samlet i regioner rundt de tre byene Hamar, Lillehammer og Gjøvik. Dette for å sammenholde dataene med tidligere stasjoner for sedimentundersøkelsene i Mjøsa.



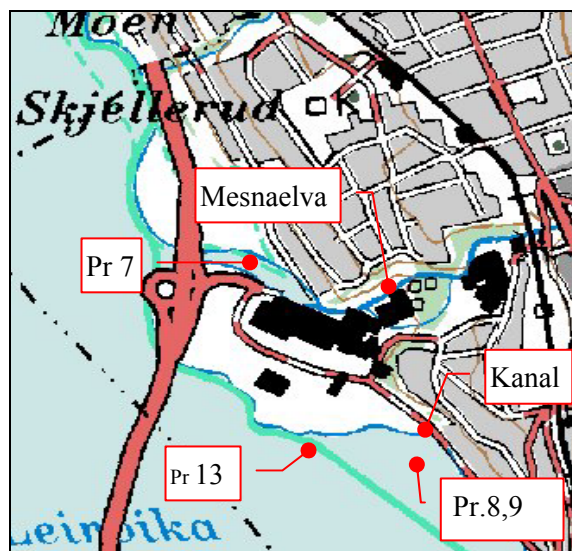
Figur 3. Kart som viser aktuelle prøvetakingssteder rundt Mjøsa. Nummer viser til tabellene 3 til 5 i neste avsnitt. Farge viser til lokalitetstype med samme fargesymbol som i tegnforklaringen.

2.2.1. Lillehammer regionen

Prøver fra Lillehammer-regionen er summert i Tabell 3 og vist i Figur 3 og Figur 4. Det er tatt prøver av et aktivt deponi (GLØR Roverudmyra) og tre nedlagte deponi, Hovemoen, Busmoen og Strandtorget. Prøven fra Busmoen (Pr.7) er tatt i Mesnaelva rett utenfor deponiet, mens prøvene fra Strandtorget er tatt av sediment like utenfor Strandtorget. Det er også tatt noen prøver av sediment like utenfor en overløps-/overvannskanal. Det er i 2005 tatt prøve av sediment inne fra denne kanalen. Det er videre tatt prøver fra det regionale renseanlegget og vannverket på Lillehammer. Det er tatt prøve av Mesnaelva like før den går ut i Mjøsa.



Figur 4a Plassering av prøvepunkter i Lillehammer regionen



4b. Prøver fra Busmoen og Strandtorget

Tabell 3 Prøvetakingsteder og matriks i Lillehammer regionen. Nr. refererer til lokalitet på kart i Figur 3 og 4. Måned og år for prøvetaking er vist for hver prøve.

Sted	Nr	Type lokalitet	Sediment	Vann
Hovemoen ved Lillehammer	1	Nedlagt deponi		B1 kum Øst 04.04
Busmoen ved Lillehammer	2	Nedlagt deponi	Prøve 7 fra Mesnaelva utenfor deponiet 04.04	
Strandtorget ved Lillehammer	3a	Nedlagt deponi	Overflate –12.03 Pr 8 – 03.04 Pr 9 – 03.04 Pr 13 – 03.04	Kum 1-6 - 11.04
Strandtorget ved Lillehammer	3b	Overløpskanal (kulvert) ved Strandtorget	Pr 1-3 03.05	
GLØR Roverudmyra	4	Aktivt deponi	Sed- sigevann -10.03 Slam 03.04	Sigevann – 10.03 Sigevann – 03.04 Utløp – 11.04
Lillehammer vannverk	5	Vannverk		Rentvann 03.04
Lillehammer renseanlegg	6	Regionalt renseanlegg	Slam – 12.03 Slam – 03.04 Slam – 12.04	Innløp – 10.03 Utløp – 10.03 Innløp – 03.04 Utløp – 03.04 Innløp – 12.04 Utløp – 12.04
Mesnaelva, Strandtorget	7	Tilførselselv		12.04

2.2.2. Gjøvik - regionen

Prøver fra Gjøvik regionen er summert i Tabell 4 og vist i Figur 3.

Det er tatt sigevannsprøver fra utløpet til et aktivt deponi, Dalborgmarka, og fra et nedlagt deponi, Nygard.

Det er tatt innløp og utløpsprøver samt slamprøver fra det regionale renseanlegget på Rambekk, Gjøvik, samt utløpsprøver av en rekke mindre renseanlegg i regionen. På Rambekk tar de imot slam fra renseanleggene i 7 kommuner i Lillehammer og Gjøvik regionen, inkludert Lillehammer renseanlegg.

Det er tatt prøve fra to tilførselselver til Mjøsa, Hunnselva i Gjøvik og fra Lenaelva, begge like før de går ut i Mjøsa.

Tabell 4 Prøvetakingsteder og matriks i Gjøvik regionen. Nr. refererer til lokalitet på kart i Figur 3. Måned og år for prøvetaking er vist for hver prøve

Sted	nr	Type lokalitet	Sediment	Vann
Gjøvik - regionen				
GLT avfall Dalborgmarka ved Gjøvik	8	Aktivt deponi		Utløp 01.04 Utløp 11.04
GLT avfall Nygard ved Gjøvik	9	Nedlagt deponi		Utløp 01.04 Utløp 11.04
Rambekk renseanlegg Gjøvik – Mottar slam fra renseanleggene fra 7 kommuner i regionen, inkludert Lillehammer	10	Regionalt renseanlegg	Slam – 03.03 Slam - 11.03 Slam 01.05	Innløp – 11.03 Utløp ufil – 11.03 Utløp filt – 11.03 Innløp – 12.04 Utløp – 12.04
Lena renseanlegg	12	Renseanlegg		Utløp – 12.04
Breiskallen renseanlegg	13	Renseanlegg		Utløp – 12.04
Kapp renseanlegg	14	Renseanlegg	Slam – 11.03	Utløp – 12.04
Skreia renseanlegg	15	Renseanlegg	Slam – 11.03	Utløp – 12.04
Renseanlegg i Nordre Land	16	Renseanlegg	Slam – 11.03	
Renseanlegg i Søndre Land	17	Renseanlegg	Slam – 11.03	
Lenaelva, Lena	18	Tilførselselv		Utløp – 12.04
Hunnselva, Gjøvik sentrum	19	Tilførselselv		06.03 10.04 12.04

2.2.3. Hamar regionen

Prøver fra Hamar regionen er summert i Tabell 5 og vist i Figur 3.

Det er tatt sigevannsprøver av det regionale aktive deponi, Heggvin og det nedlagte regionale deponi, Gålås, samt fra tre mindre og nedlagte deponier; Tandeskogen i Ringsaker (nr 20 i figur 2), Nødslemyra i Stange (23) og Hammeren i Løten (24).

Det er tatt prøve fra det regionale renseanlegget på Hamar, HIAS, samt fra de mindre renseanleggene på Nes og Moelv. Slam fra alle renseanleggene i regionen samles og behandles på HIAS. Det er tatt prøve av vannverkene på Hamar og Stange. Det er tatt prøve fra to tilførselselver til Mjøsa: Svartelva og Flagstadelva, begge like før de går ut i Mjøsa, ved Hamar.

Tabell 5 Prøvetakingsteder og matriks fra Hamar regionen. Nr. refererer til lokalitet på kart i Figur 3. Måned og år for prøvetaking er vist for hver prøve.

Sted	Nr	Type lokalitet	Sediment	Vann
HIAS Heggvin	20	Aktivt deponi	Partikler innløp 04.04 Partikler utløp 04.04 Sediment 04.04	Innløp lagune 04.04 Utløp lagune 04.04
Gålås avfallsdeponi	21	Nedlagt deponi	Partikler 10.03 Sediment 10.03	Utløp renselagune 10.04
Tandeskogen	22	Nedlagt deponi	Partikler sigev 04.04 Sediment sigev 04.04	sigevann 04.04
Nødslemyra Stange	23	Nedlagt deponi	Partikler sigev 04.04 Sediment sigev 04.04 Sediment dam 04.04	Sigevann 04.04
Nødslemyra Løten Hammeren	24	Nedlagt deponi	Partikler sigev 04.04 Sediment sigev 04.04	Sigevann 04.04
HIAS avløpsrenseanlegg	25	Regionalt renseanlegg	Partikler utløp 04.04 Slamfase 04.04	Innløp 04.04 Utløp 04.04 Utløp 12.04
Nes renseanlegg	26	Renseanlegg	Partikler utg 04.04 slam 04.04	Innløp 04.04 Utløp 04.04 Utløp 12.04
Moelv renseanlegg	27	Renseanlegg	Partikler utg 04.04 slam 04.04	Innløp 04.04 Utløp 04.04 Utløp 12.04
Stange vannbehandlingsanlegg	28	Vannverk		Rentvann 04.04 Råvann 04.04
Hamar vannbehandlingsanlegg	29	Vannverk		Rentvann 04.04 Råvann 04.04
Svartelva, Hamar	30	Tilførselselv		Utløp 12.04
Flagstadelva, Hamar	31	Tilførselselv		Utløp 12.04

2.3. Vannmengder

I Tabell 6 er vannmengdene ut fra de ulike prøvestedene summert opp. Vannmengdene er beheftet med varierende grad av usikkerhet. For vannverk er det oppgitt årsproduksjonen ved de ulike vannverkene. For tilførselselvene er det oppgitt midlere vannføring. Det er stor variasjon i vannføringen i løpet av året, men vannmengden gir en indikasjon på den relative størrelsen på elvene. For Mesnaelva er det benyttet det dobbelte av pålagt minstevannføring pga enkelte skyllinger og overvann ved store nedbørsepisoder. For renseanleggene er det oppgitt årlig utslipp av vann fra renseanlegget. Det er også oppgitt slammengde, som produseres eller behandles ved renseanlegget. For deponiene er det oppgitt sigevannsvannmengde som kommer fra deponiet.

Det er i første rekke tilførselselver, og renseanlegg som har direkte utslipp til Mjøsa. I tillegg er det enkelte steder med nedlagte deponier eller forurensset grunn som ligger i eller i umiddelbar nærhet til Mjøsa, og som dermed vil lekke til Mjøsa. Alle de aktive deponiene leder sigevann til renseanlegg før det slippes ut i Mjøsa.

Tabell 6 Vannmengder tilført Mjøsa fra ulike tilførselspunkter. Nr referer til figur 2 og tabell 3- 5.

Sted	Nr	Type lokalitet	Vann mengde m ³ /år	Slam mengde tonn TS	Midlere vannføring m3/s
Lillehammer vannverk	5	Vannverk	4 000 000		
Stange vannbehandlingsanlegg	28	Vannverk	2 000 000		
Hamar vannbehandlingsanlegg	29	vannverk	4 000 000		
Mesnaelva, Strandtorget	7	Tilførselselv	15 000 000		0,47
Lenaelva, Lena	18	Tilførselselv	116 320 000		3,7
Hunnselva, Gjøvik sentrum	19	Tilførselselv	156 760 000		4,9
Svartelva, Hamar	30	Tilførselselv	127 200 000		4,0
Flagstadelva, Hamar	31	Tilførselselv	61 380 000		1,9
Lena renseanlegg	12	Renseanlegg	270 000		
Breiskallen renseanlegg	13	Renseanlegg	2 470 000	2 500	
Kapp renseanlegg	14	Renseanlegg	164 000	600	
Skreia Renseanlegg	15	Renseanlegg	338 000	640	
Nes renseanlegg	26	Renseanlegg	195 000	300	
Moelv renseanlegg	27	Renseanlegg	821 000	480	
Lillehammer renseanlegg	6	Regionalt renseanlegg	5 700 000	9 300 1 666	
Rambekk renseanlegg Gjøvik	10	Regionalt renseanlegg	4 380 000	3 000	
HIAS avløpsrenseanlegg	25	Regionalt renseanlegg	7 016 000	3 250	
Hovemoen ved Lillehammer	1	Nedlagt deponi			
Busmoen ved Lillehammer	2	Nedlagt deponi			
Strandtorget ved Lillehammer	3	Nedlagt deponi			
GLT avfall Nygard ved Gjøvik	9	Nedlagt deponi			
Gålås avfallsdeponi	21	Nedlagt deponi	117 600		
Tandeskogen	22	Nedlagt deponi			
Nødslemyra Stange	23	Nedlagt deponi			
Nødslemyra Løten Hammeren	24	Nedlagt deponi			
GLØR Roverudmyra ved Lillehammer	4	Aktivt deponi	70 000-185 000 (00-03)		
GLT avfall Dalborgmarka	8	Aktivt deponi	57 000		
HIAS Heggvin	20	Aktivt deponi	54 000		

3. Resultater

3.1. PBDE i Lillehammer regionen

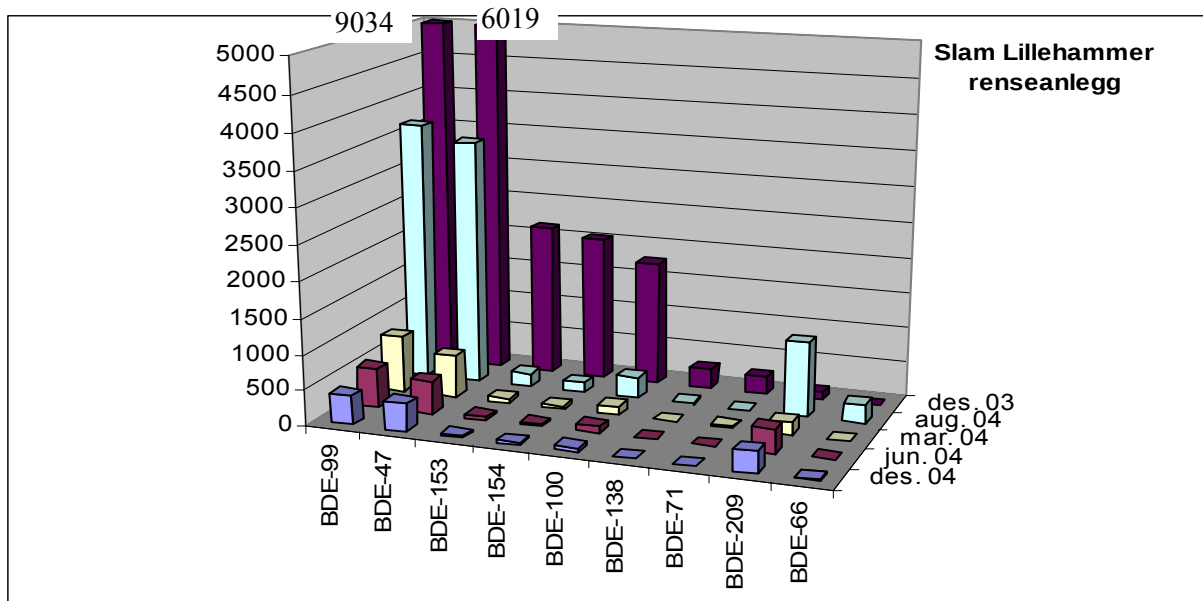
3.1.1. PBDE i Lillehammer Renseanlegg

Resultater av prøver fra Lillehammer renseanlegg er vist i Tabell 7, og Figur 5 og Figur 6. Det har blitt målt høye verdier av bromerte flammehemmere i slammet fra Lillehammer renseanlegg, særlig i prøve fra desember 2003 med Σ PBDE med 21 783 ng/g tørrvekt, og fra august 2004 med Σ PBDE 9 378 ng/g tørrvekt. De andre prøvene av slam fra 2004 viser stabile og langt lavere verdier (Σ PBDE 1300 –1800 ng/g tørrvekt). Figur 5 viser en klar nedgang i konsentrasjonen av PBDE i slammet fra desember 2003 til desember 2004.

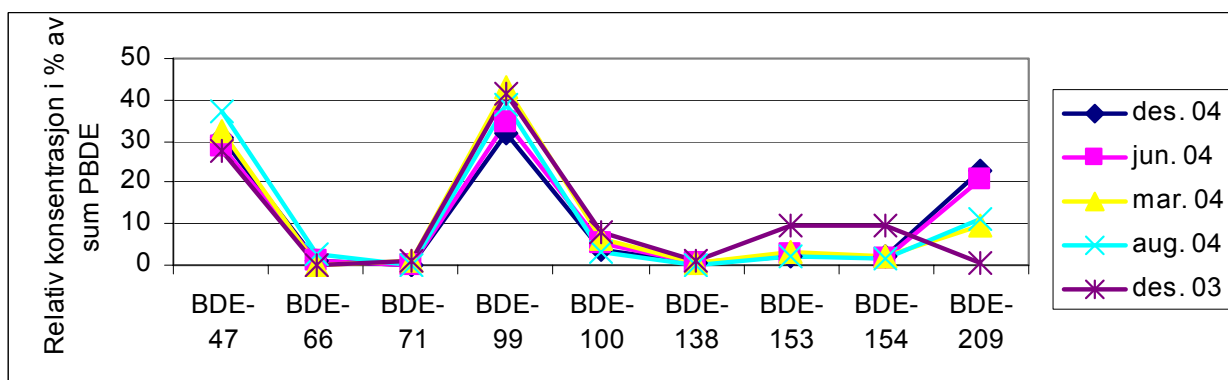
Slamprøvene fra Lillehammer viser størst variasjon i sammensetningen av PBDE-kongenerer, og domineres av kongenerene BDE-99, BDE-47 og BDE-209. Figur 6 viser at prøven av slam fra desember 2003 skiller seg ut, der BDE-153 og BDE-154 forekommer i markert større omfang, mens BDE-209 er langt lavere. BDE-209 øker i relativ betydning utover i 2004, mens BDE-99 og BDE-47 avtar.

Tabell 7. Konsentrasjon av et utvalg av polybromerte difenyletere (PBDE) i slam (ng/g tørrvekt) og i innløp- og utløpsvann (ng/l) fra renseanlegget på Lillehammer. For beregning av Σ PBDE er observasjoner under deteksjonsgrensen satt lik halve denne. Det finnes også analysedata for BDE-77, BDE-119, BDE-196 og BDE-206. Verdiene er lave eller under deteksjonsgrensen.

Matriks	Prøve tidspunkt	Σ PBDE	BDE-28	BDE-47	BDE-66	BDE-49 + 71	BDE-85	BDE-99	BDE-100	BDE-138	BDE-153	BDE-154	BDE-183	BDE-209
slam	des. 03	21783	87	6019		253		9034	1761	273	2134	2037	71,6	109
slam	mar. 04	1834	11,7	599		21,6		793	121	5,9	60,4	42,3	2,4	177
slam	jun. 04	1621	8,4	465	13,7	34,2	31,3	562	88,4	5,7	39,7	28,2	1,9	337
slam	aug. 04	9378	42,7	3469	263	55,8	131	3665	304	22,5	191	149	7,4	1053
slam	des. 04	1281	7,01	394	14,3	19,2	23,1	407	50,2	3,4	25,6	28,6	1,5	293
vann inn	okt. 03	5392	16	2630				1790	464	36	197	209	<50	<50
vann ut	okt. 03	<67	<5	<5				<5	<5	<5	<5	<5	<50	<50
vann inn	mar. 04	399	3,4	141		5,94		137	22	0,68	8,6	4,13	0,51	75,4
vann ut	mar. 04	8	0,07	2,4		0,11		2,29	0,48	<0,02	0,13	0,10	<0,01	2,4
vann inn	aug. 04	264	0,87	77,8	1,9	2,3	4,7	114	13	0,88	7,18	4,9	0,35	35,5
vann ut	aug. 04	3	<0,03	0,2	0,14	<0,04	<0,07	0,29	0,05	<0,17	<0,13	<0,08	0,06	2,1
vann inn	des. 04	233	1,1	63	2,3	5,4	3,32	61,01	7,25	0,62	3,4	4,9		75,0
vann ut	des. 04	7	0,06	2	0,03	0,07	0,08	2,17	0,35	<0,07	0,29	0,11	0,06	1,9



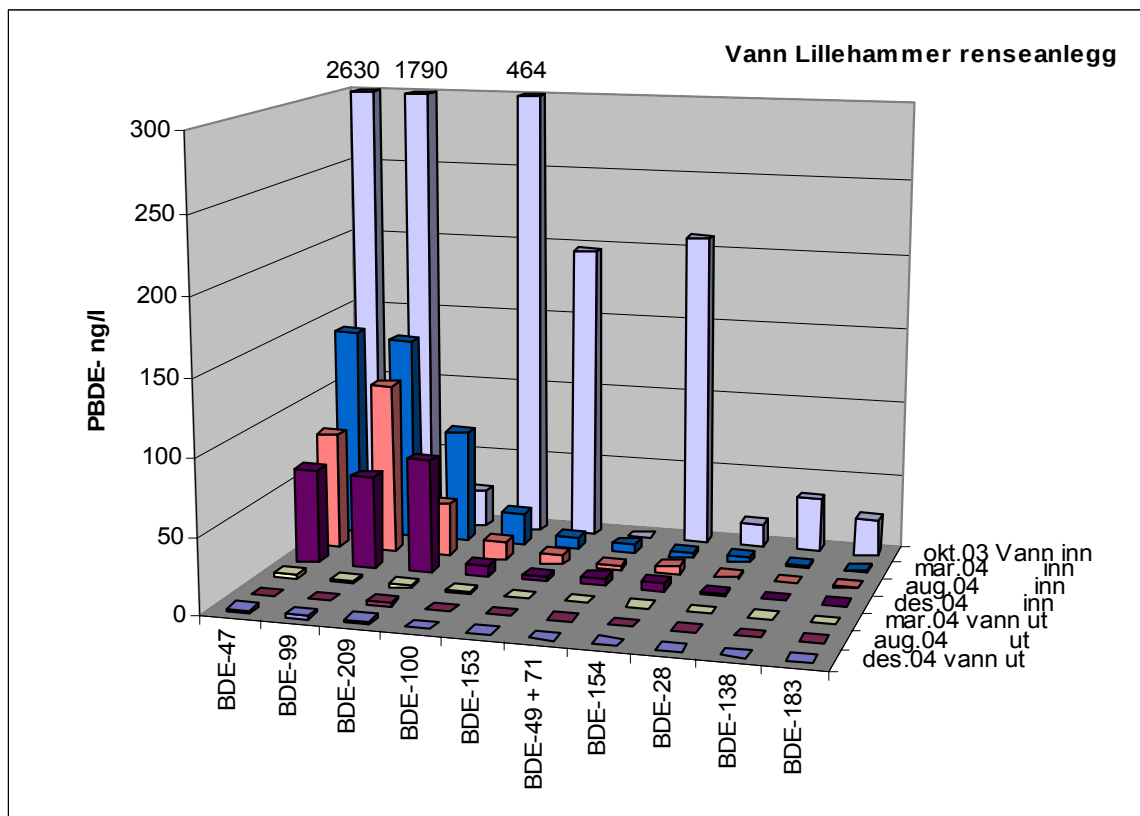
Figur 5 PBDE i slam (ng/g tørrvekt) fra Lillehammer renseanlegg ved ulike tidspunkt fra desember 2003 til desember 2004.



Figur 6. Profil av relative konsentrasjoner (%) av utvalgte PBDE-kongenerer i slamprøver fra Lillehammer renseanlegg.

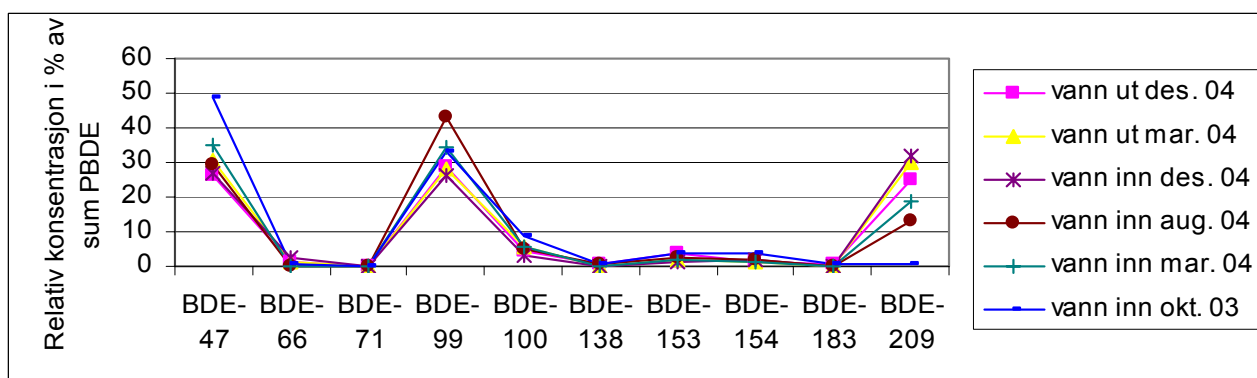
Det ble høsten 2003 målt høy verdi også i innløpsvann til renseanlegget (Σ PBDE 5392 ng/l), Figur 7. I 2004 er det imidlertid målt stadig lavere verdier i innløpsvannet (Σ PBDE 233 –399 ng/l). Sammensetningen av PBDE-kongenerene viser stabil relativ sammensetning, med BDE-47, BDE-99 og BDE-209 som de dominerende kongenerene, se Figur 8.

Utløpsvannet har i hele måleperioden vist lave verdier. Tilsynelatende høye verdier høsten 2003 for utløpsvann i Figur 7, skyldes høy deteksjonsgrense for denne analysen.



Figur 7 PBDE i vann (ng/l) fra Lillehammer renseanlegg ved ulike tidspunkt fra oktober 2003 til desember 2004. Utløpsvann okt. 03 ikke med i figur pga kun mindre enn-verdier.

Markert forekomst av penta-BDE, og relativt lite BDE-209, i tillegg til et mangfold av PBDE-kongenerer samsvarer godt med funn i sediment fra Mjøsa utenfor Lillehammer, se Figur 1 og kap.1.1.



Figur 8. Profil av relative konsentrasjoner (%) av utvalgte PBDE-kongenerer i vannprøver fra Lillehammer renseanlegg.

3.1.2. PBDE i deponi og forurenset grunn fra Lillehammer

Resultater av prøver fra deponi og forurenset grunn lokaliteter i Lillehammer regionen er vist i Tabell 8, og Figur 9 og Figur 10. Det har blitt målt høye verdier av bromerte flammehemmere i sediment fra Strandtorget, særlig i prøve fra desember 2003 i overflatesediment ved utløpet fra kulvert, med Σ PBDE 4 692 ng/g tørrvekt. Kanalen mottar overløp fra kommunal felleskloakk og drens/overvann fra deler av Strandtorget. Supplerende prøve fra januar 2005 viser reduserte, men fortsatt høye verdier, Σ PBDE 945 ng/g tørrvekt. De andre prøvene av sedimenter fra området utenfor Strandtorget fra 2004 viser verdier på eller under deteksjonsgrensen.

I mars 2005 ble det tatt supplerende prøver av sediment inne fra kanalen. Det ble funnet svært høye verdier, med over Σ PBDE 7 200 ng/g tørrvekt. Sediment fra kanalen ble i april 2005 fjernet.

En vannprøve fra Hovmoen (nedlagt deponi) viser relativt høye verdier for de tyngre PBDE (hepta, okta og deka- BDE), og tilnærmet null for BDE-100 og lavere. Det til forskjell fra de fleste andre prøvene som også inneholder høye konsentrasjoner av kongenerer lavere enn BDE-100.

Tabell 8 Konsentrasjon av et utvalg av polybromerte difenyletere (PBDE) i slam/sediment (ng/g tørrvekt) og i vann (ng/l) fra deponi og forurenset grunn fra Lillehammer. For beregning av Σ PBDE er observasjoner under deteksjonsgrensen satt lik halve denne. For slamprøver fra kanalen finnes også analysedata for BDE-28, BDE-77, BDE-119 og BDE-20. Verdiene er lave.

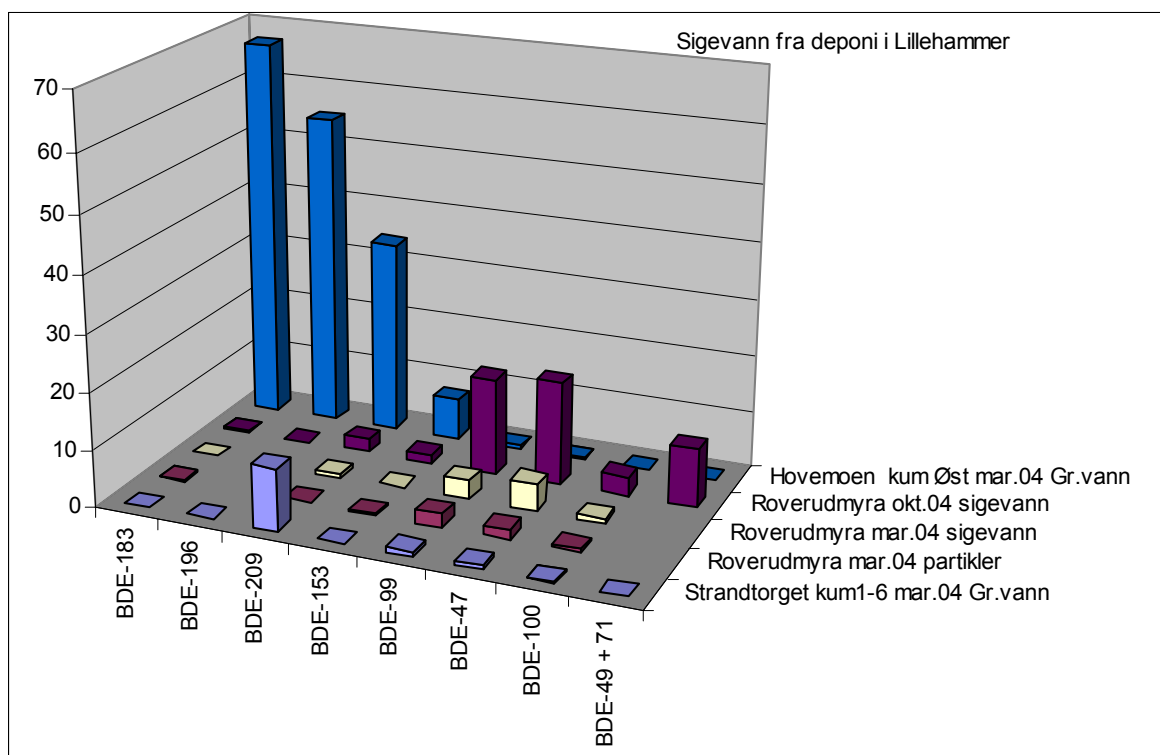
Lokalitet	Matriks	Prøve tidspunkt	Σ PBDE	BDE-47	BDE-66	BDE-49 + 71	BDE-85	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154	BDE-183	BDE-196	BDE-209
Hovemoen kum Øst	Gr.vann	mar. 04	166,6	<0,2				0,6	<0,2	7,3		67	55	34
Hovemoen Brønn 1	Gr.vann	mar. 04	<10,3	<0,2				<0,2	<0,2	<1		<2	<2	<10
Strandtorget p 1-6	Gr.vann	Mar. 04	13,6	0,74				0,87	0,14	0,1		0,08	<29	10,9
Busmoen pr 7	sediment	mar. 04	<4,3	<0,05				<0,05	<0,05	<0,50		<1,0	<1,0	<5,0
Strandtorget pr13 topp 5 cm	sediment	mar. 04	4,5	0,07				0,17	0,09	<0,5		<1,0	<1,0	<5,0
Strandtorget pr 8 topp 15 cm	sediment	mar. 04	<4,3	<0,05				<0,05	<0,05	<0,5		<1,0	<1,0	<5,0
Strandtorget pr 9 topp 30 cm	sediment	mar. 04	<4,3	<0,05				<0,05	<0,05	<0,5		<1,0	<1,0	<5,0
Strandtorget kum utløp	sediment	des. 03	4692	1500				2900	100	130		1,7	1,2	59
Strandtorget kum utløp	sediment	jan. 05	945	370				540	22	8,3		<1,0	<2,0	<5,0
Strandtorget slam fra kanalen ¹	sediment	mar.05	3374	469	13	37	23	1290	85	75	51	2,27	<0,96	1272
Strandtorget slam fra kanalen ²	sediment	mar.05	7212	1838	31	80	88	2955	309	212	171	5,8	<4,65	1442
Strandtorget slam utenfor kanal ³	sediment	mar.05	608	49,2	1,5	2,68	1,3	495	4,26	11	3,3	0,19	<2,32	31,7
Roverudmyra	sediment	mar. 04	6,2	1,73				2,33	0,52	0,29		0,07		<0,63
Roverudmyra	sivevann	mar. 04	17,3	4,88				3,51	0,74	0,19		<0,02		<1,18
Roverudmyra	sediment	okt. 04	<45,0	<5				<5	<5	<5		<5		<50
Roverudmyra	sivevann	okt. 04	56,2	18,1		10,3		16,9	3,3	1,4		0,16	<0,2	2,3

¹ 2 meter inne i kanalen

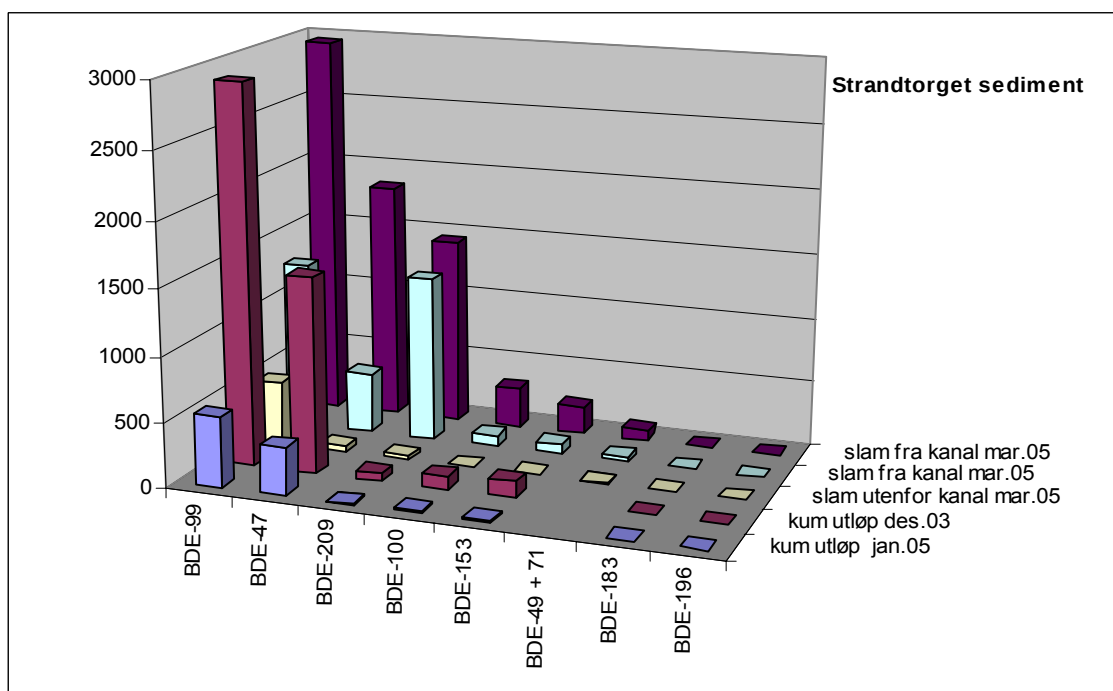
² 20 meter inne i kanalen

³ 2 meter utenfor kanalutløp

Prøver av sigevann fra Roverudmyra (aktivt deponi) viser også høye verdier for Σ PBDE (56 og 17 ng/l) dominert av de lettere kongenerene, BDE-47, BDE -49+71 og BDE -99. Sedimentprøvene fra Roverudmyra er relativt lav.



Figur 9 PBDE i vannfase (ng/l) og partikkelfase (ng/g tørrvekt) fra sigevann fra aktivt og nedlagt deponi fra Lillehammer.



Figur 10 PBDE i sediment (ng/g tørrvekt) fra Strandtorget ved Lillehammer.

3.2. PBDE i Hamar regionen

3.2.1. PBDE i renseanlegg fra Hamar , Moelv og Nes

Resultater av prøver fra renseanlegg i Hamar regionen; HIAS, Nes og Moelv renseanlegg er vist i Tabell 9, og Figur 11 og Figur 12. HIAS mottar og behandler slam fra alle de tre renseanleggene. Det er påvist PBDE i alle prøvene fra renseanleggene, både vann og slamprøver. Det er i hovedsak BDE-209, men også noe BDE- 47, og BDE -99 som er påvist. Dette til forskjell fra Lillehammer der det også forekom andre kongenerer i betydelige konsentrasjoner.

Urenset avløpsvann som kommer inn til renseanleggene, har varierende innhold av Σ PBDE, 10-40 ng/l, for HIAS og Moelv, mens Nes har Σ PBDE 425 ng/l, hvorav 410 ng/l er BDE-209. Nes har konsentrasjon av sum PBDE som er noe høyere enn for Lillehammer, der Σ PBDE i 2004 var ca. 200-300 ng/l.

I renset avløpsvann ut fra renseanleggene i Hamar regionen ble PBDE analysert på ufiltrerte vannprøver. Summen av vann og partikkelfasen av renset avløpsvann viser lave verdier, Σ PBDE ca. 2 ng/l for alle renseanleggene, bortsett fra en prøven fra våren 2004 fra Moelv med Σ PBDE 6 ng/l.

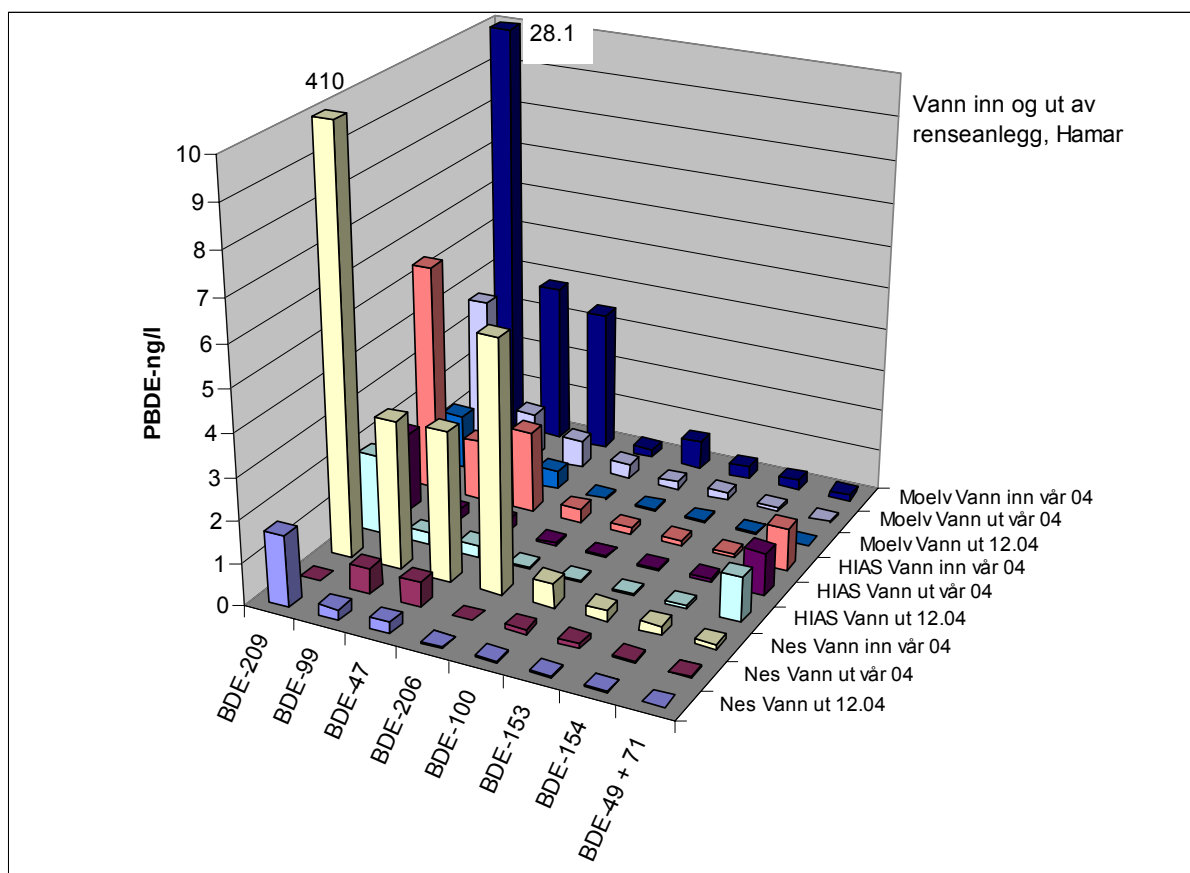
I slammet fra renseanleggene varierer Σ PBDE mellom 182 ng/g tørrvekt– og 1200 ng/g tv. Dette er lavere konsentrasjoner enn i slam fra Lillehammer renseanlegg, også sammenlignet med prøver fra 2004 (ca. Σ PBDE 1600 ng/g tørrvekt). Innholdet er omtrent på nivå med slam fra andre renseanlegg undersøkt i screeningundersøkelsen 2004 der Σ PBDE varierte mellom 380 og 1240 ng/g tørrvekt (Fjeld et al. 2005). Slam fra HIAS er blandet slam fra de andre renseanleggene.

BDE-209 utgjør mellom 55 og 90 % (høyest andel på Nes), mens BDE-47 og BDE-99 utgjør inntil 15% hver. Dette i kontrast til slammet fra Lillehammer der forholdet var omvendt, se Figur 6.

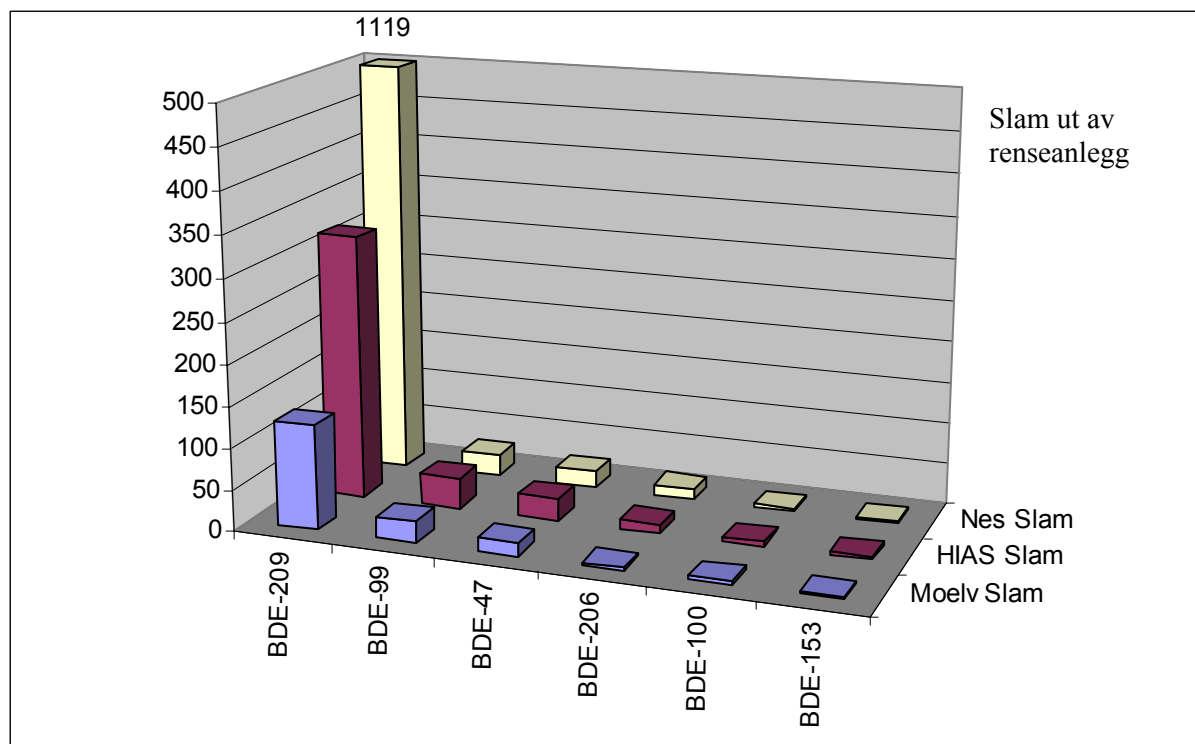
Tabell 9 Konsentrasjon av et utvalg av polybromerte difenyletere (PBDE) i slam (ng/g tørrvekt) og i vann (ng/l) fra renseanleggene HIAS, Nes og Moelv. For beregning av Σ PBDE er observasjoner under deteksjonsgrensen satt lik halve denne. Det finnes også analysedata for BDE-66, BDE-77, BDE-85, BDE-119, BDE-138, BDE-196. Verdiene er lave eller under deteksjonsgrensen

Lokalitet	Matriks	Prøve - tidspunkt	Σ PBDE	BDE-47	BDE-49 + 71	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154	BDE-206	BDE-209
HIAS	Vann ut	des-04	1,90	0,29	0,01	0,29	0,04	0,04	0,02	< 0,12	1,05
HIAS	Vann ut	vår 04	1,90	0,24	0,02	0,28	0,05	<0,06	<0,04	<0,16	1,01
HIAS	Vann inn	vår 04	9,95	1,44	0,05	1,94	0,32	0,15	0,13	<0,17	5,47
HIAS	Slam	vår 04	413,42	27,20	0,98	36,90	5,70	4,07	2,61	10,70	319
Moelv	Vann ut	des-04	2,48	0,44	< 0,01	0,45	0,05	0,04	0,03	< 0,05	1,31
Moelv	Vann ut	vår 04	6,74	0,68	0,03	1,10	0,18	0,19	0,09	<0,68	3,71
Moelv	Vann inn	vår 04	37,58	3,40	0,14	3,82	0,66	0,29	0,23	<0,39	28,10
Moelv	Slam	vår 04	182,43	15,60	0,56	25,50	3,61	2,31	1,53	2,86	127
Nes	Vann ut	des-04	2,44	0,28	0,01	0,25	0,04	0,04	0,03	< 0,06	1,67
Nes	Vann ut	vår 04	1,85	0,59	0,03	0,60	0,12	<0,23	<0,10	<0,01	<0,01
Nes	Vann inn	vår 04	425,02	3,55	0,12	3,53	0,59	0,26	0,20	5,93	410
Nes	Slam	vår 04	1192,09	19,70	0,69	27,60	3,87	2,75	1,62	12,80	1119

Vurdering av bromerte flammehemmere til Mjøsa fra deponier og kommunale renseanlegg
(TA-2104/2005)



Figur 11 PBDE i behandlet og ubehandlet vann (ng/l) fra renseanleggene HIAS (Hamar), Nes og Moelv.



Figur 12 PBDE i slam (ng/g tørrvekt) vår 2004 fra renseanleggene HIAS (Hamar), Nes og Moelv.

3.2.2. PBDE i deponier i Hamar regionen

Resultater av prøver fra deponi i Hamar regionen er vist i Tabell 10 for sedimentprøver og Tabell 11 for sigevannsprøver. Det er påvist PBDE i alle prøvene fra deponiene.

Av sedimentprøver tatt nedstrøms deponiene er det relativt høye verdier både ut fra Heggvin og fra Nødslemyra Stange, med Σ PBDE like over 15 ng/g tørrvekt. Fra Nødslemyra er det BDE-209 som dominerer, mens fra Heggvin er det de lettere kongenerene BDE-99, BDE-100 og BDE-47 som dominerer.

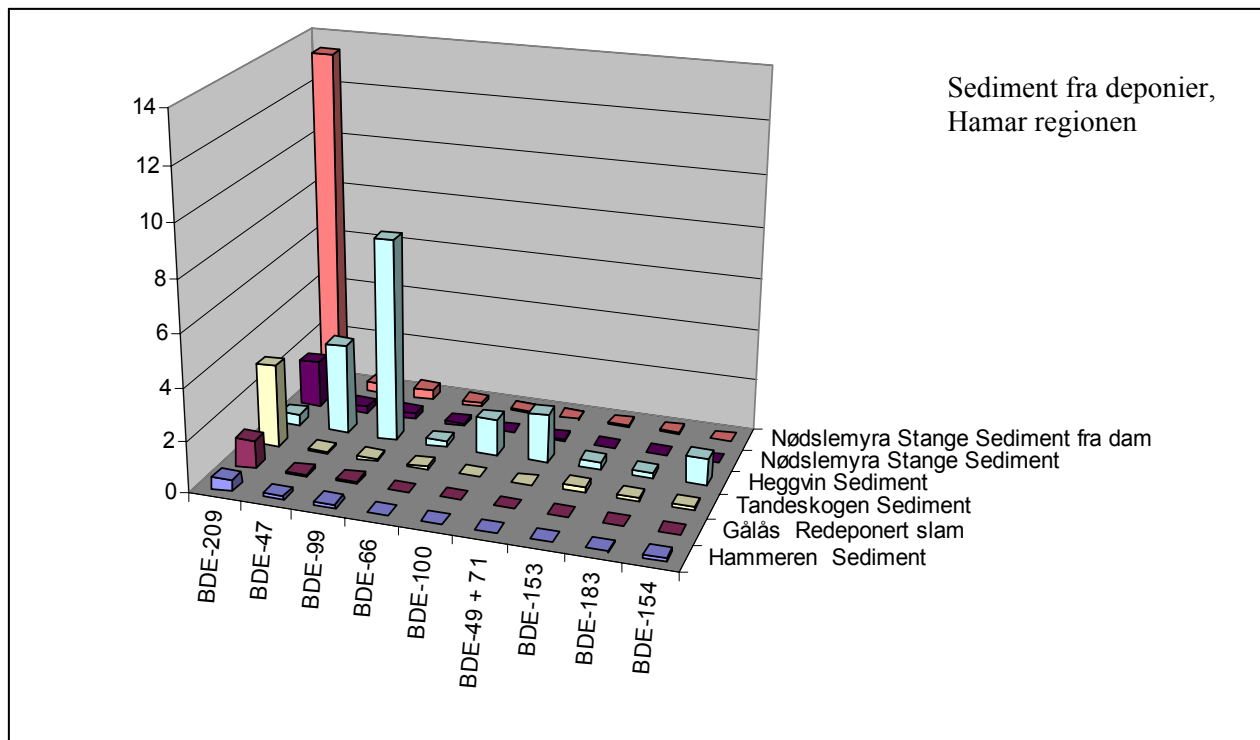
Sigevann nedstrøms Gålås deponi pekte seg ut med høyt innhold av partikkelbundet PBDE. I en prøve fra 2003 var Σ PBDE omlag 100 ng/l. En analyse fra filtrert sigevann nedstrøms deponiet høsten 2004 viste lavt innhold med Σ PBDE 1,7 ng/l. De andre deponiene hadde lavt innhold av PBDE i rensed sigevann (inkludert partikkelbundet). En prøve av sigevann med partikler inn til renselagune ved Heggvin viste et markert nivå av Σ PBDE på 85 ng/l, med dominans av BDE-99 og BDE-47. Sigevann, med partikler nedstrøms rensedammen, viste lave verdier for Σ PBDE (4 ng/l). Dette indikerer at renselagunen er effektiv for å rense partikkelbundne forurensninger.

Tabell 10 Konsentrasjon av et utvalg av polybromerte difenyletere (PBDE) i sediment (ng/g tørrvekt) fra deponier, Hamar regionen. For beregning av Σ PBDE er observasjoner under deteksjonsgrensen satt lik halve denne. Det finnes også analysedata for BDE-77, BDE-85, BDE-119, BDE-138, BDE-196. Verdiene er lave eller under deteksjonsgrensen.

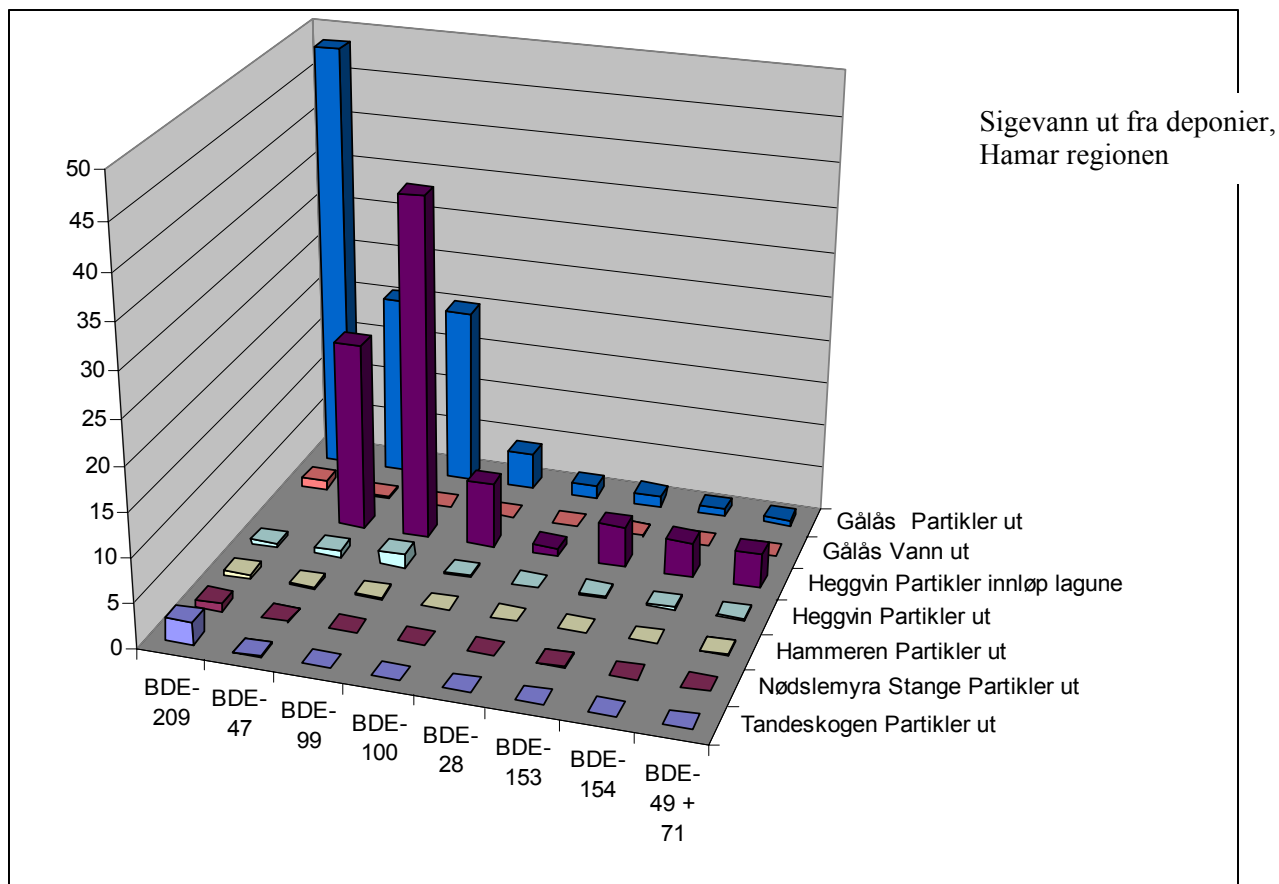
Lokalitet	Markis	Prøve tidspunkt	Σ PBDE	BDE-47	BDE-66	BDE-49 + 71	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154	BDE-183	BDE-209
Gålås	Redep slan	okt.03	1,4	0,08			0,11	0,02	0,03	0,02	0,02	1,07
Gålås	Partikler	okt.03	100,1	20,6			20,1	4,1	<2,5	<1,7	<1,2	48,6
Hammeren	Sediment	apr..04	0,9	0,12	0,04	0,02	0,14	0,03	<0,03	<0,02	<0,01	0,43
Heggvin	Sediment	apr.04	17,8	3,48	0,24	1,86	7,84	1,38	0,32	1,02	0,18	<0,88
Nødslemyra Stange	Sediment	apr.04	3,8	0,25	0,11	0,04	0,22	0,04	<0,10	<0,05	<0,06	<3,79
Nødslemyra Stange	Sediment fra dam	apr.04	15,7	0,38	0,14	0,04	0,38	0,07	<0,15	<0,07	<0,14	13,4
Tandeskogen	Sediment	apr.04	5,8	0,1	0,1	0,01	0,11	0,03	<0,40	<0,18	<0,23	<6,58

Tabell 11 Konsentrasjon av et utvalg av polybromerte difenyletere (PBDE) i vann (ng/l) fra deponier i Hamar regionen. Renset sigevann har blitt analysert i vann med partikkelfasen. For beregning av Σ PBDE er observasjoner under deteksjonsgrensen satt lik halve denne. Det finnes også analysedata for BDE-66, BDE-77, BDE-85, BDE-119, BDE-138, BDE-196. Verdiene er lave eller under deteksjonsgrensen

Lokalitet	Markis	Prøve tidspunkt	Σ PBDE	BDE-28	BDE-47	BDE-49 + 71	BDE-85	BDE-99	BDE-100	BDE-154	BDE-209
Gålås utløp	vann	okt.04	1,7	0,02	0,20	0,02	<0,02	0,14	0,03	<0,04	0,95
Hammeren utløp	vann	apr.04	1,1	0,02	0,27	0,02	<0,01	0,23	0,04	0,01	0,48
Heggvin innløp lagune	vann	apr.04	84,9	0,97	21,3	3,83	1,36	38,8	7,31	3,97	
Heggvin utløp	vannr	apr.04	4,1	0,06	0,8	0,18	0,03	1,56	0,27	0,22	0,51
Nødslemyra utløp	vann	apr.04	1,7	0,01	0,11	<0,01	<0,03	0,1	0,01	<0,06	<1,72
Tandeskogen utløp	vann	apr.04	4,5	<0,02	0,07	<0,01	<0,06	0,07	<0,02	<0,13	<5,13



Figur 13 PBDE i sedimentert sigevann (ng/g tørrvekt) fra deponier i Hamar regionen.



Figur 14 PBDE i vann med partikler (ng/g tørrvekt) fra deponier i Hamar regionen. Det er i hovedsak analysert på partikkelfraksjonen i vannet, bortsett fra filtrert vannprøve fra Gålås.

3.3. PBDE i Gjøvik regionen

3.3.1. PBDE Rambekk renseanlegg

Resultater av prøver fra Rambekk renseanlegg på Gjøvik er vist Tabell 12, og Figur 15 og Figur 16.

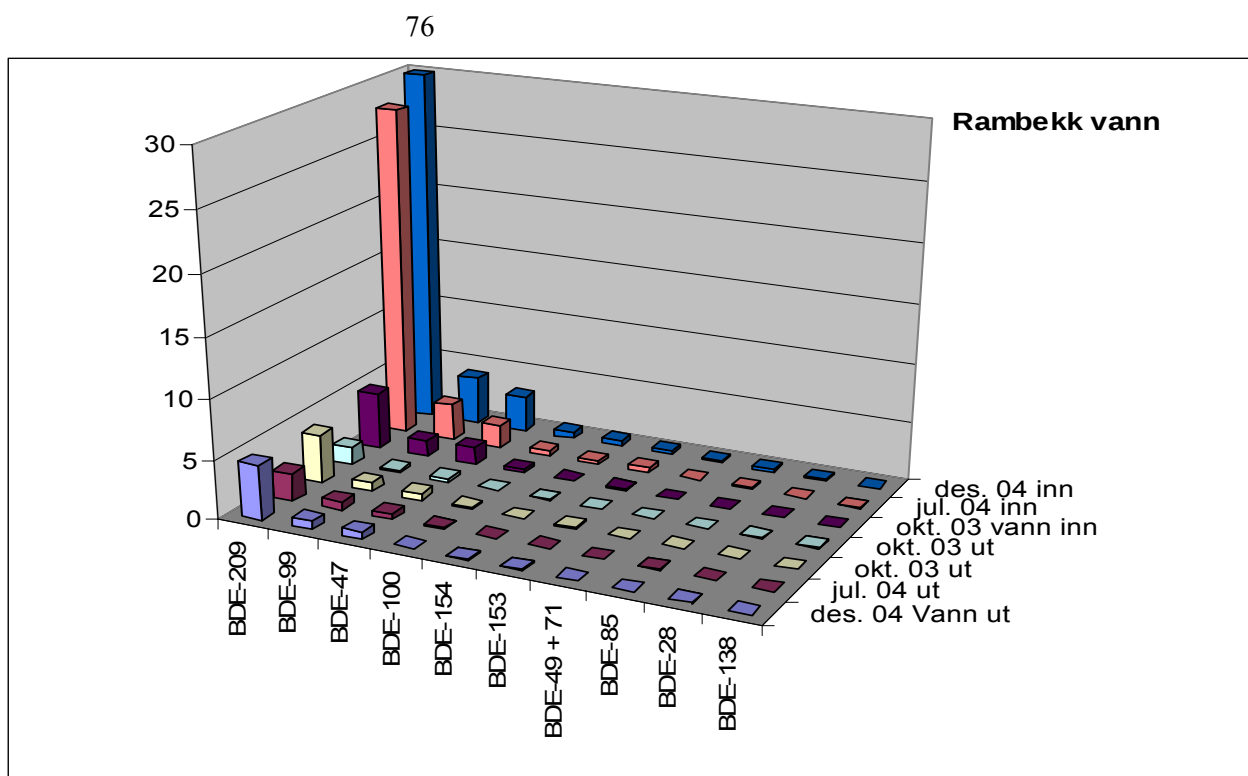
Rambekk mottar slam fra 7 nabokommuner, inkludert slam fra Lillehammer renseanlegg. Det har blitt målt høye verdier av bromerte flammehemmere i slammet fra Rambekk renseanlegg, særlig en prøve fra mars 2003 med Σ PBDE 18 866 ng/g tørrvekt. Senere prøver av slam viser nedgang i konsentrasjonen og analysene fra 2004 og januar 2005 viser stabile, men fortsatt høye verdier (Σ PBDE ca. 1300 ng/g tørrvekt). Verdiene i slammet fra Rambekk tilsvarer innholdet i slam fra Lillehammer renseanlegg, både med hensyn på fordelingen av kongenerer og konsentrasjon. Det er sannsynlig at innholdet av BFH i slammet på Rambekk i hovedsak stammer fra Lillehammer renseanlegg. Se kapittel 4; Multivariat analyse

Innløpsvann til renseanlegget har vist lave, men økende verdier i løpet av 2004 (Σ PBDE 8- 86 ng/l). Innløpsvannet domineres av BDE-209, mens det finnes mindre av denne kongeneren i slammet.

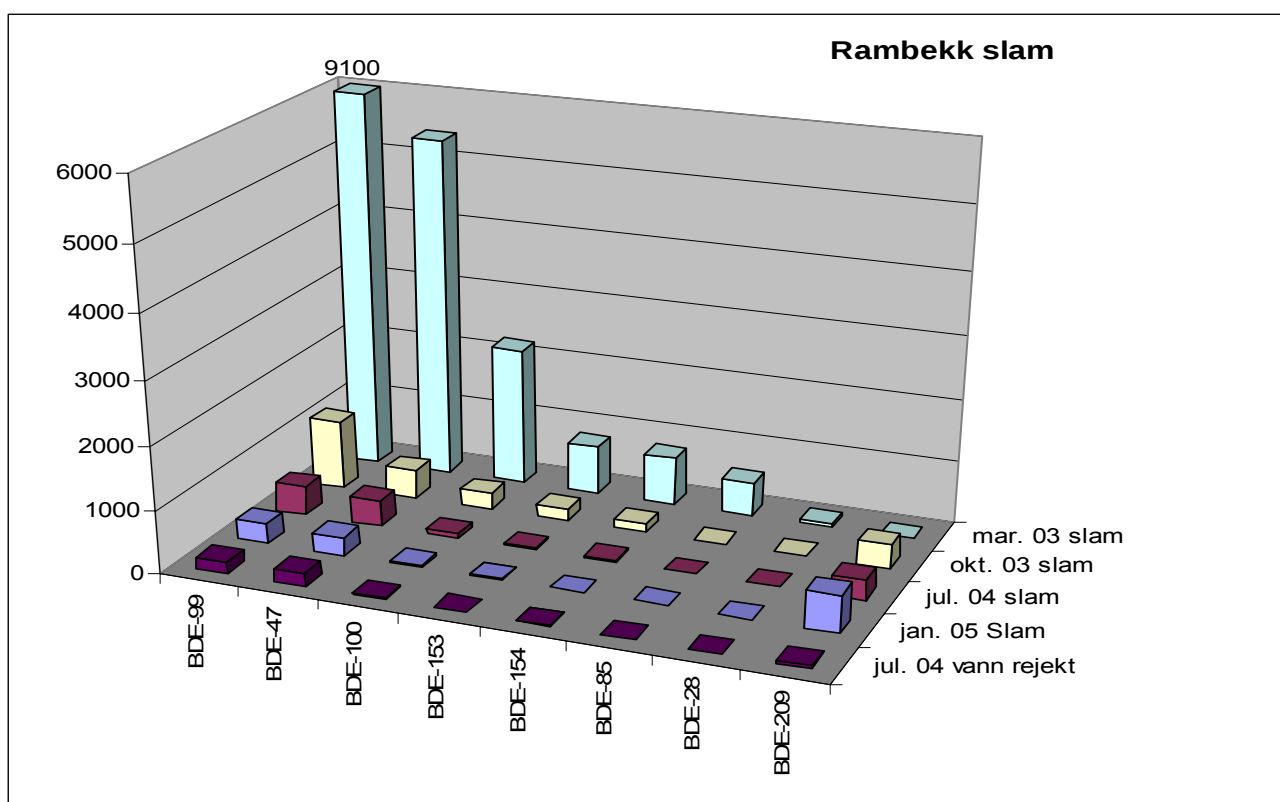
Utløpsvannet har i hele måleperioden vist lave verdier, Σ PBDE 2-6 ng/l. Vannet fra Rambekk går direkte til Mjøsa.

Tabell 12 Konsentrasjon av et utvalg av polybromerte difenyletere (PBDE) i slam (ng/g tørrvekt) og i vann (ng/l) fra Rambekk renseanlegg. For beregning av Σ PBDE er observasjoner under deteksjonsgrensen satt lik halve denne. Det finnes også analysedata for BDE-66, BDE-119, BDE-138, BDE-196, og BDE-206. Verdiene er lave eller under deteksjonsgrensen

Matriss	Prøve tidspunkt	Σ PBDE	BDE-28	BDE-47	BDE-49 + 71	BDE-77	BDE-85	BDE-99	BDE-100	BDE-138	BDE-153	BDE-154	BDE-183	BDE-209
slam	mar. 03	18866	41	5400			540	9100	2200		780	770		<20
slam	okt. 03	2647	14,6	471		0,17		1100	264	27,4	187	139	7,35	381
slam	jul. 04	1395	6,91	423	41,2		< 0,25	460	69,4	4,78	31,7	21,5	2,27	314
slam	jan. 05	1351	5,86	289	6,5		20,2	331	45,4	3,09	22,3	13,8		589
vann reje	jul. 04	527	4,45	202	15,2		11,3	184	28,0	1,40	11,2	8,98	0,8	49,5
vann inn	okt. 03	8,3	0,05	1,50		<0,01		1,32	0,29	<0,01	0,11	0,08	0,09	4,83
vann inn	jul. 04	36,2	0,05	1,93	0,08	<0,01	0,16	3,09	0,43	0,03	0,42	0,20	0,79	28,0
vann inn	des. 04	86,8	0,08	3,01	0,23		0,21	4,10	0,50	0,07	0,39	0,46		76,8
vann ut	okt. 03	6,12	0,02	0,56		<0,01		0,77	0,16	<0,03	0,10	0,07	0,24	4,14
vann ut	okt. 03	2,52	<0,02	0,28				0,25	0,06	<0,06	<0,05	0,03		1,48
vann ut	jul. 04	4,03	0,02	0,49	0,03	<0,01	0,02	0,71	0,11	< 0,03	0,06	0,07	0,02	2,34
vann ut	des. 04	6,53	0,03	0,64	0,03		0,03	0,72	0,09	< 0,01	0,08	0,06		4,67



Figur 15. PBDE i vann (ng/l) inn til og ut fra Rambekk renseanlegg ved ulike tidspunkt fra oktober 2003 til desember 2004.



Figur 16. PBDE i slam (ng/g tørrvekt) og rejeckt vann (ng/l) fra Rambekk renseanlegg, Gjøvik, ved ulike tidspunkt fra mars 2003 til januar 2005.

3.3.2. PBDE andre renseanlegg i Gjøvik regionen

Resultater av prøver fra mindre renseanlegg i Gjøvik regionen er vist Tabell 13, og Figur 17 og Figur 18.

Analysene av slammet viser at konsentrasjonen av Σ PBDE ligger mellom 200 og 300 ng/g tørrvekt for alle renseanleggene. Dette tilsvarer verdiene funnet i slam fra Hamar regionen der HIAS og Moelv med Σ PBDE 150 – 400 ng/g tørrvekt, men lang lavere enn verdier i slam fra Lillehammer og Rambekk ca. Σ PBDE 1300 ng/g tørrvekt med topp over Σ PBDE 20 000 ng/g tørrvekt.

Avløpsvannet ut fra renseanlegget viser også verdier i samme lave størrelsesorden som de andre renseanleggene.

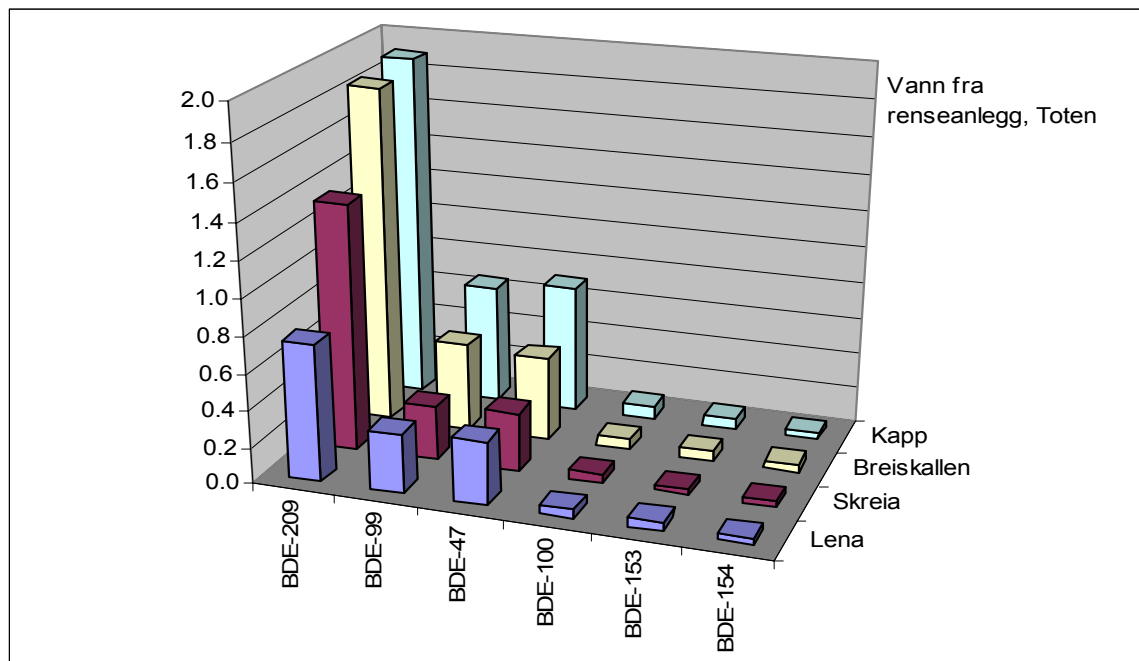
Det er kongenerene BDE-209, samt BDE-99 og BDE-47 som utgjør hovedmengden i alle disse renseanleggene, noe som samsvarer med sedimentprøver i Mjøsa fra disse områdene.

Tabell 13 Konsentrasjon av et utvalg av polybromerte difenyletere (PBDE) i slam/sediment (ng/g tørrvekt) og i vann (ng/l) fra renseanleggene i Gjøvikområdet. For beregning av Σ PBDE er observasjoner under deteksjonsgrensen satt lik halve denne.

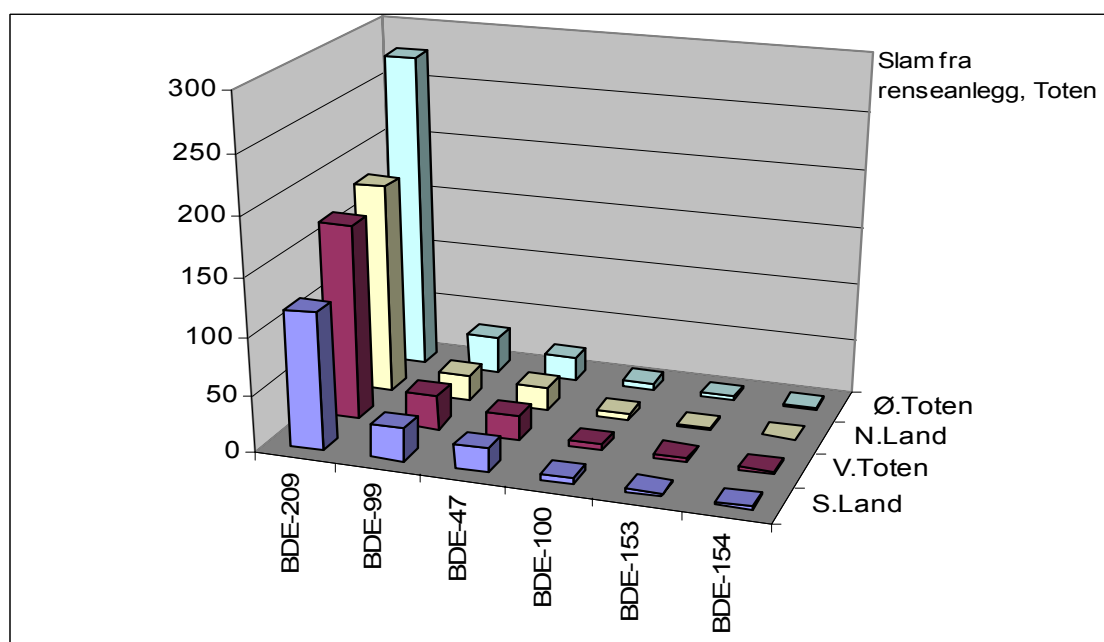
Lokalitet	Matriks	Prøve tidspunkt	Σ PBDE	BDE-47	BDE-49 + 71	BDE-77	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154	BDE-183	BDE-209
N.Land*)	slam	okt. 03	239	20,3	1,33	0,04	22,2	5,58	2,09	1,43	0,97	184
S.Land*)	slam	okt. 03	182	20,7	0,83	<0,04	29,1	5,84	2,94	1,91	0,81	119
V.Toten	slam	okt. 03	236	20,8	0,96	<0,01	30,2	5,65	3,31	2,00	1,02	171
Ø.Toten	slam	okt. 03	346	21,8	1,00	0,02	31,8	6,08	3,13	2,11	1,49	278
Breiskallen	Vann ut	des. 04	3,11	0,46	0,02		0,48	0,06	0,06	0,04	0,02	1,85
Kapp	Vann ut	des. 04	3,67	0,71	0,04		0,65	0,07	0,06	0,04	0,04	1,90
Lena	Vann ut	des. 04	1,85	0,35	0,02		0,33	0,05	0,05	0,03	0,02	0,75
Skreia	Vann ut	des. 04	2,64	0,32	0,02		0,30	0,05	0,03	0,03	0,02	1,35

*) Blandslam fra flere renseanlegg i kommunen

Vurdering av bromerte flammehemmere til Mjøsa fra deponier og kommunale renseanlegg
(TA-2104/2005)



Figur 17 PBDE i vann (ng/l) fra renseanleggene i Østre og Vestre Toten .



Figur 18 PBDE i slam (ng/g tørrvekt) fra renseanleggene i Toten, Gjøvik regionen.

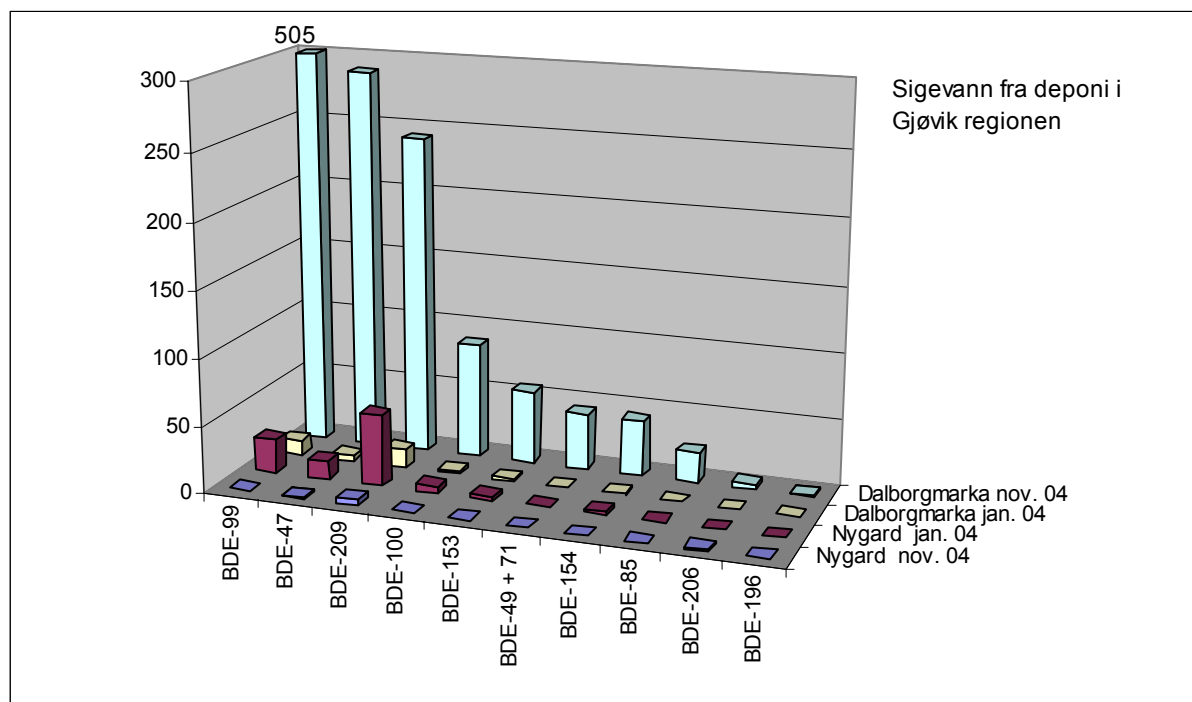
3.3.3. PBDE i deponi i Gjøvik regionen

Resultater av prøver fra deponiene i Gjøvik regionen er vist i Tabell 14, og Figur 19. Renset sigevannsprøve fra Dalborgmarka viser særlig høye verdier (Σ PBDE 1320 ng/l), men også sigevann fra Nygard (Σ PBDE 106 ng/l) har PBDE i sigevannet. Vann fra Dalborgmarka ledes til Rambekk renseanlegg i Gjøvik. Avløpsvann inn til Rambekk viste stigende verdier, sist målt til Σ PBDE 86 ng/l (se 3.3.1). Dette kan ha sammenheng med de økte konsentrasjonen ut fra Dalborgmarka, noe også sammensetningen av kongenerer kan indikere, dominert av BDE-209, samt BDE-99 og BDE-47. Økt konsentrasjon i sigevann fra deponiene gjenspeiler imidlertid forbruk i regionen, slik at andre kilder også kan bidra direkte til Rambekk.

Tabell 14 Konsentrasjon av et utvalg av polybromerte difenyletere (PBDE) i renset sigevann (ng/l) fra deponi i Gjøvikområdet. For beregning av Σ PBDE er observasjoner under deteksjonsgrensen satt lik halve denne.

Lokalitet	Mariks	Prøve tidspunkt	Σ PBDE	BDE-47	BDE-49 + 71	BDE-66	BDE-85	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154	BDE-183	BDE-196	BDE-206	BDE-209
Dalborg- marka	Renset sigevann	jan.04	35	4,4	0,31	ia	<0,01	11,2	2,19	1,6	1,32	0,16			14,2
Dalborg- marka	Renset sigevann	nov.04	1320	288	42,7	11,9	23,2	505	87	55,3	42,3	6,18	0,95	4,08	241,0
Nygard	Renset sigevann	jan.04	106	14,1	0,88	ia	<0,03	25,7	5,03	2,67	2,17	0,54			54,2
Nygard	Renset sigevann	nov.04	9	0,75	0,09	0,03	0,07	0,64	0,13	0,11	0,09	0,07	1,17	1,51	4,7

Det er i tillegg analyseresultater for BDE-28, BDE-77, BDE-119 og BDE-138.



Figur 19 PBDE i sigevann (ng/l) ut fra deponi i Gjøvikområdet.

3.3.4. PBDE i innløpselver til Mjøsa

Resultater av prøver fra innløpselvene til Mjøsa er vist i Tabell 15 og Figur 20.

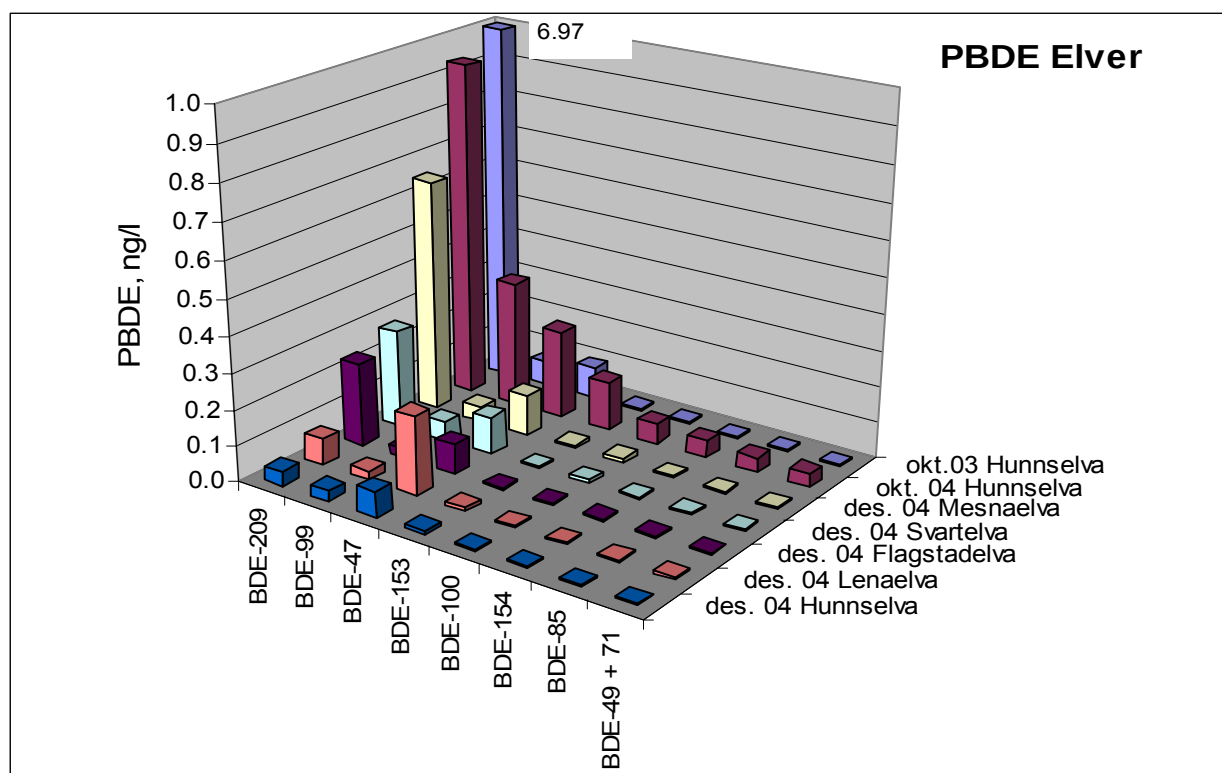
Det er påvist små mengder PBDE i alle tilførselselvene. Det er hovedsakelig små mengder av kongenerene BDE-47, BDE-99 og BDE-209 som er funnet. I Hunnselva er det imidlertid konsentrasjoner over deteksjonsgrensen for de fleste kongenerene i prøven tatt i oktober 2004, mens i prøve fra desember 2004, som hadde lavere konsentrasjon, var kun BDE-47 og BDE-99 detektert. I prøven fra oktober 2004 var BDE-209 den dominerende. Det var også tilfelle i prøve fra Hunnselva tatt høsten 2003 (BDE-209 utgjorde 6,97 ng/l av Σ PBDE 7,2 ng/l, Fjeld et al., 2004). Også i prøver fra andre elver er BDE-209 den dominerende kongeneren.

Prøvetaking i elver er usikkert ettersom PBDE i hovedsak transporteres med partikler.

Vannføring, og eventuelle aktiviteter som graving, vil derfor ha mye å si på partikkelmengden i elvene.

Tabell 15 Konsentrasjon av et utvalg av polybromerte difenyletere (PBDE) i vann (ng/l) fra tilførselselver til Mjøsa. For beregning av Σ PBDE er observasjoner under deteksjonsgrensen satt lik halve denne.

Lokalitet	Prøve tidspunkt	Σ PBDE	BDE-47	BDE-49 + 71	BDE-85	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154	BDE-183	BDE-209
Flagstadelva	des. 04	0,37	0,08	< 0,01	< 0,01	0,030	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,23
Svartelva	des. 04	0,45	0,10	< 0,01	< 0,01	0,053	0,011	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,27
Mesnaelva	des. 04	0,84	0,11	< 0,01	< 0,01	0,044	0,014	< 0,02	< 0,01	< 0,01	0,65
Hunnselva	okt.03	7,20	0,09	<0,01	<0,01	0,07	0,01	<0,01	<0,01	0,05	6,97
Hunnselva	okt. 04	1,87	0,24	0,03	0,04	0,35	0,055	0,13	0,048	0,021	0,93
Hunnselva	des. 04	0,11	0,07	< 0,01	< 0,01	0,029	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,08
Lenaelva	des. 04	0,25	0,21	< 0,01	< 0,01	0,025	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,15



Figur 20 PBDE fra tilførselselver til Mjøsa (ng/l).

3.4. HBCDD, TBBPA og BPA

3.4.1. HBCDD, TBBPA og BPA i Lillehammer regionen

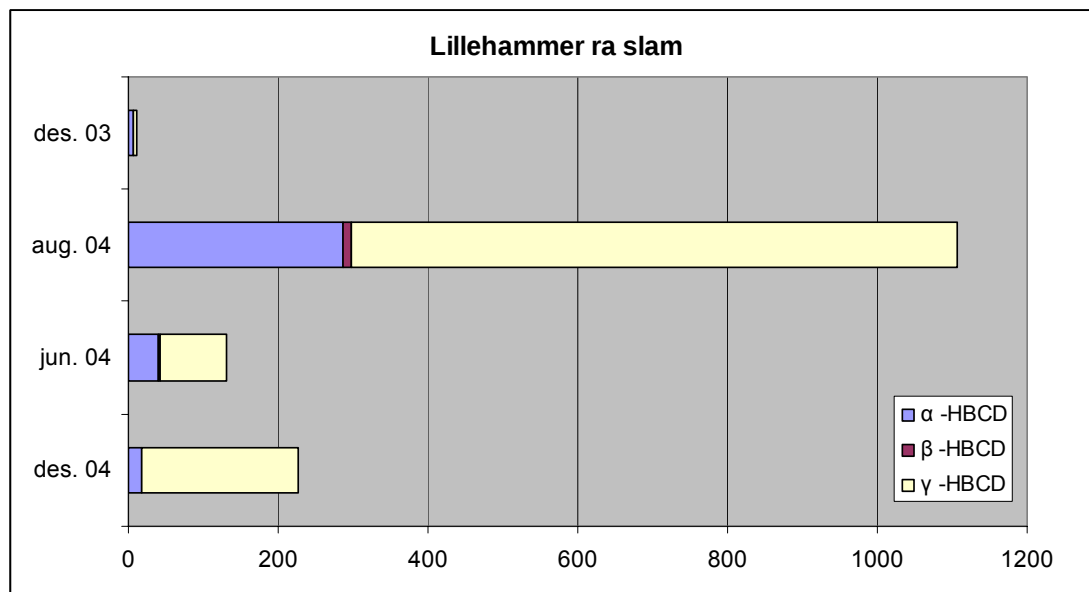
Tabell 16 viser at det er målt høye verdier fra Lillehammer renseanlegg av HBCDD i både slam (høyeste verdi i august 2004 med 809 ng/g tørrvekt) og innløpsvann (høyeste verdi i august 2004 med 446 ng/l). I utløpsvannet er det kun α -HBCDD som er påvist over deteksjonsgrensen.

Både i vann inn, men særlig i slam fra Lillehammer renseanlegg ser man tydelig stigning i HBCDD-innhold. Nivåene av HBCDD er imidlertid til dels betydelig lavere enn nivåene av PBDE fra Lillehammer renseanlegg med et lite unntak for konsentrasjonen i august 2004.

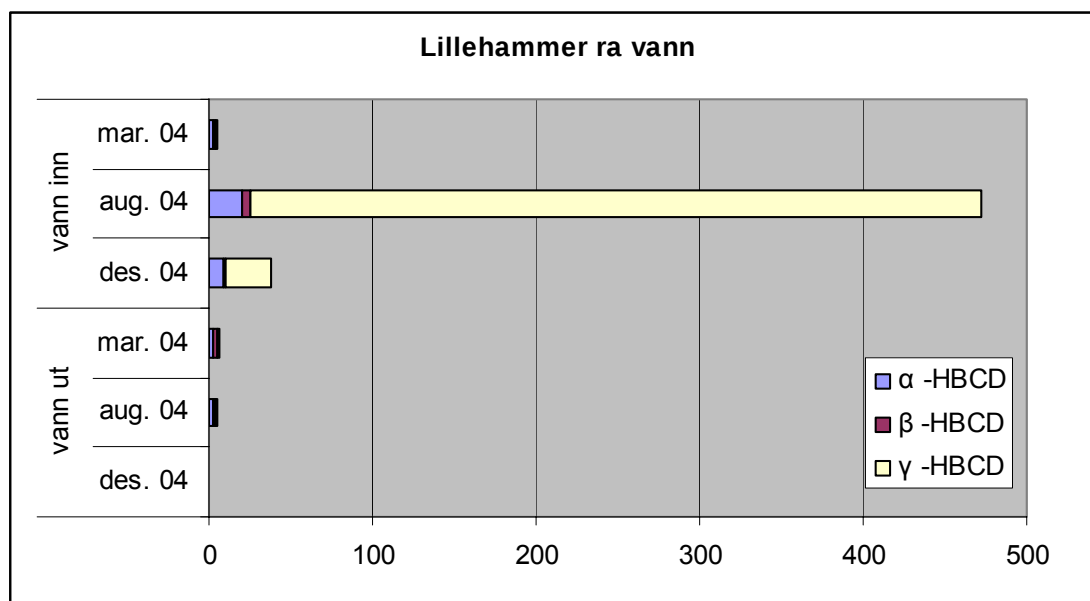
Det er målt høye konsentrasjonen av BPA og TBBPA i slam fra Lillehammer renseanlegg. Også innløpsvann til renseanlegget har betydelig konsentrasjon i desember 2004.

Tabell 16 HBCDD, TBBPA og BPA i slam (ng/g tørrvekt) og vann (ng/l) fra Lillehammer renseanlegg.

Matriks	Prøve tidspunkt	Σ HBCDD	α -HBCDD	β -HBCDD	γ -HBCDD	TBBPA	BPA
slam	des. 03	10,07	5,88	0,55	3,64	31,1	483
slam	mar. 04					21,2	116
slam	jun. 04	128,70	39,40	< 5,57	89,30	39,1	131
slam	aug. 04	1107,00	286,00	12,00	809,00		
slam	des. 04	227,60	18,15	< 0,13	209,45	15,3	
vann inn	okt. 03	<50				<5	
vann ut	okt. 03	<50				<5	
vann inn	mar. 04	5,54	3,14	0,28	2,12	9,69	17
vann ut	mar. 04	6,30	3,16	< 3,16	< 3,16		
vann inn	aug. 04	471,76	19,70	6,06	446,00		
vann ut	aug. 04	5,30	< 4,62	< 1,94	< 4,14		
vann inn	des. 04	37,70	9,40	< 0,41	28,15	18,8	463
vann ut	des. 04	1,15	< 0,83	< 0,58	< 0,90		



Figur 21 HBCDD i slam fra Lillehammer renseanlegga (ng/g tørrvekt).



Figur 22 HBCDD i vann (ng/l) fra Lillehammer renseanlegg.

Tabell 17 viser analysene av HBCDD i deponi eller forurenset grunn i Lillehammerområdet. Slamp prøvene i kanalen ved Strandtorget viste svært høye verdier av HBCDD, Σ HBCDD på rundt 7000 ng/g tørrvekt. Like utenfor kanalløpet var det fortsatt påvist høye verdier med Σ HBCDD på 340 ng/g tørrvekt. Det er γ -HBCDD som utgjør over 95 % av HBCDD, se Figur 23.

En grunnvannsprøve fra Hovemoen viser høy konsentrasjon av TBBPA, mens det er høy konsentrasjon i både vann og sediment fra Roverudmyra av BPA.

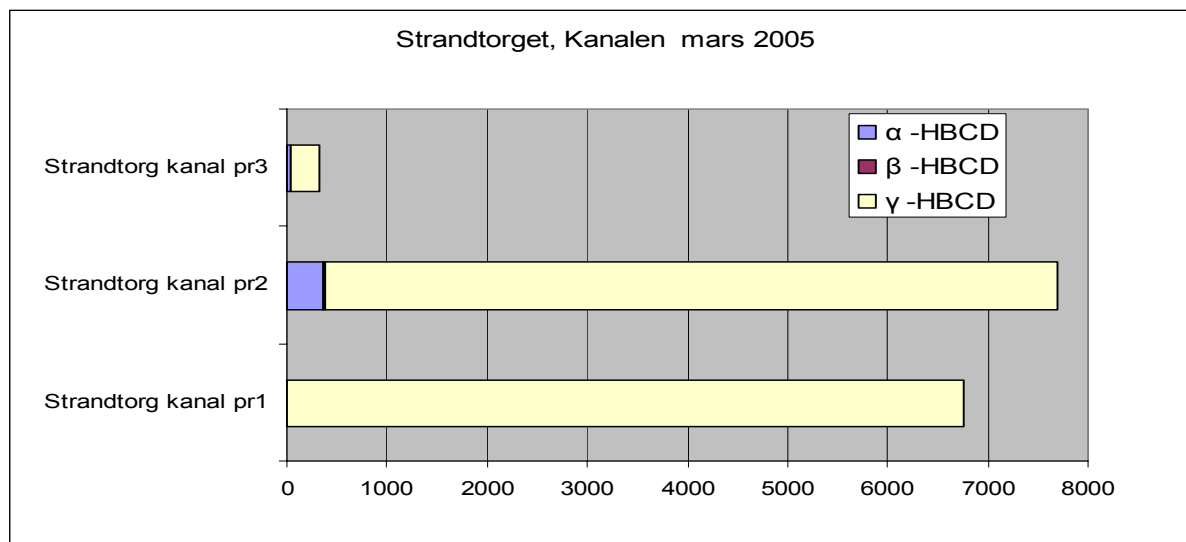
Tabell 17 HBCDD, TBBPA og BPA i vann (ng/l) og sediment (ng/g tørrvekt) fra deponier i Lillehammer.

Lokalitet	Matriks	Prøve tidspunkt	Σ HBCDD	α -HBCDD	β -HBCDD	γ -HBCDD	TBBPA	BPA
Hovemoen kum Øst	Gr.vann	Mar.04					180	
Hovemoen B1	Gr.vann	Mar.04					15	
Busmoen p 7	sediment	Mar.04					3,4	
Strandtorget p 1-6	sediment	Mar.04					<0,5	
Strandtorget p13	sediment	Mar.04					2,2	
Strandtorget p8	sediment	Mar.04					2,5	
Strandtorget p9	sediment	Mar.04					0,88	
Strandtorg kanal pr1 ¹	slam	Mar.05	6900	99,8	7,74	6753		
Strandtorg kanal pr2 ²	slam	Mar.05	7702	368	14	7320		
Strandtorg kanal pr3 ³	slam	Mar.05	340	38	0,4	292		
Roverudmyra	sediment	Okt-03	<50				<5	2900
Strandtorget ov.flate	sediment	Des.03						
Strandtorget fluffy	sediment fluff	Jan.05	< 2.0				<0,5	
Roverudmyra	slam	Mar.04	1,03	< 0.38	< 0.35	0,66		
Roverudmyra	vann	Mar.04					27,5	17000
Roverudmyra	vann	Okt.04	<5,7	< 4.34	< 2.81	< 4.25		

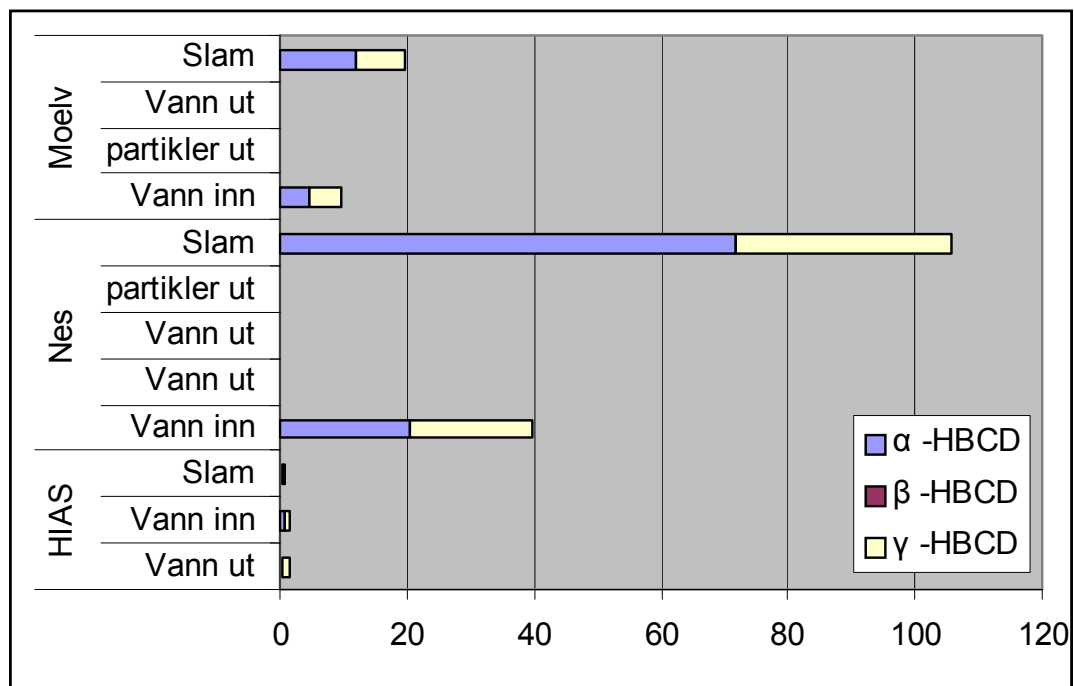
¹ 2 meter inne i kanalen

² 20 meter inne i kanalen

³ 2 meter utenfor kanalløp



Figur 23 HBCDD i slam (ng/g tørrvekt) fra slam i og utenfor kanalen ved Strandtorget.



Figur 24 HBCDD i slam (ng/g tørrvekt) og vann (ng/l) fra renseanlegg i Hamar regionen.

3.4.2. HBCDD, TBBPA og BPA i Hamar regionen

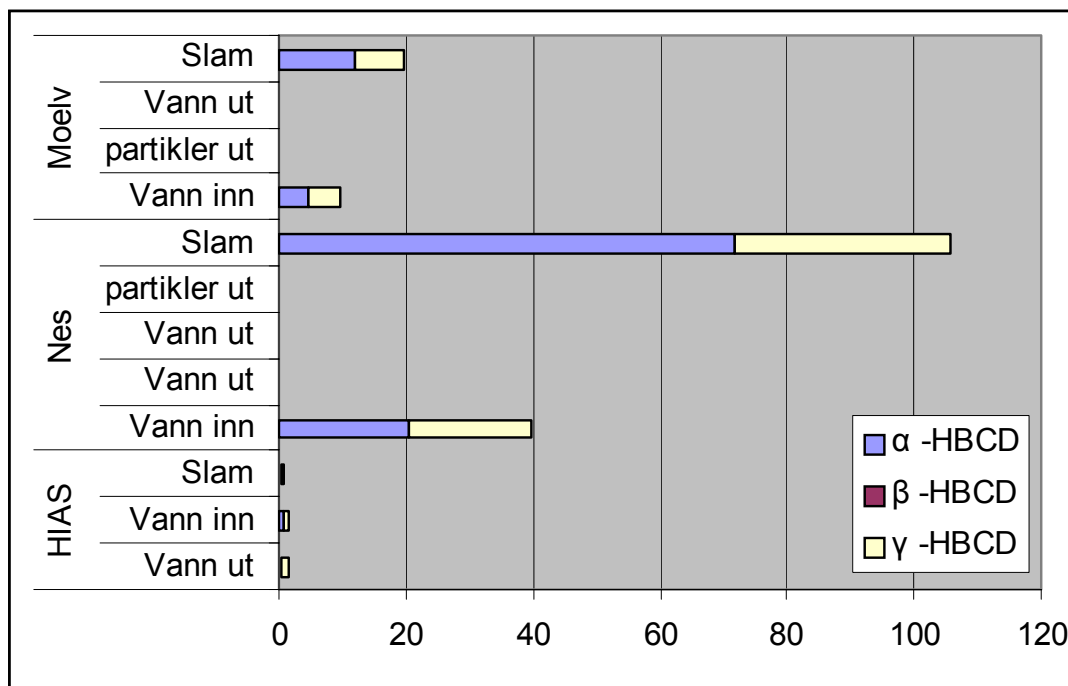
Tabell 18 viser HBCDD, TBBPA og BPA verdier i renseanlegg i Hamar regionen. Det er påvist noe HBCDD i renseanlegget på Nes både i innløpsvann, Σ HBCDD på 40 ng/l, og i slam med Σ HBCDD på 106 ng/g tørrvekt, men det er lave verdier på Moelv. På HIAS er det lite HBCDD i vann og slamprøvene.

Det ble ikke påvist HBCDD i sedimenter i Mjøsa sør for Lillehammer i kartleggingen av BFH i 2003 (Fjeld et. al).

Det er påvist høyest konsentrasjoner av BPA i utvann fra renseanleggene fra Moelv (666ng/l), og lavere i Nes (371 ng/l) og HIAS (101 ng/l). Forholdet er omvendt i slammet, der HIAS har høyest konsentrasjon med 655 ng/g tørrvekt og Moelv lavest med 75 ng/g tørrvekt. Det er lave verdier av TBBPA vann ut fra renseanleggene.

Tabell 18 HBCDD, TBBPA og BPA i vann (ng/l) og slam (ng/g tørrvekt) fra renseanleggene HIAS, Nes og Moelv.

Lokalitet	Matriks	Prøve tidspunkt	Σ HBCDD	α -HBCDD	β -HBCDD	γ -HBCDD	TBBPA	BPA
Moelv	Vann inn	04.04	9,71	4,46	<0.34	5,25	52,6	
Moelv	Vann ut	12.04	<1,3	< 0.77	< 0.74	< 1.18	2,03	666
Moelv	Slam	04.04	19,6	12,10	<0.52	7,55		75
	Vann inn	04.04	39,9	20,40	<0.50	19,50	7,73	
Nes								
Nes	Vann ut	12.04	<0,9	< 0.40	< 0.54	< 0.86	<0,77	371
Nes	Slam	04.04	105,9	71,70	<0.58	34,20	40,1	126
HIAS	Vann inn	04.04	1,4	0,87	0,05	0,525	2,55	
HIAS	Vann ut	12.04	1,6	0,441	0,11	1,136	<0,79	101
HIAS	Slam	04.04	<0,6	<0,47	<0,28	<0,48	40,4	655



Figur 25 HBCDD i slam (ng/g tørrvekt) og vann (ng/l) fra renseanlegg i Hamar regionen.

Tabell 19 viser at det er ubetydelig med HBCDD i sedimentert sigevann fra deponier i Hamar regionen. Da HBCDD bindes til partikler kan det dermed også fastslås at det må være ubetydelig HBCDD i sigevannet fra deponiene etter siste rensetrinn. Det er påvist BPA i både sediment og slam, inntil < 500 ng/g tørrvekt. Det finnes ikke vannanalyse

Tabell 19 HBCDD, TBBPA og BPA i sediment og slam fra deponier i Hamar regionen (ng/g tørrvekt).

Lokalitet	Matriks	Prøve tidspunkt	Σ HBCDD	α - HBCDD	β - HBCDD	γ -HBCDD	TBBPA	BPA
Gålås	Slam (fra rensedam)	10.03	<0,5	<0,30	<0,2	<0,4	0,64	163
Tandeskogen		04.04	<0,9	<0,73	<0,35	<0,64	0,34	45
Nødslemyra	Sediment av sigevann	04.04	<2,1	<1,67	<0,87	<1,70	0,47	103
Stange								
Nødslemyra	Sediment av dam	04.04	<2,1	<1,66	<0,87	<1,70	0,25	106
Stange								
Heggvin	Sediment	04.04	<1,3	<1,0	<0,6	<1,0	0,60	508
Hammeren	Sediment	04.04	<0,8	<0,71	<0,34	<0,64	0,07	17

3.4.3. HBCDD, TBBPA og BPA i Gjøvik regionen

Tabell 20 samt Figur 24 og Figur 25 viser innhold i slam og ubehandlet og behandlet avløpsvann fra Rambekk renseanlegg ved Gjøvik. Det har vært klart økende innhold av HBCDD det siste året. I slammet er det ved siste måling betydelige mengder Σ HBCDD, 833 ng/g tørrvekt. Det er varierende mengde HBCDD i innløpsvann, fra 1 – 14 ng/l. I behandlet vann ut fra renseanlegget er det < 1 ng/l.

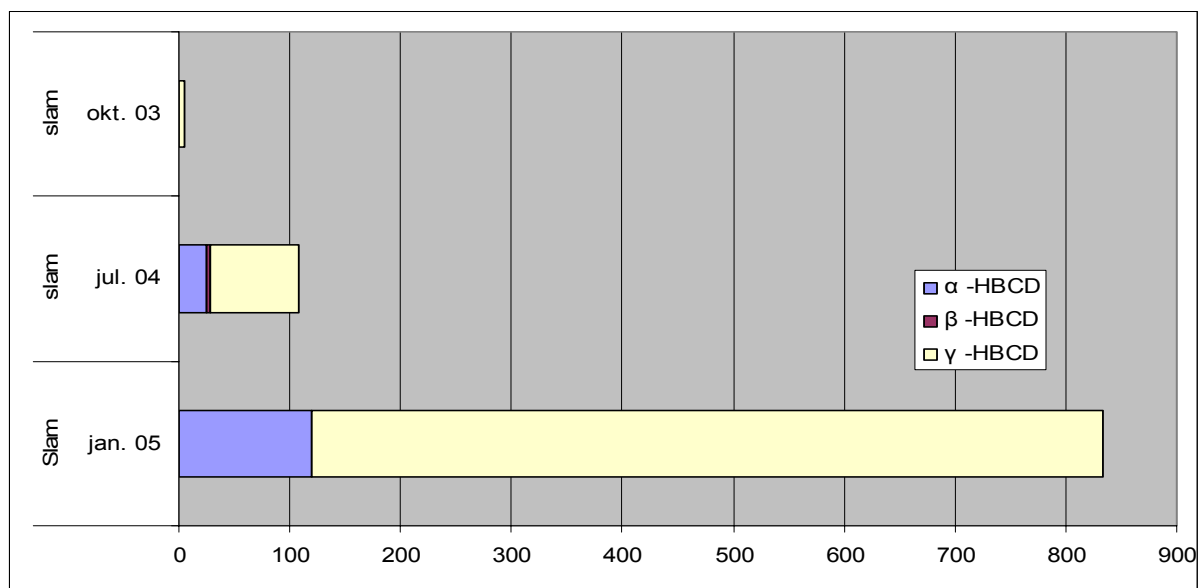
Også innholdet av BPA har økt i slammet fra Rambekk. Det er ikke analysert på BPA fra Dalborgmarka, men HBCDD innholdet i slam fra Rambekk kan vanskelig forklares med påslipp fra deponiet utenfor Gjøvik, Dalborgmarka. Dvs at HBCDD på Rambekk må komme fra Lillehammer eller noen av de andre RA

Tabell 20 HBCDD, TBBPA og BPA i vann (ng/l) og slam (ng/g tørrvekt) fra Rambekk renseanlegg, Gjøvik.

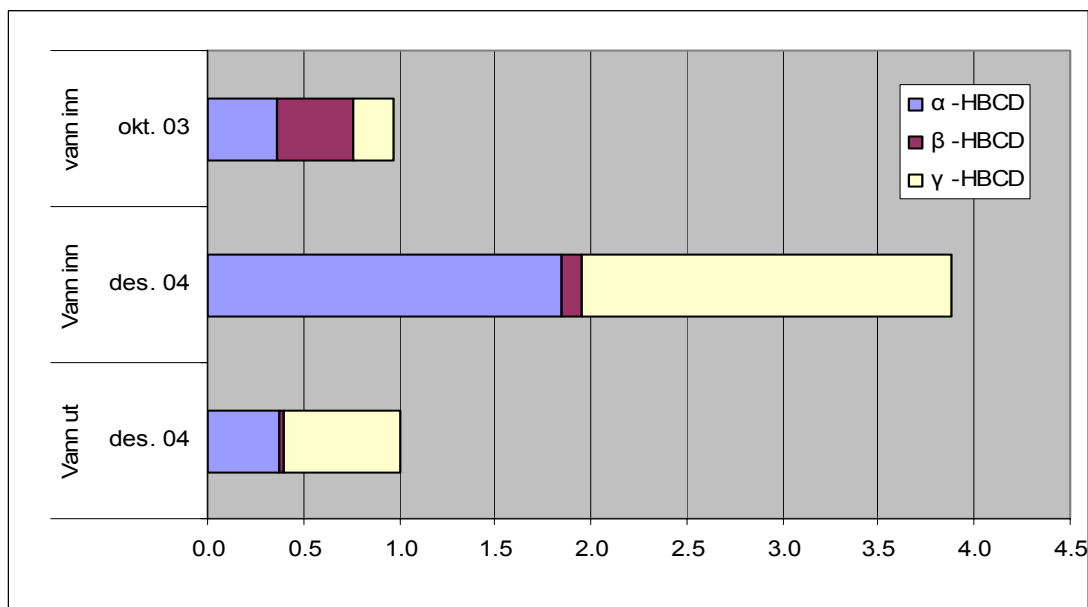
Matriks	Prøve tidspunkt	Σ HBCDD	α -HBCDD	β -HBCDD	γ -HBCDD	TBBPA	BPA
slam	okt. 03	4,5	0,64	<0.05	3,79	8,13	325
slam	jul. 04	107	25,0	< 5.97	79,0	2,35	519
slam	jan. 05	833	120	< 0.36	713	<10	991
vann inn	okt. 03	0,97	0,36	0,40	0,21	14,3	8,1
vann inn	jul. 04	<13,8	< 11.4	< 5.45	< 10.7	8,77	129
vann inn	des. 04	3,8	1,85	0,10	1,94	42	282
vann rejeht	jul. 04	<19,8	< 13.5	< 9.16	< 16.9	11,4	1210
vann ut 1)	okt. 03	<0,66	<0.52	<0.31	<0.48		
vann ut 2)	okt. 03	<0,93	<1.17	<0.59	<0.09		
vann ut	des. 04	1,01	0,37	0,02	0,61	10	466

1) Ufiltrert prøve

2) Filtrert prøve



Figur 26 HBCDD i slam fra Rambekk renseanlegg Gjøvik (ng/g tørrvekt).



Figur 27 HBCDD i vann inn til og ut fra Rambekk renseanlegg, Gjøvik. Tall i ng/l. Kun resultater over deteksjonsgrensen er fremstilt i figuren

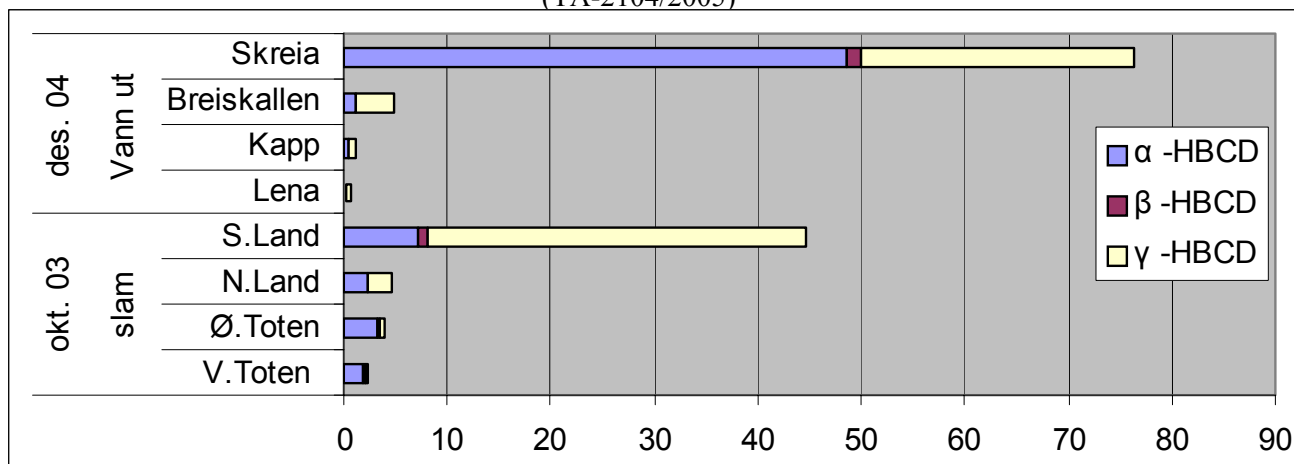
Tabell 21 og figur 26 viser innhold i behandlet avløpsvann samt slam fra mindre renseanlegg i Gjøvik regionen. Det er varierende mengde HBCDD i behandlet vann ut fra renseanlegget, med over 76 ng/l ut fra Skreia renseanlegg, og 0,5 ng/l fra Lena renseanlegg. Også i slammet er det stor variasjon med innhold fra 2 ng/g tørrvekt fra Vestre Toten renseanlegg til 44 ng/g tørrvekt i slam fra Søndre Land kommune. Flere analyser fra Rambekk viser at innholdet varierer mye fra samme renseanlegg.

Tabell 21 HBCDD, TBBPA og BPA i vann (ng/l) og slam (ng/g tørrvekt) fra renseanlegg i Gjøvikområdet.

Lokalitet	Matriks	Prøve tidspunkt	Σ HBCDD	α-HBCDD	β-HBCDD	γ-HBCDD	TBBPA	BPA
V.Toten	slam	okt. 03	2,24	1,80	0,33	0,11	62,5	1076
Ø.Toten	slam	okt. 03	3,97	3,32	0,16	0,49	210	422
N.Land*)	slam	okt. 03	4,55	2,27	<0.14	2,28	118	277
S.Land*)	slam	okt. 03	44,62	7,25	0,87	36,50	52,5	356
Lena	Vann ut	des. 04	0,54	0,25	< 0.12	0,29	<0,1	206
Kapp	Vann ut	des. 04	1,16	0,40	0,01	0,75	<1,2	183
Breiskallen	Vann ut	des. 04	4,93	1,19	0,05	3,69	<0,43	86
Skreia	Vann ut	des. 04	76,43	48,49	1,42	26,53	<5	106

*) Blandet slam fra flere renseanlegg i kommunen

Vurdering av bromerte flammehemmere til Mjøsa fra deponier og kommunale renseanlegg
(TA-2104/2005)



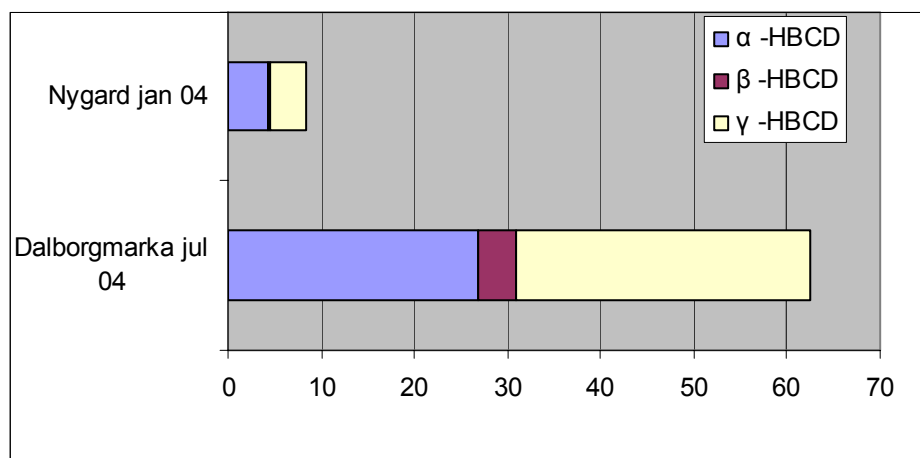
Figur 28 HBCDD i slam (ng/g tørrvekt) og behandlet vann (ng/l) ut fra mindre renseanlegg i Gjøvik regionen.

Tabell 22 og figur 27 viser høyt innhold av HBCDD i sigevann fra en av prøvene fra Dalborgmarka (aktivt deponi), og lite, men klart påviselig fra en prøve fra Nygard (nedlagt deponi). Det er kun HBCDD (α - og γ) som har verdier over deteksjonsgrensen. Sigevann fra deponiene overføres til Rambekk renseanlegg.

Det er påvist relativt høye verdier av TBBPA i sigevann fra deponiene i juli 2004. Det er ikke analysert for BPA fra deponiene i Gjøvik området.

Tabell 22 HBCDD, TBBPA i vann (ng/l) fra deponi i Gjøvikområdet.

Lokaliet		Σ HBCDD	α -HBCDD	β -HBCDD	γ -HBCDD	TBBPA	BPA
Prøvetidspunkt							
Dalborgmarka	Juli 04	62,54	26,9	< 8.08	31,6	52,3	
Dalborgmarka	jan 04	<2,94	< 2.11	< 1.76	< 2.01		
Nygard	Juli 04	<13,7	< 9.96	< 8.08	< 9.36	26,3	
Nygard	Jan 04	8,43	4,21	< 0.4	4,02		



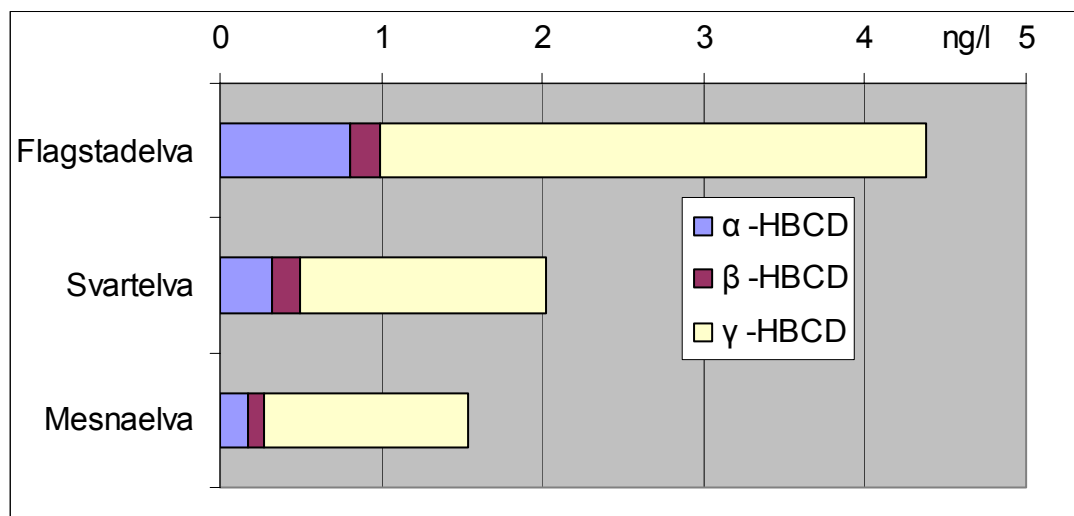
Figur 29 HBCDD i sigevann fra deponi i Gjøvik regionen (ng/l).

3.4.4. HBCDD, TBBPA og BPA i tilførselselver

Tabell 23 og Figur 30 viser innhold av HBCDD, TBBPA og BPA i noen av tilførselselvene til Mjøsa. Det er kun i elvene som renner ut i Mjøsa ved Hamar det er påvist HBCDD over deteksjonsgrensen, henholdsvis 2 og 4 ng/l i Svartelva og Flagstadelva. Det er påvist BPA i Flagstadelva, Svartelva og Mesnaelva,, mens TBBPA er funnet over deteksjonsgrensen kun i Svartelva.

Tabell 23 HBCDD, TBBPA og BPA i vann (ng/l) og sediment (ng/g tørrvekt) fra deponi i Gjøvikområdet.

Lokalitet	Matriks	Prøve tidspunkt	Σ HBCDD	α -HBCDD	β -HBCDD	γ -HBCDD	TBBPA	BPA
Flagstadelva	Vann	des. 04	4,37	0,80	0,20	3,38	<0,08	11,5
Svartelva	Vann	des. 04	2,02	0,32	0,17	1,53	0,11	2,11
Mesnaelva	Vann	des. 04	1,45	0,18	< 0,19	1,27	<0,08	11
Hunnselva	Vann	des. 04	<0,21	< 0,12	< 0,11	< 0,17	<0,01	0,44
Lenaelva	Vann	des. 04	<0,37	< 0,22	< 0,19	< 0,34	<0,01	0,73



Figur 30 HBCDD i vann fra et utvalg av tilførselselver til Mjøsa (ng/l).

3.5. Beregnet transport til Mjøsa fra ulike kilder

I det følgende er det gjort noen grove anslag på hvilke totale mengder av BFH som kan tilføres Mjøsa fra de ulike kildene som er undersøkt.

Et anslag for gjennomsnittelig vannmengder fra de ulike kildene er hentet fra oppsummeringen i Tabell 6. Disse anslagene baseres delvis på målte vannmengder ut av renseanlegg, delvis på normalvannføring i elvene og delvis på estimerte vannmengder ut av deponier.

Som konsentrasjon av de ulike bromerte flammehemmere er det benyttet målt verdi eller en avrundet verdi der det er flere målinger, tilsvarende 75 percentilen. Der det har vært en tydelig trend oppover eller nedover i konsentrasjonen er det benyttet verdier fra slutten av perioden, ofte senhøsten 2004.

Beregningene vil gi et grovt anslag på tilførselen fra de ulike kildene og om de tidligere påviste forurensningene i sediment og fisk i Mjøsa kan stamme fra noen av de undersøkte kildene.

3.5.1. Beregnet bidrag fra renseanlegg

Beregningene i Tabell 24 viser at utslippsvann fra renseanleggene bidrar med i størrelsesorden 100 gram PBDE og HBCDD per år, 60 gram TBBPA og 3700 gram BPA per år. Det er utslipp via de store renseanleggene på Lillehammer, Gjøvik og Hamar som bidrar mest med PBDE til Mjøsa, mens det er Lillehammer og Skreia som bidrar mest med HBCDD. Rambekk dominerer stort og bidrar med over 2000 gram BPA per år. Det er ikke analysert BPA i Lillehammer.

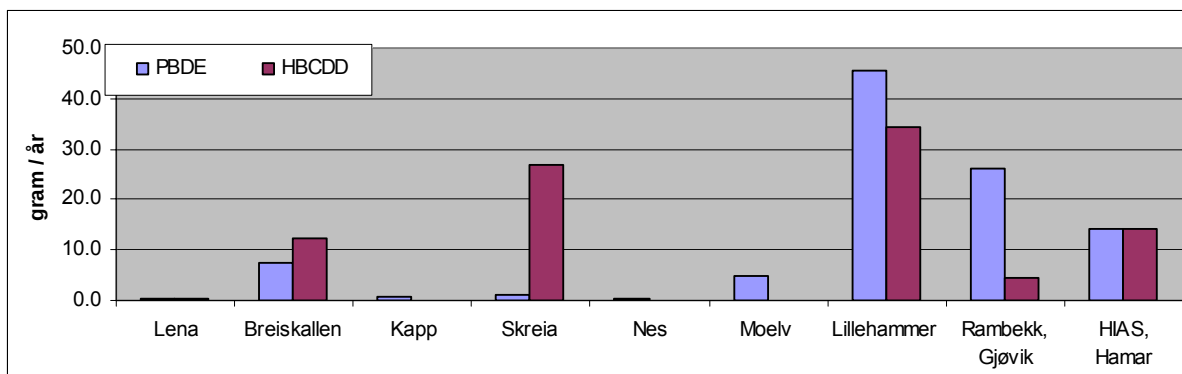
Renseanleggene er effektive til å fjerne BFH slik at stort sett mer enn 90% av konsentrasjonene av BFH i påslippsvannet til renseanleggene fjernes.

Tabell 24 Beregnet mengde tilført stoff til Mjøsa via utvann fra renseanlegg basert på målt vannføring og analysert verdi for de ulike stoffene.

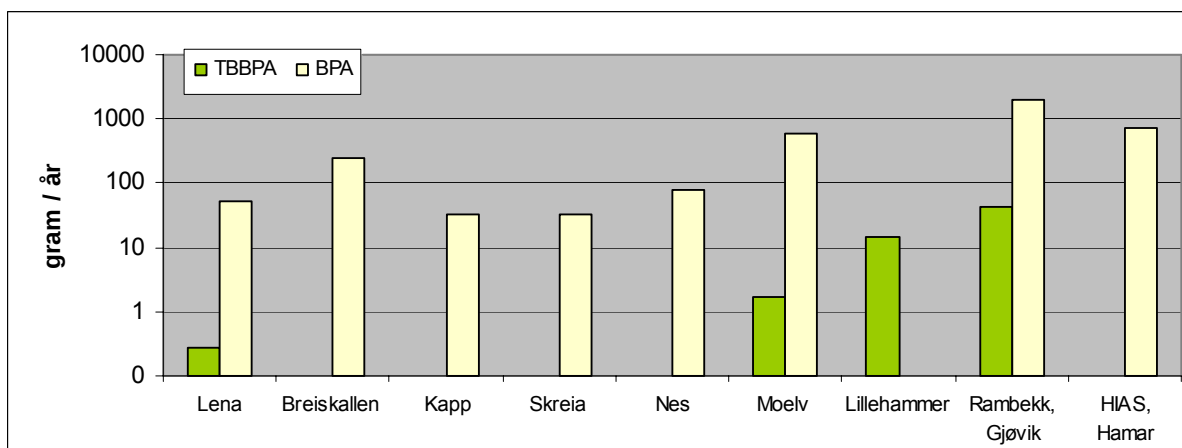
Sted	Vann mengde m ³ /år	målt (ng/l)				Beregnet (gram/ år)			
		PBDE	HBCDD	TBBPA	BPA	PBDE	HBCDD	TBBPA	BPA
Lena	270000	2	1	i.d.	200	0,5	0,3		54
Breiskallen	2470000	3	5	i.d.	100	7	12		247
Kapp	164000	4	1	i.d.	200	0,7	0,16		32
Skreia	338000	3	80	i.d.	100	1	27		33
Nes	195000	2	i.d.	i.d.	400	0,4	0,2		78
Moelv	821000	6	i.d.	2	700	5	0,8	1,6	574
Lillehammer	5700000	8	6	<5		45	34	<14	
Rambekk, Gjøvik	4380000	6	1	10	466	26	4	43	2041
HIAS, Hamar	7000000	2	2	i.d.	100	14	14		700
Sum estimert bidrag						100	92	60	3761

i.d – ikke detektert

Vurdering av bromerte flammehemmere til Mjøsa fra deponier og kommunale renseanlegg
(TA-2104/2005)



Figur 31 Beregnet mengde tilført stoff til Mjøsa via utvann fra renseanlegg basert på målt vannføring og analysert verdi for PBDE og HBCDD.



Figur 32 Beregnet mengde tilført stoff til Mjøsa via utvann fra renseanlegg basert på målt vannføring og analysert verdi for TBBPA og BPA.

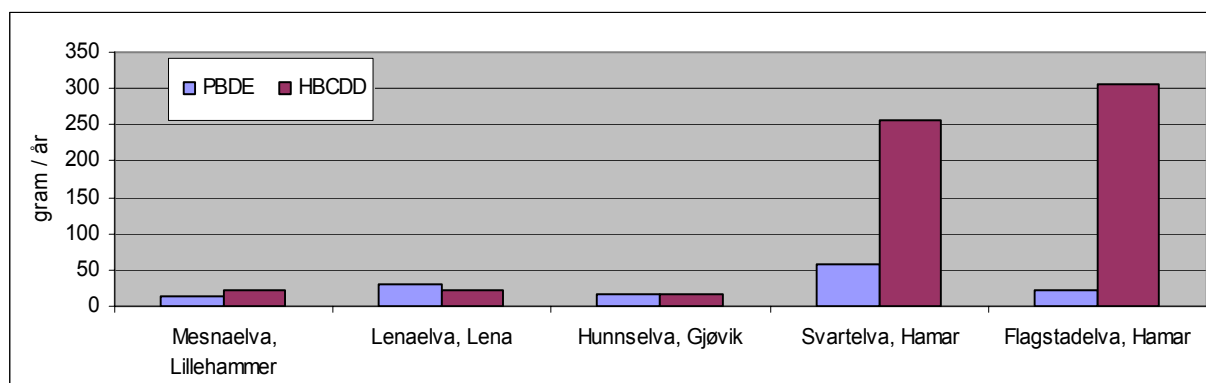
3.5.2. Beregnet bidrag fra tilførselselver

Beregningene i Tabell 25 viser at utslippsvann fra tilførselselvene bidrar med i størrelsesorden 140 gram PBDE, 600 gram HBCDD, 18 gram TBBPA og 1300 gram BPA per år, noe som er et vesentlig bidrag til Mjøsa. Selv om konsentrasjonen er størst i Mesnaelva er det Svartelva ved Hamar som gir det største bidraget til Mjøsa, spesielt for PBDE, der Svartelva bidrar med 57 gram/år. For Hunnselva medfører den store variasjonen i PBDE-konsentrasjon fra oktober 2003, med 7,2 ng/l, til desember 2004 med, 0,11 ng/l, en stor usikkerhet i beregnet tilførsel til Mjøsa. Hvis analysen fra oktober 2003 legges til grunn vil Hunnselva bidra med over 1100 gram PBDE i året, mens analysen fra desember 2004 gir et bidrag på 17 gram/år. For HBCDD og BPA er det Flagstadelva og Svartelva ved Hamar som dominerer tilførselen. Også for TBBPA er det Svartelva som er den største bidragsyteren til Mjøsa.

Det er imidlertid betydelig usikkerhet i beregningene ved bruk av midlere vannføring i elvene. Det er også knyttet stor usikkerhet til om én vannprøve vil representere ulike vannløselige og partikkelbundne konsentrasjoner ved ulike vannføringer i elvene. Sannsynligvis vil vannprøvene, som ble tatt under en tilnærmet normalvannføring, underestimere de totale utslippene pga stor partikkeltransport ved stor vannføring, da flere av stoffene har stor affinitet til partikler. Variasjonen i de tre prøvene i Hunnselva viser den store variasjonen.

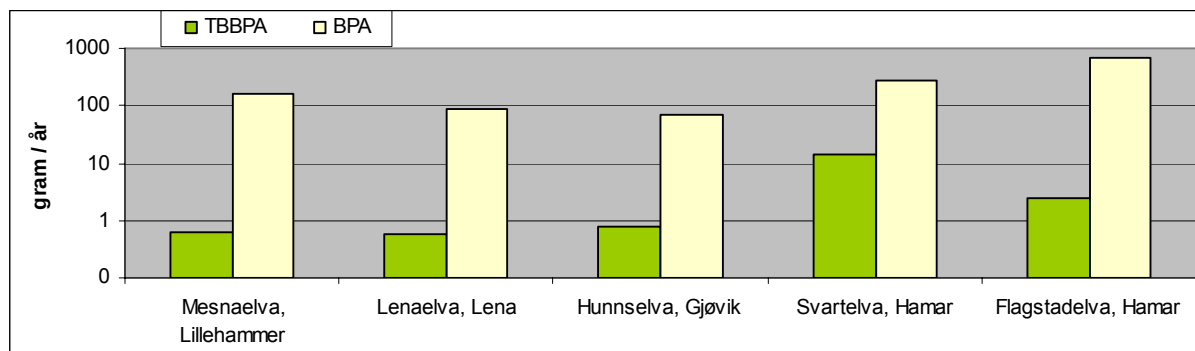
Tabell 25 Beregnet mengde tilført stoff til Mjøsa via tilførselselver basert på normal vannføring og analysert verdi fra desember 04 for de ulike stoffene. Tidligere analyser av PBDE fra Hunnselva er også tatt med.

Sted	Vann føring		Målt (ng/l)				Beregnet (gram/år)			
	l/s	Mill m3/år	PBDE	HBCDD	TBBPA	BPA	PBDE	HBCDD	TBBPA	BPA
Des.04										
Mesnaelva, Lilleh.	476	15	0.84	1.45	<0.08	11	12.6	21.7	<0.60	165
Lenaelva, Lena	3 688	116	0.25	<0.37	<0.01	0.73	29.0	<20.9	<0.58	84.9
Hunnselva, Gjøvik	4 971	156	0.11	<0.21	<0.01	0.44	17.2	<15.6	<0.78	68.9
Svartelva, Hamar	4 033	127	0.45	2.02	0.11	2.11	57.2	256	13.99	268
Flagstadelva, Hamar	1 946	61	0.37	5	<0.08	11.5	22.7	306	<2.46	705
Sum estimert bidrag							139	622	18	1293
Hunnselva, okt.04	4 971	156	1.87				293			
Hunnselva, okt.03	4 971	156	7.2				1128			



Figur 33 Beregnet mengde tilført stoff til Mjøsa via utvann fra tilførselselver basert på normalvannføring og analysert verdi for PBDE og HBCDD fra prøver tatt i desember 2004.

Vurdering av bromerte flammehemmere til Mjøsa fra deponier og kommunale renseanlegg
(TA-2104/2005)



Figur 34 Beregnet mengde tilført stoff til Mjøsa via utvann fra tilførselselver basert på normalvannføring og analysert verdi for TBBPA og BPA fra prøver tatt i desember 2004.

3.5.3. Beregnet bidrag fra deponiene

Sigevann fra deponiene fra Dalborgmarka og Roverudmyra genererer noe forurensninger, men sigevannet ledes til renseanlegg og renses før det slippes ut i Mjøsa. Bidraget fra disse er inkludert i beregnet tilførsel fra renseanleggene i avsnitt 3.5.1 Sigevann fra Gålås og Heggvin genererer også noe BFH, som i perioder med stor vannføring kan ledes via elvene ut i Mjøsa. Dette bidraget er inkludert i beregningen i avsnitt 3.5.2.

Det er ikke beregnet bidrag fra Hovemoen, Busmoen og Strandtorget på Lillehammer da det ikke foreligger estimat på vannføring gjennom deponiene.

Det er beregnet at det ble fjernet 124 gram Σ PBDE fra kanalen under Strandtorget under opprenskningen i april 2005.

Tabell 26 Beregnet mengde tilført stoff via deponi basert på oppgitt vannføring og analysert verdi for de ulike stoffene,

Sted	Resipient	Vann mengde m ³ /år	Målt (ng/l)				Beregnet (gram/år)			
			PBDE	HBCDD	TBBPA	BPA	PBDE	HBCDD	TBBPA	BPA
Gålås avfallsdeponi	Flagstad elva	117 600	1,7				0,2			
Heggvin	HIAS ¹	54 000	4	1	1	500	0,2	0,05	0,05	27
Roverudmyra Lillehammer	Lilleham mer RA	100 000	50			17000	5			170 0
Dalborgmarka Gjøvik	Rambekk RA	57 000	1000	60	50		57	3,4	2,8	
Hovemoen	Mjøsa		150		180					

¹Eventuelt overløp fra Heggvin går til Svartelva.

3.5.4. Beregnet ansamling av BFH i slam

Det er til dels betydelige mengder PBDE, HBCDD og BPA i slam fra renseanleggene i regionen. Slammet blir i all hovedsak samlet og behandlet på henholdsvis HIAS i Hamar og på Rambekk i Gjøvik.

Det er særlig Lillehammer renseanlegg som bidrar til PBDE i slam, som senere samles på Rambekk renseanlegg. Også slam fra HIAS renseanlegg inneholder totalt store mengder PBDE og BPA.

For Lillehammer og Rambekk baseres beregningene på verdiene i slam fra våren og senhøsten 2004. Analyser fra desember 2003 og august 2004 viser betydelig mer PBDE i slam i denne perioden. Verdiene har generelt gått nedover i perioden hvor det foreligger analyser, slik at hvis denne trenden fortsetter kan det forventes at det vil bli mindre PBDE i slam i framtiden.

HBCDD og BPA har økt betydelig i slamprøver fra Rambekk fra oktober 2003 til januar 2005. I beregningene er analysen fra januar 2005 benyttet. Hvorvidt det fortsatt vil være så høy konsentrasjon, eller om det vil bli en videre økning i HBCDD og BPA er usikkert.

For TBBPA har konsentrasjonen fra Lillehammer variert og fra Rambekk har konsentrasjonen gått ned i perioden oktober 2004 til januar 2005.

Tabell 27 Beregnet mengde ansamlet BFH i slam fra renseanlegg basert på oppgitte slammengder og analysert verdi for de ulike stoffene i perioden oktober 2003 – desember 2004

Sted	Slam mengde m ³ TS	målt (ng/g tørrvekt)				Beregnet (gram/ år)			
		PBDE	HBCDD	TBBPA	BPA	PBDE	HBCDD	TBBPA	BPA
Skreia Renseanlegg	640	300				192			
Lillehammer renseanlegg	1666	1500	200			2500	333		
Rambekk renseanlegg	3000	1300	800	10	1000	3900	2400	30	3000
slam tilført fra regionen									
Nes renseanlegg	300	1200	100	40	130	360	30	12	39
Moelv renseanlegg	480	200	20		75	96	10		36
HIAS avløpsrenseanlegg	3250	400		40	600	1300		130	1950
slam tilført fra regionen									
Sum						8,3 kg	2,7 kg	172 gram	5 kg
Sum Rambekk og HIAS						5,2 kg	2,4 kg	160 gram	5 kg

4. Multivariat analyse

4.1. Metoder

For å belyse likheten mellom sammensetningen av PBDE i prøvene av slam og sedimenter har vi benyttet oss av de statistiske multivariate metodene cluster-analyse og prinsipal komponentanalyse.

Formålet med en cluster-analyse er å organisere multivariate observasjoner (objekter med flere målte egenskaper) på en slik måte at medlemmene i de enkelte gruppene har mest mulig felles egenskaper og at gruppene atskiller seg fra hverandre. Den vanlige situasjonen er at dataene ikke er fordelt jevnt i et multidimensjonalt rom, men at de ofte samles i grupper i lokale områder. Slike grupper kalles «clusters». Man stiller i utgangspunktet ingen *å priori* hypoteser vedrørende dataene, og metoden vil derfor heller ikke kunne benyttes til hypotesetesting. Cluster-analysen oppdager strukturer i dataene uten å forklare hvorfor de eksisterer. Analysen gir således et nyttig utgangspunkt for videre utforskende data-analyser.

Resultatene fra en cluster-analyse framstilles grafisk i et *dendrogram*. Dette er et hierarkisk oppbygd tre-diagram som viser de enkelte observasjonene og når de kombineres med andre observasjoner og danner clustere.

For cluster-analysen har vi benyttet en teknikk som kalles hierarkisk clustering, basert på senteroide distanser. Dette er robust metode som er lite følsom for svært avvikende observasjoner (statistiske «outliers»).

Formålet med en prinsipal komponentanalyse er å redusere dimensjonaliteten i ett datasett ved å representere strukturen eller hovedtendensen i et datasett så komplett som mulig ved å benytte noen få komponenter. Disse komponentene er lineære kombinasjoner av de originale variablene. Den første prinsipale komponenten er den lineære kombinasjonen av de standardiserte originale variablene som har den største mulige variansen (dvs. egenverdien innenfor lineær algebra). Den neste prinsipale komponenten har den nest høyeste egenverdien (og er ortogonal til den første, dvs. ukorrelert), og så videre. Bidraget fra de originale variablene til de ulike prinsipale komponenten gis av deres egenvektorer. Disse koeffisientene brukes i en lineær kombinasjon av de originale variablene for å produsere de prinsipale komponentene.

Resultatene fra en prinsipal komponentanalyse kan vises grafisk i et såkalt biplot, hvor egenvektorene plottes som piler i et diagram med de prinsipale komponentene som akser, og hvor skårene til de enkelte observasjonene plottes som punkter i det samme diagrammet. Lengden på pilene viser egenvektorenes relative betydning, og vinkelen mellom dem viser hvor nært korrelert de er med hverandre. Nær korrelerte variabler peker i samme retning, mens negativ korrelerte variabler peker i motsatt retning. Ikke-korrelerte variabler står normalt på hverandre.

Vi har i begge disse analysene benyttet oss av det relative forholdet mellom et utvalg av BDE-kongenerer (dvs. deres prosentvise forhold). Det har således ingen betydning for analysene om den totale konsentrasjonen av Σ PBDE er høy eller lav, da det er det relative forholdet mellom de enkelte forbindelsene som er viktig for å belyse likheten mellom prøvene. På denne måten elimineres effekten av eventuelt fortynnende materiale i prøvene.

For den prinsipale komponentanalysen har vi benyttet en metode som kalles logkontrast prinsipal komponentanalyse (Aichinson, 1986). For hver prøve har vi transformert de prosentvise forekomstene av de ulike BDE-kongenerene i hver prøve til såkalte log-ratio forhold. Dette har vært nødvendig for å unngå effektene av falske korrelasjoner mellom kongenerene som kan introduseres når man opererer med komposittdata (summerer til 100%). En tilfeldig økning eller reduksjon i forekomsten av en kongener vil føre til en endring i forekomsten av andre, noe som vil føre til falske korrelasjoner.

Et problem ved det foreliggende datamaterialet er at det er analysert ved ulike laboratorier, og at disse ikke har hatt det samme utvalget av analyserte kongenerer. De statistiske metodene vi har benyttet tolererer ikke at det mangler data for noen variabler. For å kunne operere med et tilstrekkelig antall variabler, har vi derfor måtte ekskludere noen prøver fra analysene.

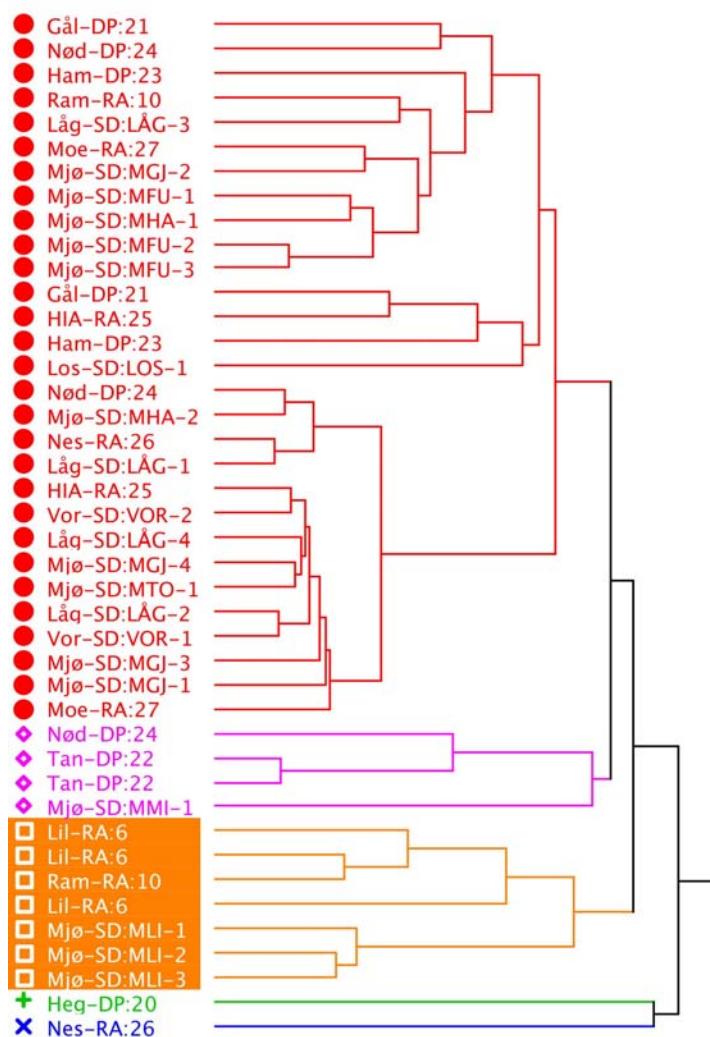
Prøvematerialet omfatter i alt 42 prøver, hvorav 10 er slamprøver fra deponier, 11 er slamprøver fra renseanlegg og 21 er sedimentprøver fra Mjøsa, Gudbrandalslågen og Vormå (sedimentdata er hentet fra Fjeld et al. 2004). Analysene er gjort på følgende ni kongenerer: BDE-28, -47, -49+71, -99, -100, -153, -154, -183 og -209.

Til de statistiske analysene er det benyttet dataprogrammet JMP (SAS Institute Inc., 2004)

4.2. Resultater

Cluster-analysen

Denne analysen viste at de tre slamprøvene fra Lillehammer renseanlegg dannet et distinkt cluster sammen med en slamprøve fra Rambek renseanlegg og de tre sedimentprøvene fra Mjøsa ved Lillehammer. Prøven fra Rambek var blandprøve av slam fra flere renseanlegg ved Mjøsa, renseanlegget ved Lillehammer inkludert. I Figur 35 er dette clusteret merket med en oransje farge, og de enkelte observasjonene som inngår i dette er merket med firkantede symboler. De øvrige prøvene grupperte seg i hovedsak i et stort cluster med 29 observasjoner, samt et mindre cluster på 4 observasjoner (som inneholdt bl. a. slamprøvene fra deponiene på Nødslemyra og Tangenskogen, Hamar. To prøver fra henholdsvis Nes renseanlegg og Heggvin deponi, Hamar, kunne bli klassifisert som avvikende utgrupper som hadde få likheter med de øvrige prøvene.



Figur 35, Dendrogram basert på en clusteranalyse av slam- og sedimentprøver fra renseanlegg, deponier og bunnsedimenter fra Mjøsa med ulik BDE-sammensetning.

I Figur 35 angir de tre første bokstavkombinasjonene forkortelsen for lokaliteten prøven er hentet fra. De to neste bokstavene, som er atskilt fra de tre første med en bindestrek, angir hvorvidt det er en prøve fra et renseanlegg (RA), et deponi (DP) eller en sedimentprøve fra Mjøsa (SD). Lokalitetsnummeret for deponiet eller renseanlegget er angitt med et tall etter kolonet (se oversikten over prøvetakningslokalitetene), mens for sedimentprøvene fra Mjøsa angir koden etter kolonet stasjonskoden slik den er oppgitt i Fjeld et. al. (2004).

Prinsippal komponentanalyse

Denne analysen viste at de tre første prinsippale komponentene beskrev i alt 81% av den samlede variansen i datasettet (Tabell 28). Den første prinsippale komponenten beskrev nær 41% av variansen i datasettet, og egenvektorene viste at den ble dominert av en positiv påvirkning fra BDE-47, -99 og -100, og en negativ påvirkning fra BDE-183. Den andre prinsippale komponenten beskrev 25% av variansen, og ble i hovedsak positivt dominert av

BDE-153 og -154, med en negativ innflytelse fra BDE-28. Den tredje prinsipale beskrev nær 15% av variansen, og ble i hovedsak positivt dominert av BDE-28 og negativt av BDE-209.

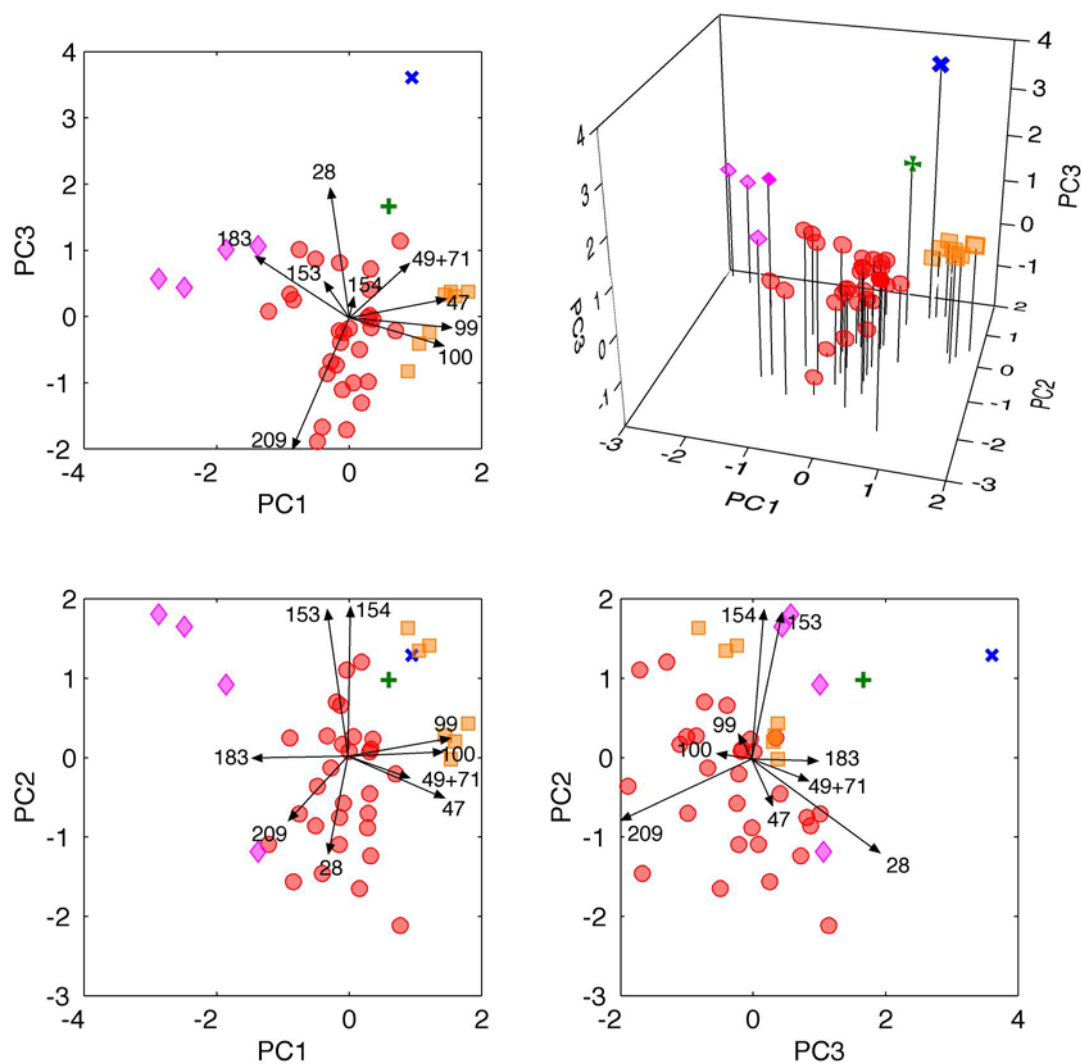
Tabell 28, Prinsipal komponentanalyse av forholdet mellom ulike BDE-kongenerer i slam- og sedimentprøver fra renseanlegg, deponier og bunnsedimenter fra Mjøsa. Det relative forholdet mellom de ulike kongenerene i hver prøve er transformert til log-ratio forhol. Resultatene er vist for det tre første prinsipale komponentene (PC1- PC3).

		PC 1	PC 2	PC 3
Eigenverdi		3,66	2,29	1,35
Prosent av varians		40,66	25,45	15,02
Kumulativ prosent		40,66	66,11	81,13
Eigenvektor	BDE-28	-0,09	-0,39	0,63
	BDE-47	0,45	-0,17	0,09
	BDE-49+71	0,27	-0,08	0,25
	BDE-99	0,48	0,07	-0,05
	BDE-100	0,44	0,02	-0,13
	BDE-153	-0,10	0,60	0,15
	BDE-154	0,01	0,62	0,06
	BDE-183	-0,45	-0,01	0,29
	BDE-209	-0,27	-0,25	-0,64

Biplottene i Figur 36 viser at clusteret som inneholdt de tre slamprøvene fra Lillehammer renseanlegg, blandprøven av slam fra Rambek, samt tre sedimentprøver fra Mjøsa, Lillehammer, atskiller seg fra de øvrige prøvene ved at de hadde en høyere andel av BDE-47, -99 og -100, dvs. kongenerer som inngår i den lavbromerte tekniske blandingen som kalles penta-BDE. De øvrige prøvene hadde generelt en høyere andel av de mer høybromerte forbindelsene som BDE-209 og -183. I det tredimensjonale skårplottet kommer det tydelig fram at «Lillehammer-clusteret» skiller seg distinkt ut fra de øvrige prøvene.

I biplottet mellom prinsipalkomponentene 1 og 2 ser man at tre prøver i «Lillehammer-clusteret» skårer relativt høyt på BDE-153 og -154. Dette er de tre sedimentprøvene fra Mjøsa, Lillehammer, som atskiller seg noe i så måte fra de øvrige i det samme clusteret.

Som oppsummering kan man si at den prinsipale komponentanalysen bekreftet resultatene fra clusteranalysen, og viste at prøvene fra Lillehammer renseanlegg og blandprøven fra Rambek renseanlegg hadde omlag samme profil i BDE-sammensetningen som sedimentene fra Mjøsa, Lillehammer. Dette er en klar indikasjon på at de forhøyede PBDE-konsentrasjonene i nordre del av Mjøsa og i Lillehammer renseanlegg stammer fra samme forurensningskilde.



Figur 36, Biplot og et tredimensjonalt skår-plott basert på en prinspal komponentanalyse av forholdet mellom ulike BDE-kongenerer i slam- og sedimentprøver fra renseanlegg, deponier og bunnsedimenter fra Mjøsa. Symbolbruken er lik den som er som er brukt i clusteranalysen.

5. Oppsummering

5.1. Oppsummering av PBDE

5.1.1. Lillehammer- regionen

Tidligere undersøkelser viser at sedimentene i Mjøsa ved Lillehammer har høyest PBDE belastning i Mjøsa, og med en større dominans av lavbromerte BDE enn andre områder i Mjøsa. Σ PBDE i sedimentprøver fra Lillehammerområdet er vist å være rundt 22-27 ng/g tørrvekt (Fjeld et.al, 2004) hvorav lavbromerte BDE utgjør ca. 12,5-14 ng/g tørrvekt og BDE-209 utgjør ca. 6-10 ng/g tørrvekt .

I slam fra Lillehammer renseanlegg dominerer BDE-99 og BDE-47 eller er likt med nivået av BDE-209. Nivået av Σ PBDE har i løpet av prøveperioden variert mye; 9400-21800 ng/g tørrvekt august 2004 og desember 2003 og rundt 1300-1800 ng/g tørrvekt i mars, juni og desember 2004. PBDE-profilen i slam fra Rambekk har endret seg fra å ha ca 40 % BDE-99 og BDE-47, og 0,5 % BDE-209 til at konsentrasjonene av BDE-99 og BDE-47 har sunket til 30% hver og BDE-209 har økt til 20 %. Økningen av BDE-209 er både relativ og absolutt.

Clusteranalysen viser også at slamprøver fra Lillehammer og Rambekk, samt sedimentprøver fra Mjøsa ved Lillehammer dannet et tydelig cluster. Dette tyder på at kilden til BFH i sedimentene ved Lillehammer er den samme som har gitt BFH i renseanlegget på Lillehammer.

Utslipp fra Lillehammer renseanlegg av Σ PBDE er rundt 45 gram per år, og kongenerprofilen gjenspeiler profilen i tidligere sedimentprøver. Vann fra Roverudmyra deponi går til renseanlegget (ca. 5 gram årlig), mens de andre deponiene som har utslipp direkte til Mjøsa er vanskelig å beregne da det ikke er vannføringstall fra deponiene for disse. Det er beregnet et bidrag på ca 12 gram per år fra Mesnaelva. De høye konsentrasjonsnivåene i sediment utenfor Strandtorget deponi og i kanalen under Strandtorget tyder på at det kan ha vært betydelige (?) tilførsler til Mjøsa av BFH som ikke har gått ut via påslippsvann til Lillehammer renseanlegg. Årsaken til de høye nivået i kanalen er ikke kjent. Det er usikkert hvorvidt deponiene i området kan være en kilde til forurensning i nærområdet, men beregninger fra andre deponi viser begrenset bidrag fra deponiene.

5.1.2. Hamar - regionen

Beregninger viser at Flagstadelva og særlig Svartelva bidrar med henholdsvis 22 gram og 57 gram PBDE pr. år, som er blant de største enkelbidragene til Mjøsa.

Utslippsvann fra renseanlegget HIAS har konsentrasjoner på rundt 2 ng/l Σ og dermed noe lavere enn andre store renseanlegg i Mjøsregion. Så selv om HIAS har størst vannføring er totalbidraget til Mjøsa rundt 14 gram per år. Renseanleggene Nes og Moelv har mindre bidrag på ca. 0,4 og 5 gram per år. Felles for prøvene fra tilførselselvene og fra renseanlegg i Hamarområdet er at BDE-209 utgjør minst halvparten av Σ PBDE.

Avrenning fra deponiene har litt høyere andel BDE-47 og BDE-99 enn hva en finner i rensset vann fra renseanlegg, og i vann fra Heggvin avfallsdeponi er BDE-99 den dominerende kongeneren. Gålås og Heggvin avfallsdeponi sitt bidrag til resipienten er ca. 0,2 gram Σ PBDE per år, basert på en stikkprøve og kan tyde på et begrenset bidrag som kan nå Mjøsa.. Tidligere analyser av sediment i Mjøsa i Hamarregionen viser også lave nivåer av BDE-99.

Det antas at det må være en kilde til PBDE på Nes, da innvann viser Σ PBDE 425 ng/l, hovedsakelig BDE-209. Det er videre relativt store mengdene PBDE som blir fanget opp i slammet fra renseanleggene, Nes (1191 ng/g tørrvekt), HIAS (413 ng/g tørrvekt) og Moelv (182 ng/g tørrvekt). Det er likevel betydelig mindre enn slam fra Lillehammer renseanlegg. På HIAS utgjør BDE-209 77% av Σ PBDE i slammet, på Moelv 70% og Nes 94%. SFT og FMVA Hedmark har foretatt undersøkelser mhp BDE-209 konsentrasjonen i slammet på Nes, men ikke funnet noen kilde.

5.1.3. Gjøvik- regionen

Bidraget fra Hunnselva har variert i perioden med konsentrasjonsnivå av Σ PBDE fra 7,2 ng/l i 2003 til 1,9 og 0,1 ng/l i 2004. I prøven fra 2003 var BDE-209 den klart dominerende, mens i prøvene fra 2004 var BDE-47 og BDE-99 blitt mer framtrædende. Avrenning fra elver er vanskeligere å estimere da kraftige regnperioder eller aktiviteter som graving vil påvirke partikkelinnholdet og de estimerte tallene betydelig. Benyttes analysen fra desember 2004 gir Hunnselva et bidrag på 17 gram Σ PBDE i året, men hvis en benytter analysen fra oktober 2003 bidrar Hunnselva med over 1100 gram per år, hvorav 97% var BDE-209.

I sedimentprøver i Mjøsa tatt utenfor Gjøvik var BDE-209 den klart dominerende kongener, med BDE-209 konsentrasjoner på rundt 8 -14 ng/g tørrvekt (St. 1, 2 og 3 ved Gjøvik, 2003). Utslipp via Rambekk renseanlegg har et totalt bidrag på rundt omtrent 26 gram Σ PBDE i året. Konsentrasjonsnivået i rensset vann fra Rambekk viser ingen spesiell trend, men varierer mellom 2,5-6,5 ng/l. Derimot ser man en trend at konsentrasjonen i innløpsvannet har økt fra oktober 2003 til desember 2004, og at denne økningen først og fremst stammer fra økt konsentrasjon i BDE-209. Det kan også sees en svak økning i BDE-209 i slam i samme periode.

Slam fra Lillehammer renseanlegg avvannes på Lillehammer, transporteres til Rambekk, blandes med annet slam og går inn i råtnetanker. Deretter avvannes det, tørkes, pelleteres og kjøres til Dalborgmarka. Tidligere ble slammet kjørt til Nygard og benyttet som toppdekke/avslutning. Noe slam benyttes som toppdekke/avslutning på Dalborgmarka. Men en del slam legges bare i deponi på Dalborgmarka. Det er en klar sammenheng mellom nivåene av PBDE i slammet på Rambekk og i slammet fra Lillehammer renseanlegg.

Av andre renseanlegg i området peker Breiskallen seg ut ved at den har relativt høy vannføring og et estimert årlig bidrag til Rambekk med rundt 7 gram Σ PBDE, hvorav BDE-209 dominere og BDE-47 og BDE-99 også er betydelig. Dalborgmarka avfallsfyllplass (aktivt) har størst påslipp til Rambekk renseanlegg, ca. 57 gram Σ PBDE per år, mens bidraget fra Nygard (nedlagt deponi) til Rambekk er langt mindre. Avrenning fra Dalborgmarka har en større andel av BDE-47 og BDE-99 enn hva en ser i innløpsvannet til Rambekk renseanlegg.

5.2. Oppsummering av HBCDD

5.2.1. Lillehammer regionen

Det er målt middels høye verdier av HBCDD i både slam og innløpsvann til Lillehammer renseanlegg. I slammet fra, og tildels i påslippsvannet til, Lillehammer renseanlegg dominerer

γ -HBCDD. I utløpsvannet er det kun α -HBCDD som er påvist over deteksjonsgrensen. Verdiene er imidlertid lavest for β -HBCDD, den samme som det ble målt mest av i Mjøsa ved stasjon 1 ved Lillehammer i 2003 (7,91 ng/g tørrvekt).

Bidraget fra Lillehammer renseanlegg til Mjøsa er totalt ca. 34 gram Σ HBCDD per år og bidraget fra Mesnaelva er noe mindre, men med ca 21 gram per år.

Det er stor variasjon i HBCDD-nivået i slam fra Lillehammer, med en klar økning fram til en topp i august 2004 og deretter en tilbakegang i desember 2004. Den høye konsentrasjonen i innløpsvann i august 2004 (470 ng/l) avspeiler seg i høyt nivå i slam (1107 ng/g tørrvekt) ved samme prøvetidspunkt.

En grunnvannsprøve fra Hovemoen viser høy konsentrasjon av TBBPA, mens det er høy konsentrasjon i både vann og sediment fra Roverudmyra av BPA.

5.2.2. Hamar regionen

For HBCDD er det Flagstadelva og Svartelva som gir det klart største bidraget med henholdsvis 256 og 306 gram Σ HBCDD per år, hvorav γ -HBCDD utgjør rundt 80 %. HBCDD-bidraget via HIAS (Hamar) er ca. 14 gram per år, noe som er på nivå med PBDE tilførselene via HIAS.

5.2.3. Gjøvik regionen

I følge beregningene bidrar Skreia renseanlegg med 27 gram Σ HBCDD per år, hvorav over halvparten er α -HBCDD. Rambekk renseanlegg bidrar med 4 gram per år HBCDD til Mjøsa. HBCDD-nivået i slam ved Rambekk viste en markert økning fra 5 til 830 ng/g tørrvekt fra oktober 2003 til januar 2005, og hvor utvann fra Rambekk første gang er over deteksjonsnivå i desember 2004.

5.3. Oppsummering av TBBPA og BPA

Utslipp fra renseanlegg er største bidragsyteren av TBBPA og BPA til Mjøsa. Det er imidlertid ingen klare punktkilder til påslipp av TBBPA og BPA inn på renseanleggene. Det er få analyser som foreligger, men beregninger fra Rambekk (Gjøvik) viser at de bidrar med ca. 43 gram per år. I de fleste prøver fra andre renseanlegg og i elveprøver er TBBPA under deteksjonsnivået. Unntaket er Svartelva som gir et beregnet bidrag på 14 gram/år. Det er få analyser fra deponier, men i prøver fra Roverudmyra og Dalborgmarka, som begge har påslipp til renseanlegg, ble det påvist konsentrasjoner rundt 30-50 ng/l.

For BPA er det et stort bidrag fra Gjøvikregionen med et anslag på ca. 2 kg per år via Rambekk (med påslipp fra Breiskallen på 247 gram per år). Fra de mindre renseanleggene i området er det et totalt bidrag på rundt 200 gram per år.

I Hamarområdet er det betydelig bidrag fra renseanleggene HIAS, Moelv og Nes med henholdsvis 700, 574 og 78 gram per år BPA. Også fra Svartelva og Flagstadelva er det

betydelige bidrag av BPA med henholdsvis 268 og 706 gram per år. Det foreligger ikke data fra Lillehammer.

5.4. Samlet tilførsel til Mjøsa

Tabell 29 summerer beregnet tilførsel av de ulike BFH fra renseanlegg og elver. Beregningen baseres på stikkprøver og summeres opp basert på målte utslippstall for utløpsvann fra renseanleggene og på en gjennomsnittelig avrenning i tilførselselvene til Mjøsa.

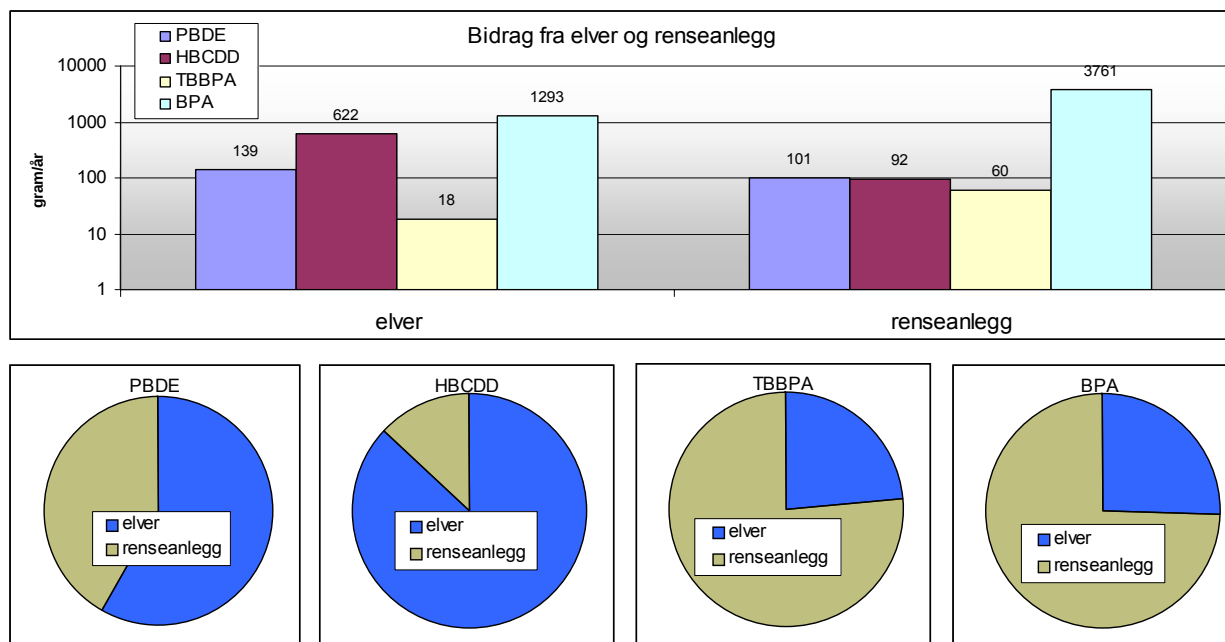
Sammenstillingen viser at det tilføres totalt over 5000 gram BPA per år, mens tilførselen er ca 700 gram og 240 gram per år av henholdsvis HBCDD og PBDE og nesten 80 gram TBBPA i året. Tallene er basert på analysen av desember 2004 når det gjelder Hunnselva.

Sammenstillingen viser videre at tilførselselvene bidrar med de største bidragene av PBDE, og særlig HBCDD, mens utløpsvann fra renseanleggene bidrar med de største tilførselene av TBBPA og BPA til Mjøsa, figur 37. Det er i denne sammenhengen ikke foretatt en vurdering av mulige kilder til renseanleggene og til elvene, men bidrag fra de aktive deponiene kan være en betydelig kilde av BFH inn på renseanleggene. Konsentrasjonen i slam fra renseanleggene viser imidlertid at rensingen av BFH er effektiv.

Det er knyttet stor usikkerhet til beregningen fra elvene pga få analyser. Stor variasjon i analyseresultater fra Hunnselva viser usikkerheten i estimatene. Det er særlig episoder med stor partikkeltransport som kan medføre større utslipp over en begrenset periode via elvene.

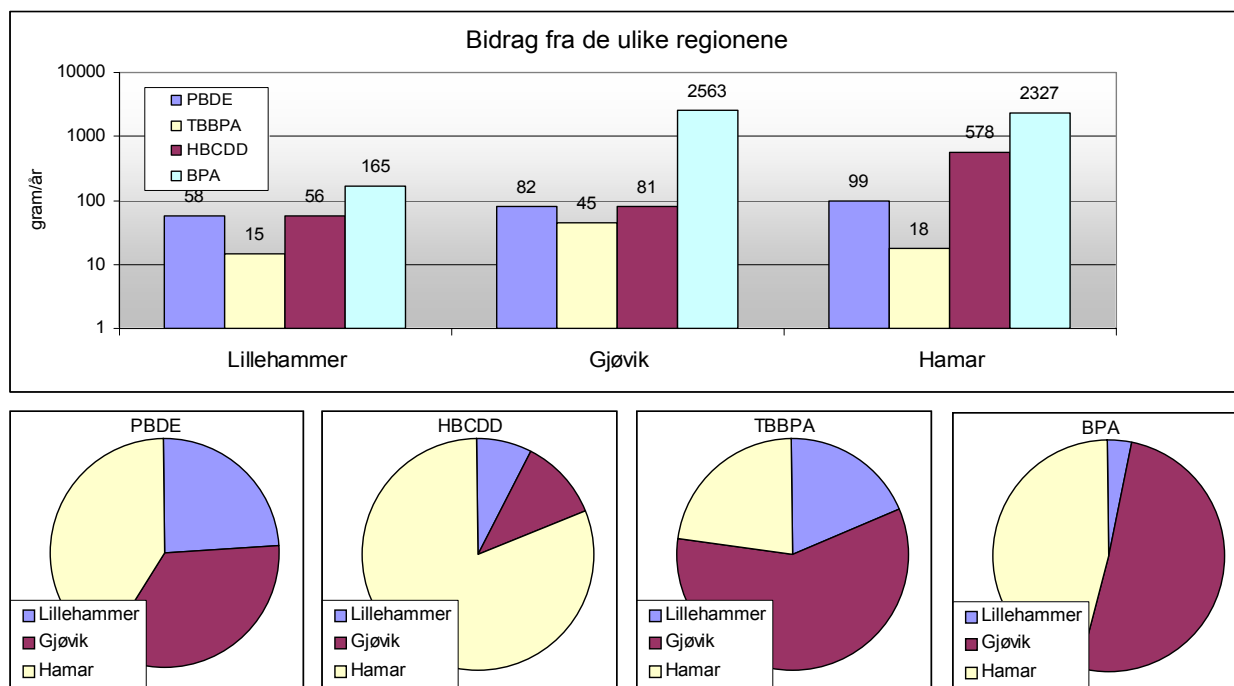
Tabell 29. Oppsummering av beregnet tilførsel av BFH til Mjøsa fra renseanlegg og elver.

	Beregnet (gram/år)			
	PBDE	HBCDD	TBBPA	BPA
Renseanlegg	101	92	60	3761
Elver	139	622	18	1293
Totalt	240	714	78	5050



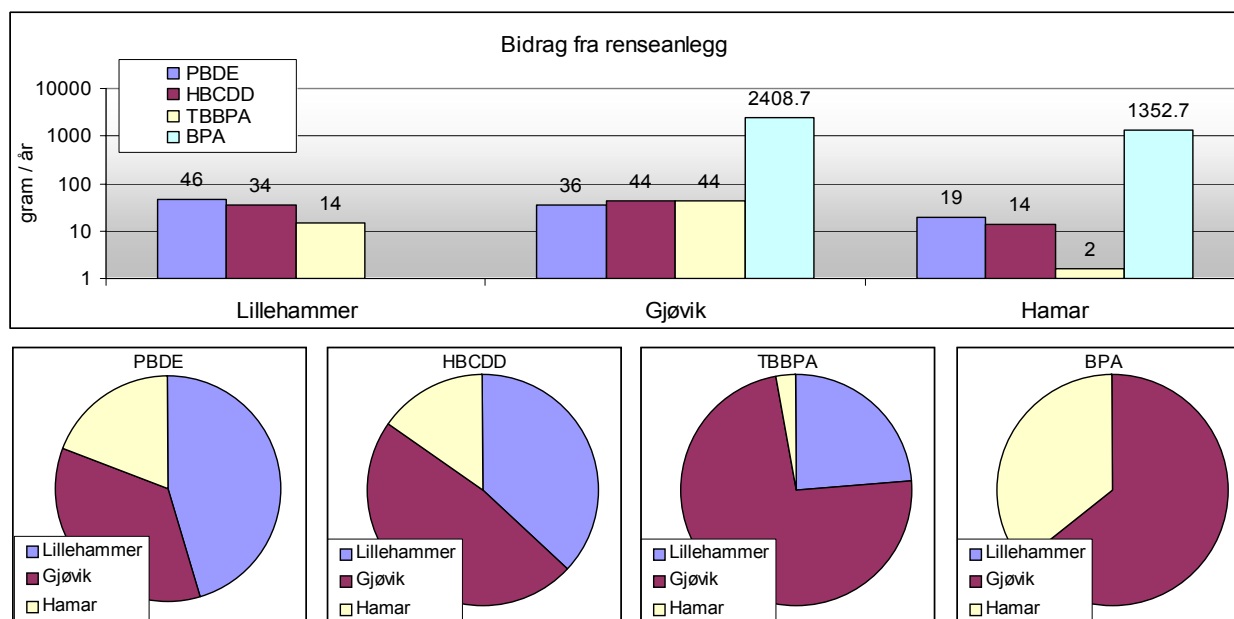
Figur 37. Totale og relative bidrag fra elver og renseanlegg.

Vurdering av bromerte flammehemmere til Mjøsa fra deponier og kommunale renseanlegg
(TA-2104/2005)



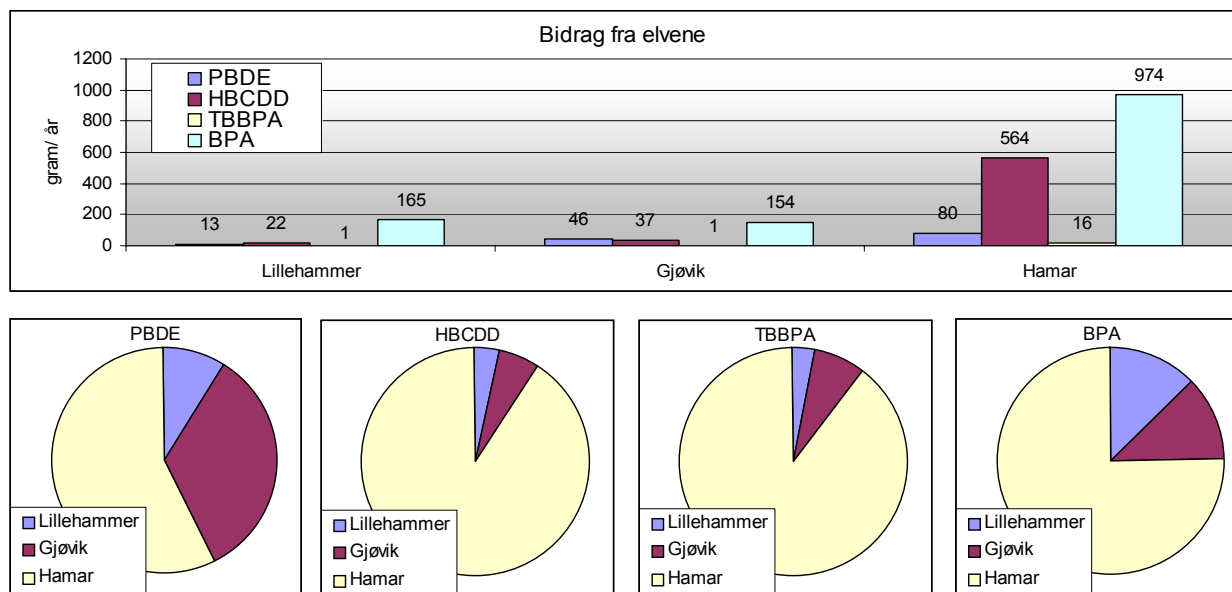
Figur 38. Totale og relative bidrag fra de ulike regionene.

Figur 38 viser at det er Hamar regionen som totalt bidrar med mest forurensninger, og dominerer tilførselen av HBCDD. Det er imidlertid Gjøvik regionen som bidrar med mest BPA og TBBPA. Av PBDE er det omtrent like mye fra de ulike regionene.



Figur 39. Totale og relative bidrag fra renseanlegg i de ulike regionene.

Figur 39 viser at det er renseanleggene i Gjøvik regionen som relativt bidrar med mest av alle de undersøkte stoffene, bortsett fra for PBDE der Lillehammer bidrar mest.



Figur 40. Relative bidrag fra elver i de ulike regionene.

Figur 40 viser at det blant tilførselselvene til Mjøsa er det elvene i Hamar regionen som gir det største bidraget av alle forurensningsstoffene.

6. Referanser

Aitchison, J., 1986, The statistical analysis of compositional data, Chapman and Hall, London, 416 p,

SAS Institute Inc., 2004, JMP v,5,1, (computer program), SAS Institute Inc, Cary, NC,

Fjeld, E, Schlabach, M., Rognerud, S, og Källberg, G, 2004, Miljøgifter i sedimenter og fisk i Mjøsa, Drammensvassdraget og Drammensfjorden, oppfølgende undersøkelser i 2004, (Environmental pollutants in sediments and fish in Lake Mjøsa, Drammens River and Drammens Fjord, a follow-up study in 2004), Statlig program for forurensningsovervåkning, SFT rapport TA-2051/2004, 27 s,

Fjeld, E. Schlabach, M., Berge J.A., Eggen, T., Snilsberg, P., Källberg, G., Rognerud, S., Enge, E.K., Borgen, A. og Gundersen, H. 2004. Kartlegging av utvalgte nye organiske miljøgifter—bromerte flammehemmere, klorerte parafiner, bisfenol A og triclosan. (Screening of selected new organic contaminants—brominated flame retardants, chlorinated paraffins, bisphenol A and triclosan) Statlig program for forurensningsovervåkning. SFT rapport TA-2006/2004. 117 s.

Fjeld, E. , Schlabach, M., Berge J.A., Green, N. , Eggen, T.,Snilsberg, P., Vogelsang, C. , Rognerud, S., Kjellberg, G., Enge,E.K., Dye, C, og Gundersen, H. Kartlegging av utvalgte nye organiske miljøgifter 2004. Bromerteflammehemmere, perfluoralkylstoffer, irgarol, diuron, BHT ogdicofol



Statens forurensningstilsyn (SFT)
Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo
Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00
Telefaks: 22 67 67 06
E-post: postmottak@sft.no
Internett: www.sft.no

Utførende institusjon Jordforsk, NIVA, NILU	Kontaktperson SFT Jon Fuglestad	ISBN-nummer
--	------------------------------------	-------------

	Avdeling i SFT Organisasjons- og miljøinforma- sjonsavdelingen	TA-nummer 2104/2005
--	--	------------------------

Oppdragstakers prosjektansvarlig Petter Snilsberg	År 2005	Sidetall 58	SFTs kontraktnummer 6005027
--	------------	----------------	--------------------------------

Utgiver SFT	Prosjektet er finansiert av SFT
----------------	------------------------------------

Forfatter(e) Petter Snilsberg ¹ , Trine Eggen ¹ , Eirik Fjeld ² , og Martin Schlabach ³ ¹ Jordforsk, ² NIVA, ³ NILU
Tittel - norsk og engelsk Vurdering av bromerte flammehemmere til Mjøsa fra deponier, kommunale renseanlegg og elver
Sammendrag – Det er foretatt en sammenstilling av eksisterende data av bromerte flammehemmere fra deponi, renseanlegg, og tilførselselver til Mjøsa. Dataene er sammenholdt med tidligere funn i sedimenter og fisk i Mjøsa. Beregnet relativ bidrag fra de ulike kildene viser at det kommer tilnærmet like store bidrag fra kommunale renseanlegg og fra tilførselselvene. Utslippene i nordre del av Mjøsa domineres av lavbromerte kongenerer, mens utslipp fra Hamar og Gjøvik domineres av den fullbromerte forbindelsen deka-BDE. Disse profilene i avløpsvann stemmer med profilene funnet i sedimentene i tilsvarende deler av Mjøsa. Størst bidrag til PBDE i Mjøsa er via Lillehammer renseanlegg og fra elvene ved Hamar. Mes-teparten av BFH inn på renseanleggene gjenfinnes i kloakkslammet, som dokumenterer god rensing. Høyt innhold av BFH i slam på Rambekk stammer fra Lillehammer. Oppdatert versjon med ny beregning av tilførsel fra elver.

4 emneord organiske miljøgifter, deponier, renseanlegg,	4 subject words organic pollutants, land fills, sewage treatment plants
--	--