



**Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen
vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y.**

Runeberginkatu 17, 06100 PORVOO



**Föreningen vatten- och luftvård
för Östra Nyland och Borgå å r.f.**

Runebergsgatan 17, 06100 BORGÅ

Porvoonjoen ainevirtaamat ja kuormitus



Mikael Henriksson

Tero Myllyvirta

**Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien-
ja ilmansuojeluyhdistys**

2008

Sisällysluettelo

	sivu
1. Johdanto	2
2. Aineisto ja menetelmät	7
3. Tulokset ja tulosten tarkastelu	9
3.1. Porvoonjoen kokonaiskuormitus	9
3.2. Yhdyskuntajätevesikuormituksen ja haja-kuormituksen osuudet kuormituksesta eri jokiosuuksilla	12
3.3. Yhdyskuntajätevesikuormituksen ja haja-kuormituksen kuormitusosuudet eri virtaamatilanteissa	15
3.4. Ajallisia muutoksia Porvoonjoen kuormituksessa	22
3.4. 1. Vertailu 1970-lukuun	22
3.4. 2. Vertailu 1980 - 1990-lukuun	24
3.4. 3. Vertailu 2000-lukuun	25
4. Yhteenveto	27
5. Lähdeluettelo	30
Liite 1	35



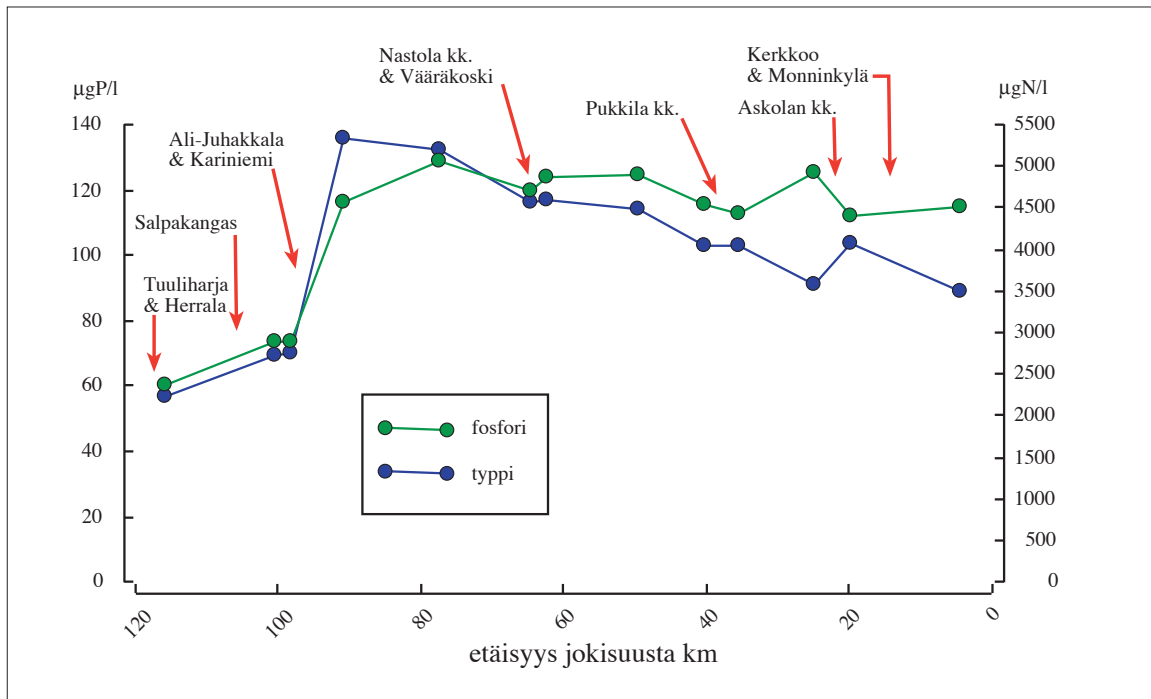


1. Johdanto

Tämän selvityksen tarkoitus on ainevirtaamien perusteella arvioida Porvoonjoen kokonaiskuormitusta sekä yhdyskuntajätevesien osuutta kuormituksesta vaihtelevissa luonnonolosuhteissa.

Porvoonjokeen kohdistuu poikkeuksellisen suuri yhdyskuntajätevesikuormitus ja jätevedenpuhdistamoilta tulevien puhdistettujen jätevesien vaikutuksia on nähtävissä veden laadussa joen pääuomassa (kuva 1). Taulukosta 1 ja 2 ilmenee puhdistamoilta tuleva fosfori- ja typpikuormitus 2000-luvulla ja kuvassa 2 on esitetty puhdistamoiden purkualueet.

Puhdistamoiden fosforikuormituksesta noin 80% ja typpikuormituksesta noin 70% oli vuosina 2006-2007 peräisin Lahden Ali-Juhakkalan ja Kariniemen puhdistamoilta. Porvoon Kokonniemen puhdistamo otettiin pois käytöstä 2001 ja jätevedet ohjattiin merialueelle ja Hollolan Salpakankaan jätevedet alettiin vuodesta 2007



Kuva 1. Porvoonjoen veden kokonaisfosfori- ja kokonaistyppipitoisuudet yläjuoksulta alajuoksulle. Käyrien pisteet ovat vuosien 2000 - 2007 mitattujen ravinnepitoisuuksien keskiarvoja. Pitoisuudet nousevat voimakkaasti noin 90 km jokisuusta, jossa Lahden kaupungin puhdistetut jätevedet purkautuvat jokeen. Hajakuormituksen vaikutuksesta fosforipitoisuudet pysyvät korkeina jokisuulle asti. Typpipitoisuudet puolestaan laskevat jokea alavirtaan etäisyyden kasvaessa Lahden yhdyskuntajätevesipäästöjen purkualueeseen.

esikäsitteilyn jälkeen johtaa Lahden Ali-Juhakkalan puhdistamolle. Lisäksi Askolan Vakkolan ja Monninkylän jätevedet on joulukuusta 2007 lähtien johdettu Porvoon uuteen jätevedenpuhdistamoon eivätkä ne nykytilanteessa kuormita Porvoonjokea.

Yhdyskuntajätevesien puhdistus on tehostunut tuntuvasti 1990 ja 2000-luvuilla. Vuosina 2000 - 2007 jätevedenpuhdistamoilta Porvoonjokeen kohdistuva fosforikuormitus on ollut keskimäärin luokkaa 4000 kg ja typpikuormitus luokkaa 260 000 kg vuodessa (taulukot 1 ja 2). Fosforikuormituksen osalta tämä on noin 30 % ja typpikuormituksen osalta noin 50 % 1980-luvun tasosta (esim. Lehtonen ja Penttilä 1991, Jalosuo 1993, Käki ja Manninen 1995, Lahden tutkimuslaboratorio 1996, 1997, Ramboll Analytics Oy 2007, 2008). Lahden jätevedenpuhdistamoilla vuonna 2006 käyttöön otettu typen reduktio on edelleen kohentanut tilannetta typen suhteen.

Yhdyskuntajätevesien puhdistamoilta Porvoonjokeen kohdistuva fosforikuormitus 2000-luvulla

Jäteveden- puhdistamo	2000 kg	2001 kg	2002 kg	2003 kg	2004 kg	2005 kg	2006 kg	2007 kg	keskiarvo 2000-luku kg
Hollola Herrala	19	8	10.6	16	20	16	15	11.0	14.4
Orimattila Tuuliharja	-	6.2	-	5	2.6	4	2	1.8	3.6
Hollola Salpakangas	296	284	220	186	256	296	230	-	253
Lahti Ali-Juhakkala	1935	876	949	1022	2081	1351	1716	1898	1479
Lahti Karniemi	2701	1716	2117	1241	1351	1387	949	876	1542
Nastola kk	176	183	161	252	150	164	190	120	174
Orimattila Vääräkoski	492	339	237	332	402	215	197	215	304
Pukkila kk	24.5	17.9	21.9	22	18	26	27	21.9	22
Askola Vakkola	43.8	13.5	9.9	19	50	44	66	58.4	38
Askola Monninkylä	102	54	66	58	69	142	91	84	83
Porvoo Kerkkoo	11.7	7.3	9.5	7.3	19	18	18	12.8	13
Porvoo Kokkonniemi	548	1314	-	-	-	-	-	-	931
Yhteensä	6349	4819	3802	3160	4419	3663	3501	3299	4126

Taulukko 1. Jätevedenpuhdistamoilta Porvoonjokeen kohdistuva fosforikuormitus vuosina 2000 - 2007. Vuodesta 2002 lähtien alettiin Porvoon kaupungin jätevedet johtaa Porvoonjoen sijaan Porvoon kaupungin edustan merialueelle Svartbäckinselälle. Hollolan Salpakankaan jätevedet alettiin johtaa Lahden kaupungin puhdistamon kautta Porvoonjokeen vuodesta 2007. Askolan Vakkolan ja Monninkylän jätevedet on johdettu Porvoon kaupungin puhdistamolle joulukuusta 2007 lähtien.

Vastaavaa myönteistä kehitystä on nähtävissä myös kiintoaineen ja biologisen hapenkulutuksen suhteen sekä myös ammoniumtypen osalta. Nykytilanteessa valtaosa kuormituksesta kohdistuu joen yläjuoksulle lähes 100 km jokisuusta (kuva 2).

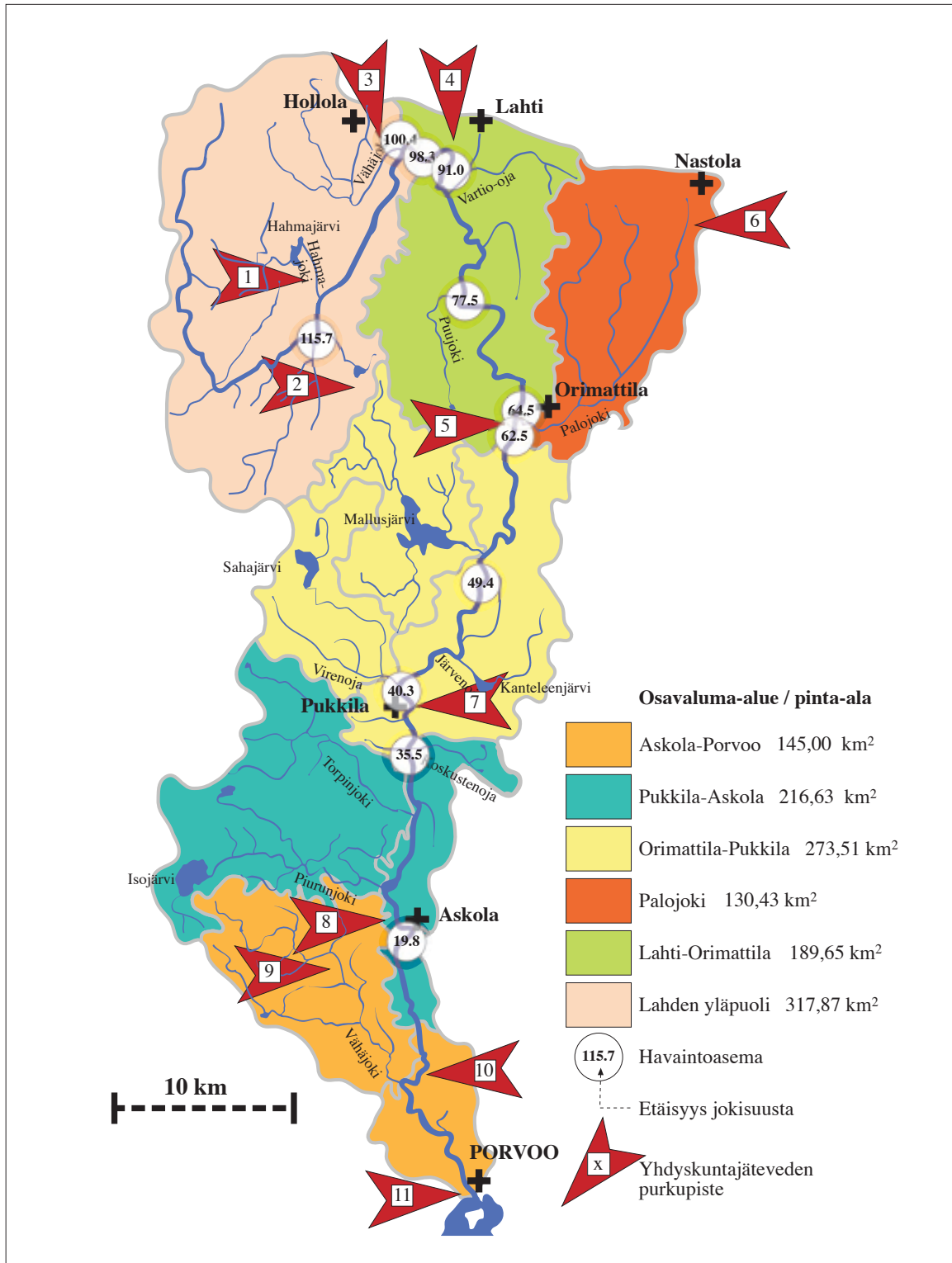
Veden ravinnepitoisuuksien ja virtaaman välillä on yleensä yhteys. Vaikka kahden eri vuoden keskivirtaama olisikin saman suuruinen voivat erityisesti fosforimäärät vaihdella hyvinkin paljon riippuen siitä, miten virtaamat ovat kyseisten vuosien aikana jakautuneet. Epätasaisesti jakautunut virtaama lisää erityisesti fosforivirtaamia, sillä suurten virtaamien aikana nousevat fosforipitoisuudet yleensä joen vedessä selkeästi verrattuna keskivirtaama- ja alivirtaama-aikojen pitoisuuksiin. Porvoonjoen veden typpipitoisuudet sen sijaan yleensä laskevat virtaamanopeuden kasvaessa.

Esimerkiksi vuoden 2006 näytteenottojen aikaiset fosforipitoisuudet Askolassa Vakkolan mittausaseman kohdalla olivat keskimäärin 96 µg/l. Kyseisenä vuonna

Yhdyskuntajätevesien puhdistamoilta Porvoonjokeen kohdistuva typpikuormitus 2000-luvulla

Jäteveden-puhdistamo	2000 kg	2001 kg	2002 kg	2003 kg	2004 kg	2005 kg	2006 kg	2007 kg	keskiarvo 2000-luku kg
Hollola Herrala	862	573	565	1281	1349	913	1460	767	971
Orimattila Tuuliharja	-	392	-	650	551	511	511	548	527
Hollola Salpakangas	46720	43526	40500	49275	48180	45625	40150	-	44854
Lahti Ali-Juhakkala	136510	135050	133955	125195	121545	86870	58765	71175	108633
Lahti Kariniemi	102930	79205	83950	67890	111690	73730	52560	63145	79388
Nastola kk	38362	34347	32704	33361	37595	20659	8395	12775	27275
Orimattila Vääräkoski	11100	9636	13900	12228	17520	12337	9636	11169	12191
Pukkila kk	1716	1789	1168	2081	2081	1862	2190	1460	1841
Askola Vakkola	3504	1829	1424	2281	1825	1716	3066	2227	1793
Askola Monninkylä	2993	2855	2154	2774	2513	4015	3650	1898	2856
Porvoo Kerkkoo	876	730	777.5	621	949	949	949	913	845
Porvoo Kokkonniemi	89425	99280	-	-	-	-	-	-	94352
Yhteensä	434998	409212	311097	297637	345798	249187	181332	166077	261917

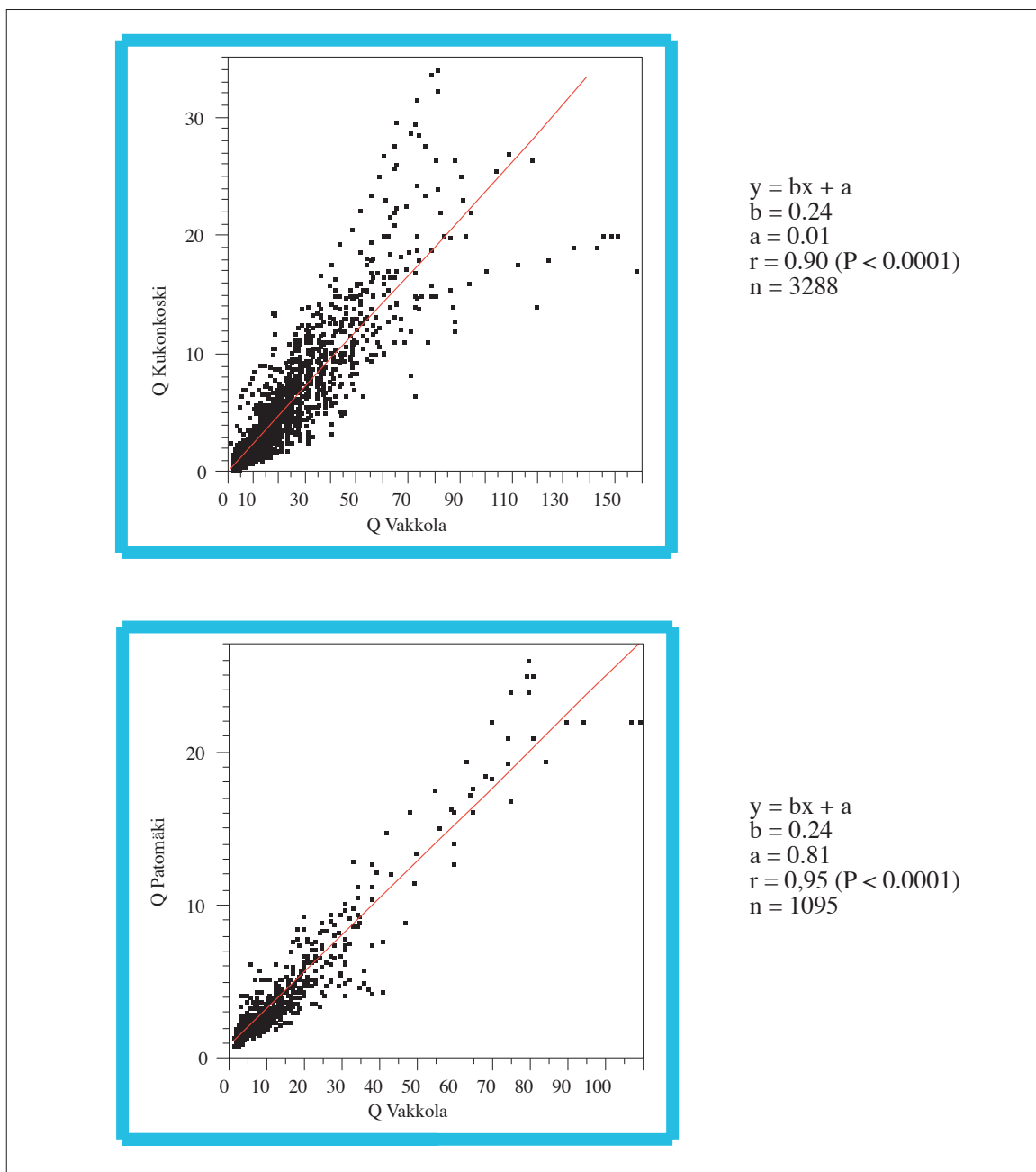
Taulukko 2. Jätevedenpuhdistamoilta Porvoonjokeen kohdistuva typpikuormitus vuosina 2000 - 2007. Vuodesta 2002 lähtien alettiin Porvoon kaupungin jätevedet johtaa Porvoonjoen sijaan Porvoon kaupungin edustan merialueelle Svartbäckinselälle. Hollolan Salpakankaan jätevedet alettiin johtaa Lahden kaupungin puhdistamon kautta Porvoonjokeen vuodesta 2007. Askolan Vakkolan ja Monninkylän jätevedet on johdettu Porvoon kaupungin puhdistamolle joulukuusta 2007 lähtien.



Kuva 2. Porvoonjoen valuma-alue ja selvityksen havaintoasemat. Yhdyskuntajätevesien purkupisteet (1-11) ovat: 1. Herralan jätevedenpuhdistamo, Hollola. 2. Tuuliharjan jätevedenpuhdistamo, Orimattila. 3. Salpakankaan jätevedenpuhdistamo, Hollola (vuodesta 2007 lähtien kaikki Salpakankaan jätevedet johdetaan Ali-Juhakkalaan esikäsittelyn jälkeen). 4. Ali-Juhakkalan ja Kariniemen jätevedenpuhdistamot Lahti. 5. Vääräkosken jätevedenpuhdistamo, Orimattila. 6. Nastolan jätevedenpuhdistamo. 7. Pukkilan jätevedenpuhdistamo. 8. Askolan Vakkolan jätevedenpuhdistamo. 9. Askolan Monninkylän jätevedenpuhdistamo (Joulukuussa 2007 aloitettiin Askolan Vakkolan ja Monninkylän jätevesien johtaminen Porvoon puhdistamolle). 10. Kerkkoon jätevedenpuhdistamo, Porvoo. 11. Kokonniemen jätevedenpuhdistamo, Porvoo (Porvoon Kokonniemi on ollut pois toiminnasta vuodesta 2002 lähtien).

joen keskivirtaama oli 10.2 m³/sek. Tästä voisi päätellä, että tyypillisenä päivänä joki kuljetti noin 85 kg fosforia Vakkolassa. Huhti-toukokuuhun ajoittuneen virtaamahuipun aikana (kuva sivulla 24) fosforipitoisuudet olivat tähän aikaan tehdyn mittauksen perusteella 190 µg/l samalla kun virtaama oli enimmillään kuusinkermainen keskivirtaamaan verrattuna. Suurimman virtaamahuipun aikana joen kuljettama fosforimäärä oli täten arviolta noin 1000 kg/päivä.

Koska joen kuljettamat ainemäärät ovat epätasaisesti jakautuneet virtaamavaihteluihin perustuen, sisältyy pienten satunnaisotosten perusteella tehtyihin laskelmiin



Kuva 3. Yhteys Askolan Vakkolan ja Lahdessa sijaitsevan Kukkonkosken (ylhäällä) ja Vakkolan ja Lahdessa sijaitsevan Patomäenkosken virtaamien välillä. b = regressiokerroin, r = korrelaatiokerroin, P = korrelaatiokertoimen merkisyysaste, n = virtaamamittausten lukumäärä.

aina suuri virhemahdollisuus (esim. Walling ja Webb 1985, Ekholm ym. 1995, Rekolainen 1995). Kyseistä virhelähdettä välttääksemme olemme tässä työssä käyttäneet hyväkseen virtaaman ja ainepitoisuuksien välistä yhteyttä. Koska virtaamamittaukset on tehty Porvoonjoesta vuorokausittain olemme arvioineet ainevirtaamien määrät regressioyhtälöä käyttäen, vuoden jokaiselta vuorokaudelta.

2. Aineisto ja menetelmät

Tässä selvityksessä virtaaman ja ravinnepitoisuuksien välistä yhteyttä käytettiin joen kuljettamien ravinnemäärien selvittämiseksi (liite 1). Selvityksessä keskityttiin kokonaisfosfori- ja kokonaistypikuormitukseen. Lisäksi selvitettiin joen ammoniumtyppi- ja kiintoainevirtaamia Vakkolan mittausaseman kohdalla ja jokisuulla.

Selvityksessä luotiin ensin regressiomalleja ainepitoisuuksien ja virtaamien välistä suhteesta eri jokiosuiksille. Malleissa käytettiin vuosien 2000 – 2007 vedenlaatuaineistoa ja vedenlaatumittauksien aikaisia virtaamatietoja (<https://www.hertta>).

asema/ etäisyys jokisuusta	2000 (MQ=12.4)	2001 (MQ=8.3)	2002 (MQ=8.2)	2003 (MQ=6.3)	2004 (MQ=14.5)	2005 (MQ=10.0)	2006 (MQ=10.2)	2007 (MQ=12.0)	keskiarvo 2000-luku (MQ=10.2)
115.7 p<0.001	5820	3390	3482	2378	6734	4218	5002	4991	4502
100.4 p<0.06	10820	6261	6447	4374	12515	7804	9320	9229	8346
98.3 p<0.03	10124	6055	6157	4318	11730	7485	8619	8874	7920
91.0 p<0.2	14691	9377	9307	6939	17085	11406	12206	13592	11825
77.5 p<0.003	23411	13921	14185	9892	27118	17232	19974	20423	18270
64.5 p<0.001	24820	14797	15063	10532	28753	18305	21156	21699	19391
62.5 p<0.001	35028	20589	21073	14527	40549	25562	30008	30267	27200
49.4 p<0.001	48467	27490	28528	18962	56001	34448	42031	40670	37075
40.3 p<0.001	49852	29020	29813	20353	57679	36119	42851	42733	38552
35.5 p<0.001	49852	28885	29728	20199	57665	35995	42921	42570	38477
19.8 p<0.001	59924	34367	35510	23876	69278	42940	51773	50742	46051

Taulukko 3. Kokonaisfosforin virtaamat (kg) Porvoonjoessa vuosina 2000 - 20007 eri etäisyyksillä jokisuusta sekä 2000-luvun vuosikeskiarvo. Ainevirtaamat ovat arvioidut regressiomallien perusteella. Tällöin huomioidaan vuosien jokaisen vuorokauden virtaamavaihteluiden vaikutukset ainepitoisuuksiin jokivedessä.

fi). Pääravinteille, kokonaisfosforille ja kokonaistypelle laskettiin regressiomalleja joen vedenlaadun velvoitetarkkailun näyteasemille joista on kertynyt eniten vedenlaatutietoa (yhteensä 11 näyteasemaa, kuva 2). Alin näyteasema joka mallinnettiin sijaitsi Askolan Vakkolan kohdalla josta myös käytetyt virtaamatiedot ovat peräisin. Jokiveden kiintoainepitoisuuksien ja ammoniumtyppipitoisuuksien suhteesta virtaamaan tehtiin regressiomallit Vakkolan aineiston perusteella. Joen kokonaisainekuormaa jokisuulla arvioitiin Vakkolan tulosten perusteella niin, että Vakkolan alapuolisen valuma-alueen kuormitus otettiin huomioon pinta-ala kerrointa käyttäen.

Regressiomallien avulla laskettiin virtaamille vastaavat ainepitoisuudet ja näin näyteasemien vedenlaatuaineistoa voitiin täydentää arvioinneilla ainepitoisuuksista myös niiltä päiviltä joilta ei ole vedenlaatuhavaintoja. Koska virtaamasta on päivittäisiä mittauksia saatiin arviot joen ainepitoisuuksista ja kuormitusmääristä jokaiselle aikavälin 2000-2007 vuorokaudelle (virtaamamittauksia on yhteensä 2922 vuorokaudelta 2000-luvulla) ja kaikille tarkkailujakson aikaisille virtaamolosuhteille.

asema/ etäisyys jokisuusta	2000 (MQ=12.4)	2001 (MQ=8.3)	2002 (MQ=8.2)	2003 (MQ=6.3)	2004 (MQ=14.5)	2005 (MQ=10.0)	2006 (MQ=10.2)	2007 (MQ=12.0)	keskiarvo 2000-luku (MQ=10.2)
115.7 p<0.001	230464	129300	134754	88546	266134	162490	200587	191671	175493
100.4 p<0.001	360058	218376	220870	157018	417518	268980	305005	319280	283388
98.3 p<0.04	346484	216842	216775	158745	402486	265028	290079	315360	276475
91.0 p<0.001	522824	382627	362117	302797	613191	451108	409350	543006	448377
77.5 p<0.02	643745	470667	445581	372310	754965	555022	504259	668044	551824
64.5 p<0.06	701003	495373	474374	385842	820300	588540	557890	706676	591250
62.5 p<0.05	930171	659555	630867	514533	1088705	783009	739128	940410	785797
49.4 p<0.05	1091565	787344	748763	619047	1279018	931200	860542	1119754	929654
40.3 p<0.1	1168326	824928	790182	642281	1367079	980256	930158	1176951	985020
35.5 p<0.2	1245343	864484	832906	667701	1455630	1031182	999060	1236577	1041610
19.8 p<0.3	1455348	1010052	973227	780055	1701073	1204877	1167642	1444848	1217140

Taulukko 4. Kokonaistypen virtaamat (kg) Porvoonjoessa vuosina 2000 - 20007 eri etäisyyksillä jokisuusta sekä 2000-luvun vuosikeskiarvo. Ainevirtaamat ovat arvioidut regressiomallien perusteilla. Tällöin huomioidaan vuosien jokaisen vuorokauden virtaamavaihteluiden vaikutukset ainepitoisuuksiin jokivedessä.

Regressiomalleissa käytettiin Vakkolan virtaamatietoja. Vakkolan virtaamien ja muiden jokiosuuksien virtaamien välillä on voimakas yhteys (kuva sivulla 6). Vakkolasta on virtaamatiedot kattavasti vuorokausittain nopeasti muuttuvien virtaamaolosuhteiden kuvaamiseksi. Vakkolan virtaamamittauksia sovellettiin joen eri osuuksille valuma-alueen pinta-alaa kuvaavan kertoimen avulla. Pinta-alatiedot ja valuma-alerajaukset ovat Ekholmin (1993) mukaan.

	t/a
Fosfori	52
Typpi	1400
Kiintoaine	16000
Ammonium-typpi	37

Kuormituslaskelmissa oletettiin, että yhdyskuntajätevesien kuormitus pysyy määrällisesti muuttumattomana purkualueelta jokisuulle.

Taulukko 5. Porvoonjoen ainevirtaama jokisuulla 2000-luvun ainevirtaamien keskiarvon perusteella.

Porvoonjoen kaltaisissa rannikon läheisissä virtavesissä, joilla on maatalousvaltaisia valuma-alueita ja pieni järvisuusprosentti, ovat sedimentaation, denitrifikaation ja biologisten prosessien vaikutukset vuotuisiin ainevirtaamiin vähäpätöiset (Pitkänen 1987, 1994, Rekolainen ym. 1995). Syy tähän on se, että suuri osuus vuotuisista ainevirtaamista sijoittuu ajanjaksoille jolloin virtaaman nopeus on suuri, veden viipymä lyhyt ja biogeokemiallisten prosessien intensiteetit jokiuomissa ovat alhaiset. Tämän takia valtaosa Porvoonjokeen kohdistuvasta kuormituksesta päätyy Suomenlahteen aiheuttaen rehevöitymistä.

Hajakuormituksen ja luonnonhuuhtoutuman osuudet joen ainevirtaamista saatiin vähentämällä yhdyskuntajätevesikuormitus kokonaisainevirtaamista. Fosforin osalta luonnonhuuhtoutumaksi arvioitiin 10 kg/km² ja typen osalta 250 kg/km² vuodessa (esim. Rekolainen ja Kauppi 1990, Lehtonen ja Penttilä, toim. 1991).

3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.1. Porvoonjoen kokonaiskuormitus

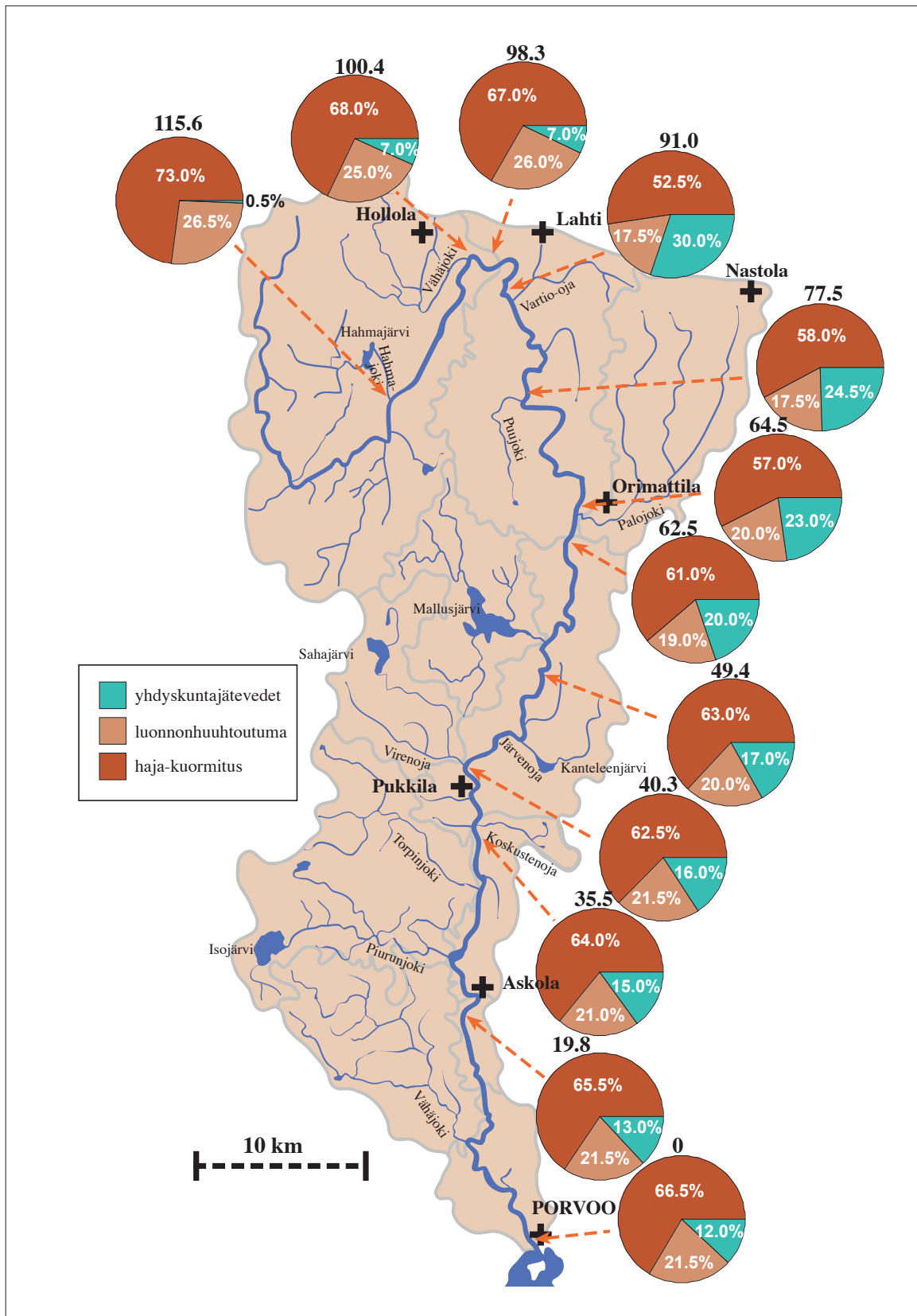
2000-luvulla ainekuormat Vakkolan mittausaseman kohdalla ovat regressiomallin perusteella keskimäärin olleet noin 46 000 kg fosforia ja 1,2 milj. kg typpeä vuodessa (taulukot 3 ja 4). Jokisuulla ainevirtaamat ovat olleet keskimäärin noin 52 000 kg fosforia ja 1.4 milj. kg typpeä vuodessa (taulukko 5). Kiintoainevirtaaman keskiarvo vuosille 2000 - 2007 on arviolta noin 14 000 tonnia vuodessa Vakkolassa

ja noin 16 000 tonnia vuodessa jokisuulla. 2000-luvun ammoniumtyppivirtaama on arviolta ollut keskimäärin 32 600 kg vuodessa Vakkolan mittausaseman kohdalla ja 37 000 kg vuodessa jokisuulla. Jokisuun ainevirtaamat on arvioitu siten, että Vakkolan ainevirtaamiin on lisätty ainemääriä jokisuun suurempaa valuma-aluetta vastaavasti.

Porvoonjoen vuotuiset ainevirtaamat ovat 2000-luvulla vaihdelleet välillä noin 24 000 – 60 000 kg fosforia ja noin 0.8 – 1.7 milj. kg typpeä (taulukko 6). Kiintoainemäärän vaihteluväli on 2000-luvulla ollut vuositasolla 7 000 – 26 000 tonnia vuodessa. Ainekuormien vaihtelut noudattavat karkeasti vuosikeskivirtaamien vaihteluja kuten tekee myös esim. lähellä sijaitsevan Vantaanjoen ainevirtaamat (Vahtera ja Männynsalo 2007). Erityisesti fosfori- ja kiintoainevirtaaman määrät ovat keskivirtaaman ohella, vahvasti sidoksissa myös siihen, miten virtaamat ovat eri vuosien aikana jakautuneet (kuvat sivuilla 23 ja 24).

Vuosi	Kokonaisfosfori (kg)	Kokonaisytyppi (kg)	Kiintoaine (tn)
2000 (MQ=12.4)	68000	1660000	22000
2001 (MQ=8.3)	39000	1150000	11000
2002 (MQ=8.2)	40000	1110000	12000
2003 (MQ=6.3)	27000	890000	7000
2004 (MQ=14.5)	79000	1940000	26000
2005 (MQ=10.0)	49000	1370000	14000
2006 (MQ=10.2)	59000	1330000	20000
2007 (MQ=12.0)	58000	1650000	17000
keskiarvo 2000-luku (MQ=10.2)	52000	1390000	16000

Taulukko 6. Porvoonjoen kokonaisfosfori- kokonaisytyppi- sekä kiintoaineen ainevirtaamat jokisuun kohdalla arvioituna vuosina 2000 - 2007 sekä 2000-luvun keskiarvo.



Kuva 4. Yhdyskuntajätevesien ja haja-kuormituksen sekä luonnonhuuhtoutuman osuudet Porvoonjoen kuljettamasta vuosittaisesta kokonaistypimäärästä eri jokiosuuksilla. Arviot ainevirtaamaosuuksista kuvaavat vuosien 2006 - 2007 keskimääräistä tilannetta. Luvut diagrammien yläpuolella kuvaavat tarkkailupisteiden etäisyyksiä jokisuusta.

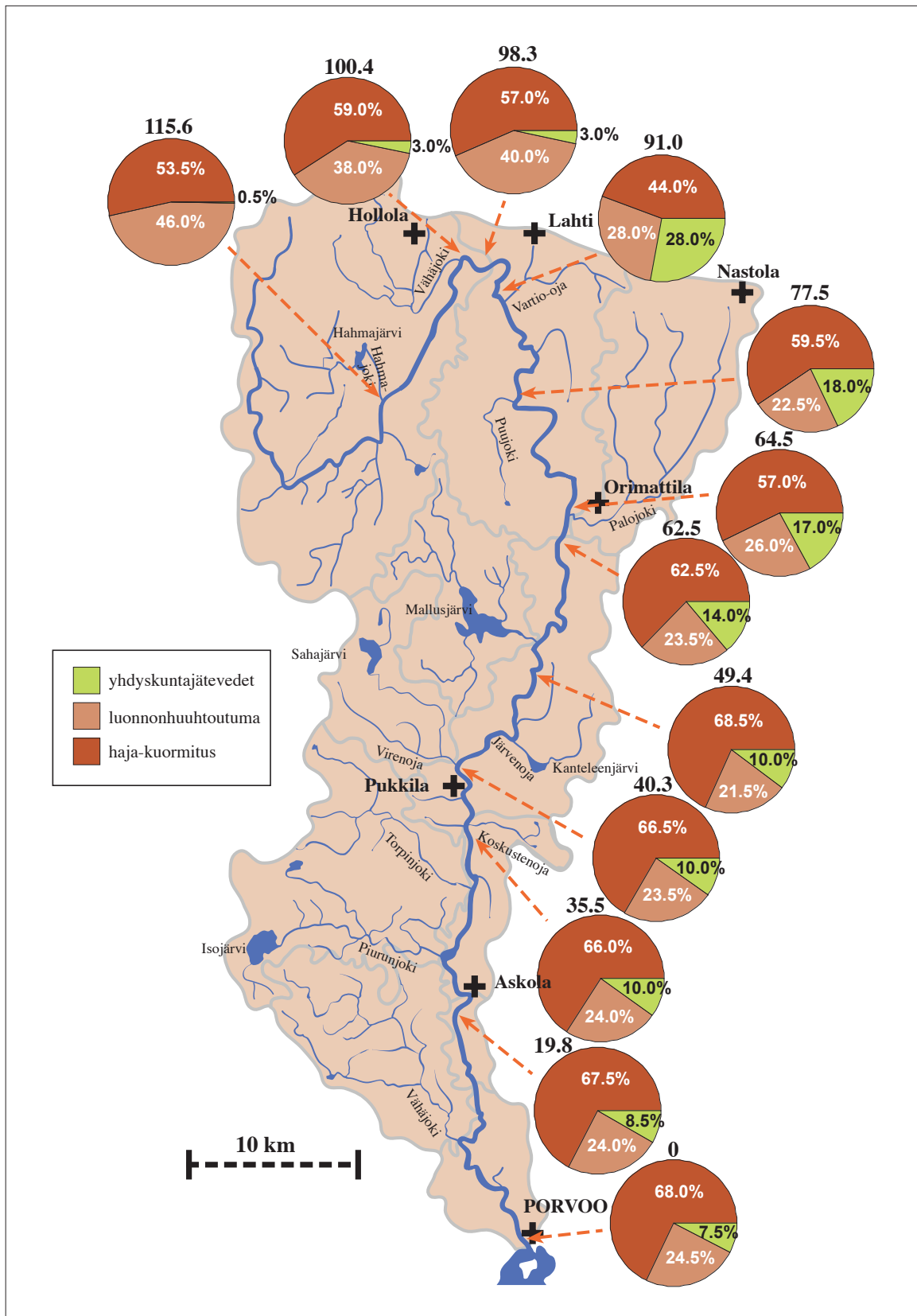
	2000 - luku		2006-2007	
	fosfori %	typpi %	fosfori %	typpi %
Yhdyskunta- jätevedet	7.5	20.0	6.0	12.0
Luonnohuuh- toutuma	24.5	23.0	22.0	21.0
Hajakuormitus	68.0	57.0	72.0	67.0

Taulukko 7. Porvoonjokeen kohdistuvan kuormituksen ja luonnonhuuhtoutuman jakautuminen jokisuulla. %- osuudet edustavat koko 2000-luvun keskimääräisiä ainevirtaamia sekä vuosien 2006-2007 keskiarvoa.

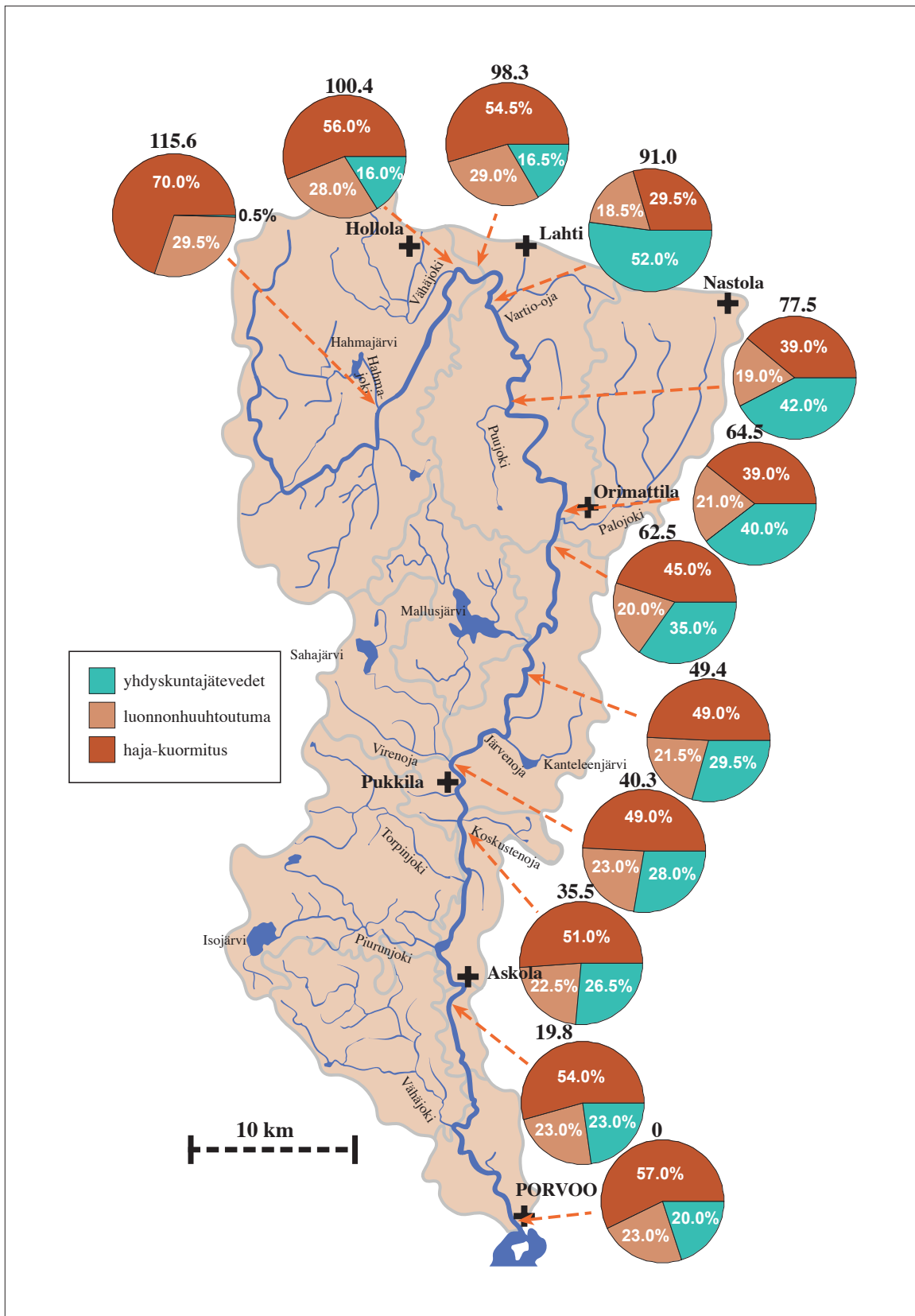
3.2. Yhdyskuntajätevesikuormituksen ja hajakuormituksen osuudet kuormituksesta eri jokiosuuksilla

Vuosina 2006 ja 2007 on joen yläosien kuormitusmäärissä, erityisesti typpimäärissä, tapahtunut selkeää vähenemistä aiempiin vuosiin verrattuna. Vuosien 2006-2007 keskiarvoja käyttäen olisi yhdyskuntajätevesien osuus jokisuun fosforivirtaamasta noin 6 % ja typpivirtaamasta noin 12 %. Lahden jätevedenpuhdistamoiden osuus Porvoonjoen ainevirtaamasta oli esim. vuonna 2007 noin 5 % fosforivirtaamasta ja noin 8 % typpivirtaamasta jokisuulla. Yhdyskuntajätevesiperäiset ravinteet ovat kuitenkin suurelta osin suoraan biologisesti käyttökelpoisia joten kuormitusosuudet eivät ole suoraan verrannollisia rehevöitymisvaikutuksiin (esim. Ekholm 1998, Silvo ym. 2000).

Kaikkien yhdyskuntajätevesien osuus joen ainekuormasta oli jokisuulla vuosina 2000-2007 keskimäärin noin 7 - 8 % fosforikuormituksesta ja 20 % typpikuormituksesta (taulukko 7). Puhdistamoiden yhteenlaskettu osuus kiintoainekuormasta on suuruusluokkaa yksi prosentti joen koko kiintoainekuormasta. Kiintoainekuormasta noin 90 % on lähtöisin alueen peltoviljelyksestä (vertaa Lehtonen ja Penttilä, toim. 1991). Joen yläjuoksua ja suuria yhdyskuntajätevesipäästöjä kohti on yhdyskuntajätevesien osuus joen ainevirtaamista suurempi (kuvat sivuilla 11, 13 ja 14). Yhdyskuntajätevesien osuus joen kokonaiskuormituksesta on selkeästi vähentynyt aikaisempiin vuosiin verrattuna.



Kuva 5. Yhdyskuntajätevesien ja hajakuormituksen sekä luonnonhuuhtoutuman osuudet Porvoonjoen kuljettamasta vuosittaisesta kokonaisfosforimäärästä eri jokiosuuksilla. Arviot ainevirtaamaosuuksista kuvaavat vuosien 2000 - 2007 keskimääräistä tilannetta. Luvut diagrammien yläpuolella kuvaavat tarkkailupisteiden etäisyyksiä jokisuusta.



Kuva 6. Yhdyskuntajätevesien ja hajakuormituksen sekä luonnonhuuhtoutuman osuudet Porvoonjoen kuljettamasta vuosittaisesta kokonaistyyppimäärästä eri jokiosuuksilla. Arviot ainevirtaamaosuuksista kuvaavat vuosien 2000 - 2007 keskimääräistä tilannetta. Luvut diagrammien yläpuolella kuvaavat tarkkailupisteiden etäisyyksiä jokisuusta.

Porvoonjoen kuormitus selvityksessä yhdyskuntajätevesien osuudeksi arvioitiin 15 % fosfori- ja 35 % typpikuormituksesta (Lehtonen ja Penttilä, toim. 1991, Porvoonjoen kuormitustilanteen kehityksestä tarkemmin kappaleessa 3.5).

3.3. Yhdyskuntajätevesikuormituksen ja hajakuormituksen kuormitusosuudet eri virtaamatilanteissa

Sekä fosfori- että typpipitoisuuksien ja virtaaman välillä vallitsee voimakas positiivinen korrelaatio Lahden puhdistamoiden ja Hollolan Salpakankaan puhdistamon yläpuolella (kuva 7). Tämä osoittaa, että ajoittain korkeat pitoisuudet ovat seurausta suurten pintavalumien aikaisesta voimakkaasta eroosiosta jolloin fosforia ja typpeä kertyy hajakuormituksena ja luonnonhuuhtoutumana jokeen.

Hollolan ja Lahden puhdistamoiden alapuolella muuttuu ravinnepitoisuuksien suhde virtaamaan. Korkeimmat pitoisuudet mitataan usein alhaisten virtaamien aikana jolloin puhdistettujen jätevesien osuus joen vedestä on suurimmillaan.

Fosforipitoisuuksien osalta yhteys virtaamaan heikkenee välittömästi jätevedenpuhdistamoiden alapuolella mutta muuttuu jälleen voimakkaasti positiiviseksi etäisyyden puhdistamoihin kasvaessa. Fosforin voimakas positiivinen korrelaatio virtaamaan kertoo hajakuormituksen suuresta merkityksestä joen veden fosforipitoisuuksille.

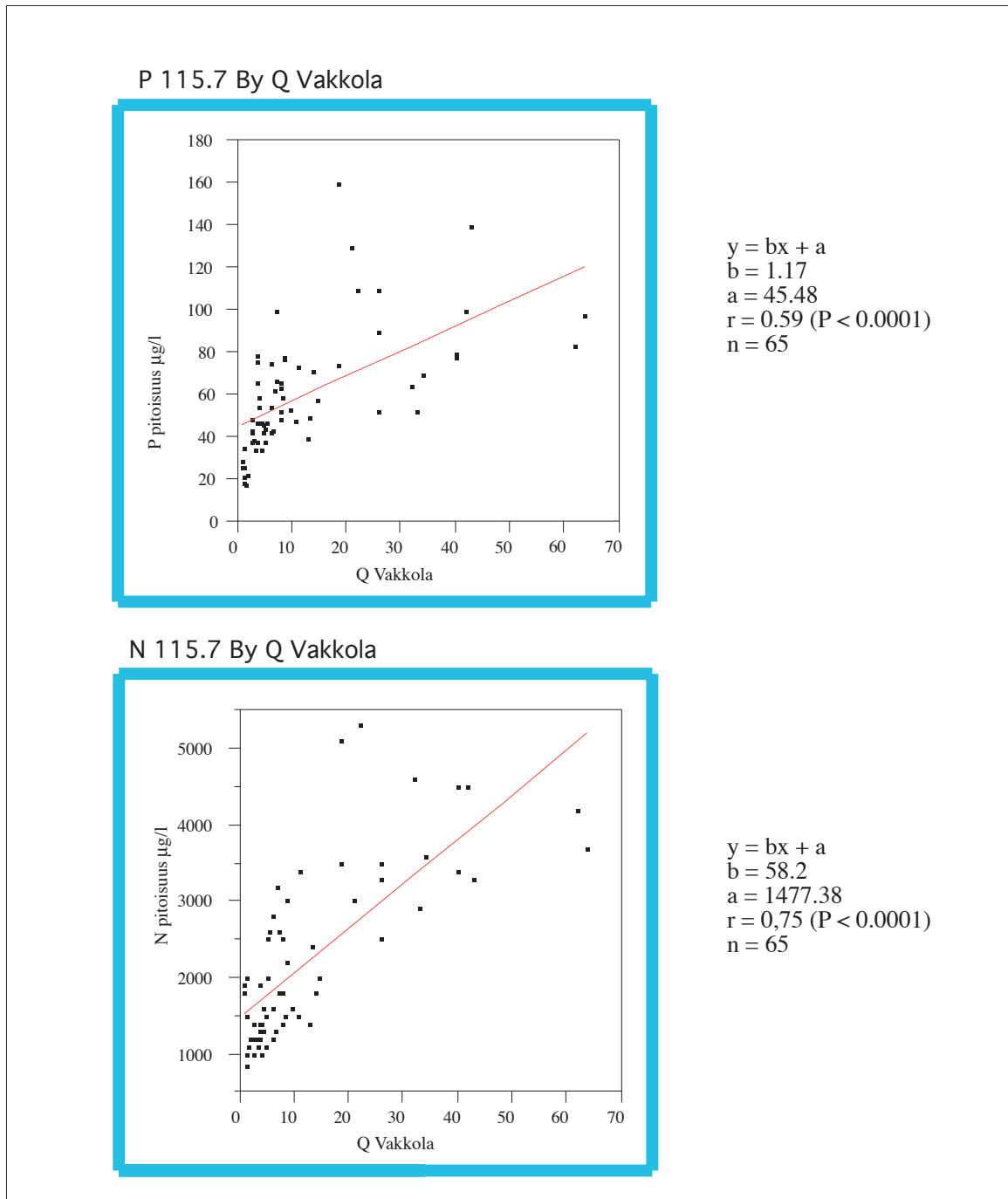
Erityisesti typpipitoisuuksilla ja virtaamalla on negatiivinen korrelaatio, joka on voimakkaimmillaan välittömästi puhdistamoiden alapuolella heiketen kohti

asema/ etäisyys/ jokisuusta	Q < 5m³/sek	Q = 5-10m³/sek	Q > 10m³/sek	keskiarvo 2000-luku
115.7	1:32	1:35	1:40	1:37
100.4	1:43	1:41	1:30	1:37
98.3	1:51	1:32	1:32	1:37
91.0	1:53	1:54	1:33	1:45
77.5	1:52	1:48	1:26	1:40
64.5	1:53	1:44	1:25	1:38
62.5	1:53	1:51	1:24	1:37
49.4	1:55	1:42	1:21	1:36
40.3	1:49	1:42	1:21	1:35
35.5	1:51	1:35	1:25	1:36
19.8	1:53	1:33	1:25	1:34

Taulukko 8. Jokiveden P/N-suhde. Kokonaisfosfori- ja kokonaisyppipitoisuuden suhde vaihtelee suuresti virtaaman mukaan. Alhaisilla virtaamilla typpeä on suhteellisesti huomattavasti enemmän.

alajuoksua (liite 1, kuva 8). Korrelaatio typpipitoisuuksien ja virtaaman välillä on kuitenkin ajoittain negatiivinen ainakin Vakkolaan asti osoittaen jätevesien vaikutuksia joen typpipitoisuuksiin ja veden laatuun koko pääuoman matkalta (Henriksen ym. 2007).

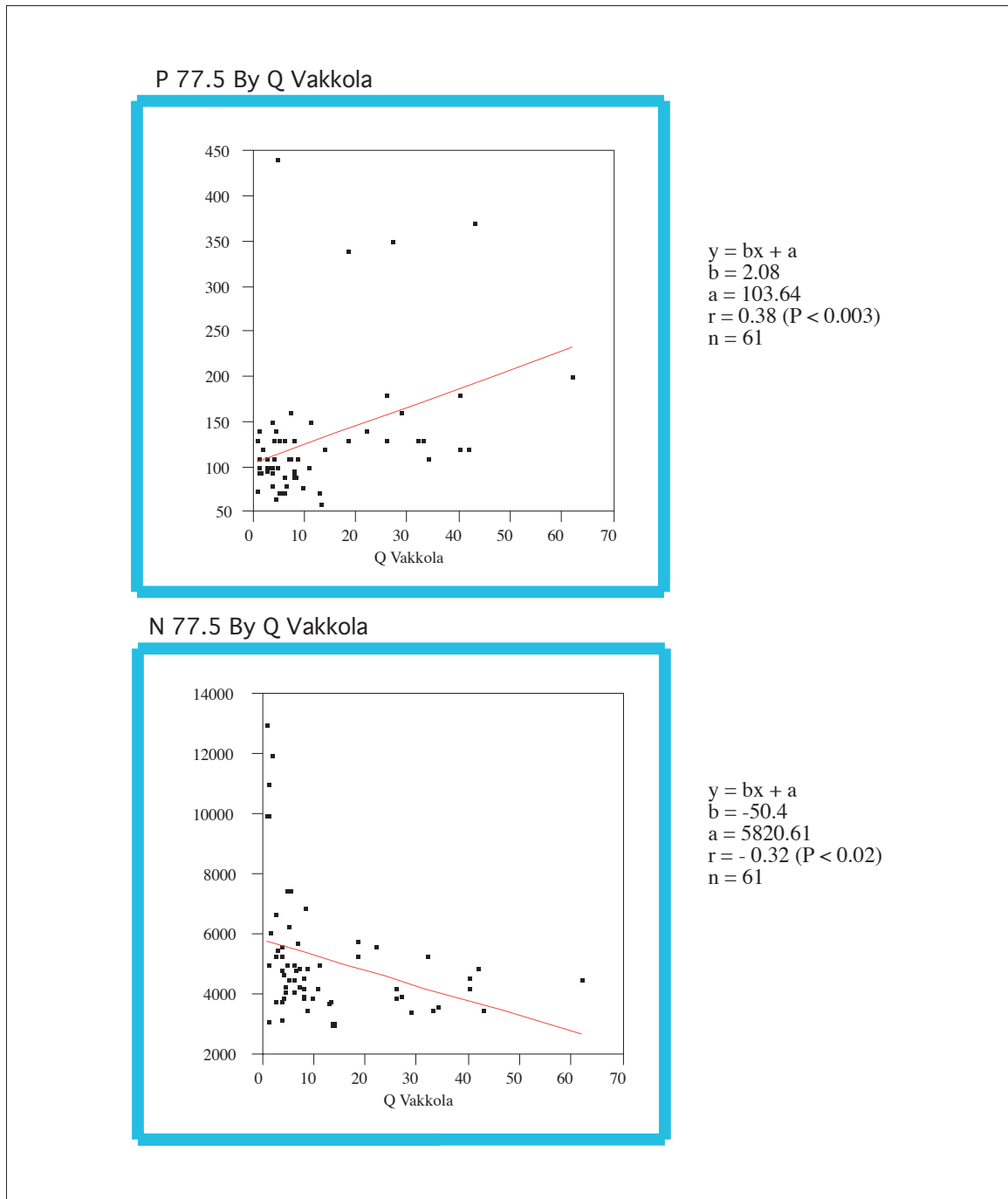
Eri jokiosuuksilla ja eri virtaamatilanteissa vaihtelevat yhdyskuntajätevesien ja hajakuormituksen osuudet kuormituksesta suuresti. Arviolta keskimäärin runsas



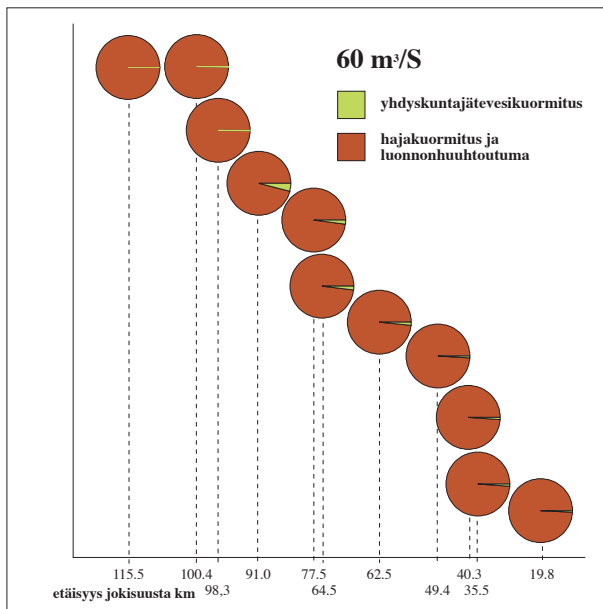
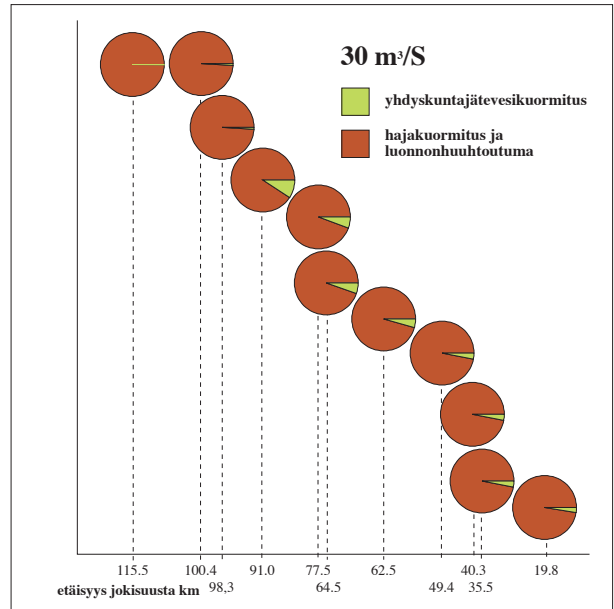
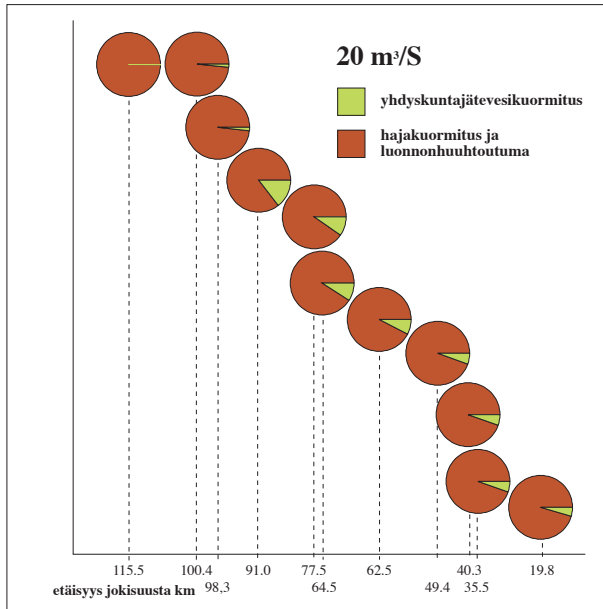
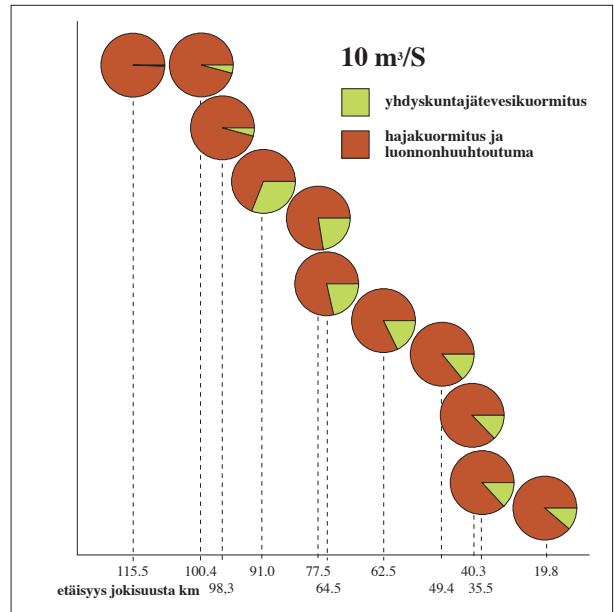
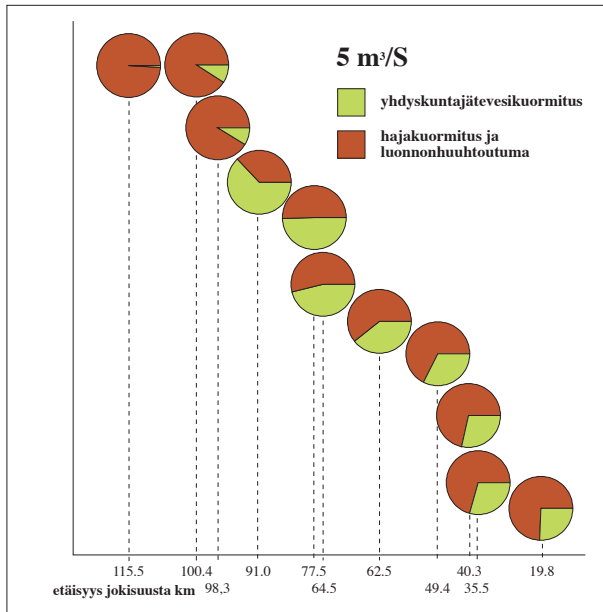
Kuva 7. Yhteys kokonaisfosforipitoisuuksien ja virtaaman välillä (ylhäällä) ja kokonaistyppipitoisuuksien ja virtaaman välillä (alhaalla) asemalla 115.7 joka sijaitsee 115.7 km jokisuutta. Suurten yhdyskuntavesijäätösten yläpuolella vallitsee voimakas positiivinen korrelaatio virtaaman ja niin fosfori- kuin typpipitoisuuksienkin välillä. b = regressiokerroin, r = korrelaatiokerroin, P = korrelaatiokertoimen merkisyysaste.

neljäs joen fosforikuormituksesta (kuva sivulla 13) ja keskimäärin noin kolmannes typpikuormituksesta (kuva sivulla 11) on peräisin yhdyskuntajätevesistä välittömästi Lahden jätevedenpuhdistamoiden alapuolella. Kohti jokisuuta kasvavat hajakuormituksen ja luonnonhuuhtoutuman osuudet ainevirtaamista ja yhdyskuntajätevesien osuus pienenee.

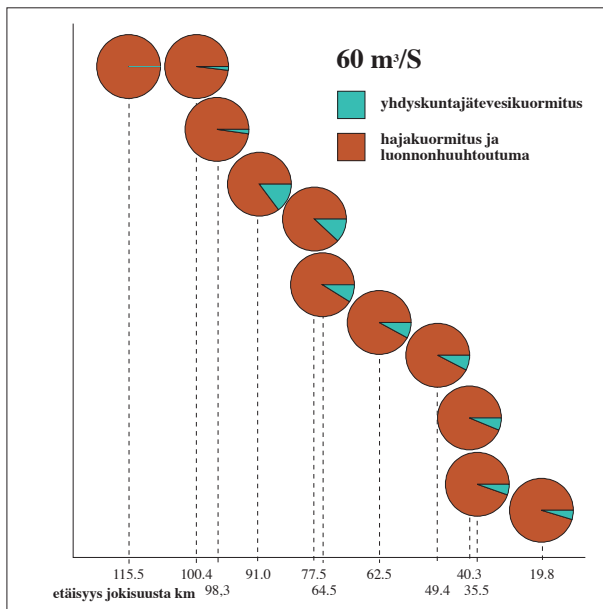
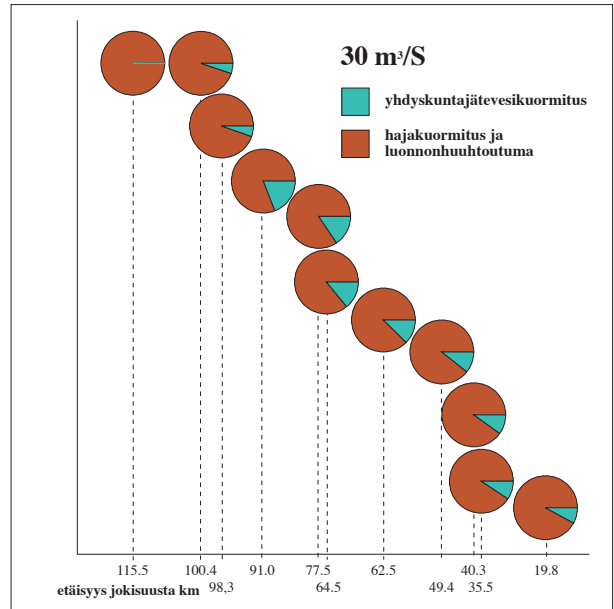
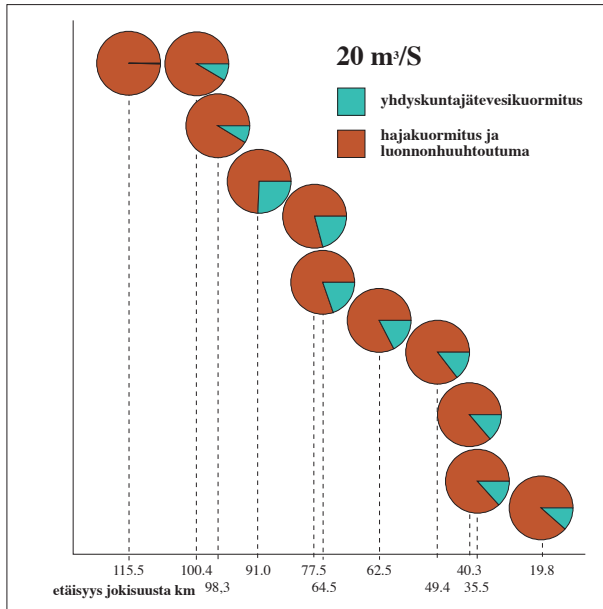
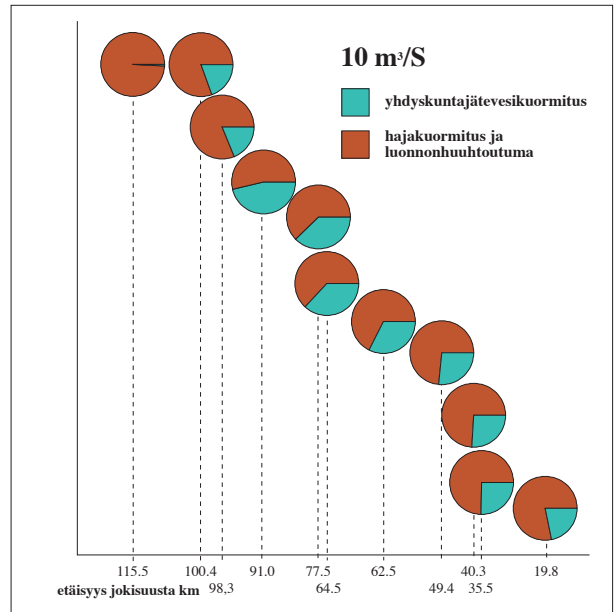
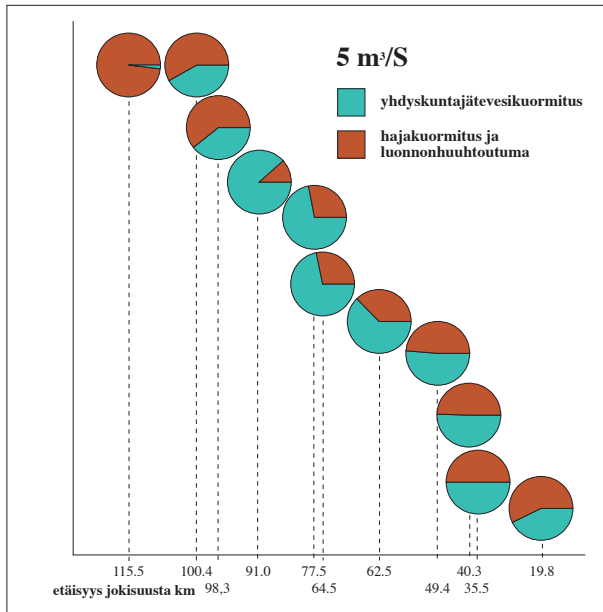
Yhdyskuntajätevesien vaikutuksesta joen kuljettamiin ravinnemääriin kertoo



Kuva 8. Yhteys kokonaisfosforipitoisuuksien ja virtaaman välillä (ylhäällä) ja kokonaistyyppipitoisuuksien ja virtaaman välillä (alhaalla) asemalla 77.5 joka sijaitsee 77.5 km jokisuusta. Suurten yhdyskuntavesipäästöjen yläpuolella vallitsee voimakas positiivinen korrelaatio virtaaman ja niin fosfori- kuin tyyppipitoisuuksienkin välillä. b = regressiokerroin, r = korrelaatiokerroin, P = korrelaatiokertoimen merkitsevyyssaste.



Kuva 7. Yhdyskuntajätevesien osuus kokonaisfosforikuormituksesta eri etäisyyksillä jokisuusta erilaisissa virtaamatilanteissa (m³/sek.) vuosien 2000 - 2007 vedenlaatu- ja kuormitustietojen perusteilla. Lahden jätevedenpuhdistamoiden jätevedet purkautuvat jokeen runsaan 90 km etäisyydellä jokisuusta.



Kuva 8. Yhdyskuntajätevesien osuus kokonaistyp-pikuormituksesta eri etäisyyksillä jokisuusta erilaisissa virtaamatilanteissa (m³/sek.) vuosien 2000 - 2007 vedenlaatu- ja kuormitustietojen perusteilla. Lahden jätevedenpuhdistamoiden jätevedet purkautuvat jokeen runsaan 90 km etäisyydellä jokisuusta.

myös se, että veden fosfori/typpi suhde muuttuu voimakkaasti välittömästi Lahden puhdistamoiden alapuolella (taulukko 8). Typpipitoiset jätevedet saavat aikaan sen, että jokivedessä on keskimäärin noin 45 kertaa enemmän typpeä kuin fosforia kuin vastaava luku puhdistamoiden yläpuolella on 37. Vallitsevan fosfori/typpi suhteen perusteella Porvoonjoki on selkeästi fosforirajoitteinen.

Yhdyskuntajätevesien vaikutusalueen laajuus ja vaikutusten voimakkuus vaihtelee suuresti virtaamaolosuhteiden mukaan. Tämä johtuu siitä, että yhdyskuntajätevedet kuormittavat jokea suhteellisen tasaisesti verrattuna hajakuormitukseen jonka voimakkuus puolestaan vaihtelee pintavalumien ja virtaamien mukaan.

Selkeinä alivirtaamakausia huomattava osa joen vedestä on puhdistettua jätevettä lähes joen koko matkalta (kuvat sivuilla 18 ja 19). Alhaisilla virtaamilla nousevat pääsääntöisesti typpiyhdisteiden pitoisuudet joessa korkeimmilleen yhdyskuntajätevesikuormituksen vaikutuksesta. Virtaaman kasvaessa vähenee yhdyskuntajätevesien kuormitusosuus sitä mukaan kuin hajakuormituksen ja luonnonhuuhtoutuman osuudet kasvavat. Suurten virtaamien aikana ulottuvat yhdyskuntajätevesien

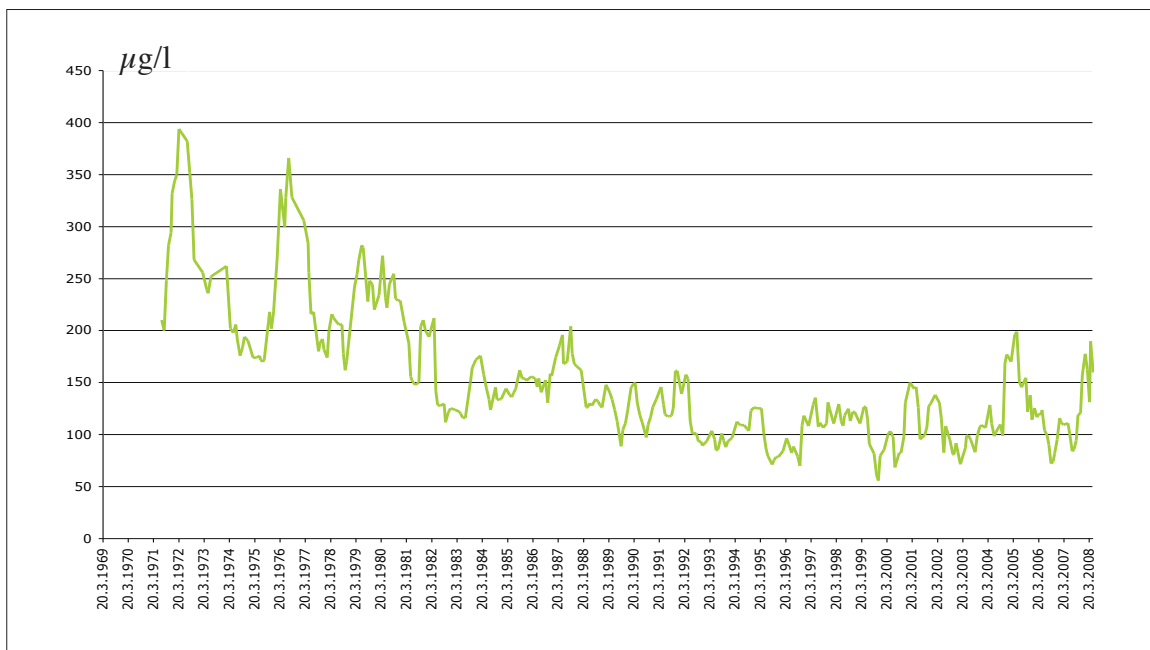
Vuosi	Valuma-alue tarkastelu & kuormituslähteiden ominaiskuormitus		Ainevirtaamat pitoisuuksien ja virtaamatietojen perusteilla	
	fosfori	typpi	fosfori	typpi
1974 - 1978 Wartiovaara & Melvasalo 1980			94	1450
1970 - 1983 Pitkänen & al. 1988a			81	1300
1979 - 1983 Pitkänen & al. 1988a			73	1400
1980 - 1984 Tälsi 1987			40-128 keskiarvo: 77	1050-1770 keskiarvo: 1310
1981 - 1984 Nironen & al. 1988	41-130 keskiarvo: 54	900-1700 keskiarvo: 1280	65	1150
1982 - 1984 Pitkänen & al. 1988b			77	1500
1981 - 1985 Rekolainen & al. 1995			66	1500
1985 - 1991 Ahtela 1995			38-94 keskiarvo: 62	1230-1630 keskiarvo: 1410
1986 - 1990 Pitkänen 1987, 1994			63	1540
1988 - 1991 Lehtonen & Penttilä 1991	100	1500		
2004 Lahden tutkimuslaboratorio 2005			86	1567
2005 Lahden tiede ja yrityspuisto 2006			89,3	1833
2006 Ramboll Analytics Oy 2007			61,8	1469
2007 Ramboll Analytics Oy 2008			86	1716

Taulukko 9. Porvoonjoen kokonaisfosfori- ja kokonaistyppeäkuormitus (tn/vuosi) muutamien selvitysten perusteilla.. Tässä yhteydessä mainittakoon että on tehty myös arvioita joen kuljettamasta biologisesti käyttökelpoisesta ravinnekuormituksesta. Arviot ovat vaihdelleet välillä noin 8 - 20 tn fosforia ja noin 750 - 1480 tn typpeä vuodessa (Kürikki ym. 2001, Kürikki ym. 2000, Korpinen ym. 2002, Kürikki ym. 2003).

selkeät vaikutukset joen veden laatuun huomattavasti suppeammalle alueelle kuin virtaaman ollessa alhainen. Tällöin korostuvat hajakuormituksen ja luonnonhuuhtoutuman osuudet (kuvat sivuilla 18 ja 19).

Suuren osan vuodesta Porvoonjoen virtaama on selkeästi alle keskivirtaaman (kuvat sivuilla 23 ja 24). Keskivirtaamaolosuhteet vallitsevat Porvoonjoessa ajallisesti ainoastaan muutaman prosentin vuodesta. Suurimman osan vuodesta virtaaman taso on karkeasti puolet keskivirtaamasta. Sivujen 18 ja 19 kuvista ajallisesti hallitseva tilanne on lähinnä se, joka kuvaa joen ainevirtaamia veden virtaaman ollessa 5 m³/sek. Kuvissa 11 ja 12 näkyy alivirtaamakausien kestot ja voimakkuudet. Huolimatta siitä, että yhdyskuntajätevesien osuus Porvoonjoen kokonaiskuormituksesta on nykytilanteessa vähentynyt oikein kohdennettujen toimenpiteiden ansiosta selkeästi, on niillä vallitsevina alivirtaamakausina suurempi merkitys kuin mitä yhdyskuntajätevesien keskimääräisistä kuormitusosuuksista Porvoonjoessa voisi päätellä.

Myönteistä on, että yhdyskuntajätevesikuormituksen selkeä väheneminen on havaittavissa pohjaeliöstön ja kalojen elinolosuhteiden paranemisena (Pihlström ja Myllyvirta 1997, Henriksson ja Myllyvirta 1998, Henriksson ym. 2000, 2007, Mettinen ym. 2000, Ihalainen ym. 2001, Myllyvirta ym. 2004). Kuormitustilanteen paraneminen on myös luonut edellytyksiä kalataloudelliselle kunnostustyölle ja Porvoonjoen virkistyskäytöstä kohentamiselle (Vainio 2000, 2002, 2003, 2004, 2005a, 2005b, 2006, 2007a, 2007b, 2008, Ihalainen 2002).



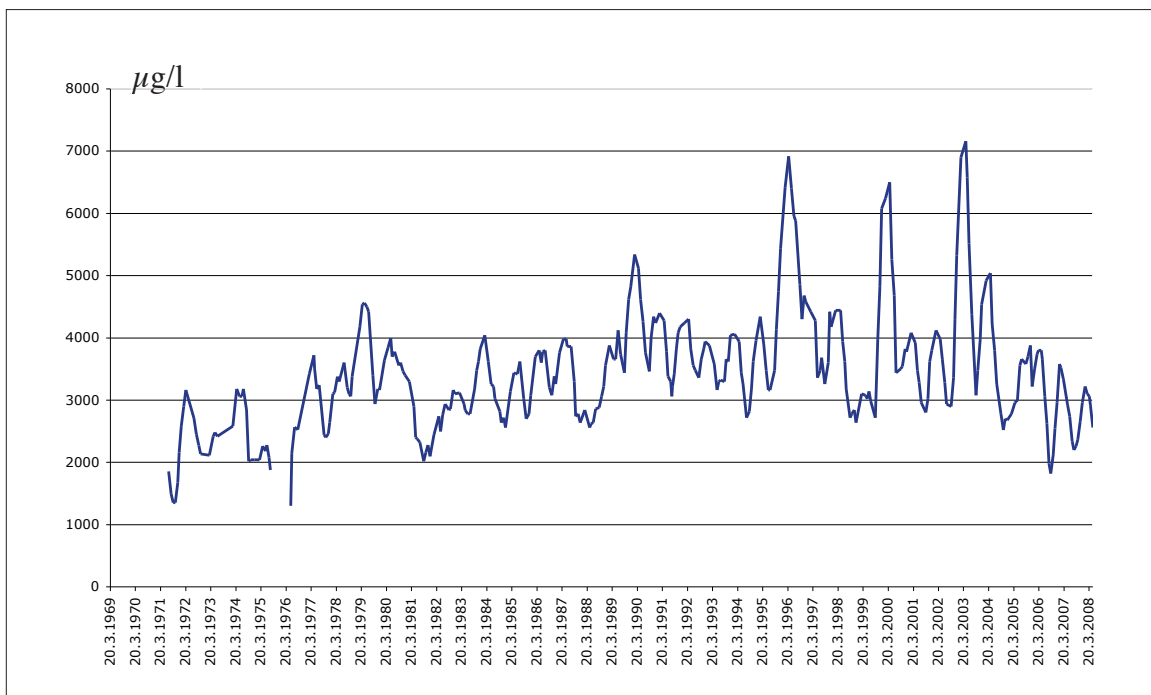
Kuva 9. Porvoonjoen kokonaisfosforipitoisuuksien kehitys. Käyrät perustuvat viiden pitoisuusmittauksen juoksevaan keskiarvoon 4.5 km jokisuusta (<https://www.hertta.fi>).

3.4. Ajallisia muutoksia Porvoonjoen kuormituksessa

3.4.1. Vertailu 1970-lukuun

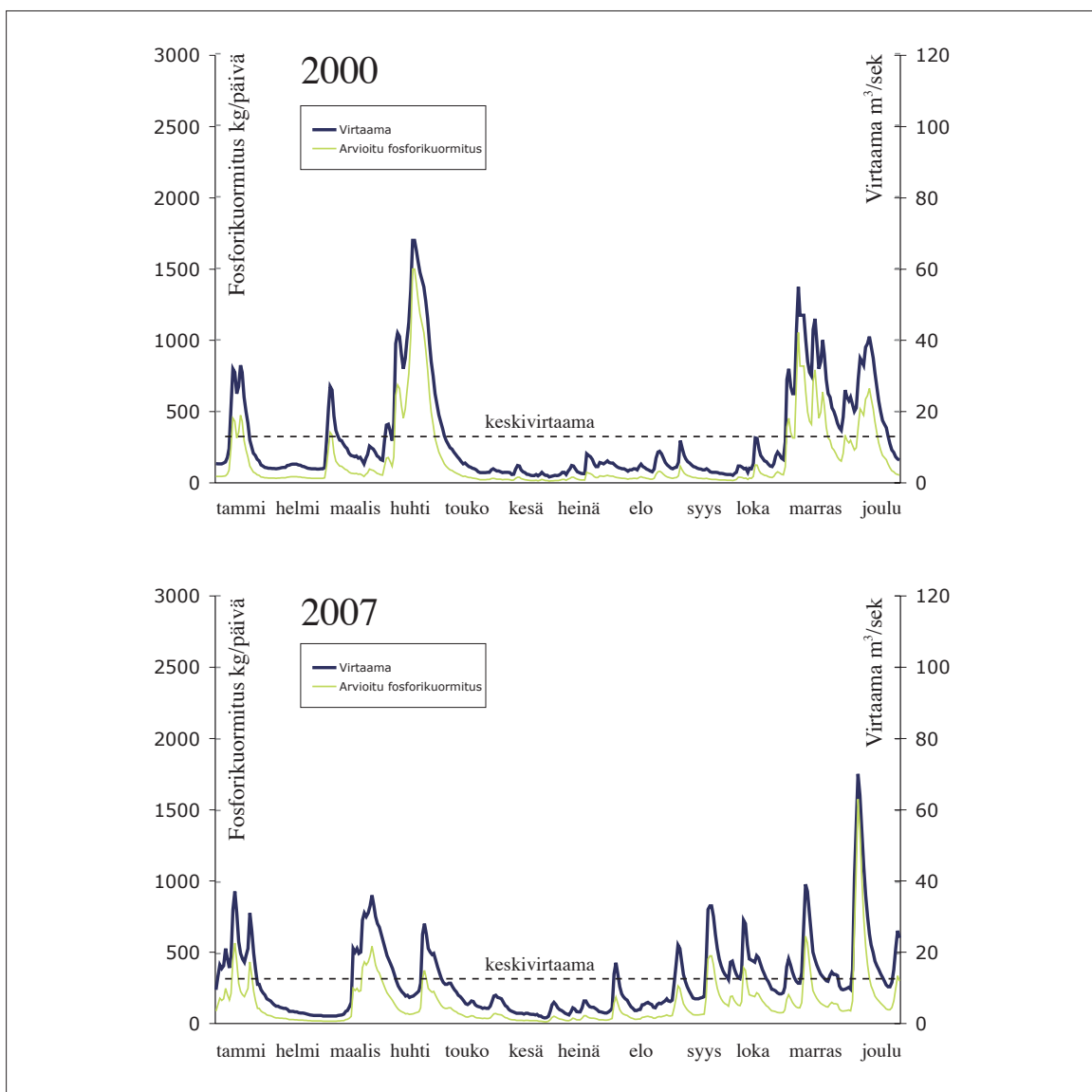
Vuosien 1974 - 1976 vedenlaatu- ja virtaama aineiston perusteella Porvoonjoen keskimääräisten ainevirtaamien on arvioitu olleen noin 94 tonnia fosforia ja noin 1450 tonnia typpeä vuodessa (Wartiovaara ja Melvasalo 1980, taulukko sivulla 20). Arvot ovat fosforin osalta melkein kaksinkertaisia tämän selvityksen arvoihin nähden. Myös Pitkäsen (1988a) arvio fosforivirtaamasta on noin 30 tonnia suurempi kuin tämän selvityksen arvio. Vedenlaatuaineiston perusteella fosforipitoisuudet joen vedessä jokisuulla ovatkin karkeasti puolittuneet sitten 1970-luvun (kuva 9). 1970-luvulla yhdyskuntajätevesien vuotuinen fosforikuormitus oli karkeasti noin 30 tonnia 2000-luvun kuormitusta suurempi (Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio 1979, 1980). Fosforipitoisuuksien aleneminen on siten selkeästi selitettävissä yhdyskuntajätevesikuormituksen pienenemisen vaikutuksena.

Joen kuljettamat typpimäärät sen sijaan olivat saman suuruisia 1974 - 1976 kun tämän selvityksen antamat typpimäärät (Wartiovaara ja Melvasalo 1980). Tämä siitäkin huolimatta, että yhdyskuntien vuotuinen typpikuormitus 2000-luvulla on keskimäärin ollut noin 150 tonnia pienempi kuin se oli 1970-luvulla (Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio 1979, 1980). On mahdollista, että hajakuormituksen kokonaismäärä on jopa noussut jonkin verran 1970-luvun tilanteesta.



Kuva 10. Porvoonjoen kokonaistyyppipitoisuuksien kehitys. Käyrät perustuvat viiden pitoisuusmittauksen juoksevaan keskiarvoon 4.5 km jokisuusta (<https://www.hertta.fi>).

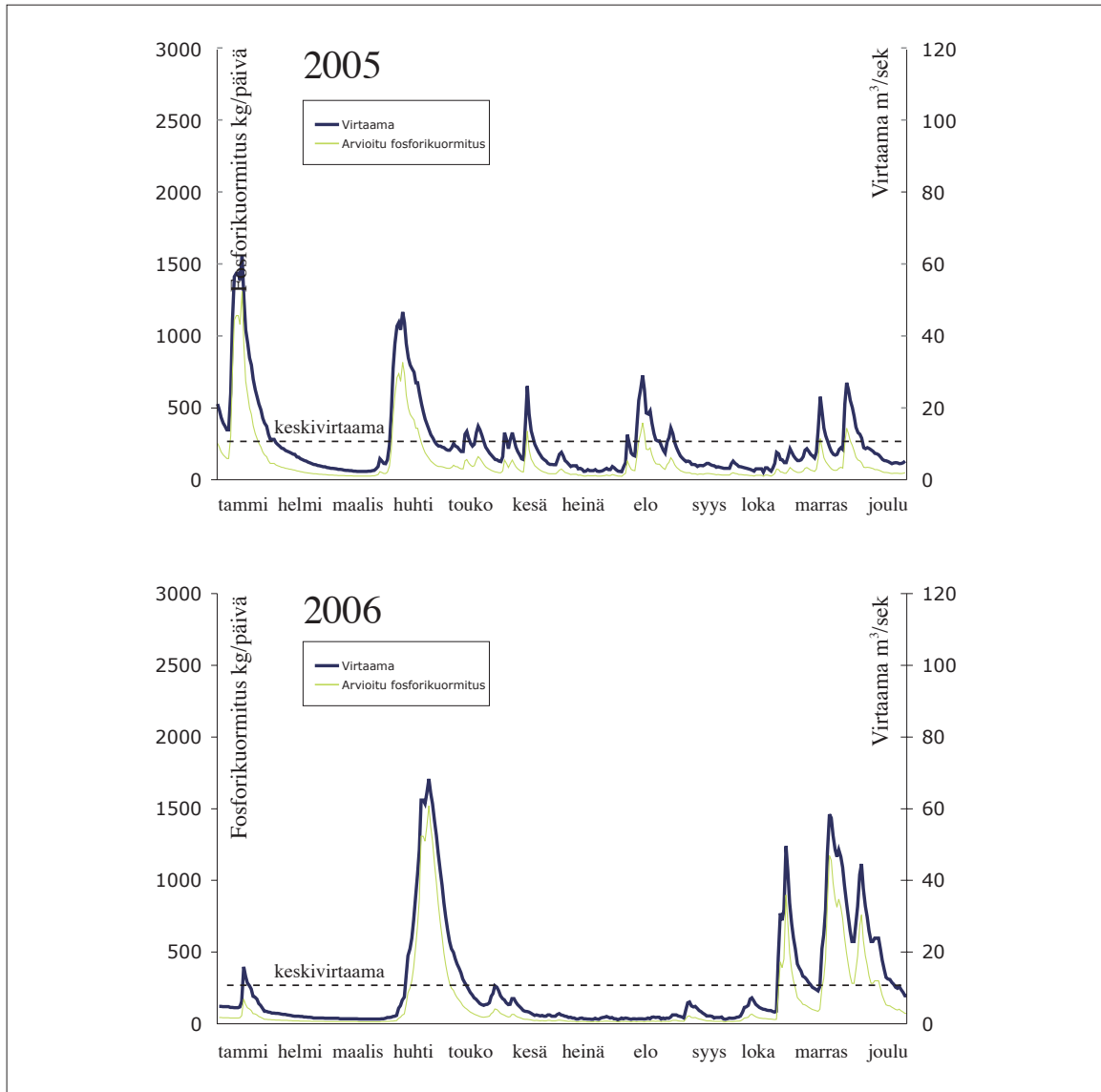
Pitkäaikainen vedenlaatutietojen vertailu antaa tukea sille, että joen typpikuormitus nykyään on kutakuinkin samalla tasolla tai hieman korkeampi kuin 1970-luvulla (kuva sivulla 22). Merkille pantavaa on, että 1980- ja 1990-luvun typpipitoisuuksien taso on ollut huomattavasti korkeampi ja että pitoisuudet vasta viime vuosina ovat palautumassa 1970-luvun tasolle.



Kuva 11. Porvoonjoen virtaama Vakkolassa vuosina 2000 ja 2007. Vaikka keskivirtaama oli-kin saman suuruinen molempina vuosina olivat veden kuljettamat ainemäärät eri suuruisia. Fosforikuormitus vuonna 2000 oli arviolta noin 10 000 kg vuotta 2007 suurempi johtuen siitä, että fosforipitoisuudet nousevat voimakkaasti virtaaman kasvaessa. Vuonna 2000 virtaamat olivat epätasaisesti jakautuneet erittäin kuivien ja voimakkaasti sateisten kausien välillä. Vuonna 2007 virtaamat ovat tasaisemmin jakautuneet ja vaihteluväli keskittyy lähemmäksi vuoden keskivirtaamaa.

3.4.2. Vertailu 1980 - 1990-lukuun

Aikaisemmissa pitkiin aikasarjoihin perustuvissa selvityksissä Porvoonjoen ainevirtaamien on pääsääntöisesti arvioitu olleen jonkin verran suurempia kuin tämän selvityksen tulokset (esim. Pitkänen 1987, Pitkänen 1994, Rekolainen 1995, taulukko sivulla 20). Vuosien 1986 - 1990 keskimääräisten ainevirtaamien arvioitiin vuositasolla olleen 63 tonnia fosforia ja 1540 tonnia typpeä (Pitkänen 1994). Vuosille 1985 - 1991 Ahtela (1994) on raportoinut saman suuruisia ainevirtaamia fosforille (62 tonnia/vuosi) mutta hieman alhaisemman arvion typpimäärille (1400 tonnia/vuosi).



Kuva 12. Porvoonjoen virtaama Vakkolassa vuosina 2005 ja 2006. Vaikka keskivirtaama oli-
kin saman suuruinen molempina vuosina olivat veden kuljettamat ainemäärät eri suuruisia.
Fosforikuormitus vuonna 2006 oli arviolta noin 9000 kg vuotta 2005 suurempi johtuen siitä, että
vuonna 2006 rankkasateet aiheuttivat todella suuria huippuvirtaamia.

Silloinen yhdyskuntajätevesikuormitus oli fosforin osalta keskimäärin noin 9.2 tonnia ja typen osalta keskimäärin noin 130 tonnia 2000-luvun keskimääräistä kuormitusta suurempi (Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio 1989, 1990, 1991). Huomioitaessa tämä yhdyskuntajätevesien kuormituksen vähenemä päädytään e.m. selvityksissä saman suuruisiin ainevirtaamiin kun tässä selvityksessä. Tämä viittaa siihen, että yhdyskuntajätevesikuormituksen ohella ei ole tapahtunut parannusta Porvoonjoen kuormitustilanteesta viime vuosikymmeninä ja että jokeen kohdistuva hajakuormitus on pysynyt korkealla tasolla.

Porvoonjoen kokonaiskuormitusta ja eri kuormituslähteiden osuutta joen kuormituksesta on arvioitu myös käyttäen tutkimuksista saatuja ominaiskuormitusarvioita eri hajakuormituslähteille ja mittausten perusteilla arvioituja kuormitusmääriä pistekuormituslähteille (Lehtonen ja Penttilä, toim. 1991, taulukko 8). Näin laskennallisesti arvioituna Porvoonjoen fosforivuosi-kuorma olisi 1990-luvun alussa ollut noin 100 tonnia ja typpikuorma noin 1500 tonnia vuodessa. Yhdyskuntajätevesien osuuden fosforikuormituksesta arvioitiin silloin olleen noin 15 % ja typpikuormituksesta noin 35 %.

Ominaiskuormitusarvioihin perustuvat kuormitusselvitykset antavat teoreettisia arvioita Porvoonjokeen kohdistuvasta vesistökuormituksesta. Todelliset ainevirtaamat esim. jokisuulla jäävät tavallisesti pienemmiksi kuin voisi päätellä ominaiskuormitusarvojen perusteella.

3.4.3. Vertailu 2000-lukuun

Aikaisemmissa selvityksissä Porvoonjoen ainevirtaamia on arvioitu näytteenottopäivien tilanteiden perusteella siten, että käyttämällä näytteenottopäivien pitoisuuksien virtaamapainotteisia keskiarvoja on arvioitu joen vuosiainevirtaamat (Malin 1998, 1999, 2000, 2000a, 2002, Lahden tutkimuslaboratorio 2003, 2004, 2005, Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy 2006, Ramboll Analytics Oy 2007, 2008).

Vuosikohtaisia virtaamamääriä laskettaessa antavat arviot suhteellisen harvojen näytteenottopäivien perusteella suuren hajonnan tuloksiin. Näin arvioituna fosforivirtaama Vakkolassa oli 2000-luvulla pienimmillään 18.6 tonnia (vuonna 2002), kun se tämän työn perusteella kyseisenä vuonna oli 35.5 tonnia (taulukko sivulla 7). Silloisen arvion perusteella fosforivirtaama oli suurimmillaan 75.2 tonnia (vuonna 2005), kun se tämän työn perusteella oli 42.9 tonnia. Typpivirtaaman

vaihteluväli 2000-luvulla oli aikaisempien arviointien perusteella 1080 tonnia (vuonna 2001) ja 1605 tonnia (vuonna 2005). Tässä työssä vastaavat arviot typen suhteen olivat 1010 tonnia ja 1205 tonnia (taulukko sivulla 8).

Vuosikuormien pitkäaikaiskeskiarvot perustuvat jo melko edustavaan otokseen, joka antaa melko luotettavan arvion joen keskimääräisistä ainevirtaamista. Edellä mainittujen arvioiden keskiarvot 2000-luvulle on noin 47 000 kg fosforia ja noin 1.37 milj. kg typpeä vuodessa (Vakkolassa) ja ovat suuruusluokaltaan saman tasoisia kuin tässä selvityksessä saadut arviot ainevirtaamista.

	Regressiomalli	Frisk & Kylä-Harakka
	kg/a	kg/a
Fosfori	46 000	48 700
Typpi	1.2 milj.	1.2 milj.
Kiintoaine	14.1 milj.	16.6 milj.
Ammonium-typpi	32 600	32 000

Taulukko 10. Porvoonjoen keskimääräiset ainevirtaamat Vakkolan kohdalla 2000-luvun ainevirtaamien perusteella. Vertailussa on regressiomallien ja Frisk & Kylä-Harakan (1981) mallin antamat tulokset. Menetelmien tulokset vastaavat toisiaan hyvin tarkasteltaessa pidempää aikaväliä mutta vuositasolla poikkeamat ovat usein melko suuria.

Porvoonjoen vedenlaadun tarkkailujen yhteydessä kerätään vesinäytteet kymmenkunta kertaa vuodessa, mutta joesta on käytössä vuorokausittaiset virtaamatiedot. Tällöin voidaan soveltaa myös m.m. Friskin ja Kylä-Harakan (1981) laskukaavaa ainevirtaamien arvioimiseksi.

$$L = \frac{\sum c_i q_i}{\sum q_i} MQ$$

Friskin ja
Kylä-Harakan
(1981) yhtälö:

jossa L = ainevirtaama (esim. µg/sek.)
 c_i = näytteenottoajankohdan pitoisuus (esim. µg/l)
 q_i = näytteenottoajankohdan virtaama (esim. m³/sek.)
 MQ = jakson keskivirtaama (esim. m³/sek.)

Fosfori- ja kiintoainemäärät ovat Friskin ja Kylä-Harakan kaavalla laskettuna, tämän selvityksen tuloksia jonkin verran suuremmat (taulukko 10). 2000-luvulla näytteenotot ovat osuneet ajankohtiin, jolloin virtaama on ollut keskimäärin selkeästi keskivirtaamaa suurempi mikä ilmeisesti aiheuttaa sen, että kaava yliarvioi ainevirtaamia. Poikkeama korostuu erityisesti fosforin- ja kiintoaineen suhteen, joiden pitoisuudet korreloivat vahvasti veden virtaamanopeuden kanssa.

Typpiyhdisteiden määrät sen sijaan ovat samansuuruisia molemmilla laskentamenetelmällä arvioituna (taulukko 10). Typpiyhdisteiden ja virtaamanopeuden välinen korrelaatio on heikko joen alajuoksulla. Tämän takia yhtälön komponentit - pitoisuuksien virtaamapainotteiset keskiarvot ja jakson keskivirtaama - soveltuvat tyypin ainevirtaamien arvioimiseen.

Myös Friskin ja Kylä-Harakan arviointimenetelmän heikkoutena on yksittäisten pitoisuusmittausten suuri vaikutus tulokseen ja alttius sattumanvaraisille vaihteluille otoksien ollessa pieniä. Vuosittaiset näytemäärät Porvoonjoesta ovat liian harvakuksia jotta tämän kaltaisilla keskipitoisuuksiin ja keskivirtaamiin perustuvilla menetelmillä voitaisiin luotettavasti arvioida Porvoonjoen ainevirtaamia vuositasolla.

Esim. vuodelle 2005 saadaan Friskin ja Kylä-Harakan laskentakaavan avulla 8000 kg suurempi fosforivirtaama kun vuodelle 2006 kun tämän selvityksen tulokset olivat täysin päinvastaisia. Verrattaessa vuosien 2005 ja 2006 vedenlaatuaineistoa ja virtaamajakaumaa havaitaan, että todella suuret virtaamat, jolloin fosforipitoisuudet ovat korkeimmillaan, olivat yleisempiä ja jaksot pidempiä vuonna 2006 (kuva sivulla 24).

4. Yhteenveto

Tässä työssä arvioidaan Porvoonjoen kokonaiskuormitusta sekä yhdyskuntajätevesien osuutta kuormituksesta vaihtelevissa luonnonolosuhteissa.

Vuonna 1991 arvioitiin Porvoonjoen kokonaisfosforikuormituksen olleen tasoa 100 tonnia ja typpikuormituksen 1500 tonnia vuodessa (Lehtonen ja Penttilä, toim. 1991). Yhdyskuntajätevesien osuuden Porvoonjoen kuormituksesta arvioitiin tuolloin olleen kokonaisfosforin osalta 15 % ja kokonaistypen osalta 35 %. Tämän työn perusteella yhdyskuntajätevesien osuus Porvoonjoen kokonaisfosforikuormituksesta on nykyään noin 6% ja kokonaistyppikuormituksesta noin 12% (kuva sivulla 11, taulukko sivulla 12). Lahden jätevedenpuhdistamoiden osuus Porvoonjoen ainevirtaamista oli esim. vuonna 2007 noin 5 % fosforivirtaamasta ja noin 8 % typpivirtaamasta jokisuulla.

Selkeä yhdyskuntajätevesikuormituksen väheneminen näkyy esim. pohjaeläinten ja kalojen parantuneina elinolosuhteina Porvoonjoessa. Hajakuormituksen määrä näyttää sen sijaan säilyneen ennallaan tai jopa hieman kasvaneen.

Työn perusteella Porvoonjoen kokonaiskuormituksen arvioitiin fosforin osalta olleen vuosina 2000 – 2007 keskimäärin tasoa 52 tonnia ja typen osalta keskimäärin 1400 tonnia vuodessa. Vuotuiset ainevirtaamat ovat 2000-luvulla vaihdelleet välillä noin 24 000 – 60 000 kg fosforia ja noin 0.8 – 1.7 milj. kg typpeä vuodessa (taulukko sivulla 10). Kiintoainevirtaaman keskiarvoksi vuosille 2000 - 2007 arvioitiin noin 16 000 tonnia vuodessa ja ammoniumtyppivirtaamaksi keskimäärin 37 000 kg vuodessa jokisuulla (taulukko sivulla 9).



Joen yläjuoksua ja suuria yhdyskuntajätevesipäästöjä kohti on yhdyskuntajätevesien osuus joen ainevirtaamasta suurempi (kuvat sivuilla 11, 13 ja 14). Arviolta keskimäärin runsas neljännes joen fosforikuormituksesta (kuva sivulla 13) ja keskimäärin noin kolmannes typpikuormituksesta (kuva sivulla 11) on peräisin yhdyskuntajätevesistä välittömästi Lahden jätevedenpuhdistamoiden alapuolella. Kohti jokisuuta kasvavat sekä hajakuormituksen ja luonnonhuhutoutuman osuudet ainevirtaamasta ja yhdyskuntajätevesien osuus pienenee merialuetta kohti.



Yhdyskuntajätevesien vaikutusalueen laajuus ja vaikutusten voimakkuus vaihtelee suuresti virtaamaolosuhteiden mukaan. Virtaaman kasvaessa vähenee yhdyskuntajätevesien kuormitusosuus sitä mukaan kuin hajakuormituksen ja luonnonhuhutoutuman osuudet kasvavat.

Suuren osan vuodesta Porvoonjoen virtaama on selkeästi alle keskivirtaaman (kuvat sivuilla 23 ja 24). Huolimatta siitä, että yhdyskuntajätevesien osuus Porvoonjoen kokonaiskuormituksesta on alentunut voimakkaasti kuormitusta vähentäneiden toimenpiteiden seurauksena, on niillä alivirtaamakausina suurempi osuus joen kuormituksesta ja täten suurempi vaikutus veden laatuun kuin mitä yhdyskuntajätevesien keskimääräisistä kuormitusosuuksista voisi päätellä.

Porvoonjoen veden fosforipitoisuudet pääasiallisesti nousevat runsasvetisinä aikoina, koska pintavalunnan mukana tulevat runsaat fosforihuhutoutumat nostavat joen veden fosforipitoisuuksia.

Jätevesien vaikutusalueella Porvoonjoen veden typpipitoisuudet yleensä kasvavat vähävetisinä aikoina. Syynä tähän on se, että kuivina aikoina runsaasti typpeä sisältävät yhdyskuntajätevedet muodostavat huomattavan osan joen vesimäärästä. Runsasvetisempinä aikoina joen veden typpipitoisuudet alenevat jätevesien lainemisen myötä.



Verrattaessa tuloksia 2000-luvulla tehtyihin arvioihin Porvoonjoen ainekuormista ovat tämän selvityksen arviot ainemääristä pääsääntöisesti suuruusluokaltaan saman tasoisia pitkiä aikasarjoja verrattaessa, mutta poikkeavat usein suurestikin tarkasteltaessa esim. tilanteita vuositasolla. Lyhyempiä ajanjaksoja tarkasteltaessa ovat perinteiset menetelmät ainevirtaamien arvioimiseksi varsin alttiita yli- tai aliarvioimaan joen ainevirtaamia, mikäli näytteenottopäivien tilanne on poikennut suuresti keskivertotilanteesta. Esim. vuoden 2002 fosforivirtaaman Askolan Vakkolassa on aikaisemmin arvioitu olleen 18.6 tonnia vuodessa kun se tämän työn perusteella oli ollut 35.5 tonnia fosforia vuodessa. Vuonna 2005 fosforivirtaaman on arvioitu olleen 75.2 tonnia vuodessa kun se tämän työn perusteella oli ollut 42.9 tonnia vuodessa. Typpivirtaamien suhteen erot arvioinneissa eivät ole yhtä suuria.

Tässä selvityksessä pyrittiin minimoimaan virhelähdettä, jota harvat vedenlaattutiedot ja pienet otokset aiheuttavat ainevirtaamia arvioitaessa. Virtaaman ja ravinnepitoisuuksien välistä yhteyttä käytettiin joen kuljettamien ravinne määrrien selvittämiseksi käyttämällä regressiomalleja ainepitoisuuksien ja virtaamien välisestä suhteesta eri jokiosuiksille (liite 1). Näin menetтелеillä saatiin arviot joen kuljettamista ravinne määristä jokaiselle vuosien 2000 – 2007 vuorokaudelle.



Porvoonjoen veden kokonaisfosforipitoisuuksissa on ollut laskeva kehityssuunta jo kolmekymmentä vuotta (kuva sivulla 21). Tarkasteltaessa Porvoonjoen veden kokonaistyppipitoisuuksia yli kolmenkymmenen vuoden ajalta, voidaan todeta, että viime vuosina ollaan kokonaistyppipitoisuuksissa lähenemässä sitä tasoa, joka Porvoonjoessa oli 1970-luvun alkuvuosina, aikana ennen puhdistettujen jätevesien johtamista Lahden Vesijärven sijasta Porvoonjokeen vuonna 1976 (kuva sivulla 22).

5. Lähdeluettelo

Ahtela, I. 1995. Porvoon edustan merialueen tila ja sen kehitys vuosina 1985-1991. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A:155.

Ekholm, M. 1993. Suomen vesistöalueet. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A:126.

Ekholm, P. 1998. Algal-available phosphorus originating from agriculture and municipalities. Monographs of the Boreal Environment Research No. 11: 1-60.

Ekholm, P., Kronvang, B., Posch, M. ja Rekolainen, S. 1995. Accuracy and precision of annual nutrient load estimates in Nordic rivers. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Sarja A 205.

Frisk, T. ja Kylä-Harakka, T. 1981. Vesihallituksen monistesarja Nro 53. Vedenlaatuennusteiden laadinnan perusteet. Vesihallitus. Helsinki.

Henriksson, M. ja Myllyvirta, T. 1998. Porvoonjoen kalataloudellinen yhteistarkkailu 1995-1997. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys. Tarkkailuraportti.

Henriksson, M., Myllyvirta, T. ja Mettinen, A. 2000. Porvoonjoen kalataloudellinen yhteistarkkailu 1998-2000. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Raportti.

Henriksson M., Myllyvirta T. ja Vainio S. 2007. Porvoonjoen kalataloudellinen yhteistarkkailu 2004-2006. Itä-uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys.

Ihalainen, A., Myllyvirta, T. ja Henriksson, M. 2001. Hollolan ja Lahden jätevesien aiheuttamat vaikutukset Porvoonjoen kalastoon ja virkistyskalastukseen sekä yleiseen käyttökelpoisuuteen. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys. Tutkimusraportti.

Ihalainen, A. 2002. Porvoonjoki eläväksi-projekti 1999-2001. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys. Loppuraportti.

Jalosuo, A. 1993. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 1992 havaintojen perusteella. Lahden kaupungin valvonta- ja ympäristökeskuksen tiedonantoja. Sarja A 2 2/1993.

Kiirikki, M., Westerholm, L. ja Sarkkula, J. 2000. Suomenlahden levähaittojen vähentämismahdollisuudet. Suomen ympäristö 416.

Kiirikki, M., Inkala, A., Kuosa, H., Kuusisto, M. ja Sarkkula, J. 2001. Evaluating the effects of nutrient load reductions on the biomass of toxic nitrogen-fixing cyanobacteria in the Gulf of Finland, the Baltic Sea. Boreal Environment Research 6: 131-146.

Kiirikki, M., Rantanen, P., Varjopuro, R., Leppänen, A., Hiltunen, M., Pitkänen, H., Ekholm, P., Moukhametshina, E., Inkala, A., Kuosa, H. ja Sarkkula, J. 2003. Cost effective water protection in the Gulf of Finland - Focus on St. Petersburg. The Finnish Environment 632.

Korpinen, P., kiirikki, M., Koponen, J., Sarkkula, J. ja Väänänen, P. 2002. Rehevöitymiskehityksen arviointi Kotkan ja Porvoon merialueilla 3D-vesistömallien avulla. Suomen ympäristö 587.

Käki, T. ja Manninen, P. 1995. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 1994 havaintojen perusteella. Lahden kaupungin valvonta- ja ympäristökeskuksen tiedonantoja. Sarja A 2 2/1993.

Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio 1979. Porvoonjoen vesistön yhteistarkkailu. Yhteenvedo v. 1976-1979. Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio tiedonantoja 10.

Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio 1980. Porvoonjoen vesistön yhteistarkkailu. Yhteenvedo vuodelta 1978. Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio tiedonantoja 12.

Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio 1989. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 1988 havaintojen perusteella. Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio tiedonantoja 34.

Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio 1990. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 1989 havaintojen perusteella. Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio tiedonantoja 36.

Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio 1991. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 1990 havaintojen perusteella. Lahden kaupungin elintarvikelaboratorio tiedonantoja 40.

Lahden tutkimuslaboratorio 1996. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 1995 havaintojen perusteella. Lahden tutkimuslaboratorio.

Lahden tutkimuslaboratorio 1997. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 1996 havaintojen perusteella. Lahden tutkimuslaboratorio.

Lahden tutkimuslaboratorio 2003. Porvoonjoen vesistön vedenlaatu 2002.

Lahden tutkimuslaboratorio 2004. Porvoonjoen vesistön vedenlaatu 2003.

Lahden tutkimuslaboratorio 2005. Porvoonjoen ja Palojoen vesistötarkkailu 2004.

Lahden tiede- ja yrityspuisto. Oy 2006. Porvoonjoen vesistöalueen vesistötarkkailu 2005.

Lehtonen, E. ja Penttilä, S. (toim.) 1991. Porvoonjoen kuormitusselvitys. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A:68.

Malin, I. 1998. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 1997 havaintojen perusteella. Lahden tutkimuslaboratorio.

Malin, I. 1999. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 1998 havaintojen perusteella. Lahden tutkimuslaboratorio.

Malin, I. 2000. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 1999 havaintojen perusteella. Lahden tutkimuslaboratorio.

Malin, I. 2000a. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 2000 havaintojen perusteella. Lahden tutkimuslaboratorio.

Malin, I. 2002. Porvoonjoen vesistön veden laatu vuoden 2001 havaintojen perusteella. Lahden tutkimuslaboratorio.

Mettinen, A., Henriksson, M. ja Myllyvirta, T. 2000. Porvoonjoen pohjaeläintutkimus kalataloudellisen yhteistarkkailun osana vuodelta 1998. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Raportti

Myllyvirta, T., Henriksson, M. ja Vainio, S. 2004. Porvoonjoen kalataloudellinen yhteistarkkailu 2001 - 2003. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Raportti.

Pihlström, M. ja Myllyvirta, T. 1997. Porvoonjoki ja typpi. Tutkimus Porvoonjokeen kohdistuvan typpikuormituksen aiheuttamista kasvillisuusvaikutuksista jokilaaksossa Lahden seudulla ja joen typpikuljetusta vähentävistä ilmiöistä ja toimenpiteistä. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys. Raportti.

Pitkänen, H. 1987. Rivers as source of nutrients in the Finnish coastal waters. Licentiate Thesis, University of Helsinki, Department of Limnology.

Pitkänen, H. 1994. Eutrophication of the Finnish coastal waters: Origin, fate and effects of riverine nutrient fluxes. Publications of the Water and Environment Research Institute. National Board of Waters and the Environment, Finland. No. 18.

Pitkänen, H., Kangas, P., Miettinen V. ja Ekholm. P. 1988a. The state of the Finnish coastal waters in 1979-1983. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja nro 8.

Pitkänen, H., Puolanne, J., Pietarila, M., Lääne, A., Loigu, E., Kuslap, P. ja Raia. T. 1988b. Pollution load on the Gulf of Finland in 18982-1984. nro Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja nro 22.

Rekolainen, S. ja Kauppi, L. 1990. Maatalouden aiheuttama fosfori- ja typpikuorma vesistöihin. Vesitalous No 1: 17-18.

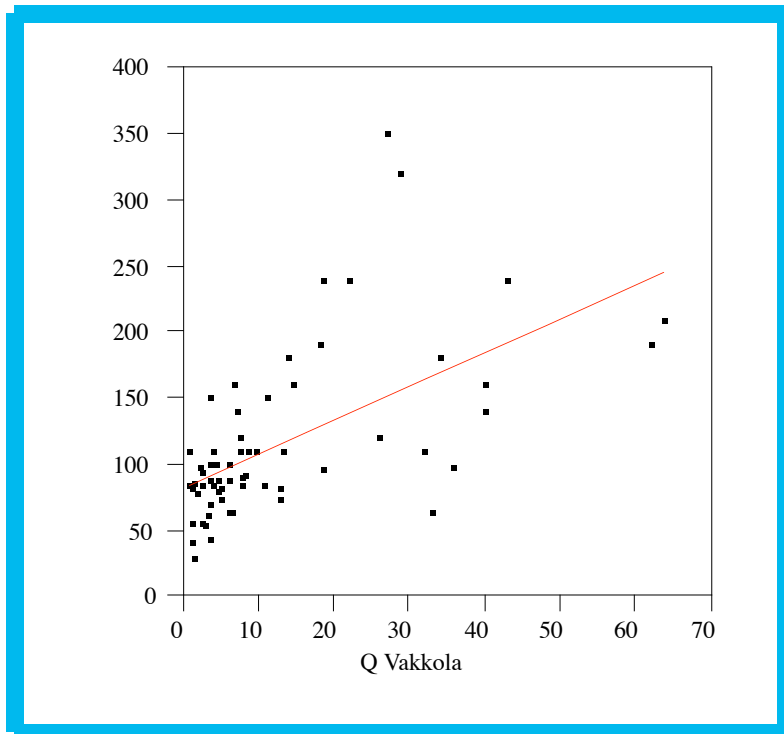
- Rekolainen, S., Pitkänen, H., Bleeker, A. ja Sietske, F. 1995. Nitrogen and Phosphorus Fluxes from Finnish Agricultural Areas to the Baltic Sea. *Nordic Hydrology*, 26: 55-72.
- Ramboll Analytics Oy 2007. Porvoonjoen ja Palojoen vesistö tarkkailu vuosina 2001 - 2006.
- Ramboll Analytics Oy 2008. Porvoonjoen vesistöalueen vesistö tarkkailu vuonna 2007.
- Silvo, K., Melanen, M., Gynther, L., Torkkeli, S., Seppälä, J., Kärmeniemi, T. ja Pesari, J. 2000. Yhtenäinen päästöjen ja ympäristövaikutusten arviointi. Lähestymispohja ympäristölupaprosessin tueksi. *Suomen ympäristö* 373.
- Talsi, T. 1987. Porvoon edustan merialueen tila ja sen kehitys vuosina 1965-1984. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja nro 5*.
- Nironen, M., Munsterhjelm, K. ja Grönlund, S. 1988. Porvoonjokiraportti. Itä-Uudenmaan seutukaavaliitto, Päijät-Hämeen seutukaavaliitto, Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri. Päijät-Hämeen seutukaavaliiton julkaisu A 42.
- Vahtera, H. ja Männynsalo, J. 2007. Vantaanjoen yhteistarkkailu. Vedenlaatu vuonna 2006. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. *Julkaisu 59*.
- Vainio, S. 2000. Porvoonjoki. Porvoonjoki ja sen sivujokien kalataloudellinen peruskartoitus. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. *Raportti*.
- Vainio, S. 2002. Porvoonjoen sivujokien ja sen latvavesien kalataloudellinen kunnostaminen. Kunnostussuunnitelmat ja -ohjeet 31 kohteeseen pienissä latvavesissä. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys. *Raportti*.
- Vainio, S. 2003. Kalataloudellinen jokikunnostushanke 2002-2006. Mustijoki, Porvoonjoki, Ilolanjoki. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. *Väliraportti 2002*.
- Vainio, S. 2004. Kalataloudellinen jokikunnostushanke 2002-2006. Mustijoki, Porvoonjoki, Ilolanjoki. *Väliraportti 2003*. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. *Väliraportti*.
- Vainio, S. 2005a. Kalataloudellinen jokikunnostushanke 2002 - 2006 - Mustijoki / Mäntsälänjoki, Porvoonjoki & Ilolanjoki - Taimenen mätirasiaistutukset vuonna 2005. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilman suojeluyhdistys. *Seurantaraportti*.
- Vainio, S. 2005b. Kalataloudellinen jokikunnostushanke 2002-2006. Mustijoki, Porvoonjoki, Ilolanjoki. *Väliraportti 2004*. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. *Väliraportti*.

- Vainio, S. 2006. Kalataloudellinen jokikunnostushanke 2002-2006. Mustijoki, Porvoonjoki, Ilolanjoki. Väliraportti 2005. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Väliraportti.
- Vainio, S. 2007a. Kalataloudellinen jokikunnostushanke 2002 - 2006. Mustijoki/ Mäntsälänjoki, Porvoonjoki & Ilolanjoki. Taimenen mätirasiaistutukset vuonna 2006. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja Ilmansuojeluyhdistys r.y. Seurantaraportti.
- Vainio, S. 2007b. Kalataloudellinen jokikunnostushanke 2002 - 2006. Mustijoki/ Mäntsälänjoki, Porvoonjoki, Ilolanjoki. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Loppuraportti.
- Vainio, S. 2008. Lohikalaa Suomenlahdelta Salpausselälle 2008. Sipoonjoen, Mustijoen, Porvoonjoen, Ilolanjoen ja Koskenkylänjoen kalatalouden edistämishanke 2007 - 2011. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Väliraportti.
- Walling, D.E., ja Webb, B.W. 1985 Estimating the Discharge of Contaminants to Coastal Waters by Rivers: Some Cautionary Comments. Marine Pollution Bulletin. Vol. 16. No. 12: 488-492.
- Wartiovaara, J. ja Melvasalo, T. 1980. River input from the Finnish coast to the Gulf of Finland. Finnish Marine Research No. 247: 21-27.

Liite 1

Kokonaisfosforin-, kokonaistypen-, ammoniumtypen
ja kiintoainepitoisuuden suhde virtaamaan joen eri
osuuksilla

P 19.8 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

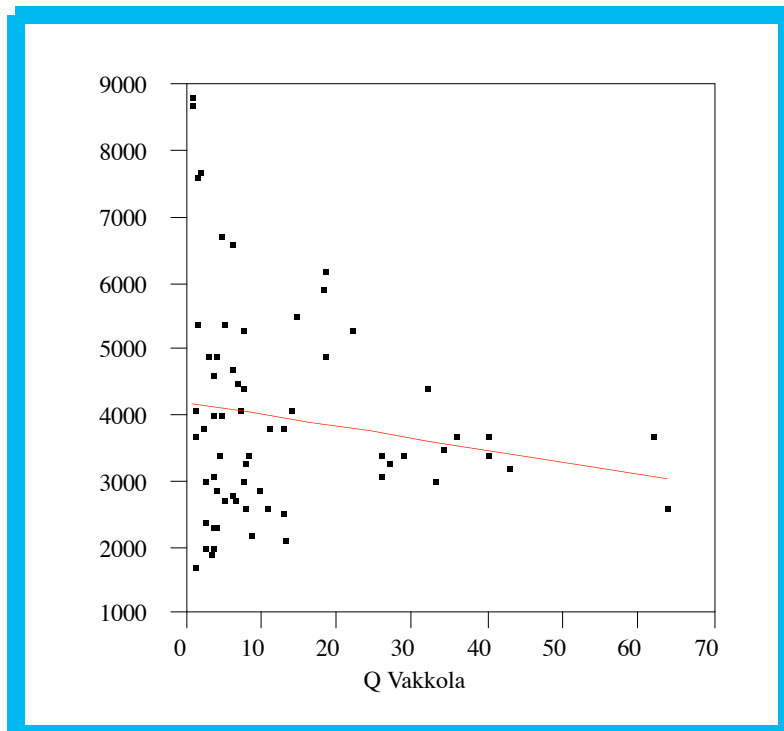
$$b = 2.54$$

$$a = 82.33$$

$$r = 0.59 (P < 0.0001)$$

$$n = 65$$

N 19.8 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

$$b = -17.7$$

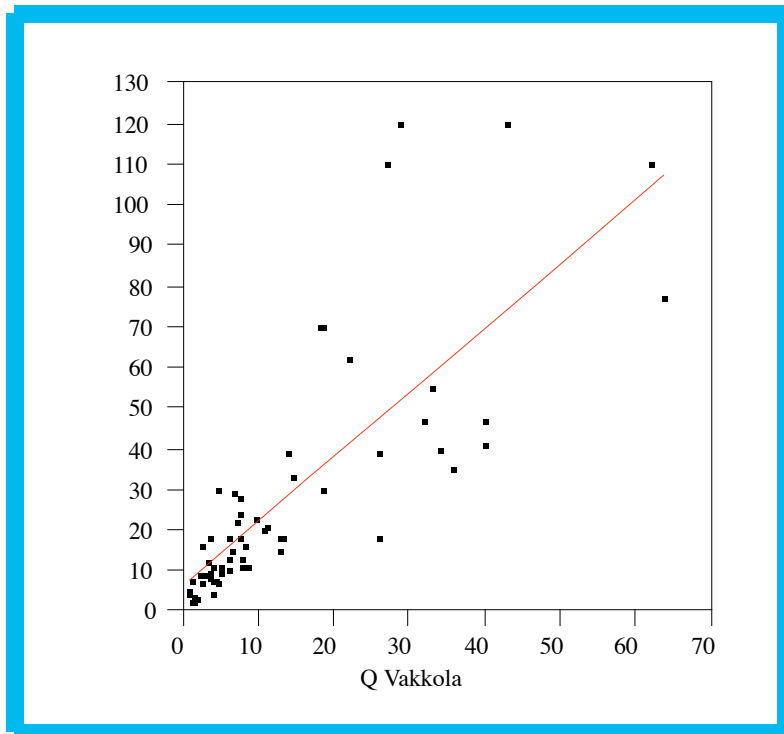
$$a = 4193.3$$

$$r = -0.16 (P < 0.3)$$

$$n = 65$$

Kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuksien ja virtaaman suhde 19.8 km jokisuusta.

Kiintoaine By Q Vakkola



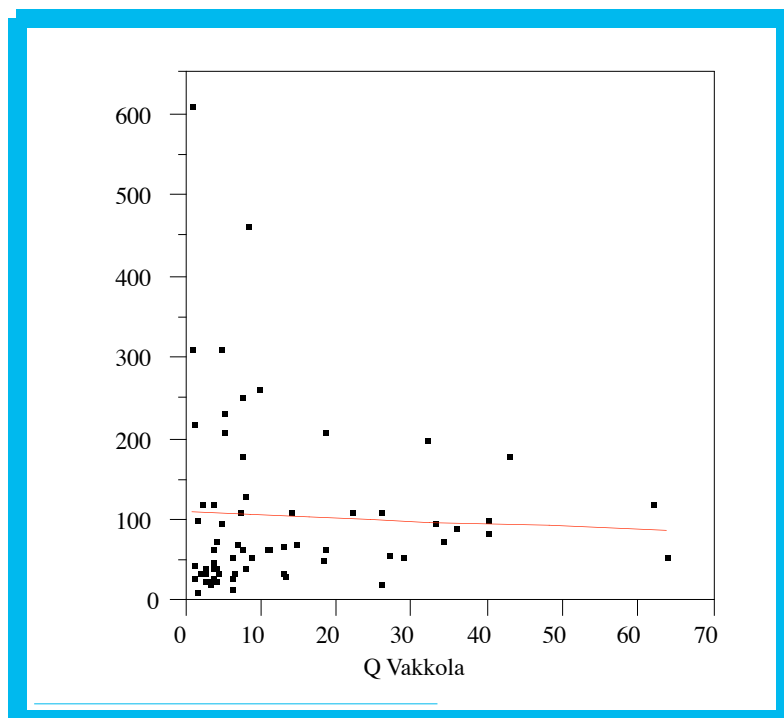
$$y = bx + a$$

$$b = 1.58$$

$$a = 6.26$$

$$r = 0.79 (P < 0.0001)$$

$$n = 65$$

NH₄-N By Q Vakkola

$$y = bx + a$$

$$b = -0.35$$

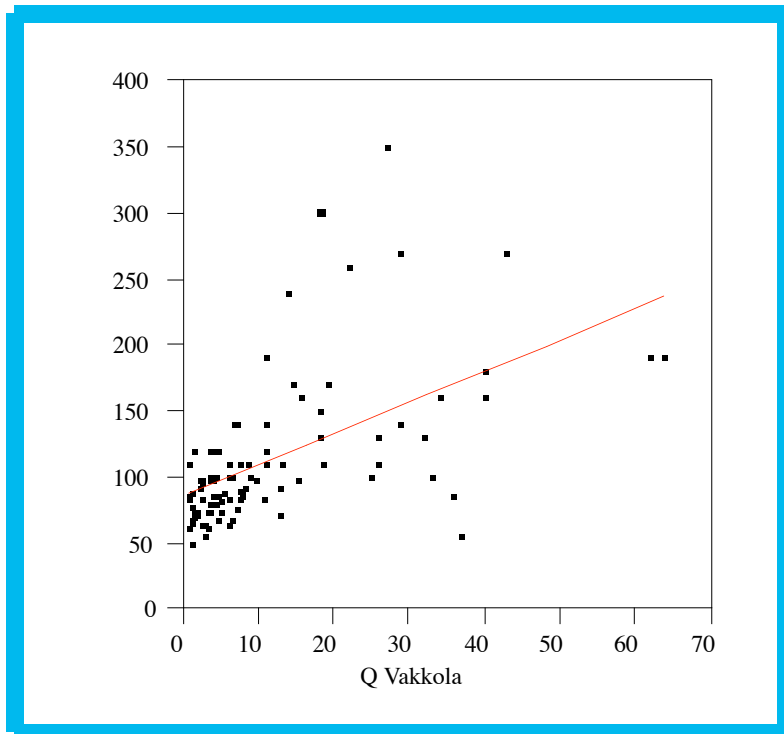
$$a = 109.47$$

$$r = -0.05 (P < 0.8)$$

$$n = 65$$

Kiintoainepitoisuuden ja virtaaman sekä ammoniumtyypen ja virtaaman suhde 19.8 km jokisuusta.

P 35.5 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

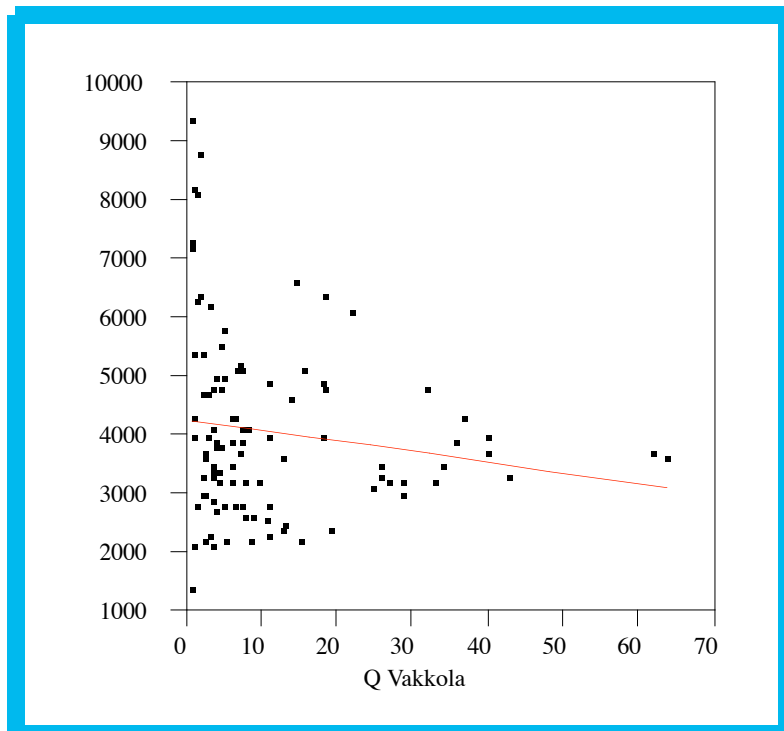
$$b = 2.35$$

$$a = 85.92$$

$$r = 0.56 (P < 0.0001)$$

$$n = 101$$

N 35.5 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

$$b = -18.1$$

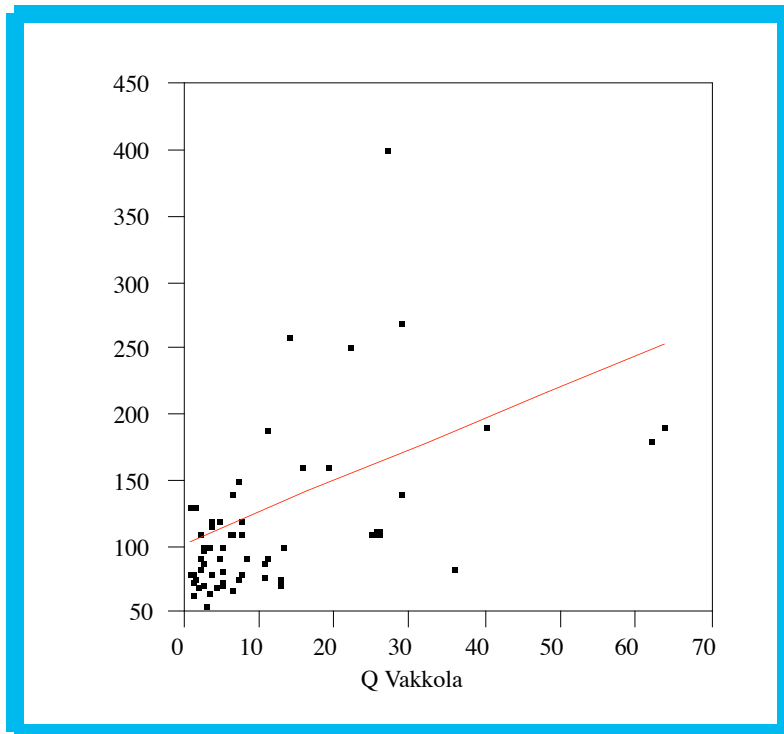
$$a = 4274.36$$

$$r = -0.15 (P < 0.2)$$

$$n = 101$$

Kokonaisfosfori- ja kokonaistypipitoisuuksien ja virtaaman suhde 35.5 km jokisuusta.

P 40.3 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

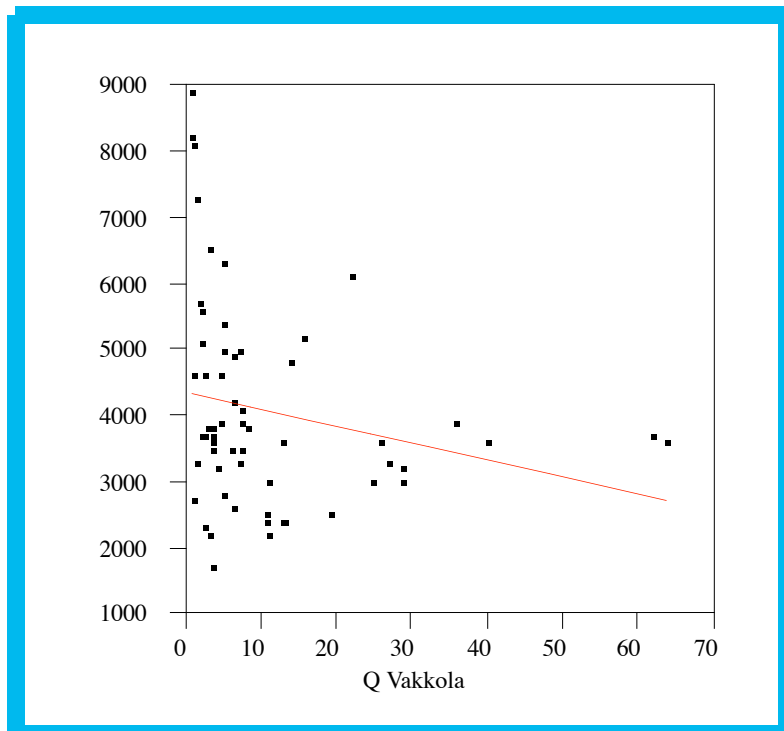
$$b = 2.35$$

$$a = 90.63$$

$$r = 0.52 (P < 0.0001)$$

$$n = 60$$

N 40.3 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

$$b = -25.2$$

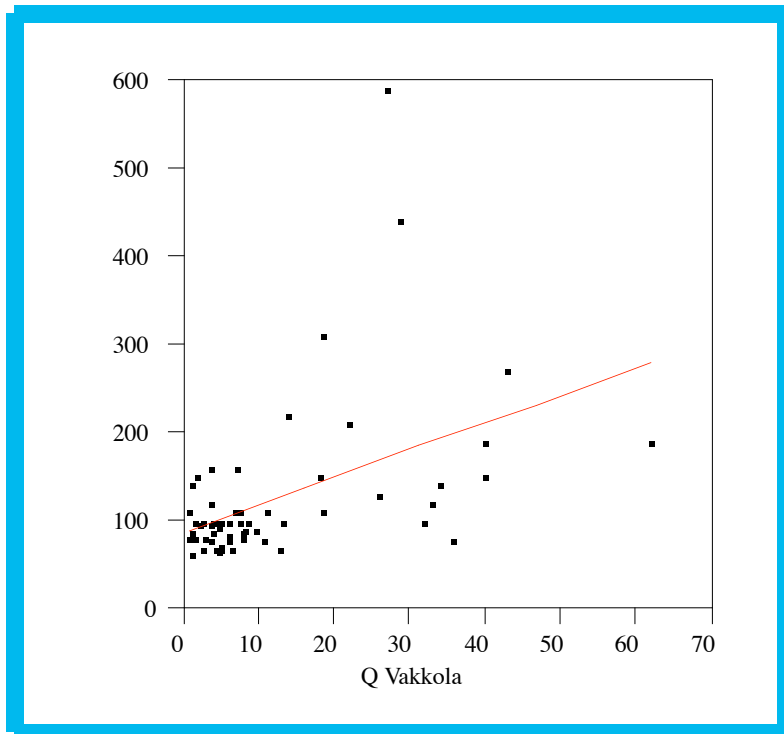
$$a = 4346.45$$

$$r = -0.22 (P < 0.1)$$

$$n = 60$$

Kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuksien ja virtaaman suhde 40.3 km jokisuusta.

P 49.4 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

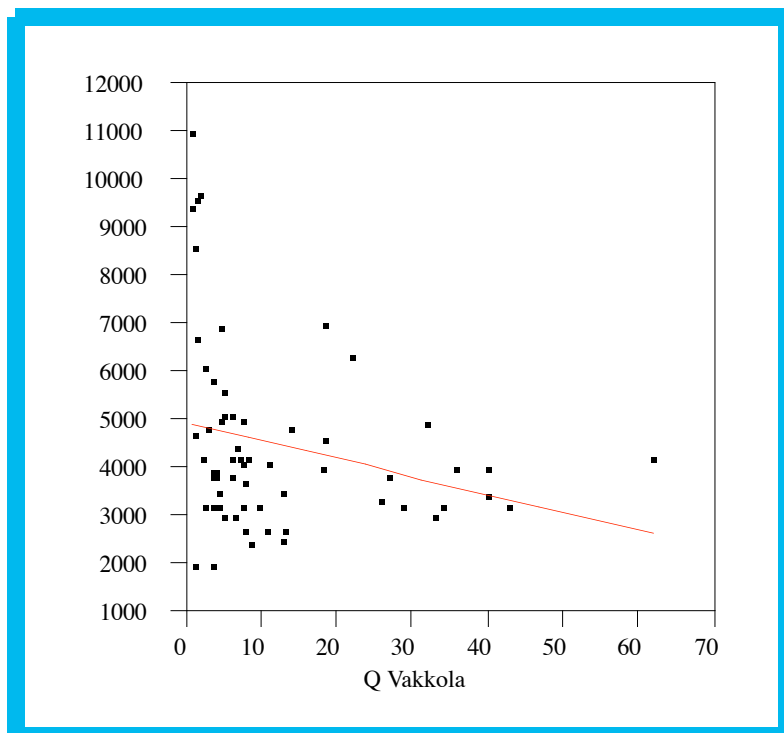
$$b = 3.09$$

$$a = 88.39$$

$$r = 0.46 (P < 0.0003)$$

$$n = 61$$

N 49.4 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

$$b = -37.6$$

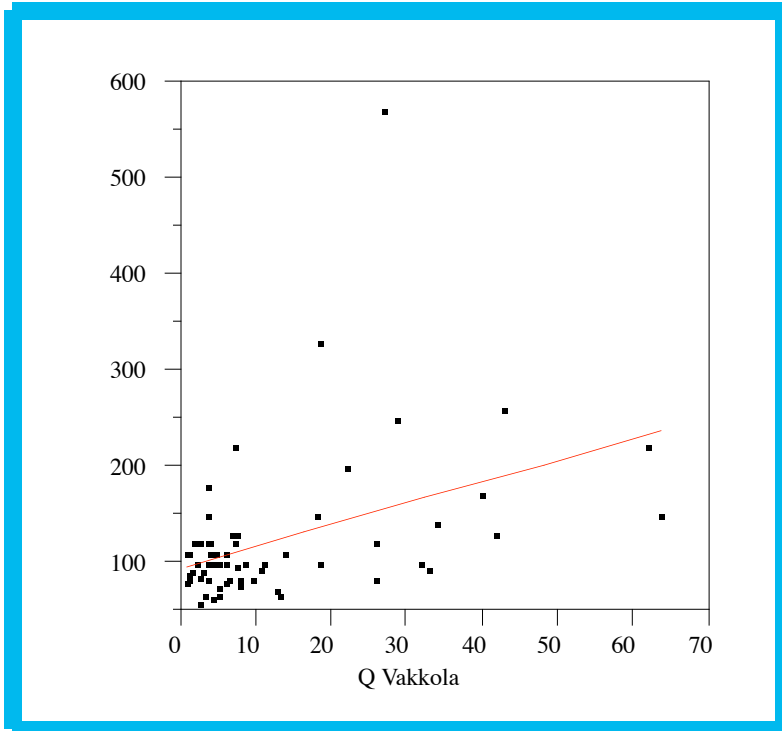
$$a = 4954.14$$

$$r = -0.25 (P < 0.05)$$

$$n = 61$$

Kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuksien ja virtaaman suhde 49.4 km jokisuusta.

P 62.5 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

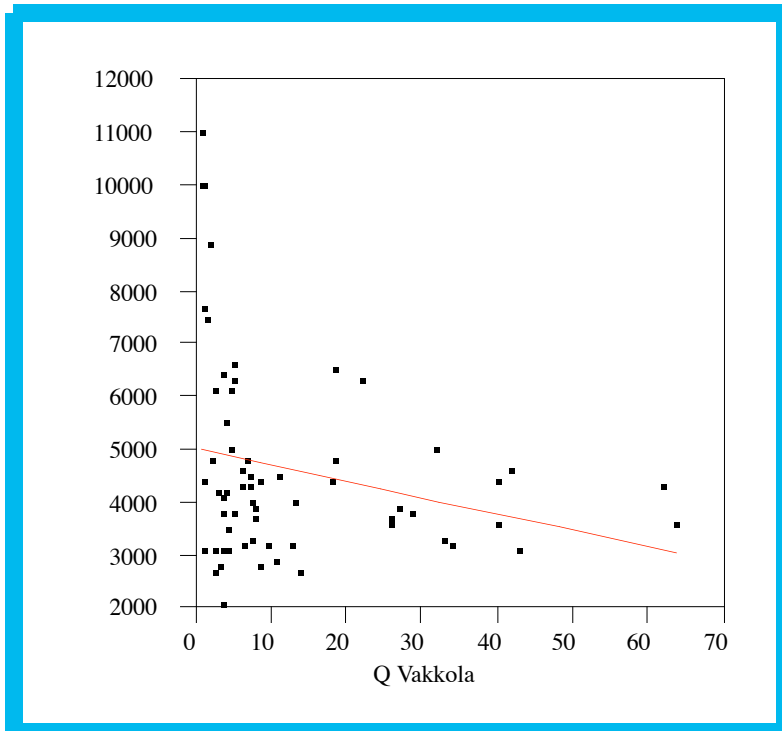
$$b = 2.21$$

$$a = 95.40$$

$$r = 0.42 (P < 0.0006)$$

$$n = 64$$

N 62.5 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

$$b = -30.9$$

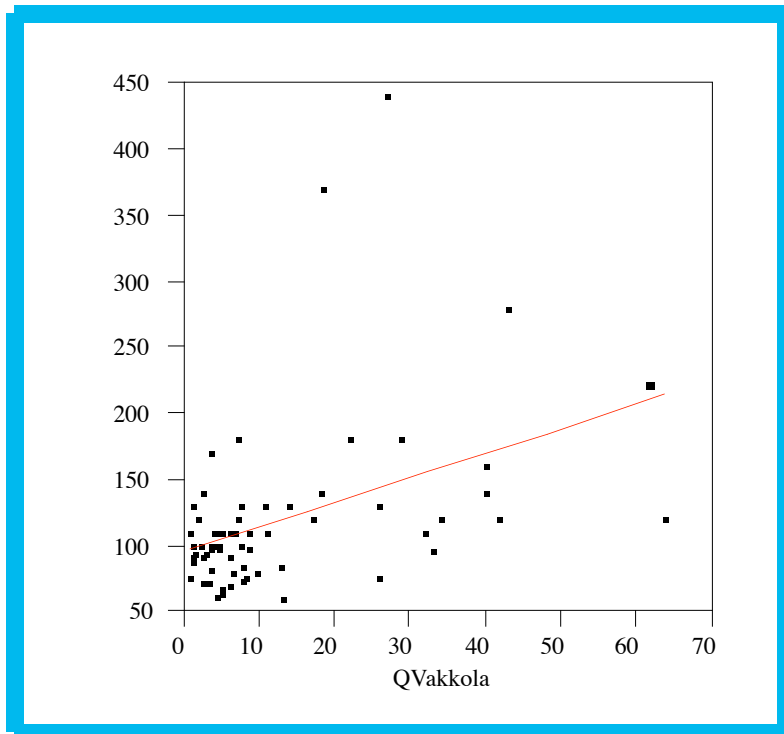
$$a = 5008.92$$

$$r = -0.25 (P < 0.05)$$

$$n = 64$$

Kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuksien ja virtaaman suhde 62.5 km jokisuusta.

P64.5 By QVakkola



$$y = bx + a$$

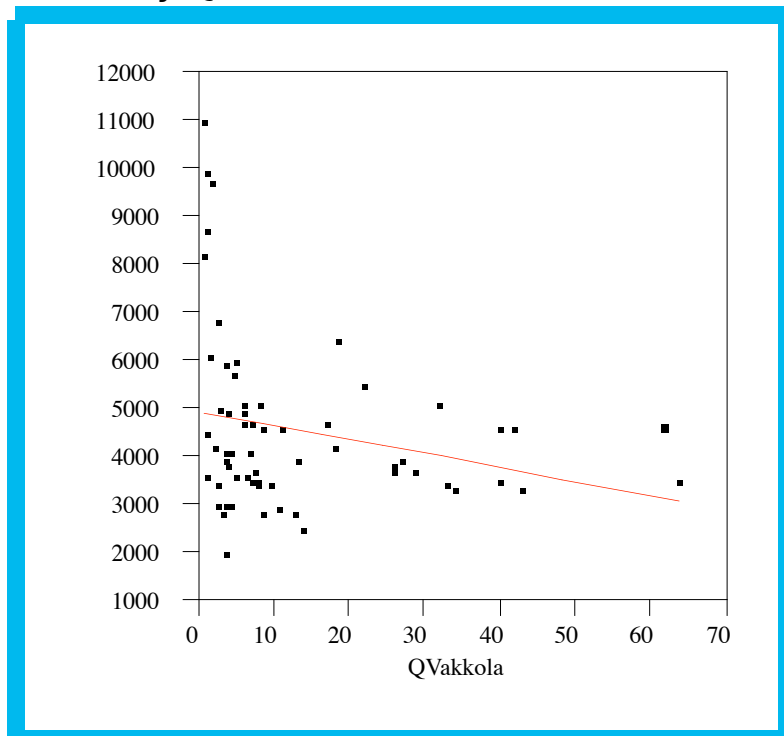
$$b = 1.85$$

$$a = 95.68$$

$$r = 0.42 (P < 0.0006)$$

$$n = 65$$

N64.5 By QVakkola



$$y = bx + a$$

$$b = -29.1$$

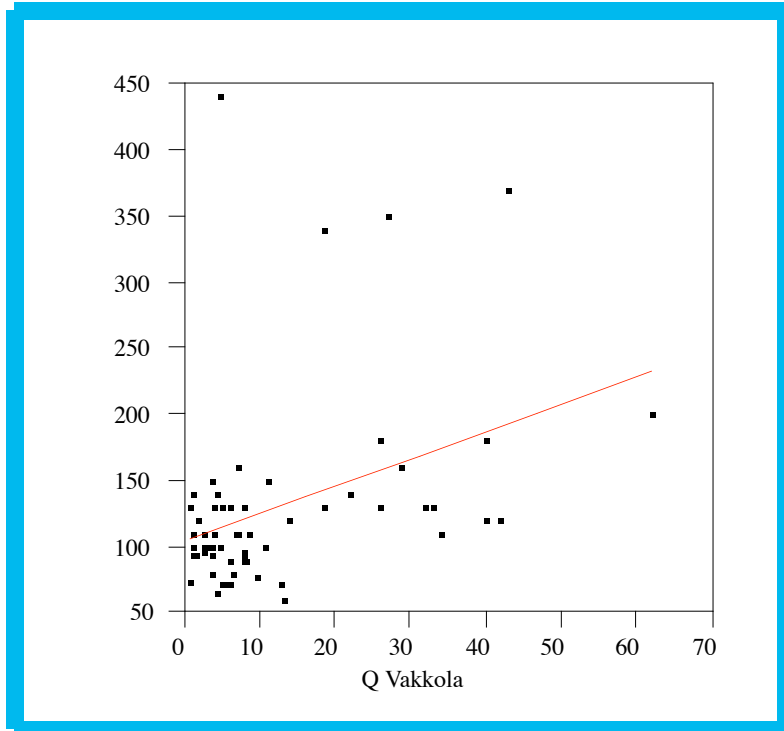
$$a = 4954.84$$

$$r = -0.24 (P < 0.06)$$

$$n = 65$$

Kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuksien ja virtaaman suhde 64.5 km jokisuusta.

P 77.5 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

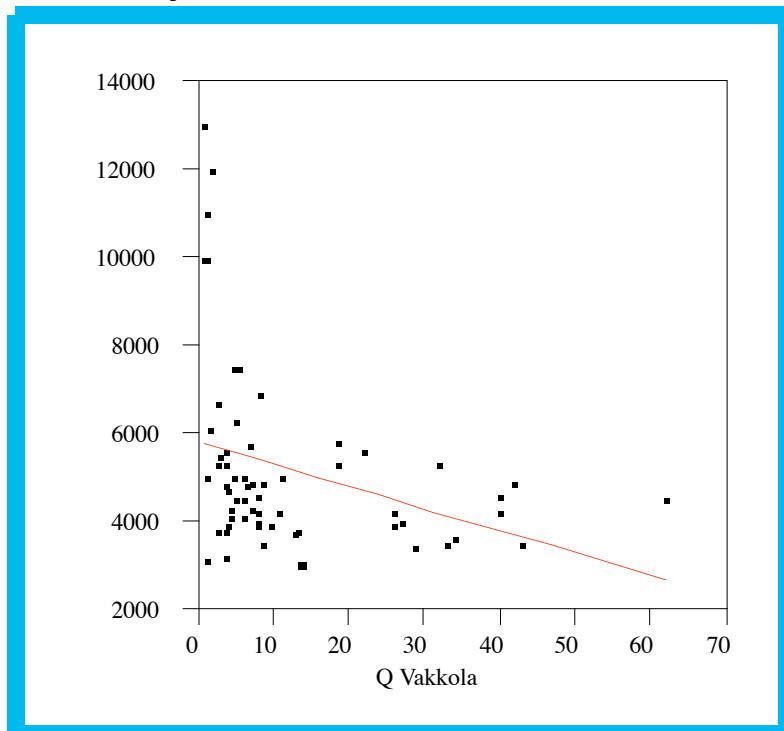
$$b = 2.08$$

$$a = 103.64$$

$$r = 0.38 (P < 0.003)$$

$$n = 61$$

N 77.5 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

$$b = -50.4$$

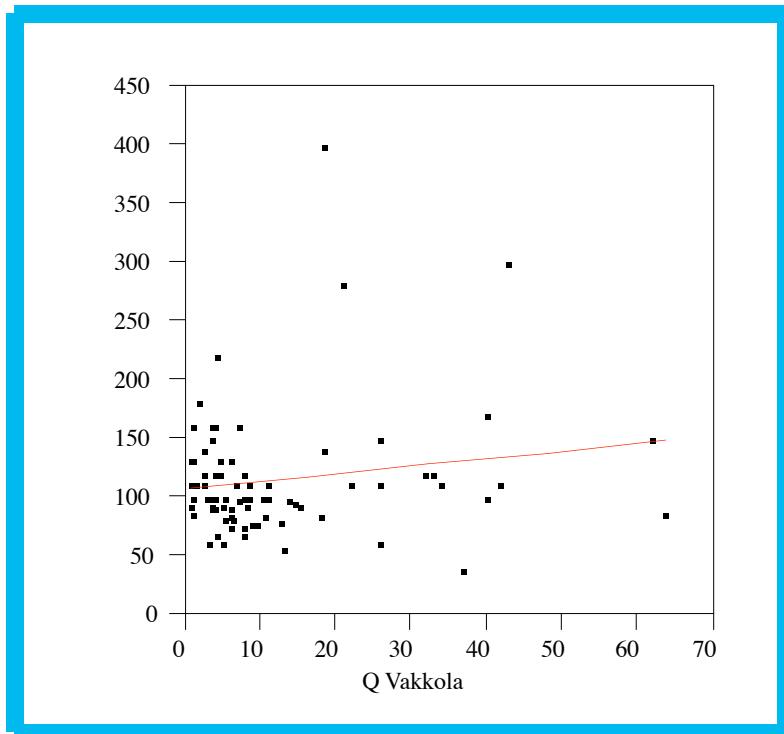
$$a = 5820.61$$

$$r = -0.32 (P < 0.02)$$

$$n = 61$$

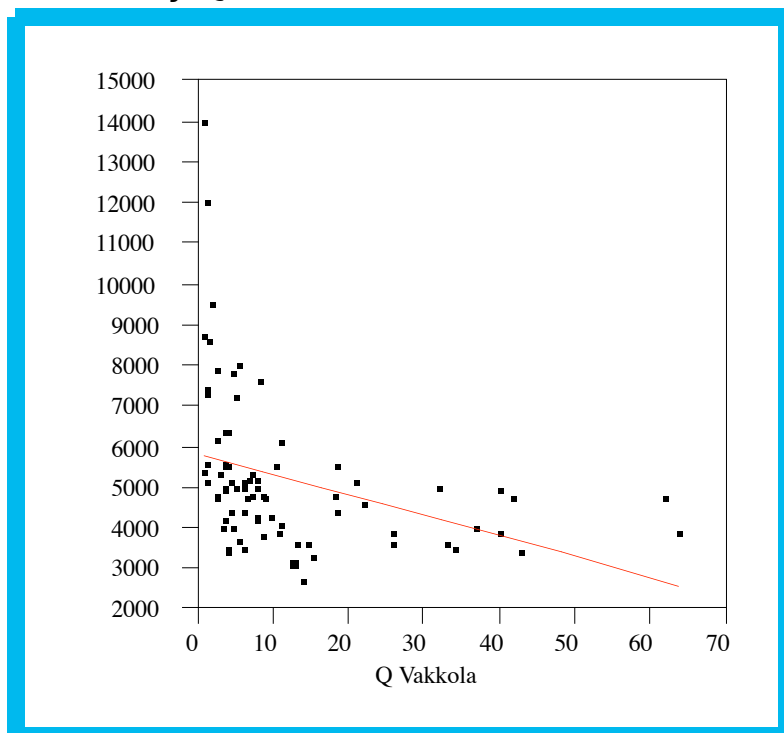
Kokonaisfosfori- ja kokonaistypipitoisuuksien ja virtaaman suhde 77.5 km jokisuusta.

P 91.0 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$
$$b = 0.64$$
$$a = 106.94$$
$$r = 0.16 (P < 0.2)$$
$$n = 78$$

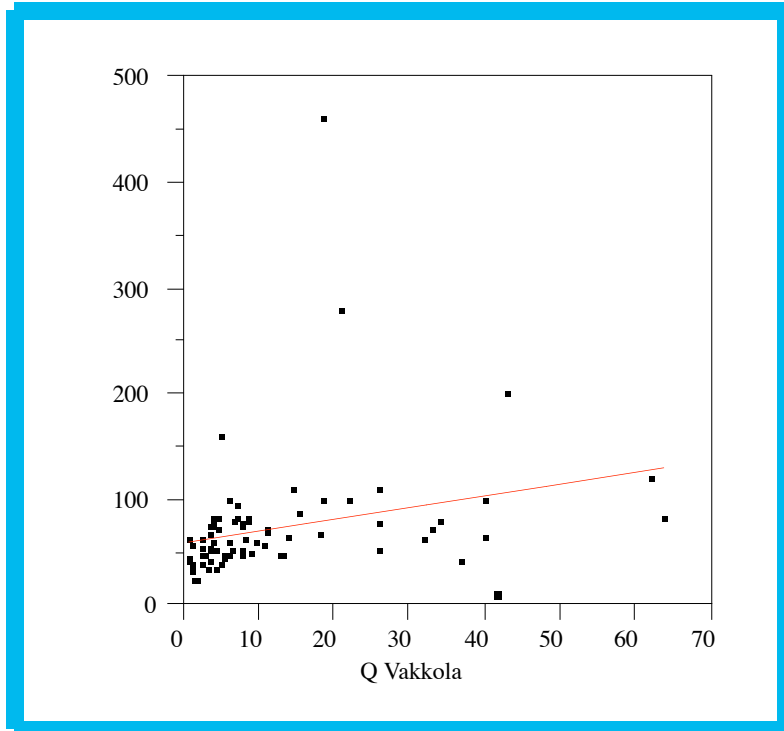
N 91.0 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$
$$b = -51.0$$
$$a = 5845.70$$
$$r = -0.37 (P < 0.001)$$
$$n = 78$$

Kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuksien ja virtaaman suhde 91.0 km jokisuusta.

P 98.3 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

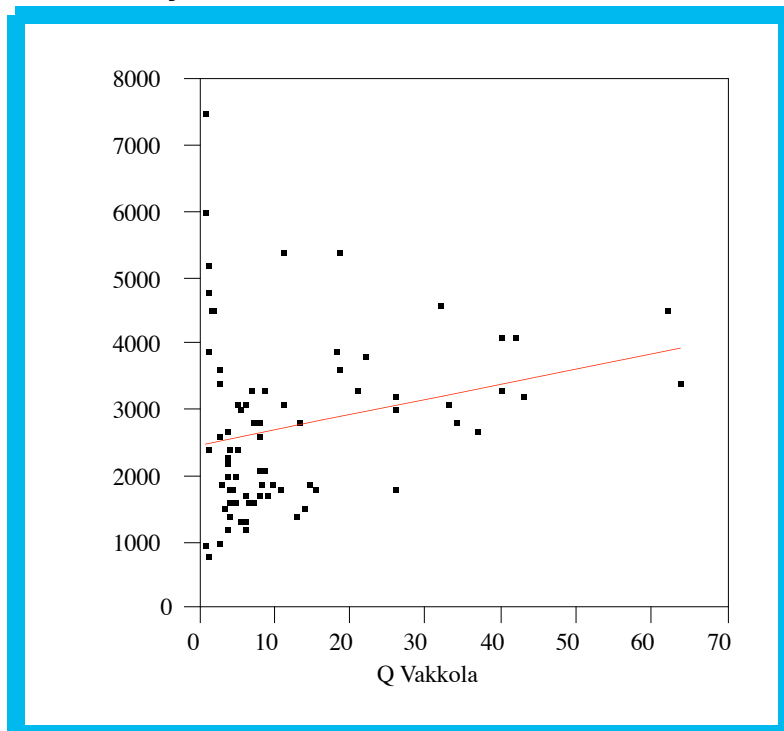
$$b = 1.11$$

$$a = 59.75$$

$$r = 0.26 (P < 0.03)$$

$$n = 77$$

N 98.3 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

$$b = 22.7$$

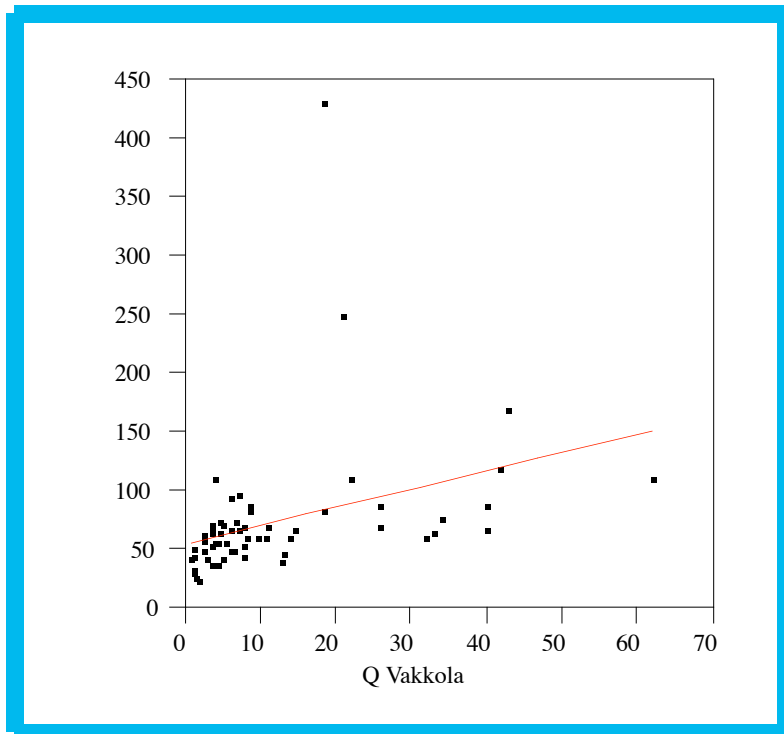
$$a = 2465,97$$

$$r = -0.24 (P < 0.04)$$

$$n = 77$$

Kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuksien ja virtaaman suhde 98.3 km jokisuusta.

P 100.4 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

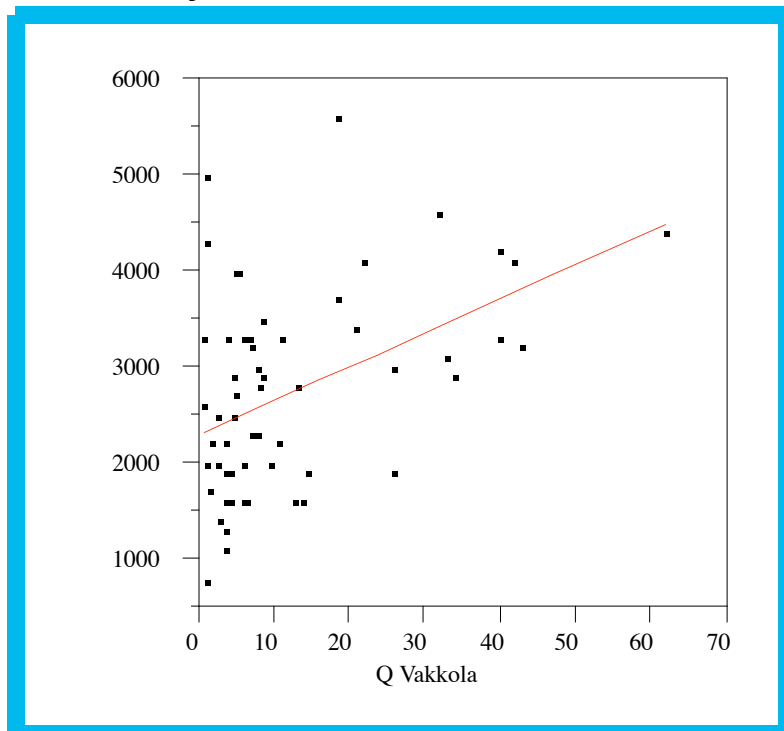
$$b = 1.54$$

$$a = 55.57$$

$$r = 0.35 (P < 0.006)$$

$$n = 61$$

N 100.4 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

$$b = 35.3$$

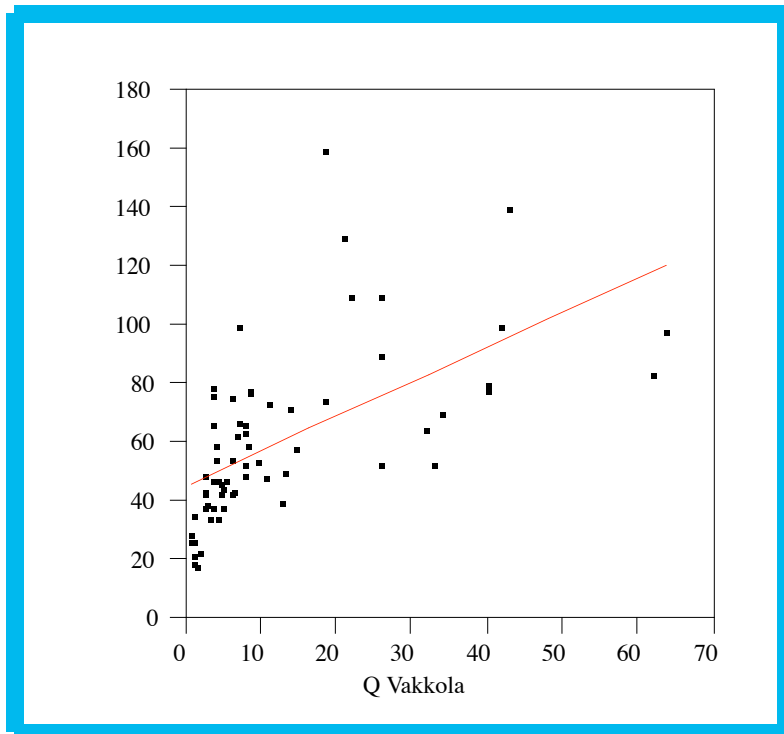
$$a = 2297.36$$

$$r = -0.45 (P < 0.0004)$$

$$n = 61$$

Kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuksien ja virtaaman suhde 100.4 km jokisuusta.

P 115.7 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

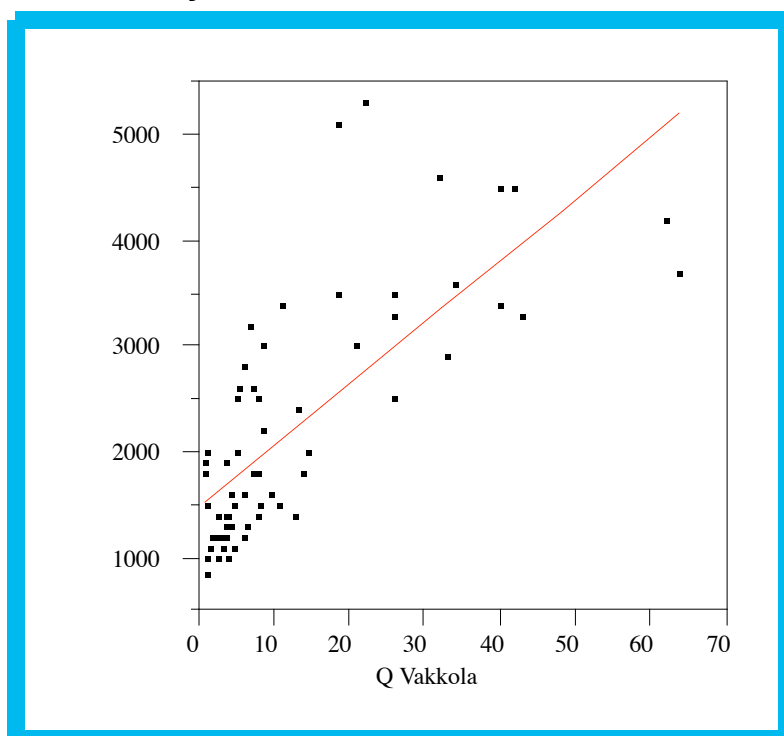
$$b = 1.17$$

$$a = 45.48$$

$$r = 0.59 (P < 0.0001)$$

$$n = 65$$

N 115.7 By Q Vakkola



$$y = bx + a$$

$$b = 58.2$$

$$a = 1477.38$$

$$r = -0.75 (P < 0.0001)$$

$$n = 65$$

Kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuksien ja virtaaman suhde 115.7 km jokisuusta.