

**Kartlegging av hvitt fosfor,
sprengstoff og metaller i fisk og
sediment i Hengsvann skyte- og
øvingsfelt, Kongsberg kommune
2009**



Forside: Hengsvann

Foto: Geir A. Dahl-Hansen

Rapporttittel / Report title

**Kartlegging av hvitt fosfor, sprengstoff og metaller i fisk og sediment
Hengsvann skyte- og øvingsfelt, Kongsberg kommune 2009**

Forfatter(e) / Author(s)

Geir A. Dahl-Hansen
Freddy Engelstad

Akvaplan-niva rapport nr / report no

4685-01

Medarbeider(e)

Dato / Date

26.04.2010

Antall sider / No. of pages

46 (inkl. forside)

Distribusjon / Distribution

Via oppdragsgiver

Oppdragsgiver / Client

Forsvarsbygg

Oppdragsgg. referanse / Client's reference

Grete Rasmussen

Sammendrag / Summary

Det ble i 2009 gjennomført undersøkelse av hvitt fosfor (WP), metaller og sprengstoffrester i sediment og fisk fra Hengsvann i Hengsvann øvings- og skytefeltet i Kongsberg kommune, Telemark fylke. Konklusjonen er at de registrerte funnene av hvitt fosfor, sprengstoff og metaller i sediment og fisk ikke utgjør noen fare for mennesker som bruker Hengsvannet til rekreasjon og fisk til konsum.

Hvitt fosfor: Det ble funnet WP i alle de 5 sedimentprøvene fra Hengsvann, der 4 av prøvene lå over 0,2 mg/kg tørrvekt. Sannsynligvis ligger det fortsatt noe WP lagret i sedimentet i det området som ble undersøkt.

Det ble påvist WP i mage/tarm hos 31 av de 32 fiskene som ble analysert. Konsentrasjonene var lave (stort sett < 0,0035 mg/kg våtvekt). Det ble også påvist WP i muskelprøver (filet) fra fisk med lave konsentrasjoner. Verdien i filet er under det som er satt som faregrense ved konsum. Også verdiene i mage/tarm prøvene er under faregrensen dersom tilsvarende verdier hadde blitt målt i fiskekjøttet.

Metaller: Nivåene av metaller i sedimentet i Hengsvann er for det meste lave og reflekterer bakgrunnsnivåer. For noen metaller ligger konsentrasjonene noe over det som er funnet i andre innsjøer i regionen. Stasjon 1 – 4 som mottar størst avrenning fra målområdet, ligger en del høyere i konsentrasjoner enn stasjon 5 (lite avrenning), noe som indikerer at aktiviteten i skytefeltet medfører økte konsentrasjoner i innsjøsedimentet. Nivåene av metaller i muskelvev fra fisk er generelt lave og ligger innenfor det som kan regnes som normalverdier.

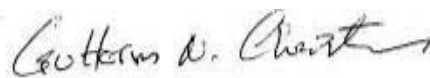
Sprengstoff: Det ble registrert rester av RDX, HMX og TNT i mage/tarm og muskel fra et fåtall fisk. HMX ble registrert i 3 sedimentprøver.

Prosjektleder / Project manager



Geir A. P. Dahl-Hansen

Kvalitetskontroll / Quality control



Guttorm N. Christensen

© 2010 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNLEDNING	2
1 MATERIALE OG METODE.....	3
1.1 LITT OM HVITT FOSFOR	3
1.2 LOKALITETSBEKRIVELSE	4
1.3 INNSAMLING AV FISK OG SEDIMENT.....	6
1.4 ANALYSEMETODER.....	8
ANALYSE AV EKSPLOSIVER I SEDIMENT	8
METODE FOR BESTEMMELSE AV EKSPLOSIVER I INNVOLLER.....	8
2 RESULTATER OG DISKUSJON	9
2.1 HVITT FOSFOR	9
2.1.1 Sediment.....	9
2.1.2 Fisk.....	9
2.2 METALLER OG SPRENGSTOFF.....	12
2.2.1 Sediment.....	12
2.2.2 Fisk.....	15
2.3 KONKLUSJONER.....	18
2.4 ANBEFALINGER	19
3 LITTERATUR.....	20
4 VEDLEGG	23
4.1 ANALYSERAPPORTER.....	23
4.1.1 Analyseresultater for hvitt fosfor i sediment og fisk fra Hengsvann 2009.	23
4.1.2 Analyseresultater for sprengstoff i sediment fra Hengsvann 2009.	30
4.1.3 Analyseresultater for sprengstoff i fisk fra Hengsvann 2009.....	32
1.1.1 Analyseresultater for metaller i sediment og fisk fra Hengsvann 2009.....	35
1.2 MULIGE TILFØRSELSVEIER AV HVITT FOSFOR TIL FISK I INNSJØ	42
1.3 LITT OM NOEN METALLER, MILJØGIFTER OG KOSTHOLDSRÅD FOR ULIKE STOFFER	43

Innledning

Forsvarets har frem til 2003 brukt artilleri- og bombekastergranater inneholdende hvitt fosfor (heretter forkortet WP). Forsvarsbygg har i perioden 2004 - 2009 gjennomført omfattende kartlegginger av WP i vann, sediment, jord og biologisk materiale i skyte- og øvingsfelt (forkortet SØF) i Troms og Finnmark fylker. Det er i tillegg gjennomført undersøkelser av sprengstoff og tungmetaller. Resultatene er rapportert i Rasmussen og Watn 2006, Nordal og Kraft 2007 og 2008, Strømseng m. fl. 2006, Sweco Grøner 2007, Dahl-Hansen og Hamnes 2008 og Dahl-Hansen og Hamnes 2009. Videre er det gjennomført en vurdering av miljørisiko ved bruk av WP i tre skytefelt i indre Troms (Strømseng et al 2006: Løvik og Rognerud 2007; Gjershaug m.fl. 2008).

I Hengsvann SØF er det i tillegg til vanlige sprenggranater blitt skutt betydelige mengder med WP granater både på snø, barmark og på fuktige områder i perioden før 2003 (Tabell 1). Totalt ble det i perioden 1993 – 2001 brukt 7,58 tonn WP (3. plass av skytefelt i Norge) på et begrenset areal. I 2003 innførte Forsvaret restriksjoner til hvordan hvitt fosfor granater kunne brukes, og det ble forbudt å bruke WP granater på snødekket mark, i myr og på våtmarksområder, i vann og i forbindelse med vannveier. Det er tidligere ikke vært gjennomført undersøkelser av mulig tilstedeværelse av WP i sediment og fisk i innsjøer og vann i skyte- og øvingsfeltet.

Tabell 1. Oversikt over mengde WP (i kg) som er brukt i Hengsvann SØF for perioden 1992 – 2002 (info fra notat fra Forsvarsstaben til SFT, september 2003).

1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	TOTALT
	111	110	829	2 252	2 661	1 250	141	83	143		7 580

Nedslagsområdet for granater i Hengsvann SØF, ligger i nær tilknytning til vassdrag, og det er en mulighet for at Hengsvann har blitt tilført sprengstoffrester og WP via overflateavrenning. I stillestående og roligflytende vann vil partikler av WP raskt sedimentere da WP er tyngre enn vann, og de vil derfor kunne finnes i bunnssubstratet i vannet. Det er frem til midten av 90- tallet i tillegg blitt dumpet ammunisjon i vannet i forbindelse med rydding av blindgjengerfeltet (P. Siem pers. medd.). Mange av disse sprengstoffrestene og WP kan ligge lagret i bunnsedimentene i mange år.

Forsvarsbygg ønsker å få en oversikt over forurensningssituasjonen i Hengsvannet. Akvaplan-niva har i 2009 på oppdrag av Forsvarsbygg, gjennomført undersøkelser av WP, sprengstoffrester og tungmetaller i fisk og sediment i Hengsvann i Hengsvann SØF. Resultatene fra undersøkelsene er presentert i foreliggende rapport.

Akvaplan-niva vil takke Forsvarsbygg Futura, Kompetansesenter Miljø, for godt samarbeid i forbindelse med undersøkelsene.

1 Materiale og metode

1.1 Litt om hvitt fosfor

WP (P₄) er ustabil og reagerer meget raskt med oksygen til ufarlige stoffer. Ved detonasjon av røykgranater vil det meste av WP raskt forbrennes til fosforpentoxid, og videre med vann i luften og danne fosforsyre (hvitaktig røyk). Noe WP vil forbli uforbrent (opp til 8 %) (Spangjord m.fl. 1985), og noe WP kan dermed bli liggende igjen i nedslagsfeltet.

WP er til en viss grad løselig i vann (oppgitt til 3 mg/l ved 15°C), og vil dermed kunne også kunne spres i løst form (EPA 1991, Bullock and Newslands 1969, Weast 1985). Forsvarsbygg har fått analysert 700 vannprøver fra bekker og elver i SØF, og det er kun funnet hvitt fosfor i en prøve (Rasmussen, pers med). Spredning av løst WP foregår nok derfor kun i liten grad. I vann vil løst WP ha en moderat binding til partikler i vannet (K_{OC} er oppgitt til 3,05). Dermed kan WP også spres med suspendert mineralsk og organisk finstoff i vannet.

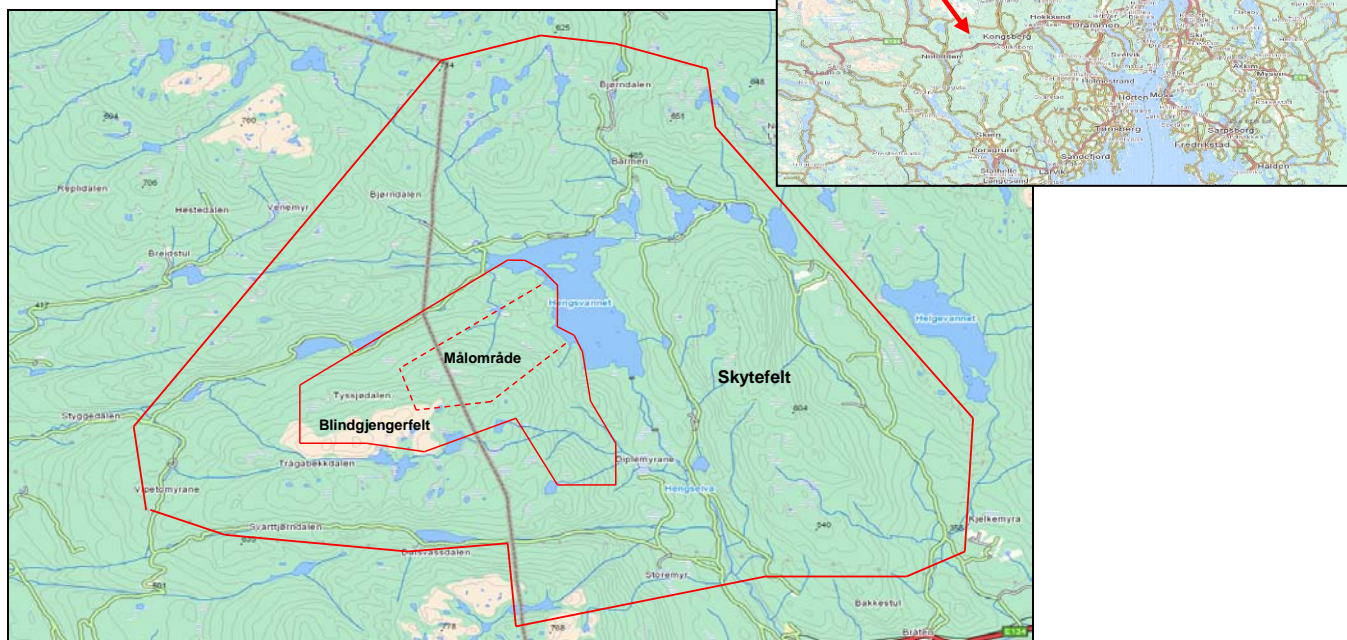
WP er tyngre enn vann, og i stillestående vann vil det derfor raskt sedimentere. I akvatisk miljø er nedbrytningstiden lang som følge av at det er lite oksygen til stede. Halveringstiden er avhengig av oksygenmengde, temperatur og strømningsforhold. Under forhold med svært lite oksygen eller anaerobe forhold (for eksempel nede i sedimenter i dypt, stillestående vann som dype skogstjern, med mye sedimentert organisk materiale) vil WP kunne ligge lagret i uforandret form over lang tid (flere ti-år). I stillestående oksygenfritt vann vil nedbrytningstida for en 1 mm partikkel kunne være mer enn 50-100 år (Søbye m. fl. 2004). I innsjøer og rennende vann som er godt oksygenert er WP ustabil over tid, og nedbrytningstida vil ligge mellom 1 – 10 år (Søbye m. fl. 2004). For eksempel vil halveringstiden for en partikkel WP på 1,8 gram i turbulent vann være ca 2,4 år (Spangjord m.fl. 1985)

Som følge av lang halveringstid i akvatisk miljø, vil WP kunne være tilgjengelig for akvatiske organismer (her fisk) i flere år etter at det er tilført vannsystemene (VKM 2006). Det er partikler på eller nær sedimentoverflaten i innsjøer og elver, samt drivende små partikler som vil utgjøre størst risiko for fisk, og muligheten for at fisk i berørte vann og elvesystemer i Halkavarre kan ha fått eller får i seg partikler av WP i forbindelse med fødeopptak er tilstede.

WP er svært giftig og kan være skadelig for dyr, fugl og fisk ved lave konsentrasjoner (1-10 mg/kg kroppsvekt). For mennesker kan inntak av 1 mg WP per kg kroppsvekt være dødelig, og 0,2 mg per kg kroppsvekt kan gi kraftige toksiske effekter (National Research Council 2000). Eksponeringsforsøk med fisk og løst fosfor i vann har vist at torsk og atlantehavslaks ved en konsentrasjon på 14,4 µg/l hadde 50 % dødelighet (LC₅₀ lik 14,4 µg/l) etter 48 timers eksponering. Ingen giftige effekter ble observert under 1 µg/l (Maddock and Taylor 1976). Akkumulering av WP i næringskjeden er teoretisk mulig, men på grunn av høy reaktivitet vil det i organismen raskt gå over til andre fosforforbindelser (VKM 2006). I fisk er halveringstiden fra 1-6 timer etter at de har fått stoffet i seg (VKM 2006). Dette betyr i praksis at WP ikke akkumuleres i næringskjeden, selv om det potensielt har mulighet for dette. For mer detaljert betraktning omkring dette, henvises til notat fra Engelstad og Rasmussen 2008 i Dahl-Hansen og Hamnes 2009.

For informasjon om **sprennstoff** og deres kjemiske og toksiske egenskaper, henvises det til Voie 2005.

1.2 Lokalitetsbeskrivelse



Figur 1. Kart over Hengsvann SØF med plassering i Telemark fylke. Grensene for skytefelt, blindgjengerfelt og målområde for granater er merket med røde linjer.

Hengsvann

Hengsvann (N59°39,3; E9°26,0) i Hengsvann SØF ligger 453 m over havet ca. 9 km vest for Kongsberg by. Terrenget rundt er dominert av gran- og lauvskog. Vannet er lett tilgjengelige for allmennheten og det er mye benyttet til rekreasjonsfiske både sommer og vinter.

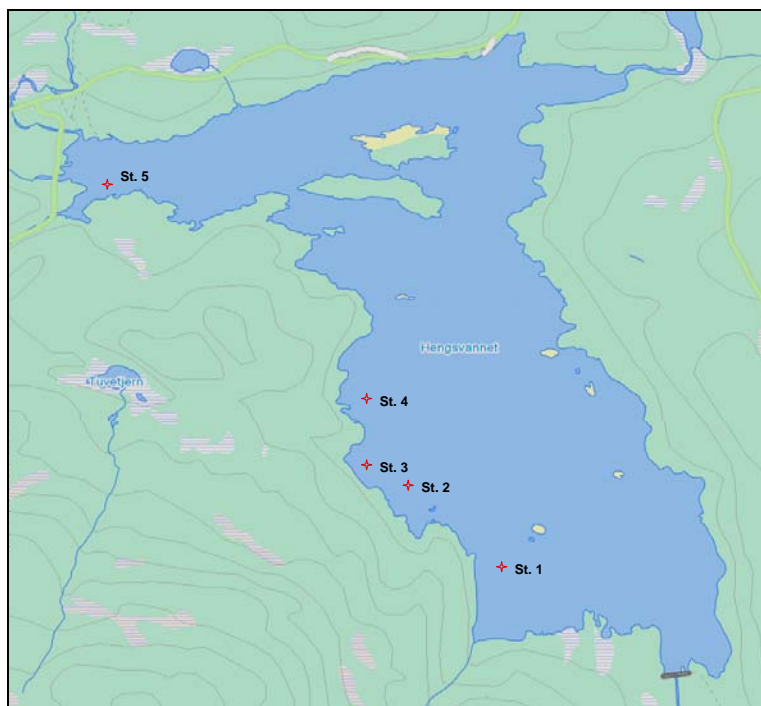
Hengsvann har et areal på ca. 0,95 km², vannet er middels dypt (<20 m, maksdyp er ukjent), men med flere grunne partier. Bunnen består av mudder på dyp større enn ca. 2 - 4 m. På grunne områder (<2 - 4 m) består bunnen delvis av stein og delvis av mudder med vannvegetasjon. Siktedypet er lavt (<3 - 5 m), og vannet er brunfarget, noe som indikerer mye tilsig av humus og annet organisk materiale. Vannet er klassifisert som humøst og kalkfattig. Hengsvann har bestander av abbor, ørret og sik. Abbor er dominerende art. Bestanden av ørret er god og økende (F. Gregersen pers. medd.), mens sikbestanden er liten.

Det er fram til 2003 skutt betydelige mengder med vanlige sprenggranater og granater med WP mot mål på land ved vannets vestre bredd (Figur 2). Det er tidligere også blitt skutt med vanlige sprenggranater mot holmene i nordre del av vannet, men disse har ikke vært benyttet som målområde i minimum de siste 20 år (J. Solhaug pers. medd.). I tillegg er det tidligere dumpet ammunisjon (sprengstoff) i vannet i forbindelse med rydding av blindgjengerfeltet (P. Siem pers. medd.).

Berggrunnen i nedslagsfeltet til Hengsvann består av middels til grovkornet gneisgranitt (kilde: <http://www.ngu.no/kart/bg250/>)

Tabell 2. Informasjon om prøvetakingsstasjonene for sediment i Hengsvann

Stasjon	GPS-posisjon	Dyp (m)	Kommentar
1	N59° 39,362 E9° 26,096	7,5 – 9	Dypere parti innenfor et grunt område. Gode sedimentasjonsforhold.
2	N59° 39,473 E9° 25,844	5 – 13	Område med raskt skrånende bunn ut fra land.
3	N59° 39,490 E9° 25,721	5 – 15	Område med raskt skrånende bunn ut fra land.
4	N59° 39,587 E9° 25,728	4 – 10,5	Område med moderatt skrånende bunn ut fra land.
5	N59° 39,860 E9° 25,728	2,5 – 4,5	Område med slakt skrånende bunn ned til ca 5 m.



Figur 2. Hengsvann. Prøvetakingsstasjonene for sediment er avmerket med røde kryss.



Figur 3. Hengsvann. Målområdet for granater ligger i lia i bakre av bildet. (Foto: Geir A. Dahl-Hansen)

1.3 Innsamling av fisk og sediment

Fisk og sediment ble samlet inn i Hengsvann 25 – 26. juni 2009. Ansvarlig for innsamlingene var Akvaplan-niva v/ seniorrådgiver Dr. scient Geir A. Dahl-Hansen i samarbeid med Forsvarsbygg Futura v/ seniorrådgiver Dr. scient Freddy Engelstad. En oversikt over innsamlingene og materialet er vist i Tabell 3.

Hengsvann ligger i nedslagsområdene for artilleri, og valg av prøvetakingsområder for sediment er basert på avrenningskart fra detonasjonsområder for granater (se Figur 1).

Fiskematerialet ble samlet inn om sommeren når beiteaktiviteten hos fisken normalt er stor og muligheten for å fange fisk med mat i magen er størst. På seinhøsten og i vintermånedene er næringsinntaket hos ferskvannsfisk vanligvis lavt på grunn av lave vanntemperaturer. Derfor er fisken ofte tom for mageinnhold i denne tiden på året. I september-oktober er også en stor andel av den voksne fisken av høstgytende arter (her ørret og sik) kjønnsmoden og i gang med gyting. Kjønnsmoden fisk tar normalt til seg lite eller ikke noe næring i perioden like før og under gyting, og sannsynligheten for å påvise WP i lever og mage/tarm i fisk fanget i denne perioden vil derfor være ekstra liten.

Til innsamlingen av fisk ble det benyttet bunn garn med lengde 25 m, dybde 1,5 m og maskevidder 24 - 29 mm. Garnene ble satt fra strandsonen og utover i vannet langs hele vannets vestre bredd mellom st. 1 og 5 (se Figur 2). Etter at garna var tatt opp ble fisken raskt tatt ut, pakket i aluminiumsfolie og frosset ned (singelfryst) for senere analyser av WP, sprengstoff med nedbrytningsprodukter og metaller. Tid fra garntrekking til nedfrysing av fisken var ca. 1,5 - 2 timer. Fisken ble sendt i frossen tilstand til laboratoriet. Det ble sendt et større antall fisk enn det som skulle til analyse. Dette ble gjort for å kunne velge ut de fiskene med mest mat i mage og tarm.

Innsamlingen av fisk i Hengsvann ble ikke gjort med tanke på registrering av arts-, størrelses- og alderssammensetning eller tetthetsberegninger.

Sediment ble tatt ved bruk av Ekman-grabb med areal 15 x 15 cm. Prøvestasjonene ble lagt til nærområder for granatnedslag, og der det ut fra terrengformasjonene var størst sannsynlighet for samlet avrenning fra nedslagsområder for granater. Prøvetakingspunktene ble lagt så nært land som mulig på varierende dyp (se Tabell 1) der sedimentet var egnet for prøvetaking. Dybdeforholdene på hver stasjon ble undersøkt med håndholdt ekkolodd for å finne best egnet områder for prøvetaking med grabb.

På hver stasjon ble det tatt sedimentprøver for analyse av metaller, sprengstoff og hvitt fosfor. Sedimentprøvene fra de enkelte stasjonene bestod av en blandprøve av sediment fra 10 grabbskudd tatt fra et mindre område rundt prøvetakingspunktet. Med en slik prøvetaking vil en på en bedre måte kunne eventuelt få samlet inn WP partikler som trolig vil være klumpet fordelt i sedimentene. Sedimentprøvene fra hver grabb ble tatt fra overflaten og ned til ca. 3 cm, og det ble tatt like mye sediment fra hver grabb til hver av de 3 analysene (halvparten til WP og halvparten til metaller/sprengstoff). På hver stasjon ble sedimentet fra de 10 enkelt-grabbprøvene blandet sammen og deretter frosset ned i rene glass- og plastbeger beregnet for formålet.



Tabell 3. Oversikt over innsamlet fiskematerialet og analyserer av fisk fra Hengsvann 2009.

Fisk sendt til lab.	Analyser WP	Analyser sprengstoff	Analyser metaller
Ørret, 20 stk.	Enkeltprøver av innvoller: 12 stk. Enkeltprøver av muskel (filet): 20 stk.	Enkeltprøver av innvoller: 4 stk.	Enkeltprøver av muskelfilet: 4 stk.
Sik, 8 stk.	Enkeltprøver av innvoller: 4 stk. Enkeltprøver av muskel (filet): 8 stk.	Enkeltprøver av innvoller: 4 stk.	Enkeltprøver av muskelfilet: 4 stk.
Abbor 32 stk.	Enkeltprøver av innvoller: 13 stk. Enkeltprøver av muskel (filet): 17 stk. Fire av prøvene består av materiale fra 2 fisk.	Enkeltprøver av innvoller: 4 stk.	Enkeltprøver av muskelfilet: 4 stk.

Tabell 4. Oversikt over sedimentmaterialet som er analysert for WP, sprengstoffrester og metaller i Hengsvann 2009.

Stasjon	WP	Metaller	Sprengstoff	Prøvetype
1	1	1	1	Samleprøver fra 10 grabber
2	1	1	1	Samleprøver fra 10 grabber
3	1	1	1	Samleprøver fra 10 grabber
4	1	1	1	Samleprøver fra 10 grabber
5	1	1	1	Samleprøver fra 10 grabber



Figur 4. Abbor, ørret og sik fra Hengsvann. (Foto: G. A. Dahl-Hansen)

Tabell 5. Eksplosiver og metaller som inngår i analysene av sediment og fisk fra Hengsvann 2009.

Eksplosiver

HMX (Oktahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazosin)

RDX (Heksahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin)

TNB (1,3,5-trinitrobensen)

DNB (1,3-dinitrobensen)

NG (Nitroglyserin)

Tetryl (Metyl-2,4,6-trinitrofenylnitramin)

TNT (2,4,6-trinitrotoluen)

2,6-DNT (2,6-dinitrotoluen)

2,4-DNT (2,4-dinitrotoluen)

2-ADNT (2-amino-4,6-dinitrotoluen)

4-ADNT (4-amino-2,6-dinitrotoluen)

PETN (Pentaerytritoltetranitrat)

Metaller

Kobber (Cu)

Sink (Zn)

Antimon (Sb)

Bly (Pb)

1.4 Analysemetoder

Ansvarlig for analysene av WP, sprengstoff i fisk og sediment har vært Forsvarets Forskningsinstitutt, avdeling Beskyttelse, på Kjeller. ALS Scandinavia har analysert metaller.

Analyse av hvitt fosfor i sediment

Hele prøvematerialet ekstraheres med karbondisulfid på ristebord. Etter ekstraksjon tørkes prøvematerialet for bestemmelse av tørrvekt av prøven. Hvitt fosfor i ekstraktet analyseres på en gasskromatograf med nitrogen/fosfor detektor og kvantifiseres ut fra en ekstern kalibreringskurve.

Analyse av hvitt fosfor i biologisk materiale

Ved analyse av fiskeinnvoller ekstraheres hele prøvematerialet med karbondisulfid på ristebord. For fiskefilet er det tatt ut prøve fra en side av fisken og skinnet er fjernet fra prøven. Prøvemateriale er så ekstrahert med karbondisulfid på ristebord. Ekstraktet er rensert og analysert på en gasskromatograf med nitrogen/fosfor detektor og kvantifiseres ut fra en ekstern kalibreringskurve. Deteksjonsgrensen for hvitt fosfor i sediment vil variere i forhold til hvor mye materiale som opparbeides for analyse. I foreliggende undersøkelse er grenseverdien ikke oppgitt, men den er lavere enn 1 µg/kg tørrvekt. Mengde fiskemateriale som opparbeides for analyse er ca. 40 – 50 gram våtvekt. Deteksjonsgrensen er 0,1 µg/kg våtvekt. Dette er 10 ganger lavere enn ved tidligere analyser.

Analyse av eksplosiver i sediment

Prøvene tørkes ved romtemperatur. Hele prøven siktes til < 2 mm, før den males i en mølle. 1 g veies deretter ut til ekstraksjon med acetonitril i mikrobølgeovn. Ekstraktet reduseres ved inndampning til 4 ml og filtreres igjennom et 0,45 µm filter. Prøven blir analysert med HPLC/MS med internstandard kalibrering. Alle forbindelsene unntatt, HMX, ADNT, tetryl og PETN bestemmes vha isotopmerkede internstandarder.

Metode for bestemmelse av eksplosiver i innvoller

Innvollene homogeniseres i en mikser og det veies ut 10 g til ekstraksjon. Prøven tilsettes natriumsulfat og ekstraheres med acetonitril i mikrobølgeovn. Ekstraktet renses før det reduseres ved inndampning til 2 ml og filtreres igjennom et 0,45 µm filter. Prøven blir analysert med HPLC/MS med internstandard kalibrering. Alle forbindelsene unntatt, HMX, ADNT, tetryl og PETN bestemmes vha isotopmerkede internstandarder.

2 Resultater og diskusjon

2.1 Hvitt fosfor

2.1.1 Sediment

Det ble påvist WP i alle de 5 sedimentprøvene fra Hengsvann. Resultatene viser lave til moderate konsentrasjoner (fra 0,1 – 850 µg/kg tørrvekt) (Tabell 4).

Tabell 6. Analyseresultater for WP i sediment i Hengsvann 2009.

Stasjon	WP, mg/kg tørrvekt
1	0,21
2	0,28
3	0,85
4	0,091
5	0,001

2.1.2 Fisk

Det ble funnet rester av WP i muskel (filet) hos 9 av 20 **ørret** og hos 3 av 17 **abbor** (Tabell 7, Vedlegg 4.1.1). Konsentrasjonene som ble registrert er svært lave og lå på eller like over deteksjonsgrensen (deteksjonsgrense: 0,1 µg/kg våtvekt). Det ble funnet WP på- og over deteksjonsgrensen i muskel fra 1 av 8 **sik**.

I mage/tarm prøvene av **ørret** ble det funnet WP over deteksjonsgrensen (0,1 µg/kg våtvekt) i 15 av i alt 16 fisk. 14 fisk hadde konsentrasjoner mellom 0,2 – 0,9 µg/kg våtvekt (0,0002 - 0,0009 mg/kg) (Vedlegg 4.1.1). I 1 ørret ble det funnet WP med høyere konsentrasjon (22 µg/kg våtvekt).

I mage/tarm prøvene av **abbor** ble det funnet WP over deteksjonsgrensen i 13 av 13 fisk. Med unntak av 1 fisk (konsentrasjon 8,3 µg/kg våtvekt) lå konsentrasjonene fra 0,3 – 3,5 µg/kg våtvekt.

Hos sik ble WP funnet i mage/tarm prøvene i 4 av 4 fisk med verdier fra 0,3 – 2,0 µg/kg våtvekt.

Tabell 7. Analyseresultater for WP i filet av ørret, abbor og sik fra Hengsvann 2009. Verdiene er gitt som µg/kg våtvekt.

Nr	Ørret	Abbor	Sik
1	< 0,1	< 0,1	0,3
2	< 0,1	0,2	< 0,1
3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
4	< 0,1	0,1	< 0,1
5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
6	< 0,1	< 0,1	< 0,1
7	< 0,1	< 0,1	< 0,1
8	< 0,1	< 0,1	< 0,1
9	< 0,1	< 0,1	
10	0,1	< 0,1	
11	0,3	< 0,1	
12	< 0,1	0,3	
13	0,8	< 0,1	
14	22	< 0,1	
15	0,2	< 0,1	
16	0,7	< 0,1	
17	0,3	< 0,1	
18	2,9		
19	< 0,1		
20	0,3		

I Hengsvann SØF er det historisk (fram til 2003) brukt mye WP granater (Tabell 1). Det meste av detonasjoner har forgått på land og i god avstand fra vannet. Hovednedslagsområdet har vært på nordøstsiden av Tyssjøfjellet (Figur 1). WP granater kan også ha detonert i vannet, i strandnære områder til Hengsvann eller i innløpsbekker som drenerer nedslagsområdet (se Figur 1). Det er derfor en viss mulighet for at partikler av WP kan ha blitt tilført vannet og at disse finnes spredt på og i overflatesedimentet. Det er dermed en mulighet at fisk vil kunne få disse i seg, noe resultatene tyder på. I tillegg tyder sedimentet i Hengsvann på høy tilførsel og sedimentering av organisk materiale. Høyt innhold og nedbrytning av organisk materiale i sedimentet kan gi oksygensvinn nedover i bunnslammet, noe som vil redusere nedbrytningen og øke lagringstiden av partikulært WP i sedimentet.

Resultatene fra 2009 viser at selv om det er mer enn 6 år siden bruken av WP granater ble brukt i området, finnes det fremdeles rester av WP i sedimentene (0 - 3 cm). Hengsvann er et vann med anslagsvis middels høy produksjon og som ligger i et område med bar- og lauvskog. Ut fra dette har Hengsvann trolig en sedimentasjonshastighet på >0,8 mm per år, noe som betyr at de 3 øverste cm representerer en tidsperiode på de siste 30 - 40 år (fra 1970 og frem til i dag).

I en FFI rapport (Søbye m.fl. 2004) gis det eksempler på hvordan WP kan spres, lagres og brytes ned i stillestående vann (tjern) og i rennende, samt hvilke mengder uforbrent WP som kan frigis etter detonasjon av granater på overflaten eller ved vann. WP partikler kan i en "worst case" situasjon (i stillestående og oksygenfritt vann) ha svært lang nedbrytningstid og dermed finnes i systemet i mange tiår fra spredningstidspunktet. Sedimentet i Hengsvann tyder på stabilt bunnvann med liten omrøring og turbulens i dypere partier. Dette betyr at vannlaget i og like over bunnsedimentet i perioder (spesielt ettervinter under is og sensommer) vil ha redusert oksygenmengde. Nedbrytningstiden for små partikler av WP vil derfor være lengre enn i områder med godt oksygenert vann (anslagsvis > 15 år). Det er derfor rimelig å anta at det fortsatt kan finnes WP lagret i sedimentene i Hengsvann, noe som også støttes av analyseresultatene (funnt av WP både i sedimenter og fisk).

Tilstedeværelse av WP i sedimentene fører til at også fisk vil kunne få dette i seg. Dette bekreftes ved at det ble funnet WP både i mage/tarm fra ørret, abbor og sik, samt i muskel fra ørret fra Hengsvann i 2009 og i innvoller i ørret og røye fra Halkavarre SØF både i 2008 og 2009 (Dahl-Hansen og Hamnes 2009). Fisken kan ha tatt opp WP direkte fra kolloider eller løst WP i vannfasen (evt. da via ny tilførsel fra kildeområder, men dette er lite sannsynlig), eller fisken kan ha kommet i kontakt med enkeltpartikler, i områder i resipienten der WP er sedimentert. Mest sannsynlig har fisken da fått i seg WP ved beiting på bunndyr som lever på eller i bunnslammet.

Verdien som ble målt i muskel (filet) fra fisk i Hengsvann er langt under det som er satt som faregrense ved konsum. Også verdiene i innvollsprøvene er under det som er satt som faregrense ved konsum dersom tilsvarende verdier hadde blitt målt i fiskekjøttet (VKM 2006) (se notat av Engelstad og Rasmussen 2008 i Dahl-Hansen og Hamnes 2009). WP brytes raskt ned i organismen hos dyr, fugl og fisk (VKM 2006). I fisk er halveringstiden beregnet til 1 - 6 timer, avhengig av bla. temperatur. Sannsynligheten for å kunne påvise WP i fiskekjøtt (muskel) vurderes derfor som generelt liten, dersom ikke WP finnes i store mengder i leveområdet. Basert på dette, samt annen litteratur om tilgjengelighet, og giftighet og omsetning av WP i levende organismer, vurderes de registrerte konsentrasjonene av WP i sediment og i fisk (mage/tarm) til ikke å gi nivåer i fiskemuskel som medfører fare med tanke på menneskelig konsum. Mengden WP som er registrert i fisk og sediment i Hengsvann, vurderes til ikke å utgjøre noen fare for mennesker som bruker vannet til rekreasjon, og som benytter fisk i kostholdet.

Med basis i resultatene og diskusjonen ovenfor kan det tyde på at det ligger en del WP lagret i sedimentet i Hengsvann og at fisk i vannet får dette seg. Det er en mulighet for at inntak av partikler av WP kan ha medført forgiftninger for enkeltindivider av fisk. Allikevel er det per dato lite som tyder på at tilstedeværelse av WP i vannet fører til rekrutteringssvikt i bestandene av fisk i vannet. Tettheten av abbor er høy, og ørretbestanden er god og har i de siste 10-15 år tatt seg betydelig opp (F. Gregersen pers. medd.). Undersøkelser i 2005 og 2006 av yngel og gytefisk av ørret på de tre bekkene som renner inn i vestre del av vannet, Tysjøbekken, Bjørndalsbekken og Vierbekken (nær stasjon 5, Figur 1 og 2), viser stor tetthet av ungfisk med flere årsklasser (F. Gregersen pers. medd.), samt mye gytefisk.

2.2 Metaller og sprengstoff

2.2.1 Sediment

Metaller

Sedimentene i foreliggende undersøkelse er tilstandsklassifisert (vist med fargekode) for de metaller som er klassifisert iht. SFT veiledning 97:04 (Tabell 8). Verdiene i undersøkelsen er også vurdert i forhold til verdier funnet i upåvirkede innsjøer i en landsomfattende undersøkelse av metaller i innsjøsedimenter fra perioden 2004 - 2006 (Christensen m. fl. 2008).

Tabell 8. Tungmetaller i sediment fra Hengsvann 2009. Tilstandsklassifisering (vist med fargekode) for de metaller som er klassifisert iht. SFT veiledning 97:04 (Tabell 9).

Element	Enhet	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St.5
Tørrstoff (L)	%	87,8	87,8	88	81,8	92,9
Kobber (Cu)	mg/kg TS	87	512	244	218	11,6
Sink (Zn)	mg/kg TS	207	540	292	316	82,1
Antimon (Sb)	mg/kg TS	2,06	2,35	2,62	2,4	0,738
Bly (Pb)	mg/kg TS	148	139	136	150	33,9
TOC	% TS	?				

Tabell 9. Tilstandsklasser for metaller i ferskavannssediment (SFT veiledning 97:04).

Element og enhet	Tilstandsklasser				
	I "Ubetydelig forurenset"	II "moderat forurenset"	III "Markert forurenset"	IV "Sterkt forurenset"	V "Meget sterkt forurenset"
Kobber (mg/kg TS)	< 30	30 – 150	150 – 600	600 – 1800	> 1800
Sink (mg/kg TS)	< 150	150 – 750	750 – 3000	3000 – 9000	> 9000
Bly (mg/kg TS)	< 50	50 – 250	250 – 1000	1000 – 3000	> 3000

Vurdering av resultatene for metaller i sediment

Nivåene av metaller i sedimentet i Hengsvann er for det meste lave (Tabell 7). Allikevel viser resultatene at for kobber og sink ligger konsentrasjonene noe over det som er funnet i andre innsjøer i samme region av Norge i den nasjonale innsjøundersøkelsen fra 2004 - 2006 (Rognerud m. fl. 2008). For alle metallene er det stasjon 5 som har de laveste konsentrasjonene (tilstandsklasse I). Dette er også den delen av det undersøkte område av Hengsvann som har minst avrenning fra nedslagsområdet for artilleri. Dette indikerer at de noe forhøyede verdiene på stasjonene 1 – 4 skyldes avrenning fra målområdet.

Konsentrasjonen av kobber (Cu) er forhøyet på St. 1 - 4 (tilstandsklasse II-III). Sammenlignet med resultatene fra den nasjonale innsjøundersøkelsen, ligger verdien vesentlig over det som ble funnet i overflatesediment fra andre innsjøer i samme region av Norge, der kobberkonsentrasjon lå i størrelsesorden <50 mg/kg tørrvekt (Rognerud m. fl. 2008). Det er tidligere benyttet TOW, og det ligger derfor en del styretråder inneholdende kobber, i vannet. I tillegg til avrenning fra nedlagsområdet på land, kan dette være en mulig kilde til økte kobberverdier i sedimentet.

Sink (Zn) konsentrasjonen i sedimentet tilsvarende tilstandsklasse II på St. 1 – 4. Verdiene lå i øvre del av skalaen sammenlignet med andre innsjøer i regionen, der typiske verdier ligger i størrelsesorden 100 – 200 mg/kg tørrvekt (Rognerud m. fl. 2008).

Bly (Pb) viste konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse I – II på de 5 stasjonene, og verdiene lå på omtrent samme nivå som det som er funnet i overflatesediment i andre innsjøer på østlandsområdet (Rognerud m. fl. 2008).

Sprengstoff

Bortsett fra HMX i 3 prøver (fra stasjon 3, 4 og 5), ble det ikke registrert sprengstoffrester eller nedbrytningsprodukter over deteksjonsgrensene i sediment fra Hengsvann (Tabell 10, Vedlegg 4.1.2). På stasjonene 3, 4 og 5 ble det funnet HMX med konsentrasjoner på henholdsvis 19,0, 0,7 og 3,2 mg/kg tørrstoff. Nivåene er moderate, og de konsentrasjonene som ble registrert vurderes til ikke å utgjøre noen fare for mennesker som bruker vannet til rekreasjon.

Eksploderer i sediment består i stor grad av partikler, og de har ofte svært heterogen fordeling. Forurensning av eksplosiver i sediment er i liten grad undersøkt i Norge, og det er ukjent i hvilken grad det faktisk vil være store variasjoner i konsentrasjon. Selv om de 5 prøvene som er analysert i foreliggende undersøkelse er blandprøver basert på 10 grabbskudd, er dette for få prøver til å kunne si noe om hvordan fordelingen av eksplosiver er i sedimentet i Hengsvann. Sannsynligvis er mesteparten av ammunisjonen skutt mot målområder på land, og eksplosiver kan transporteres ut i Hengsvann fra kilder på land. Eksplosiver kan også ha detonert på vannoverflaten og/eller i nærheten av vannkanten, og dette vil også kunne føre til at partikler av eksplosiver havner i vannet.

I militære øvings- og skytefelt i USA og Canada er rester av sprengstoff og relaterte stoffer vanlig forurensning i jord (Voie 2005), og RDX og HMX sammen med TNT (udetonert sprengstoff) er de stoffene en vanligvis finner. I disse landene ryddes det ikke for blindgjengere. I Norge fjernes blindgjengere årlig, noe som tilsier at forekomsten av sprengstoff kan være lavere i norske SØF. FFI har undersøkt forekomst av sprengstoff i noen norske SØF. Det er rester av TNT, RDX og HMX som dominerer, men det er også funnet nedbrytningsprodukter av TNT (2- og 4- ADNT). Det er mest sprengstoffrester i målområder for panservenvåpen og på demoleringsplasser, men det finnes også i målområder for artilleri, håndgranatbaner og flybombefelt (Johnsen et al 2008). RDX adsorberes i liten grad til sediment, og i tilfeller der det er påvist høye konsentrasjoner i sediment (400 - 12 000 mg/kg TS) er dette RDX i partikkelform (Spangord m.fl. 1983 i: Voie 2005).

Tabell 10. Sprengstoffrester i sediment fra Hengsvann 2009. Se også analyseresultater i Vedlegg 4.1.2. For mer informasjon om giftighet av sprengstoff, se Voie 2005.

Element	Enhet	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
HMX	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05	19	0,7	3,2
RDX	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
TNB	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
DNB	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
NG	mg/kg TS	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Tetryl	mg/kg TS	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
TNT	mg/kg TS	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
2,6-DNT	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2-ADNT	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
4-ADNT	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PETN	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

For utfyllende informasjon toksikologiske og kjemiske egenskaper til sprengstoff henvises det til Voie 2005 og 2008 (effekter av eksplosiver på vannlevende organismer der det er det satt opp normverdier for vann), samt Talmage m. fl. 1999, der det gis forslag til normverdi for sediment for RDX og HMX på hhv 1,3 og 0,5 mg/kg organisk karbon. Normverdi for beskyttelse av human helse er beregnet til 2 mg/kg for HMX i sediment av Voie og Storstenvik (2001). FFI har også beregnet tilstandsklasser for jord, der jordkvaliteten defineres som meget god for konsentrasjoner under 70 mg/kg (Voie m. fl., i trykk). HMX gav ikke effekt på mygglarver og amfipoder ved konsentrasjoner på 400 mg/kg HMX (Stevens m. fl. 2002 sitert i Voie 2005)

2.2.2 Fisk

Metaller

Nivåene av metaller i muskelvev fra fisk i Hengsvann (ørret, abbor, sik) er generelt lave (Tabell 11). Kobber (Cu) (0,15 - 0,54 mg/kg våtvekt) og sink (Zn) (<4,4 mg/kg våtvekt) viste konsentrasjoner innenfor det som kan regnes som normalverdier. Også konsentrasjonene av bly (Pb) var lave i all fisken, og verdiene lå under deteksjonsgrensen (<0,02 mg/kg våtvekt). Nivåene av metaller i fiskemuskel fra denne undersøkelsen er sammenlignbare med det som ble funnet i undersøkelser av metaller i fisk fra nordnorske innsjøer (Christensen m.fl. 2008, Skjelkvåle m.fl. 2009) og i fisk fra innsjøer i skytefelt i Troms (Dahl-Hansen og Christensen 2005).

Tabell 11. Metaller i fiskemuskel (filet) fra Hengsvann 2009. Det er analysert på enkeltfisk.

Element	Enhet	Sik	Sik	Sik	Sik
Cu	mg/kg	0,15	0,114	0,132	0,116
Pb	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zn	mg/kg	3,52	3,37	4,1	3,4
Sb	mg/kg	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002

Element	Enhet	Ørret	Ørret	Ørret	Ørret
Cu	mg/kg	0,538	0,263	0,184	0,229
Pb	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zn	mg/kg	4,13	3,48	4,44	3,5
Sb	mg/kg	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002

Element	Enhet	Abbor	Abbor	Abbor	Abbor
Cu	mg/kg	0,148	0,133	0,124	0,143
Pb	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zn	mg/kg	4,01	3,69	3,86	4,3
Sb	mg/kg	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002

Sprengstoff

Analyseresultatene fra innvoller viste en del detekterbare (men ikke kvantifiserbare) spor av eksplosiver. Det vil si at analysene ved HPLC/MS gir utslag som entydig viser at sprengstoffrester er tilstede i prøvematerialet, men at disse mengdene er så små at det vanskelig lar seg gjøre å oppgi eksakte konsentrasjoner. I 1 av 4 sik og 1 av 4 abbor ble det funnet RDX med konsentrasjoner på henholdsvis 1100 og 200 µg/kg våtvekt. Det ble i tillegg funnet HMX (89 µg/kg våtvekt) i innvoller fra 1 av 4 ørret. I de resterende innvollsprøvene ble det ikke funnet rester etter sprengstoff og nedbrytnings-produkter over deteksjonsgrensene (Vedlegg 4.1.3).

De tre fiskene der det ble registrert sprengstoffrester i innvoller, ble det også analysert for sprengstoff i muskel (filet). Resultatene viste funn av HMX fra ørret og abbor (henholdsvis 37 og 54 µg/kg), RDX i abbor (57 µg/kg) og TNT i ørret (16 µg/kg) (Vedlegg 4.1.3). I tillegg ble det også i filetprøvene funnet spor av 4A-DNT og 2A-DNT som er nedbrytningsprodukter av TNT.

Basert på disse resultatene er grunn til å tro at det finnes flere eksplosiver i sedimentene. Dette vil eventuelt kunne bekreftes eller avkreftes ved utvidet sedimentprøvetaking i områder med størst avrenning fra målområdet. Om de funn som er gjort av eksplosiver i fisk stammer fra partikler som fisken har fått i seg i forbindelse med fødeopptak, eller om det kan være et opptak som følge av at eksplosiver er løst i vannet, er vanskelig å si. En eventuell påvisning av eksplosiver i vannprøver kan kaste lys over dette.

Tabell 11. Sprengstoff og nedbrytningsprodukter i innvoller (mage/tarm) fra fisk fra Hengsvann 2009. Enhet: µg/kg

Art	HMX	RDX	TNB	DNB	NG	Tetryl	TNT	2,6-DNT	2,4-DNT	2-ADNT	4-ADNT	PETN
Sik	< 5	< 5	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Sik	< 5	< 5	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Sik	< 5	1100	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Sik	< 5	< 5	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ørret	< 5	< 5	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ørret	< 5	< 5	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ørret	< 5	< 5	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ørret	< 5	< 5	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Abbor	< 5	< 5	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Abbor	< 5	< 5	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Abbor	< 5	< 5	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Abbor	< 5	200	< 5	< 5	< 250	< 250	< 50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5

Tabell 12. Sprengstoff og nedbrytningsprodukter i fiskemuskel (filet) fra Hengsvann 2009. Enhet: µg/kg våtvekt.

Element	Muskel sik	Muskel ørret	Muskel abbor
HMX	<5	37	54
RDX	<5	<5	57
TNB	<5	<5	<5
DNB	<5	<5	<5
NG	<250	<250	<250
Tetryl	<250	<250	<250
TNT	<10	16	<10
2,6-DNT	<5	<5	<5
2,4-DNT	<5	<5	<5
2-ADNT	<5	<5	<5
4-ADNT	<5	<5	<5
PETN	<5	<5	<5

Det er ikke kjent i hvilken grad eksplosiver kan akkumuleres i fiskevev, men man har sett at eksplosiver metaboliseres og skilles ut relativt raskt i andre organismer. Eksplosivene vil kunne gi en toksisk effekt den tiden de oppholder seg i blodbanen. Det ble i innvollene hos 1 sik funnet en konsentrasjon av sprengstoffet RDX som antas å kunne være tilstrekkelig til å gi skader på fisk (Voie pers. medd., Voie 2008). I denne antagelsen er det tatt forbehold om at dette også blir tatt opp over tarmen, men det vet vi ikke noe om. Ved mer kronisk belastningen vil tålegrensene være lavere.

Konsentrasjonene som er funnet i muskel vil gi doser som er langt under grenseverdien for tolererbart daglig inntak for mennsker. Basert på måleresultatene fra foreliggende undersøkelse, vurderes derfor at det ikke innebærer fare for mennesker å benytte fisk fra Hengsvann til konsum. For å være sikker, anbefales det allikevel at et større prøvemateriale legges til grunn for vurderingen.

RDX brytes ned av mikroorganismer, og nedbrytningsproduktene kan virke aktivitetshemmende på disse organismene. Hos dyr tas RDX langsomt opp i tarmen og metaboliseres (brytes ned) i lever, men akkumuleres ikke i noe særskilt kroppsvev. På mennesker virker RDX primært på nervesystemet, men ulike former for lesjoner er også observert. Maksimalt tolererbart daglig inntak av RDX for å unngå kroniske effekter på mennesker er på 0,003 mg/kg kroppsvekt per dag (US EPA 2004 i: Voie 2005). For HMX er maksimalt tolererbart daglig inntak for mennesker 0,05 mg/kg kroppsvekt per dag (US EPA 2004). Dette betyr at en person med kroppsvekt 50 kg kan ha et daglig inntak på inntil 2,5 kg filet av abboren der det ble målt høyest verdi RDX (0,0057 mg/kg våtvekt (57 µg/kg)). Maksimalt tolererbart daglig inntak av TNT er 0,0005 mg/kg/dag = 0,5 µg/kg kroppsvekt/dag (US EPA 2004).

For organismer i vann er RDX moderat giftig. Derimot er nedbrytningsproduktene hydrazin (halveringstid i damvann ca. 8 dgr.) og dimetylhydrazin, giftige. For sedimentlevende organismer (som fjærmygglarver) er RDX ikke spesielt giftig. Det er i denne undersøkelsen ikke analysert på sprengstoff i vann. Fortynningen i vannmassene er etter all sannsynlighet så høy at eventuelle toksiske effekter på akvatiske organismer vil være minimale.

RDX er det eksplosivet som lettest transporteres i miljøet og funnene i fisk kan derfor skyldes avrenning fra målområdene rundt vannet. Det vil derfor være av interesse å undersøke bekker og elver som har tilløp til Hengsvann for innhold av eksplosiver. Forsvarsbygg har tatt prøver fra bekker som drenerer målområder for krumbanevåpen, og har kun funnet spor av sprengstoff i to bekker i hele landet (Forsvarsbygg/Sweco Norge 2009). Det ble ikke påvist sprengstoff i bekker i Hengsvann SØF, men det ble ikke tatt prøve av bekken som renner gjennom den mest sentrale delen av blindgjengerfeltet. Denne skal prøvetas og analyseres for sprengstoff i 2010 (G. Rasmussen pers. medd.). FFI har påvist noe sprengstoff i pytter og bekker i og nær enkelte målområder (Johnsen m. fl. 2008).

For utfyllende informasjon om toksisitet til sprengstoff henvises det til Voie 2005. For effekter av sprengstoff på vannlevende organismer henvises det til Voie 2008.

2.3 Konklusjoner

Hvitt fosfor

Det ble funnet av WP i alle de 5 sedimentprøvene fra Hengsvann, der 4 av prøvene lå over 0,2 µg/kg tørrvekt. Det er derfor rimelig å anta at det fortsatt ligger noe WP lagret i sedimentet i det området som ble undersøkt.

I fisk påviste analysene WP i mage/tarm hos 31 av 32 fisk. Med unntak av 1 ørret og 1 abbor, var konsentrasjonene < 3,5 µg/kg våtvekt. Disse konsentrasjonene er å betrakte som lave. Det ble også påvist WP i muskelprøver (filet) fra 12 av totalt 32 fisk, hovedsakelig ørret, med lave konsentrasjoner, nær deteksjonsgrensen.

Resultatene indikerer at fisk kan få WP i seg ved næringsinntak (bunndyr). Verdien som ble målt i filet er under det som er satt som faregrense ved konsum. Også verdiene i innvollsprøvene er under faregrensen.

Det konkluderes med at de registrerte konsentrasjonene av WP i sediment og i fisk ikke utgjør noen fare for mennesker som bruker de undersøkte vannene til rekreasjon og fisk til konsum.

Metaller

Nivåene av metaller i sedimentet i Hengsvann er for det meste lave og reflekterer bakgrunnsnivåer. For kobber og sink ligger konsentrasjonene noe over det som er funnet i andre innsjøer i regionen. Stasjon 1 – 4 som har størst avrenning fra målområdet, ligger en del høyere i konsentrasjoner enn stasjon 5 (lite avrenning), noe som indikerer at aktiviteten i skytefeltet medfører økte konsentrasjoner i innsjøsedimentet.

Nivåene av metaller i muskelvev fra fisk er generelt lave, og er sammenlignbare med det som er funnet i undersøkelser av fisk fra Nord-Norge og innenfor det som kan regnes som normalverdier. Konsentrasjonene av metaller som ble funnet i sediment og fisk utgjør ingen fare for mennesker som bruker vannet til rekreasjon og fisk til konsum.

Sprengstoff

Det ble registrert sprengstoffrester (RDX, HMX og TNT) i mage/tarm og muskel fra 3 av totalt 12 fisk. HMX ble registrert i 3 av 5 sedimentprøver (stasjon 3, 4 og 5). Dette kan komme fra avrenning eller fra udetonert ammunisjon som ligger i sedimentet. Basert på resultatene fra metallundersøkelsene kan det tyde på at avrenningen av forurensende stoffer er liten på stasjon 5. Funn av HMX på denne lokaliteten kan komme av ammunisjon i sedimentet.

Det konkluderes med at mengden sprengstoff registrert i sedimentet og i fisk i Hengsvann ikke utgjør noen fare for mennesker som bruker vannet til rekreasjon og fisk til konsum.

2.4 Anbefalinger

Hvitt fosfor og sprengstoff

Det ble funnet av WP i alle sedimentprøvene fra Hengsvann og sprengstoff i 3 av 5 prøver. Det er derfor rimelig å anta at det ligger rester av WP og sprengstoff lagret i sedimentet i de områdene som ble undersøkt, men resultatene tyder på lave konsentrasjoner. Hver samleprøve består av 10 grabbskudd fordelt over et ikke definert areal på hver stasjon. WP og sprengstoff er mest trolig klumpet fordelt i sedimentet. Det er derfor mulig at det er kun enkelte av de 10 grabbskuddene som faktisk inneholder forurensinger. For å få en bedre oversikt over konsentrasjoner og horisontal fordeling i sedimentet, kan det være en idé å foreta en mer systematisk kartlegging på en stasjon, og helst et område med størst sannsynlighet for avrenning fra målområdet. Prøvene bør da fordeles i et rutenett over et bestemt areal og analyseres enkeltvis. Allikevel anses den praktiske nytteverdien av en slik kartlegging som liten.

WP ble analysert i et forholdsvis stort antall fisk. Det ble påvist WP med lave konsentrasjoner i innvoller hos så å si all fisk, samt i muskelpøver fra ca. 1/3 av materialet (under det som er satt som faregrense ved konsum). Materialet som er analysert anses som representativt, og nytteverdien av analyser på flere fisk anses som liten.

Sprengstoffrester ble funnet i innvoller og muskel fra ca 1/3 av materialet. Med tanke på å gi bedre dokumentasjon for eventuelle kostholdsråd, samt ha et bedre grunnlag for å forsikre brukere av vannet om at det anses som ufarlig å nytte fisk til konsum, ville det være fornuftig å gjennomføre noen flere analyser av sprengstoffrester på enkeltfisk, primært ørret og abbor. Det er da viktig at fisk i størrelsesgrupper som vanligvis brukes til konsum, samt individer med mest mulig mat i magen, plukkes ut til analyser. Det vil være nyttig å foreta analyser av innvoller og filet fra samme individ. Selv om fisk vandrer i innsjøen, vil det være en fordel om fisken fanges i nærområdet til stasjonen der det eventuelt samles inn sediment.

Med tanke på mulige negative effekter på bestandene av fisk i Hengsvann, er det ikke noe som indikerer at bestandsrekrutteringen er påvirket av WP og sprengstoffrester. Det anbefales derfor ingen videre undersøkelser for eventuelt å påvise slike mulige effekter, da disse vil være svært vanskelig å påvise.

Metaller

Nivåene av metaller i sediment og fisk i Hengsvann er for det meste lave og reflekterer bakgrunnsnivåer, bortsett fra for kobber som viser noe forhøyede verdier. Resultatene tilsier at det ikke er grunn til å foreta utvidede undersøkelser av nivåer i fisk og sediment.

3 Litteratur

- Bullock, E. and M. J. Newslands 1969.** Decomposition of phosphorus in water. Proceedings of the Chemical Institute of Canada Conference on Pollution, Halifax, NS, August 24-26, pp 23-24.
- Dahl-Hansen, G. A. og G. N. Christensen 2005.** Fiskeribiologiske undersøkelser i militære øvingsfelt i Troms, 2004. Akvaplan-niva rapport APN-510.3130.
- Dahl-Hansen, G. A. og A. Hamnes 2008.** Kartlegging av hvitt fosfor i fisk i militære øvings- og skytefelt i Troms 2007. Akvaplan-niva rapport APN-3744-01.
- Dahl-Hansen, G. A. 2009.** Kartlegging av hvitt fosfor i fisk i militære skyte- og øvingsfelt i Troms 2008. APN rapport 4328-01
- Dahl-Hansen, G. A. 2009.** Kartlegging av hvitt fosfor, sprengstoff og metaller i fisk og sediment i Porsangmoen/Halkvarre skyte- og øvingsfelt, Finnmark 2008 og 2009. APN rapport 4328-02
- Christensen, G. N., A. Evenset, S. Rognerud, B. L. Skjelkvåle, R. Palerud, RE. Fjeld og O. Røyset 2008.** Nasjonal innsjøundersøkelse 2004 – 2006, DEL III: AMAP. Status for metaller og miljøgifter i innsjøer og fisk i den norske del av AMAP region. TA-nummer 2363-2008.
- Engelstad, F. og G. Rasmussen 2008.** Begrunnelse for hvilke undersøkelser som er iverksatt, utdyping av virkningen av hvitt fosfor i organismer (og eventuelt i fiskekjøtt til menneskelig konsum (hypotetisk)). I: Dahl-Hansen, G. A. P. og A. Hamnes 2008. Kartlegging av hvitt fosfor i fisk i militære øvings- og skytefelt i Troms 2007. APN Rapport: 3744 – 01.
- Environmental Protection Agency.** EPA 500/8-891072. NTIS PB91-161026/AS.
- EPA.** 1991. White phosphorus: Health advisory. Washington, DC: Office of Drinking Water, U.S.
- Forsvarsstaben 2003.** Oversikt over Forsvarets bruk av hvitt fosfor granater i perioden 1992 – 2002. Notat sendt til SFT.
- Forsvarsbygg/Sweco Norge 2009.** Kartlegging av vannkvalitet ved Forsvarsbyggs skyte- og øvingsfelt. Sluttrapport. Program Grunnforurensning. 2006-2008.
- Gjershaug, J. O., G. Rusch, F. Hanssen og L. Døsen 2008.** Biotilgjengelighet av hvitt fosfor i skytefeltene i Midt-Troms. NINA rapport 381. 39 s.
- Johnsen, A., T.E. Karsrud, H.K. Rosslund, A. Larsen, A. Myran og K. Longva. 2008.** Forurensninger av eksplosiver i Forsvarets skyte- og øvingsfelt – forundersøkelse av ulike baner med vekt på prøvetakingsmetoder. FFI rapport 2008/00535
- Løvik, J. E og S. Rognerud 2007.** Vurdering av miljørisiko ved Forsvarets bruk av hvitt fosfor i skytefelt i Troms – ny, revidert utgave. NIVA rapport LNR 5493-2007.
- Maddock, B. G and D. Taylor 1976.** The acute toxicity and dissolved elemental phosphorus to cod (*Gadus morhua*), Water Research 10, 289-294
- National Research Council 2000.** Toxicity of Military Smokes and Obscurants, Volume 2, The National Academy Press, Washington DC, 18-44.
- Nordal, O. og P. Kraft 2007.** Kartlegging av hvitt fosfor i jord og vann i forsvarets skytefelt, Troms. Asplan Viak rapport 13.04.2007.

- Nordal, O. og P. Kraft 2008.** Kartlegging av hvitt fosfor i sedimenter i forswarets skytefelt, Troms. Asplan Viak rapport. Oppdragsnummer 500179/150.
- Rasmussen, G og Å. S. Watn 2006** (revideres). Kartlegging av hvitt fosfor i skytefeltene i Troms. Forsvarbygg rapport 2006. Forsvarbygg, Divisjon Rådgivning, Kompetansesenter Miljø- og kulturminnevern. Rapport, arkivnummer 200400883, oppdragsnummer 2185079.
- Rognerud, S., E. Fjeld, B. L. Skjelkvåle, G. Christensen og O. K. Røyset 2008.** Nasjonal innsjøundersøkelse 2004 – 2006, del 2: Sedimenter. Forurensing av metaller, PAH og PCB. SFT-rapport TA-2362/2008. ISBN-82-577-5284-2
- Skjelkvåle, B. L., G. N. Christensen, M. Mjelde, T. Bækken, S. Rognerud, G. Dahl-Hansen, Ø.A. Garmo and T. Smith 2009.** StatoilHydros miljøovervåkingsprogram for Snøhvit. Overvåking av vann- og sedimentkjemi, vannvegetasjon, bunndyr og fisk - 2008, NIVA rapport in press.
- Spanggord, R. J., R. Rewick, T. S. Chou, R. Wilson, R. T. Podoll, R. Parnas, R. Platz and D. Roberts 1985.** Environmental fate of white phosphorus/felt an red phosphorus/butyl rubber military screening smokes. US Army Medical Research and Development Command, Fort Detrick, Frederick, Maryland.
- Strømseng, A., E. Johnsen, Ø. A. Voie og K. S. Longva 2006.** Risikovurdering av forswarets bruk av hvitt fosfor i Troms. FFI rapport 2006/02989.
- Søbye, E., A. Johnsen, K. S. Longva, A. Strømseng, M. Ljønes og A. Oddan 2004.** Spredning av hvitt fosfor ved detonasjon av røykgranater med hvitt fosfor. Sluttrapport. FFI rapport 2004/00177.
- Sweco Grøner/Forsvarsbygg, 2007.** Avrenning fra Forswarets skyte- og øvingsfelt. Overvåking av vannforurensning. Program Grunnforurensning 2006-2007.
- Talmage, S. S., D. M. Opresko, C. J. Maxwell, C. J. E. Welsh, F. M. Cretella, P. H. Reno and F. P. Daniel 1999.** Nitroaromatic munition compounds: environmental effects and screening values. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 161: 1-156.
- VKM, Vitenskapskomiteen for mattrygghet, 2006.** Opinion of the Head Committe of the Norwegian Scientific Committee for food safety. Risk assessment of white phosphorus. 13. september 2006. 23 s. (www.vkm.no)
- Voie, Ø. A. 2005.** Toksikologiske og kjemiske egenskaper av sprengstoff og komponenter I ammunisjon. Forswarets forskningsinstitutt. FFI-rapport-2005/00444.
- Voie, Ø. A. 2008.** Effekter av eksplosiver på vannlevende organismer. Forswarets forskningsinstitutt. FFI-rapport-2008/00451.
- Voie Ø. og A. Stortenvik 2001.** Risikovurdering av sjøforurensninger.. FFI rapport 2001/04130.
- Voie Ø., A. Strømseng, A. Johnsen, H. Rossland, T Karsrud og K. Longva 2010.** Veileder for risikovurdering, opprydning og avhending av skytebaner og øvingsfelt (i trykk).
- Weast, R.C. (ed.) 1985.** CRC handbook of chemistry and physics, 66th ed., Boca Raton, FL: CRC Press, B-100; B-122 to B-123.

Personlig meddelelse

Finn Gregersen; Forsvarsbygg Futura Miljø

Øivind Voie; Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI)

Per Siem; Skytefeltkoordinator, Forsvarsbygg Utleie

Jan Solhaug; Skytebaneforvalter, Hengsvann SØF

Grete Rasmussen; Forsvarsbygg Futura Miljø

4 Vedlegg

4.1 Analyserapporter

4.1.1 Analyseresultater for hvitt fosfor i sediment og fisk fra Hengsvann 2009.



FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Avdelig Beskyttelse

Dato: 24 august 2009

Analyserapport M09/002

Side 2 av 3

Analyserapportmal versjon 2.6 15.05.98 LHB

ANALYSE AV HVITT FOSFOR I SEDIMENT OG BIOTA

Instrument: Gasskromatograf, Autosystem, Perkin Elmer med NPD til analyse av hvitt fosfor

Operatør: Arnt Johnsen

<i>FFI nr</i>	<i>Prøveidentifikasjon</i>
09-307	Sedimentprøve Hengsvann St. 1
09-308	Sedimentprøve Hengsvann St. 2
09-309	Sedimentprøve Hengsvann St. 3
09-310	Sedimentprøve Hengsvann St. 4
09-311	Sedimentprøve Hengsvann St. 5
09-312-1	Innvoller fra en sik fanget i Hengsvann
09-312-2	Innvoller fra en sik fanget i Hengsvann
09-312-3	Innvoller fra en sik fanget i Hengsvann
09-312-4	Innvoller fra en sik fanget i Hengsvann
09-313-1	Innvoller fra en ørret fanget i Hengsvann
09-313-2	Innvoller fra en ørret fanget i Hengsvann
09-313-3	Innvoller fra en ørret fanget i Hengsvann
09-313-4	Innvoller fra en ørret fanget i Hengsvann
09-314-1	Innvoller fra en abbor fanget i Hengsvann
09-314-2	Innvoller fra en abbor fanget i Hengsvann
09-314-3	Innvoller fra to abborer fanget i Hengsvann
09-314-4	Innvoller fra to abborer fanget i Hengsvann



<i>FFI nr</i>	<i>Hvitt fosfor</i>
09-307	210 µg/kg tørrvekt
09-308	280 µg/kg tørrvekt
09-309	850 µg/kg tørrvekt
09-310	91 µg/kg tørrvekt
09-311	0,1 µg/kg tørrvekt
09-312-1	2,0 µg/kg våtvekt
09-312-2	0,5 µg/kg våtvekt
09-312-3	0,4 µg/kg våtvekt
09-312-4	0,3 µg/kg våtvekt
09-313-1	0,3 µg/kg våtvekt
09-313-2	0,4 µg/kg våtvekt
09-313-3	0,9 µg/kg våtvekt
09-313-4	0,3 µg/kg våtvekt
09-314-1	2,7 µg/kg våtvekt
09-314-2	0,3 µg/kg våtvekt
09-314-3	2,3 µg/kg våtvekt
09-314-4	3,2 µg/kg våtvekt



ANALYSE AV HVITT FOSFOR I SEDIMENT OG BIOTA

Instrument: Gasskromatograf, Autosystem, Perkin Elmer med NPD til analyse av hvitt fosfor
Operator: Arnt Johnsen

<i>FFI nr</i>	<i>Prøveidentifikasjon</i>
09-312-13	Fiskefilet fra en sik fanget i Hengsvann
09-312-14	Fiskefilet fra en sik fanget i Hengsvann
09-312-15	Fiskefilet fra en sik fanget i Hengsvann
09-312-16	Fiskefilet fra en sik fanget i Hengsvann
09-313-13	Fiskefilet fra en ørret fanget i Hengsvann
09-313-14	Fiskefilet fra en ørret fanget i Hengsvann
09-313-15	Fiskefilet fra en ørret fanget i Hengsvann
09-313-16	Fiskefilet fra en ørret fanget i Hengsvann
09-314-13	Fiskefilet fra en abbor fanget i Hengsvann
09-314-14	Fiskefilet fra en abbor fanget i Hengsvann
09-314-15	Fiskefilet fra to abborer fanget i Hengsvann
09-314-16	Fiskefilet fra to abborer fanget i Hengsvann

<i>FFI nr</i>	<i>Hvitt fosfor</i>
09-312-13	0,3 µg/kg våtvekt
09-312-14	< 0,1 µg/kg våtvekt
09-312-15	< 0,1 µg/kg våtvekt
09-312-16	< 0,1 µg/kg våtvekt
09-313-13	< 0,1 µg/kg våtvekt
09-313-14	< 0,1 µg/kg våtvekt
09-313-15	0,1 µg/kg våtvekt
09-313-16	< 0,1 µg/kg våtvekt
09-314-13	< 0,1 µg/kg våtvekt
09-314-14	0,2 µg/kg våtvekt
09-314-15	< 0,1 µg/kg våtvekt
09-314-16	0,1 µg/kg våtvekt



ANALYSE AV HVITT FOSFOR I BIOTA

Instrument: Gasskromatograf, Autosystem, Perkin Elmer med NPD til analyse av hvitt fosfor
Operatør: Arnt Johnsen

<i>FFI nr</i>	<i>Prøveidentifikasjon</i>
09-312-5	Fiskefilet av sik, Hengsvann
09-312-6	Fiskefilet av sik, Hengsvann
09-312-7	Fiskefilet av sik, Hengsvann
09-312-8	Fiskefilet av sik, Hengsvann
09-313-5	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-6	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-7	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-8	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-17	Innvoller fra ørret, Hengsvann
09-313-18	Innvoller fra ørret, Hengsvann
09-313-19	Innvoller fra ørret, Hengsvann
09-313-20	Innvoller fra ørret, Hengsvann
09-313-21	Innvoller fra ørret, Hengsvann
09-313-22	Innvoller fra ørret, Hengsvann
03-313-23	Innvoller fra ørret, Hengsvann
09-313-24	Innvoller fra ørret, Hengsvann
09-313-25	Innvoller fra ørret, Hengsvann
09-313-26	Innvoller fra ørret, Hengsvann
09-313-27	Innvoller fra ørret, Hengsvann
09-313-28	Innvoller fra ørret, Hengsvann
09-313-29	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-30	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-31	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-32	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-33	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-34	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-35	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-36	Fiskefilet av ørret, Hengsvann



<i>FFI nr</i>	<i>Prøveidentifikasjon</i>
09-313-37	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-38	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-39	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-313-40	Fiskefilet av ørret, Hengsvann
09-314-5	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-6	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-7	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-8	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-17	Innvoller fra abbor, Hengsvann
09-314-18	Innvoller fra abbor, Hengsvann
09-314-19	Innvoller fra abbor, Hengsvann
09-314-20	Innvoller fra abbor, Hengsvann
09-314-21	Innvoller fra abbor, Hengsvann
09-314-22	Innvoller fra abbor, Hengsvann
09-314-23	Innvoller fra abbor, Hengsvann
09-314-24	Innvoller fra abbor, Hengsvann
09-314-25	Innvoller fra abbor, Hengsvann
09-314-26	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-27	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-28	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-29	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-30	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-31	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-32	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-33	Fiskefilet av abbor, Hengsvann
09-314-34	Fiskefilet av abbor, Hengsvann



<i>FFI nr</i>	<i>Hvitt fosfor, µg/kg våt prøve</i>
09-312-5	< 0,1
09-312-6	< 0,1
09-312-7	< 0,1
09-312-8	< 0,1
09-313-5	< 0,1
09-313-6	0,1
09-313-7	0,3
09-313-8	< 0,1
09-313-17	0,8
09-313-18	22
09-313-19	0,2
09-313-20	0,7
09-313-21	0,3
09-313-22	2,9
03-313-23	< 0,1
09-313-24	0,3
09-313-25	0,6
09-313-26	0,5
09-313-27	0,7
09-313-28	0,7
09-313-29	0,1
09-313-30	0,3
09-313-31	< 0,1
09-313-32	0,1
09-313-33	< 0,1
09-313-34	< 0,1
09-313-35	< 0,1
09-313-36	< 0,1
09-313-37	0,2
09-313-38	0,2
09-313-39	0,2
09-313-40	0,1



<i>FFI nr</i>	<i>Hvitt fosfor, µg/kg våt prøve</i>
09-314-5	< 0,1
09-314-6	< 0,1
09-314-7	< 0,1
09-314-8	< 0,1
09-314-17	1,6
09-314-18	0,8
09-314-19	1,9
09-314-20	3,5
09-314-21	1,4
09-314-22	2,4
09-314-23	2,4
09-314-24	8,3
09-314-25	2,2
09-314-26	< 0,1
09-314-27	< 0,1
09-314-28	< 0,1
09-314-29	0,3
09-314-30	< 0,1
09-314-31	< 0,1
09-314-32	< 0,1
09-314-33	< 0,1
09-314-34	< 0,1

4.1.2 Analyseresultater for sprengstoff i sediment fra Hengsvann 2009.



Forsvarets forskningsinstitutt
Avdeling Beskyttelse

Dato: 23.10.2009

Analyserapport M09/010

Side 2 av 3

ANALYSE AV EKSPLOSIVER OG NEDBRYTNINGSPRODUKTER I SEDIMENT FRA HENGSVANN

Instrument: LC-MS, single quadropole, simultan ESI/APCI i neg mode, Agilent Technologies.
Operator: Helle K Rossland/Marthe P Parmer

<i>FFI-nr</i>	<i>Prøveidentifikasjon</i>
09-302	Sediment fra stasjon 1, Hengsvann skytefelt
09-303	Sediment fra stasjon 2, Hengsvann skytefelt
09-304	Sediment fra stasjon 3, Hengsvann skytefelt
09-305	Sediment fra stasjon 4, Hengsvann skytefelt
09-306	Sediment fra stasjon 5, Hengsvann skytefelt

<i>Akronym</i>	<i>Forklaring</i>
HMX	Oktahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazosin
RDX	Heksahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin
TNB	1,3,5-trinitrobensen
DNB	1,3-dinitrobensen
NG	Nitroglyserin
Tetryl	Metyl-2,4,6-trinitrofenylnitramin
TNT	2,4,6-trinitrotoluen
2,6-DNT	2,6-dinitrotoluen
2,4-DNT	2,4-dinitrotoluen
2-ADNT	2-amino-4,6-dinitrotoluen
4-ADNT	4-amino-2,6-dinitrotoluen
PETN	Pentaerytritol tetranitrat



<i>FFI-nr</i>	<i>HMX</i>	<i>RDX</i>	<i>TNB</i>	<i>DNB</i>	<i>NG</i>	<i>Tetryl</i>	<i>TNT</i>	<i>2,6-DNT</i>	<i>2,4-DNT</i>	<i>2-ADNT</i>	<i>4-ADNT</i>	<i>PETN</i>
	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>
09-302	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<2,5	<2,5	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
09-303	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<2,5	<2,5	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
09-304	19	<0,05	<0,05	<0,05	<2,5	<2,5	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
09-305	0,7	<0,05	<0,05	<0,05	<2,5	<2,5	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
09-306	3,2	<0,05	<0,05	<0,05	<2,5	<2,5	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

4.1.3 Analyseresultater for sprengstoff i fisk fra Hengsvann 2009.



Forsvarets forskningsinstitutt
Avdelig Beskyttelse

Dato: 3.11.2009

Analyserapport M09/013

Side 2 av 3

ANALYSE AV EKSPLOSIVER OG NEDBRYTNINGSPRODUKTER I FISK FRA HENGSVANN

Instrument: LC-MS, single quadropole, simultan ESI/APCI i neg mode, Agilent Technologies.
Operator: Helle K Rossland/Marthe P Parmer

<i>FFI-nr</i>	<i>Prøveidentifikasjon</i>
09-312-09	Innvoller fra sik, Hengsvann skytefelt
09-312-10	Innvoller fra sik, Hengsvann skytefelt
09-312-11	Innvoller fra sik, Hengsvann skytefelt
09-312-12	Innvoller fra sik, Hengsvann skytefelt
09-313-09	Innvoller fra ørret, Hengsvann skytefelt
09-313-10	Innvoller fra ørret, Hengsvann skytefelt
09-313-11	Innvoller fra ørret, Hengsvann skytefelt
09-313-12	Innvoller fra ørret, Hengsvann skytefelt
09-314-09	Innvoller fra abbor, Hengsvann skytefelt
09-314-10	Innvoller fra abbor, Hengsvann skytefelt
09-314-11	Innvoller fra abbor, Hengsvann skytefelt
09-314-12	Innvoller fra abbor, Hengsvann skytefelt

<i>Akronym</i>	<i>Forklaring</i>
HMX	Oktahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazosin
RDX	Heksaahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin
TNB	1,3,5-trinitrobensen
DNB	1,3-dinitrobensen
NG	Nitroglyserin
Tetryl	Metyl-2,4,6-trinitrofenylnitramin
TNT	2,4,6-trinitrotoluen
2,6-DNT	2,6-dinitrotoluen
2,4-DNT	2,4-dinitrotoluen
2-ADNT	2-amino-4,6-dinitrotoluen
4-ADNT	4-amino-2,6-dinitrotoluen
PETN	Pentaerytritoltetranitrat

Analyse av eksplosiver og nedbrytningsprodukter



<i>FFI-nr</i>	<i>HMX</i>	<i>RDX</i>	<i>TNB</i>	<i>DNB</i>	<i>NG</i>	<i>Tetryl</i>	<i>TNT</i>	<i>2,6-DNT</i>	<i>2,4-DNT</i>	<i>2-ADNT</i>	<i>4-ADNT</i>	<i>PETN</i>
	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>
09-312-09	<5	<5	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5
09-312-10	<5	<5	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5
09-312-11	<5	1100	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5
09-312-12	<5	<5	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5
09-313-09	<5	<5	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5
09-313-10	<5	<5	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5
09-313-11	<5	<5	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5
09-313-12	<5	<5	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5
09-314-09	<5	<5	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5
09-314-10	<5	<5	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5
09-314-11	<5	<5	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5
09-314-12	<5	200	<5	<5	<250	<250	<50	<5	<5	<5	<5	<5



ANALYSE AV EKSPLOSIVER OG NEDBRYTNINGSPRODUKTER I FISK FRA HENGSVANN

Instrument: LC-MS, single quadropole, simultan ESI/APCI i neg mode, Agilent Technologies.
Operator: Helle K Rosslund/Marthe P Parmer

FFI-nr	Prøveidentifikasjon
09-312-11	Filet fra sik, Hengsvann skytefelt
09-313-09	Filet fra ørret, Hengsvann skytefelt
09-314-12	Filet fra abbor, Hengsvann skytefelt

Akronym	Forklaring
HMX	Oktahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazosin
RDX	Heksahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin
TNB	1,3,5-trinitrobenzen
DNB	1,3-dinitrobenzen
NG	Nitroglyserin
Tetryl	Metyl-2,4,6-trinitrofenylnitramin
TNT	2,4,6-trinitrotoluen
2,6-DNT	2,6-dinitrotoluen
2,4-DNT	2,4-dinitrotoluen
2-ADNT	2-amino-4,6-dinitrotoluen
4-ADNT	4-amino-2,6-dinitrotoluen
PETN	Pentaerytritoltetranitrat

FFI-nr	HMX	RDX	TNB	DNB	NG	Tetryl	TNT	2,6-DNT	2,4-DNT	2-ADNT	4-ADNT	PETN
	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
09-312-11	<5	<5	<5	<5	<250	<250	<10	<5	<5	<5	<5	<5
09-313-09	37	<5	<5	<5	<250	<250	16	<5	<5	<5	<5	<5
09-314-12	54	57	<5	<5	<250	<250	<10	<5	<5	<5	<5	<5

Analyse av eksplosiver og nedbrytningsprodukter

1.1.1 Analyseresultater for metaller i sediment og fisk fra Hengsvann 2009.

Rapport

N0905182

Page 1 (3)

1EL9PUYANMK

Prosjekt
Bestnr
Registrert **2009-08-21**
Utstedt **2009-08-27**

Forsvarets forskningsinstitutt
Arnt Johnsen

Postboks 25
2027 Kjeller
Norge

63807115

Analyse av faststoff

Deres prøvenavn	09-302 Sediment				
Labnummer	N00076542				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Tørrstoff (L)	87.8		%	1	V
Cu	87.0	13.7	mg/kg TS	1	E
Pb	148	24	mg/kg TS	1	E
Zn	207	38	mg/kg TS	1	E
Sb*	2.06		mg/kg TS	1	S

Deres prøvenavn	09-303 Sediment				
Labnummer	N00076543				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Tørrstoff (L)	87.8		%	1	V
Cu	512	81	mg/kg TS	1	E
Pb	139	23	mg/kg TS	1	E
Zn	540	98	mg/kg TS	1	E
Sb*	2.35		mg/kg TS	1	S

Deres prøvenavn	09-304 Sediment				
Labnummer	N00076544				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Tørrstoff (L)	88.0		%	1	V
Cu	244	38	mg/kg TS	1	E
Pb	136	22	mg/kg TS	1	E
Zn	292	53	mg/kg TS	1	E
Sb*	2.62		mg/kg TS	1	S

Deres prøvenavn	09-305 Sediment				
Labnummer	N00076545				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Tørrstoff (L)	81.8		%	1	V
Cu	218	34	mg/kg TS	1	E
Pb	150	25	mg/kg TS	1	E
Zn	316	57	mg/kg TS	1	E
Sb*	2.40		mg/kg TS	1	S

ALS Scandinavia NUF
PB 643 Skøyen
N-0214 Oslo
Norway

Web: www.alsglobal.no
E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00
Fax: + 47 22 52 51 77

Kopi

Morten Sandell
Kjemiker

Rapport

N0905182

Page 2 (3)

1EL9PUYANMK

Deres prøvenavn	09-306 Sediment				
Labnummer	N00076546				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Tørrstoff (L)	92.9		%	1	V
Cu	11.6	1.8	mg/kg TS	1	E
Pb	33.9	5.6	mg/kg TS	1	E
Zn	82.1	14.9	mg/kg TS	1	E
Sb*	0.738		mg/kg TS	1	S

ALS Scandinavia NUF
PB 643 Skøyen
N-0214 Oslo
Norway

Web: www.alsglobal.no
E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00
Fax: + 47 22 52 51 77

Kopi
Morten Sandell
Kjemiker

Rapport

N0905182

Page 3 (3)

1EL9PUYANMK

* etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.

Metodespesifikasjon	
1	Analyse av tungmetaller (M-1C)
Metode:	EPA metoder 200.7 og 200.8 (modifisert)
Forbehandling:	Sikting 2 mm.
Oppslutning jordprøver:	HNO ₃ og 0,5 ml H ₂ O ₂ i mikrobølgeovn.
Oppslutning slam- og sedimentprøver:	HNO ₃ /vann (1:1) i mikrobølgeovn.

Underleverandør ¹	
E	ICP-AES
Ansvarlig laboratorium:	ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Sverige
Akkreditering:	SWEDAC, registreringsnr. 1087
S	ICP-SFMS
Ansvarlig laboratorium:	ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Sverige
Akkreditering:	SWEDAC, registreringsnr. 1087
V	Våtkemi

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensintervall på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.

Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

¹ Utførende teknisk enhet (innen ALS Scandinavia) eller laboratorium (underleverandør).

Rapport

N0905183

Page 1 (4)

1F6PR4PO3DI

Prosjekt
Bestnr
Registrert **2009-08-24**
Utstedt **2009-09-03**

Forsvarets forskningsinstitutt
Arnt Johnsen

Postboks 25
2027 Kjeller
Norge

63807115

Analyse av næringsmiddel

Deres prøvenavn	09-312-5 Fiskefilet				
Labnummer	N00076547				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.150	0.049	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	3.52	0.74	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

Deres prøvenavn	09-312-6 Fiskefilet				
Labnummer	N00076548				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.114	0.043	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	3.37	0.71	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

Deres prøvenavn	09-312-7 Fiskefilet				
Labnummer	N00076549				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.132	0.042	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	4.10	0.84	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

Deres prøvenavn	09-312-8 Fiskefilet				
Labnummer	N00076550				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.116	0.043	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	3.40	0.72	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

ALS Scandinavia NUF
PB 643 Skøyen
N-0214 Oslo
Norway

Web: www.alsglobal.no
E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00
Fax: + 47 22 52 51 77

Kopi

Dorthe Madsen
Kjemiker

Rapport

N0905183

Page 2 (4)

1F6PR4PO3DI

Deres prøvenavn	09-313-5 Fiskefilet				
Labnummer	N00076551				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.538	0.105	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	4.13	0.84	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

Deres prøvenavn	09-313-6 Fiskefilet				
Labnummer	N00076552				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.263	0.061	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	3.48	0.72	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

Deres prøvenavn	09-313-7 Fiskefilet				
Labnummer	N00076553				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.184	0.050	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	4.44	0.90	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

Deres prøvenavn	09-313-8 Fiskefilet				
Labnummer	N00076554				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.229	0.053	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	3.50	0.72	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

Deres prøvenavn	09-314-5 Fiskefilet				
Labnummer	N00076555				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.148	0.045	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	4.01	0.82	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

ALS Scandinavia NUF
PB 643 Skøyen
N-0214 Oslo
Norway

Web: www.alsglobal.no
E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00
Fax: + 47 22 52 51 77

Kopi
Dorthe Madsen
Kjemiker

Rapport

N0905183

Page 3 (4)

1F6PR4PO3DI

Deres prøvenavn	09-314-6 Fiskefilet				
Labnummer	N00076556				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.133	0.039	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	3.69	0.75	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

Deres prøvenavn	09-314-7 Fiskefilet				
Labnummer	N00076557				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.124	0.042	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	3.86	0.79	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

Deres prøvenavn	09-314-8 Fiskefilet				
Labnummer	N00076558				
Analyse	Resultater	Usikkerhet (\pm)	Enhet	Metode	Utført
Cu	0.143	0.045	mg/kg	1	H
Pb	<0.02		mg/kg	1	H
Zn	4.30	0.88	mg/kg	1	H
Sb*	<0.002		mg/kg	1	S

ALS Scandinavia NUF
PB 643 Skøyen
N-0214 Oslo
Norway

Web: www.alsglobal.no
E-post: info.on@alsglobal.com
Tel: + 47 22 13 18 00
Fax: + 47 22 52 51 77

Kopi
Dorthe Madsen
Kjemiker

Rapport

N0905183

Page 4 (4)

1F6PR4PO3DI

* etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.

Metodespesifikasjon	
1	Analyse av blåskjellpakke-uorganisk (M-4)
Metode:	EPA metoder 200.7 og 200.8 (modifisert) Tørrstoffbestemmelse er utført ved 105 °C etter svensk standard SS 028113. Analyseprøven er tørket ved 50 °C og elementinnholdet er TS-korrigert.
Oppslutning:	Salpetersyre og H ₂ O ₂ i mikrobølgeovn.

Underleverandør ¹	
H	ICP-SFMS
Ansvarlig laboratorium:	ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Sverige
Akkreditering:	SWEDAC, registreringsnr. 1087
S	ICP-SFMS
Ansvarlig laboratorium:	ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Sverige
Akkreditering:	SWEDAC, registreringsnr. 1087

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensintervall på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.

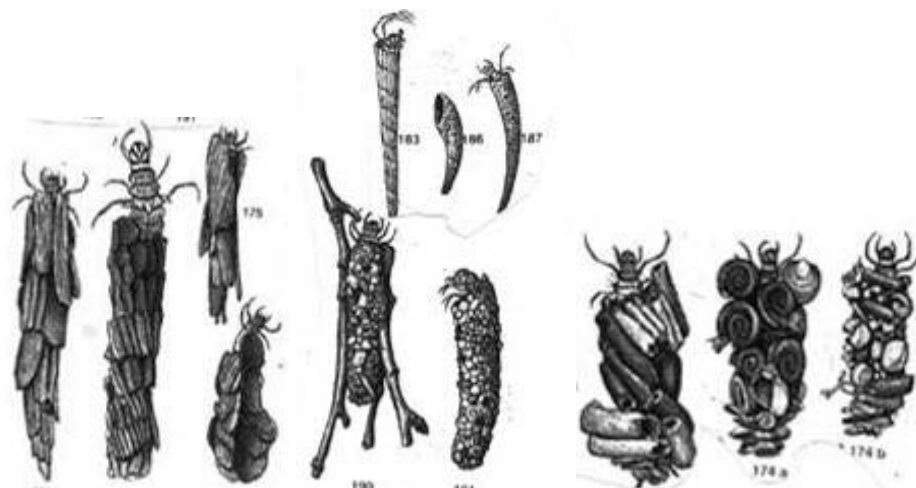
Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.alsglobal.no

¹ Utførende teknisk enhet (innen ALS Scandinavia) eller laboratorium (underleverandør).

1.2 Mulige tilførselsveier av hvitt fosfor til fisk i innsjø

Funn av WP i innvoller fra fisk, og i sediment, indikerer at det kan finnes partikler av WP i sedimentene i vannet, og at fisk kan få dette i seg. Eneste sansynlige måte fisken kan få fosforpartikler i seg er via næringsøk og beiting på bunndyr. Ofte følger uorganiske partikler og organisk materiale (små planterester) med når fisk beiter på bunnlevende næringsdyr (for eksempel insektslarver, små krepsdyr, bløtdyr etc.) som har sitt levested på og i bunnsedimenter i innsjøer og elver. For å få tak i disse næringsdyrene må fisk ofte rote i sedimentet, og partikler som virvles opp kan da følge med når byttet fanges og svelges. Det er derfor en viss sannsynlighet for at mindre fraksjoner av uforbrent WP kan komme inn i fisk ved fødeopptak.

Noen insektslarver (primært husbyggende vårfluelarver) bruker uorganiske materiale (ofte små sand og gruspartikler) og små planterester til bygging av hus som fungerer som beskyttelse og kamuflasje og som larvene bærer med seg (Figur 12). Vårfluelarver er viktige næringsdyr for fisken hele året, og de finnes i både stille vann og i elver. Det er derfor også en mulighet for at partikler av WP har blitt brukt som byggemateriale og inkorporert i slike hus, og at fisken ved predasjon på disse insektslarvene kan ha fått WP i seg.



Figur 12. Eksempler på husbyggende vårfluelarver.

Uforbrente WP som kan ha blitt tilført vannet vil mest sannsynlig ha vært i form av mindre klumper og flak (>0 – noen få millimeter). De små partiklene vil rask sedimentere og bli liggende på eller i bunnsedimentet. Fisk i vann (ørret og røye) vil for en stor del basere sitt fødeinntak på bunnlevende insektslarver, krepsdyr og bløtdyr (snegl, muslinger). Ved beiting på disse må fisken ofte rote i bunnsedimentene for å få tak i byttet. En mulig tilførselsveg for WP fra sediment til fisk er via husbyggende vårfluelarver (som kan ha inkorporert WP i husene sine) som er viktige byttedyr for ørret og røye i stillestående vann. I mange tilfeller ser en også at fisk får i seg uorganiske og organiske partikler som rotes opp fra bunnen og spises sammen med byttedyret under næringsøk.

1.3 Litt om noen metaller, miljøgifter og kostholdsråd for ulike stoffer

Metaller finnes naturlig i naturen i berggrunn, jord, planter og dyr. Metaller opptrer som ioner i vann, i salter eller som mineraler i berg, jord og sand. De kan også binde seg til organisk og uorganiske molekyler eller feste seg til partikler. En rekke metaller er viktige mikro-næringsstoffer, men i noen former kan enkelte metaller være giftige, selv i små mengder. Både naturlige og menneskeskapt prosesser er kilder til metaller i luft og vann, f. eks. gruvedrift, metallforedling, fossilt brennstoff, og de spres til naturen via produkter dumpet på avfallsplasser, via røyk og avgasser osv. Av de viktigste tungmetallene som kan være giftige i mengder som bare ligger moderat over naturlig bakgrunnsnivå er kvikksølv, bly og kadmium.

Kvikksølv (Hg) opptrer i rein form og i organiske og uorganiske forbindelser. Mye er bundet i sedimenter og organiske stoffer og er derfor ikke tilgjengelig for organismer. Mikroorganismer kan omdanne rent kvikksølv til metyl-kvikksølv som er fettløselig, som lagres i dyr og derfor anrikes oppover i næringskjeden. Kvikksølv er en nervegift som kan forårsake en rekke fysiologiske forstyrrelser hos dyr og fugl. Hos fisk inkluderer dette bla. nedsatt luktesans, skade på gjeller og endringer i innvollenes evne til å ta opp næringsstoffer fra mat. Kilder til naturen er bla. fossilt brensel, spesielt kull og søppelforbrenning, industri, termometre, lysstoffrør, batterier.

Kadmium (Cd) kan tas direkte opp fra vann og metallet er giftig for de fleste organismer. Det er moderat giftig for virvelløse dyr i vann og forårsake redusert vekst og overlevelse hos larver. I fisk kan det føre til ionisk ubalanse og forstyrre kadmium-stoffskiftet. Hos høyerestående dyr lagres det i lever og nyre, og ved spesielt høyt inntak kan kadmium ødelegge nyrer og endre stoffskiftet ad vit. D og kalsium.

Bly (Pb) blir lett absorbert i sedimenter og jord og er derfor stort sett utilgjengelig for planter og dyr. Mange uorganiske blysalter er ikke vannløselige og felles derfor ut i sedimentet. Opptaket i akvatiske miljø er bestemt av bla. temperatur, saltholdighet, surhet, mengde organiske stoffer osv. Bly lagres primært i lever, nyre, milt og i skjelettet og kan bla. skade nervesystemet og produksjonen av røde blodlegemer. I fisk lagres bly hovedsaklig i gjeller, lever, nyrer og i bein, og metallet kan bla. skade ryggrad og redusere overlevelse av yngel. Viktige kilder til naturen er bensin, industri, gruvedrift, søppelforbrenning og ammunisjon. (Info: Forurensing i Arktis: Tilstandsrapport om det arktiske miljøet)