

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 492

**ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI REITIN VIRTAUS-
JA VEDENLAATUMALLISOVELLUS: ERI
KUORMITTAJIEN VAIKUTUKSET REITIN
FOSFORIPITOISUUKSIIN**

**Kari Lehtinen
Markku Virtanen**

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 492

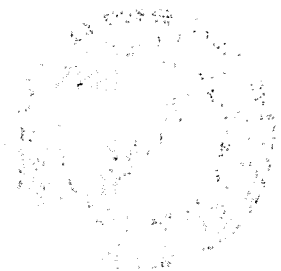
ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI REITIN VIRTAUS- JA VEDENLAATUMALLISOVELLUS: ERI KUORMITTAJIEN VAIKUTUKSET REITIN FOSFORIPITOISUUKSIIN

Kari Lehtinen
Markku Virtanen

Kari Lehtinen Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri,
PL 110, 40101 Jyväskylä
p: 941-697110, Fax: 941-614273

Markku Virtanen YVA Oy, Otaniemen teknologiakylä,
Tekniikantie 17, 02150 Espoo
p: 90-70018680, Fax: 90-70018682

Vesi- ja ympäristöhallitus
Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri
Helsinki 1993



Tekijät ovat vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

Julkaisua saa Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiristä.

ISBN 951-47-7358-6
ISSN 0783-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo,
Helsinki 1993.

Julkaisija

Vesi- ja ympäristöhallitus ja
Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri

Julkaisun päivämäärä

kesäkuu 1993

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)

K. Lehtinen ja M. Virtanen

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)

Äänekoski-Vaajakoski reitin virtaus- ja vedenlaatumallisovellus: Eri kuormittajien vaikutukset reitin fosforipitoisuuksiin

Julkaisun laji

Tutkimusraportti

Toimeksiantaja

Keski-Suomen kauppakamarin
ympäristötyöryhmä

*Toimielimen asettamispaikka**Julkaisun osat**Tiivistelmä*

Tässä tutkimuksessa laadittiin virtaus- ja vedenlaatumallisovellus Äänekoski-Vaajakoski reitille. Mallin avulla arvioitiin alueen fosforikuormittajien vaikutuksia reitin fosforipitoisuuksiin. Tuloksia käytettiin meneillään olevassa Äänekosken sellu- ja paperitehtaan (Metsä-Sellu Oy ja Metsä-Serla Oy) katselmustoimituksessa.

Asiasanat (avainsanat)

Vesistöt, rehevöityminen, fosfori, vesistön kuormitus, hajakuormitus, ravinteet, ympäristövaikutusten arviointi, veden laatu, vedenlaatumallit, virtausmallit, matemaattiset mallit. Äänekoski-Vaajakoski reitti.

*Muut tiedot**Sarjan nimi ja numero*

Vesi- ja ympäristöhallituksen
monistesarja nro 492

ISBN

951-47-7358-6

ISSN

0783-3288

Kokonaissivumäärä

47

Kieli

Suomi

*Hinta**Luottamuksellisuus*

Julkinen

Jakaja

Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri
PL 110, 40101 Jyväskylä

Kustantaja

Vesi- ja ympäristöhallitus
PL 250, 00101 Helsinki

SISÄLLYS

JOHDANTO	7
1 SOVELLUSALUE	7
2 ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN PISTEKUORMITUS VUONNA 1992	10
3 ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN LÄHIVALUMA- ALUEEN FOSFORIHAJAKUORMITUS	10
4 FOSFORIRESUSPENSIO KUHNAMO- JA VATIAJÄRVESTÄ	15
5 SATEEN MUKANA TULEVA FOSFORIKUORMITUS	16
6 VIRTAUS- JA VEDENLAATUMALLI	17
7 ÄÄNEKOSKENKOSKEN TEHTAIDEN VAIKUTUS ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN FOSFORI- PITOISUUKSIIN	22
8 KUHNAMO- JA VATIAJÄRVEN FOSFORIRESUSPENSION VAIKUTUS ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN FOSFORIPITOISUUKSIIN	36
9 ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN LÄHI- VALUMA-ALUEEN HAJAKUORMITUKSEN VAIKUTUS REITIN FOSFORIPITOISUUKSIIN	39
10 YHTEENVETO	41
KIRJALLISUUS	42
LIITTEET	43

JOHDANTO

Keväällä 1991 pidetyssä Keski-Suomen kauppakamarin ympäristötyöryhmän kokouksessa esitettiin ajatus virtaus- ja vedenlaatumallisovelluksesta Päijänteelle. Ympäristötyöryhmässä olivat edustettuina kauppakamarin lisäksi Metsä-Sellu Oy Äänekoskelta, Yhtyneet Paperitehtaat Oy Jämsänkoskelta, IVO Oy, VTT, Keski-Suomen lääninhalitus sekä Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri. Mallityön käynnistämiseen liittyvät käytännön valmistelut annettiin Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiirin tehtäväksi.

Sovellus päätettiin toteuttaa Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiirin ja Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy:n (YVA Oy) yhteistyönä käyttäen YVA Oy:n aineiden kulkeutumista ja sekoittumista kuvaavaa matemaattista tietokonemallia. Mallin kehittäminen aloitettiin 70-luvun alkupuolella VTT:n reaktorilaboratoriossa, jossa jätevesien kulkeutumista tutkittiin merkkiainekokein (YVY 1977). Mallia on tämän jälkeen kehitetty useiden kymmenien sovellusten ja monipuolisten mittausten tuoman kokemuksen perusteella. Kehittäminen on tapahtunut aiemmin VTT:n, nykyisin YVA:n ja vesi- ja ympäristöhallinnon tutkijoiden tiiviinä yhteistyönä.

Jos mallisovellus kattaisi koko Päijänteen, tulisi alueellisesta erotustarkkuudesta huono. Tämän vuoksi päätettiin yhden alueellisesti laajan mallisovelluksen sijaan tehdä kolme pienemmän alueen sovellusta. Mallinnettavat alueet ovat väylä Äänekoski-Haapakoski, Pohjois-Päijänne (Haapakoski-Vanhaselkä) ja Keski-Päijänne (Tiirinselkä-Souselkä). Vedenlaadun osalta keskityttiin kuvaamaan avovesikauden kokonaisfosforipitoisuuksia tehtaiden fosforikuormituksen vaikutusten selvittämiseksi.

Mallin joitakin parametrejä säädettiin siten, että avovesikauden -85 lasketut ja havaitut kokonaisfosforipitoisuudet vastasivat mahdollisimman hyvin toisiaan (kalibrointi). Vaikka -80-luvulla ei ollut todella vähävetisiä vuosia, valittiin vuosi -85 edustamaan vähävetistä kautta. Tällöin Haapakosken virtaama oli keskimäärin 135 m³/s. Vuosi -90 valittiin edustamaan virtaamiltaan keskimääräistä vuotta. Haapakosken keskimääräinen virtaama oli ko. vuonna 157 m³/s pitkän ajan keskiarvon ollessa 155 m³/s. Avovesikauden -90 aineistolla suoritettiin mallin verifiointi.

Tässä tutkimusraportissa selostetaan Äänekoski-Vaajakoski sovelluksen tuloksia. Mallilla arvioitiin, kuinka suuri vaikutus alueen teollisuudella, lähivaluma-alueen hajakuormituksella sekä Kuhnamo- ja Vatiäjärven resuspensiolla on ko. reitin fosforipitoisuuksiin.

Virtausten laskennasta on vastannut erikoistutkija Markku Virtanen YVA Oy:stä ja vedenlaadun laskennasta vanhempi tutkija Kari Lehtinen KSvy:stä. Hajakuormitusarvioinneista ja laskenta-aineiston kokoamisesta on vastannut pääosin apulais-tutkija Paavo Mäkinen KSvy:stä.

Tämän, kaikkiaan kolme mallisovellusta sisältävän projektin kustannuksista vastasivat Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri sekä Yhtyneet Paperitehtaat Oy Jämsänkoski, Metsä-Sellu Oy Äänekoski ja Jyväskylän Seudun Jätevedenpuhdistamo Oy. Kustannukset jakautuivat noin puoliksi vesi- ja ympäristöpiirin ja teollisuuden välillä.

1 SOVELLUSALUE

Äänekoski-Vaajakoski -vesireitti on luonteeltaan hyvin jokimainen. Alueella sijaitsevat järvet ovat kapeita, pitkulaisia ja niiden viipymät ovat muutaman päivän luokkaa Pohjois-

Leppävettä lukuunottamatta (kuva 1). Reitin järvien pinta-alat, keskisyvyydet, tilavuudet ja viipymät on esitetty taulukossa 1 (Granberg et. al. 1986). Vesireitin kokonaispituus on n. 45 km.

Taulukko 1. Äänekoski–Vaajakoski –vesireitin alueen järvien pinta-alat, keskisyvyydet, tilavuudet ja viipymät.

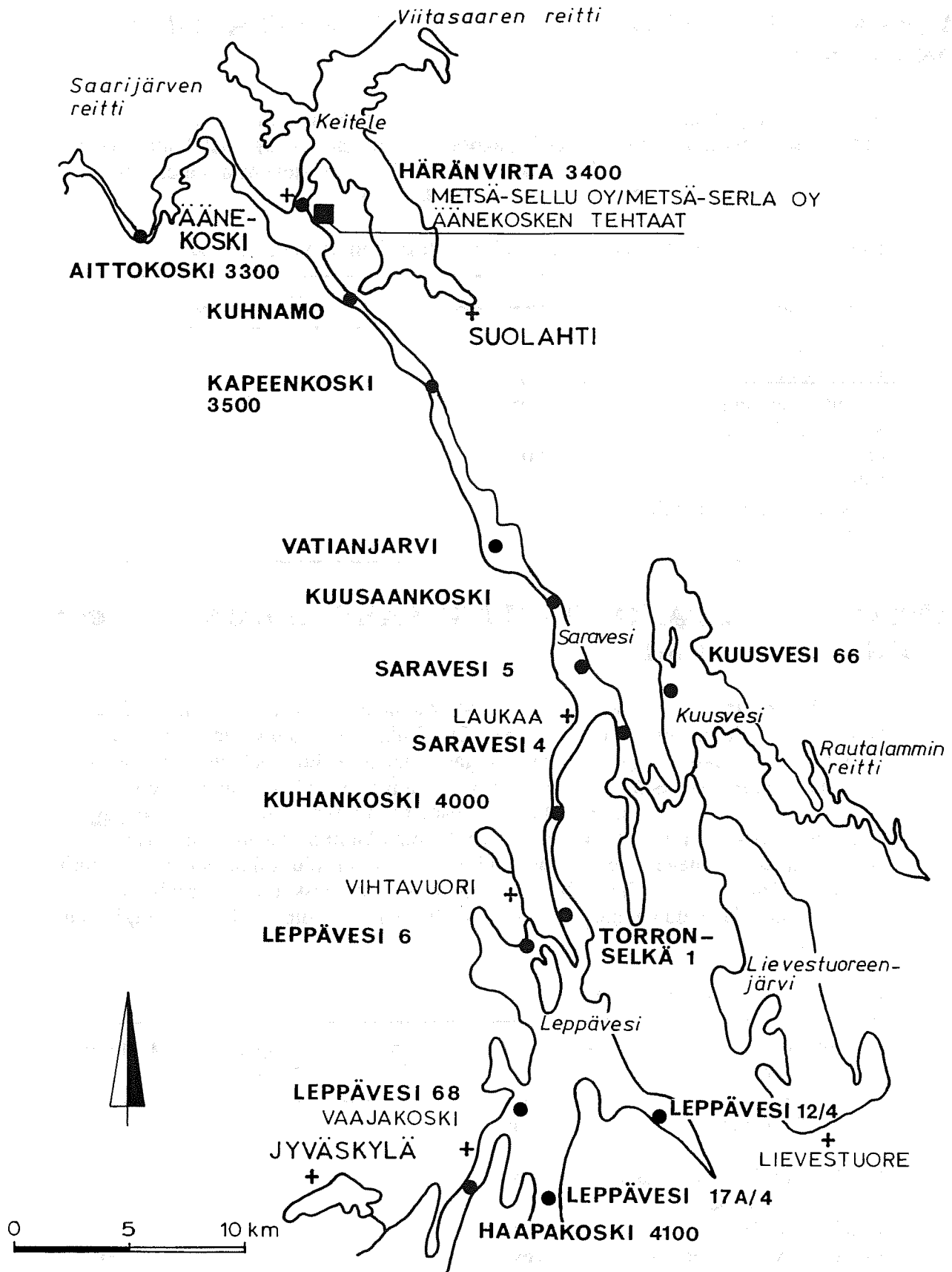
Järvi	Pinta-ala km ²	Keski- syvyys m	Tilavuus milj. m ³	Viipymä keski- virtaaman mukaan
Kuhnamojärvi	3,46	6	20,5	3 vrk
Vatiajärvi	5,50	4	22,6	3 vrk
Pohjois–Saravesi	4,71	3	12,2	2 vrk
Etelä–Saravesi	3,07	8	25,6	2 vrk
Pohjois–Leppävesi	36,00	11	386,0	32 vrk

Alueen pohjoispäähän (Kuhnamojärveen) laskevat Saarijärven ja Viitasaaren reitin vedet. Kuhnamojärvestä vedet virtaavat Kapeenkosken kautta Vatiajärveen, josta edelleen Kuhankosken kautta Saraveteen. Saraveteen laskee myös Rautalammin reitti. Saravedestä vedet virtaavat Kuhankosken kautta Pohjois–Leppäveden, josta edelleen Haapakosken kautta Pohjois–Päijänteeseen. Leppävesi on rautatie- ja maantiesillan kahtiajakama. Vedenvaihdunta Pohjois- ja Etelä–Leppäveden välillä on mahdollista silta-aukkojen kautta. Pienen Toivakan–reitin vedet laskevat Etelä–Leppäveden. Taulukossa 2 on esitetty Äänekoski–Vaajakoski –vesireitille laskevien reittivesistöjen valuma-alueiden pinta-alat, järvisyydet ja keskivirtaamat.

Taulukko 2. Alueelle laskevien reittivesistöjen valuma-alueiden pinta-alat, järvisyydet ja keskivirtaamat (v. 1961–85).

Reittivesistö	Valuma-alue km ²	Järvisyys %	Keski- virtaama m ³ /s 1)
Saarijärven reitti Kiimaskoski	3 025	9,9	29
Viitasaaren reitti Äänekoski	6 305	18,0	51
Rautalammin reitti Simunankoski	6 880	20,7	65

1) Keskivirtaamat aikajaksolta 1961 – 1985.



Kuva 1. Äänekoski-Vaajakoski -vesireitti (mallisovellusalue) sekä vedenlaadun tarkkailupisteet.

2 ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN PISTEKUORMITUS VUONNA 1992

Alueen suurin pistekuormittaja on Metsä-Sellu Oy:n ja Metsä-Serla Oy:n Äänekosken tehtaas. Muita pistekuormittajia ovat Äänekosken ja Suolahden kaupungit, Laukaan kunta, Laukaan keskuskalanviljelylaitos sekä Vihtavuori Oy. Pistekuormittajien BOD- ja fosforikuormitus vuonna 1992 on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Äänekoski-Vaajakoski -reitit pistekuormitus vuonna 1992.

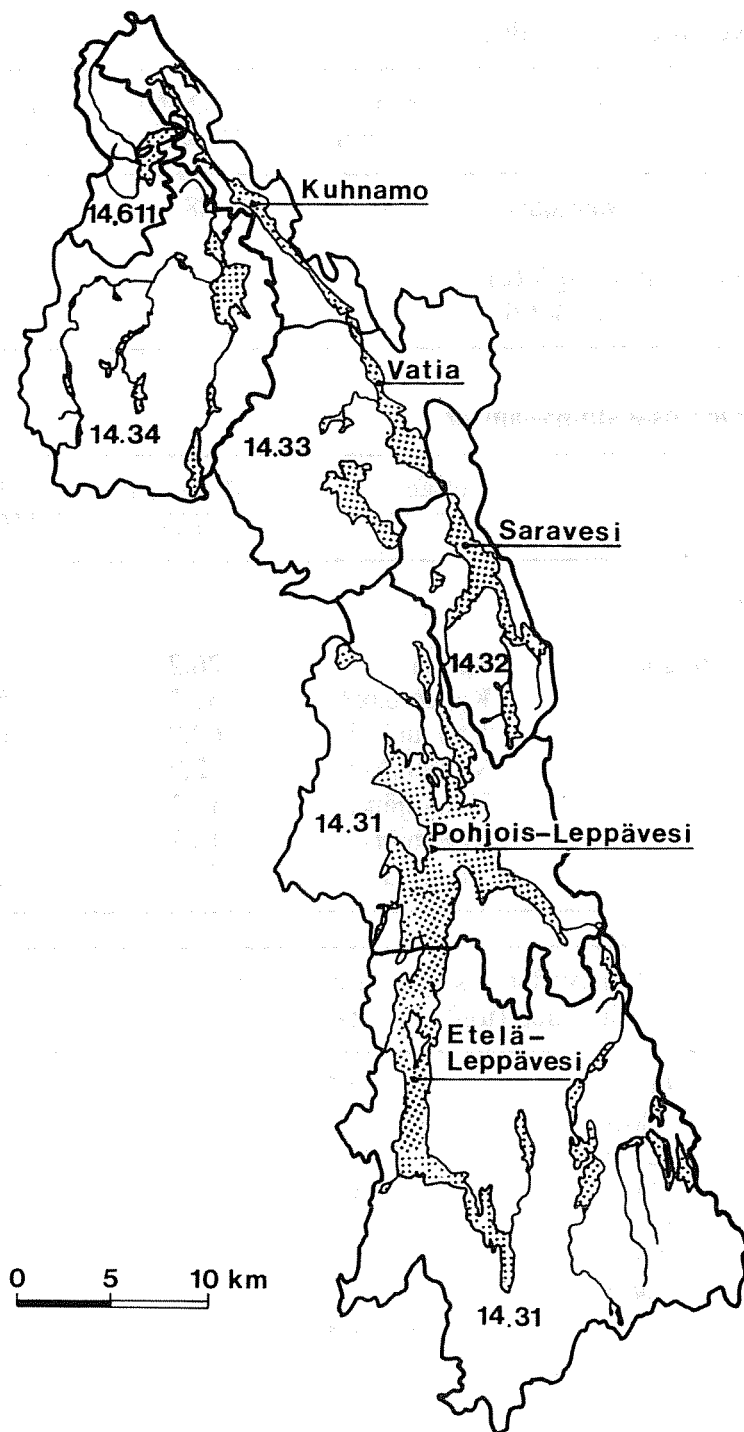
Kuormittaja	BOD ₇ (t/d)	Fosfori (kg/d)
Metsä-Sellu Oy ja Metsä-Serla Oy	2,9	39
Äänekosken kaupunki	0,059	1,9
Suolahden kaupunki	0,016	0,69
Laukaan kunta	0,036	1,1
Vihtavuori Oy	-	0,19
Laukaan keskuskalanviljely- laitos	-	n. 0,55

3 ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN LÄHIVALUMA- ALUEEN FOSFORIHAJAKUORMITUS

Fosforihajakuormitus määritettiin Kuhnamon, Vatian, Saraveden sekä Pohjois- ja Etelä-Leppäveden lähivaluma-alueille (kuva 2). Kuhnamon lähivaluma-alue koostuu Niiniveden (taulukko 4) ja Naarajärven (taulukko 5) valuma-alueista. Vatianjärven osavaluma-alueet on esitetty taulukossa 6 ja Saraveden valuma-alueet taulukossa 7. Pohjois-Leppäveden osavaluma-alueet on esitetty taulukossa 8 ja Etelä-Leppäveden taulukossa 9 (Ekholm, 1993). Valunnan määräksi neliökilometriltä oletetaan 10 l/s. Mikäli valuma-alueelta tulevan veden fosforipitoisuudesta ei ole mittaustietoa, arvioitiin pitoisuus. Taulukoissa esitetty hajakuormitusmäärä on laskettu kertomalla valuma-alueen pinta-ala, valunta neliökilometriltä (10 l/s) ja valumaveden fosforipitoisuus keskenään.

Taulukko 4. Niiniveden osavaluma-alueet.

Vesistöalue Nro	Nimi	Alaraja	Pinta-ala km ²	Q(l/s) (10 l/s/km ²)	Peltopinta- ala (%)
14.34	Niiniveden va	Kuhnamo			
14.341	Niiniveden lähialue	Kuhnamo	33,2	330	31
14.342	Hirvasjoen a	Niinivesi	18,9	190	18
14.343	Iso-Hirvasen va	Iso-Hirvanen	14,4	140	22
14.344	Kylmäpuron va	Niinivesi	5,5	55	20
14.345	Kuorejoen - Häkinjoen a	Niinivesi	18,7	190	33
14.346	Häkinjärven va	Häkinjärvi	35,4	350	18
14.347	Saarijoen va	Häkinjoki	31,9	<u>320</u>	5
			YHT.	1580	
	Valumaveden fosforipitoisuus	24 µg/l			
	Ainevirtaama	3,28 kg/d			



Kuva 2. Kuhnamon, Vatian, Saraveden sekä Pohjois- ja Etelä-Leppäveden lähivaluma-alueet.

Taulukko 5. Naarajärven osavaluma-alueet.

Vesistöalue Nro	Nimi	Alaraja	Pinta-ala km ²	Q(l/s) (10 l/s/km ²)	Peltopinta- ala (%)
14.611	Naarajärven a	Naarajärvi	38,7	387	35
Valumaveden fosforipitoisuus		35 µg/l (a)			
Ainevirtaama		1,20 kg/d			

Taulukko 6. Vatianjärven osavaluma-alueet.

Vesistöalue Nro	Nimi	Alaraja	Pinta-ala km ²	Q(l/s) (10 l/s/km ²)
14.33 Vatianjärven a				
14.331	Vatianjärven lähialue	Kuusa	26,2	260
14.332	Kuhnamon a	Kapeenkoski	55,7	560
14.333	Peurungan va	Vatianjärvi	67,0	670
14.334	Suppaanpuron va	Vatianjärvi	3,7	37
14.335	Sikapuron va	Vatianjärvi	11,1	110
14.336	Rajajoen va	Vatianjärvi	10,1	100
14.337	Haapajoen va	Vatianjärvi	27,9	280

Nro	Peltopinta- ala (%)	Valumaveden fos- foripitoisuus (µg/l)	Ainevirtaama (kg/d)
14.331	28	60(a)	1,34
14.332	23	32(a)	1,54
14.333	20	12(a)	*1,50
14.334	50	60(a)	0,19
14.335	32	60(a)	0,57
14.336	28	32(a)	0,28
14.337	21	60(a)	1,45
			Yht. 6,90

* sisältää 0,8 kg/d kalankasvatuslaitokselta

(a) = arvioitu

Taulukko 7. Saraaveden osavaluma-alueet.

Vesistöalue Nro	Nimi	Alaraja	Pinta-ala km ²	Q(l/s) (10 l/s/km ²)
14.32 Saraaveden a		Kuhankoski		
14.321	Saraaveden lähialue	Kuhankoski	40,8	410
14.322	Vuojärven va	Saraavesi	11,4	115
14.323	Asemalammen va	Saraavesi	11,0	110
14.324	Mataroisen va	Saraavesi	10,6	110
14.325	Hirvijoen va	Saraavesi	4,6	46

Nro	Peltopinta- ala (%)	Valumaveden fos- foripitoisuus ($\mu\text{g/l}$)	Ainevirtaama (kg/d)
14.321	30	35(a)	1,23
14.322	54	35	0,35
14.323	25	35(a)	0,33
14.324	18	14	0,13
14.325	30	35	0,13
			Yht. 2,17

Taulukko 8. Pohjois-Leppäveden osavaluma-alueet.

Vesistöalue		Alaraja	Pinta-ala km^2	Q(l/s) (10 l/s/ km^2)
Nro	Nimi			
14.31	Leppäveden a	Vaajakoski		
14.311	Pohjois-Leppäveden lähialue	Vaajakoski	91,4	914
14.312	Autiojoen va	Leppävesi	23,5	240
14.313	Vihtajoen va	Leppävesi	15,3	150
14.314	Iso Kuhajärven va	Torronselkä	17,8	180
14.315	Pyhtäänjärven va	Leppävesi	22,9	230
14.316	Palvajärven va	Leppävesi	13,4	130

Nro	Peltopinta- ala (%)	Valumaveden fos- foripitoisuus ($\mu\text{g/l}$)	Ainevirtaama (kg/d)
14.311	23	35	2,76
14.312	22	30	0,46
14.313	30	-	1,00
14.314	33	12	0,19
14.315	23	10	0,20
14.316	15	12	0,13
			Yht. 4,70

Taulukko 9. Etelä-Leppäveden osavaluma-alueet.

Vesistöalue		Alaraja	Pinta-ala km^2	Q(l/s) (10 l/s/ km^2)
Nro	Nimi			
14.31	Leppäveden alue	Vaajakoski		
14.311	Etelä-Leppäveden lähialue	Leppävesi	131,0	1310
14.317	Orajoen va	Leppävesi	36,9	370
14.318	Pitkäjoen va	Oravasaarenselkä	145,8	1460
14.319	Raatojoen va	Oravasaarenselkä	13,7	147
				Yht. 3277

Nro	Peltopinta- ala (%)	Valumaveden fos- foripitoisuus ($\mu\text{g/l}$)	Ainevirtaama (kg/d)
14.311	23	14	1,58
14.317	15	14	0,45
14.318	13	14	2,00
14.319	10	14	0,17
			Yht. 4,0

Taulukoissa 4–9 arvioidut hajakuormitusmäärät ovat keskimääräisiä vuorokausikuormituksia. Todellisuudessa hajakuormituksen määrä vaihtelee suuresti vuodenajasta ja sateisuudesta riippuen. Eri kuukausien keskimääräiset vuorokausikuormitukset laskettiin kertomalla keskimääräinen vuorokausikuormitus 365:llä ja jakamalla kyseinen vuosikuormitus kuukausiosuuksiin Ruunapuron keskimääräisten (v. 1961–80) kuukausifosforiainevirtaamien suhteessa. Ruunapuro on Laukaassa sijaitseva pieni valuma-alue, jonka virtaama arvioidaan päivittäin ja fosforipitoisuus mitataan huhti–toukokuussa kerran viikossa ja syys–marraskuussa kahdesti kuukaudessa. Ruunapuron fosforiainevirtaaman keskimääräiset kuukausiosuudet on esitetty taulukossa 10. Ruunapuron kuukausiosuuksilla painotetut eri valuma-alueiden kuukausittaiset fosforiainevirtaamat on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 10. Ruunapuron fosforiainevirtaaman keskimääräiset kuukausiosuudet (%) (v.1961–80).

kk	Ruunapuron totP- ainevirtaama (kg/d*km ²)	Ainevirtaaman osuus koko vuodesta %
1	0,0102	1,48
2	0,0061	0,88
3	0,0095	1,38
4	0,3054	44,27
5	0,1829	26,50
6	0,0155	2,25
7	0,0109	1,58
8	0,0230	3,33
9	0,0277	4,02
10	0,0383	5,55
11	0,0426	6,18
12	0,0177	2,57

Taulukko 11. Äänekoski–Vaajakoski –reitin lähivaluma–alueiden hajakuormitus reitin järvioltaisiin.

kk	Kuhnamo	Vatianjärvi	Saravesi	Pohjois– Leppävesi	Etelä– Leppävesi
1	0,78	1,2	0,38	0,8	0,7
2	0,5	0,8	0,25	0,5	0,5
3	0,7	1,1	0,35	0,8	0,6
4	24,2	37,2	11,7	25,3	21,5
5	14,0	21,5	6,8	14,7	12,5
6	1,37	1,9	0,6	1,3	1,1
7	0,8	1,3	0,4	0,9	0,7
8	1,8	2,7	0,9	1,8	1,6
9	2,2	3,4	1,1	2,3	2,0
10	2,9	4,5	1,4	3,1	2,6
11	3,4	5,2	1,6	3,5	3,0
12	1,4	2,1	0,7	1,4	1,2

Keskiarvo

Kuhnamo	4,5 kg/d	(1643 kg/v)
Vatianjärvi	6,9 kg/d	(2519 kg/v)
Saravesi	2,2 kg/d	(792 kg/v)
Pohjois–Leppävesi	4,7 kg/d	(1716 kg/v)
Etelä–Leppävesi	4,0 kg/d	(1460 kg/v)

Lähivaluma–alueilta tuleva kuormitus on suurinta huhtikuussa, jolloin koko vuoden fosforiainevirtaamasta tulee vesistöön n. 44 %. Toukokuun ainevirtaama on n. 26 %. Kaikenkaikkiaan huhti–toukokuun aikana hajakuormituksesta tulee vesistöön n. 70 % koko vuoden määrästä. Äänekoski–Vaajakoski –vesireitillä suurinta hajakuormitus on Vatianjärven alueella, jossa kuormitus on huhtikuussa keskimäärin n. 37 kg/d ja toukokuussa n. 21 kg/d. Kuhnamon ja Pohjois–Leppäveden lähivaluma–alueilta tuleva kuormitus on molempiin järvioltaisiin huhtikuussa n. 25 kg/d ja toukokuussa n. 15 kg/d. Saraveteen lähivaluma–alueelta tuleva kuormitus on n. puolta pienempi kuin Kuhnamossa ja Pohjois–Leppävedellä ollen huhtikuussa n. 12 kg/d ja toukokuussa n. 7 kg/d. Koska Äänekoski–Vaajakoski –reitin viipymä on noin kuukausi, kevään hajakuormitusvaikutus on ohi ko. reitillä keskikesään mennessä. Vesistön rehevöitymisen kannalta kriittisimpänä aikana keski- ja loppukesällä hajakuormitus lähivaluma–alueilta on melko vähäistä ollen koko Äänekoski–Vaajakoski –reitillä kesä–elokuussa keskimäärin n. 6.4 kg/d.

4 FOSFORIRESUSPENSIO KUHNAMO– JA VATIAJÄRVESTÄ

Ainetaselaskelmiin perustuen (Pohjonen 1989) on voitu todeta Kuhnamosta ja Vatiasta irtaantuvan pohja–ainesta tarpeeksi suurilla virtaamilla. Virtaaman ja pohjasta irtaantuvan fosforin välille on saatu seuraavat yhtälöt:

$$\text{Kuhnamojärvi } Y = 4,628 * \ln(Q-82.114) , \text{ sel.aste } 94 \% \quad (1)$$

$$\text{Vatijärvi } Y = 0.945 * \sqrt{(Q-81,8)} - 3.84 , \text{ sel.aste } 82 \% \quad (2)$$

$$Y = mg P / m^2 * d$$

Kuhnamojärven pinta-ala välillä Äänekosken tehtaat – Lujiansaari on n. $354 * 10^4 \text{ m}^2$. Vatijärven pinta-ala välillä Kapeenkoski – Kuusaa on n. $589 * 10^4 \text{ m}^2$. Yhtälön 1 mukaan pohja-ainesta irrottava kynnysvirtaama on Kuhnamossa n. $82 \text{ m}^3/\text{s}$ ja Vatiassa n. $99 \text{ m}^3/\text{s}$. Kuhnamossa yhtyvät Saarijärven ja Viitasaaren reitin vedet. Pitkäaikaisten (v. 1961–85) keskiarvojen mukaan reittivesistöjen yhteenlaskettu virtaama ylittää selvästi resuspensiota aiheuttavan kynnysvirtaaman keskimäärin vain touko- ja kesäkuussa (taulukko 12).

Taulukko 12. Saarijärven (Hietamankoski) ja Viitasaaren (Äänekoski) reitin yhteenlasketut keskimääräiset kuukausivirtaamat (v. 1961–85) sekä virtaaman aiheuttama fosforin resuspensio Kuhnamossa ja Vatiassa.

kk	Virtaama (m/s)	Fosforin resuspensio (kg/d)		yht.
		Kuhnamo	Vatia	
1	78	0	0	0
2	69	0	0	0
3	62	0	0	0
4	67	0	0	0
5	102	64	17	81
6	107	53	5	58
7	85	17	0	17
8	72	0	0	0
9	67	0	0	0
10	66	0	0	0
11	76	0	0	0
12	79	0	0	0

5 SATEEN MUKANA TULEVA FOSFORIKUORMITUS

Suoraan vesistöön sateen mukana tuleva fosforikuormitus arvioitiin Laukaassa sijaitsevan tarkkailuaseman havaintojen perusteella. Vuosina 1980–91 totP-laskeuma vaihteli Laukaassa välillä $8\text{--}24 \text{ kg}/\text{km}^2/\text{vuosi}$ keskiarvon ollessa $16 \text{ kg}/\text{km}^2/\text{vuosi}$ (taulukko 13). Äänekoski–Vaajakoski –reitin eri osa-alueiden pinta-alat on esitetty taulukossa 14. Jos oletetaan talvella jään päälle sataneen lumen joutuvan vesistöön keväällä jäiden lähdettyä, saadaan keskimääräiseksi kuormitukseksi avovesikautena (220 vrk) koko reitin alueelle n. $4 \text{ kg}/\text{d}$ (taulukko 14).

Taulukko 13. Sadannan mukana tuleva fosforikuormitus Laukaan havaintoasemalla vuosina 1980–91.

Vuosi	totP (kg/km ² /v)
1980	22
1981	18
1982	15
1983	24
1984	16
1985	13
1986	17
1987	8
1988	10
1989	16
1990	13
1991	16
KESKIARVO 16 kg/km ² /v	

Taulukko 14. Äänekoski–Vaajakoski –reitien eri osa-alueiden pinta-alat ja alueille sateen mukana tuleva fosforikuormitus.

Alue	Pinta-ala (10 ⁴ m ²)	Sateen mukana tuleva fosforikuormitus (kg/d)
Kuhnamo	511	0,4
Vatia	589	0,4
Saravesi	988	0,7
Pohjois-Leppävesi	3771	2,7
Yht.	5859	4,2

6 VIRTAUS- JA VEDENLAATUMALLI

Tässä tutkimuksessa sovellettiin 3-dimensioista virtaus- ja vedenlaatumallia (Koponen 1984). Vesireitin jokimaisuuden vuoksi myös yksinkertaisempien (1-dimensioiset) mallien käyttö on perusteltua ko. alueella. Nyt sovelletun mallin etuna ns. yksinkertaisiin malleihin verrattuna on sen kyky ottaa huomioon simulointijakson aikaiset olosuhdemuutokset (esim. virtaamamuutokset). Yksinkertaisissa malleissa olosuhdetiedot ovat vakioita koko simulointijakson ajan.

Aineiden kulkeutuminen ja laimeneminen riippuvat ratkaisevasti vesistön virtauksista. Tässä sovelluksessa huomioidaan alueelle tulevien reittivesistöjen lisäksi tuulen aiheuttama virtaus. Tosin tuulen aiheuttama virtaus on kulkeutumisen kannalta vähäistä reitin jokimaisuuden takia. Ns. perusvirtauskentistä lasketaan lineaarisesti interpoloiden todellisia virtaama ja tuulitilanteita vastaavat virtauskentät. Perusvirtauskentät laskettiin virtaamalla Saarijärven reitti 28 m³/s, Viitasaaren reitti 61 m³/s ja Rautalammin reitti 73 m³/s. Tuulikentät laskettiin tuulen suunnilla 270° ja 360° nopeuden ollessa 5 m/s. Kuvassa 3 on esitetty sovellusalueen yksinkertaistettu hilarakenne ylhäältäpäin katsottuna sekä

yhden metrin paksuisen vesikerroksen keskimääräiset virtausnopeudet kussakin hilaruudessa edellä mainitussa virtaamatilanteessa. Kuvassa 3 ei näy laskennassa huomioituja hilakoon vaihteluita todellisten vesipinta-alojen mukaan. Kuvassa ei myöskään näy reitin todelliset kulkusuuntien vaihtelut.

Sovelluksen hilakoko vaihteli välillä 100 m * 100 m – 2000 m * 2000 m. Hilaruutuja oli virtaussuunnassa 46 kpl ja leveysuunnassa 6 kpl. Syvyysuunnassa vesistö oli jaettu 10 kerrokseen kerrosrajojen ollessa syvyyksillä 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 25, 100 m (kuva 3).

Tässä työssä käytetty vedenlaatumalli pohjautuu pääosin VENLA-malliin (TESI 1981), mutta hyödyntää myös FINNECO-mallin (Kinnunen et. al., 1983) käyttökokemuksia. Vaikka tämä tutkimus keskittyi fosforipitoisuuksien kuvaamiseen vesistössä, voidaan malliin sisällyttää useita eri vedenlaatumuuttujia. Fosforin lisäksi muita yleisimmin käytettyjä muuttujia ovat biologinen hapenkulutus (BOD_7) ja happi (O_2).

Fosforin kuvaustapa mallissa on melko yksinkertainen. Sen on kuitenkin katsottu olevan riittävä, sillä kuormituksen laimentuminen määrää pääosin pitoisuusvaikutuksen. Sekoittumisen (laimentumisen) ohella fosforipitoisuuden vaikuttavista tekijöistä mallissa on huomioitu fosforin sedimentoituminen. Fosforin käyttäytymistä vesistössä kuvataan yhtälöllä:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u \frac{\partial c}{\partial x} - v \frac{\partial c}{\partial y} - w \frac{\partial c}{\partial z} + D_H \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_H \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_V \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + S_c + L_c \quad (3)$$

c = aineen pitoisuus

D_H, D_V = horisontaalinen ja vertikaalinen pyörrediffuusiokerroin

S_c = biologis-kemiallisten prosessien aiheuttamat pitoisuusmuutokset

L_c = aineen ulkoinen kuormitus

Lauseke $-u \frac{\partial c}{\partial x} - v \frac{\partial c}{\partial y} - w \frac{\partial c}{\partial z}$ kuvaa aineen kulkeutumista virtauksen mukana,

lauseke $+D_H \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_H \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_V \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$ sekoittumista turbulenssin vaikutuksesta,

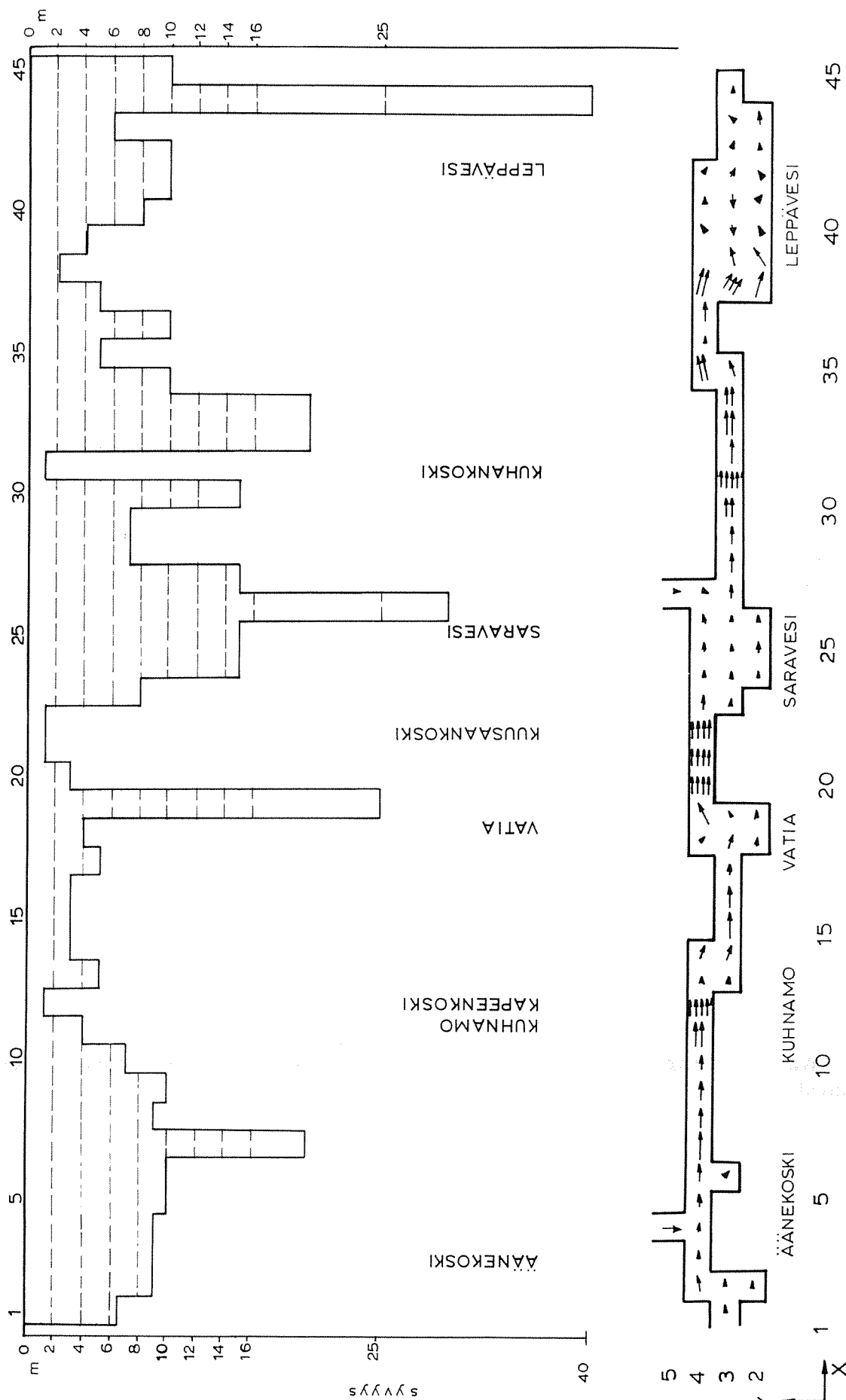
termi S_c sisältää fosforin sedimentaation (yhtälö 4).

$$\frac{d \text{TOTP}}{dt} = \frac{-\text{SEDP}}{h} * (\text{TOTP})^2 \quad (4)$$

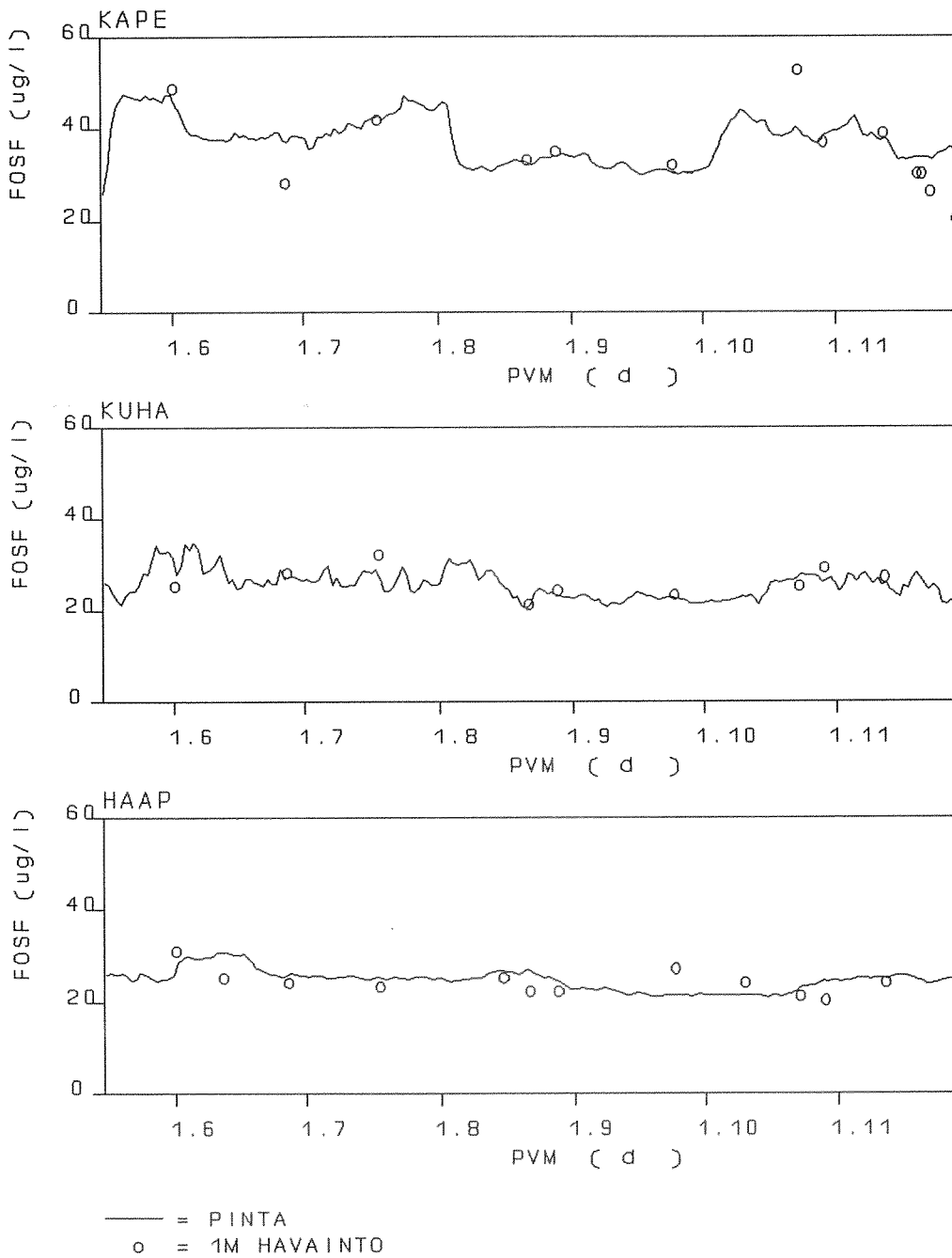
TOTP= kokonaisfosforipitoisuus

SEDP = nettosedimentaatiokerroin (0.15 cm/d/($\mu\text{g/l}$))

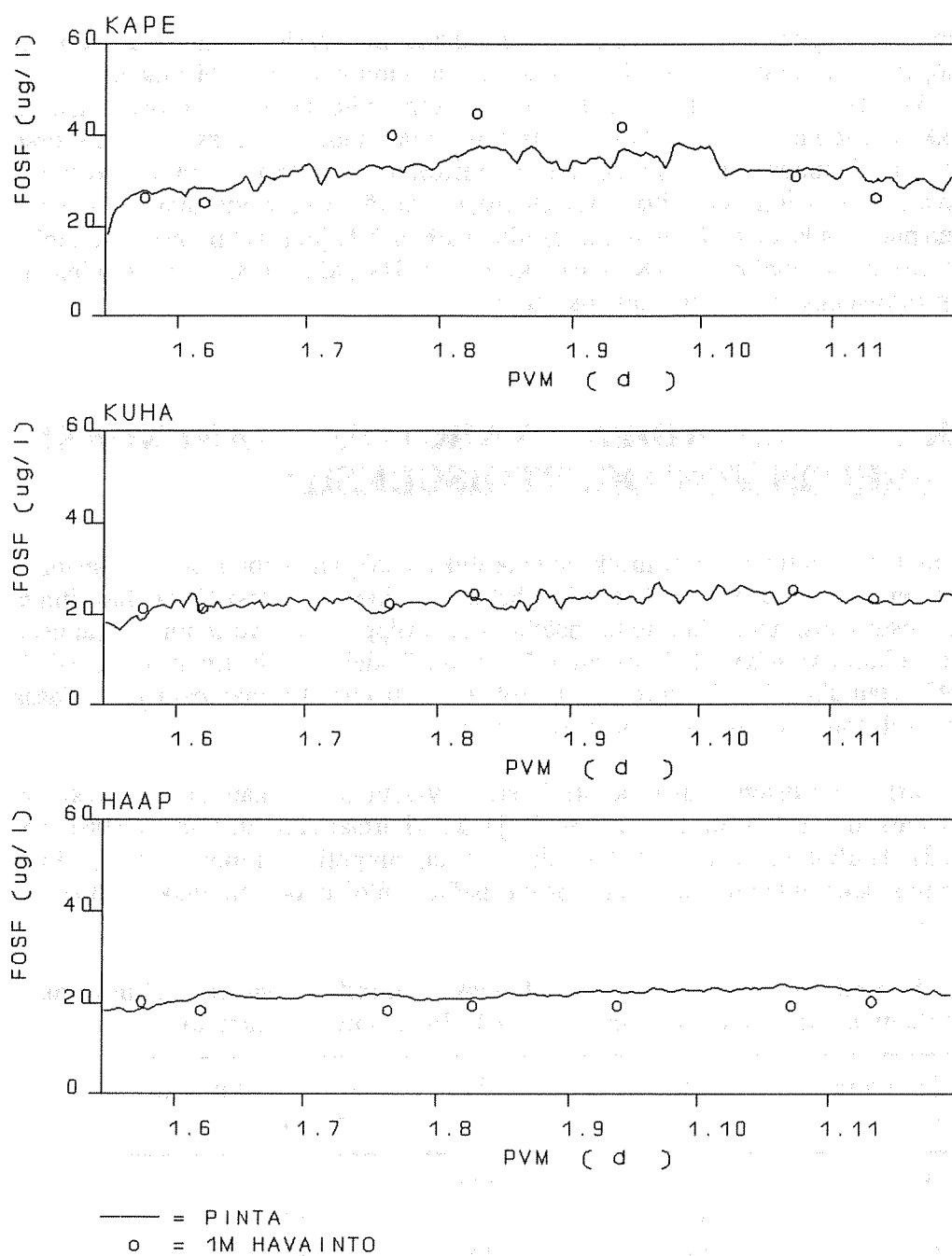
Käytännössä virtaus- ja vedenlaatumallin kalibrointia ei voida erottaa toisistaan. Tässä tapauksessa mallialueelta ei ollut käytettävissä varsinaisia virtausmittaustietoja. Virtauslaskennan onnistuneisuus selvitettiin vertaamalla laskettuja ja havaittuja fosforipitoisuuksia toisiinsa Kapeen-, Kuhan- ja Haapakoskessa. Kalibrointijakso oli avovesikausi v. -85 ja verifiointijakso avovesikausi v. -90. Tulosten mukaan (kuvat 4-5) mallin kyky kuvata reitin fosforipitoisuutta on riittävä. Suurimmat erot laskettujen ja havaittujen pitoisuuksien olivat Kapeenkoskessa. Kapeenkoski sijaitsee n. 6 km päässä tehtaiden purkupaikasta.



Kuva 3. Äänekoski-Vaajakoski -reitien pintakerroksen (0-1 m) virtauskenttä Saarijärven reitti 28 m³/s, Viitasaaren reitti 61 m³/s ja Rautalammin reitti 73 m³/s sekä sovellusalueen jako kerroksiin syvyysuunnassa.



Kuva 4. Havaittu ja laskettu kokonaisfosforipitoisuus pinta- (0–2 m) ja pohjakerroksessa avovesikaudella –85 (kalibrointi).



Kuva 5. Havaittu ja laskettu kokonaisfosforipitoisuus pinta- (0–2 m) ja pohjakerroksessa avovesikaudella -90 (verifiointi).

Purkualueen läheisyydestä johtuen esim. kuormituksen määrässä tapahtuvat muutokset näkyvät nopeasti ja melko selvinä Kapeenkosken havaintopaikan pitoisuuksissa. Kun vesinäyte kuvastaa aina vain näytteenottohetken pitoisuutta vedessä, mallin kuvaustarkkuus riippuu mm. annettujen kuormitusten tarkkuudesta. Tässä sovelluksessa käytettiin keskimääräisiä kuukausikuormituksia, joten lyhytkestoisista kuormitusvaihteluista johtuvia pitoisuusvaihteluja vesistössä ei voida mallilla kuvata. Kauempana purkupaikasta hetkellisistä kuormitusvaihteluista johtuvat pitoisuusvaihtelut eivät näy kovin voimakkaina (Kuhankoskessa ja Haapakoskessa), laskettujen ja havaittujen pitoisuuksien yhteensopivuus oli hyvä.

7 ÄÄNEKOSKEN TEHTAIDEN VAIKUTUS ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN FOSFORIPITOISUUKSIIN

Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen vaikutukset näkyvät alapuolisessa vesistössä rehevöitymisen kannalta voimakkaimmin heinä-syyskuussa. Vesistössä havaittava tehtaiden pitoisuusvaikutus on kuormitusmäärän lisäksi riippuvainen vesireitin virtaamista. Selvimmin vaikutukset näkyvät alivirtaamatilanteessa. Todella vähävetinen kesäkausi oli vuonna 1978 (taulukko 15). Tällöin huhti-elokuun virtaamat Kuhnamossa ja Vatiassa olivat esim. selvästi alle resuspensiokynnysvirtaaman.

Tehtaiden eri suuruisten fosforikuormitusten vaikutuksia alapuolisen vesistön fosforipitoisuuksiin arvioitiin ali- (v.1978) ja keskivirtaamatilanteessa (v.1961-85, taulukko 12). Tuuliolosuhteet (Tikkakoskelta), veden lämpötilat ja muu kuin tehtaiden pistekuormitus sekä alueelle laskevien reittivesistöjen pitoisuudet (taulukko 16) olivat vuodelta -90.

Taulukko 15. Äänekoski-Vaajakoski -reitille laskevien reittivesistöjen keskimääräiset kuukausivirtaamat huhti-marraskuussa vuonna 1978 (alivirtaamatilanne).

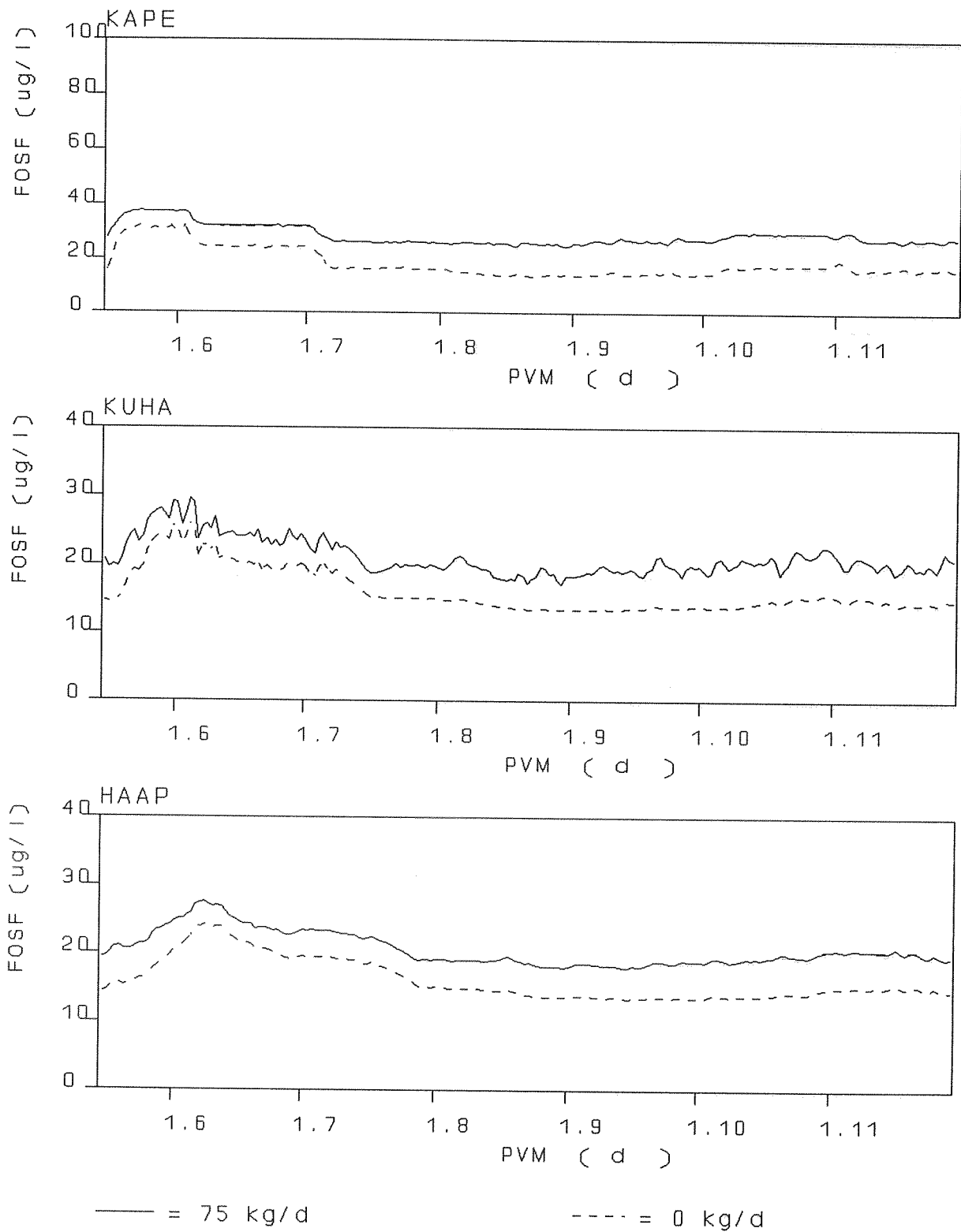
kk	Saarijärven reitti (m ³ /s)	Viitasaaren reitti (m ³ /s)	Yht.	Rautalammin reitti (m ³ /s)
4	18	33	(51)	49
5	22	32	(54)	52
6	22	31	(53)	42
7	15	31	(46)	33
8	7	30	(37)	26
9	7	28	(35)	23
10	16	27	(43)	20
11	17	26	(43)	21

Tehtaiden fosforikuormitusvaikutuksia tarkasteltiin kuormitusmäärillä 75, 60, 50, 40, 30 ja 20 kg/d. Vaikutus koko avovesikautena on esitetty aikasarjakuvina (kuvat 6-17) Kapeen-, Kuhan- ja Haapakoskesta. Levänkasvun kannalta kriittisimpänä aikana heinä-syyskuussa vaikutuksia on arvioitu kyseisen ajanjakson keskimääräisenä pitoisuusvaikutuksena Kapeen-, Kuusaan-, Kuhan- ja Haapakoskessa (liitteet 1 ja 2).

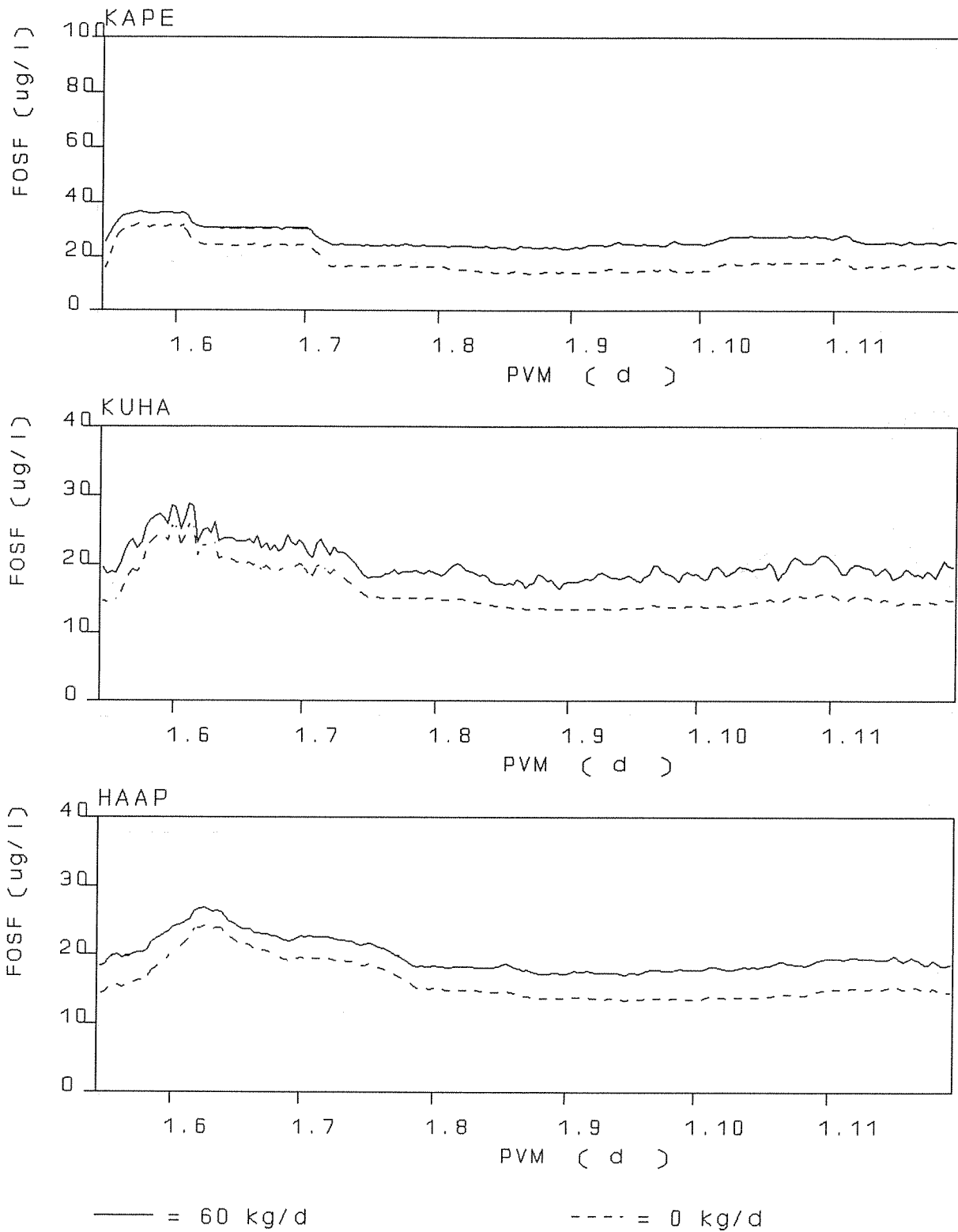
Taulukko 16. Äänekoski-Vaajakoski -reitille tulevien reittivesistöjen fosforipitoisuudet avovesikautena 1990.

pvm	Saarijärven reitti	Viitasaaren reitti	Rautalammin reitti
5.4.	38	8	11
14.5.	37	9	-
22.5.	36	8	13
5.6.	31	11	15
19.7.	28	7	14
8.8.	21	9	-
22.10.	26	11	-
10.11.	24	7	11

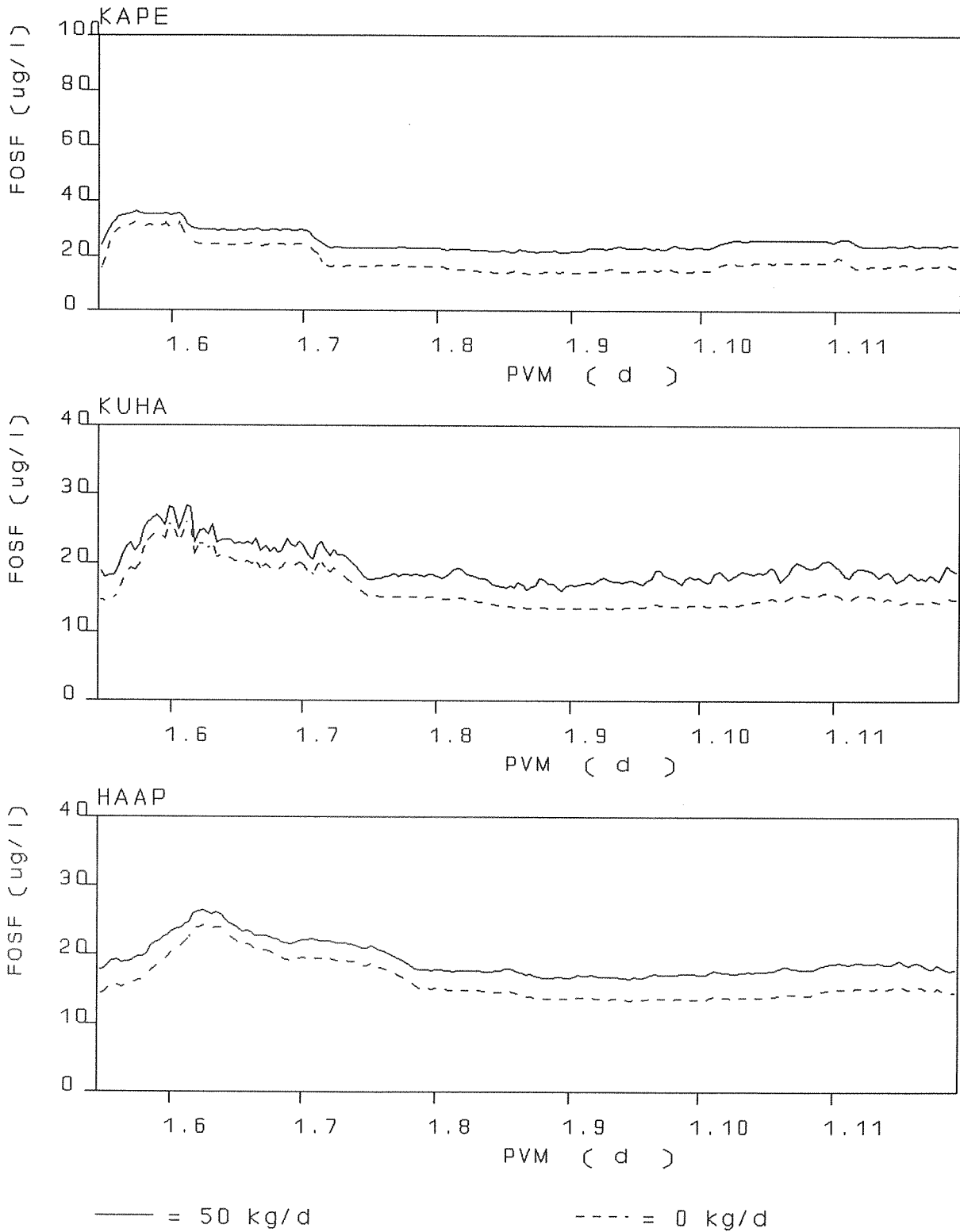
Aikasarjakuvista voidaan havaita, että keväällä, jolloin virtaamat ovat suurempia kuin muina aikoina, tehtaiden pitoisuusvaikutus on pienimmillään. Ajanjakson 1.7–30.9 keskimääräinen pitoisuusvaikutus (liitteet 1 ja 2) keskivirtaamatilanteessa tehtaiden kuormituksella 75 kg/d on Kapeenkoskessa 11.2 µg/l, Kuusaankoskessa 10.4 µg/l, Kuhankoskessa 5.1 µg/l ja Haapakoskessa 4.5 µg/l. Fosforikuormituksen väheneminen määrällä 10 kg/d merkitsee fosforipitoisuuden alenemista Kapeenkoskessa 1.5 µg/l, Kuusaankoskessa 1.4 µg/l, Kuhankoskessa 0.7 µg/l ja Haapakoskessa 0.6 µg/l. Alivirtaamatilanteessa kuormituksen 75 kg/d pitoisuusvaikutukset ovat vastaavissa paikoissa 19.9 µg/l, 16.4 µg/l, 8.9 µg/l ja 6.7 µg/l. Fosforikuormituksen väheneminen määrällä 10 kg/d merkitseet samoissa paikoissa fosforipitoisuuden alenemista 2.6 µg/l, 2.1 µg/l, 1.2 µg/l ja 0.9 µg/l.



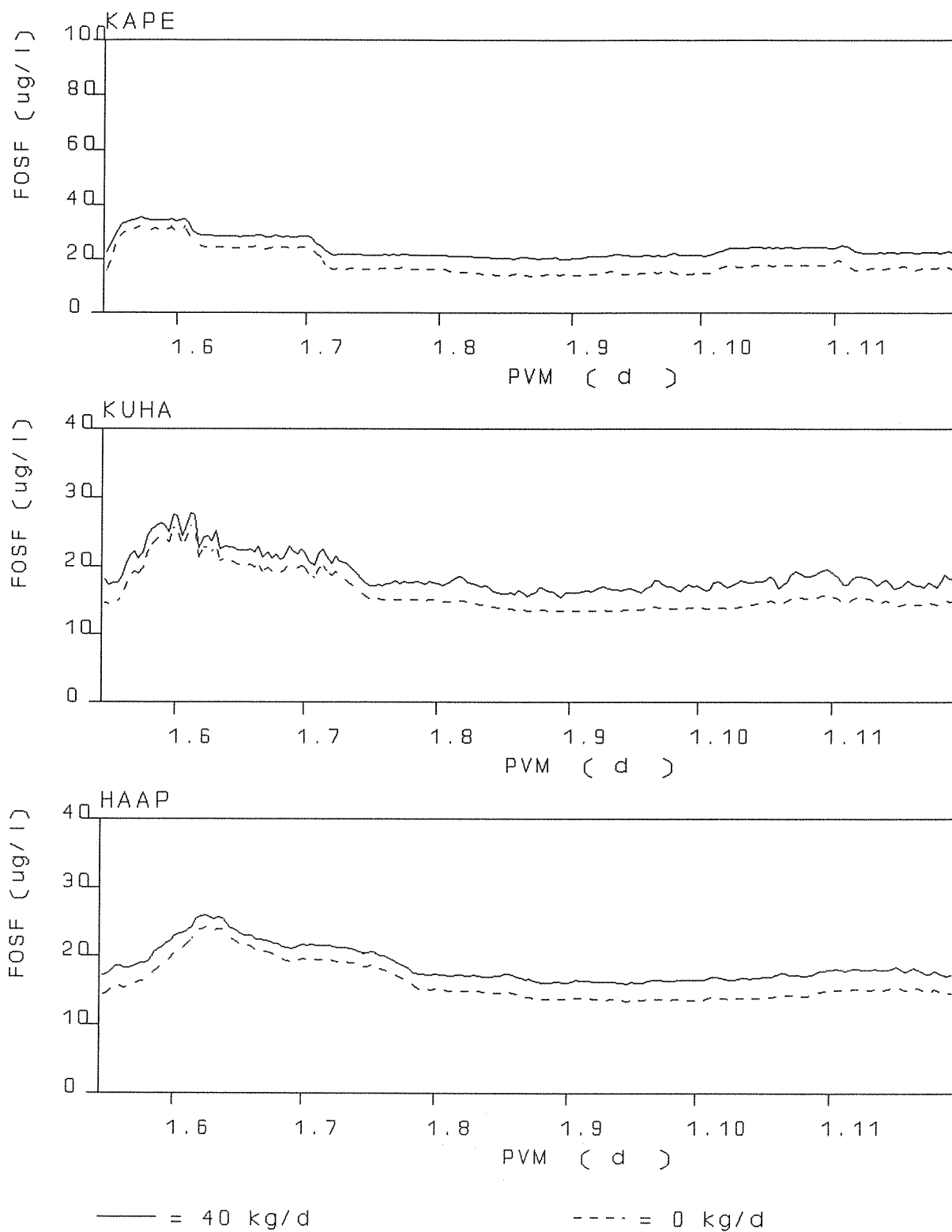
Kuva 6. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 75 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin keskivirtaamatilanteessa (vertailutilanteen tehtaannollakuormitus).



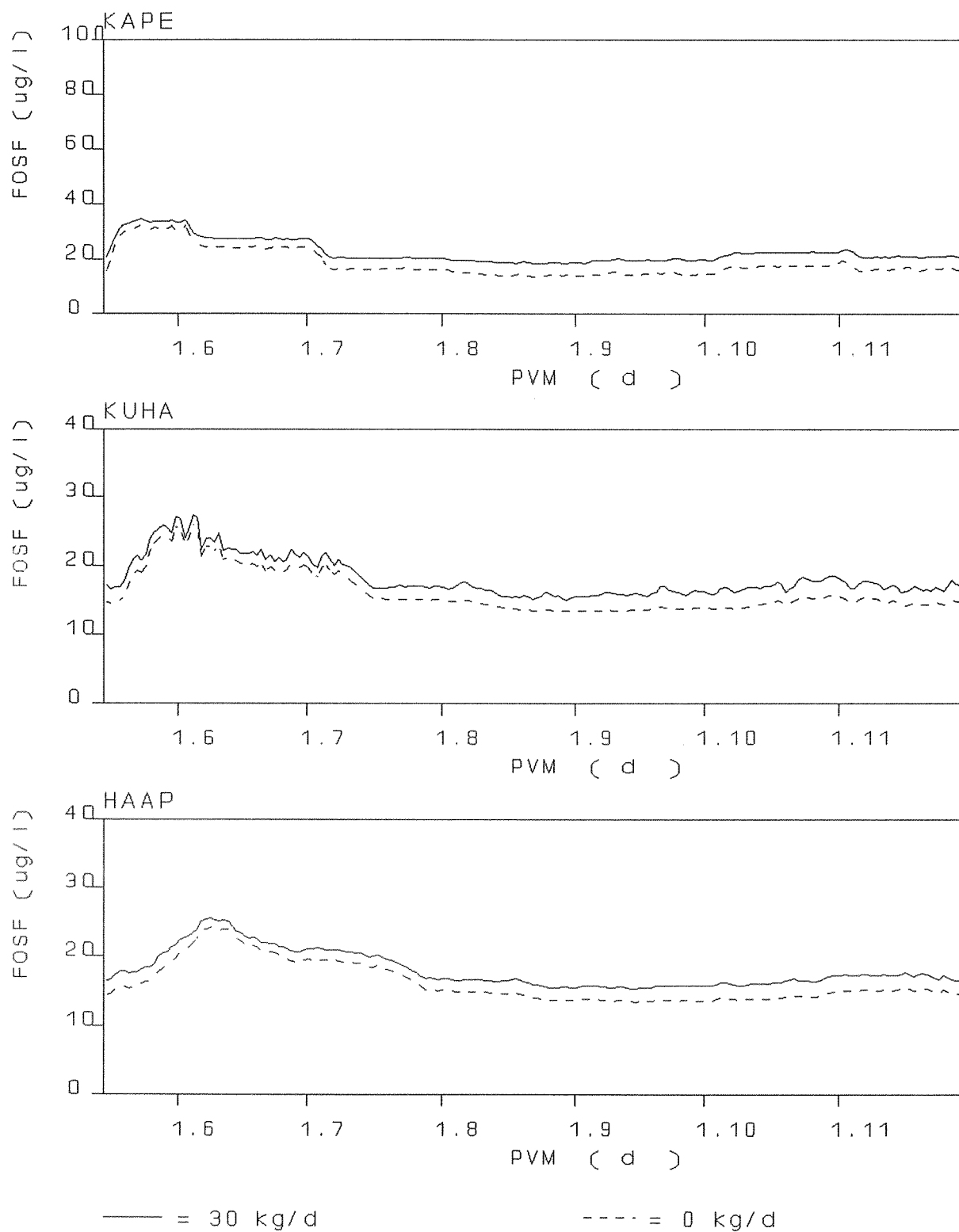
Kuva 7. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 60 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin keskivirtaamatilanteessa (vertailutilanteen tehtaannollakuormitus).



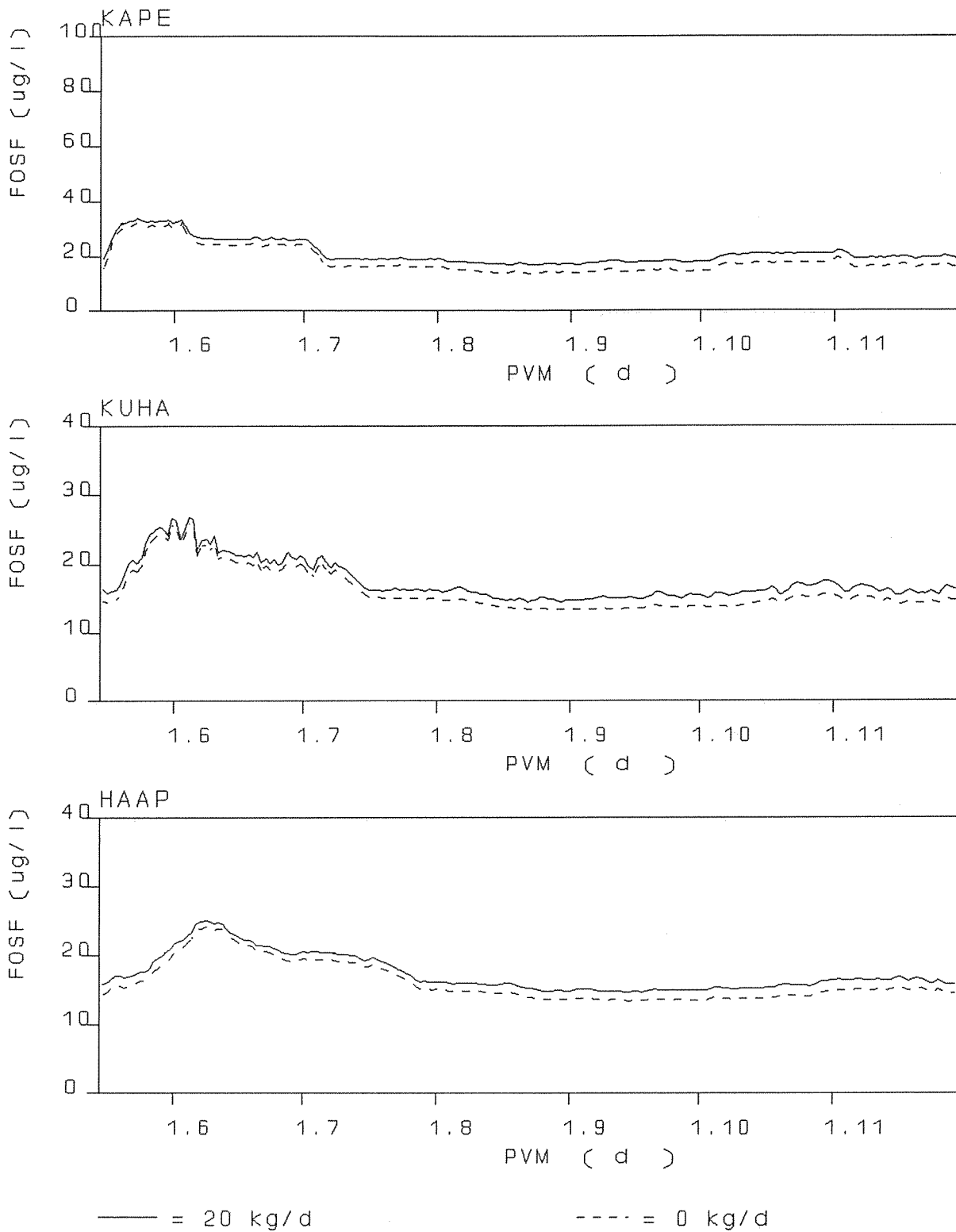
Kuva 8. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 50 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuhan- ja Haapakoskenfosforipitoisuuksiin keskivirtaamatilanteessa (vertailutilanteen tehtaannollakuormitus).



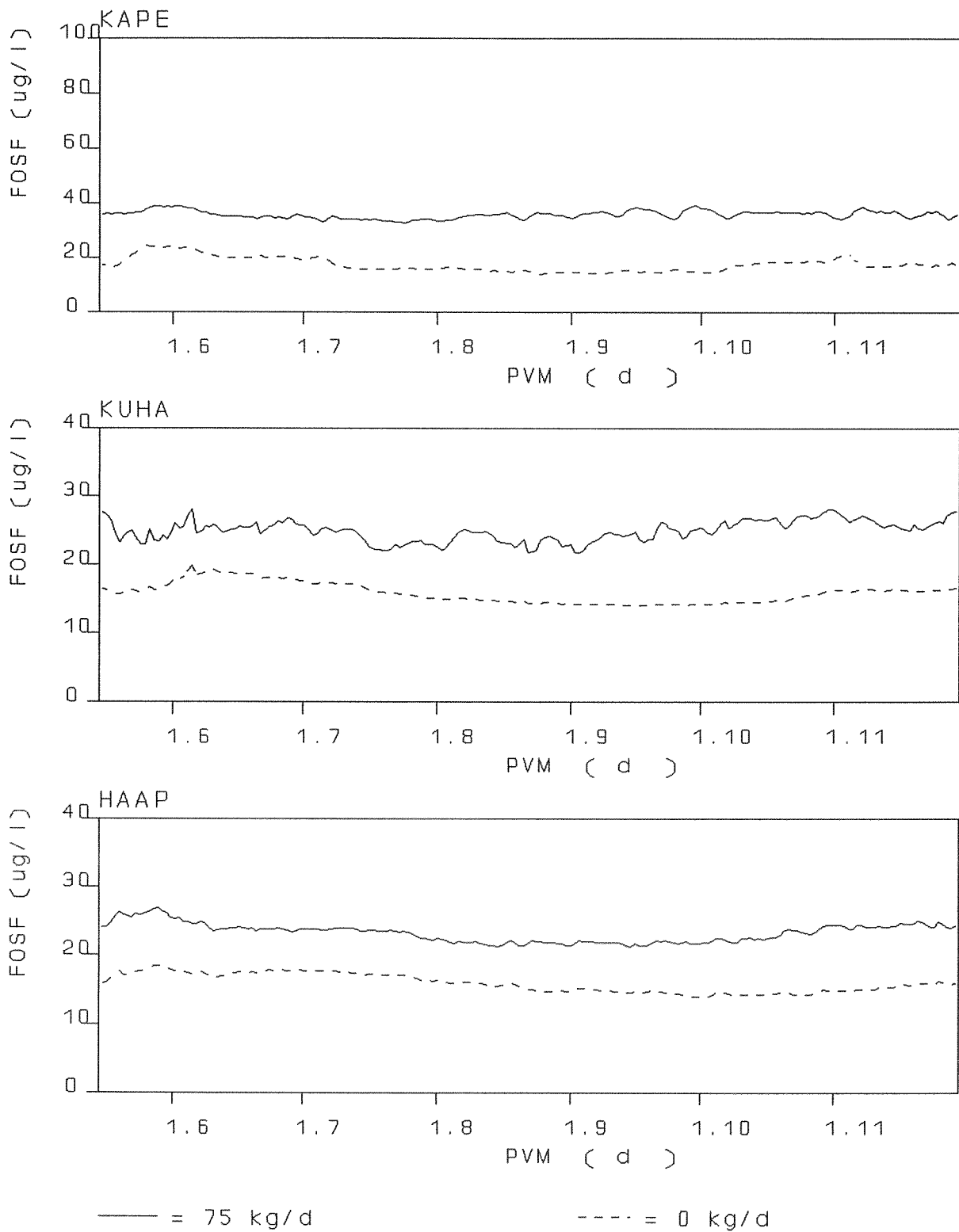
Kuva 9. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 40 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin keskivirtaamatilanteessa (vertailutilanteen ahteannollakuormitus).



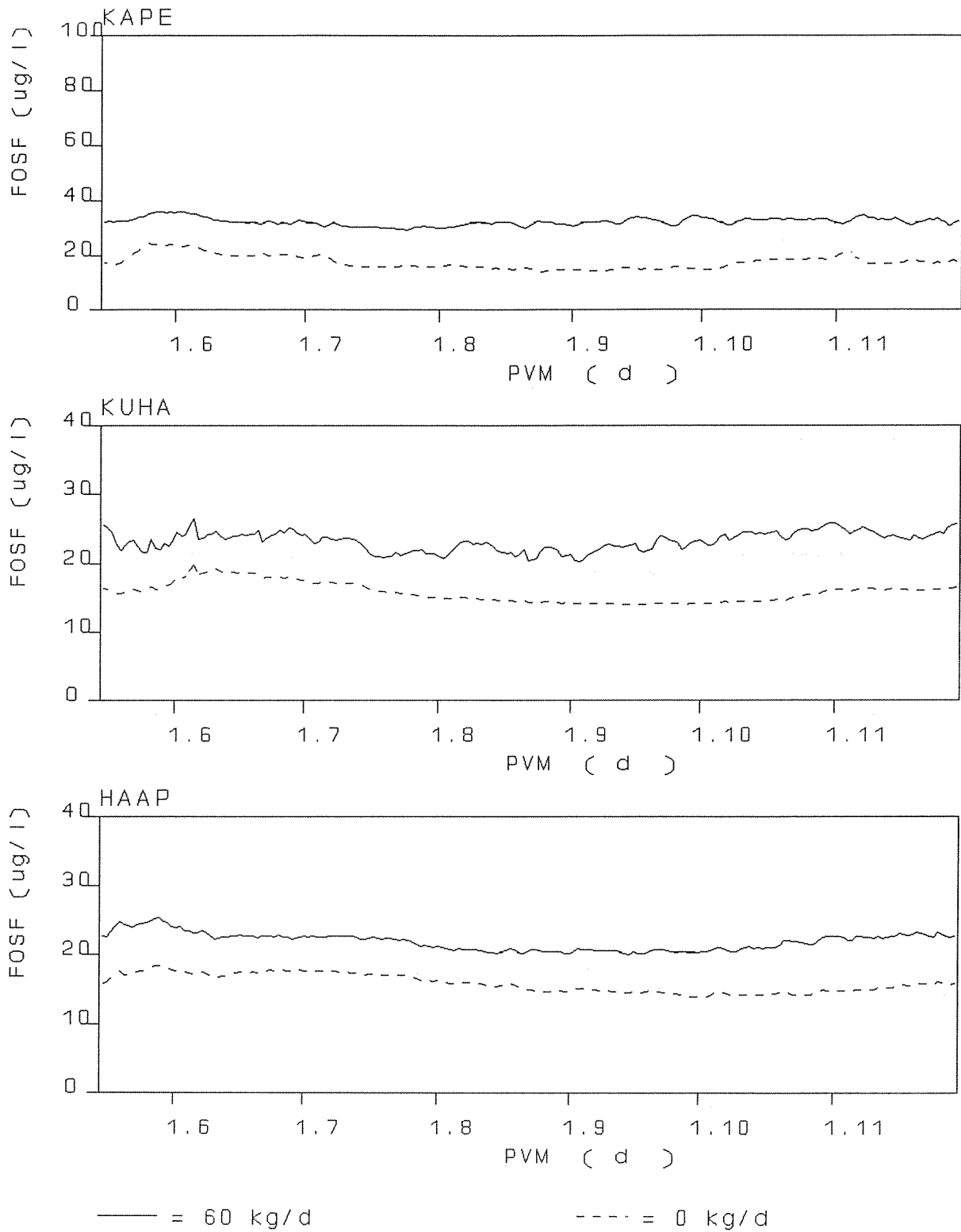
Kuva 10. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 30 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin keskivirtaamatilanteessa (vertailutilanteen tehtaannollakuormitus).



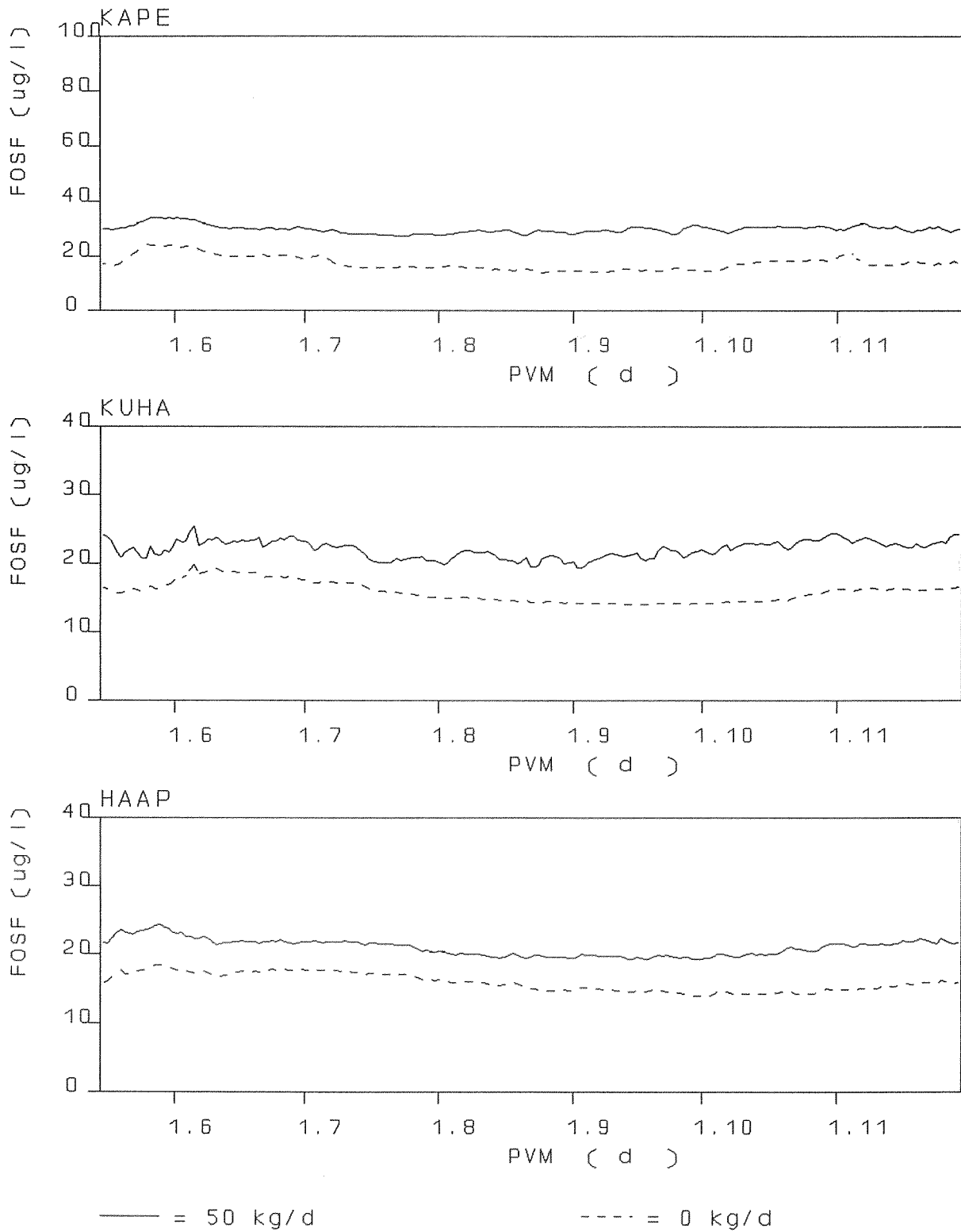
Kuva 11. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 20 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin keskivirtaamatilanteessa (vertailutilanteen tehtaannollakuormitus).



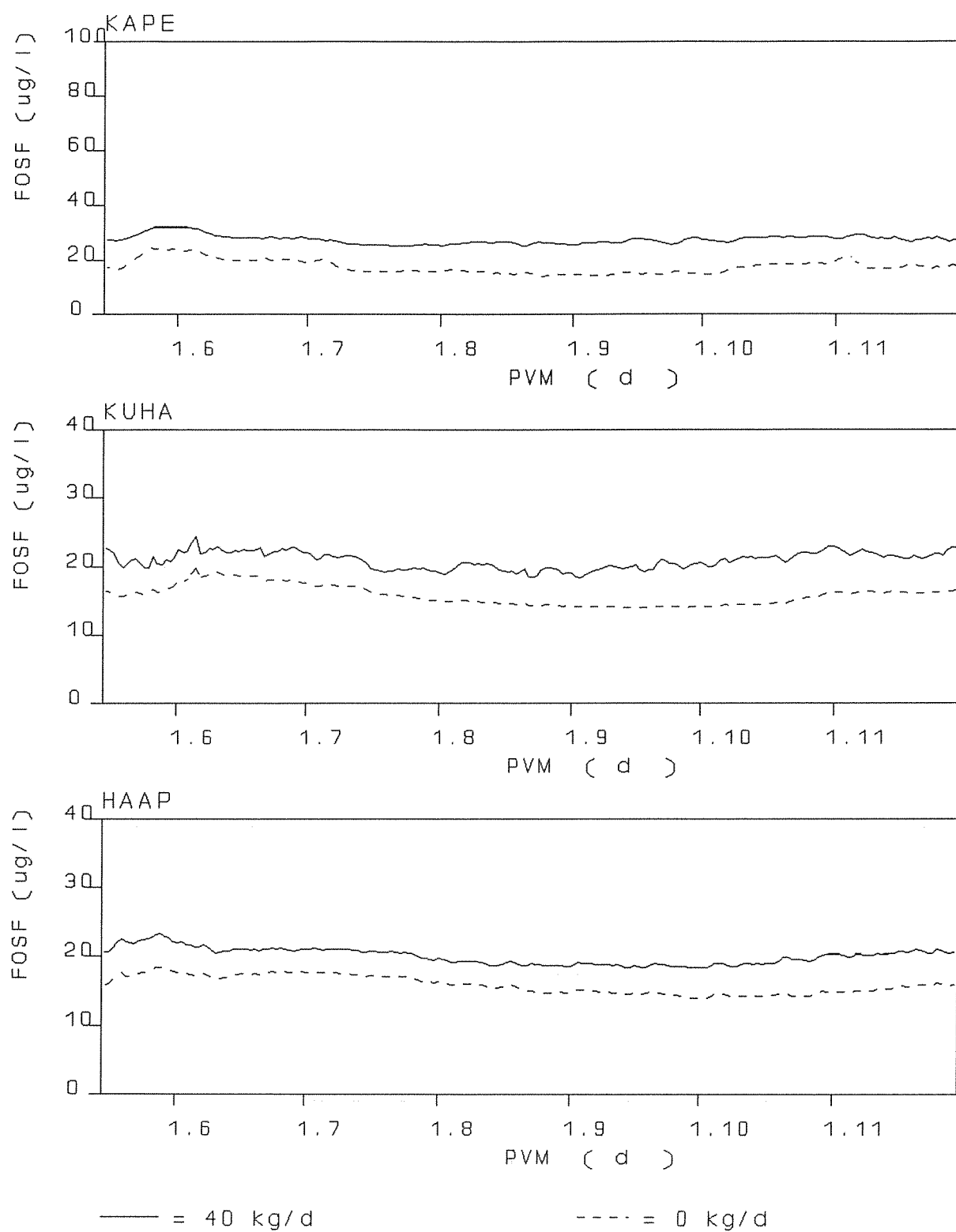
Kuva 12. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 75 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin alivirtaamatilanteessa (vertailutilanteena tehtaan nollakuormitus).



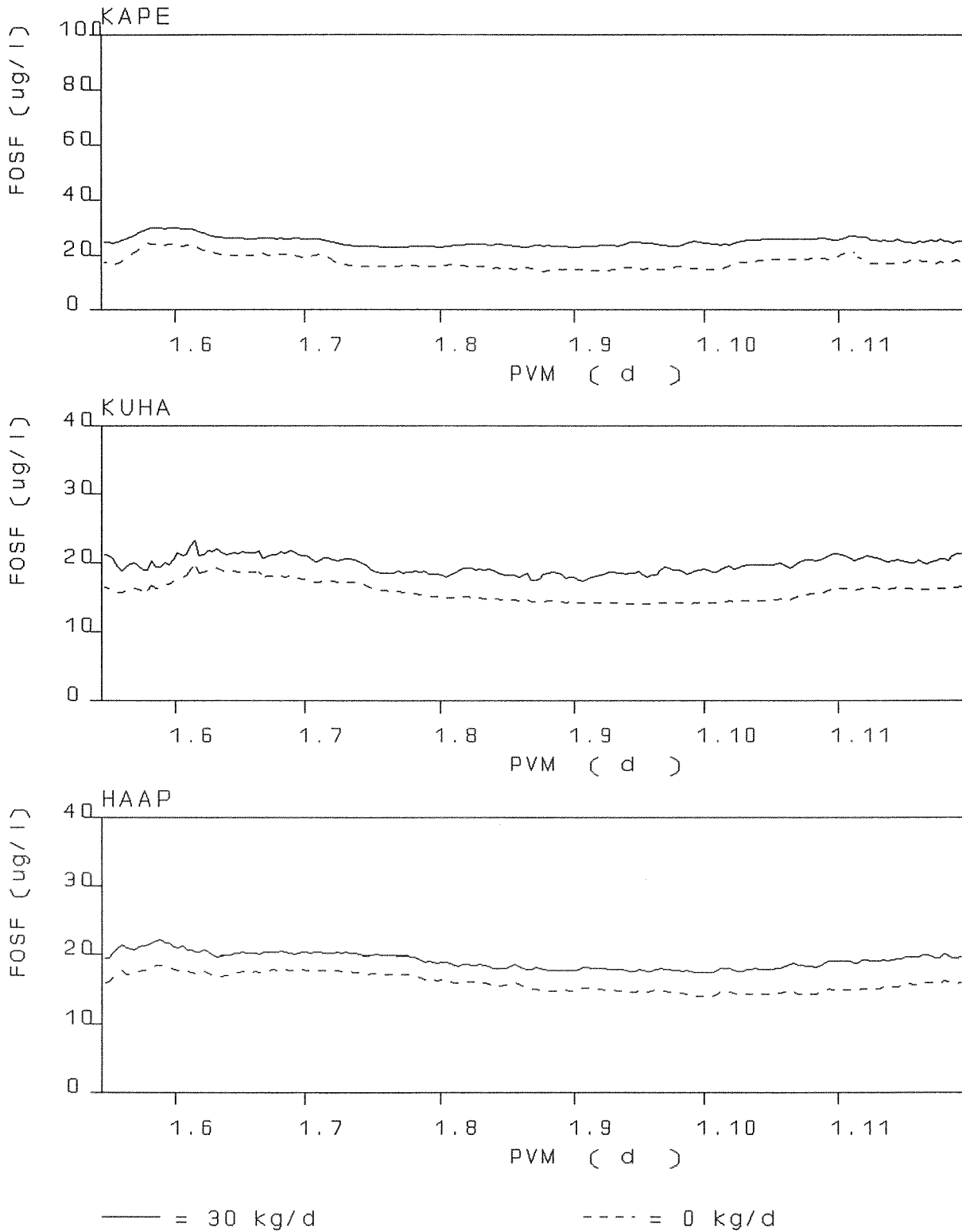
Kuva 13. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 60 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin alivirtaamatilanteessa (vertailutilanteena tehtaän nollakuormitus).



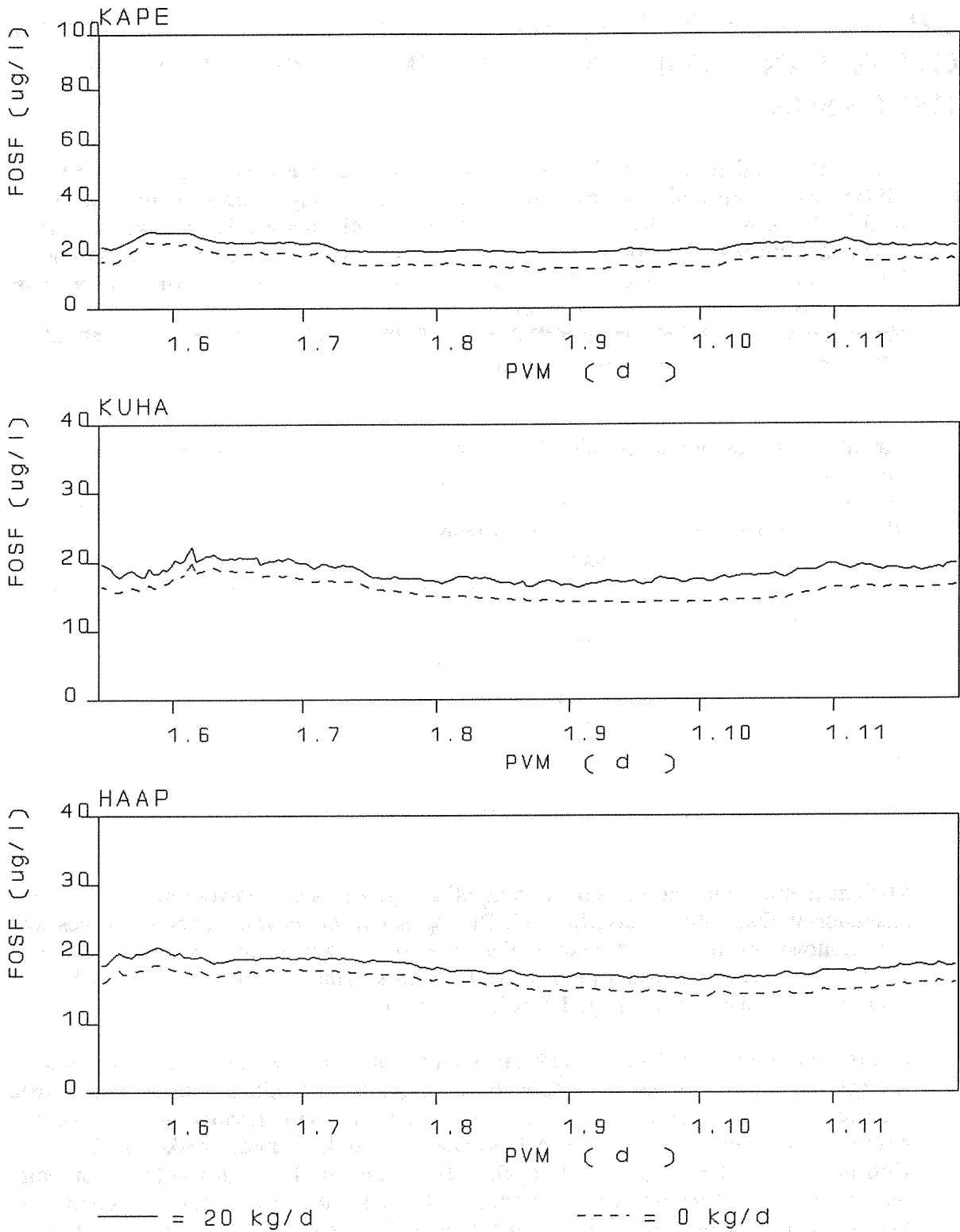
Kuva 14. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 50 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin alivirtaamatilanteessa (vertailutilanteena tehtaon nollakuormitus).



Kuva 15. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 40 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin alivirtaamatilanteessa (vertailutilanteena tehtaen nollakuormitus).



Kuva 16. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 30 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin alivirtaamatilanteessa (vertailutilanteena tehtaen nollakuormitus).



Kuva 17. Äänekosken tehtaiden fosforikuormituksen 20 kg/d vaikutukset Kapeen-, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin alivirtaamatilanteessa (vertailutilanteena tehtaen nollakuormitus).

8. KUHNAMO- JA VATIAJÄRVEN FOSFORIRESUSPENSION VAIKUTUS ÄÄNEKOSKI - VAAJAKOSKI -REITIN FOSFORIPITOISUUKSIIN

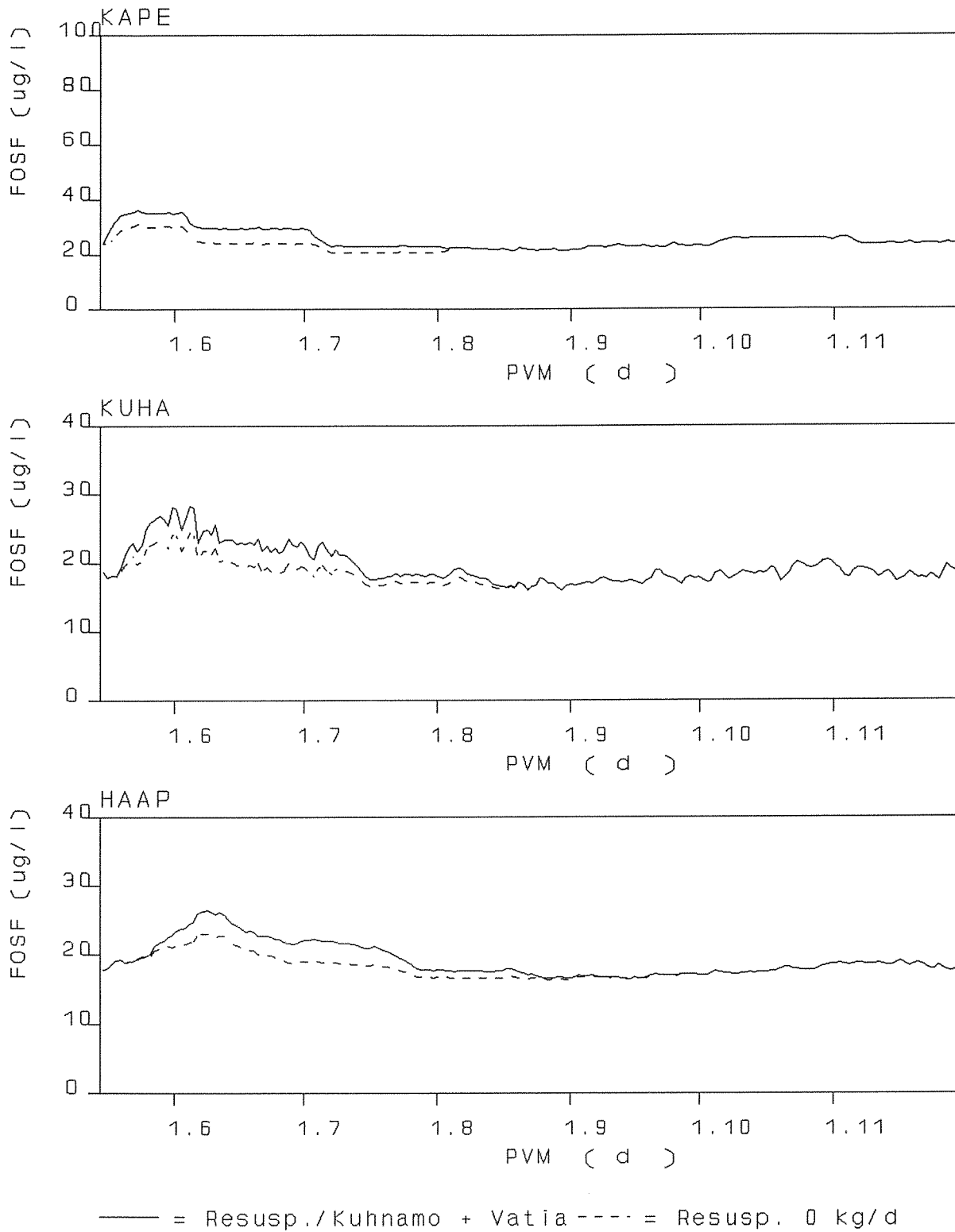
Keskivirtaamatilanteessa (v.1961–85) Kuhnamon ja Vatian resuspension kynnysvirtaama ylittyy selvästi vain touko- ja kesäkuussa. Heinäkuussa kynnysvirtaama ylittyy vähäisessä määrin (3 m³/s) vain Kuhnamosssa. Keskivirtaamatilanteessa Kuhnamon ja Vatian yhteenlaskettu resuspensiofosforin määrä on toukokuussa n. 81 kg/d, kesäkuussa n. 58 kg/d ja heinäkuussa n. 17 kg/d. Ylivirtaamatilannetta edustamaan valittiin avovesikausi v. 1988, jolloin resuspensiota tapahtui molemmissa järvissä toukokuusta syyskuuhun ja Kuhnamosssa vielä lokakuussakin (Pohjonen 1989). Keski- ja ylivirtaamat sekä niiden aiheuttama fosforiresuspensio on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17. Fosforiresuspensio ylivirtaamatilanteessa (v. 1988) Kuhnamo- ja Vatiajärvessä.

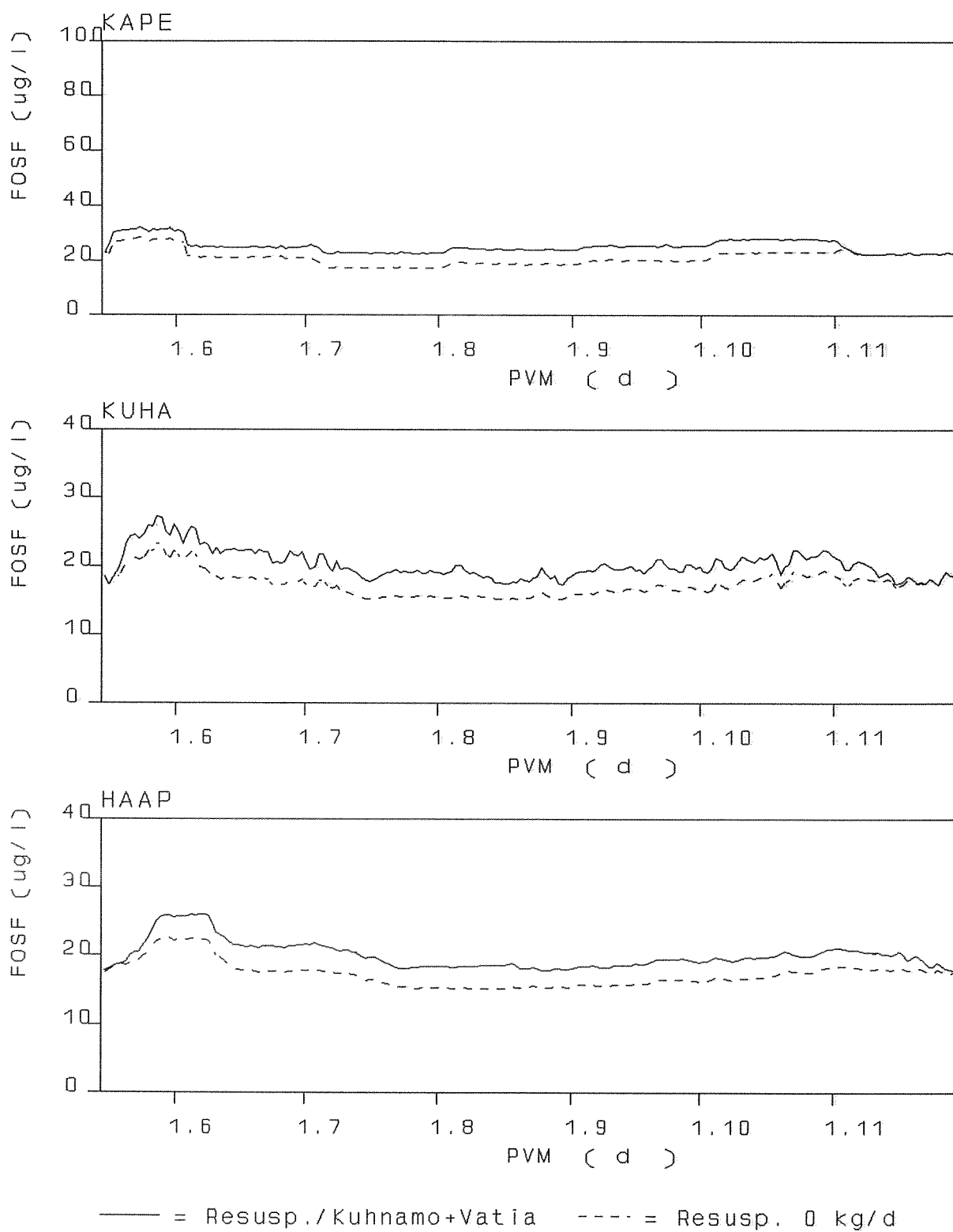
kk	Virtaama m ³ /s	Resuspensio	
		Kuhnamo	Vatia
5	228,0	81,7	44,7
6	214,8	80,1	41,6
7	124,3	61,4	13,7
8	105,1	51,0	4,2
9	105,1	51,0	4,2
10	95,5	42,55	0
11	81,1	0	0

Mallilaskuissa tuulitiedot, veden lämpötilat, reittivesien fosforipitoisuudet sekä pistekuormitukset olivat vuodelta -90. Resuspension vaikutukset alapuolisen vesistön fosforipitoisuuksiin on esitetty aikasarjakuvina Kapeen-, Kuhan- ja Haapakoskesta (kuvat 18–19) sekä keskimääräisinä pitoisuusvaikutuksina ajanjaksoilla 1.7–31.7 ja 1.8–31.8 Kapeen-, Kuusaan-, Kuhan- ja Haapakoskessa (liite 3).

Aikasarjakuvien mukaan keskivirtaamatilanteessa Kuhnamon ja Vatian resuspensiovaikutus on hävinnyt Äänekoski-Vaajakoski -reitiltä suuskuun alkupuoleen mennessä. Heinäkuussa fosforiresuspension keskimääräinen vaikutus keskivirtaamatilanteessa on Kapeenkoskessa 2.5 µg/l, Kuusaankoskessa 2.7 µg/l, Kuhankoskessa 1.8 µg/l ja Haapakoskessa 2.4 µg/l. Haapakosken suurempi pitoisuusvaikutus Kuhankoskeen verrattuna selittyy kesäkuun vaikutuksen näkymisestä kauemmin Haapakoskessa kuin Kuhankoskessa Pohjois-Leppäveden noin kuukauden pituisesta viipymästä johtuen. Elokuussa resuspension vaikutus reitin fosforipitoisuuksiin on vähäistä keskivirtaamatilanteessa. Koko reitillä pitoisuusvaikutus on elokuussa keskimäärin alle 1 µg/l. Ylivirtaamatilanteessa resuspensiofosforin määrä kasvaa voimakkaasti vesistössä. Vaikka virtaamat ovat myös suuret kasvaa pitoisuusvaikutus keskivirtaamatilanteeseen verrattuna. Ylivirtaamatilanteessa heinäkuussa keskimääräinen pitoisuusvaikutus on Kapeenkoskessa 5.7 µg/l, Kuusaankoskessa 6.7 µg/l, Kuhankoskessa 3.4 µg/l ja Haapakoskessa 3.4 µg/l. Elokuussa vaikutukset ovat vastaavasti 5.2 µg/l, 5.9 µg/l, 3.1 µg/l ja 3.2 µg/l.



Kuva 18. Kuhnamo- ja Vatiajärven fosforiresuspension vaikutus Kapeen, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin keskivirtaamatilanteessa (vertailutilanteena nollaresuspensio).



Kuva 19. Kuhnamo- ja Vatiajärven fosforiresuspension vaikutus Kapeen, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin ylivirtaamatilanteessa (vertailutilanteena nollaresuspensio).

9 ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN LÄHIVALUMA-ALUEEN HAJAKUORMITUKSEN VAIKUTUS REITIN FOSFORI-PITOISUUKSIIN

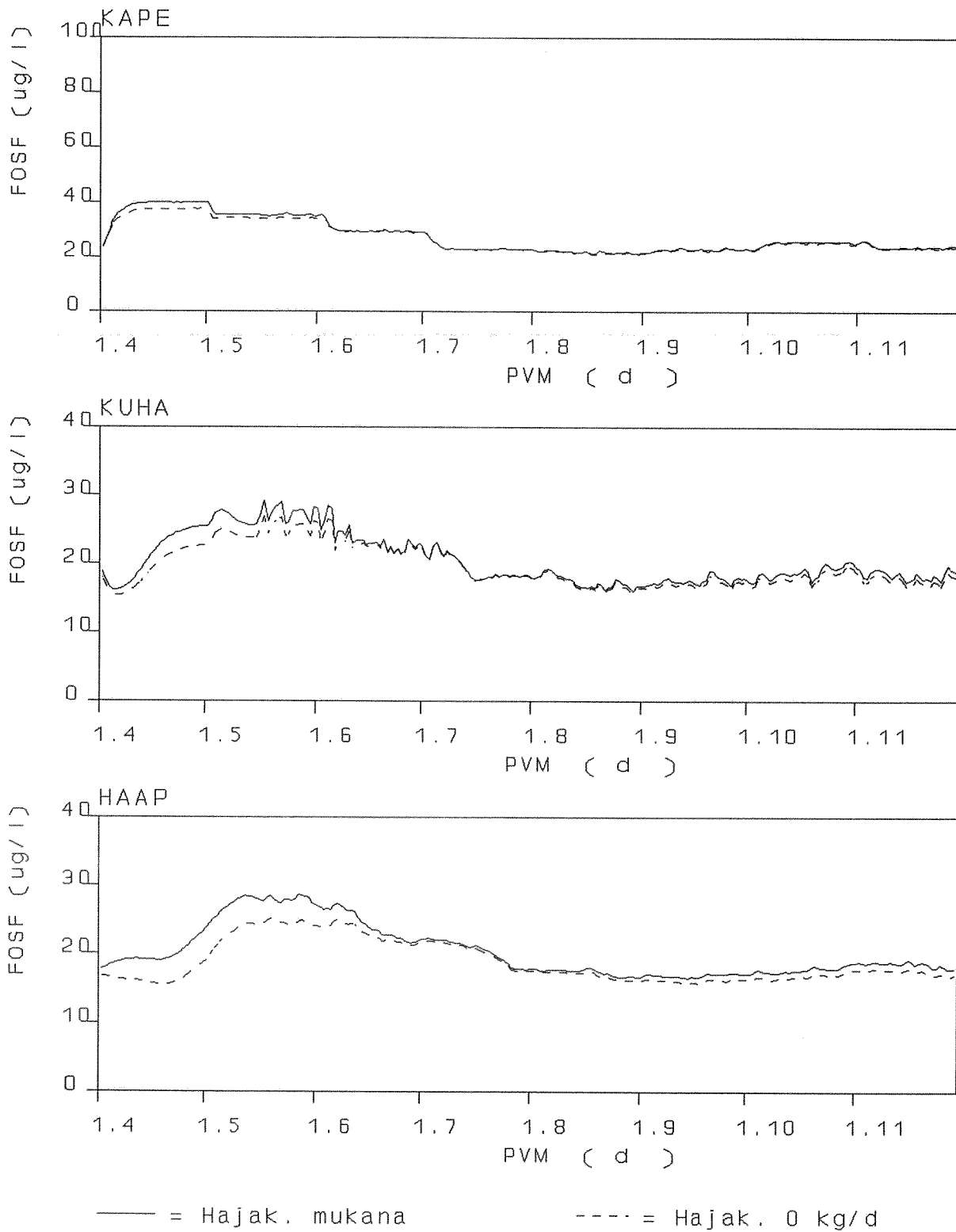
Lähivaluma-alueelta tulevan hajakuormituksen vaikutusta fosforipitoisuuksiin arvioitiin keskivirtaamatilanteessa (v. 1961–85). Ruunapuron keskimääräisten fosforiainevirtaamien perusteella (taulukko 10) huhti–toukokuussa vesistöön tuleva hajakuormituksen määrä on n. 70 % koko vuoden hajakuormituksesta. Jotta huhtikuun merkitys tulisi vaikutusarvioinnissa mukaan, aloitettiin mallilaskelmat ajankohdasta 1.4. Vaikka vesistö on tällöin vielä jääpeitteinen, reitin jokimaisuudesta johtuen läpivirtauskenttiä voitiin käyttää ilman merkittävää virhettä pitoisuuslaskennassa. Avovesikauden hajakuormitus lähivaluma-alueilta Äänekoski–Vaajakoski –reitille on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Avovesikauden hajakuormitus lähivaluma-alueilta Äänekoski–Vaajakoski –reitille.

kk	Fosforihajakuormitus (kg/d)
4	120
5	70
6	6
7	4
8	9
9	11
10	14,5
11	16,7

Lähivaluma-alueen hajakuormituksen vaikutukset reitin fosforipitoisuuksiin on esitetty aikasarjakuvana (kuva 20) ja keskimääräisinä pitoisuusvaikutuksina ajanjaksoina 1.6–30.6, 1.7–31.7 ja 1.8–31.8.

Aikasarjakuvista voidaan havaita, että suurin vaikutus lähivaluma-alueen hajakuormituksella on alkukesästä. Mallitulosten mukaan keskimääräinen pitoisuusvaikutus kesäkuussa on Kapeenkoskessa 0.2 µg/l, Kuusaankoskessa 0.6 µg/l, Kuhankoskessa 0.7 µg/l ja Haapakoskessa 1.6 µg/l. Levänkasvun kannalta kriittisenä aikana heinä–elokuussa lähivaluma-alueen hajakuormituksella on vähäinen vaikutus. Heinäkuussa pitoisuusvaikutukset ovat edellä mainituissa paikoissa 0.1 µg/l, 0.3 µg/l, 0.2 µg/l ja 0.3 µg/l. Elokuussa vastaavat luvut ovat 0.3 µg/l, 0.6 µg/l, 0.3 µg/l ja 0.5 µg/l.



Kuva 20. Lähivaluma-alueen fosforihajakuormituksen vaikutus Kapeen-, Kuhan- ja Haapakosken fosforipitoisuuksiin (vertailutilanteena nollahajakuormitus).

10 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa laadittiin virtaus- ja vedenlaatumallisovellus Äänekoski-Vaajakoski -vesireitille. Mallilla voidaan kuvata avovesikauden fosforipitoisuuksia erilaisissa virtaama-, tuuli- ja kuormitusolosuhteissa. Mallin toimivuutta testattiin avovesikausien -85 ja -90 havaintoaineistolla. Mallia käytettiin apuna arvioitaessa Äänekosken sellu- ja paperitehtaan vesistövaikutuksia meneillään olevassa katselmustoimituksessa.

Toukokuussa 1985 lopetettiin Äänekosken tehtaiden vanha sulfaattisellutehdas ja ennen sitä huhtikuussa käynnistettiin uusi sellutehdas. Vuonna -85 otettiin käyttöön myös uusi biologinen jätevedenpuhdistamo (aktiivilietelaitos). Uusi puhdistamo pienensi tehtaiden BOD-kuormitusta oleellisesti, mutta vasta vuonna 1992 puhdistamo saatiin toimimaan niin hyvin, että myös fosforikuormitus väheni merkittävästi. Vuonna -92 tehtaiden fosforikuormitus vesistöön oli 39 kg/d. Alkuvuodesta -93 tehtaiden fosforikuormitus on vähentynyt edelleen ollen tammikuussa 22 kg/d, helmikuussa 12 kg/d, maaliskuussa 10 kg/d ja huhtikuussa 9 kg/d.

Mallilla arvioitiin Äänekosken tehtaiden vaikutuksia Äänekoski-Vaajakoski -reitien fosforipitoisuuksiin kuormitusmäärillä 75 kg/d, 60 kg/d, 50 kg/d, 40 kg/d, 30 kg/d ja 20 kg/d. Vaikutuksia arvioitiin sekä keski- että alivirtaamatilanteessa. Tämän lisäksi arvioitiin lähivaluma-alueen hajakuormituksen ja Kuhnamon- ja Vatianjärven fosforiresuspension vaikutusta reitin fosforipitoisuuksiin. Tulosten mukaan tehtaiden kuormitus 10 kg/d merkitsee keskivirtaamatilanteessa Kapeenkoskessa n. 1.5 µg/l ja Haapakoskessa n. 0.6 µg/l fosforipitoisuuslisää. Näinollen keskivirtaamatilanteessa esim. 50 kg/d kuormitus lisää Kapeenkosken fosforipitoisuutta 7.5 µg/l ja Haapakosken 3.1 µg/l verrattuna tilanteeseen, jossa tehtaiden kuormitus olisi 0 kg/d. Alivirtaamatilanteessa kuormitus 10 kg/d merkitsee Kapeenkoskessa pitoisuuslisää 2.6 µg/l ja Haapakoskessa 0.9 µg/l. Kuormituksella 50 kg/d pitoisuuslisä on Kapeenkoskessa 13.4 µg/l ja Haapakoskessa 4.6 µg/l.

Kuhnamon ja Vatian resuspensiovaikutus Äänekoski-Vaajakoski -reitien fosforipitoisuuksiin heinäkuussa on keskivirtaamatilanteessa Kapeenkoskessa n. 2.5 µg/l ja Haapakoskessa n. 2.4 µg/l. Elokuussa pitoisuusvaikutus on koko reitillä pudonnut alle 1 µg/l ollen näin vähäistä. Keskivirtaamatilanteessa resuspensiovaikutus reitillä häviää syyskuun alkupuolella. Ylivirtaamatilanteessa resuspension kynnysvirtaamat ylittyvät Kuhnamossa ja Vatiassa lähes koko avovesikauden. Tällöin heinäkuun keskimääräinen pitoisuusvaikutus Kapeenkoskessa on 5.7 µg/l ja Haapakoskessa 3.4 µg/l. Elokuussa vaikutukset ovat vastaavasti 5.2 µg/l ja 3.2 µg/l.

Lähivaluma-alueen hajakuormituksella tarkoitetaan reitin Äänekoski-Vaajakoski lähivaluma-alueelta tullutta hajakuormitusta. Saarijärven, Viitasaaren ja Rautalammin reiteiltä tuleva hajakuormitus ei sisälly laskelmiin. Keskivirtaamatilanteessa lähivaluma-alueen hajakuormituksen vaikutus Haapakosken fosforipitoisuuteen keskimäärin kesäkuussa 1.6 µg/l, heinäkuussa 0.3 µg/l ja elokuussa 0.5 µg/l. Kesäkuuta lukuunottamatta lähivaluma-alueen hajakuormituksen merkitys Äänekoski-Vaajakoski -reitillä on vähäistä.

KIRJALLISUUS

- Ekholm, M. 1993. Suomen vesistöalueet. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A nro 126. Helsinki.
- Granberg, K. & Mäkelä, H. 1986. Äänekoski-Vaajakoski -vesireitin velvoitetarkkailu 1985. Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus.
- Kinnunen, K., Nyholm, B., Niemi, J., Kylä-Harakka, T. & Kauranne, T. 1982. Water quality modeling of finnish water bodies. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 46. Vesihallitus.
- Koponen, J. 1984. Vesistöjen kolmidimensioinen virtaus- ja vedenlaatumalli. Diplomityö. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Teknillisen fysiikan osasto. Matematiikan laitos. Espoo.
- Pohjonen, M. 1989. Kiintoaineen ja ravinteiden dynamiikka metsäteollisuusjätevesien kuormittamalla Äänekosken alapuolisella vesialueella. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. Limnologian laitos. Helsinki.
- TESI (Teollisuuden jätevesiprojekti) 1981. Vesistön tilan ennustamismallien soveltamisselvitys. (J. Eloranta, T. Frisk, K. Kinnunen, T. Kylä-Harakka, J. Niemi, E. Rautalahti-Miettinen, J. Sarkkula, M. Virtanen). Helsinki.
- YVY (Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti) tutkimus 28 (1977). (R. Kuoppamäki, M. Virtanen, O. Jokinen, E. Rämö, V. Kämäräinen, P. Mälkki), Vesihallituksen projekti n:o 7412, Helsinki.

**LIITE 1. ÄÄNEKOSKEN TEHTAIDEN ERI FOSFORIKUORMITUSMÄÄRIEN VAIKUTUS
ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN FOSFORIPITOISUUKSIIN
KESKIVIRTAAMATILANTEESSA (KESKIMÄÄRÄINEN VAIKUTUS AIKANA 1.7-30.9).**

FOSFORIKUORMITUS 75 kg/d / KESKIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	11.2 µg/l
Kuusaankoski:	10.4 µg/l
Kuhankoski:	5.1 µg/l
Haapakoski:	4.5 µg/l

FOSFORIKUORMITUS 60 kg/d / KESKIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	9.0 µg/l
Kuusaankoski:	8.4 µg/l
Kuhankoski:	4.1 µg/l
Haapakoski:	3.6 µg/l

FOSFORIKUORMITUS 50 kg/d / KESKIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	7.5 µg/l
Kuusaankoski:	7.0 µg/l
Kuhankoski:	3.4 µg/l
Haapakoski:	3.1 µg/l

FOSFORIKUORMITUS 40 kg/d / KESKIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	6.0 µg/l
Kuusaankoski:	5.6 µg/l
Kuhankoski:	2.7 µg/l
Haapakoski:	2.5 µg/l

FOSFORIKUORMITUS 30 kg/d / KESKIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	4.5 µg/l
Kuusaankoski:	4.2 µg/l
Kuhankoski:	2.1 µg/l
Haapakoski:	1.8 µg/l

FOSFORIKUORMITUS 20 kg/d / KESKIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	3.0 µg/l
Kuusaankoski:	2.8 µg/l
Kuhankoski:	1.4 µg/l
Haapakoski:	1.2 µg/l

LIITE 2

**LIITE 2. ÄÄNEKOSKEN TEHTAIDEN ERI FOSFORIKUORMITUSMÄÄRIEN VAIKUTUS
ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN FOSFORIPITOISUUKSIIN
ALIVIRTAAMATILANTEESSA (KESKIMÄÄRÄINEN VAIKUTUS AIKANA 1.7-30.9).**

FOSFORIKUORMITUS 75 kg/d / ALIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	19.9 µg/l
Kuusaankoski:	16.4 µg/l
Kuhankoski:	8.9 µg/l
Haapakoski:	6.7 µg/l

FOSFORIKUORMITUS 60 kg/d / ALIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	16.0 µg/l
Kuusaankoski:	13.3 µg/l
Kuhankoski:	7.3 µg/l
Haapakoski:	5.5 µg/l

FOSFORIKUORMITUS 50 kg/d / ALIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	13.4 µg/l
Kuusaankoski:	11.2 µg/l
Kuhankoski:	6.2 µg/l
Haapakoski:	4.6 µg/l

FOSFORIKUORMITUS 40 kg/d / ALIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	10.8 µg/l
Kuusaankoski:	9.1 µg/l
Kuhankoski:	5.0 µg/l
Haapakoski:	3.8 µg/l

FOSFORIKUORMITUS 30 kg/d / ALIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	8.2 µg/l
Kuusaankoski:	6.9 µg/l
Kuhankoski:	3.8 µg/l
Haapakoski:	2.9 µg/l

FOSFORIKUORMITUS 20 kg/d / ALIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	5.5 µg/l
Kuusaankoski:	4.7 µg/l
Kuhankoski:	2.6 µg/l
Haapakoski:	1.9 µg/l

**LIITE 3. KUHNAMON JA VATIAN JÄRVIEN FOSFORIRESUSPENSION VAIKUTUS
ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN FOSFORIPITOISUUKSIIN KESKI- JA
YLIVIRTAAMATILANTEISSA (KESKIMÄÄRÄINEN VAIKUTUS AIKANA 1.7-31.7 JA
1.8-31.8).**

AJANJAKSO 1.7.-31.7 / KESKIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	2.5 µg/l
Kuusaankoski:	2.7 µg/l
Kuhankoski:	1.8 µg/l
Haapakoski:	2.4 µg/l

AJANJAKSO 1.8.-31.8 / KESKIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	0.2 µg/l
Kuusaankoski:	0.4 µg/l
Kuhankoski:	0.5 µg/l
Haapakoski:	0.9 µg/l

AJANJAKSO 1.7.-31.7 / YLIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	5.7 µg/l
Kuusaankoski:	6.7 µg/l
Kuhankoski:	3.4 µg/l
Haapakoski:	3.4 µg/l

AJANJAKSO 1.8.-31.8 / YLIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	5.2 µg/l
Kuusaankoski:	5.9 µg/l
Kuhankoski:	3.1 µg/l
Haapakoski:	3.2 µg/l

LIITE 4

LIITE 4. ÄÄNEKOSKI-VAAJAKOSKI -REITIN LÄHIVALUMA-ALUEEN FOSFORIHAJAKUORMITUKSEN VAIKUTUS KAPEEN-, KUUSAAN-, KUHAN-JA HAAPAKOSKEN FOSFORIPITOISUUKSIIN KESKIVIRTAAMATILANTEESSA (KESKIMÄÄRÄINEN VAIKUTUS KESÄ-, HEINÄ- JA ELOKUUSSA).

AJANJAKSO 1.6.-30.6 / KESKIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	0.2 µg/l
Kuusaankoski:	0.6 µg/l
Kuhankoski:	0.7 µg/l
Haapakoski:	1.6 µg/l

AJANJAKSO 1.7.-31.7 / KESKIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	0.1 µg/l
Kuusaankoski:	0.3 µg/l
Kuhankoski:	0.2 µg/l
Haapakoski:	0.3 µg/l

AJANJAKSO 1.8.-31.8 / KESKIVIRTAAMA

Kapeenkoski:	0.3 µg/l
Kuusaankoski:	0.6 µg/l
Kuhankoski:	0.3 µg/l
Haapakoski:	0.5 µg/l

