Suomen ympäristökeskuksen moniste

143

Olli Malve, Simo Salo, Jouni Lehtoranta ja Matti Verta

Sedimenttiselvitys Kymppivoima Oy:n Elimäen voimalaitoshankkeen ympäristövaikutusten arviointiin liittyen

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS

143

Olli Malve, Simo Salo, Jouni Lehtoranta ja Matti Verta

Sedimenttiselvitys Kymppivoima Oy:n Elimäen voimalaitoshankkeen ympäristövaikutusten arviointiin liittyen

Helsinki 1999
SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS

Pohjakartat © Maanmittauslaitos
lupanro 7/MML/15

ISBN 952-11-0426-0
ISSN 1455-0792

Painopaikka: Oy Edita Ab
Helsinki 1999

Tutkimusraportti
Suomen ympäristökeskus
Ympäristövaikutusyksikkö

SEDIMENTTISELVITYS KYMPPIVOIMA OY:N ELIMÄEN VOIMALAITOSHANKKEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTIIN LIITTYEN

SISÄLLYS:

1. JOHDANTO 3
2. TUTKIMUSMENETELMÄT 3
2.1 Sedimenttinäytteenotto 3
2.2 Sedimenttinäytteiden fysikaaliset ja kemialliset analyysit 4
2.2.1 Kuiva-ainepitoisuuden ja hehkutushäviön määritys 4
2.2.2 Elohopean määritys 4
2.2.3 Polyklooridibentso-*p*-dioksiinien (PCDD) ja polyklooridibentsofuraanien (PCDF) määritys 5
2.3 Uomapoikkileikkauksen virtausnopeusjakauman mittaus 5
2.4 Joen virtauksen ja kiintoainekulkeuman 1D-mallintaminen 5
3. TULOKSET 6
3.1 Sedimentin laatu jäähdytysvesiputkien kohdalla 6
3.2 Sedimentin elohopean ja PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuudet jäähdytysvesiputkien kohdalla 8
3.3 Virtausnopeusjakauma jäähdytysvesiputkien kohdalla 10
3.4 Kiintoaine- ja PCDD/DF-pitoisuuksien nousu ruoppauksen vaikutuksesta sekä kulkeutuminen ja laskeutuminen alajuoksulla 12
4. TULOSTEN TARKASTELU 21
4.1 Mallinnettu kiintoaineen ja PCDD/DF-yhdisteiden kulkeutuminen 21
4.1.1 Minimivirtaustilanne 22
4.1.2 Maksimivirtaustilanne 22
4.2 Ruopattavan pohja-aineksen käsittelymahdollisuudet 22
5. YHTEENVETO 23
KIRJALLISUUSVIITTEET 25
LIITTEET 26
Liite 1. Kartta Kymijoen mallinnetulta alueelta 26
Liite 2. Pohjanprofiili vedenottoputken kohdalta 27
Liite 3. Kovan pohjan syvyys ja pehmeän sedimentin paksuus jäähdytysveden ottoputken kohdalta 28
Liite 4. Pohjanprofiili vedenpurkuputken kohdalta 29
Liite 5. Kovanpohjan syvyys ja pehmeän sedimentin paksuus jäähdytysveden purkuputken kohdalta 30
Liite 6. Sedimenttinäytteiden oton kenttäkuvaukset 31

1. JOHDANTO

Kymppivoima Oy suunnittelee Elimäelle kaasukombivoimalaitosta, jonka jäähdytysvesiputket perustuksineen ruopataan Kymijoen uomaan. Putkia on kaksi, otto- ja purkuputki. Energia-Ekono Oy (Outi Myatt-Hirvonen) on toimittanut SYKE:lle tiedot jäähdytysputkien rakenteista ja sijainnista sekä ruopattavista massoista. SYKE tutki elohopean sekä polyklooridibentso-*p*-dioksiinien (PCDD) ja polyklooridibentsofuraanien (PCDF) pitoisuudet rakennuspaikan jokisedimentissä. Lisäksi SYKE arvioi jäähdytysvesiputkien ruoppauksesta aiheutuvan kiintoaineen ja haitallisten aineiden kulkeuman alapuolisessa vesistössä arvioidussa maksimaalisessa kuormitustilanteessa.

Selvitys sisälsi myös arvion joesta mahdollisesti ruopattavan pohja-aineksen sijoitusmahdollisuuksista.

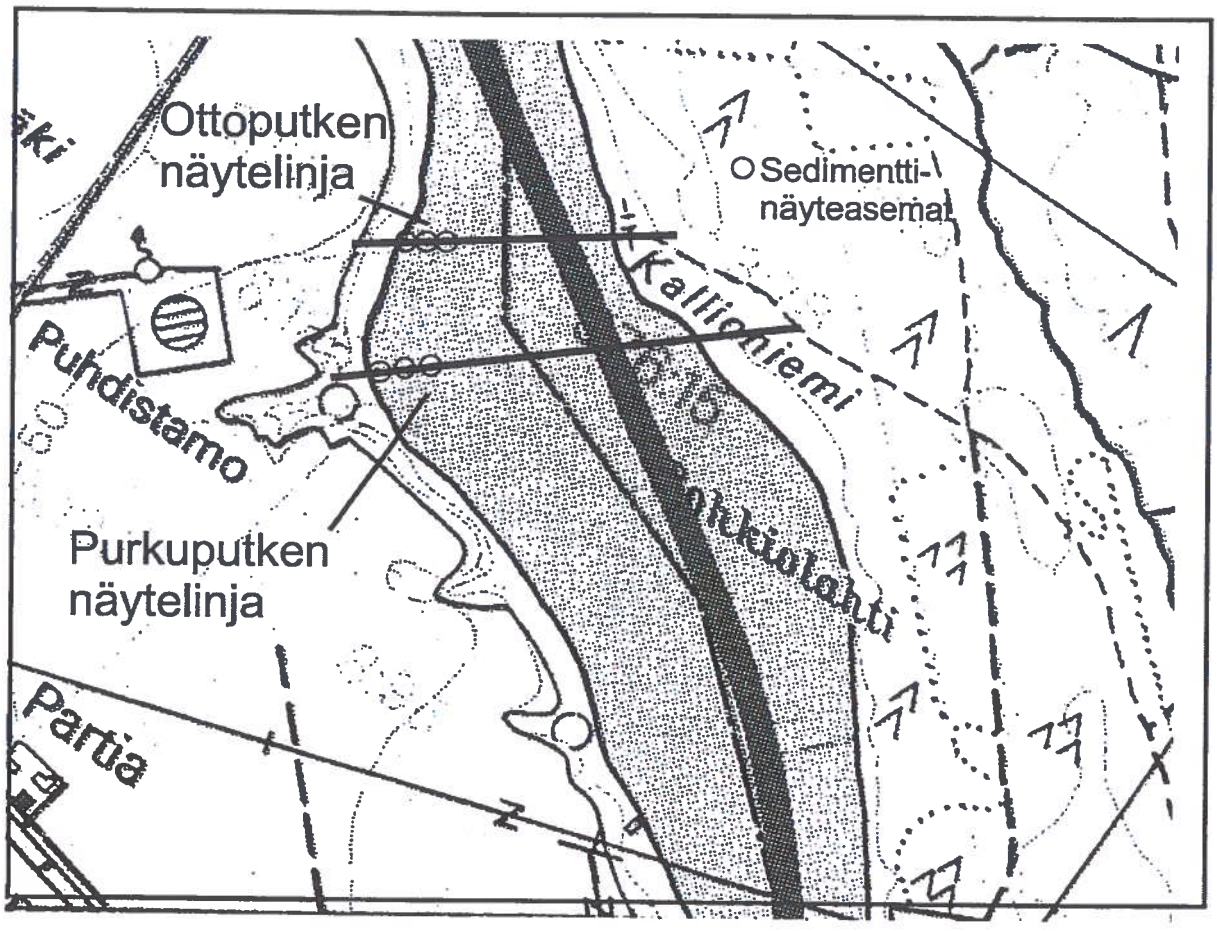
Selvitys ei sisältänyt arviota laitoksen käytön aikaisista mahdollisista vaikutuksista sedimenttien kulkeutumiseen.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT

2.1 Sedimenttinäytteenotto

Sedimenttinäytteet otettiin 24.8.1998 ja täydentävät näytteet 3.9.1998. Näytteet otettiin venäläisellä, ruostumattomasta teräksestä valmistetulla suokairalla (halkaisija Ø 50 mm ja näytteen pituus ottimessa 500 mm) mittaamalla ensin paikan vesisyvyys ja ottamalla tämän jälkeen näytteet 50 cm jaotuksella niin syvälle kuin näytteitä saatiin. Jäähdytysveden sisäänottoputken ja purkuputken kohdalta ruopattavalta alueelta valittiin joen poikkileikkauksen suuntaisesti linjassa jokirannasta joen suuntaan kolme havaintoasemaa kummastakin, joiden välimatka toisiinsa vaihteli 10 - 15 m:n välillä (kuva 1). Asemat merkittiin poijuilla myöhempää näytteenottoa ja paikannusta varten. Ottoputken asemat nimettiin OTTO1-OTTO3 ja purkuputken asemat PURKU1-PURKU3. Lisäksi ruopattavien alueiden pohjan laatua kartoitettiin ottamalla koenäytteitä painovoimakairalla. Havaintoasemien koordinaatit otettiin toisella näytteenottokerralla DGPS-paikannusjärjestelmällä, jonka paikannusvirheeksi ilmoitetaan 2 - 4 m.

Ottoputken kohdalta eri asemien resentistä eli vasta sedimentoituneesta aineksesta (lähinnä saviliejusta) otetut näytteet yhdistettiin kokoomanäytteeksi (OTTO 1-2). Vastaavasti yhdistettiin purkuputken kohdalla olevien asemien resentistä sedimentistä otetut näytteet omaksi kokoomanäytteekseen (PURKU 1-2). Kummassakin kokoomanäytteessä oli mukana jonkin verran vanhaa savikerrosta. Kummankin putken kohdalta syvemmästä ja todennäköisesti vanhasta savikerroksesta otetut näytteet yhdistettiin omaksi kokoomanäytteekseen (OTTO 1 + PURKU 1). Myös otto- ja purkuputken kohdan hiekkakerrokset yhdistettiin erilliseksi kokoomanäytteeksi (OTTO 2 + PURKU 2). Kokoomanäytteet tehtiin keräämällä osanäytteet sankoon, jossa ne homogenisoitiin mekaanisesti sekoittamalla. Näistä homogenisoiduista näytteistä, jotka kuvaavat otto- ja purkuputken kohdan sedimentin keskimääräisiä pitoisuuksia, otettiin osanäytteet etanolilla pestyihin lasipurkkeihin kuiva-aine-, hehkutushäviö-, Hg- sekä polyklooridibentso-*p*-dioksiinien ja polyklooridibentsofuraanien (PCDD/DF) määrityksiä varten.



Kuva 1. Näytepiste- ja virtausmittauslinjat

2.2 Sedimenttinäytteiden fysikaaliset ja kemialliset analyysit

2.2.1 Kuiva-ainepitoisuuden ja hehkutushäviön määritys

Osanäytteistä analysoitiin kuiva-aine- (KA), hehkutushäviö ja elohopeapitoisuus Keski-Pohjanmaan ympäristökeskuksen laboratoriossa (Kokkola). Kuiva-ainepitoisuus mitattiin punnitsemalla ensin näytteen märkäpaino ja kylmäkuivaamalla näytteitä alipaineessa vähintään - 40°C:een lämpötilassa yli 24 h:a, jonka jälkeen näyte punnittiin uudelleen. Kuivatut näytteet seulottiin 2 mm seulalla mittauksiin menevän aineksen hiukkaskokojakeen selvittämiseksi. Hehkutushäviö ja Hg-pitoisuus on siis määritetty < 2 mm jakeesta. Hehkutushäviö analysoitiin SFS 3008-standardin (1990) mukaan. Kuiva-ainepitoisuus ilmoitetaan prosentteina näytteestä (%), hehkutushäviö prosentteina kuiva-aineesta (% KA).

2.2.2 Elohopean määritys

Elohopea määritettiin SFS 5229-standardin mukaisesti. Leco AMA-254-elohopea-analysaattori on atomiabsorptioon perustuva mittalaite. Kuivattua näytettä (seulottu 2 mm seulalla) analyysissä tarvitaan 100 - 300 mg ja se poltetaan n. 650°C-asteen lämmössä hapen avulla. Syntyneet palokaasut ja elohopea johdetaan hapen avulla katalysaattorin läpi. Elohopeahöyry kulkee ensin pitkän ja sitten lyhyen mittauskyvetin läpi. Mittauksen aikana elohopea-atomit

virittyvät ja absorboivat 253,7 nm valoa. Tämän absorption määrä on suoraan verrannollinen näytteen elohopeapitoisuuteen. Laite käyttää automaattisesti joko pitkää (0 - 40 ng) tai lyhyttä kyvettiä (yläraja 600 ng) ja laskee tuloksen annetun näytemäärän mukaan suoraan ppm:inä tai mg kg^{-1}:ssa.

2.2.3 Polyklooridibentso-*p*-dioksiinien (PCDD) ja polyklooridibentsofuraanien (PCDF) määritys

Näytteet analysoitiin Kansanterveyslaitoksen Ympäristöterveysosaston kemian laboratoriossa Kuopiossa. Määritettävät yhdisteet uutettiin kuivatusta sedimenttinäytteestä Soxhlet-laitteistolla tolueeniin. Liuotin vaihdettiin tolueenista heksaaniksi ja rikki saostettiin näytteestä kuparijauheella. Näyte puhdistettiin ja fraktioitiin silikageeli-, aktiivihiili- ja alumiinioksidipylväillä. Kvantifioinnissa käytettiin sisäisinä standardeina ^{13}C-leimattuja PCDD/DF kongeneereja (yhteensä 16 kpl, ED-998 tetra-octa chlorodioxin standard solution and EF-999 tetra-octa chlorofuran standard solution, Cambro Scientific). Yhdisteet analysoitiin korkean erotuskyvyn massaspektrometrillä (VG 70-250SE) käyttäen SIR-tekniikkaa ja resoluutiota 10000. Massaspektrometriin yhdistetyn kaasukromatografin (Hewlett-Packard 6890) erotuskolonnina käytettiin J & W Scientificin DBDXN:a (60m, ID 0,25 mm, film 0,15 µm). Menetelmä on akkreditoitu. Kvantifiointiraja on 0,05 pg g^{-1}.

2.3 Uomapoikkileikkauksen virtausnopeusjakauman mittaus

Virtausnopeuden jakauma uomapoikkileikkauksista suunniteltujen jäähdytysvesiputkien kohdalta mittattiin akustisella profiloivalla virtausmittarilla mallia RDI ADCP 1200. Profiloiva virtausmittari ajettiin veneellä poikkileikkauksen yli. Mittari havainnoi ja tallensi veden virtausnopeuden vaaka- ja pystysuuntaiset komponentit sekä pohjan syvyyden. Mittausten perusteella laskettiin virtausnopeuden poikkileikkausta kohtisuorassa oleva komponentti uoman poikkisuunnassa viiden metrin pituisien jaksojen, syvyyssuunnassa 25 cm paksuisten kerrosten keskiarvoina. Nopeusjakauma tulostettiin graafisesti tasa-arvopintoina samaan kuvaan pohjan profiilin kanssa. Mitatut virtausjakaumat tulostettiin myös vektorimuodossa noin yhden metrin syvyydestä pitkin mittauslinjaa.

2.4 Joen virtauksen ja kiintoainekulkeuman 1D-mallintaminen

Liettyvän kiintoaineen PCDD/DF-yhdisteiden liettymisen, kulkeutumisen ja sedimentoitumisen laskentaan käytettiin Suomen ympäristökeskuksen toimeksiannosta Imatran Voima Oy:n Ympäristösuojeluyksikössä kehitettyä yksidimensioista virtaus- ja sedimenttimallia. Mallilla on mahdollista laskea sedimentin liettymistä, kulkeutumista ja laskeutumista muuttuvissa virtausolosuhteissa.

Malli kostuu kahdesta osamallista: virtausmallista ja sedimenttimallista. Virtausmalli laskee joen virtaaman, vedenkorkeuden ja virtausnopeuden kunakin ajanhetkenä käytettävissä olevissa poikkileikkauksissa. Sedimenttimalli laskee sedimentin ja PCDD/DF-yhdisteiden liettymis-, kulkeutumis- ja laskeutumisvaikutukset sedimentissä sekä jokivedessä. Malli perustuu St. Venant'in sekä advektio-dispersioyhtälöiden numeeriseen ratkaisemiseen annetuilla reunaehdoilla.

Kymijoesta on mallinnettu osa, joka alkaa Pyhäjärvestä ja päättyy Korkeakosken, Langinkosken, Stockforsin ja Ahvenkosken haaroihin (liite 1).

Mallilla laskettiin ruoppauksesta ja putkien perustamisesta aiheutuvasta pintasedimenttien häiriintymisestä johtuva jokiveden kiintoainepitoisuuden nousu ja kiintoainekseen sitoutuneiden PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuusmuutokset Kymijoessa voimalatyömaasta alavirtaan, sekä PCDD/DF-yhdisteiden mahdollinen sedimentaatio alapuolisiin laskeutumisaltaisiin.

Liettyvän maamassan haitta-ainepitoisuuden ja haitta-ainekuormituksen laskemiseksi selvitettiin liettyvien lieju- ja savipatjojen suhteelliset osuudet liettyvässä kokonaismassassa otto- ja purkuputkien kohdalla erikseen. Eri tyyppisten sedimenttikerrosten mitatut PCDD/DF-pitoisuudet painotettiin niiden suhteellisilla osuuksilla kokonaismassasta.

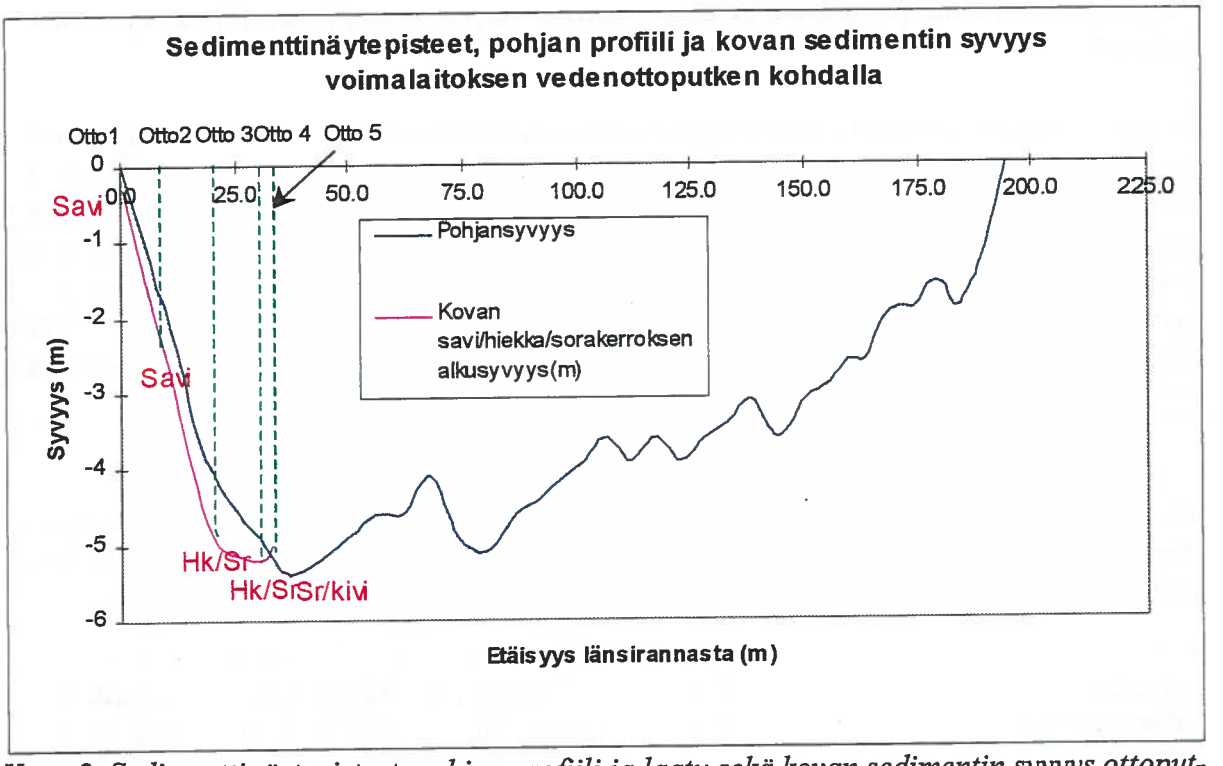
Laskentatulosteina saatiin:
- Kiintoaineen pitoisuus jokivedessä ja PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuudet kiintoaineksessa.
- Kiintoaineen sedimentaatio joen pohjalle
- PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuudet pintasedimentissä

Laskentatulokset edustavat ruoppauksen keskimääräisiä kuormitusolosuhteita. Jokeen ruoppauksesta liettyvän sedimentin määrä ja pitoisuudet vedessä voivat vaihdella paljonkin ajan suhteen.

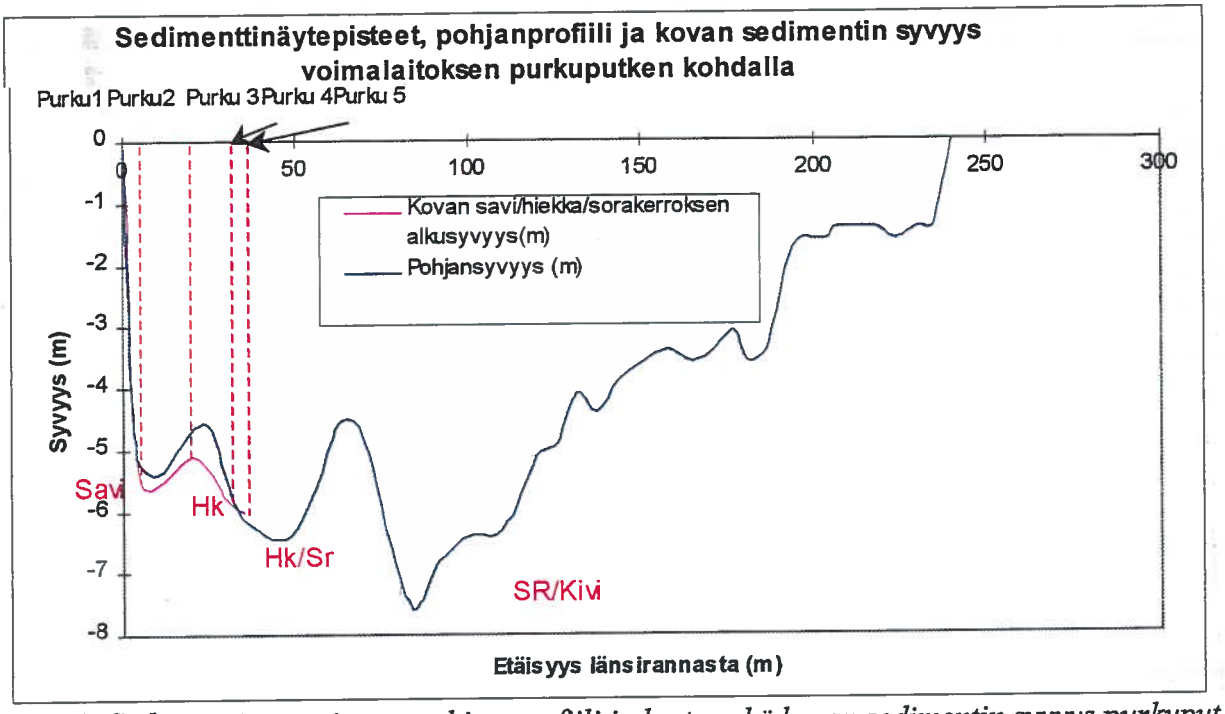
3. TULOKSET

3.1 Sedimentin laatu jäähdytysvesiputkien kohdalla

Sedimentin pintaosa on sekä otto- että purkuputken kohdalla (asemat OTTO1-2 ja PURKU1-3) lähinnä savista liejua (kenttäkuvaukset esitetty liitteessä 6) ja kerros on paksuin rannan läheisyydessä (kuvat 2 ja 3). Liejusaven seassa on puuainesta, joka ei läpäissyt 2 mm seulaa. Pintakerroksen eloperäisen aineksen pitoisuus vaihteli välillä 12,7 - 14,1 % KA:sta ja syvemmällä sedimentissä se on selvästi pienempi (savessa 1,7 % KA:sta ja hiekkasoranäytteessä 4,2 % KA:sta). Syvä kerros rannan läheisyydessä molempien putkien kohdalla on lähinnä savea, jonka kuiva-ainepitoisuus on korkea (taulukko 1). Jo noin 20 m:n etäisyydellä jokirannasta pohjan pintakerros on hiekkaa, soraa ja kiviä ja vain hieman eloperäistä ainesta sisältävää.



Kuva 2. Sedimenttinäytepisteet, pohjan profiili ja laatu sekä kovan sedimentin syvyys ottoputken kohdalla.



Kuva 3. Sedimenttinäytepisteet, pohjan profiili ja laatu sekä kovan sedimentin syvyys purkuputken kohdalla.

3.2 Sedimentin elohopean ja PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuudet jäähdytysvesiputkien kohdalla

Sedimentin pintakerroksen Hg-pitoisuudet ovat korkeampia kuin syvemmän ja vanhemman kerroksen pitoisuudet (taulukko 1). Erityisesti syvällä olevan savikerroksen Hg-pitoisuus on pieni. Pintakerroksen ja muutaman kymmenen senttimetrin syvyydessä olevan hiekkasoran Hg-pitoisuus on myös pieni, mutta kuitenkin suurempi kuin savikerroksen. Saviliejun elohopea- (taulukko1), PCDD- ja PCDF-pitoisuudet sedimentissä (taulukko 2) eivät juurikaan eroa otto- ja purkuputken välillä. Syvän savikerroksen vastaavat pitoisuudet ovat pieniä ja sen I-TEQ-arvo onkin hyvin alhainen. Pinta ja syvemmältä otettu yhdistetty hiekkasorakerros on saastunut erityisesti furaaneista (taulukko 3).

Taulukko 1. Suunniteltujen jäähdytysvesiputkien kohdalla olevan sedimentin kokoomanäytteiden kuiva-ainepitoisuus (KA %), 2 mm seulan läpäisy painoprosentteina (paino-%), hehkutushäviö (% KA) ja Hg-pitoisuus (µg g^{-1}) pintakerroksessa ja syvemmällä sedimentissä.

Asema **Pintakerros**	KA (%)	< 2 mm:n jae (paino-%)	Hehkutushä- viö (% KA)	Hg-pitoisuus (mg kg^{-1})
OTTO1-2 (savilieju)	21,8	95	14,1	0,77
PURKU1-2(savilieju)	27,8	85	12,7	0,54
Syvä kerros				
OTTO1+PURKU1 (savi)	64,6	100	1,7	0,02
OTTO2+PURKU3 (hiekkasora)	53,7	89	4,2	0,22

Taulukko 2. Suunniteltujen jäähdytysvesiputkien kohdalla olevan pintasedimentin (savilieju) kokoomanäytteiden organoklooriyhdisteiden pitoisuudet sedimentin tuore- ja kuivapainoa kohti.

	OTTO 1-2			PURKU 1-2	
Yhdiste	**Tuorepaino (pg g^{-1})**	**Kuivapaino (pg g^{-1})**	**Yhdiste**	**Tuorepaino (pg g^{-1})**	**Kuivapaino (pg g^{-1})**
2378-TCDF	16,6	90,5	2378-TCDF	22,2	80,9
TCDF	28,2	153	TCDF	66,1	240
2378-TCDD	<0,9	<5	2378-TCDD	<1,4	<5
TCDD	<0,9	<5	TCDD	<1,4	<5
12378-PF	14,3	77,9	12378-PF	24,4	88,9
23478-PF	18,6	101	23478-PF	39,4	143
PCDF	148	807	PCDF	868	3160
12378-PD	1,39	7,54	12378-PD	<1,4	<5
PCDD	102	557	PCDD	217	791
123478-HF	66,5	362	123478-HF	118	430
123678-HF	258	1400	123678-HF	443	1610
234678-HF	58,2	317	234678-HF	126	460
123789-HF	8,37	45,6	123789-HF	20,4	74,1
HxCDF	48500	264000	HxCDF	120000	437000
123478-HD	<0,9	<5	123478-HD	<1,4	<5
123678-HD	68,6	373	123678-HD	141	513
123789-HD	15,8	85,9	123789-HD	41,3	150
HxCDD	847	4610	HxCDD	1800	6570
1234678-F	117000	639000	1234678-F	236000	858000
1234789-F	318	1730	1234789-F	626	2280
HpCDF	261000	11420000	HpCDF	471000	1710000
1234678-D	<0,9	<5	1234678-D	341	1240
HpCDD	352	1910	HpCDD	1220	4450
OCDF	316000	1720000	OCDF	405000	1470000
OCDD	<0,9	<5	OCDD	867	3160
toks. sum.	435000	2360000	toks.sum.	643000	2340000
kaik.sum.	628000	3410000	kaik.sum.	1000000	3640000
I-TEQ	1550	8450	I-TEQ	2890	10500

Taulukko 3. Suunniteltujen jäähdytysvesiputkien kohdalla olevan savikerroksen ja hiekka/sorakerroksen kokoomanäytteiden PCDD/DFi-yhdisteiden pitoisuudet tuore- ja kuivapainoa kohti.

	OTTO1 + PURKU1 Savi			OTTO2 + PURKU3 Hiekkasora	
Yhdiste	Tuorepaino (pg g^{-1})	Kuivapaino (pg g^{-1})	Yhdiste	Tuorepaino (pg g^{-1})	Kuivapaino (pg g^{-1})
2378-TCDF	0,7	<1	2378-TCDF	16	23
TCDF	0,7	<1	TCDF	16	23
2378-TCDD	0,7	<1	2378-TCDD	<0,7	<0,5
TCDD	0,7	<1	TCDD	<0,7	<0,5
12378-PF	0,7	<1	12378-PF	1	1
23478-PF	0,7	<1	23478-PF	7	10
PCDF	0,7	<1	PCDF	48	70
12378-PD	0,7	<1	12378-PD	9	13
PCDD	0,7	<1	PCDD	39	57
123478-HF	0,7	<1	123478-HF	<0,7	<0,5
123678-HF	0,7	<1	123678-HF	<0,7	<0,5
234678-HF	0,7	<1	234678-HF	84	121
123789-HF	8	11	123789-HF	10	14
HxCDF	170	240	HxCDF	47297	68695
123478-HD	<0,7	<1	123478-HD	<0,7	<0,5
123678-HD	<0,7	<1	123678-HD	24	35
123789-HD	5	7	123789-HD	<0,7	<0,5
HxCDD	5	7	HxCDD	433	628
1234678-F	190	268	1234678-F	213132	309560
1234789-F	22	31	1234789-F	340	494
HpCDF	608	858	HpCDF	430591	625404
1234678-D	<0,7	<1	1234678-D	<0,7	<0,5
HpCDD	<0,7	<1	HpCDD	<0,7	<0,5
OCDF	11	15	OCDF	343493	498901
OCDD	3350	4725	OCDD	2559	3717
toks. sum.	3586	5058	toks.sum.	559674	812888
kaik.sum.	4144	5846	kaik.sum.	824475	1197495
I-TEQ	7	10	I-TEQ	2502	3634

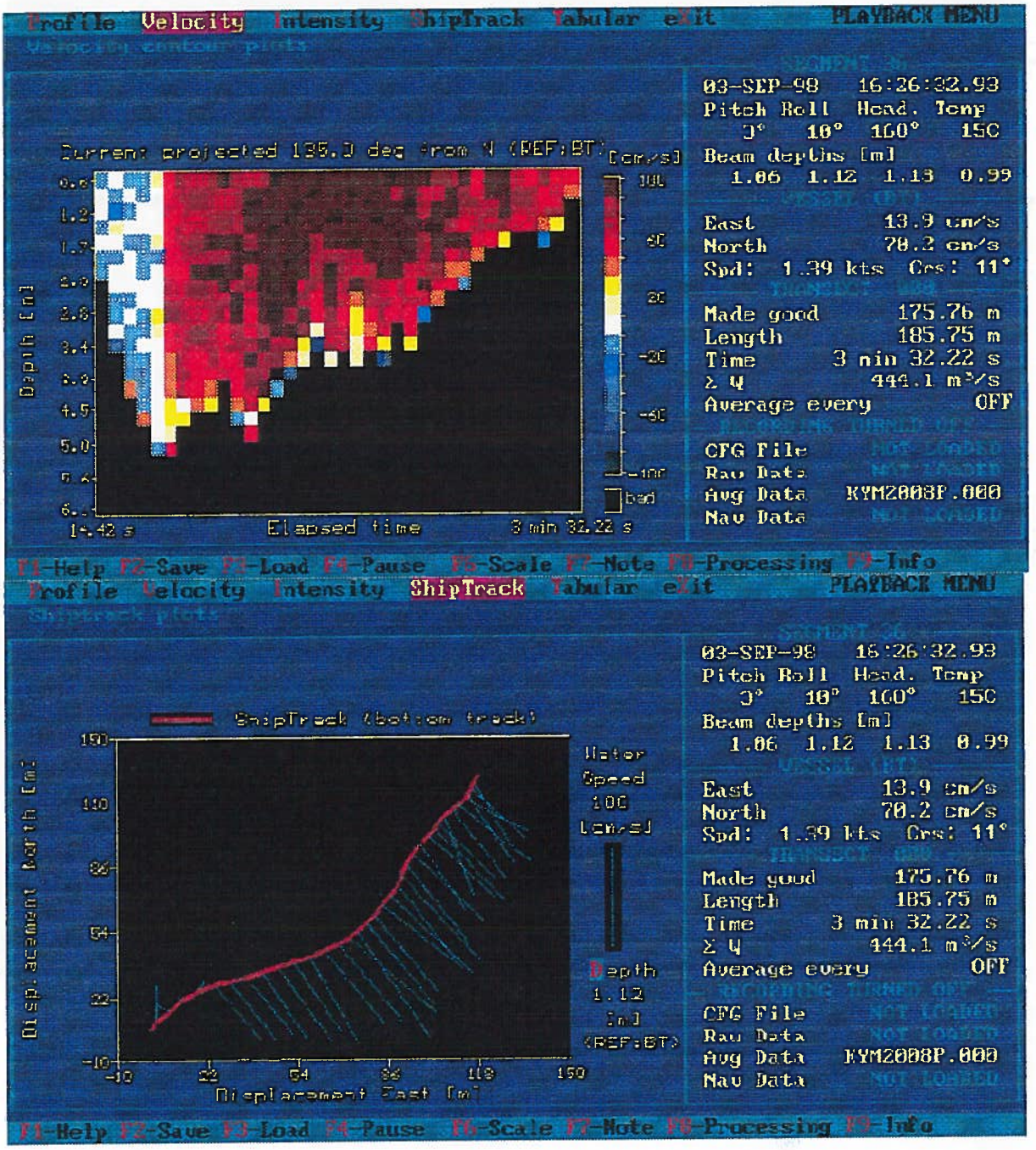
3.3 Virtausnopeusjakauma jäähdytysvesiputkien kohdalla

Kokonaisvirtaama Kymijoella jäähdytysputkien kohdalla oli mittaushetkellä 3.9.1998 430 - 440 m^3 s^{-1}. Mitattu virtausjakauma edustaa mittaushetken tilannetta, mutta kuvaa yleisemminkin virtauksen jakautumista poikkileikkauksessa.

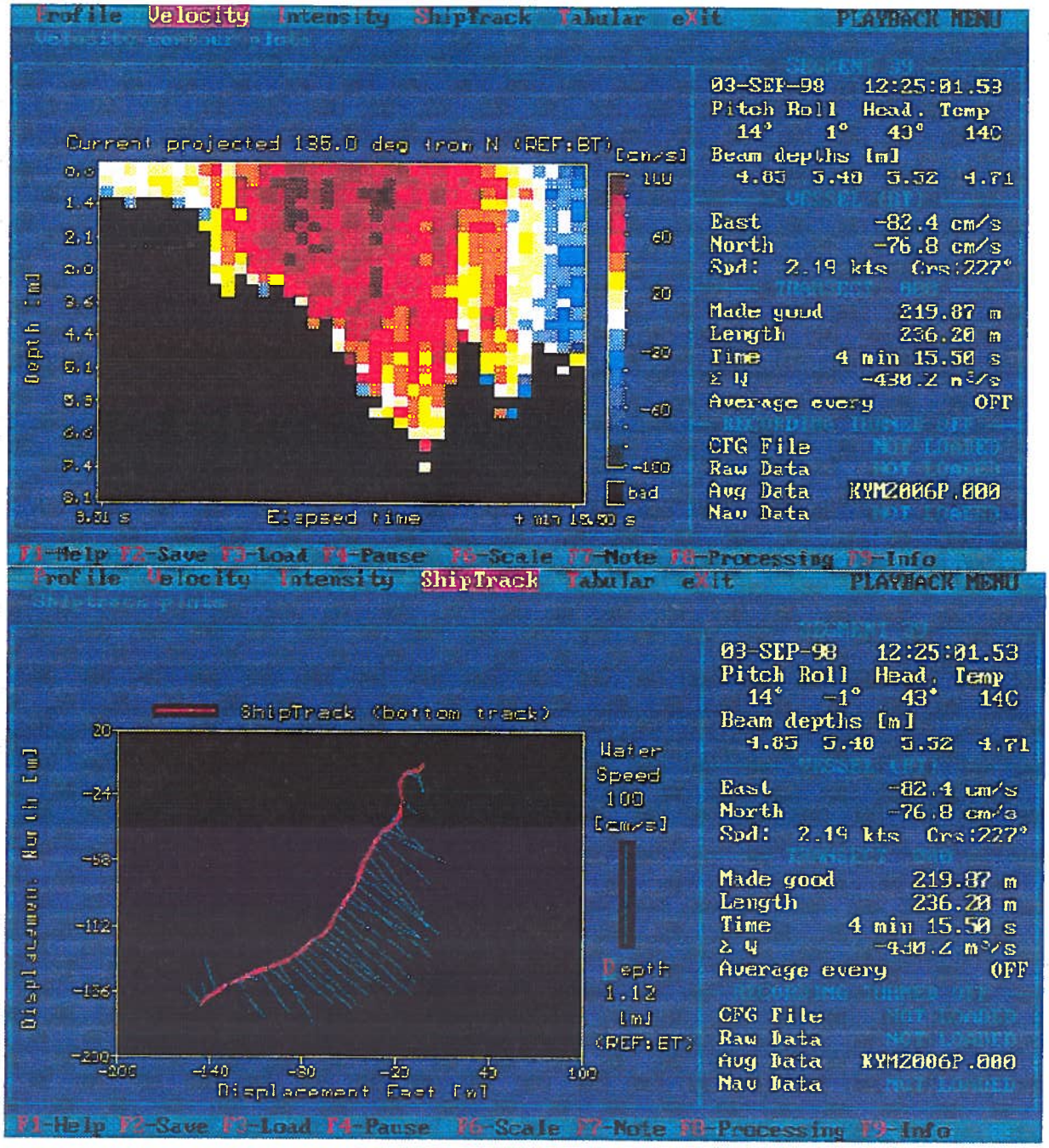
Ottoputken kohdalla virtaus vaihteli -30 ja 100 cm s^{-1} välillä (kuva 4). Päävirtauksen alueella virtaus oli hyvin tasaista 60 - 100 cm s^{-1}. Länsirannalla noin 40 m rannasta oli suhteellisesti hitaampi paluuvirtaus 10 - 20 cm s^{-1}. Joen pohja syveni länsirannasta jyrkästi 5,5 metriin (max syvyys) ja mataloitui loivasti kohden itärantaa.

Purkuputken kohdalla poikkileikkaus oli laajempi, ja virtaus keskimäärin hitaampaa kuin ottoputken kohdalla (-20 ja 100 cm s^{-1} välillä; kuva 5). Päävirtauksen alueella virtaus oli hyvin

tasaista 50 - 100 cm s^{-1}. Länsirannalla noin 50 m rannasta oli suhteellisesti hitaampi paluuvirtaus 0 - 10 cm s^{-1}. Joen pohja syveni länsirannasta hyvin jyrkästi 5,5 metriin ja syveni joen keskikohtaa kohden noin 7 metriin. Itäranta oli suhteellisen matala.



Kuva 4. Pohjan profiili (m) ja virtauksen poikkileikkaukseen nähden kohtisuorassa olevan komponentin nopeusjakauma (cm s^{-1}) ottoputken kohdalta (yläkuva). Väriskaala -100 - 100 cm s^{-1} (negatiivinen arvo tarkoittaa virtausta ylävirtaan). Horisontaaliset virtausvektorit mittauslinjalta 1,12 m syvyydeltä (alakuva).



Kuva 5. Pohjan profiili (m) ja virtauksen poikkileikkaukseen nähden kohtisuorassa olevan komponentin nopeusjakauma (cm s^{-1}) purkuputken kohdalta (yläkuva; peilikuva - länsiranta kuvan oikeassa reunassa). Väriskaala -100 - 100 cm s^{-1} (negatiivinen arvo tarkoittaa virtausta ylävirtaan). Horisontaaliset virtausvektorit mittauslinjalta 1,12 m syvyydeltä (alakuva).

3.4 Kiintoaine- ja PCDD/DF-pitoisuuksien nousu ruoppauksen vaikutuksesta sekä kulkeutuminen ja laskeutuminen alajuoksulla

Mallilaskelmissa käsiteltiin minimi- ja maksimivirtaamatilanteet syys - talviajalta. Ruopattavasta maamassasta (1600 m^3) olettiin liettyvän enimmillään noin 10% (Korhonen ja Virtanen 1996) kiintoainetta (160 m^3). Ruopattava (liettyvä) aines on pääasiassa savea ja liejua. Ruoppauksen kesto ts. tarkasteltu laskentajakso oli 30 vuorokautta. Liettyvän massan tiheydeksi (kuiva savi) oletettiin 2650 kg m^{-3} ja kuiva-ainepitoisuudeksi 42 %. Kiintoainekuormaksi

saatiin kertomalla liettyvän massan tilavuus (160 m^3) sen kuiva-ainepitoisuudella 0,42 ja tiheydellä sekä jakamalla ruoppauksen kestolla (30 d) 5,9 t d^{-1}.

Jäähdytysvesiputket ruopataan joen rantaan 4 metriä vedenpinnan alapuolelle. Ruoppausta tarvitaan ottoputken kohdalla noin 20 metrin päähän rannasta ja purkuputken kohdalla noin viiden metrin päähän rannasta. Keskemmällä putket painotetaan joen pohjalle ja putkien päät ulottuvat 100 metrin päähän rannasta joelle päin. Kun putket lasketaan vesipitoisen pintasedimentin päälle, putket painuvat kovaan sedimenttiin asti ja syrjäyttävät pintasedimentin, jonka oletetaan tällöin liettyvän veteen. Ottoputken alla häiriytyvää vesipitoista pohjasedimenttiä on 15 metriä (syvyydeltään noin 25 cm) ruoppauskohdasta joelle päin. Purkuputken alla häiriytyvää vesipitoista sedimenttiä on 30 metriä (syvyydeltään noin 40 cm) ruoppauskohdasta joelle päin. Jos oletetaan vesipitoisen pohjasedimentin liettyvän putken leveydeltä (2,5 m), liettyy pehmeää pohjasedimenttiä ottoputken kohdalta 9,4 m^3 ja purkuputken kohdalta 30 m^3 eli yhteensä 39,4 m^3. Kertomalla massan tilavuus kuiva-ainepitoisuudella 0,25 ja tiheydellä 2500 kg m^{-3} saadaan kiintoainekuormaksi 5,9 t, 19 t ja 24,9 t vastaavasti.

Yhteensä liettyy kiintoainetta 201,9 t: ensin ruoppauksen (30 d) aikana 177 t eli 5,9 t d^{-1}, sitten ottoputken laskun aikana (yksi vuorokausi) 5,9 t d^{-1} ja purkuputken laskun yhteydessä (yksi vuorokausi) 19 t d^{-1}.

Eri paikoista ja syvyyksistä liettyvien pohjasedimenttien kemikaalipitoisuudet on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Eri paikoista ja syvyyksistä liettyvien pohjasedimenttien elohopea- ja PCDD/DF-pitoisuudet.

Sedimenttikerros	Elohopeapitoisuus (µg g^{-1})	PCDD/DF-pitoisuus (µg g^{-1})
1. Vesipitoinen pintasedimentti (liejua), ottoputken kohdalta	0,77	3,410
2. Vesipitoinen pintasedimentti (liejua), purkuputken kohdalta	0,54	3,640
3. Kova pohjasedimentti (savea) rannan lähellä, kokoomanäyte molempien putkien kohdalta	0,02	0,006
4. Kova pohjasedimentti (hiekka/sora) kauempana rannasta, kokoomanäyte molempien putkien kohdalta	0,22	1,197

Ruoppauksesta liettyvän pohja-aineksen erityyppiset osamassat ovat: ottoputken pintasedimentti (kerros 1) 49 %, purkuputken pintasedimentti (kerros 2) 0 % ja molempien putkien kohdalla oleva kova pohjasedimentti (kerros 3) 51 % (taulukko 4). Liettyvän massan em. osuuksilla painotetuksi keskimääräiseksi elohopeapitoisuudeksi saatiin 0,39 µg g^{-1} ja keskimääräiseksi PCDD/DF- pitoisuudeksi 1,674 µg g^{-1} (taulukko 5). Vastaavasti ottoputken laskun aikana liettyvän pintasedimentin elohopeapitoisuudeksi saatiin 0,77 µg g^{-1} ja PCDD/DF-

pitoisuudeksi 3,410 µg g^{-1}. Purkuputken laskun aikana liettyvän pintasedimentin elohopeapitoisuudeksi saatiin 0,54 µg g^{-1} ja PCDD/DF- pitoisuudeksi 3,640 µg g^{-1}.

Taulukko 5. Eri toimenpiteistä liettyvien maamassojen keskimääräiset elohopea ja PCDD/PCDF- pitoisuudet.

Toimenpide/liettyvä maamassa	Elohopeapitoisuus (µg g^{-1})	PCDD/PCDF- pitoisuus (µg g^{-1})
Ruoppaus	0,39	1,674
Ottoputken lasku	0,77	3,410
Purkuputken lasku	0,54	3,640

Liettymisestä aiheutuvat elohopea- ja PCDD/DF-kuormitukset saadaan kertomalla kiintoainekuorma vastaavilla keskimääräisillä pitoisuuksilla. Ruoppauksen aikaiseksi elohopeakuormitukseksi saatiin 2,3 g d^{-1} (yhteensä 30 vuorokaudessa 69 g) ja PCDD/DF- kuormitukseksi 9,9 g d^{-1} (yhteensä 300 g). Ottoputken laskun aikaiseksi elohopeakuormitukseksi saatiin 4,5 g d^{-1} (yhteensä 4,5 g) ja PCDD/DF- kuormitukseksi 20 g d^{-1} (yhteensä 20 g). Purkuputken laskun aikaiseksi elohopeakuormitukseksi saatiin 10,3 g d^{-1} (yhteensä 10,3 g) ja PCDD/DF- kuormitukseksi 70 g d^{-1} (yhteensä 70 g). Yhteensä kaikkien toimenpiteiden vaikutuksesta liettyy veteen 84 g elohopeaa ja 390 g PCDD/DF-yhdisteitä (taulukko 6).

Taulukko 6. Eri toimenpiteistä syntyvät kiintoaine-, elohopea- ja PCDD/DF- kuormitukset.

Toimenpide/ liettyvä maamassa	Kiintoaine kuorma		Elohopeakuorma		PCDD/DF-kuorma	
	(t d^{-1})	yhteensä (t)	(g d^{-1})	yhteensä (g)	(g d^{-1})	yhteensä (g)
Ruoppaus	5,9	177,0	2,3	69,0	9,9	300
Ottoputken lasku	5,9	5,9	4,5	4,5	20,0	20
Purkuputken lasku	19,0	19,0	10,3	10,3	70,0	70
Yhteensä	-	201,9	-	83,8	-	390

Rakennustoimenpiteistä johtuva kuormitus otettiin mallilaskelmissa huomioon siten, että ruoppaus kesti 30 vuorokautta ja putkien laskut 1 vuorokauden kumpikin. Mallinnettu laskentajakso oli yhteensä 32 vuorokautta.

Mallinnetun jokiosuuden virtaamassa on huomioitu yläjuoksulta tuleva virtaama, joka on arvioitu Kuusnakoskelta mitattujen virtaamien avulla. Valuma-alueelta tuleva valunta on arvioitu Niittyjoen ja Tallusjoen valuntojen avulla.

Kiintoainekuormitusta tulee jokeen yläjuoksulta Voikkaalta. Tämän määrä on huomioitu Kuusankosken virtaaman ja kiintoainepitoisuuden avulla. Valuma-alueilta tuleva kiintoaineen

hajakuormitus on arvioitu Niittyjoen ja Tallusjoen valuntojen ja kiintoainepitoisuuksien avulla. Kiintoaineen pistekuormitusta aiheutuu kolmesta jokivarren teollisuuslaitoksesta (taulukko 7).

Kuusankosken alapuolella on lähde, josta huuhtoutuu polykloorattuja dibentso-*p*-dioksiineja ja polykloorattuja dibentsofuraaneja virtaan. Yhdisteet ovat todennäköisesti aikaisemmin sedimenttiin pitäytyneitä päästöjä, jotka nyt virran ja sedimenteissä tapahtuvan turbulenssin vaikutuksesta resuspendoituvat. Tämä on todennettu mm. Kelttiin asennetusta sedimentin keräimestä.

Malliajoissa tämä "tihkuminen" on huomioitu ko. yhdisteiden pistekuormituksena, jonka suuruus on arvioitu Keltin sedimentinkeräimestä saaduista analyysituloksista. Keräin on ollut toiminnassa 05.05.-30.10.1997 ja tyhjennetty tällä jaksolla neljä kertaa. Kertomalla keräimestä analysoitu PCDD/DF-yhdisteiden kokonaispitoisuus kuiva-aineessa ko. jakson keskimääräisellä virtaamalla ja veden keskimääräisellä kiintoainepitoisuudella saadaan arvio päivittäisestä PCDD/DF kuormituksesta Kuusankoskelta. Keskiarvo eri keräysjaksojen PCDD/DF kuormituksista oli 174 g d^{-1}. Rakentamisen vaikutuksesta vapautuva PCDD/DF-yhdisteiden määrä vastaa siten noin kahden vuorokauden keskimääräistä joessa kulkevaa PCDD/DF-yhdisteiden määrää (taulukko 6).

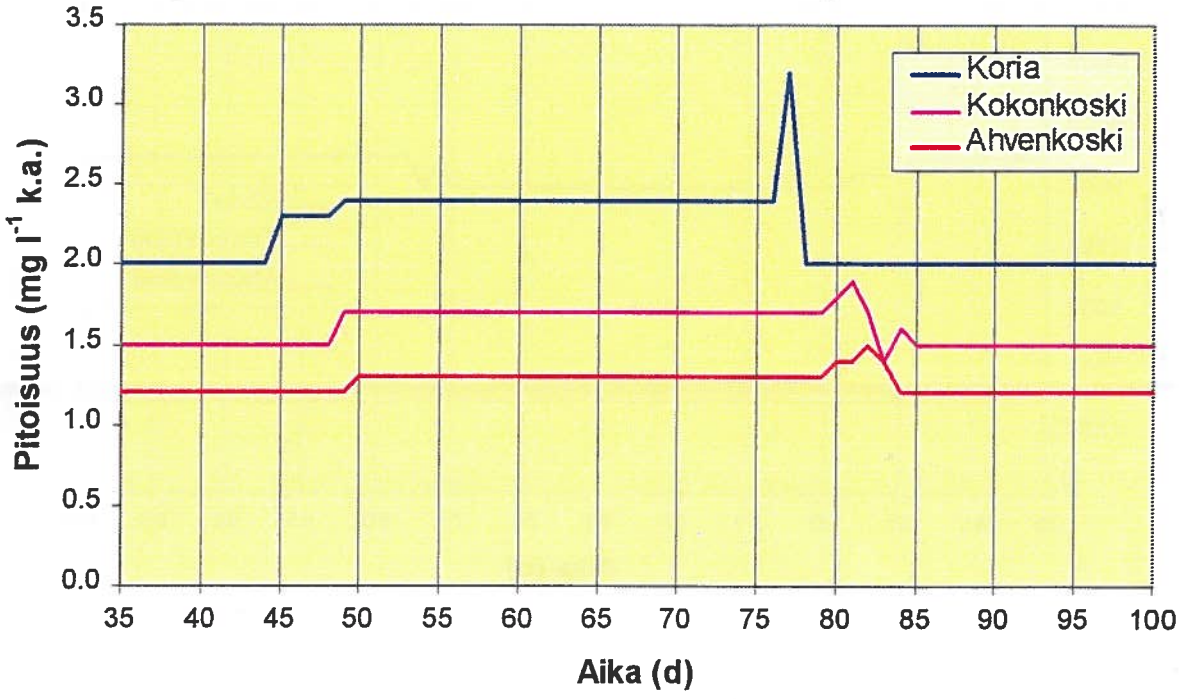
Käyttäen edellä kuvattuja kuormituksia ja reunaehtoja laskettiin vedessä olevan kiintoaineen PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuudet, sedimentoituvan kiintoaineen määrä ja pintasedimentin PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuudet sekä normaalitilassa että rakentamisen aikana ja sen jälkeisessä tilassa. Tarkastelu tehtiin syys-talviajan minimi- ja maksimivirtaamalle erikseen.

Laskentatuloksista (kuvat 6-13) käy ilmi, että rakennustyö kasvattaa joessa olevan kiintoaineen laskennallista pitoisuutta rakennuspaikan alapuolella maksimissaan 10 - 50 % (0,1 - 1,2 mg l^{-1}) ja pienentää kiintoaineen PCDD/PCDF-yhdisteiden laskennallista pitoisuutta 0 - 10 % (0 - 0,500 µg g^{-1}) virtaamatilanteesta riippuen. Laskentatuloksissa näkyvä piikki johtuu putkien laskusta aiheutuvasta sedimentin liettymisimpulssista. Sedimentaatio laskeutumisaltaissa kasvaa 0 - 15 % (0 - 100 g m^{-2}) virtaamatilanteesta ja etäisyydestä rakennuspaikasta riippuen. Vastaavasti sedimentin PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuus kasvaa noin 8 % (0,100 - 0,500 µg g^{-1}).

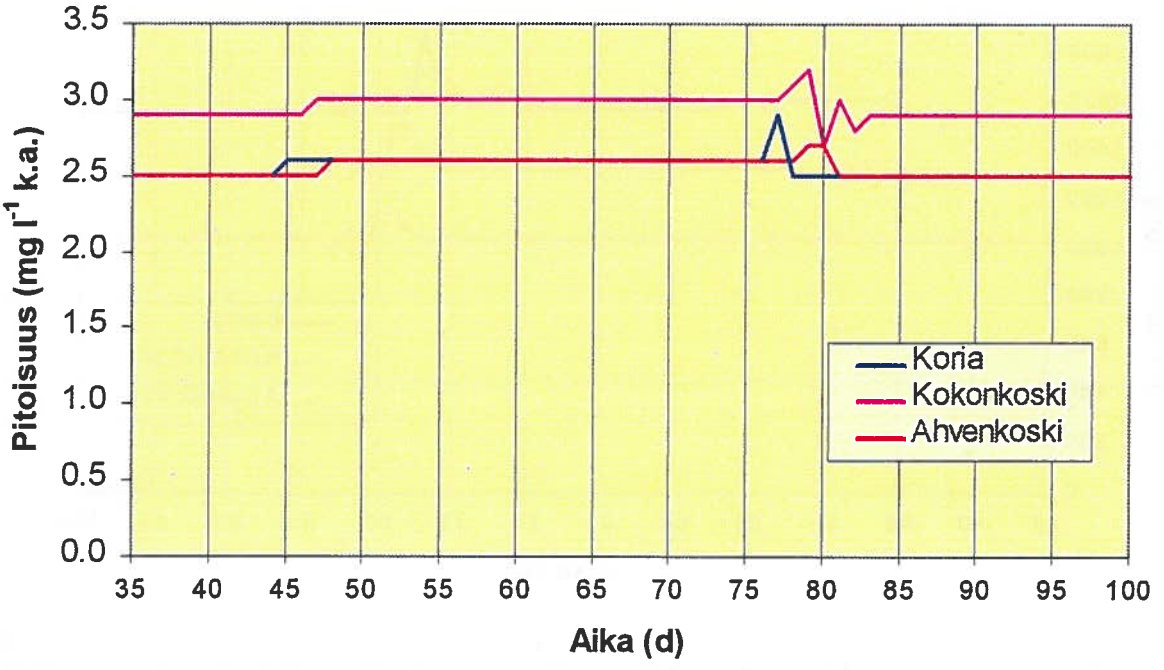
Taulukko 7. Mallilaskelmissa käytetyt virtaama- ja pitoisuusreunaehdot, valunta- ja kuormitustiedot.

Reunaehto/ ym.tiedot	syys-talviajan minimivirtaus-tilanne	syys-talviajan maksimivirtaus-tilanne
Kuusankosken		
-virtaama (m^3s^{-1})	175	500
-kiintoainepitoisuus (mgl^{-1})	2,4	2,4
-kiintoainevirtaama (kg d^{-1})	36300	103700
Korkeakoski		
-virtaama (m^3s^{-1})	40	95
Niittyjoki		
-valunta (l s^{-1} km^{-2})	2,03	7,58
-kiintoainepitoisuus (mg l^{-1})	17,5	21,6
-kiintoainevirtaama (kg d^{-1})	91	421
Tallusjoki		
-valunta (l s^{-1} km^{-2})	1,22	6,85
-kiintoainepitoisuus (mg l^{-1})	18,5	20,2
-kiintoainevirtaama (kg d^{-1})	526	3235
PCDD/DF Kuormitukset		
-Kuusankoski (kg d^{-1})	0,17	0,17
-Korian ruoppaus 30 d (kg d^{-1})	0,0099	0,0099
-Koria, ottoputken lasku 1 d (kg d^{-1})	0,0200	0,0200
-Koria, purkuputken lasku 1 d (kg d^{-1})	0,0690	0,0690
Kiintoaineen pistekuormitukset		
-UPM-Kymmene (kg d^{-1})	2375	2375
-Myllykoski Oy (kg d^{-1})	463	463
-Enso, Anjala ja Inkeroinen (kg d^{-1})	2773	2773
-Korian ruoppaus 30 d (kg d^{-1})	5900	5900
-Koria, ottoputken lasku 1 d (kg d^{-1})	5900	5900
-Koria, purkuputken lasku 1 d (kg d^{-1})	19000	19000

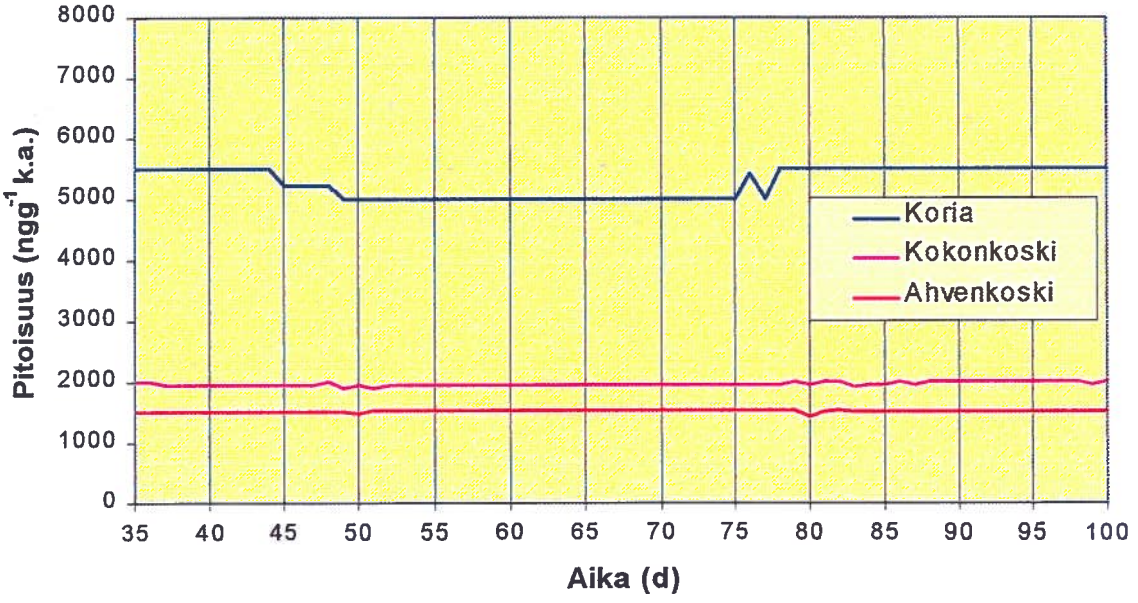
(Niittyjoen valunnat: Pertti Seuna 1982. Pienten valuma-alueiden toistuvuusanalyysi. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja. Vesihallitus. Julkaisu 48. & Raija Leppäjärvi 1993. Hydrologinen vuosikirja 1990. Vesi- ja ympäristöhallitus. Helsinki.)



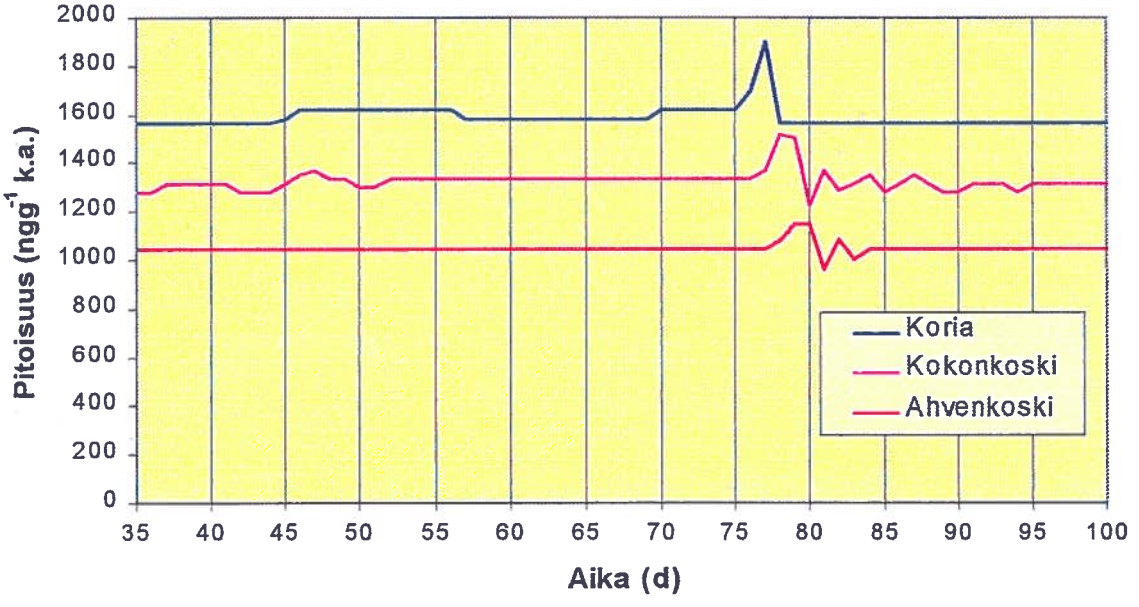
Kuva 6. Jokivedessä olevan kiintoaineen laskennallinen pitoisuus ajan funktiona Korian alapuolella, Kokonkoskella ja Ahvenkoskella. Kuvassa on esitetty pitoisuus normaalitilanteessa ja rakentamisen aikana, kun Rapakosken virtaamaksi oletetaan 175 $m^3 s^{-1}$, mikä vastaa syys - talviajan minimivirtaustilannetta. Rakentamistoimenpiteet ajoittuvat päiville 45-77.



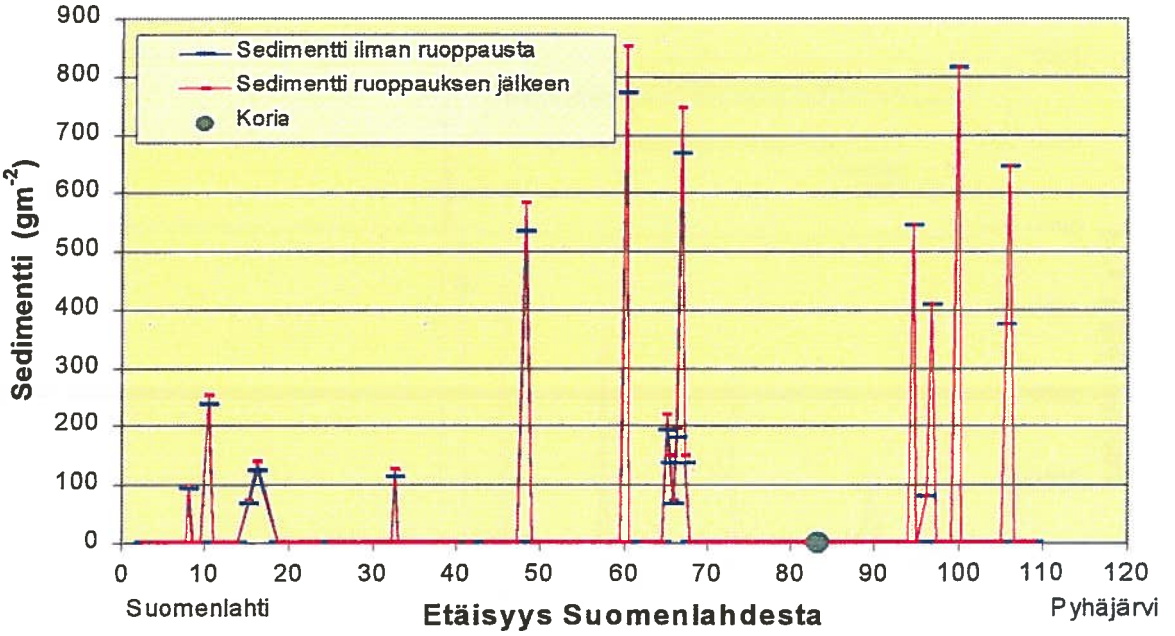
Kuva 7. Jokivedessä olevan kiintoaineen laskennallinen pitoisuus ajan funktiona Korian alapuolella, Kokonkoskella ja Ahvenkoskella. Kuvassa on esitetty pitoisuus normaalitilanteessa ja rakentamisen aikana, kun Rapakosken virtaamaksi oletetaan 500 $m^3 s^{-1}$, mikä vastaa syys - talviajan maksimivirtaustilannetta. Rakentamistoimenpiteet ajoittuvat päiville 45-77.



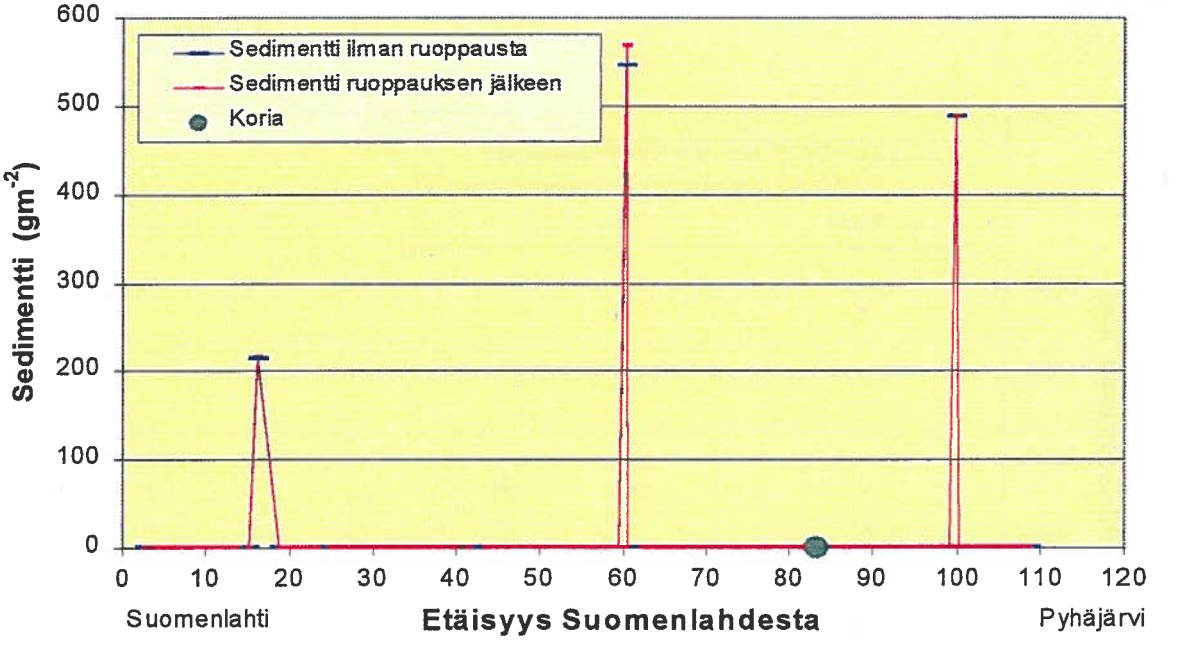
Kuva 8. Jokivedessä olevan kiintoaineen laskennallinen PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuus ajan funktiona Korian alapuolella, Kokonkoskella ja Ahvenkoskella. Kuvassa on esitetty pitoisuus normaalitilanteessa ja rakentamisen aikana, kun Rapakosken virtaamaksi oletetaan 175 $m^3 s^{-1}$, mikä vastaa syys - talviajan minimivirtaustilannetta. Rakentamistoimenpiteet ajoittuvat päiville 45-77.



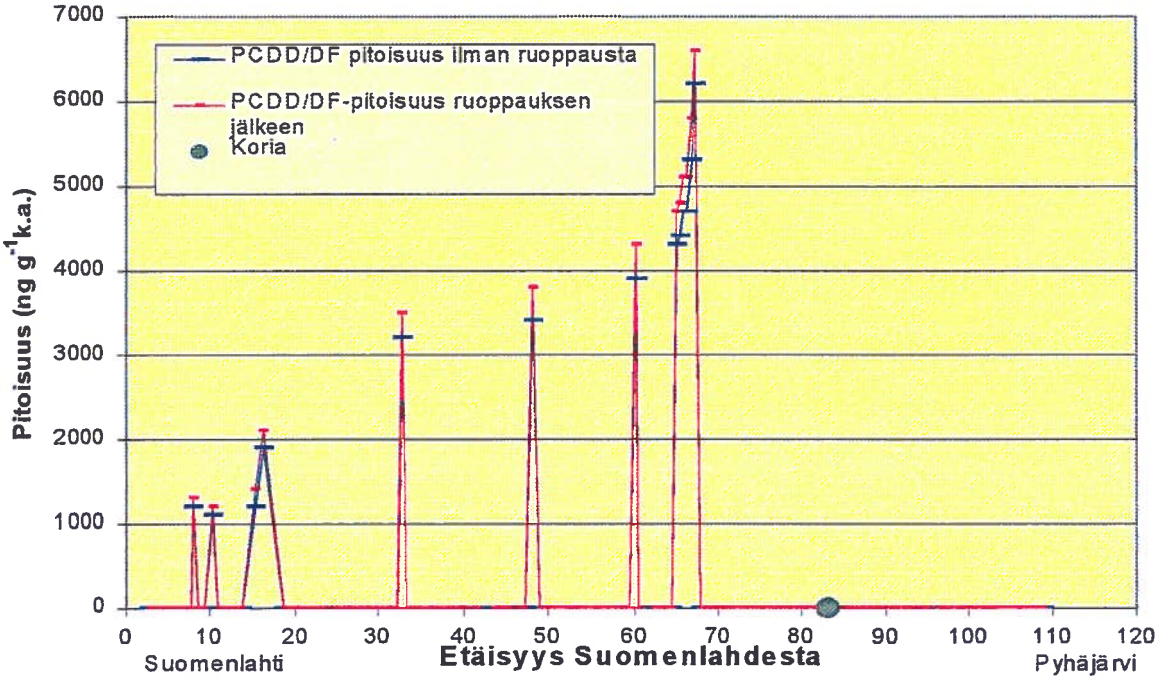
Kuva 9. Jokivedessä olevan kiintoaineen laskennallinen PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuus ajan funktiona Korian alapuolella, Kokonkoskella ja Ahvenkoskella. Kuvassa on esitetty pitoisuus normaalitilanteessa ja rakentamisen aikana, kun Rapakosken virtaamaksi oletetaan 500 $m^3 s^{-1}$, mikä vastaa syys - talviajan maksimivirtaustilannetta. Rakentamistoimenpiteet ajoittuvat päiville 45-77.



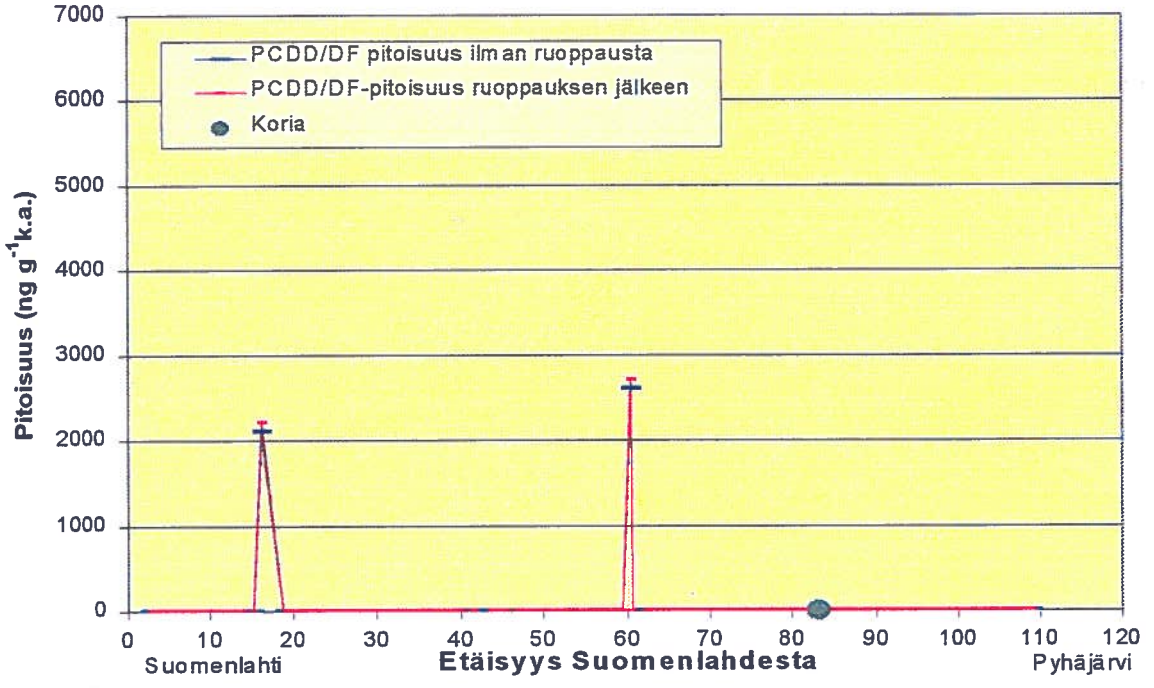
Kuva 10. Laskennallinen sedimentaatio yhteensä (g m^{-2}) joen pohjalle Pyhäjärvestä länsihaaraa pitkin Ahvenkoskelle. Tilanne "normaalitilanteessa" ja rakentamisen jälkeen, kun Rapakosken virtaamaksi oletetaan 175 m^3 s^{-1}, mikä vastaa syys - talviajan minimivirtaustilannetta.



Kuva 11. Laskennallinen sedimentaatio yhteensä (g m^{-2}) joen pohjalle Pyhäjärvestä länsihaaraa pitkin Ahvenkoskelle. Tilanne "normaalitilanteessa" ja rakentamisen jälkeen, kun Rapakosken virtaamaksi oletetaan 500 m^3 s^{-1}, mikä vastaa syys - talviajan maksimivirtaustilannetta.



Kuva 12. Sedimentin laskennallinen PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuus joen pohjalla Pyhäjärvestä länsihaaraa pitkin Ahvenkoskelle. Tilanne "normaalitilanteessa" ja rakentamisen jälkeen, kun Rapakosken virtaamaksi oletetaan 175 $m^3 s^{-1}$, mikä vastaa syys - talviajan minimivirtaustilannetta.



Kuva 13. Sedimentin laskennallinen PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuus joen pohjalla Pyhäjärvestä länsihaaraa pitkin Ahvenkoskelle. Tilanne "normaalitilanteessa" ja rakentamisen jälkeen, kun Rapakosken virtaamaksi oletetaan 500 $m^3 s^{-1}$, mikä vastaa syys - talviajan maksimivirtaustilannetta.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Pintakerroksen elohopeapitoisuudet eivät juurikaan poikkea Etelä-Suomen luonnontilaisten järvien pintasedimentin (0 - 5 cm) pitoisuuksista (vaihteluväli 0,16 - 0,57 μg g^{-1}, Verta ym. 1990). Jäähdytysvesiputkien kohdan sedimentin Hg-pitoisuudet ovat selvästi pienempiä kuin Kymijoen yläjuoksun Ruotsula - Keltin pintakerroksen (0-3 cm, keskiarvo 2,9 μg g^{-1}, vaihteluväli 0,5 - 13,8 μg g^{-1}) ja syvemmän saviliejukerroksen (0 - 250 cm, keskiarvo 7,4 μg g^{-1}, vaihteluväli 0,4 - 32,5 μg g^{-1}) pitoisuudet. Keltin voimalaitoksen alapuolelta aina Ahvenkoskenlahdelle pintakerroksen (0 - 3 cm) Hg-pitoisuudet (vaihteluväli 0,05 - 0,73 μg g^{-1}) ovat lähes samansuuruisia purkuputkien saviliejukerroksen pitoisuuksien kanssa (KYPRO-projekti, julkaisematon aineisto).

Hienojakoinen pinnan saviliejukerros on selvästi eräiden polyklooridibentsofuraanikongeneerien - erityisesti 1,2,3,4,6,7,8-heptaklooridibentsofuraani sekä oktaklooridibentsofuraanien (OCDF), heptaklooridibentsofuraanien (HpCDF) ja heksaklooridibentsofuraanien (HxCDF) - saastuttama. Myös hiekkasora on saastunut PCDD- ja PCDF-yhdisteillä. Syvemmällä oleva, todennäköisesti hyvin vanha savikerros ei ole saastunut. Savikerroksessa on kuitenkin mittaustarkkuuden alarajan yli meneviä pitoisuuksia, mikä todennäköisesti johtuu näytteenotossa tapahtuneesta lievästä kontaminaatiosta.

4.1 Mallinnettu kiintoaineen ja PCDD/DF-yhdisteiden kulkeutuminen

Mallinnuksessa kiintoaines sedimentoituu kaikissa virtausolosuhteissa Tammi- ja Koskenalusjärveen (liite 1). Polykloorattujen dibentso-*p*-dioksiinien ja dibentsofuraanien kokonaissumman pitoisuus on ruopattavalla alueella pintasedimentissä - ottoputken kohdalla 3,4 μg g^{-1} ja purkuputken kohdalla 3,6 μg g^{-1}.

Taulukko 8. Mallinnuksen antamien ruoppausaineksen tärkeimpien sedimentaatiopaikkojen aikaisemmin mitatut PCDD/DF-yhdisteiden kokonaissumman pitoisuudet sedimentin kuivapainoa kohti.

Asema	Kerroksen paksuus (cm)	PCDD/DF-yhdisteiden kokonaissumma (μg g^{-1})
Koskenalusjärvi	0 - 4	1,767
Koskenalusjärvi, sedimentinkeräin 1997		1,202
Tammijärvi	0 - 3	1,198
Tammijärvi, sedimentin keräin 1997		0,674

4.1.1 Minimivirtaustilanne

Mallilaskelmien mukaan veden kiintoainespitoisuus nousee alkuvaiheessa n. 20 % (arvosta 2,0 mg l^{-1} arvoon 2,4 mg l^{-1}). Putken laskuvaiheessa nousua voi tapahtua aina kolmeen mg l^{-1} (50%) (kuva 6). Sen sijaan PCDD/DF-pitoisuus joessa kulkevassa kiintoaineksessa laskee lievästi johtuen ruoppauksessa liettyvän puhtaan savimassan laimentavasta vaikutuksesta yläpuoliselta alueelta kiintoaineksen mukana kulkeutuviin PCDD/DF-yhdisteisiin (Kuva 8).

Minimivirtaustilanteessa ruoppauksen vaikutus näkyy kaikissa alapuolisen jokiosuuden merkittävimmissä sedimentaatioaltaissa lisääntyvänä sedimentin kertymisenä ruoppauksen aikana. Määrällisesti sedimentaation lisääntyminen on noin kymmenen prosentin luokkaa verrattuna tilanteeseen ilman ruoppausta joen yläosalla (Myllykoski- Anjalankoski), mutta pienenee joen alaosan sedimentaatioaltaissa (kuva 10). PCDD/DF-pitoisuudet laskeutuvassa kiintoaineksessa kasvavat lievästi (alle 10 %) koko joen alaosan sedimentaatioalueilla (kuva 12). Laskeutuvan kiintoaineksen pitoisuuden nousua tapahtuu, vaikka Korian kohdalla veden kiintoaineksen PCDD/DF-pitoisuuden todettiin lievästi laskevan. Tämä johtuu siitä, että joessa kulkevan PCDD/DF-kontaminoituneen kiintoaineen määrä lisääntyy ruoppauksen vaikutuksesta ja valuma-alueelta sekä teollisuudesta tulevan kontaminoitumattoman kiintoaineksen PCDD/DF-pitoisuutta laimentava vaikutus pienenee normaalitilanteeseen verrattuna.

4.1.2 Maksimivirtaustilanne

Maksimivirtaustilanteessa ruoppauksen veden kiintoainepitoisuutta lisäävä vaikutus on olennaisesti pienempi kuin minimivirtaustilanteessa oletuksella, että yhtä paljon kiintoainesta liettyy, eikä suurempi virtausnopeus siten olennaisesti lisäisi liettymistä (kuva 7). Tämä alkuoletus ei pidä täysin paikkaansa, mutta se ei aiheuta oleellista virhettä. Tilanne poikkeaa minimivirtaustilanteesta myös siten, että joen itähaarassa Kokonkoskella on kiintoainespitoisuus Korialla mitattua suurempi. Päinvastoin kuin minimivirtaustilanteessa kiintoaineksen PCDD/DF-pitoisuus nousee lievästi välittömästi ruoppauksen alapuolella, mutta ei olennaisesti joen alaosalla (kuva 9). Syynä tähän on joessa kulkevan kiintoaineksen pienempi PCDD/DF-pitoisuus huippuvirtaaman aikana, jolloin rakennustöistä aihetuva PCDD/DF-pitoisen sedimentin liettyminen näkyy kuvatulla tavalla. Huippuvirtaaman aikainen matalampi PCDD/DF-pitoisuus puolestaan johtuu siitä, että tarkastelun alkuoletuksena Kuusankoskelta liikkeelle lähtevä PCDD/DF-määrä on virtaamasta riippumaton ja se sekoittuu huippuvirtaaman aikana valuma-alueelta tulevaan runsaampaan kiintoainemäärään.

Sedimentaation lisääntymistä voi esiintyä vain joissakin merkittävimmissä sedimentaatioaltaissa kuten Koskenalusjärvessä ja Tammijärvessä (kuva 11). Sedimentoituvan kiintoaineksen PCDD/DF-pitoisuuksien nousu näissä altaissa on erittäin vähäistä (kuva 13) verrattuna tilanteeseen ennen ruoppausta.

4.2 Ruopattavan pohja-aineksen käsittelymahdollisuudet

Elohopean ja PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuudet näytteissä on esitetty taulukoissa 1, 2 ja 3. PCDD/DF-yhdisteille tulokset on esitetty sekä kansainvälisinä toksisuusekvivalentteina (I-TEQ) että pitoisuuksien summana kuivapainossa. Sedimenteille ei ole Suomessa asetettu virallisia raja-arvoja. Saastuneen maan raja-arvona dioksiineille ja furaaneille Suomessa

pidetään arvoa 0,0005 µg I-TEQ g^{-1} (500 pg I-TEQ g^{-1}) kuivapainossa ja ohjearvona 0,000020 µg I-TEQ g^{-1} (20 pg I-TEQ g^{-1}) kuivapainossa (Ympäristöministeriö 1994). Elohopealle vastaava raja-arvo on 5 µg g^{-1} ja ohjearvo 0,2 µg g^{-1}.

Ohjearvo ilmaisee haitta-aineen suurimman pitoisuuden, jota pidetään ihmiselle ja ympäristölle vaarattomana. Massojen sijoittamiselle ei aseteta rajoituksia. Raja-arvo ilmaisee haitta-aineen pitoisuuden, jonka ylittäminen maaperässä yleensä edellyttää kunnostustoimenpiteitä.

Elohopean osalta raja-arvo ei ylittynyt missään osanäytteessä, joten elohopea ei aseta rajoituksia ruoppausmassojen käsittelylle.

Näytteiden PCDD/DF-pitoisuudet vesipitoisessa pintakerroksessa (0,008 µg I-TEQ g^{-1} ja 0,010 µg I-TEQ g^{-1} kuivapainossa) ylittivät raja-arvon 0,0005 µg g^{-1} yläpuolisella ruoppauskohdalla 17-kertaisesti ja alapuolisella ruoppauskohdalla 21-kertaisesti. Myös hiekkasorakerroksen yläosassa mitattu pitoisuus 0,004 µg g^{-1} (I-TEQ) ylitti raja-arvon selvästi. Sensijaan savikerroksen pitoisuus oli alhainen (0,00001 µg g^{-1}, I-TEQ). Pääosa ruopattavista massoista (n. 90 %) sijaitsee yläpuolisella ruoppauskohdalla, ja ruopattavien massojen keskipitoisuutena voidaan pitää elohopean osalta 0,39 µg g^{-1} ja dioksiinien ja furaanien osalta kokonaispitopisuutta 1,670 µg g^{-1} , mikä vastaa pitoisuutta 0,004 - 0,005 µg I-TEQ g^{-1}. Keskimäärin ruopattavat massat ylittävät siten raja-arvopitoisuuden 8-9-kertaisesti. PCDD/DF-yhdisteiden osalta ruoppausmassoja käsiteltäessä on toimittava saastuneen maaperän käsittelyyn asetettujen kriteerien mukaisesti.

Huolellisella massojen käsittelyllä lienee mahdollisuus rajoittaa sijoitettavan saastuneen ruoppausmassan määrää huomattavasti siten, että ruoppaus rajoitetaan ensivaiheessa koskemaan saastuneita lieju ja hiekkasorakerroksia ja puhdas savi pyritään ruoppaamaan erikseen. Sijoitettavien massojen kokonaismäärä on n. 1400 m^3 (1600 m^3 - 160 m^3), joista noin puolet on PCDD/DF-yhdisteiden saastuttamaa ja noin puolet PCDD/DF-yhdisteistä puhdasta savea.

Saastuneen ruoppausmassan sijoittamisesta ei ole annettu virallisia ohjeita, mutta ne ovat valmisteluvaiheessa ympäristöministeriössä. Suositusluontoisesti ohjeita on kuitenkin saatavissa esimerkiksi teoksista Mroueh ym. 1996, Leppänen 1998 ja ympäristöministeriö 1994. Saastuneiden massojen käsittelyn edellyttämiä lupa-asioita on käsitelty teoksessa Tuomainen ja Tuomala 1997.

5. YHTEENVETO

Tässä selvityksessä tarkasteltiin Elimäelle suunnitellun kaasukombivoimalaitoksen jäähdytysvesiputkien sijoittamisesta johtuvaa mahdollista veden kiintoaineksen pitoisuuden ja kiintoaineessa olevien epäpuhtauksien lisääntymistä ja kulkeutumista Kymijoessa. Samoin arvioitiin ruopattavien massojen sijoituskelpoisuutta. Arvion pohjaksi suunnitelluista ruoppauskohteista otetuista sedimenttinäytteistä analysoitiin elohopeapitoisuus ja PCDD/DF-yhdisteiden pitoisuudet. Yhdisteiden kulkeutumisen arvioinnissa käytettiin Kymijoelle kehitettyä yksidimensioista virtaus- ja sedimenttimallia.

Selvityksen perusteella ruopattavien massojen PCDD/DF-pitoisuudet ylittävät saastuneille maille annetut ohjearvot ja ruopattavat massat on niiden käsittelyn ja sijoittamisen osalta rinnastettava saastuneisiin maa-alueisiin. Noin puolet ruoppausmassoista on kuitenkin puhdasta

savikerrostumaa, ja ruoppauksen huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella voitaneen saastuneen ruoppausmassan määrää rajoittaa noin puoleen ruoppausmassoista.

Ruoppauksen ja massojen läjityksen ylivuotovesien vaikutus kiintoaineksen kulkeutumiseen ja pitoisuuksiin arvioitiin lähtöoletuksella, että 10 prosenttia ruoppausmassoista liettyy veteen. Tätä voidaan pitää maksimiarviona. Malliarvion mukaan kiintoainespitoisuuden nousu välittömästi työkohteen alapuolella voi enimmillään olla lyhytaikaisesti 50 %:n luokkaa, mutta suurimman osan ruoppausta se on noin 10 %. Kokonaisuudessaan rakentamisen vaikutuksesta vapautuva PCDD/DF-yhdisteiden määrä vastaa noin kahden vuorokauden aikana joessa kulkevaa PCDD/DF-yhdisteiden määrää.

Sedimentoituva kiintoainesmäärä ja PCDD/DF-pitoisuus voi minimivirtaustilanteessa nousta alapuolisilla sedimentaatioalueilla luokkaa noin 10 prosenttia pieneten jokisuulle tultaessa. Maksimivirtaustilanteessa olennaista sedimentaation ja pitoisuuksien lisäystä ei tapahdu.

Malliarvion mukaan ruoppauksen vaikutus on havaittavissa jokivedessä vain ruoppauksen aikana ja välittömästi (muutamia päiviä) sen jälkeen. Sedimentin ohuessa pintakerroksessa kohonneet PCDD/DF-pitoisuudet säilyvät pidempään virtaamaolosuhteista riippuen.

Suomen ympäristökeskuksen koordinoimassa KYPRO-projektissa meneillään olevat vaikutus-tutkimukset ovat osoittaneet toksisia vaikutuksia mikrobeihin ja pohjaeläimiin alueilla, joilla on suurimmat epäpuhtauksien pitoisuudet pehmeissä sedimenteissä erityisesti välillä Kuusankoski-Anjalankoski (KYPRO-projekti, julkaisematon aineisto). Toistaiseksi vaikutuksia ei voida yhdistää mihinkään erityiseen yhdisteeseen tai yhdisteryhmään. Vaikutuksia esiintyy myös Kuusankosken alapuolisten koskialueiden pohjaeläimissä, jotka altistuvat suoraan kulkeutuvan kiintoaineksen kautta.

Muutokset PCDD/DF-yhdisteiden samoin kuin muiden liettyvien epäpuhtauksien pitoisuuksien osalta ovat ruoppauksen vaikutusalueilla lyhytaikaisia ja vähäisiä verrattuna jokiuomassa jo kulkeutuviin epäpuhtauksiin. Lisäksi muutokset tapahtuvat biologisesti inaktiivisena aikana. Lisäaltistuksen pienuuden huomioonottaen ei ole oletettavaa, että ruoppausten vaikutus ilmenisi mitattavassa määrin alapuolisissa pohjaeläinpopulaatioissa.

Joen pohjan epäpuhtauksien kertyminen kalastoon on parhaillaan tutkimusten kohteena Suomen ympäristökeskuksen koordinoimassa KYPRO-projektissa. Erityisesti kyseisten KY-5 tuotteelle ominaisten PCDD/D- yhdisteiden kertyminen sedimentistä kalastoon on todettu olevan vähäistä ja vaikeasti ennustettavaa. Alueilla, joissa mitataan korkeimmat pitoisuudet sedimentissä, eivät kalaston pitoisuudet ole yleisesti muita alueita korkeampia (KYPRO-projekti, julkaisematon aineisto). Tulosten perusteella voidaan arvioida kalojen PCDD/DF-pitoisuuksien mahdolliset muutokset pieniksi ja tuskin mitattaviksi.

Väliaikainen kiintoaineen ja epäpuhtauksien pitoisuuden nousu ei rajoita joen uimakäyttöä. Lisäksi ruoppaus on tarkoitus ajoittaa syksyyn ja talveen, jotka eivät ole aktiivista uima-aikaa.

KIRJALLISUUSVIITTEET

Korhonen P. ja Virtanen M.,1996. Elohopean kertymisen kuvaaminen matemaattisella mallilla. Suomen ympäristö, Suomen ympäristökeskus. ISBN 952-11-0026-5.

Leppänen, M. 1998 (toim). Kaatopaikan tiiviysrakenteet. Ympäristöopas 36. Suomen ympäristökeskus.

Mroueh, U.M., Järvinen H-L. & Lehto, O. 1996. Saastuneiden maiden tutkiminen ja kunnostus. Teknologiakatsaus 47/96. Teknologian kehittämiskeskus.

SFS 3008 1990. Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määritys.

SFS 5229 1986. Elintarvikkeet. Kalan elohopeapitoisuuden määritys kylmähöyryatomiabsorptiometrisesti.

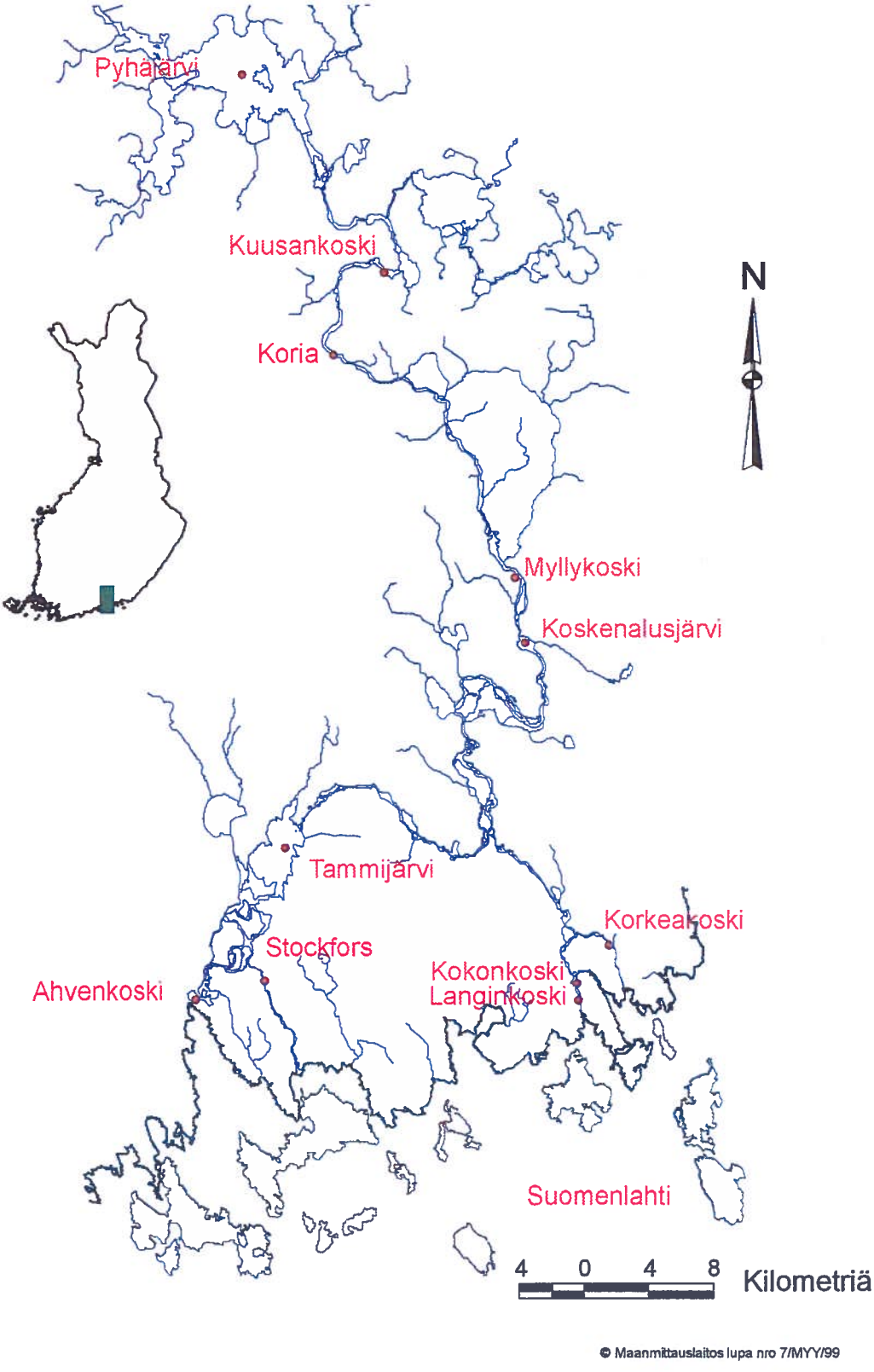
Tuomainen, J, Tuomala, J. 1997. Hallintopäätös saastuneen maa-alueen kunnostamisesta- erityisesti jätehuoltolainsäädännön kannalta. Ympäristöopas 20. Suomen ympäristökeskus 1997.

Ympäristöministeriö, 1994. Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. Saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojekti; loppuraportti. Muistio 5 1994. Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto.

Verta, M., Mannio, J., Iivonen, P., Hirvi, J-P., Järvinen, O. ja Piepponen, S. 1990. Trace metals in Finnish headwater lakes - effects of acidification and airborne load. Kauppi et al (eds.). Acidification in Finland. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

LIITTEET

Liite 1. Kartta Kymijoen mallinnetulta alueelta



© Maanmittauslaitos lupa nro 7/MYY/99

Liite 2. Pohjan profiili vedenottoputken kohdalta

Etäisyys länsirannasta	Pohjan syvyys
0,0	0
12,1	-2,4
16,8	-3,6
23,5	-4,4
30,3	-4,9
37,0	-5,4
49,8	-4,9
55,8	-4,6
61,8	-4,6
67,7	-4,1
73,8	-4,9
80,2	-5,1
86,5	-4,6
91,9	-4,4
97,2	-4,1
101,3	-3,9
106,2	-3,6
111,5	-3,9
117,0	-3,6
122,4	-3,9
128,0	-3,6
133,0	-3,4
138,3	-3,1
144,1	-3,6
149,8	-3,1
155,4	-2,9
159,5	-2,6
163,1	-2,6
166,9	-2,1
170,8	-1,9
174,3	-1,9
177,3	-1,6
180,3	-1,6
183,5	-1,9
186,8	-1,6
189,7	-1,1
194,3	0

Liite 3. Kovan pohjan syvyys ja pehmeän sedimentin paksuus vedenottoputken kohdalta

Näytepisteen nimi	Etäisyys länsirannasta	Vesisyvyys (m)	Vesipitoisen saviliejukerroksen paksuus(m)	Kovan savi/ hiekka/sora-kerroksen alkusyvyys(m)	Syvän kerroksen laatu
Otto 1	0,5	0,3	0,3	-0,3	savi
Otto 2	10	1,4	1,25	-2,65	savi
Otto 3	20	4,8	0,1	-4,9	hiekkasora
Otto 4	30	5	0,2	-5,2	hiekkasora
Otto 5	33	5	.	-5	soraa/kiviä

Liite 4. Pohjan profiili vedenpurkuputken kohdalta

Etäisyys länsirannasta	Pohjan syvyys (m)
0,0	0,0
3,8	-5,1
9,9	-5,4
16,9	-4,9
24,4	-4,6
32,6	-5,9
40,8	-6,4
48,6	-6,4
55,8	-5,6
62,2	-4,6
68,0	-4,6
73,5	-5,6
78,8	-6,9
84,2	-7,6
89,9	-6,9
95,4	-6,6
101,3	-6,4
107,5	-6,4
113,7	-5,9
119,6	-5,1
125,4	-4,9
130,8	-4,1
137,0	-4,4
143,1	-3,9
150,0	-3,6
157,4	-3,4
164,8	-3,6
171,6	-3,4
176,5	-3,1
181,0	-3,6
186,3	-3,4
191,7	-2,1
196,2	-1,6
203,5	-1,6
206,7	-1,4
214,0	-1,4
217,5	-1,4
223,7	-1,6
230,0	-1,4
234,6	-1,4
240,0	0,0

Liite 5. Kovan pohjan syvyys ja pehmeän sedimentin paksuus vedenpurkuputken kohdalta

Näyte-pisteen nimi	Etäisyys länsiran-nasta	Vesisyvyys (m)	Vesipitoisen saviliju-kerroksen paksuus (m)	Kovan savi/ hiekka/sora-kerroksen alkusyv. (m)	Syvän kerroksen laatu
Purku1	0,5	0,3	0,3	-0,6	savi
Purku2	5	5,1	0,4	-5,5	savi
Purku3	20	4,7	0,4	-5,1	hiekka
Purku 4	30	5,7	0	-5,8	Pohja niin kova, että näytettä ei saatu. Todnäk kiviä.
Purku 5	35	6	.	-6,0	hiekka/sora

Liite 6. Sedimenttinäytteiden oton kenttäkuvaukset

Asema	pvm	lat	lon	vesisyvyys (m)	alkusyv. (cm)	loppusyv. (cm)	Näytteenotin	kuvaus
OTTO1	24.8.1998	6050487	2638103	1,4	0	50	ven.suokaira(5cm)	savista liejua
OTTO1	24.8.1998	6050487	2638103	1,4	50	100	ven.suokaira(5cm)	savista liejua
OTTO1	24.8.1998	6050487	2638103	1,4	100	125	ven.suokaira(5cm)	savista liejua
OTTO1	24.8.1998	6050487	2638103	1,4	125	150	ven.suokaira(5cm)	savea
OTTO1	3.9.1998	.	.	1,3	0	35	ven.suokaira(5cm)	savista liejua
OTTO1	3.9.1998	.	.	1,3	35	50	ven.suokaira(5cm)	savea
OTTO1.5	24.8.1998	.	.	4,8	0	15	ven.suokaira(5cm)	hieman savista liejua, jonka seassa hiekkaa, paikka YLI1 ja 2 välissä n. 10 m molemmista
OTTO2	24.8.1998	6050486	2638130	5	0	20	ven.suokaira(5cm)	savista liejua
OTTO2	24.8.1998	6050486	2638130	5	20	.	ven.suokaira(5cm)	soraa/kiviä
OTTO2	3.9.1998	.	.	5	0	10	ven.suokaira(5cm)	savista liejua
OTTO2	3.9.1998	.	.	5	10	15	ven.suokaira(5cm)	hiekkaa
OTTO3	24.8.1998	6050492	2638157	5	0	0	ven.suokaira(5cm)	soraa/kiviä
OTTO3	3.9.1998	6050484	2638124	6	0	0	ven.suokaira(5cm)	ei näytettä, sorapohja
PURKU1	24.8.1998	6050441	2638141	5,5	0	40	ven.suokaira(5cm)	savista liejua
PURKU1	24.8.1998	6050441	2638141	5,5	40	50	ven.suokaira(5cm)	savea
PURKU1	3.9.1998	6050466	2638139	5,5	40	65	ven.suokaira(5cm)	savea, josata otettiin syvin 15 cm näytteeksi
PURKU2	24.8.1998	6050462	2638155	5	0	40	ven.suokaira(5cm)	savista liejua
PURKU2	24.8.1998	6050462	2638155	5	40	50	ven.suokaira(5cm)	hiekkaa
PURKU2	3.91998	6050465	2638142	.	0	0	ven.suokaira(5cm)	ei näytettä, sorapohja
PURKU3	24.8.1998	6050470	2638173	5,3	0	50	ven.suokaira(5cm)	savista liejua
PURKU3	24.8.1998	6050470	2638173	5,3	50	100	ven.suokaira(5cm)	savista liejua, syvää näytettä ei saatu kovan pohjan vuoksi
PURKU3	3.9.1998	6050473	2638160	5,5	.	.	ven.suokaira(5cm)	näytteenottimessa liejusavea n. 40 cm ja pohjalla n 2cm hiekkaa
PURKU4	24.8.1998	6050471	2638161	6	0	0	ven.suokaira(5cm)	hiekkaa, ei näytettä

Savilejusta kokoomanäytteitä tehtiin kaksi: PURKU1+2+3 ja OTTO1+2, joihin mukaan otettiin syvä kerros. Näytteet lähetettiin Kokkolan ja Kuopion KTL:n laboratorioon. Myöhemmin paikoilta käytiin erikseen syvänäytteet (OTTO1+PURKU1 ja OTTO2+PURKU3).

Huom.

24.8.1998 otetut koordinaatit GPS 100 m tarkkuudella

3.9.1998 otetut koordinaatit DGPS 2-4 m tarkkuudella

KUVAILULEHTI

Julkaisija
Suomen ympäristökeskus

Julkaisun päivämäärä
18.1.1999

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)
Olli Malve, Simo Salo, Jouni Lehtoranta ja Matti Verta

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)
Sedimenttiselvitys Kymppivoima Oy:n Elimäen voimalaitoshankkeen ympäristövaikutusten arviointiin liittyen

Julkaisun laji
Tutkimusraportti

Toimeksiantaja
Energia-Ekono Oy

Julkaisun osat

Tiivistelmä
Kymppivoima Oy suunnittelee Elimäelle kaasukombivoimalaitosta, jonka jäähdytysvesiputket perustuksineen ruopataan Kymijoen uomaan. Tämä tutkimus muodostaa osan hankkeen ympäristövaikutusten arviointia. Tutkimuksessa mitattiin elohopean sekä polyklooridibentso-*p*-dioksiinien (PCDD) ja polyklooridibentsofuraanien (PCDF) pitoisuudet rakennuspaikan jokisedimentissä sekä arvioitiin työstä aiheutuvan veden kiintoainepitoisuuden ja kiintoaineessa olevien epäpuhtauksien lisääntymistä ja kulkeutumista Kymijoessa. Samoin arvioitiin ruopattavien massojen sijoituskelpoisuutta. Yhdisteiden kulkeutumisen arvioinnissa käytettiin Kymijoelle kehitettyä yksidimensioista virtaus- ja sedimenttimallia.
Ruopattavien massojen elohopeapitoisuus ei oleellisesti poikkea luonnontilaisesta pitoisuudesta. PCDD/DF-pitoisuudet sen sijaan ylittävät saastuneille maille annetut ohjearvot ja ruopattavat massat on niiden käsittelyn ja sijoittamisen osalta rinnastettava saastuneisiin maa-alueisiin. Noin puolet ruoppausmassoista on kuitenkin puhdasta savikerrostumaa, ja ruoppauksen huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella voitaneen saastuneen ruoppausmassan määrää rajoittaa.
Ruoppauksen ja massojen läjityksen ylivuotovesien vaikutus kiintoaineksen kulkeutumiseen ja pitoisuuksiin arvioitiin lähtöoletuksella, että 10 prosenttia ruoppausmassoista liettyy veteen. Tätä voidaan pitää maksimiarviona. Malliarvion mukaan kiintoainespitoisuuden nousu välittömästi työkohteen alapuolella voi enimmillään olla lyhytaikaisesti 50 prosentin luokkaa. Suurimman osan ruoppausajasta se on kuitenkin noin 10 prosenttia. Ruoppaustyön arvioidaan kestävän noin kuukauden.
Sedimentoituva kiintoainesmäärä ja vedessä kulkeutuvan kiintoaineen PCDD/DF-pitoisuus voi minimivirtaustilanteessa nousta alapuolisilla sedimentaatioalueilla luokkaa noin 10 prosenttia pieneten jokisuulle tultaessa. Maksimivirtaustilanteessa olennaista sedimentaation ja pitoisuuksien lisäystä ei tapahdu.
Malliarvion mukaan ruoppauksen vaikutus on havaittavissa jokivedessä vain ruoppauksen aikana ja muutamia päiviä sen jälkeen. Sedimentin pintakerroksessa kohonneet PCDD/DF-pitoisuudet säilyvät jonkin verran pidempään virtaamaolosuhteista riippuen. Muutokset PCDD/DF-yhdisteiden samoin kuin muiden liettyvien epäpuhtauksien pitoisuuksien osalta ovat ruoppauksen vaikutusalueilla lyhytaikaisia ja vähäisiä verrattuna jokiuomassa jo kulkeutuviin epäpuhtauksiin. Lisäksi muutokset tapahtuvat biologisesti inaktiivisena aikana. Lisäaltistuksen pienuuden huomioonottaen ei ole oletettavaa, että ruoppausten vaikutus ilmenisi mitattavassa määrin alapuolisissa pohjaeläinpopulaatioissa ja kalastossa. Ruoppaus ei myöskään rajoita joen uimakäyttöä.

Asiasanat (avainsanat)
Kymijoki, ruoppaus, ympäristövaikutusten arviointi, polyklooridibentso-*p*-dioksiini (PCDD) ja polyklooridibentsofuraani (PCDF)

Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero
Suomen ympäristökeskuksen moniste no 143

ISBN
952-11-0426-0

ISSN
1455-0792

Kokonaissivumäärä
34

Kieli
Suomi

Hinta

Luottamuksellisuus
julkinen

Jakaja
Suomen ympäristökeskus/asiakaspalvelu
puh. 09-40300100
fax. 09-40300190

Kustantaja
Suomen ympäristökeskus, Energia-Ekono Oy

ISBN 952-11-0426-0
ISSN 1455-0792