

**Pro gradu – tutkielma**

# **Hulevesien laatu ja merkitys Jyväsjärven kuormittajana**

**Hanna Arola**



**Jyväskylän yliopisto**

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Akvaattiset tieteet

3.11.2009

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Akvaattiset tieteet

AROLA HANNA, E. : Hulevesien laatu ja merkitys Jyväsjärven kuormittajana

Pro gradu: 42 s. + liitteet 11 kpl (18 s.)

Työn ohjaajat: Prof. Juha Karjalainen, Dos. Timo Huttula

Tarkastajat: Prof. Juha Karjalainen, FM Sirkka Tattari

Marraskuu 2009

---

Hakusanat: bakteerit, metallit, ravinnekuormitus, virtaama

## TIIVISTELMÄ

Hulevedet ovat yksi kaupunkivesistöjen hajakuormitustekijä. Nykyään vesistöjen pistekuormittajat tunnetaan melko hyvin ja niiden aiheuttama ulkoinen kuormitus on vähentynyt. Kaupunkivesistöjen vedenlaadunseurannassa onkin yhä enemmän alettu ottaa huomioon myös hulevesien aiheuttama kuormitus. Tässä tutkimuksessa verrattiin Jyväskylän keskustassa sijaitsevaan Jyväsjärveen tulevien hulevesien sekä Tourujoen aiheuttamaa kuormitusta. Näytteenottokierroksia tehtiin kahdeksan sekä näiden lisäksi kaksi puroa ja kaksi sadevesiviemäristön purkuputkea valittiin tehoseurantapaikoiksi. Näytteistä analysoitiin pH, sähkönjohtokyky, väri, kiintoaine, sameus, kokonaistyyppi ja -fosfori sekä yhdellä näytteenottokierroksella metalli- ja bakteeripitoisuudet. Tourujoki oli merkittävin uoma kiintoaine- ja ravinnekuormituksen kannalta, mutta hetkellisesti pienempien uomien tuoma kuormitus ylitti Tourujoesta tulleen kuorman. Koko havaintojaksolla noin 90 % ravinnekuormituksesta ja noin 83 % kiintoainekuormituksesta tuli Tourujoesta verrattuna muihin havaintopaikkoihin. Bakteeripitoisuudet olivat erittäin suuria useimmissa näytteissä, mutta alkuperältään ne olivat peräisin muusta kuin ihmisperäisestä lähteestä yhtä poikkeusta lukuun ottamatta. Metallipitoisuudet vaihtelivat eri paikkojen välillä, mutta pitoisuudet olivat kaiken kaikkiaan melko matalia.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science

Department of Biological and Environmental Science

Aquatic sciences

AROLA HANNA, E. : Quality of urban runoff and its contribution to loading of Lake Jyväsjärvi

Master of Science Thesis: 42 p. + attachments 11 pcs (18 p.)

Supervisors: Professor Juha Karjalainen, Docent Timo Huttula

Inspectors: Professor Juha Karjalainen, M.Sc. Sirkka Tattari

November 2009

---

Key Words: bacteria, metals, nutrient loading, discharge

### **ABSTRACT**

Urban runoff is one of the diffuse pollution sources to lakes and rivers. Nowadays different point source polluters are widely known and external input from those sources has decreased. The impact of urban runoff has been taken more into consideration in water quality monitoring of urban waterbodies. This study aims to determine loading of urban runoff to the Lake Jyväsjärvi located at centre of the City of Jyväskylä. Loading from main inlet, River Tourujoki, was compared with other diffuse sources. Eight sampling rounds were completed from all sites and two brooks and two stormwater sewers were selected for more frequent sampling. Laboratory work included analyses of pH, conductivity, color, total suspended solids, turbidity, total nitrogen and total phosphorus concentrations. Metal and bacterial concentrations were analyzed from one sampling round. Most of the suspended solids and nutrient loading was found from the River Tourujoki although instantaneously loading from smaller channels exceed the loading from the river. The bacterial concentrations found were extremely high in most of the samples although they were not originated from human sources except for one site. Metal concentrations varied among sites however, the concentrations stayed fairly low.

## Sisältö

<b>1. JOHDANTO.....</b>	<b>5</b>
<b>2. TUTKIMUKSEN TAUSTAA.....</b>	<b>6</b>
2.1. Pintavalunnan muodostuminen .....	6
2.2. Valumavesien laatu .....	6
2.3. Jyväsjärvi.....	9
<b>3. AINEISTO JA MENETELMÄT.....</b>	<b>10</b>
3.1. Näytteenotto ja laboratoriomääritykset .....	10
3.2. Tehoseurantajaksot.....	11
3.3. Virtaamamittaukset Köyhänoijalla ja Kylmänorolla.....	11
3.4. Sadannan, valunnan, kuormituksen ja ominaiskuormituksen määrittäminen .....	12
<b>4. TULOKSET .....</b>	<b>14</b>
4.1. Vuoden 2007 sademäärä ja osavaluma-alueiden lyhyt kuvaus .....	14
4.2. Virtaamat ja hulevesien vedenlaatu.....	14
4.3. Kuormitus mittausvuorokausina.....	18
4.4. Tehoseurantajaksot.....	20
4.5. Virtaama ja kuormitus mittausjakson aikana sekä ominaiskuormitusarvot.....	24
4.6. Bakteerit .....	30
4.7. Metallit .....	30
<b>5. TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>31</b>
5.1. Sateet ja osavaluma-alueet .....	31
5.2. Mittausvuorokausien virtaamat, ainepitoisuudet ja kuormitus.....	32
5.3. Tehoseurantajaksot.....	35
5.4. Koko tutkimusjakson aikaiset virtaamalaskelmat .....	36
5.5. Koko tutkimusjakson aikaiset pitoisuus-, kuormitus- ja ominaiskuormituslaskelmat .....	37
5.6. Bakteerit ja metallipitoisuudet.....	38
5.7. Yhteenveto.....	39
<b>Kiitokset.....</b>	<b>39</b>
<b>Kirjallisuus .....</b>	<b>40</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>43</b>

## 1. JOHDANTO

Taajama- ja kaupunkialueilla muodostuvasta pintavalunnasta käytetään termiä hulevesi. Hulevettä muodostuu lumen sulaessa ja sulan kauden sateilla. Merkittävimpinä kuormitusajankohtina on pidetty kevään sulamiskautta ja sulan kauden pitkän kuivan jakson jälkeen tulleita rankkoja sateita (Vakkilainen ym. 2005). Nykyään eri pistekuormittajat tunnetaan ja hallitaan melko hyvin, joten huleveden merkitystä kaupunkivesistöjen kuormittajana on alettu pohtia enemmän.

Huleveden määrään vaikuttavat eniten sateen kesto ja voimakkuus sekä vettä läpäisemättömän pinnan määrä valuma-alueella, valuma-alueen pinnanmuodot ja kasvillisuus (Kotola & Nurminen 2003b). Rakennetuilla alueilla on paljon vettä läpäisemätöntä pintaa, mikä lisää alueella muodostuvaa pintavaluntaa. Taajama-alueilla uomat ovat harvoin pysyneet luonnontilaisina (Kuusisto ym. 2005) ja valumavedet on johdettu pääasiallisesti lähimpään vesistöön (Sario ym. 2005).

Laadultaan hulevedet ovat hyvin vaihtelevia. Merkittävimpiä laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat valuma-alueen maankäyttö ja sateen voimakkuus (Helenius & Leinonen 1979). Suomessa on pääasiassa erillisviemärointi eli sadevedet johdetaan vesistöihin ja jätevedet eri viemäriin jätevedenpuhdistamolle. Vain joidenkin vanhojen kaupunginosien sadevedet johdetaan jätevesien mukana jätevedenpuhdistamolle (Sario ym. 2005). Sadeveden johtamista jätevedenpuhdistamolle ei kuitenkaan pidetä järkevänä, koska siitä aiheutuisi haittaa jätevedenpuhdistusprosessissa ja puhdistamon mitoitus hankaloituisi (Rintala 2003). Huleveden puhdistamista on pidetty myös tarpeettomana. Erillisviemäroinnin on ajateltu olevan vesistöille parempi vaihtoehto, koska tällöin puhdistamatonta jätevettä ei pääse vesistöön tulvakynnyksen yli rankkasateen aikana (Aaltonen ym. 2008). Kuitenkin esimerkiksi Tampereen alueella on havaittu, että hulevedet vaikuttivat selvästi Iidesjärven, Vaakkolammin ja Ahvenisjärven vedenlaatuun (Salovaara ym. 2009).

Nykyään kaupunkisuunnittelussa ei välttämättä ajatella viemäroinnin olevan ainoa ratkaisu sadevesien poisjohtamiseksi. Ojien reunoilla oleva kasvillisuus sekä kosteikot pidättävät haitallisia aineita (Salovaara ym. 2009). Tällainen luonnonmukainen tapa sadevesien johtamiseen vaikuttaa huleveden laadun paranemiseen sekä ennen kaikkea maa- ja pohjavesivarastoihin (Ahponen 2005). Uusissa asemakaavoissa on alettu ottaa hulevesien hallinta yhdeksi osaksi suunnittelua. Kuitenkin on epäselvää, kuka vastaa ojien kunnossapidosta ja hoidosta, mutta asiaan liittyvää lainsäädäntöä on valmisteilla (Salovaara ym. 2009).

Jyväskylän kaupunki on rakentunut Jyväsjärven ympärille ja kaupunki kasvaa jatkuvasti. Jyväsjärvi on osa Kymijoen vesistöaluetta ja kaksi suurinta Jyväsjärveen laskevaa uoma ovat Tourujoki ja Köyhänoja. Tourujoen valuma-alueen koko on 334 km<sup>2</sup> (Leinonen 1992) (Liite 8) ja Jyväsjärven valuma-alue 38 km<sup>2</sup> (Keränen 2001) (Liite 9). Vielä 1970-luvun lopulle asti Jyväsjärvi oli pahoin saastunut yhdyskuntajätevesikuormituksesta sekä Kankaan paperitehtaan jätevesistä. Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon aloitettua toimintansa Jyväsjärveen tuleva ulkoinen kuormitus väheni merkittävästi (Meriläinen ym. 2003, Palomäki 2004, Salonen ym. 2005). Ulkoisen kuormituksen vähetessä ongelmaksi on muodostunut sisäinen kuormitus. Vuosina 2004–2006 Jyväsjärvellä tehtiin laajamittainen ravintoverkkokunnostus, jonka tavoitteina olivat EU:n vesipuitedirektiivin mukaisen hyvän ekologisen tilan saavuttaminen vuoteen 2015

mennessä, parantaa järven virkistyskäyttömahdollisuuksia, vähentää ulkoista fosforikuormaa ja sisäisen kuormituksen vähentäminen.

Tässä pro gradu -tutkielmassa selvitettiin hulevesien merkitystä Jyväsjärven kuormittajana sekä eri alueilta tulevaa ainehuuhtoumaa ravinteiden ja kiintoaineen osalta. Tutkielmassa verrattiin keskenään Jyväsjärveen laskevien purojen ja sadevesiviemäreiden sekä Tourujoen tuomaa kuormitusta ja ainehuuhtoumaa näytteenottojaksolla. Lisäksi otettiin bakteeri- ja metallinäytteet yhdeksältä näytteenotto paikalta. Tutkielma liittyi Jyväsjärven kunnostushankkeeseen.

## **2. TUTKIMUKSEN TAUSTAA**

### **2.1. Pintavalunnan muodostuminen**

Keskimääräinen vuotuinen sademäärä Suomessa on 660 mm, josta haihtuu 341 mm ja 318 mm jää valunnan osuudeksi (Hyvärinen ym. 1995). Valunnasta osa on pohjavesivaluntaa ja osa jää pintavalunnaksi. Valunnan määrään vaikuttaa yleisesti sateen kesto, maaperän karkeus, valuma-alueen kaltevuus, vettä läpäisemättömän pinnan määrä ja valuma-alueen kasvillisuus (Kotola & Nurminen 2003b). Myös vuodenaika vaikuttaa valunnan määrään. Valunta on suurimmillaan keväällä sulamiskaudella varsinkin rakentamattomilla alueilla ja rakennettujen alueiden valunta on suurta myös syksyllä (Kotola & Nurminen 2005). Rakennetun alueen määrä vaikuttaa valunnan muodostumiseen. Tiiviisti rakennetuilla alueilla rankat sateet saavat aikaan suurtakin vuorokausivaluntaa ja hetkellistä valuntaa (Kotola & Nurminen 2005).

Rankan sateen aikaansaamat äkilliset kaupunkitulvat ovat yleistyneet viime vuosina (Silander ym. 2007). Sadanta- ja valuntaolojen on oletettu muuttuvan ilmastonmuutoksen myötä. Sademäärä kokonaisuudessaan tulee todennäköisesti kasvamaan ja lumipeitteinen aika lyhenemään (Ilmatieteen laitos 2009). Suomessa touko-syyskuun sademäärien on ennustettu kasvavan keskimäärin 10–15 % jaksoon 2071–2100 mennessä ja kesäkauden rankimmat vuorokausisateet kasvavat arvioiden mukaan 10–30 % (Aaltonen ym. 2008). Talvisateet runsastuvat kesäsateita enemmän, mutta rankkoja talvisateita ei kuitenkaan esiinny niin usein kuin rankkoja sateita kesällä, jolloin ilmakehä pystyy korkean lämpötilansa takia sitomaan enemmän kosteutta kuin talvella (Aaltonen ym. 2008).

Kaupunkiympäristössä on paljon vettä läpäisemätöntä pintaa ja vähän kasvillisuutta, millä on hyvin suuri merkitys pintavalunnan muodostumisessa (Kuusisto ym. 2005). Luonnollisten uomien puute lisää myös kaupunkitulvariskiä. Luonnonuomia on rakentamisen yhteydessä lyhennetty ja valumavesiä ohjattu hulevesiviemäriin, jolloin pintavalunnan määrä on kasvanut (Kuusisto ym. 2005). Yleensä tavoitteena on ollut johtaa sadevesi joko lähimpään ojaan, puroon tai sadevesiviemäriin, jotka laskevat vetensä lähimpään vesistöön (Sario ym. 2005). Hulevesiä voidaan kuitenkin johtaa ja käsitellä luonnonmukaisin tavoin. Suomessa hulevesien luonnonmukaisesta käsittelystä ei ole paljon kokemusta, mutta joitain alustavia projekteja on jo tehty muun muassa Vaasassa ja Helsingin Viikissä (Ahponen 2005). Myös Oulussa on tehty hulevesien luonnonmukaisen käsittelyn projekteja ja niissä havaittiin laskeutusaltaiden toimivan kiintoaineen osalta (Hyyrynen ym. 2007). Jyväskylässäkin on alettu ottaa hulevesien luonnonmukaista käsittelyä huomioon (Vallinkoski 2008).

### **2.2. Valumavesien laatu**

Vesistöjen rehevöitymiseen vaikuttaa niihin tuleva ravinnekuormitus. Varsinkin fosforilla on suuri merkitys järvien biologisissa prosesseissa, sillä se on yleensä rajoittava

tekijä biologisessa tuotannossa (Wetzel 2001). Fosforia esiintyy vesistöissä useissa eri muodoissa ja huomattavan suuri osa kokonaisfosforista on sitoutuneena kiintoaineeseen (Salonen ym. 1992). Myös tyypeä on vesistöissä useina epäorgaanisina ja orgaanisina muotoina, mutta orgaanisesta tyypestä vain pieni osa on suoraan perustuotannolle käytettävissä olevassa muodossa ja suurin osa tyypestä sisältyykin hitaasti hajoaviin humusyhdisteisiin (Salonen ym. 1992). Ulkoisen ravinnekuormituksen määrään vaikuttaa eniten valuma-alueen maankäyttö. Suomen ympäristökeskuksen mukaan hajakuormitus fosforin osalta on yli kolme neljäsosaa ja typhen osalta hieman yli puolet ihmisen aiheuttamasta kokonaiskuormituksesta (Suomen ympäristökeskus 2008). Suomessa hulevesien aiheuttama vesistöjen typpi- ja fosforikuormitus on yleensä pienempää kuin yhdyskuntajätevesien, massa- ja paperiteollisuuden, haja-asutuksen sekä maatalousalueiden ja metsätalouden aiheuttama ravinnekuormitus, mutta suurempaa kuin muun teollisuuden, kalankasvatuksen, turkistarhauksen ja turvetuotannon aiheuttama kuormitus (Peltola-Thies 2005).

Hulevedet ovat laadultaan kuitenkin hyvin vaihtelevia. Ainepitoisuuksiin vaikuttavat paljolti sateen voimakkuus ja kesto sekä valuma-alueen maankäyttö. Sulan kauden rankat sateet saavat partikkelit liikkeelle, kun taas pitkään jatkuneen sateen valumavesissä ainepitoisuudet ovat matalampia (Helenius & Leinonen 1979). Mitä enemmän valuma-alueella on läpäisemätöntä pintaa, sitä korkeampia keskimääräisten ainepitoisuuksien on havaittu olevan. Rakennustoimenpiteet saattavat nostaa ainepitoisuuksia huomattavasti verrattuna jo rakennettuun alueeseen (Kotola & Nurminen 2005). Maatalousalueilta tulevan valunnan ainepitoisuuksiin verrattuna hulevesien ainepitoisuudet ovat pieniä, mutta esimerkiksi kosteikon valumavesien pitoisuuksiin verrattuna hulevesien ainepitoisuudet ovat suurempia (Graves ym. 2004). Yleisesti huleveden on oletettu olevan heikkolaatuisinta kevään sulamiskaudella ja sulan kauden rankan sateen alussa (Vakkilainen ym. 2005).

Sateen alun suurimpien pitoisuuksien huippua kutsutaan alkuhuuhoutoumaksi (engl. first flush). Kyseiseen ilmiöön vaikuttavat eniten sateen voimakkuus, valuma-alueen läpäisemättömän pinnan määrä sekä valuma-alueen koko (Lee ym. 2002). Keskeisin alkuhuuhoutoumailmiöön liittyvä käsite on sadetapahtuman aikainen keskimääräinen pitoisuus, EMC (Event Mean Concentration), joka on tietyn aineen pitoisuuden virtaamapainotettu keskiarvo koko valuntatapahtuman ajalta (Sansalone & Buchberger 1997). Valuntatapahtumalle voidaan määrittää myös osittainen virtaamapainotettu pitoisuuskeskiarvo, PEMC (Partial Event Mean Concentration), joka on tietyn aineen virtaamapainotettu keskiarvo osalle valuntatapahtuman ajasta. Alkuhuuhoutoumailmiö on kyseessä silloin, kun valuntatapahtuman alkuhetkillä  $PEMC \geq EMC$  (Sansalone & Buchberger 1997). Alkuhuuhoutoumailmiö on voimakkaampi pienillä valuma-alueilla kuin suurilla, vaikka sade on samansuuruinen (Lee ym. 2002). Alle 100 ha:n valuma-alueella, josta yli 80 % oli läpäisemätöntä pintaa, pitoisuushuippu oli havaittavissa ennen valuntahuippua ja vastaavasti yli 100 ha:n valuma-alueille, joiden läpäisemättömän pinnan osuus oli alle 50 %, pitoisuushuippu seurasi valuntahuippua (Lee & Bang 2000).

Sadetapahtuman aikaisen keskimääräisen kiintoainepitoisuuden on havaittu olleen sitä suurempi, mitä pitempi sadetta edeltänyt kuiva jakso oli ollut (Chui 1997). Myös Brezonik ja Stadelmann (2002) olivat havainneet vastaavan yhteyden ja lisäksi negatiivisen korrelaation keskimääräisille pitoisuuksille sateen keston kanssa. Alkuhuuhoutoumailmiön havaitsemisen ja sadetta edeltäneen kuivan jakson välillä ei kuitenkaan ole löydetty korrelaatiota (Lee ym. 2002). Graves ym. (2004) totesivat kiintoainepitoisuuden korreloivan muun muassa ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksien kanssa. He päättelivät,

että hallitsemalla kiintoainekuormitusta pystyttäisiin hallitsemaan myös suurta osaa muista haitallisista aineista.

Sen sijaan huleveden aiheuttamaan kiintoainekuormitukseen vaikuttaa suurelta osin sadetapahtuman kokonaissademäärä (Chui 1997). Myös sademäärä, sateen voimakkuus ja valuma-alueen koko ja maankäyttö ovat merkittävimpiä tekijöitä arvioitaessa kuormituksia (Brezonik & Stadelmann 2002). Valunnan määrällä on myös pääasiassa enemmän merkitystä kuormitukseen kuin mitä valunnan ajankohdalla (Brezonik & Stadelmann 2002).

Kaupunkivesistöjen vedenlaadulla on suuri merkitys myös virkistyskäytön kannalta. Koliformiset bakteerit kertovat veden likaisuudesta ja niitä löytyy vesistä luonnostaankin. Fekaaliset koliformiset bakteerit kertovat ulosteperäistä saastumisesta (Kansanterveyslaitos 2005). Suomessa uimakelpoisen veden bakteerirajat ovat koliformisille bakteereille alle 10000 pmy/100 ml, fekaalisille koliformisille bakteereille alle 500 pmy/100 ml ja fekaalisille streptokokeille alle 200 pmy/100 ml (Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen asetus 292/1996).

Fekaalisten koliformisten bakteereiden ja fekaalisten streptokokkien pitoisuuksista voidaan laskea FC/FS -indeksi, joka on karkea arvio siitä, onko bakteerikuormitus peräisin ihmisestä vai muista tasalämpöisistä eläimistä, koska ihmisen ulosteissa on fekaalisia koliformisia bakteereita suhteessa enemmän kuin fekaalisia streptokokkeja (indeksi >4) verrattuna muiden tasalämpöisten eläinten ulosteisiin (indeksi <0,7) (Geldreich & Kenner 1969). Geldreichin ja Kennerin (1969) tutkimuksessa hulevedet eivät olleet saastuneet ihmisen ulosteilla. Suomessa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että bakteereja purovesissä on aina jonkin verran, mutta pitoisuudet olivat suurimpia kesällä ja syksyllä (Ruth 2007). Suomen uimakelpoisen veden bakteerirajojen perusteella tutkimuksessa todettiin Helsingin kaupunkipurot uimakelvottomiksi, mutta bakteerien olevan suurimmalta osin peräisin muista tasalämpöisistä eläimistä. Indikaattoribakteereiden määrän on havaittu olevan korkeimmillaan sateettoman jakson jälkeen tulleen voimakkaan sateen aikana tai heti sateen jälkeen virtaaman ollessa vielä suurta (Ruth 2007).

Lämpökestoisia, eli fekaalisia, koliformisia bakteereita on pidetty kuitenkin luotettavina hygienian indikaattoreina joissa ja hajakuormitetuissa vesissä vielä 1990-luvun alkupuolella, mutta streptokokkien soveltuvuus jäi tuolloin epäselväksi (Niemi & Niemi 1991). Niemen ym. (1997) mukaan sisävesien hygieeninen laatu on parantunut jätevedenpuhdistamojen myötä, mutta kuitenkin korkeita bakteeripitoisuuksia havaitaan. Syy saatuihin tuloksiin oli heidän mukaansa suora ulosteperäinen kuormitus vesistöön, mutta virheitä bakteerien määrittämisessä ei voida sulkea pois. Siitä syystä olisikin löydettävä luotettavia määrittämis- ja indikaattoribakteereita, jotta väärät tulokset karsiutuisivat. Niemi ym. (1997) totesivat yhdeksi ongelmaksi, että esimerkiksi koliformisten bakteereiden kokonaispitoisuus pitää sisällään lajeja, joita ei esiinny tasalämpöisten eläimien tai ihmisten suolistossa.

Myöhemmät bakteeritutkimukset ovat kuitenkin kritisoineet FC/FS -indeksiä epävarmaksi tavaksi määrittää bakteerien alkuperää. Myös indeksin kehittäneet tutkijat suosittelivat harkintaa indeksin käyttöön (Geldreich & Kenner 1969). Yksi heikkous indeksissä on kyseisten bakteerien erilainen kuolevuussuhde (Feachem 1975). Feachemin mukaan ihmisperäisestä kuormituksesta voisi kertoa alun perin korkea FC/FS -indeksi, joka alkaa laskea, kun taas alun perin matala FC/FS -indeksi, joka kasvaa, kertoisi muusta kuin ihmisperäisestä bakteerisaastumisesta. Uusissa menetelmissä pyritään käyttämään indikaattoribakteereina tiettyjä, ihmiselle tyypillisiä, suolistobakteereita, joiden määrittämisessä käytetään apuna DNA-tekniikkaa (Gilpin ym. 2002). Myös sorbitolia fermentoivat bifidobakteerit ovat lupaava työkalu ihmisperäisen bakteerikuormituksen määrittämisessä (Rhodes & Kator 1999). Ongelmina tässä ovat kuitenkin kausittainen



säilyvyys ja liuosspesifisyys, ja jos kyseisiä bakteereja alettaisiin käyttää akvaattisen ympäristön bakteri-indikaattoreina, olisi herkkyyttä ja valikoivuutta nykyisten havaitsemismenetelmien osalta paranneltava. Sintonin ym. (1998) mukaan yksittäinen mikro-organismi tai kemikaali ei ole osoittautunut luotettavaksi bakterikuormituslähteen ilmentäjäksi, mutta yhdistämällä joitain kyseisistä tekijöistä voisi luotettava indikaattoriyhdistelmä löytyä.

Valumavedet tuovat lähivesistöihin mukanaan myös metalleja. Kaupunkialueilla metallikuormitusta aiheuttavat eniten rakennusmateriaalien kuluminen sekä liikenne. Maaleista ja kattomateriaaleista liukenee sateen aikana metalleja. Myös rakennusten pinnoille kertyy metalleja sisältävää pölyä, joka huuhtoutuu sateen mukana. Ajoneuvojen metalliosien kulumisesta ja polttoaineesta tulee metallipäästöjä, jotka voivat kulkeutua sateen mukana vesistöihin (Brown & Peake 2006). Hulevesien kupari- ja lyijypitoisuudet ovat korkeampia kaupunki- ja teollisuusvaltaisilla valuma-alueilla ja kattojen on havaittu lisäävän sinkkipitoisuuksia (Brown & Peake 2006). Eräässä tutkimuksessa käytettiin synteettistä sadetta tutkittavien metallikuormituskohteiden havainnoinnissa, paitsi kattojen osalta sade oli aitoa (Davis ym. 2001). Tutkimuksessa havaittiin, että suurin osa metallikuormituksesta tuli rakennusten seinistä. Katoilta tuli vain vähän metallikuormitusta. Korkeimmat lyijypitoisuudet havaittiin tiiliseinien ja maalattujen puuseinien näytteistä. Tiiliseinät aiheuttivat myös suurimman osan sinkkikuormituksesta. Kuparin osalta merkittävin kuormitustekijä oli autojen jarrut (Davis ym. 2001). Kadmiumia näytteistä löytyi yleisesti vähän ja siitä suurin osa tuli laskeumana (Davis ym. 2001). Suurimman osan arseeni-, kadmium-, kromi-, kupari-, lyijy- ja nikkeli-kuormituksesta on havaittu tulevan sadesäällä ja kaikkien muiden metallien paitsi arseenin olleen sitoutuneena kiintoaineeseen (McPherson ym. 2002). Kuivalla säällä metallipitoisuudet olivat pienempiä, mutta ne olivat liuenneessa muodossa, mikä on haitallisempaa eliöille (McPherson ym. 2002). Kaloissa, jotka elävät hulevesikuormitetuissa lammissa, on havaittu huomattavia metallipitoisuuksia verrattuna kaloihin, jotka elävät lammissa, joihin ei tule hulevesikuormitusta (Campbell 1994). Kuparilla on havaittu olevan vaikutusta hopealohen (*Onchorhynchus kisutch*) poikasten käyttäytymiseen jo 2 µg/l pitoisuuksina (Sandahl ym. 2007).

### 2.3. Jyväsjärvi

Jyväsjärvi kuuluu Kymijoen vesistöalueeseen ja sen valuma-alue on 38 km<sup>2</sup> (Keränen 2001). Tourujoki on suurin Jyväsjärveen laskeva uoma, jonka valuma-alue on 334 km<sup>2</sup> (Leinonen 1992). Jyväsjärveen on tullut merkittävää asumajätevesikuormitusta Jyväskylän kaupungin alueelta. Kaupungin kasvaessa 1900-luvun aikana myös asumajätevesien määrä kasvoi ja 1950-luvun lopulla Jyväsjärvi oli jätevesien rehevöittäjä ja sopimaton virkistyskäyttötarkoitukseen (Keränen 2001). Vielä 1970-luvun puoliväliin asti Jyväsjärvi oli Jyväskylän asumajätevesien ja Kankaan paperitehtaan teollisuusjätevesien kuormittama (Palomäki 2004). Vuonna 1974 rakennetun Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon aloitettua toimintansa ja vuonna 1977 Jyväsjärveen tulevan jätevesikuormituksen lakattua kokonaan Jyväsjärvi alkoi elpyä kuormituksesta (Keränen 2001). Nykyään Jyväsjärven ulkoinen ravinnekuormitus tulee pääosin Tourujoesta ja Kankaan paperitehdas aiheuttaa jonkin verran pistekuormitusta (Palomäki ym. 2004). Jyväsjärven sisäinen kuormitus on luontaista suurempaa, koska sedimentti on huonokuntoista ja eliöstö on palautunut veden laatua hitaammin voimakkaasta kuormituksesta (Palomäki ym. 2004). Tämän takia Jyväsjärvi on pysynyt rehevänä. Vuonna 2001 Jyväskylän yliopisto aloitti Jyväsjärvi-projektin, jonka yhtenä tarkoituksena oli selvittää Jyväsjärven nykytila sekä tehdä kunnostussuunnitelma (Palomäki ym. 2004).

### 3. AINEISTO JA MENETELMÄT

#### 3.1. Näytteenotto ja laboratoriomääritykset

Mittausjaksolla 28.3.–10.12.2007 näytteenottopaikat olivat Jyväsjärveen laskevia puroja ja sadevesiviemäreitä. Näytteenottopaikkoja oli yhteensä 20, joista kahdeksan oli sadevesikaivoja tai niiden purkuputkia (A-H) ja 12 avouomia (1-15) (Kuva 1). Myös Köyhänoja (paikka 14) ja Tourujoki (paikka 15) kuuluivat näytteenottopaikkoihin. Näytteenottopaikoilta otettiin 2,5 l vesinäyte, josta 1000 ml oli kiintoaine- ja värinmäärityksiin, 1000 ml pH-, johtokyky- ja sameusmittauksiin sekä 500 ml kokonaistyyppi- ja -fosforimäärityksiin. Avouomanäytteet otettiin joko suoraan purosta tai putken suulta. Sadevesikaivoista näytteet otettiin noutimella. Paikoilta 6,10,12, 14, 15, A, D, E ja G otettiin lisäksi 28.8.2007 tehdyllä näytteenottokierroksella näytteet bakteeri- ja metallimäärityksiin. Bakteerit määriteltiin koliformisiin, fekaalisiin koliformisiin bakteereihin ja fekaalisiin streptokokkeihin. Metallinäytteistä analysoitiin arseeni (As), kadmium (Cd), kromi (Cr), koboltti (Co), lyijy (Pb), mangaani (Mn), molybdeeni (Mo), nikkeli (Ni), sinkki (Zn) ja vanadiini (V). Laboratoriomääritykset tehtiin heti näytteenottokierroksen jälkeen tai viimeistään seuraavana päivänä. Ravinnäytteet säilöttiin pakastamalla heti näytteenottokierroksen jälkeen. Laboratoriomäärityksistä kiintoaine-, väri-, sameus-, pH- ja johtokyky- ja -määritykset tehtiin Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen vesilaboratoriossa. Ravinne-, bakteeri- ja metallinäytteet analysoitiin Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksessa (YMTK). Laboratoriomääritykset tehtiin voimassaolevien SFS-standardien mukaan. Väri analysoitiin suodatetuista näytteistä spektrofotometrillä.

Näytteenottopaikoilla mitattiin virtaama ja veden lämpötila. Virtausnopeus mitattiin vertikaaleista, jotka sijaitsivat 25 %, 50 % ja 75 % uoman leveydestä. Virtaama laskettiin kertomalla nopeuden keskiarvo uoman poikkileikkauksen pinta-alalla. Virtausnopeus mitattiin siivikolla (MiniAir<sup>2</sup>, Schiltknecht), tai mikäli mahdollista suoraan astiamittauksella. Astiamittauksessa otettiin aika kuinka kauan tietyn tilavuisen astian täyttyminen kesti ja virtaama laskettiin tämän perusteella. Jos virtaama oli kovin suuri ja astia täyttyi nopeasti, toistettiin astiamittaus kyseisellä näytteenottopaikalla useita kertoja ja laskettiin virtaama mittausten keskiarvosta. Tourujoen virtaamatiedot saatiin Jyväskylän Energia Oy:ltä tuntiarvoina (Kaakinen 2007, 2008).



Kuva 1. Hulevesinäytteenottopisteet, Jyväsjärveen laskevat purot ja Tourujoki numeroituina (1-15) vihreällä pohjalla, sadevesikaivot ovat punaisella pohjalla kirjaimilla (A-H) (alkuperäinen kuva: Keränen 2001).

Kaikki näytteenottopaikat kattavia näytteenottokierroksia tehtiin vuoden 2007 aikana kahdeksan. Kaksi näytteenottokierrosta ajoitettiin kevään sulamiskaudelle, kesän sateettomille jaksoille kaksi ja kesän sateisille jaksoille kaksi sekä kaksi syksyn ja alkutalven sateille.

### 3.2. Tehoseurantajakso

Edellä mainittujen näytteenottokierrosten lisäksi tehtiin lyhyitä tehoseurantakierroksia (Liite 6). Tehoseurantapaikoiksi valittiin Köyhänoja (paikka 14), Kylmänoro (paikka 12) ja ensimmäisellä seurantajaksoilla sadevesikaivo Ylistön pihalta, joka myöhemmin vaihdettiin kahteen sadevesiviemäristön purkuputkeen (paikat G ja H), jotka keräsivät vetensä myös Ylistön piha-alueelta. Tehoseurantajaksojen tarkoituksena oli saada tarkka käsitys hulevesien määrän ja laadun muuttumisesta puroissa ja viemäreissä ennen sadetta, sateen aikana ja sateen loputtua. Tehoseurantajaksoja tehtiin neljä vuoden 2007 aikana.

### 3.3. Virtaamamittaukset Köyhänojalla ja Kylmänorolla

Köyhänojan mittauspaikalle rakennettiin silta mittauksia varten ja virtaamamittauksia tehtiin viikoittain. Tällöin mitattiin uoman syvyys vertikaaleittain sekä uoman leveys. Siivikointi (MiniAir<sup>2</sup>, Schiltknecht) tehtiin 0,5 m välein olevista vertikaaleista siten, että edettiin pinnasta 5-15 cm kerrallaan kohti pohjaa, kuitenkin niin, että viimeinen mittaus oli aina noin 5 cm pohjasta. Joka syvyydeltä mitattiin 50 s virrannopeuskeskiarvo. Virtaama laskettiin Suomen ympäristökeskuksen Virtaama-ohjelmalla. Lämpötila mitattiin siivikon lämpötilamittarilla.

Kylmänorolla virtaamamittauksia tehtiin joka toinen viikko. Tällöin mitattiin uoman leveys, keskimääräinen syvyys ja virtausnopeus sekä lämpötila. Virtaamamittaukset tehtiin samalla tavalla kuten muissakin pienissä uomissa: virtausnopeus mitattiin vertikaaleista, jotka sijaitsivat 25 %, 50 % ja 75 % uoman leveydestä ja nopeuden keskiarvo kerrottiin

uoman poikkileikkauksen pinta-alalla. Virtausnopeus mitattiin siivikolla (MiniAir<sup>2</sup>, Schiltknecht).

Molempien paikkojen tuloksista laskettiin arvio virtaamasta niille päiville, jolloin ei tehty mittauksia. Sadevuorokausien täydennykset tehtiin kokonaisvuorokausivaluntakertoimien  $(\sum(\text{sadevuorokausien valunta})/\sum(\text{sademäärä}))$  avulla. Sateettomina vuorokausina laskettiin virtaaman prosentuaalinen muutos kahden mittauskerran tai sadevuorokauden virtaaman ja mittauskerran välillä. Tästä laskettiin virtaaman muutoskerroin ja siten virtaama kullekin vuorokaudelle. Kylmänorolla käytettiin Köyhänojan muutoskertoimia, jos Kylmänoron aineistosta ei saatu lasketuksi ajankohtaan sopivaa muutoskerrointa. Aina muutoskerrointa ei kyetty laskemaan kaikille niille jaksoille, joilta mittauksia ei ollut, joten tällöin kertoimena käytettiin ajankohdasta katsottuna lähintä muutoskerrointa.

### 3.4. Sadannan, valunnan, kuormituksen ja ominaiskuormituksen määrittäminen

Osavaluma-aluejako tehtiin maastohavaintojen, kartan korkeuskäyrien ja Jyväskylän kaupungin sadevesiviemärikarttojen pohjalta. Tarkat pinta-alalaskelmat tehtiin Keski-Suomen ympäristökeskuksessa SLICES-tietokantaan pohjautuvalla paikkatietoaineistolla. Maatalouden alueisiin on laitettu kuuluvaksi kaikki maatalouden maat -käyttöluokan alla olevat alueet.

Sademääriä seurattiin vuoden aikana Jyväsjärvellä sijaitsevalta Jyväskylän yliopiston Aino-lautalla kerätystä aineistosta. Käytössä oli myös toinen, erityyppinen sademittari (Perfect, Berglund), joka asennettiin Ylistönrinteelle Ambiotican koe-eläinrakennuksen eteläpuolella maan pintaan. Toinen sademittari oli käytössä Aino-lautan toimintahäiriöiden varalta.

Valuntalaskelmat tehtiin näytteenottojaksolle (28.3.–10.12.2007), koska sitä ennen ja sen jälkeen virtaamia oli vaikea arvioida tehtyjen mittausten perusteella. Valunta näytteenottohetkellä määritettiin virtaamamittausten ja osavaluma-alueiden pinta-alatietojen avulla jakamalla kunkin näytteenottopaikan virtaama kyseisen paikan valuma-alueen pinta-alalla. Tourujoen osalta valunta saatiin laskettua tarkasti koko vuodelle Jyväskylän Energia Oy:n mittaamien virtaamien pohjalta. Muiden avouomanäytteenottopaikkojen kohdalla vuorokausivalunta sateisten vuorokausien osalta laskettiin kunkin paikan kokonaisvuorokausivaluntakertoimen pohjalta (Liite 3). Sateettomien vuorokausien valunta laskettiin joko Köyhänojan tai Kylmänoron mittausten pohjalta käyttäen vertailuvesistömenetelmää, jossa:

$$Q_1/A_1=Q_2/A_2, \text{ joten } Q_2= Q_1 \times A_2/ A_1$$

$Q_1$ = paikan 1 virtaama

$Q_2$ = paikan 2 virtaama

$A_1$ = paikan 1 valuma-alueen pinta-ala

$A_2$ = paikan 2 valuma-alueen pinta-ala

Ensin Köyhänojan ja Kylmänoron virtaamatiedot vuorokautta kohti oli täydennetty muutoskertoimen (kts. kpl 3.3) avulla. Kummankin vertailuvesistön avulla laskettiin näytteenottopaikan virtaama mittauspäiville ja saatuja tuloksia verrattiin kyseisen paikan

mitattuihin arvoihin t-testillä ja Pearsonin korrelaatiokertoimella. Vertailuvesistön valinnassa annettiin enemmän painoarvoa t-testin tulokselle kuin korrelaatiokertoimelle. Suuri p-arvo t-testissä tarkoitti sitä, että kyseisten paikkojen keskiarvojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ja tämä valittiin vertailuvesistöksi. Näytteenottopaikat 4 ja 8-11 laskettiin käyttäen vertailuvesistönä Köyhänojaa ja näytteenottopaikoissa 1,5 ja 6 vertailuvesistönä käytettiin Kylmänoroa (Liite 4). Näytteenottopaikalta 7 saatiin mittaustuloksia vain kerran, joten se jätettiin laskelmien ulkopuolelle. Kullekin purolle oli asetettu pohjavirtaama vuoden 2007 mittauksien alimman havaitun virtaaman mukaan. Pohjavirtaaman alle menevät vertailuvesistömenetelmällä lasketut virtaamat korvattiin pohjavirtaamalla.

Sadevesiviemäreiden virtaamat laskettiin Ylistönrinteellä sijaitsevien kahden sadevesiviemäristön, kaivojen G ja H, purkuputkien suilta mitattujen virtaamien pohjalta (Liite 3). Saaduista tuloksista laskettiin valunta ja kokonaistuntivaluntakerroin (tuntivalunta/tuntisadanta) kummallekin viemärielle. Kokonaistuntivaluntakerroin laskettiin samalla tavalla kuin avouomien kokonaisvuorokausivaluntakerroin. Kokonaistuntivaluntakertoimen avulla laskettiin sadevuorokausien virtaama samalla tavalla kuin avouomien kohdalla. Muille sadevesiviemäreille käytettiin valuntakertoimena Ylistön sadevesiviemäreiden kokonaistuntivaluntakertoimien keskiarvoa. Poikkeuksina olivat kuitenkin kaivot A ja B, joilta oli saatu mitattua virtaamaa ja täten laskettua omat kokonaistuntivaluntakertoimet. Sateettomina vuorokausina kaikkien kaivojen virtaaman oletettiin kuitenkin olevan nolla. Poikkeuksena oli kaivo D, jonka valuma-alue oli hyvin suuri verrattuna muiden kaivojen valuma-alueisiin ja kyseisen kaivon valuma-alueesta noin 40 % oli metsämaata. Kaivon D valuntakertoimena käytettiin puron 10 valuntakerrointa, koska niiden metsäisyysprosentti oli samanlainen. Kaivon E valuma-alue jäi epäselväksi, joten sille ei saatu laskettua virtaamaa. Kaivo F sisältyi kaivon D valuma-alueeseen.

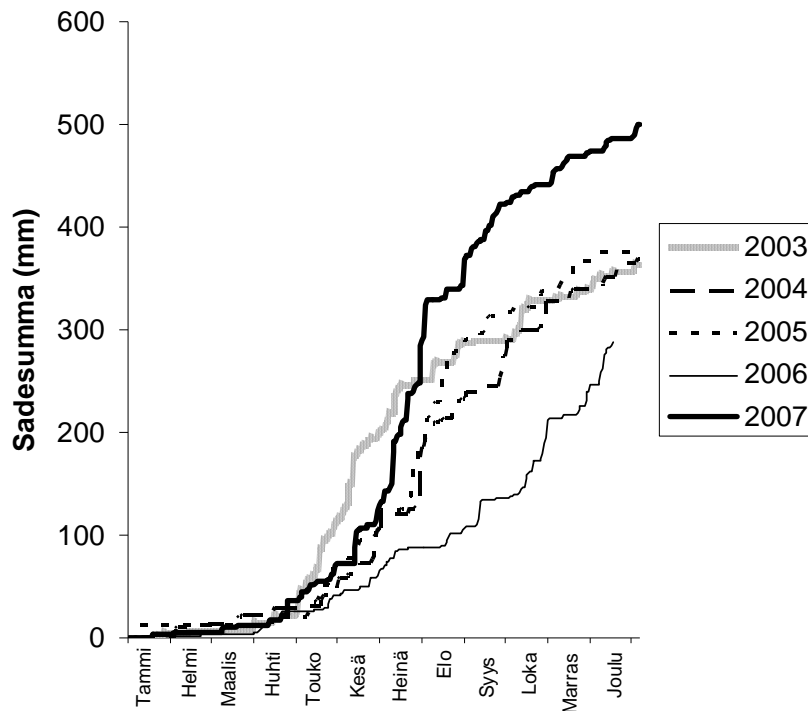
Niille vuorokausille, jolloin ei ollut otettu näytteitä, laskettiin pitoisuudet kiintoaineelle, kokonaistypelle ja -fosforille virtaaman avulla. SPSS:ssä laskettiin kullekin paikalle mitattavan aineen pitoisuuden ja virtaaman välille lineaarinen regressio ( $y=ax+b$ ), jolla laskettiin puuttuvat pitoisuudet eri vuorokausille. Jos regressiomallin ehdot eivät täyttyneet tai malli ei muuten sopinut kyseiselle näytteenottopaikalle, laskettiin kahden mittauksen väliset puuttuvat pitoisuudet näiden mittauksien keskiarvoina tai käytettiin ajallisesti lähintä pitoisuusarvoa. Ainoat näytteenottopaikat ja pitoisuudet, joille regressiota voitiin käyttää, olivat paikan 5 kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuus sekä Köyhänojan kokonaistyyppipitoisuus. Muille näytteenottopaikoille niiden vuorokausien, jolloin näytteenottoja ei ollut tehty, ainepitoisuudet laskettiin keskiarvoilla tai käytettiin ajallisesti lähimpiä ainepitoisuusmittaustuloksia puuttuvien arvojen korjauksessa. Kaivojen G ja H alkuvuoden, 28.3.–24.6.2007, puuttuvien mittauksien täydennys tehtiin laskemalla pitoisuuksien keskiarvo muiden kaivojen ainepitoisuuksista. Vuorokausikuormitus laskettiin kertomalla pitoisuus vuorokausivirtaamalla. Kuormitus kunkin näytteenottopaikan osalta 28.3.–10.12.2007 väliselle ajalle laskettiin summaamalla vuorokausikuormitukset. Myös kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksien välistä riippuvuutta toisistaan tarkasteltiin kaikkien näytteenottovuorokausien osalta.

Ominaiskuormitus ( $\text{kg}/\text{km}^2/\text{vrk}$ ) laskettiin kullekin näytteenottopaikalle jakamalla koko mittausjakson aikaiset ainehuuhtoumat mittausjakson vuorokausien lukumäärällä.

## 4. TULOKSET

### 4.1. Vuoden 2007 sademäärä ja osavaluma-alueiden lyhyt kuvaus

Kumulatiivisen sadesumman perusteella vuosi 2007 oli hyvin sateinen verrattuna aiempiin vuosiin (Kuva 2).

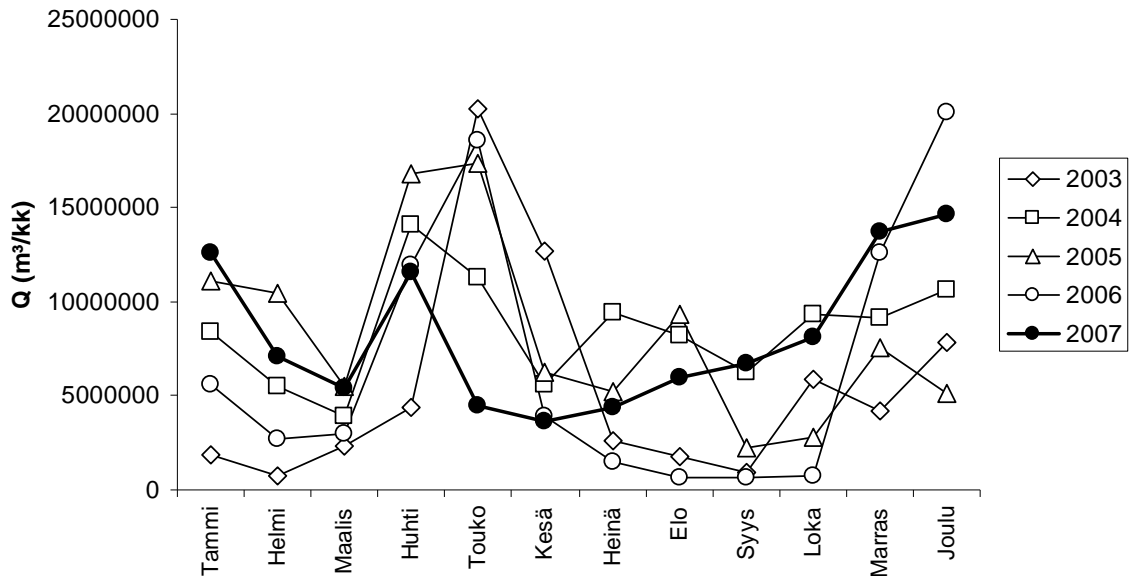


Kuva 2. Jyväskylän yliopiston Aino-lautan Jyväsjärveltä keräämään sademäärätietoon perustuva kumulatiivinen sadesumma vuosilta 2003–2007. Vuoden 2007 puuttuvat havainnot ovat täydennetty oman sademittarin havainnoilla.

Pienten purojen valuma-alueet koostuivat pääasiassa metsämaastosta ja rakennetuista alueista (Liite 7). Paikkojen 4 ja 5 valuma-alueella oli eniten päällystettyä pintaa sekä rakennettua aluetta. Metsämaata kyseisillä valuma-alueilla oli 16–19 %, kun muiden avouomien sekä kaivon D valuma-alueilla metsämaan osuus vaihteli 33–74 % välillä. Tourujoen valuma-alue oli pääasiassa metsämaata (74 %). Köyhänojan ja Kylmänoron valuma-alueet olivat myös pinta-alaltaan enimmäkseen metsää, mutta rakennetun alueen osuus oli selvästi suurempi verrattuna Tourujoen valuma-alueeseen. Kaivojen valuma-alueille laskettiin vain pelkät pinta-ali tiedot ja pintojen oletettiin olevan läpäisemätöntä pintaa. Poikkeuksena oli kaivo D, jonka valuma-alue oli hyvin suuri ja sen valuma-alueesta 41 % oli metsämaata. Tourujoen valuma-alue oli suurin (334 km<sup>2</sup>) ja toiseksi suurin valuma-alue oli Köyhänojalla (19 km<sup>2</sup>). Vaikka osavaluma-aluerajat hieman ylittivätkin Jyväsjärven valuma-alueen rajat, oli Jyväsjärven valuma-alueen pinta-ala edelleen 38 km<sup>2</sup> (Liitteet 10 & 11) (Romula 2009).

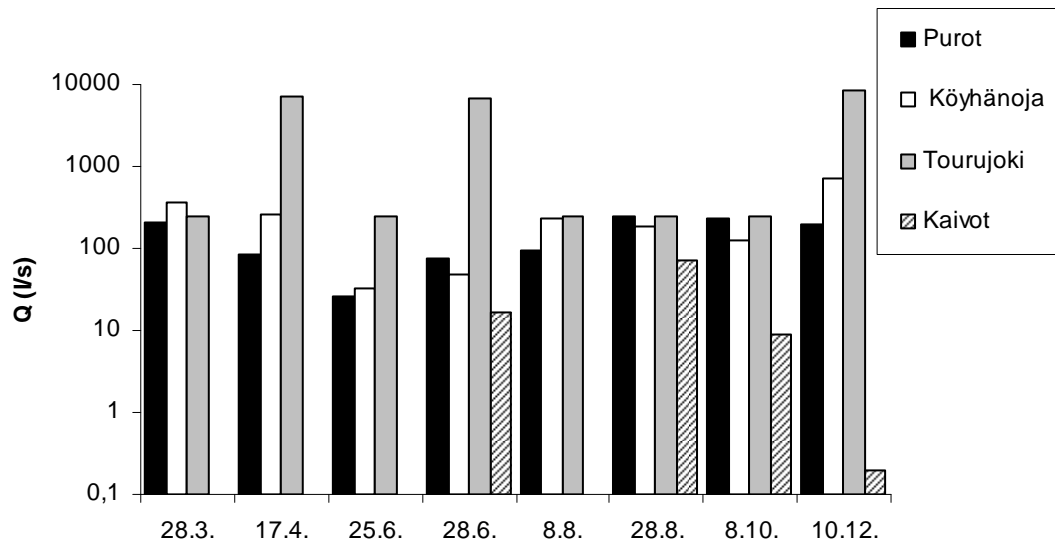
### 4.2. Virtaamat ja hulevesien vedenlaatu

Tourujoki oli suurin Jyväsjärveen laskevista uomista. Vaikka kesä ja syys 2007 olivatkin sateisia, ei Tourujoen kuukausivirtaamissa ole kevään sulamiskauden jälkeen suuria virtaamapiikkejä ennen loka-marraskuuta. Kuitenkin virtaaman kehittyminen syksyä kohden oli tasaisempaa kuin aiempina vuosina (Kuva 3).



Kuva 3. Tourujoen kuukausivirtaamat, Q, (m<sup>3</sup>/kk) vuosilta 2003–2007.

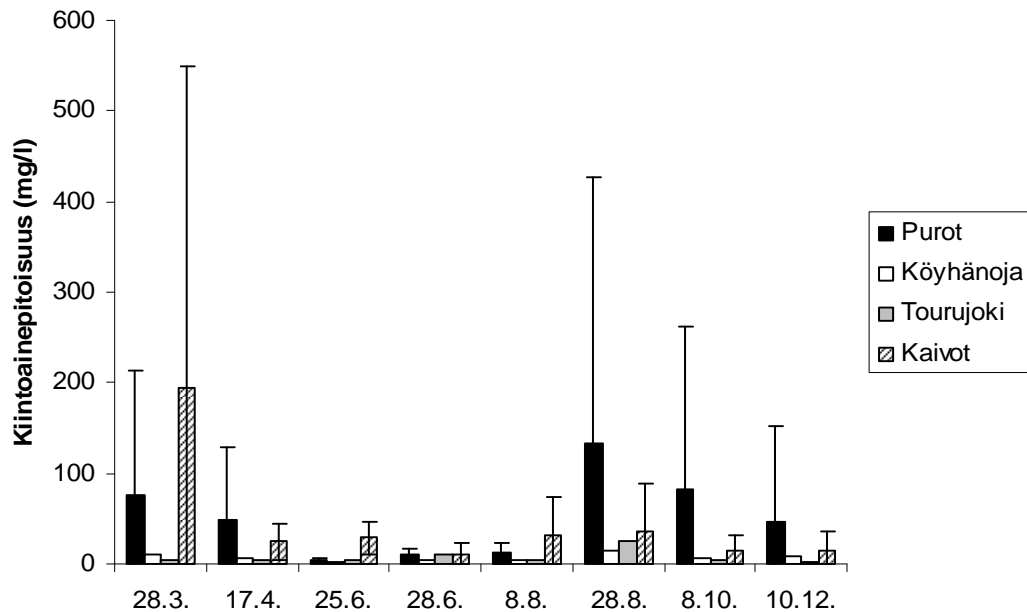
Joinain valuntahuippuhetkinä Köyhänojan, purojen ja kaivojen yhteenlaskettu virtaama ylitti Tourujoen virtaaman (Kuva 4). Kaivojen virtaama oli hyvin vähäinen. Suurimmat virtaamat puroista mitattiin sulamiskaudella sekä kesän ja syksyn sateilla. Köyhänojan virtaama vaihteli samalla tavalla, mutta suurimmat virtaamat mitattiin 2.8. (1231 l/s) tulleen rankan ja pitkäkestoisen sateen jälkeen sekä talvella 10.12. (725 l/s).



Kuva 4. Jyväsjärven valuma-alueelta tuleva virtaama, Q, (l/s) näyteenottovuorokausina vuonna 2007. Purojen virtaama on kaikkien purojen yhteenlaskettu virtaama ja vastaavasti kaivojen virtaamat ovat laskettu yhteen kyseisiltä vuorokausilta. Y-akseli on logaritminen.

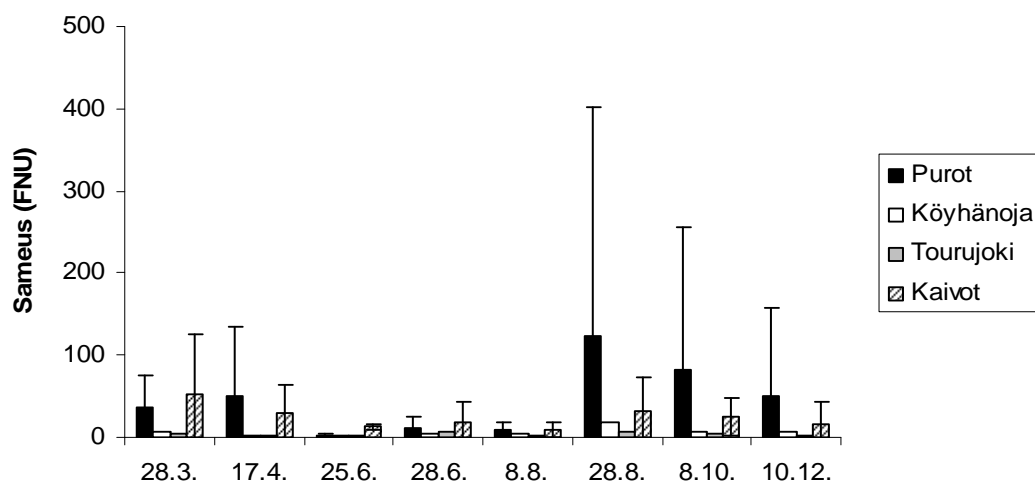
Kiintoainepitoisuudet vaihtelivat paljon eri vuodenaikojen ja sääolojen suhteen (Kuva 5). Varsinkin puroissa erot kiintoainepitoisuuksissa sulamiskaudella ja sateilla verrattuna sateettomiin jaksoihin olivat selkeitä (Liite 2). Kaivojen kiintoainepitoisuudet vaihtelivat hieman eri tavalla ja pitoisuudet olivat jopa suurempia sateettoman jakson näytteissä kuin sadepäivien näytteissä. Köyhänojan ja Tourujoen kiintoainepitoisuudet

eivät muuttuneet yhtä voimakkaasti valunnan muutoksien myötä kuin purojen kiintoainepitoisuudet.



Kuva 5. Kiintoainepitoisuudet (mg/l) näytteenottovuorokausilta vuonna 2007. Kaivojen ja purojen kiintoainepitoisuudet ovat näytteenottovuorokausien keskimääräiset kiintoainepitoisuudet  $\pm$  keskihajonta.

Sameus vaihteli samaan tapaan kuin kiintoainepitoisuus ja oli yleensä suurimmillaan purojen näytteissä (Kuva 6). Näytteenottovuorokausien välillä Tourujoen ja Köyhänojan näytteissä sameus vaihteli vähemmän kuin purojen ja kaivojen näytteissä (Liite 2).

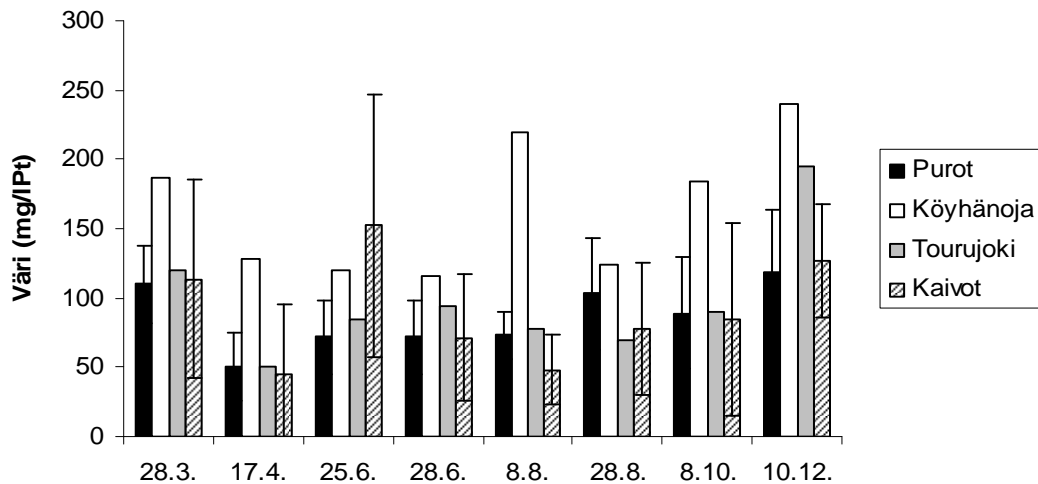


Kuva 6. Sameus (FNU) näytteenottovuorokausilta vuonna 2007. Kaivojen ja purojen sameudet ovat näytteenottovuorokauden keskimääräiset tulokset  $\pm$  keskihajonta.

Kaivojen näytteissä veden väri vaihteli paljon eri näytteenottokertojen välillä (Kuva 7). Köyhänojan näytteet olivat aina silmämäärin tarkasteltuna kellertävän väristä muihin

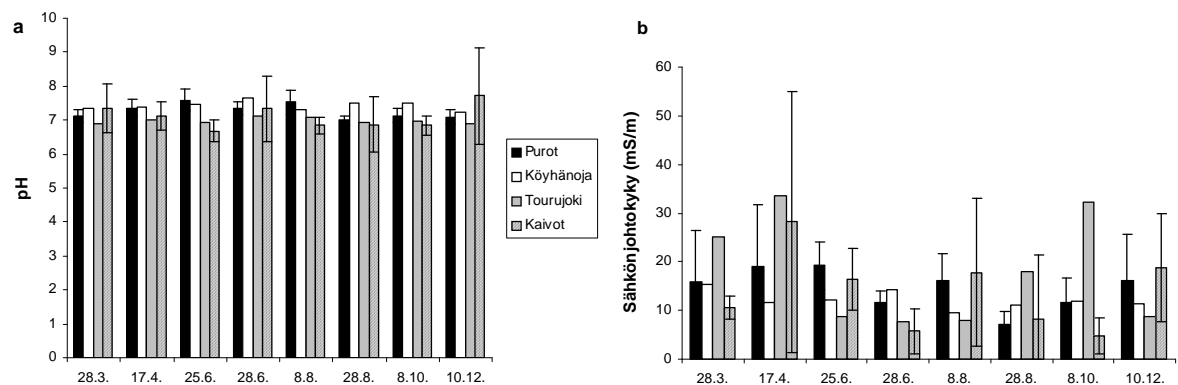


näytteisiin verrattuna. Puroissa vaihtelu ei ollut yhtä voimakasta kuin kaivojen vedessä, mutta valunnan kasvun vaikutus näkyy vertailtaessa yksittäisten purojen tuloksia eri näytteenotokertoina (Liite 2). Useimpien purojen väriarvot olivat kesän sateilla suurempia kuin mitä sateita edeltäneillä kuivilla jaksoilla.



Kuva 7. Veden väri (mg/lPt) näytteenottovuorokausilta vuonna 2007. Kaivojen ja purojen väritulokset ovat näytteenottovuorokauden keskimääräiset arvot  $\pm$  keskihajonta.

Tourujoen pH oli melko samanlainen kaikissa näytteissä (6,9-7,1), eikä Köyhänojan näytteiden pH-arvoissa juurikaan ollut vaihtelua näytteenottovuorokausien välillä. Köyhänojan ja purojen keskimääräiset pH-arvot olivat suurempia kuin Tourujoen näytteistä mitatut arvot (Kuva 8a). Purojen välillä oli kuitenkin vaihtelua pH:ssa (Liite 2). Kaivosta B otetuissa näytteissä pH vaihteli huomattavan paljon (väliltä 6,2-10,9). 28.6. ja 10.12. otetuissa näytteissä pH-arvot olivat korkeimmillaan (Liite 2). Sähkönjohtokykyarvot olivat kaiken kaikkiaan matalia (Kuva 8b). Vaihtelua eri purojen ja kaivojen välillä oli jonkin verran ja varsinkin 17.4. ja 28.8. kaivojen sähkönjohtokykyarvot vaihtelivat paljon (Liite 2).



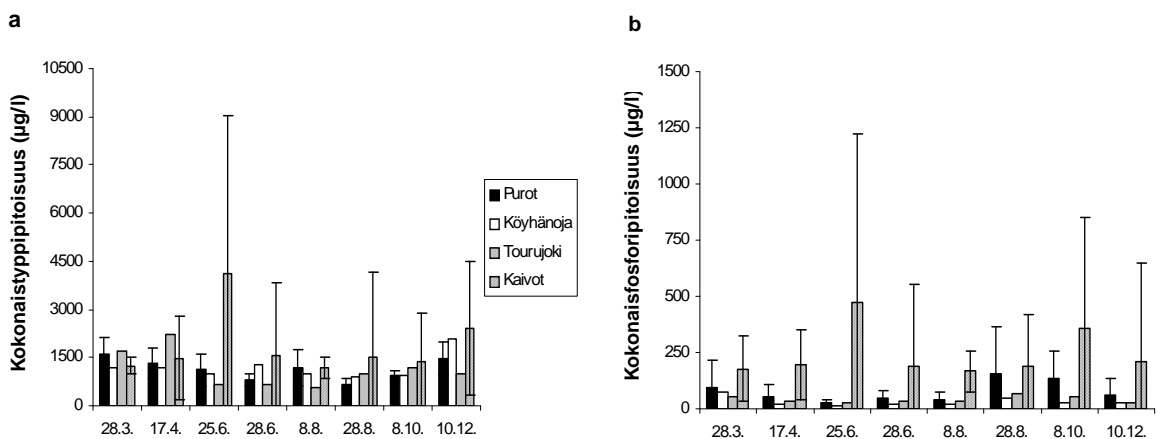
Kuva 8. a) Veden happamuus (pH) ja b) sähkönjohtokyky (mS/m) näytteenottovuorokausilta vuonna 2007. Kuvaajissa kaivojen ja purojen pH ja sähkönjohtokyky ovat näytteenottovuorokauden keskimääräiset tulokset  $\pm$  keskihajonnat.

Purojen keskimääräiset kokonaistyyppipitoisuudet olivat korkeimmillaan kevään ja alkutalven näytteissä (Kuva 9a). Köyhänojalla kokonaistyyppipitoisuus pysyi melko

samanlaisena kaikkina näytteenottovuorokausina paitsi 10.12., jolloin kokonaistyyppipitoisuus lähes kaksinkertaistui verrattuna aiemmin havaittuihin pitoisuuksiin. Tourujoen näytteistä korkeimmat kokonaistyyppipitoisuudet olivat kevään näytteissä. Kaivojen keskimääräiset kokonaistyyppipitoisuudet olivat melko korkeita verrattuna muihin havaintopaikkoihin. Varsinkin sateettoman jakson näytteenottopäivänä (25.6.) kaivojen tyyppipitoisuus oli korkea.

Kokonaisfosforipitoisuus oli puroissa korkeimmillaan alkukevään sekä loppukesän ja syksyn sadevuorokausien näytteissä (Kuva 9b). Köyhänojalla mitattiin korkeimmat kokonaisfosforipitoisuudet alkukevällä (28.3.) ja kesän sateella (28.8.). Tourujoen kokonaisfosforipitoisuus oli suurimmillaan 28.8. sadenäytteessä. Kaivojen kokonaisfosforipitoisuudet olivat hyvin korkeita ja kaivon D ravinnepitoisuudet olivat erittäin suuria (Liite 2).

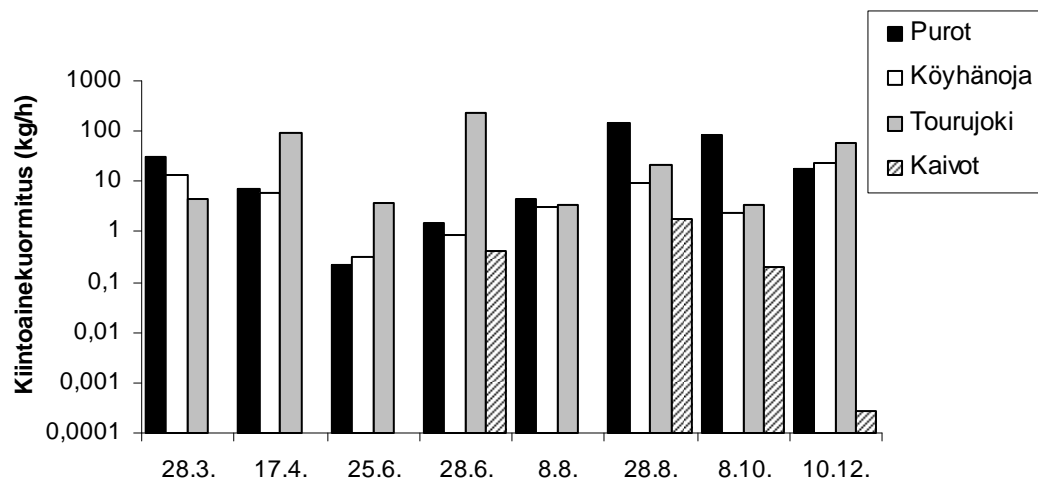
Ravinne- ja kiintoainepitoisuuksien vertailussa havaittiin kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuuksien välillä olevan useissa näytteenottoaikoissa positiivinen korrelaatio, mutta kaivojen D ja F korrelaatiotulokset olivat negatiivisia (Pearson  $r$ : -0,706-0,989;  $p$ : <0,001-0,487) (Liite 5). Kokonaistyyppin ja kiintoaineen välillä merkitsevää positiivista korrelaatiota havaittiin vain Kylmänoron (paikka 12) sekä kaivojen B ja C kohdalla. Muuten korrelaatio oli heikkoa tai negatiivista (Pearson  $r$ : -0,615-0,963;  $p$ : <0,001-0,426) (Liite 5).



Kuva 9. a) kokonaistyyppipitoisuudet (µg/l) ja b) kokonaisfosforipitoisuudet (µg/l) näytteenottovuorokausilta vuonna 2007. Kuvaajissa kaivojen ja purojen ravinnepitoisuudet ovat näytteenottovuorokauden keskimääräiset pitoisuudet ± keskihajonnat.

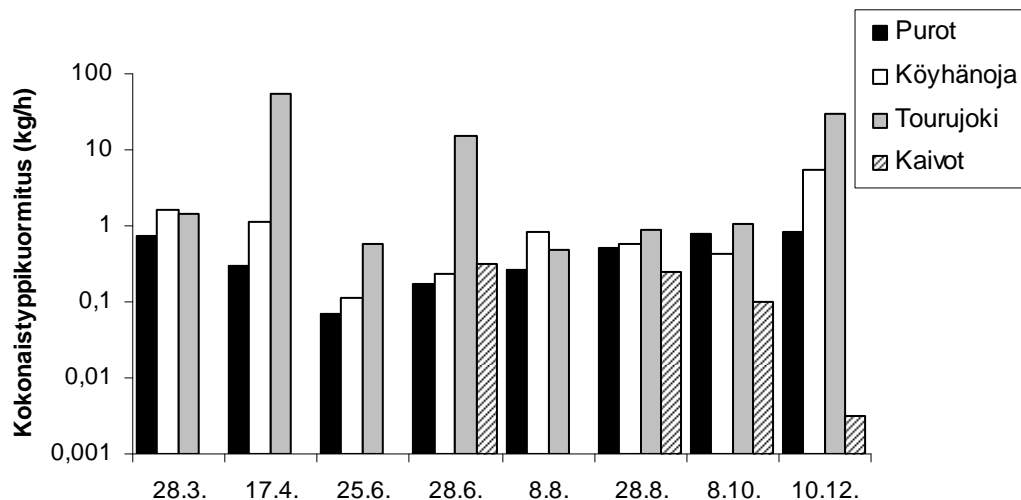
#### 4.3. Kuormitus mittausvuorokausina

Näytteenottovuorokausina Tourujoki oli useimmiten merkittävin Jyväsjärven kuormittaja kiintoaineen osalta. Poikkeuksia olivat näytteenottopäivät, jolloin Tourujoen virtaama näytteenottohetkellä oli pientä verrattuna muiden paikkojen virtaamiin. Kiintoainekuormitus oli suurinta sulan kauden sateilla ja tällöin purojen hetkellinen vaikutus kiintoainekuormitukseen erottui selvästi (Kuva 10).



Kuva 10. Kiintoainekuormitus (kg/h) näytteenottovuorokausina vuonna 2007. Purojen ja kaivojen kuormitus on kaikkien purojen kaivojen yhteenlaskettu kuormitus kultakin näytteenottovuorokaudelta. Y-akseli on logaritminen.

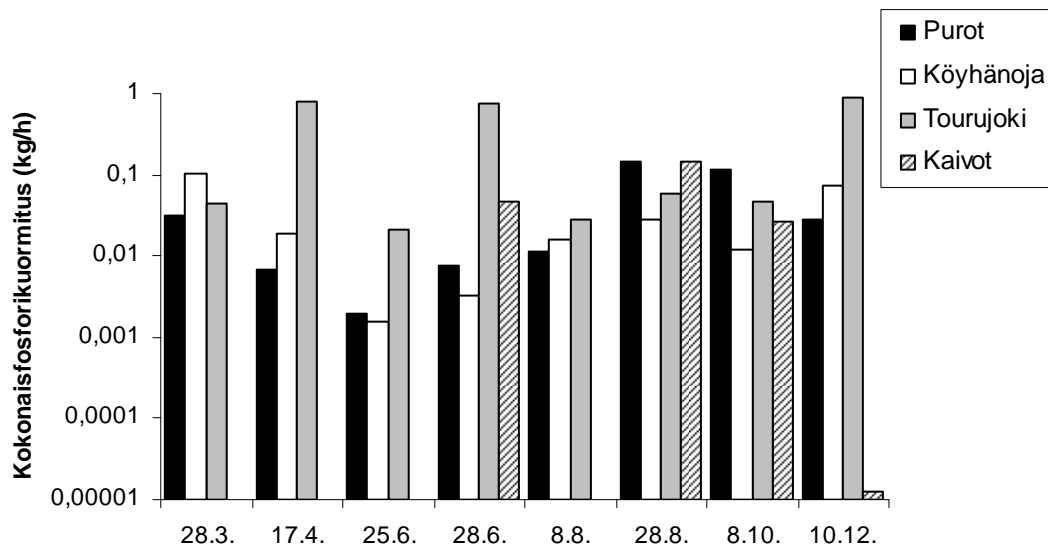
Tourujoen tuoma typpikuormitus oli hetkellisesti hyvin suuri (yli 50 kg/h) (Kuva 11). Kuivanakin ajankohtana Tourujoesta tuli suurin osa typpikuormituksesta, koska tällöin purojen, Köyhänojan ja kaivojen virtaama oli hyvin vähäinen. Poikkeuksena oli kuitenkin 8.8., jolloin Köyhänojan ja Tourujoen virtaamat olivat melko samansuuruisia, mutta Köyhänojan kokonaistyyppipitoisuus oli Tourujokea suurempi, joten tällöin Köyhänoja aiheutti suurimman osan kokonaistyyppikuormituksesta. Köyhänojan typpikuormitus oli tuolloin kuitenkin alhaisella tasolla, alle 5 kg/h.



Kuva 11. Kokonaistyyppikuormitus (kg/h) näytteenottovuorokausina vuonna 2007. Purojen ja kaivojen kuormitus on kaikkien purojen kaivojen yhteenlaskettu kuormitus kultakin näytteenottovuorokaudelta. Y-akseli on logaritminen.

Kokonaisfosforikuormituksesta suurin osa tuli Tourujoesta silloin, kun Tourujoen virtaama oli suuri verrattuna muiden paikkojen virtaamaan. Hetkellisesti purojen ja kaivojen aiheuttama fosforikuormitus oli suurempaa kuin Tourujoen, koska sen virtaama ei

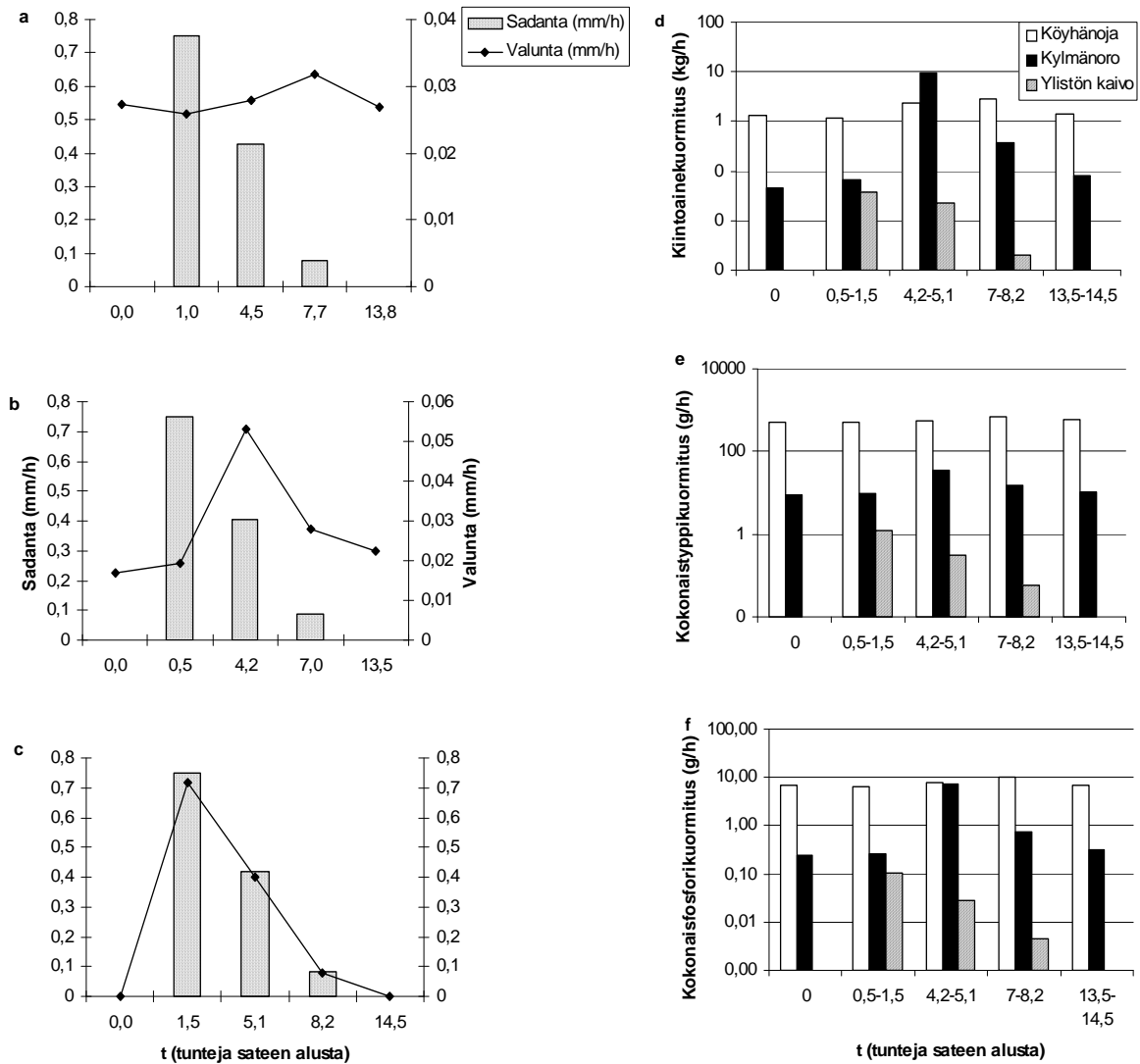
reagoi sateeseen yhtä herkästi kuin pienempien uomien virtaama, kuten tilanne oli esimerkiksi 28.8. ja 8.10. (Kuva 12).



Kuva 12. Kokonaisfosforikuormitus (kg/h) näytteenottovuorokausina vuonna 2007. Purojen ja kaivojen kuormitus on kaikkien purojen kaivojen yhteenlaskettu kuormitus kultakin näytteenottovuorokaudelta. Y-akseli on logaritminen.

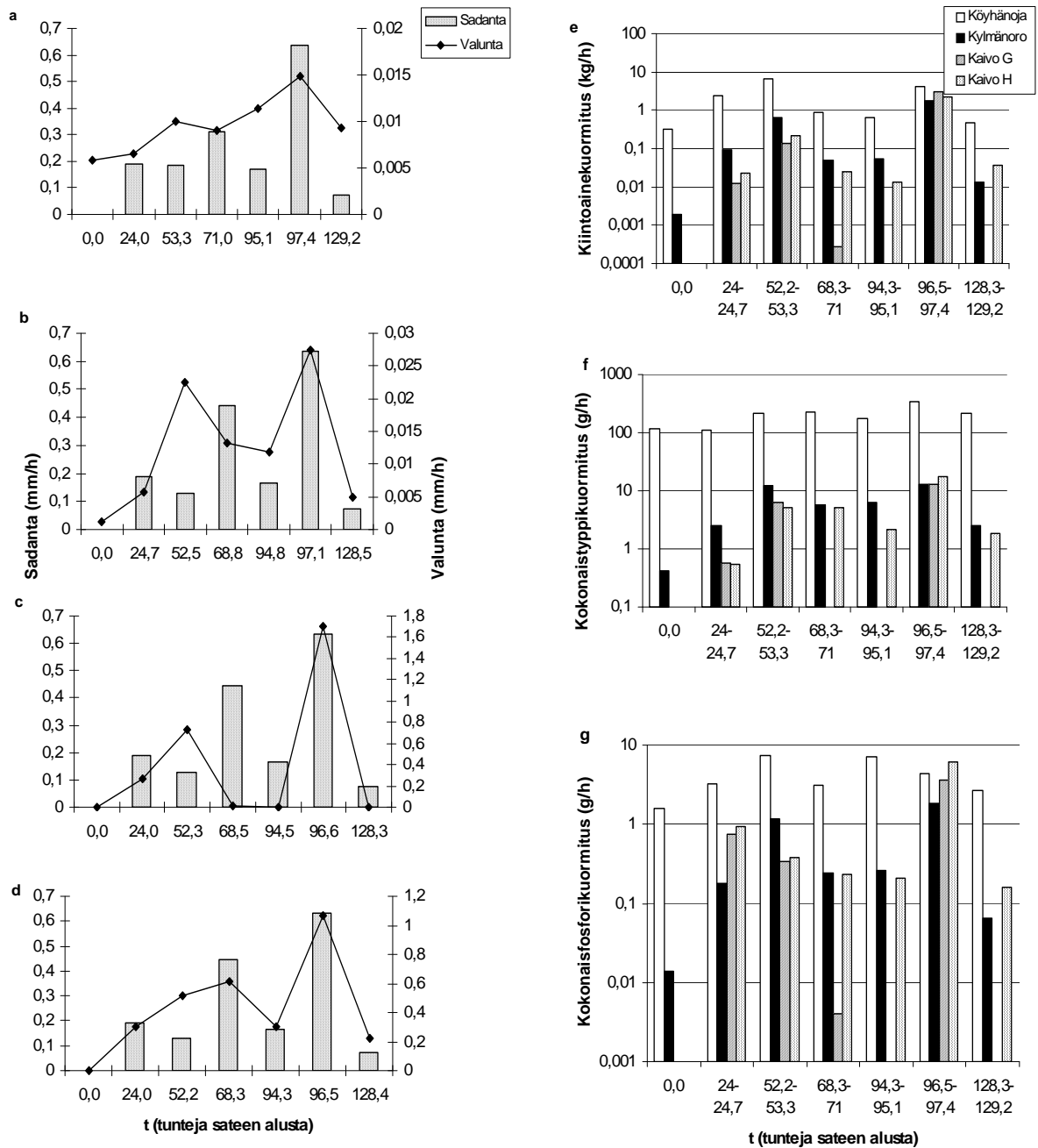
#### 4.4. Tehoseurantajaksot

Ensimmäinen tehoseurantajakso oli 14.–15.5.2007, jolloin yöllä satoi 2,5 mm noin 7-8 tunnin aikana. Ensimmäiset näytteet otettiin ennen sadetta. Sade alkoi illalla ja sadenäytteenotto noin puolituntia sateen alkamisen jälkeen. Köyhänojalla sateen vaikutus ei näkynyt heti sateen alettua ja Kylmänorollakin valunta jäi lähes samansuuruiseksi kuin mitä edeltäneellä sateettomalla mittauksella (Kuva 13a-c). Kaivon (G) veden ainepitoisuudet olivat nousseet jo ensimmäiseen sadenäytteenottokertaan mennessä (Liite 6). Sateen jatkuttua valunta alkoi kasvaa sekä Köyhänojalla että Kylmänorolla. Myös ainepitoisuudet olivat kasvaneet aiemmasta ja siten myös kuormitus kasvoi verrattuna sateettoman ajankohdan näytteisiin (Kuva 13d-f). Noin 5-8 tuntia sen jälkeen, kun sade oli loppunut valunta ja ainepitoisuudet olivat palautuneet sadetta edeltäneelle tasolle.



Kuva 13. a) Köyhänojan, b) Kylmänoron ja c) Ylistön kaivon tuntisadanta- ja -valunta 14.-15.5.2007 tehoseurantajakson aikana. Oikealla samojen paikkojen d) kiintoaine-, e) kokonaistyyppi- ja f) -fosforikuormitus. Kuvien d-f y-akselit ovat logaritmisia.

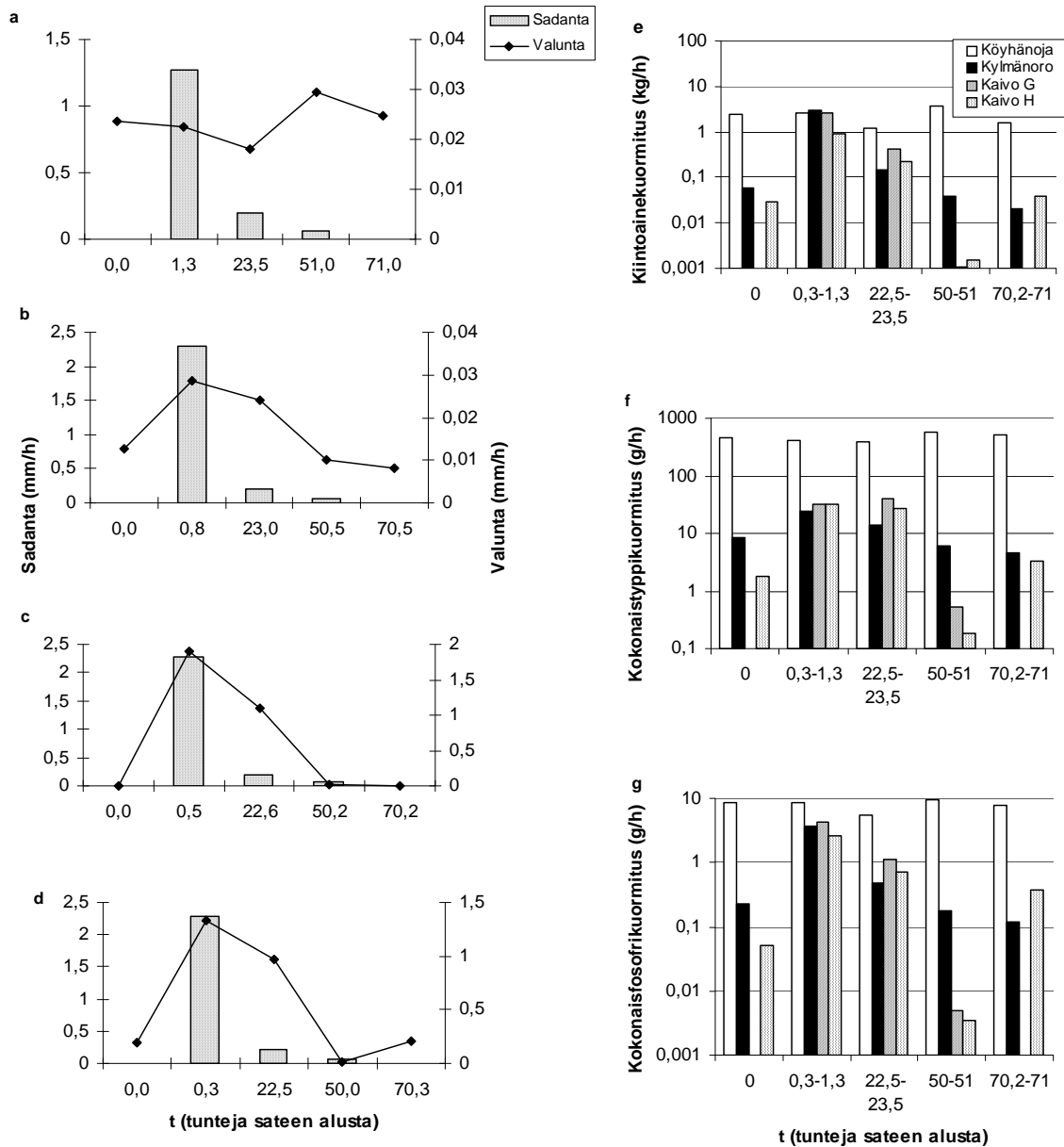
Toinen tehoseurantajakso oli 25.–30.6.2007. Tällöin sade kesti useita vuorokausia ja näytteenottojakso oli pidempi kuin ensimmäisellä kerralla (Kuva 14a-d). Sateettoman jakson näytteenottokierros tehtiin 25.6. ja sade alkoi näytteenoton loppuvaiheessa. 26.6. tehtiin pelkkä virtaamamittauskierros ja kuormitustulokset laskettiin koko näytteenottojaksolle tehtyjen pitoisuuslaskelmien avulla. 27.6. tehtiin näytteenottokierros tehoseurantapaikoilla (Liite 6). Valunta oli kasvanut ja samoin pitoisuudet. Kuormitus, varsinkin Köyhänojan osalta, oli kasvanut huomattavasti (Kuva 14e-g). 28.6. valunta oli jo laskussa, vaikka tuolloin näytteenottoon mennessä oli satanut 7,1 mm. 29.6. tehtiin vielä kaksi näytteenottokierrosta. Ensimmäisellä kierroksella vaikutti, että sadanta oli hiipumassa, mutta äkillinen sadekuuro nosti valuntaa ja kaikkien uomien kuormitusta sekä pitoisuuksia merkittävästi. 30.6. oli jo hyvin kuiva vuorokausi ja tehoseurantapaikkojen valunnat olivat kääntyneet selvään laskuun. Samoin myös ainepitoisuudet olivat laskeneet varsinkin kiintoaineen ja kokonaisfosforin osalta.



Kuva 14. a) Köyhänöjan, b) Kylmänoron, c) kaivon G ja d) kaivon H tuntisadanta- ja -valunta 25.-30.6.2007 tehdyn tehoseurantajakson aikana. Oikealla samojen paikkojen e) kiintoaine-, f) kokonaistyppi- ja g) -fosforikuormitus. Kuvien e-g y-akselit ovat logaritmisia.

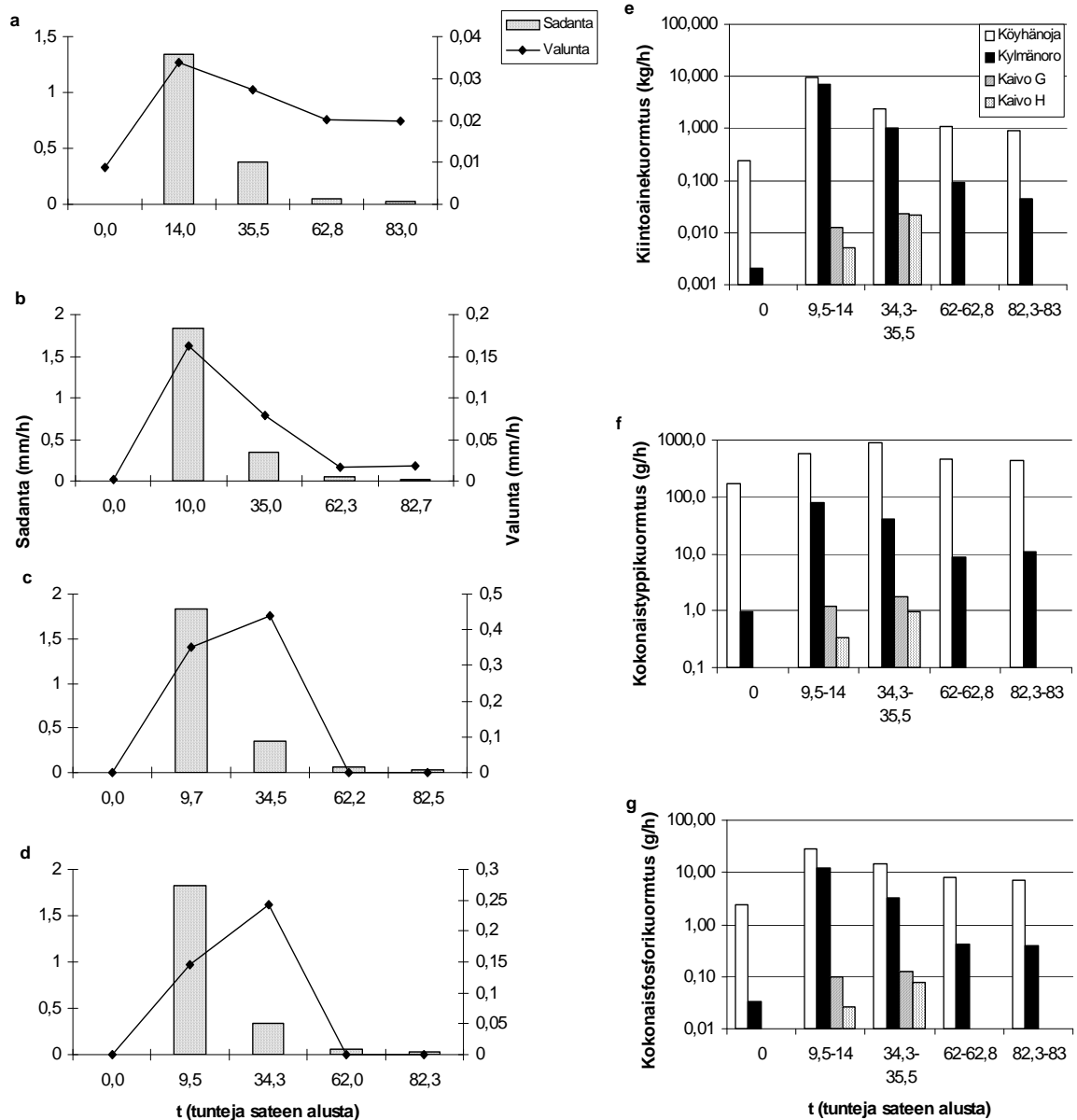
Kolmas tehoseurantajakso oli 23.–27.7.2007. Sade alkoi noin 22 tuntia kuivan jakson näytteenottokierroksen jälkeen. Sadetta oli näytteenoton alkuun mennessä kestänyt noin 20 minuuttia (kertymä noin 1 mm) ja pintavalunnan muodostuminen oli havaittavissa. Kaivojen ja Kylmänoron kohdalla tapahtui nopea muutos valunnassa sateen alettua (Kuva 15a-d). Samoilla näytteenottoaikoilla kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuudet kasvoivat sateen takia, millä oli valunnan ohella vaikutusta kiintoaine- ja kokonaisfosforikuormitukseen (Kuva 15e-g). Köyhänöjalla muutokset valunnassa havaittiin vasta parin vuorokauden viiveellä. Köyhänöjan virtaama oli kuitenkin niin suuri kaikkina näytteenottovuorokausina, että se aiheutti suurimman kuormituksen tehoseurannan näytteenottoaikoista kaikkina muina vuorokausina paitsi 24. päivä, jolloin

Kylmänoron ja Ylistön kaivojen kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuudet olivat huomattavasti suurempia kuin Köyhänojan (Liite 6).



Kuva 15. a) Köyhänojan, b) Kylmänoron, c) kaivon G ja d) kaivon H tuntisadanta- ja -valunta 23.-27.7.2007 tehdyn tehoseurantajakson aikana. Oikealla samojen paikkojen e) kiintoaine-, f) kokonaistyyppi- ja g) -fosforikuormitus. Kuvien e-g y-akselit ovat logaritmisia.

Neljäs tehoseurantajakso oli 27.–31.8.2007. Ensimmäisenä päivänä otettiin kuivan jakson näytteet. Sade alkoi yöllä samana vuorokautena. Sateen alkuhetkeltä ei otettu näytteitä, mutta 28. päivä tehtiin täysi näytteenottokierros, jolloin käytiin myös tehoseurantapaikoilla. Näytteenottohetkeen mennessä oli satanut 18,3–18,8 mm ja tämän vaikutus näkyi selvästi Köyhänojalla ja Kylmänorolla (Kuva 16a-d). Kaivojen ainepitoisuudet olivat alhaisia. Köyhänoja ja Kylmänoro aiheuttivat kyseisen tehoseurantajakson suurimmat kuormitukset (Kuva 16e-g). 29. päivä kaivojen tuntivalunta vielä kasvoi hieman, vaikka tuntisadanta oli vähentynyt. Köyhänojalla ja Kylmänorolla vastaavaa ei havaittu. Sade hiipui hiljalleen ja viimeinen tehoseurantavuorokausi oli jo melko kuiva, vettä oli viimeistä edellisen ja viimeisen näytteenottokerran välillä satanut vain 0,5 mm. Koko tehoseurantajakson aikana satoi 30 mm.

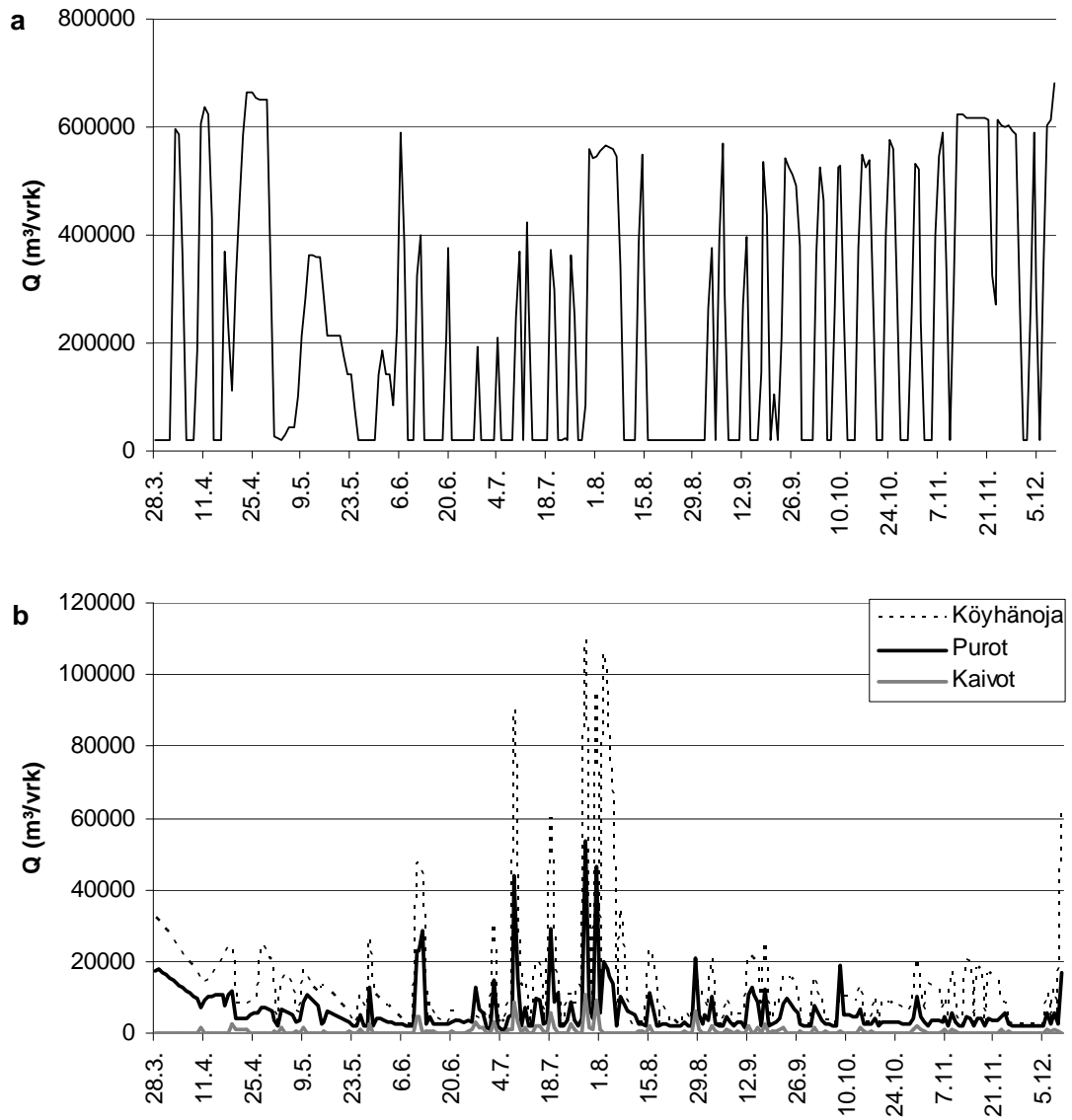


Kuva 16. a) Köyhänojan, b) Kylmänojan, c) kaivon G ja d) kaivon H tuntisadanta- ja -valunta 27.-31.8.2007 tehdyn tehoseurantajakson aikana. Oikealla samojen paikkojen e) kiintoaine-, f) kokonaistyyppi- ja g) -fosforikuormitus. Kuvien e-g y-akselit ovat logaritmisia.

#### 4.5. Virtaama ja kuormitus mittausjakson aikana sekä ominaiskuormitusarvot

Tourujoen vuorokausivirtaamat mittausjaksolla 2007 olivat suuria verrattuna muiden näytteenottoaikojen vuorokausivirtaamiin (Kuvat 17a ja b). Virtaamissa oli suurta vaihtelua ja varsinkin purojen ja kaivojen virtaamiin sateet vaikuttivat paljon. Kaivojen virtaaman oletettiin sateettomina vuorokausina olevan nolla ja ainoastaan kaivo D ylisi purojen keskiarvoon tasolle (Taulukko 1). Tourujoki oli virtaamaltaan merkittävin Jyväsjärveen laskeva uoma ja Köyhänoja toiseksi merkittävin vuoden 2007 mittausjakson aikana. Puolet mittausjakson kokonaisvirtaamasta oli tullut elokuun loppuun mennessä eli noin viiden kuukauden aikana.





Kuva 17 a) Tourujoen vuorokausivirtaama,  $Q$ , (m<sup>3</sup>/vrk) ja b) Köyhänojan sekä purojen ja kaivojen yhteenlasketut vuorokausivirtaamat,  $Q$ , (m<sup>3</sup>/vrk) 28.3.–10.12.2007.

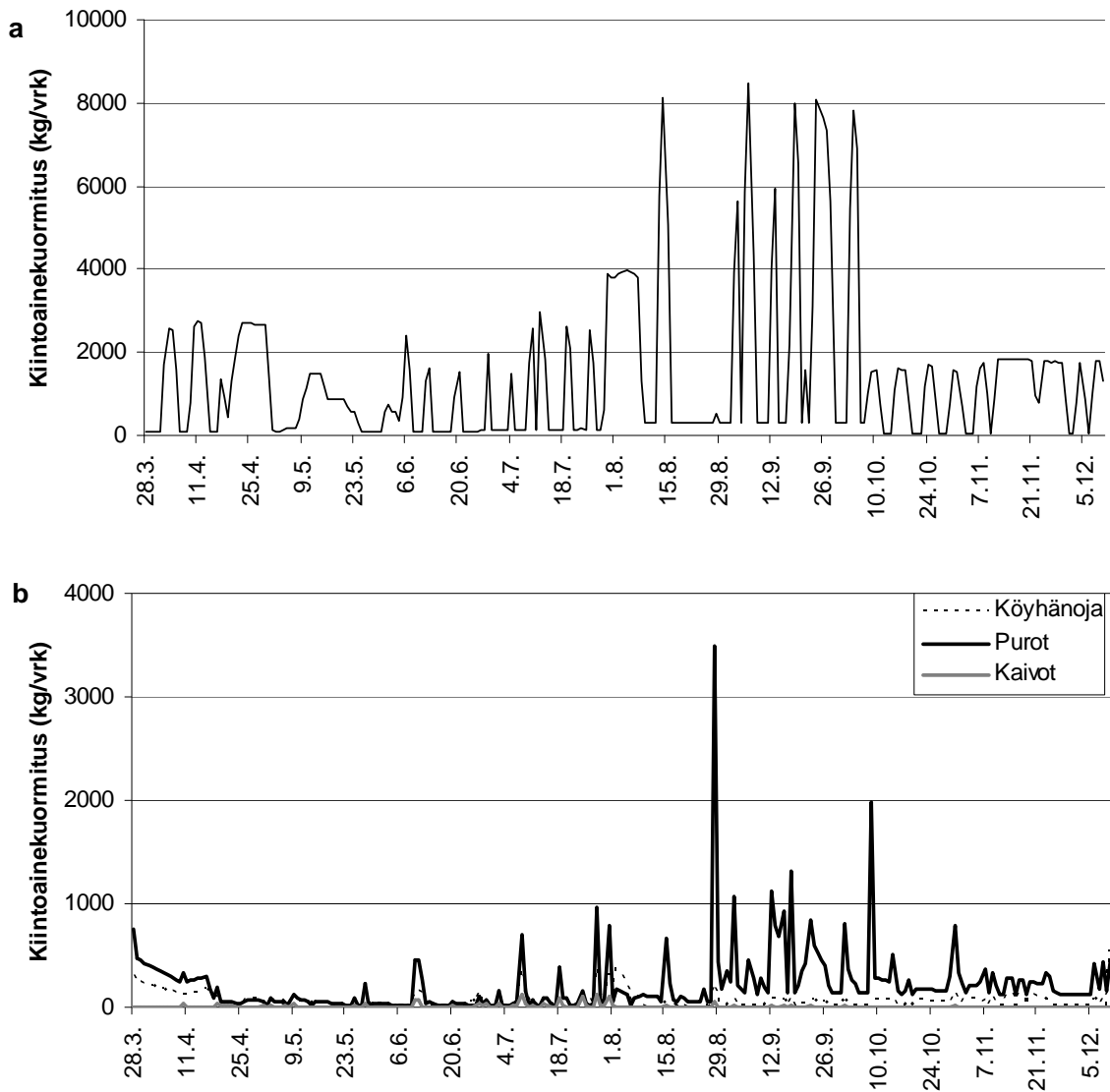
Taulukko 1. Näytteenottoaikkojen keskivirtaamat näytteenottojakson 28.3.–10.12.2007 aikana.

Paikka	Virtaama (m <sup>3</sup> /s)
1	0,0018
4	0,0032
5	0,0060
6	0,0396
8	0,0062
9	0,0039
10	0,0044
11	0,0010
12	0,0054
14 (Köyhänoja)	0,1522
15 (Tourujoki)	2,7829
A	0,0004
B	0,0002
C	0,0005
D	0,0044
G	0,0003
H	0,0003

Näytteenottojaksolla 28.3.–10.12.2007 suurin osa kiintoainekuormituksesta tuli Tourujoesta (Taulukko 2). Varsinkin elo-marraskuun välisellä jaksolla purojen aiheuttama kiintoainekuormitus oli hyvin suurta verrattuna kaivoihin ja Köyhänojaan (Kuva 18b). Myös Tourujoen kiintoainekuormitushuiput osuivat tuolle jaksolle (Kuva 18a). Kaivojen kiintoainekuormitus oli melko vähäistä, koska niiden virtaamat ja kiintoainepitoisuudet eivät olleet kovin suuria verrattuna muihin näytteenottoaikoihin. Puolet koko mittausjakson kiintoainekuormituksesta tuli myös viiden ensimmäisen kuukauden kuluessa.

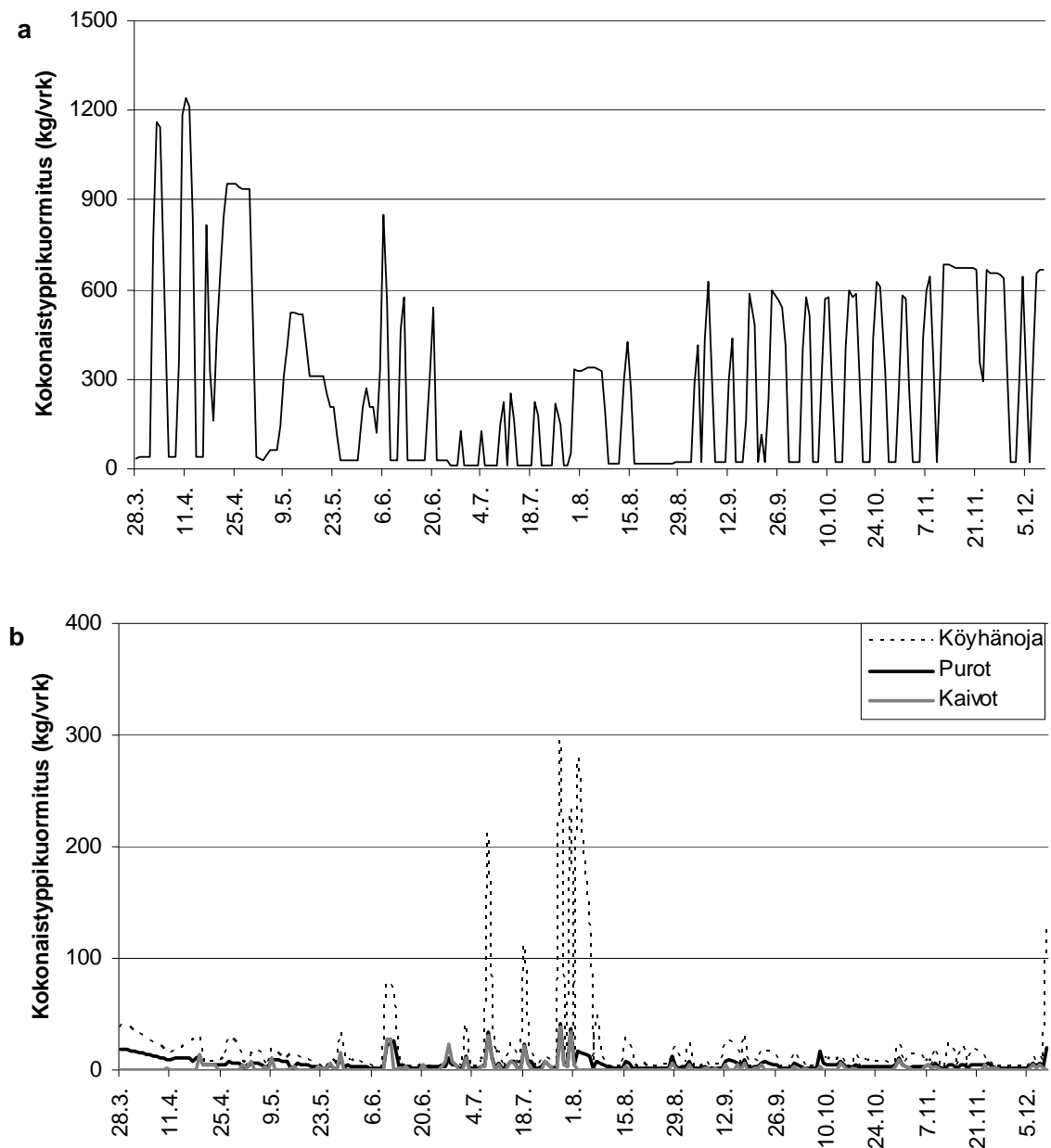
Taulukko 2. Kiintoaineen, kokonaistypen ja -fosforin kuormitus kullakin näytteenottoaikalla 28.3.–10.12.2007.

Paikka	Kuormitus (kg)		
	Kiintoaine	Kok.typpi	Kok.fosfori
1	133	47	2
4	781	83	5
5	2602	126	7
6	20849	665	37
8	564	115	3
9	1437	114	8
10	24448	137	20
11	1215	32	2
12	2589	110	5
14 (Köyhänoja)	17306	4765	80
15 (Tourujoki)	359061	72223	2448
A	154	10	1
B	219	20	1
C	152	13	1
D	734	479	91
G	264	7	1
H	143	6	0



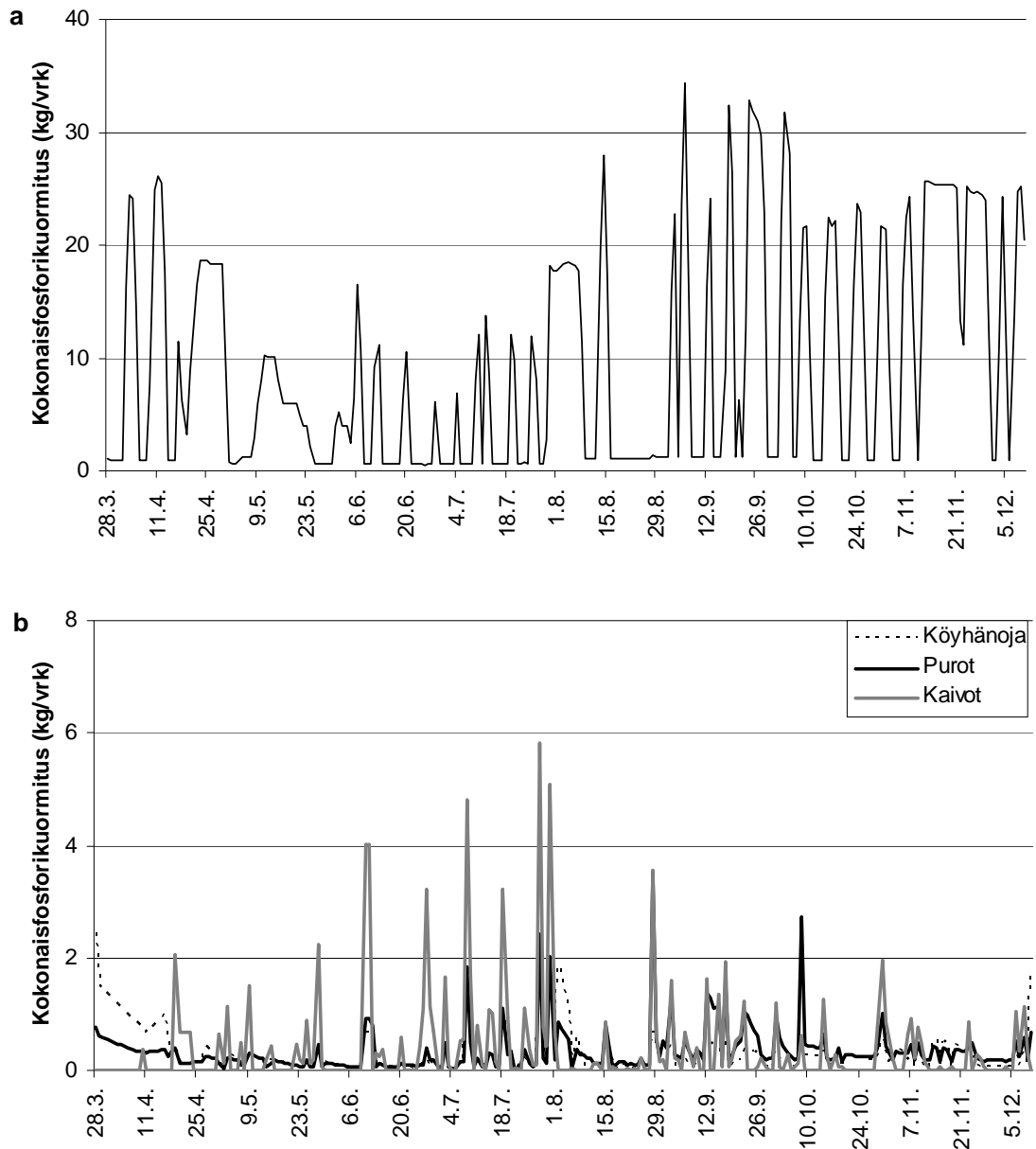
Kuva 18 a) Tourujoen ja b) Köyhänojan sekä purojen ja kaivojen kiintoaineen vuorokausikuormitus (kg/vrk) 28.3.–10.12.2007.

Kokonaistyyppikuormituksen osalta Tourujoki oli vuoden 2007 mittausjaksolla ylivoimaisesti merkittävin Jyväsjärveen laskevista uomista (Taulukko 2). Varsinkin keväällä Tourujoen aiheuttama kuormitus oli suuri, mutta vuorokausivaihtelu oli suurta (Kuva 19a). Tourujokeen ja Köyhänojaan verrattuna purojen ja kaivojen aiheuttama kokonaistyyppikuormitus oli pientä vuonna 2007 (Kuva 19b). Mittausjaksolla puolet kokonaistyyppikuormituksesta tuli noin neljässä kuukaudessa.



Kuva 19 a) Tourujoen ja b) Köyhänojan sekä purojen ja kaivojen kokonaistypen vuorokausikuormitus (kg/vrk) 28.3.–10.12.2007.

Myös kokonaisfosforikuormituksen osalta Tourujoki oli merkittävin kuormittaja (Kuva 20a). Muista näytteenottopaikoista merkittävimpiä olivat kaivot (Kuva 20b). Syy tähän oli kaivojen suuri kokonaisfosforipitoisuus verrattuna muiden näytteenottopaikkojen kokonaisfosforipitoisuuksiin ja varsinkin kaivon D näytteiden erittäin korkea kokonaisfosforipitoisuus sekä sen muihin kaivoihin nähden suuri virtaama. Puolet kokonaisfosforikuormituksesta mittausjaksolla tuli viidessä ja puolessa kuukaudessa.



Kuva 20. a) Tourujoen ja b) Köyhänojan sekä purojen ja kaivojen kokonaisfosforin vuorokausikuormitus (kg/vrk) 28.3.–10.12.2007.

Kaivojen valuma-alueilta huuhtoutui runsaasti kiintoainetta ja varsinkin ravinteita (Taulukko 3). Myös purojen ominaiskuormitusarvot kiintoaineen osalta olivat suuria. Tourujoen valuma-alueen kiintoaineen ja ravinteiden ominaiskuormitusarvot olivat alemmalla tasolla kuin kaivojen ja useimpien purojen vastaavat arvot.

Taulukko 3. Kiintoaineen, typen ja fosforin ominaiskuormitukset 28.3.–10.12.2007.

Paikka	Ominaiskuormitus (kg/km <sup>2</sup> /vrk)		
	Kiintoaine	Kok.typpi	Kok.fosfori
1	1	0,4	0,02
4	7	0,7	0,04
5	27	1,3	0,07
6	14	0,5	0,03
8	2	0,4	0,01
9	9	0,7	0,05
10	274	1,5	0,22
11	130	3,4	0,18
12	15	0,6	0,03
14 (Köyhänoja)	3	1,0	0,02
15 (Tourujoki)	4	0,8	0,03
A	41	2,6	0,26
B	274	25,2	1,13
C	22	2,0	0,14
D	5	3,4	0,65
G	83	2,1	0,16
H	37	1,5	0,12

#### 4.6. Bakteerit

Bakteeripesäkelukumäärät olivat suuria. Kaikista näytteistä ei saatu laskettua tarkkaa pesäkelukumäärää, koska pesäkkeitä oli hyvin paljon. Enimmäkseen bakteerit näyttäisivät olevan peräisin muusta kuin ihmisen ulosteista, mutta kaivon D FC/FS -indeksi oli huomattavasti yli neljä, joten sen kohdalla on syytä epäillä mahdollista ihmisperäistä bakteerikuormitusta (Taulukko 4).

Taulukko 4. Bakteerinäytteiden pesäkelukumäärät sekä fekaalisten koliformisten bakteereiden (kolif. bakt.44°C) ja fekaalisen streptokokkien indeksi.

	Paikka								
	6	10	12	14 (Köyhänoja)	15 (Tourujoki)	A	D	E	G
Fek. Stre.kokit (pmy/100ml)	1400	220	2800	540	1800	20000	300	2500	1500
Kolif.bakt.35°C (pmy/100ml)	640	60	320	1300	>50000	>50000	>50000	1100	1900
Kolif.bakt.44°C (pmy/100ml)	1600	400	2800	1100	4500	1400	3200	160	1200
FC/FS-indeksi	1,14	1,82	1,00	2,04	2,50	0,07	10,67	0,06	0,80

#### 4.7. Metallit

Metallipitoisuudet vaihtelivat näytteenottopaikkojen välillä. Näytteenottopaikalta 10 mitattiin kuparia ja molybdeenia lukuun ottamatta suurimmat metallipitoisuudet (Taulukko 5). Kyseinen näytteenottopaikka saa vetensä melko suurelta osin Kuokkalan kaupunginosan sadevesiviemäreiden kautta. Kuokkalan keskusta-alue on rakennettua ja läpäisemätöntä pintaa on paljon. Alueella on kauppakeskus ja kerros- ja pientaloalueita (Liite 7). Kaivojen metallipitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa purojen, Köyhänojan ja Tourujoen pitoisuuksien kanssa. Poikkeuksena olivat kupari- ja mangaanipitoisuudet. Kuparipitoisuus kaivojen näytteissä oli huomattavasti korkeampi kuin muissa näytteissä ja mangaanipitoisuus vastaavasti muita alempi. Kaivojen A, D ja G kadmiumpitoisuudet sekä

kaivon D kromipitoisuus olivat niin matalia, että ne jäivät pienimmän havaittavan määrityspitoisuuden alapuolelle.

Taulukko 5. Metallipitoisuudet 28.8.2007 otetuissa näytteissä.

Paikka	Pitoisuus (µg/l)										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Mo	Ni	Zn	V
6	0,7	0,03	0,4	0,7	10,0	0,9	98	0,6	0,8	39,0	1,5
10	1,6	0,13	4,7	7,5	14,0	5,7	260	0,2	6,2	83,0	14,0
12	0,6	0,01	0,6	1,2	6,5	0,7	120	0,7	1,3	10,0	2,3
14 (Köyhänoja)	0,6	0,01	0,5	0,8	3,6	0,8	250	0,5	1,0	9,7	1,4
15 (Tourujoki)	0,8	0,04	0,2	0,5	6,1	1,0	140	0,3	1,0	22,0	0,9
A	0,2	<0,01	0,3	0,4	7,7	0,4	14	0,2	0,6	21,0	1,6
D	0,3	<0,01	0,1	<0,2	1,7	0,3	11	1,2	0,4	5,5	1,6
E	0,5	0,03	0,5	0,6	47,0	0,7	68	0,4	0,9	47,0	2,8
G	0,7	<0,01	0,2	0,3	16,0	0,2	8	0,2	0,4	44,0	1,1

Tourujoen metallipitoisuudet olivat niin pieniä, että purot ja Köyhänoja tuottivat suurimman osan kyseisen vuorokauden metallikuormituksesta. Kaivojen merkitys metallikuormitukseen jäi melko vähäiseksi (Taulukko 6). Kaivon E metallipitoisuudet olivat kaivonäytteiden suurimmat, mutta virtaamaa ei saatu lasketuksi, joten sen kuormitus jäi myös laskematta.

Taulukko 6. Metallikuormitus (g/vrk) 28.8.2007.

Paikka	Kuormitus (g/vrk)										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Mo	Ni	Zn	V
6	5,0	0,2	2,8	5,0	72,0	6,3	705,1	4,3	5,8	280,6	10,8
10	5,2	0,4	15,2	24,3	45,3	18,5	841,9	0,7	20,1	268,8	45,3
12	1,6	<0,1	1,5	3,1	16,9	1,9	312,8	1,8	3,4	26,1	6,0
14 (Köyhänoja)	9,9	0,2	7,1	12,6	56,6	11,9	3929,0	7,9	15,7	152,4	22,0
15 (Tourujoki)	15,8	0,8	4,8	10,4	126,5	19,9	2903,0	6,2	20,7	456,2	17,6
A	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,7	<0,1	1,2	<0,1	<0,1	1,8	0,1
D	1,4	<0,1	0,3	<1,1	9,1	1,4	59,1	6,5	2,2	29,5	8,6
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,7	<0,1	0,8	<0,1	<0,1	4,6	0,1

## 5. TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1. Sateet ja osavaluma-alueet

Vuonna 2007 kevät tuli noin kuukauden etujassa ja alkuvuosi oli muutenkin lämmin verrattuna aiempiin vuosiin. Suurin osa lumesta oli jo sulanut ennen ensimmäistä näytteenottokertaa. Kesä oli hyvin sateinen ja Jyväskylän keskustassa tulvi rankkojen kuuorojen yllättäessä. Kalenterin mukainen syksy alkoi lämpimässä säässä ja vielä lokakuun alussa syksy ei meteorologisesti ollut alkanut, koska ilman keskimääräinen vuorokausilämpötila oli +10 °C -asteen yläpuolella. Syksy oli sateinen. Tässä tutkimuksessa sademääriä ei ole mitenkään korjattu, vaan on käytetty suoraan sademittarin lukemaa varsinaisena sademääränä.

Osavaluma-alueääritykset tehtiin kuivana ajankohtana, alkusyksystä vuonna 2008, ja siitä syystä pintavaluntaa oli vähän ja virtaussuuntien hahmottaminen hankaloitui. Vähäisestä valunnasta huolimatta kuitenkin maastohavaintojen ja sadevesiviemärikarttojen avulla tehdyt osavaluma-alueääritykset lisäsivät työn tarkkuutta. Esimerkiksi Köyhälammen kuuluminen Jyväsjärven valuma-alueeseen (kaivon D osavaluma-alueeseen) havaittiin sadevesiviemärikartan ja maastohavaintojen avulla. Myös karttojen korkeuskäyrien perusteella katsottiin valuma-alueiden rajojen kulkua ja tarkennettiin epäselviä kohtia niiden perusteella. Pienempien osavaluma-alueiden kohdalla SLICES-tietokannan tarkkuus ei riittänyt erityyppisten pintojen tarkkaan analysointiin. SLICES-tietokannassa olleet kartat Jyväskylän kaupungin alueelta eivät olleet täysin ajan tasalla viimeisimpien päivitysten osalta, erityisesti kaivojen valuma-alueiden osalta. Siitä syystä kaivojen valuma-alueiden pinta-alamateriaali luokiteltiinkin vettä läpäisemättömäksi pinnaksi. Kaivon D valuma-alue oli poikkeus, koska sen valuma-alue oli laaja ja SLICES-tietokanta pystyi erottelemaan siitä erityyppisiä pintoja. Osavaluma-aluekarttoitus oli kuitenkin tärkeää valunnan laskemisessa. Erityyppisten pinta-alojen määrittäminen toi tulosten tarkasteluun uuden ulottuvuuden varsinkin metallituloksien kohdalla.

## 5.2. Mittausvuorokausien virtaamat, ainepitoisuudet ja kuormitus

Mittauksien perusteella kokonaisvirtaama oli suurimmillaan 10.12.2007. Tällöin Tourujoen ja Köyhänojan hetkelliset virtaamat olivat suurimmillaan. Syy tähän oli pitkään jatkunut leuto ja sateinen sää. Purojen virtaamat olivat tuona vuorokautena myös merkittäviä, mutta suurimmillaan ne olivat rankalla sulan kauden sateella 28.8. Myös kaivojen virtaama oli tuolloin suurimmillaan (Liite 1). Edeltävinä vuorokausina oli satanut hieman (0-2 mm), mutta 28.8. sademäärä oli huomattavasti suurempi (25 mm). Myös Kotolan ja Nurmisen (2005) tekemän tutkimuksen mukaan kaupunkialueilla hetkellinen valunta oli suurinta kesä- ja syyssateilla. Rakentamattomilla alueilla kevään sulamiskausi oli merkittävin valunta-ajankohta heidän tuloksien pohjalta, mutta tässä tutkimuksessa valunta väljästi rakennetuilla alueilla oli suurimmillaan alkutalven mittauksessa. Kevään sulamiskauden virtaamat olivat pienempiä kuin sulan kauden sateiden virtaama puroissa ja kaivoissa tai talven virtaamat Tourujoessa ja Köyhänojalla. Keväällä valunta oli saattanut olla suurempaakin kuin mitä havaittiin, koska sulamiskauden valuntahuiput olivat saattaneet mennä ohi mittauksien aloittamiseen mennessä. Kaivojen kevätnäytteenottojen virtaama arvioitiin nollassa, koska näytteenottovuorokaudet olivat olleet sateettomia eikä tuolloin ollut vielä tehty virtaamamittauksia minkään kaivon purkuputken suulta. Vaikka sulamiskaudella lumesta suuri osa haihtuukin, myös pintavaluntaa muodostuu. Todellisuudessa sulamiskaudella sadevesiviemäreissä mahdollisesti siis virtasi vettä sateettominakin vuorokausina ja kaivojen virtaama tuolloin saattaa olla aliarvio.

Keskimäärin suurimmat kiintoainepitoisuudet puroista mitattiin 28.8. ja samoin myös Tourujoen ja Köyhänojan kiintoainepitoisuudet olivat tällöin korkeimmillaan. Syynä tähän oli voimakas sade, joka huuhtoi hienojakoista ainesta valuma-alueilta. Näytteenottoa edeltävinä vuorokausina oli tullut pienempiä sateita (0,25-2 mm) ja aiemmasta isosta sateesta (7,9 mm) oli kulunut noin kaksi viikkoa. Tourujoen virtaama ei tuolloin kuitenkaan muuttunut sateen takia, joten kiintoaine oli mahdollisesti peräisin hyvin pieneltä osalta Tourujoen valuma-alueelta. Kaivojen keskimääräinen kiintoainepitoisuus oli suurimmillaan 28.3. otetuissa näytteissä ja varsinkin kaivon E näytteessä oli tuolloin paljon kiintoainetta. Kyseinen kaivo sijaitsee Hotelli Alban vieressä Jyväsjärven rannalla. Näytteenottohetkellä hotellia laajennettiin, joten rakennustoimenpiteet saattoivat olla syy suureen kiintoainepitoisuuteen. Kaivon E näyte tuolloin oli silmämääräisen tarkastelun perusteella poikkeuksellisen likainen (tumma ja rasvainen). Sateisina



näytteenottovuorokausina purojen kiintoainepitoisuuksissa oli suurta vaihtelua. Ainoana poikkeuksena oli 28.6., jolloin näytteenotto oli aloitettu sateen kestettyä jo yli kaksi vuorokautta. Näytteenottoon mennessä pitoisuudet olivat saattaneet ehtiä laskea siitä, mitä ne mahdollisesti sateen alkuhetkillä olivat ja siitä syystä mitatut kiintoainepitoisuudet olivat melko alhaisia tuolloin, vaikka sademäärä oli suuri. Esimerkiksi Brezonik ja Stadelmann (2002) ovat havainneet pitoisuuksien laskevan sateen keston myötä. Mitatut kiintoainepitoisuudet olivat hieman pienempiä kuin mitä Kotolan ja Nurmisen (2005) havaitsemat suurimmat kiintoainepitoisuudet. Kiintoainepitoisuudet olivat kuitenkin keskimäärin samaa luokkaa kuin mitä Kotolan ja Nurmisen (2005) tutkimuksessa, jossa keskimääräiset kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuudet olivat sitä suurempia mitä enemmän alueella oli läpäisemätöntä pintaa. Kiintoainepitoisuuden ja kokonaisfosforipitoisuuden välillä havaittiin Jyväsjärven alueella useilla havaintopaikoilla positiivinen korrelaatio ja Salonen ym. (1992) ovatkin todenneet hajakuormituksen tuoman (pellot, eläinsuojat, haja-asutus, turvetuotanto ja metsätalous) fosforin olevan suurelta osin sitoutuneena kiintoaineeseen. Tällöin fosfori ei ole välittömästi perustuotantoon käytettävissä (Salonen ym. 1992). Kokonaistyyppipitoisuuden ja kiintoainepitoisuuden välillä oli pääasiassa joko heikko tai negatiivinen korrelaatio. Poikkeuksina olivat kuitenkin Kylmänoro (paikka 12) sekä kaivot B ja C, joissa kiintoainepitoisuuden ja kokonaistyyppipitoisuuden välillä oli voimakas positiivinen korrelaatio. Näiden kahden kaivon valuma-alueet olivat hyvin samantyyppisiä: kerrostaloaluetta, jolla paljon parkkipaikkoja ja mahdollisesti siitä syystä korrelaatiotulokset olivat erittäin samanlaisia.

Kaivojen ravinnepitoisuuksissa oli paljon vaihtelua sekä näytteenottopaikkojen että näytteenottovuorokausien välillä verrattuna muihin näytteenottopaikkoihin. Kuivallakin säällä kaivojen näytteiden keskimääräiset ravinnepitoisuudet ja erityisesti kokonaisfosforipitoisuus olivat hyvin korkeita. Varsinkin kaivon D näytteissä kokonaistyyppiä ja -fosforia oli runsaasti. Keskimääräisten ainepitoisuuksien on havaittu olevan sitä suurempia mitä enemmän valuma-alueella on päällystettyä pintaa (Kotola & Nurminen 2005). Kaivon D valuma-alue oli kuitenkin hyvin samankaltainen kuin monien purojen valuma-alueet, joten korkeat ravinnepitoisuudet saattoivat olla merkki sadevesiviemäriin päässeestä jätevedestä, jonka seurauksena ravinnepitoisuudet olisivat nousseet. Korkeimmat kaivojen näytteistä mitatut kokonaistyyppipitoisuudet olivat hieman suurempia kuin mitä Kotola ja Nurminen (2005) havaitsivat tutkimuksessaan, mutta keskimäärin pitoisuudet olivat samalla tasolla. Kaivojen keskimääräiset kokonaisfosforipitoisuudet olivat hieman suurempia kuin mitä Kotolan ja Nurmisen havaitsemat pitoisuudet olivat olleet, mutta keskimäärin pienempiä kuin mitä Lee ja Bang (2000) havaitsivat tutkimuksessaan erillisviiemäroidyltä tehdasalueilta tulevan. Ainepitoisuustuloksissa on huomioitava, että tämän tutkimuksen laskelmat ovat kyseisen näytteenottokerran aritmeettisia keskiarvoja puroilta ja kaivoista, eivätkä virtaamapainotettuja keskiarvoja.

Sameudella mitataan vedessä olevien pienien hiukkasten määrää valon sironnan avulla. Tourujoen sameustulokset pysyivät melko tasaisina eikä 28.8. sameusarvo poikennut Tourujoen muiden näytteenottovuorokausien sameudesta, vaikka kiintoainepitoisuus tuolloin olikin hyvin suuri. Purojen ja kaivojen keskimääräiset sameudet vaihtelivat hyvin samaan tapaan kuin keskimääräiset kiintoainepitoisuudetkin kyseisissä näytteenottopaikoissa. Myös Köyhänojan sameus ja kiintoainepitoisuudet vaihtelivat samaan tapaan. Sameuden ja kiintoaineen välisen positiivisen yhteyden ovat havainneet aiemmin Graves ym. (2004).

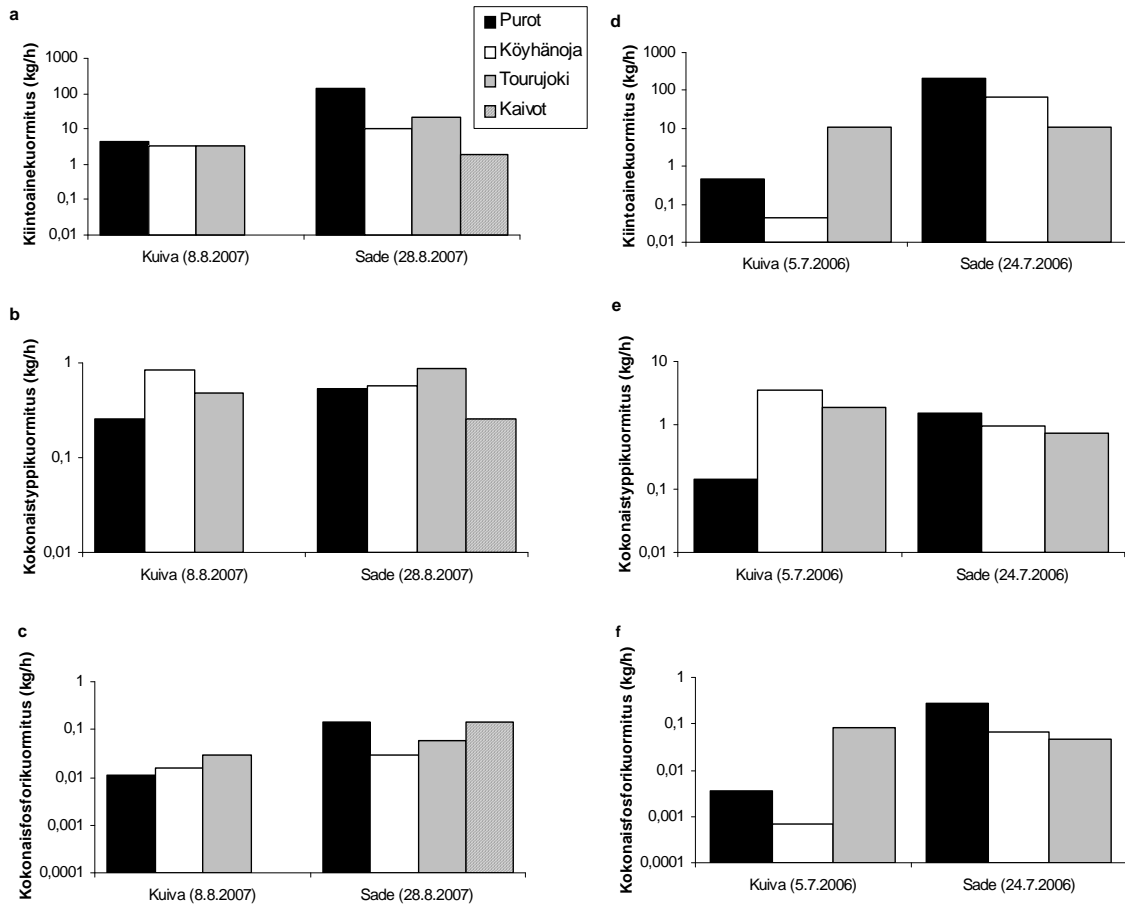
Virtaamalla näyttäisi olevan jonkinlaista vaikutusta väriarvoihin, mutta se ei ole kovin selkeästi havaittavissa. Valuma-alueen päällystetyn pinnan määrällä ei ollut

vaikutusta värituloksiin. Väriarvot olivat melko samansuuruisia kuin muissakin tutkimuksissa (Graves ym. 2004, Chui 1997). Graves ym. (2004) mukaan runsaasti kasvillisuutta, kuten tiheää kosteikkokasvillisuutta tai viljely- ja piha-alueiden ruohikoiden, sisältäviltä valuma-alueilta tulevan veden väriarvot ovat korkeimpia. Tässä tutkimuksessa mitattiin kuitenkin korkeita väriarvoja myös kaivojen näytteistä, vaikka kaivojen valuma-alueella ei ole paljoa kasvillisuutta. Köyhänojan, muihin näytteenottoaikkoihin verrattuna, melko tasaisena pysyneet korkeat väriarvot saattoivat johtua siitä, että Köyhänojan valuma-alueella on paljon kasvillisuutta.

Mitatut pH-arvot eivät juuri vaihdelleet ja olivat samalla tasolla kuin mitä muissakin tutkimuksissa (Chui 1997). Kaivon B näytteissä oli kuitenkin joitain hyvin suuria arvoja 28.6. ja 10.12. Kyseessä saattoi olla esimerkiksi pesuaineen valuminen sadevesiviemäriin. Kyseisen näytteenottoaikan valuma-alueen arvioitiin olevan hyvin pieni ja koostuvan lähinnä kerrostalo- ja parkkialueista, joten pienikin määrä emäksistä ainetta voi vaikuttaa kaivon näytteestä mitattuun pH-arvoon. Sähkönjohtokykyarvot olivat keskimäärin samansuuruisia kuin mitä muissa tutkimuksissa on havaittu, mutta maksimiarvot jäivät alhaisemmiksi (Kotola & Nurminen 2005).

Jyväsjärven hetkittäisen kuormituksen osalta Tourujoki ja purot olivat merkittävimmät kiintoainekuormittajat. Kokonaistyyppikuormituksen osalta Tourujoki ja Köyhänoja olivat merkittävimmät kuormittajat, koska tyyppipitoisuus ei juuri vaihdellut eri näytteenottoaikkojen välillä ja kokonaisvirtaama sääteli suurelta osin kokonaistyyppikuormituksen määrän. Myös kokonaisfosforikuormituksesta suurin osa tuli Tourujoesta. Sadevesiviemäreiden aiheuttama kokonaisfosforikuormitus oli huomattavan suuri niiden valuma-alueiden pinta-aloihin nähden. Syy tähän oli sadevesiviemäriinäytteiden suuret kokonaisfosforipitoisuudet.

Vuonna 2007 Jyväskylässä valmistuneeseen hulevesitutkimukseen (Arola 2007) verrattuna tässä tutkimuksessa saadut tulokset olivat kiintoaineen osalta samansuuntaiset. Suurimmat kiintoainepitoisuudet havaittiin vuonna 2006 myös kevään ja kesän sateiden aikaan. Tyyppipitoisuuskin vaihteli samaan tapaan, mutta syksyn sijaan vuonna 2007 toiseksi suurimmat pitoisuudet mitattiin talven näytteistä. Kokonaisfosforipitoisuudet olivat myös melko samanlaisia vuonna 2006 kuin mitä tässä tutkimuksessa havaittiin. Ravinteiden osalta kaivo D erottui 2006 loppuvuoden näytteistä, mutta kaivojen kuormituksia ei tuolloin laskettu. Vuonna 2007 kaivon D näytteistä mitattiin korkeita ravinnepitoisuuksia. Myös kuormitusten osalta havaittiin vastaavanlaisia Tourujoen kuormituksen ylittäviä hetkellisiä kuormitusarvoja (Kuva 21). Sääolosuhteiden osalta vuodet 2006 ja 2007 olivat kuitenkin aivan erilaisia. Vuosi 2006 oli huomattavasti vähäsateisempi kuin vuosi 2007.



Kuva 21. a) Vuoden 2007 kuivan (8.8.) ja sateisen (28.8.) sekä b) vuoden 2006 kuivan (5.7.) ja sateisen (24.7.) näytteenottovuorokausien kiintoaineen, kokonaistypen ja kokonaisfosforin tuntukuormitukset. Y-akselit ovat logaritmisia.

### 5.3. Tehoseurantajaksot

Tehoseurantajaksot olivat hyödyllinen havainnointitapa valunnan kehittymisen seurantaan sateen aikana. Valuma-alueen koon ja läpäisemättömän pinnan määrän vaikutus näkyi selvästi vertailtaessa kaivojen, Kylmänoron ja Köyhänojan valuntaja. Köyhänojan valuma-alue oli laaja, joten sadannan välitön vaikutus ei näkynyt siellä niinkään, mutta sateen jatkuessa valunta Köyhänojallakin alkoi kasvaa. Kokonaistyyppipitoisuudet pysyivät melko samantyyppisinä kaikissa tehoseurantapaikoissa. Kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuksissa oli suuriakin eroja Köyhänojan, Kylmänoron ja kaivojen välillä. Tästä syystä joinakin ajankohtina, erityisesti sateen alkuhetkillä, Kylmänoron ja kaivojen tuoma kiintoaine- tai kokonaisfosforikuormitus ylitti Köyhänojan aiheuttaman kuormituksen.

Ensimmäisellä tehoseurantajaksolla Ylistön kaivon valunta laskettiin valuntakertoimella ja siitä syystä valunta noudatteli sadantaa hyvin. Todellisuudessa tilanne saattoi mennä hieman eri tavalla. Sademäärä oli tuolloin hyvin pieni, eikä alku ollut kuuromainen, joten sateen alkuhetkillä tehdyissä mittauksissa ei havaittukaan suurimpia pitoisuuksia kuin vain kaivon näytteissä. Tämä saattoi kuitenkin johtua siitä, että kaivosta näyte otettiin viimeisimpänä ensimmäisellä sadekierroksella. Toisaalta esimerkiksi alkuhuuhtoumailmiö on voimakkaampi pienemmällä valuma-alueella (Lee & Bang 2000), joten korkeammat pitoisuudet saattoivat johtua myös pienemmästä valuma-alueesta, vaikka varsinaisesta alkuhuuhtoumailmiöstä ei välttämättä ollutkaan kyse, koska sade oli

heikko. Kuitenkin sateen jatkuessa muissa tehoseurantänäytteenottopaikoissa seuraavien näytteiden ainepitoisuudet varsinkin kiintoaineen ja fosforin osalta olivat nousseet.

Muut tehoseurantajaksot olivat useiden vuorokausien mittaisia, koska ensimmäisen jakson kaltaisia lyhyitä sadejaksoja ei juuri tuona vuonna ollut, vaan sateet kestivät jotakuinkin yhtäjaksoisina useita vuorokausia. Poikkeuksena oli kuitenkin 29.6. otetut näytteet, jolloin sade oli jo hiipunut tuon vuorokauden ensimmäiseen näytteenottoon mennessä, mutta sitten tuli sadekuuro, joka kesti hyvin lyhyen aikaa. Näytteenotto oli ehditty aloittaa kuuron ollessa loppumassa, mutta silti mittauksista näkyy selvästi valunnassa aiheutuneet muutokset. Myös pitoisuuksissa oli havaittavissa selviä muutoksia. Tästä voidaan päätellä, että pitkään kestäneen sateen jälkeenkin voi äkillinen kuuro aiheuttaa muutoksia ennen kaikkea ainepitoisuuksissa. Varsinkin Ylistön sadevesiviemäreiden kohdalla tulos oli yllättävä, koska edeltäneen sateen olisi odottanut huuhtoneen suuren osan epäpuhtauksista vettä läpäisemättömiltä pinnoilta, ja että pitoisuudet olisivat jääneet mataliksi. Näin ollen sadetta edeltäneen kuivan jakson pituus ei näyttäisi vaikuttavan pitoisuuksiin, mikä tukee Lee ym. (2002) havaintoja siitä, ettei alkuhuuhtoumailmiön ja sadetta edeltäneen kuivan jakson välillä ole korrelaatiota. Kolmannen tehoseurantajakson aikainen sade oli hieman katkonaista, millä saattoi olla vaikutusta tuloksiin. 29.8. kaivojen mitatuille suurille valunnoille ei löydy selkeää syytä, koska sadanta oli tuolloin pientä verrattuna valuntaan.

Tässä tutkimuksessa tehoseurantajaksot toimivat automaattimittausasemien korvikkeina. Näytteenotoilla kullakin tehoseurantakerralla ei kuitenkaan ollut tasaista näytteenottoväliä ja tämä vaikeutti laskelmia. Näytteenottoväli vaihteli sateen ennakoitun keston mukaan.

#### **5.4. Koko tutkimusjakson aikaiset virtaamalaskelmat**

Tourujoen virtaama oli suurin verrattuna muihin näytteenottopaikkoihin. Kaivojen virtaama jäi laskelmien mukaan vähäisimmäksi verrattuna Köyhänojan ja purojen virtaamaan. Tourujoen virtaamamittaukset olivat hyvin kattavia, koska mittauksia oli jokaisen vuorokauden jokaiselta tunnilta. Avouomien sadevuorokausien virtaamalaskelmissa käytettiin kokonaisvuorokausivaluntakertoimia, koska hetkelliset valuntakertoimet olivat hyvin suuria ja sateiden vaikutus näkyi pitemmällä aikavälillä puroissa kuin kaivoissa. Valuntakertoimilla laskettaessa valunta ja siitä syystä myös virtaama ja kuormitus saattoivat olla hieman ali- tai yliarvioita riippuen sademäärästä. Joissain paikoissa perusvirtaama oli nolla ja laskelmilla sitä ei saavutettu, vaikka oli mahdollista, että valunnan muutokset olivat nopeampia kuin mitä käytetyssä vertailuvesistössä. Mittauksia muilta kuin Köyhänojalta ja Kylmänorolta oli kuitenkin sen verran vähän, ettei muutuskertoimen laskeminen ollut mielekäästä. Tämän takia virtaamatuloksiin on mahdollisesti tullut purojen kohdalla yliarviointia, jolla on siten vaikutusta myös mittausjaksolle laskettuihin kuormituksiin. Joidenkin näytteenottopaikkojen kohdalla vertailuvesistövalinta oli vaikeaa ja periaatteessa kumpikaan, Köyhänoja tai Kylmänoro, eivät kunnolla täyttäneet ehtoja. Koska ne olivat kuitenkin ainoat vaihtoehdot, käytettiin aina suuremman p-arvon saanutta vertailuvesistöä.

Köyhänojalla tehtiin virtaamamittaus noin kerran viikossa ja Kylmänorolla noin joka toinen viikko. Vaikka mittauksia Köyhänojalta ja Kylmänorolta olikin melko paljon, olisi ne pitänyt ajoittaa paremmin, jotta virtaama-arviointi niille sateettomille vuorokausille, joilta ei ollut mittauksia, olisi ollut tarkempaa. Köyhänojalla tehty viimeinen virtaamamittaus 10.12.2007 näytteenoton yhteydessä oli epätarkka verrattuna aiempiin Köyhänojalla tehtyihin virtaamamittauksiin. Virtaamamittaus yritettiin tällöin tehdä

samalla periaatteella kuin pienemmissä uomissa, koska mittauksia varten tehty puusilta oli jo purettu ja siivikointi täytyi tehdä rannalta kurkottamalla. Samoin uoman syvyys- ja leveysmittaukset olivat epätarkkoja. Muiden avouomien osalta virtaamamittauksia oli vähän. Varsinkin valuntakertoimien tarkkuus olisi parantunut, jos mittauksia olisi ollut enemmän. Kotola ja Nurminen (2005) totesivat tutkimuksessaan valuntakertoimen vaihtelevan tapahtumien välillä ja samansuuruinen sadekin voi saada aikaan erilaisia valuntakertoimia.

Kaivojen osalta virtaamia saatiin mitattua vain kaivoista A, B, G ja H, koska näiden kaivojen purkuputket löydettiin maastosta. Muille kaivoille kaivojen G ja H valuntakertoimien keskiarvolla lasketut virtaamatulokset olivat varmastikin melko todenmukaisia, koska laskelmissa huomioitiin osavaluma-alueen pinta-ala. Kaivojen A ja B valuntakertoimet olivat ylisuuria ( $>1$ ) ja yksi syy tähän saattaa olla liian pieniksi arvioidut valuma-alueet. Kaivojen osalta käytettiin kokonaistuntivaluntakerrointa, koska kaivoissa sateen aiheuttama virtaaman muutos on hyvin nopea ja varsinkin sadannan heikkeneminen näkyi virtaamassa pian. Kaivon D valuma-alueen metsäisyyden takia käytettiin sen valuntakertoimena paikan 10 valuntakerrointa, koska sen metsäisyysprosentti oli lähinnä kaivon D valuma-alueen metsäisyysprosenttia. Kaivon D virtaaman oletettiin kuitenkin olevan nolla kuivina vuorokausina, koska viemäristön on oletettu olevan suljettu systeemi, jonne ainoa vedentulolähde on sadevesikaivot. Kaivon D valuma-alueeseen kuului kuitenkin Köyhälampi, joten nollan käyttö saattoi aliarvioida mittausjakson kokonaisvirtaaman, ja sitä kautta myös kuormituksen kaivosta D. Koska Köyhälampi ei aiemman valuma-aluekarttatiedon pohjalta kuulunut Jyväsjärven valuma-alueeseen, Köyhälammella ei tehty vedenpinnankorkeusmittauksia, joiden avulla haihdunnan olisi voinut laskea.

### **5.5. Koko tutkimusjakson aikaiset pitoisuus-, kuormitus- ja ominaiskuormituslaskelmat**

Pitoisuuksien laskeminen virtaamaan perustuvalla lineaarisella regressiolla näytteenottoajankohtien välisille vuorokausille onnistui vain harvoille näytteenottoaikoille ja niissäkin vain joillekin muuttujille. Syy tähän saattoi olla mittauksien vähyys tai sitten hulevesien osalta ainepitoisuudet eivät ole lineaarisesti riippuvaisia virtaamasta. Kahden mittauksen välinen keskiarvo oli näin yleisin välipäivien ainepitoisuuksien arviointitapa. Jos keskiarvoa ei saatu laskettua, niin viimeisimmän tai seuraavan mittauksen pitoisuustuloksilla korjattiin puuttuvat arvot. Osa pitoisuuksien päivittäisestä vaihtelusta jäi näin huomioimatta kokonaisarviossa.

Noin 83 % kiintoainekuormituksesta sekä noin 91 % kokonaistyyppi- ja noin 90 % kokonaisfosforikuormituksesta tuli Tourujoesta. Tourujoen virtaama oli myös noin 92 % kokonaisvirtaamasta, joten Tourujoen suuri osuus kuormituksesta johtuu suuresta virtaamasta. Verrattuna Jyväsjärven sisäiseen kuormitukseen, Tourujoesta vuorokaudessa tuleva kokonaisfosforikuormitus ylitti vuosina 2002 ja 2003 Jyväsjärvelle lasketun sisäisen kuormituksen, joka oli alkukesällä keskimäärin 3,7 kg/vrk ja loppukesällä ja syksyllä keskimäärin 8,2 kg/vrk (Palomäki 2004). Tourujoelle vastaava arvo mittausjakson kokonaisfosforikuormituksen osalta oli 9,5 kg/vrk. Kokonaistyyppikuormituksen osalta sisäisen kuormituksen arvot olivat negatiivisia (Palomäki 2004). Maatalouden ohella Tourujokea kuormittaa Sappi Finland Oy, jonka vuoden 2007 kokonaistyyppikuormitus Tourujokeen oli 10462 kg, josta noin 7059 kg tuli mittausjakson aikana, ja vastaavasti kokonaisfosforikuormitus 348 kg, josta noin 229 kg tuli mittausjakson aikana (VAHTI, 2009). Tämän tutkimuksen perusteella Sappi Finland Oy:n osuus Tourujoen kuormituksesta kokonaistyyppien osalta oli noin 10 % ja kokonaisfosforin osalta noin 9 %

mittausjaksolla. Kaivoista, puroista ja Köyhänojasta tuli kaikista noin 3 % mittausjakson aikaisesta kokonaisfosforikuormituksesta. Kokonaistypen osalta Köyhänoja (6 %) oli toiseksi merkittävin kuormittaja. Purojen osuus kokonaistyyppikuormituksesta oli noin 2 % ja kaivojen vastaavasti noin 1 %. Kiintoainekuormituksesta noin 13 % tuli puroista, 4 % Köyhänojasta ja alle 1 % kaivoista. Vaikka Köyhänojan, purojen ja kaivojen osuudet koko jakson kuormituksesta ovatkin melko pieniä verrattuna Tourujokeen, saattaa niillä ainakin hetkellisesti olla suurta merkitystä Jyväsjärven ravinnekuormituksessa. Kaivojen tuoma kuormitus oli todennäköisesti vielä suurempaakin, koska kaivojen E ja F kuormituksia ei saatu laskettua. Myös paikka 7 jätettiin kuormitus- ja virtaamalaskelmista pois, koska siitä otettiin näyte vain kerran. On kuitenkin otettava huomioon, että Köyhänojan, purojen ja kaivojen valuma-alueet eivät kata koko Jyväsjärven valuma-aluetta, vaan vain noin 80 % siitä. Näiden osavaluma-alueiden yhteispinta-ala oli noin 30,4 km<sup>2</sup>.

Näytteenottojakson aikana tapahtui kaksi jätevesiputkirikkoa, joiden seurauksena Jyväsjärveen pääsi yhteensä 13800 m<sup>3</sup> käsittelemätöntä jätevettä vuonna 2007 (Hantunen 2009). Jätevesipäästöjen aiheuttama kiintoainekuormitus oli 8246 kg, kokonaistyyppikuormitus 852 kg ja kokonaisfosforikuormitus 139 kg (Veijola 2007, 2008). Jätevesipäästöjen kuormitus vastasi kiintoaineen osalta noin 2 % Tourujoesta mittausjaksolla tullutta kuormitusta. Kokonaistypen osalta vastaava osuus oli 1 % ja kokonaisfosforin 6 %.

Kaivojen ravinnehuuhtoumat olivat hyvin suuria verrattuna muihin näytteenottopaikkoihin. Ominaiskuormitusarvoihin vaikuttaa lisäävästi läpäisemättömän pinnan määrä, joskin peltoalueilta tulevat ravinnehuuhtoumat voivat olla vieläkin suurempia kuin rakennettujen alueiden huuhtoumat (Kotola & Nurminen 2005). Tourujoen ominaiskuormitusarvot eivät kuitenkaan vaikuttaisi eroavan suuresti muiden näytteenottopaikkojen ominaiskuormitusarvoista, vaikka sen valuma-alueella onkin maatalousalueita.

Laskelmat avovesijakson aikana tulleesta ravinne- ja kiintoainekuormituksesta olivat karkeahkoja arvioita, mutta todennäköisesti ne kuitenkin antavat hyvän kuvan kuormituksen yleisluonteesta. Näytteitä olisi otettava enemmän ja erittäin suunnitelmallisesti, jotta laskelmat olisivat mahdollisimman luotettavia. Automaattinen virtaamamittari- ja näytteenottoasemaverkosto lisääisivät tarkkuutta. Virtaaman kasvuun reagoivan näytteenottimen avulla saataisiin näyte heti, kun virtaamassa tapahtuisi muutoksia.

## 5.6. Bakteerit ja metallipitoisuudet

Bakteeri- ja metallinäytteet otettiin vain katsauksenomaisesti yhtenä näytteenottovuorokautena ja näytteenottopaikoiksi oli valittu yhdeksän näytteenottopaikkaa, joilla muiden ainepitoisuuksien tai valunnan oletettiin olevan merkittävimpiä. Lisäksi ne valittiin eri puolilta Jyväsjärveä.

Näytteenottovuorokauden bakteeripitoisuudet olivat erittäin korkeita verrattuna esimerkiksi Kansanterveyslaitoksen asettamiin rajoihin uimakelpoisen veden osalta (Kansanterveyslaitos 2005). Nämä rajat ylittyivät kaikkien bakteerinäytteenottoaikojen näytteissä fekaalisten streptokokkien osalta. Koliformisten ja fekaalisten koliformisten bakteereiden pesäkelukumäärät eivät ylittyneet aivan kaikissa näytteissä. Näytteet otettiin sateisena ajankohtana, jolloin bakteeripitoisuudet saattoivat olla huomattavasti suurempia kuin mitä sateettomina ajankohtana (Niemi & Niemi 1991). Aiemmassa suomalaisessa hulevesitutkimuksessa on myös havaittu vastaavanlaisia korkeita bakteeripitoisuuksia, mutta siinäkin FC/FS -indeksin perusteella bakteerit olivat

enimmäkseen peräisin muusta kuin ihmisperäisestä lähteestä (Ruth 2007). Tuloksista laskettu FC/FS -indeksi oli kaivon D näytteessä hyvin suuri, vaikka fekaalisten streptokokkien ja fekaalisten koliformisten bakteereiden pesäkelukumäärät eivät olleet erityisen suuria verrattuna muihin paikkoihin. Tuloksien perusteella on syytä epäillä, että kyseiseen kaivoon olisi päässyt käsittelemätöntä jätevettä. Indeksiin perustuva tulkinta on kuitenkin suuntaa-antava, ja jotta bakteerien lähteitä voitaisiin arvioida paremmin, olisi ne määritettävä esimerkiksi DNA-tutkimuksen avulla (Gilpin ym. 2002). Kaivon D vettä olisi syytä kuitenkin tutkia lisää mahdollisen putkirikon takia. Kyseisen kaivon ravinnepitoisuudetkin olivat poikkeuksellisen korkeita verrattuna muihin näytteenottoa paikkoihin.

Verrattuna Gravesin ym. (2004) tuloksia arseenin, mangaanin, kadmiumin, kromin, kuparin, lyijyn, nikkelin ja sinkin osalta olivat tämän tutkimuksen Jyväsjärven valuma-alueelta tulevien vesien vastaavien metallien pitoisuudet huomattavasti pienempiä. Chuin (1997) tutkimukseen verrattuna kuparipitoisuus oli keskimäärin samalla tasolla, mutta aivan yhtä korkeita pitoisuuksia ei havaittu. Sinkin ja lyijyn osalta pitoisuudet olivat matalampia kuin mitä Chuin (1997) virkistys- ja asuinalueilla havaitsemat. Kadmium, kromi ja mangaani vesissä jäivät määritysrajan alle toisin kuin tässä tutkimuksessa. Mangaania löytyi kaikista, kadmium jäi alle määritysrajan kolmessa paikassa ja kromi yhdessä. Brown ja Peake (2006) arvelivat havaitsemiensa korkeiden lyijy- ja kuparipitoisuuksien johtuvan valuma-alueen suuresta kaupunki- ja teollisuusalueäärästä. Tässä tutkimuksessa ei vastaavaa havaittu. Esimerkiksi Helsingin Vesi on asettanut teollisuusjätevesien metallipitoisuuksille raja-arvot ja nämä tulokset eivät ylittäneet kyseisiä raja-arvoja (Helsingin Vesi 2008).

## 5.7. Yhteenveto

Tämä tutkimus osoittaa, että hulevesien aiheuttama kuormitus Jyväsjärven osalta ei yllä Tourujoen kuormituksen tasolle pitkän aikavälin tarkastelussa. Kuitenkin hetkellisesti hulevedet voivat aiheuttaa Tourujokea suuremman kuormituksen ja ainepitoisuudet hulevesissä olivat varsin suuria verrattuna Tourujoen vastaaviin ainepitoisuuksiin. Tourujoen virtaama on kuitenkin niin suuri, että sen valuma-alueella saisi tapahtua erittäin suuria muutoksia, jotta hulevesien aiheuttaman kuormituksen osuus kasvaisi. Hulevesitutkimuksia tarvitaan lisää varsinkin muuttuvan ilmaston myötä. Jos sateet, ja erityisesti rankat paikalliset kuurot, yleistyvät, myös hulevesivalunta kasvaa. Tulevissa tutkimuksissa olisi keskityttävä pitkiin mittausjaksoihin, joiden aikana näytteitä otettaisiin paljon eri vuodenajoilta. Muutama näyte sadepäiviltä ei anna täydellistä kuvaa koko vuoden osalta, joten mittauspaikat ovat valittava huolella ja harkittava automaattisten mittalaitteiden käyttöä, koska valunnan muutokset rakennetuilla alueilla ovat hyvin nopeita.

## KIITOKSET

Haluan kiittää ohjaajiani professori Juha Karjalaista ja dosentti Timo Huttulaa avusta ongelmakohtien ratkomisessa. Suuri kiitos Suomen ympäristökeskuksen tutkimusprofessori Sirpa Herveelle, joka mahdollisti tämän tutkimuksen toteutuksen. Kenttätyöosuudesta suuri kiitos Jyväskylän yliopiston laboratoriomestari Olli Nousiaiselle, joka oli aina valmis näytteenottoon, lyhyelläkin varoitusajalla. SLICES-työstä kiitän Keski-Suomen ympäristökeskuksen paikkatietoinsinööri Juha Romulaa, joka teki pinta-alalaskelmat. Kiitokset filosofian tohtori Tapio Keskiselle, joka auttoi aina, kun vaan ehti. Suuret kiitokset myös kaikille ystäville, jotka ovat auttaneet minua tämän tutkielman tiimoilta.

## KIRJALLISUUS

- Aaltonen J., Hohti H., Jylhä K., Karvonen T., Kilpeläinen T., Koistinen J., Kotro J., Kuitunen T., Ollila M., Parvio A., Pulkkinen S., Silander J., Tiihonen T., Tuomenvirta H. & Vajda A. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). *Suomen ympäristö* 2008 (31):1- 123.
- Ahponen H. 2005. Luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien ja aluesuunnittelun keinoin kohti parempaa taajamahydrologiaa. Teoksessa: Vakkilainen, P., Kotola, J. & Nurminen, J. (toim.), Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. *Suomen ympäristö* 2005 (776):64-77.
- Arola H. 2007. Jyväsjärveen tulevien hulevesien määrä ja ainepitoisuudet. *LuK-tutkielma*. Jyväskylän yliopisto. 1-31.
- Brezonik P.L. & Stadelmann T.H. 2002. Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA. *Water Res.* 36: 1743-1757.
- Brown J.N. & Peake B.M. 2006. Sources of heavy metal and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. *Sci. Total Environ.* 359: 145-155.
- Campbell K.R. 1994. Concentrations of Heavy Metals Associated with Urban Runoff in Fish Living in Stormwater Treatment Ponds. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 27: 352-356.
- Chui P.C. 1997. Characteristics of stormwater quality from two urban watersheds in Singapore. *Environ. Monit. Assess.* 44: 173-181.
- Davis A.P., Shokouhian M. & Ni S. 2001. Loading estimates of lead, copper, cadmium and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere.* 44: 997-1009.
- Feachem R. 1975. An improved role for faecal coliform to faecal streptococci ratios in the differentiation between human and non-human pollution sources (Note). *Water Res.* 9: 689-690.
- Geldreich E.E. & Kenner B.A. 1969. Concepts of fecal streptococci in stream pollution. *J. Water Pollut. Control Fed.* 41: 336-352.
- Gilpin B.J., Gregor J.E. & Savill M.G. 2002. Identification of the source of faecal pollution in contaminated rivers. *Water Sci. Technol.* 46: 9-15.
- Graves G.A., Wan Y. & Fike D.L. 2004. Water quality characteristics of storm water from major land uses in South Florida. *JAWRA.* 40: 1405-1419.
- Hantunen M. (Jyväskylän Energia Oy) 2009. Sähköposti Jyväsjärveen päässeiden jätevesien määrästä putkirikkojen takia vuonna 2007. Sähköposti saapunut ja luettu 18.3.2009
- Helenius L. & Leinonen T. 1979. Taajama-alueiden huleveden määrällinen ja laadullinen riippuvuus maankäyttömuodoista ja hydrologisista tekijöistä. *Oulun yliopisto, vesiteknikan laitos* (5):1-120.
- Helsingin Vesi. 2008. Viikinmäen jätevedenpuhdistamolle johdettavien jätevesien raja-arvot 6.5.2002 alkaen. [http://www.helsinginvesi.fi/general/Uploads\\_files/jateveden\\_raja-arvot\\_2002.pdf](http://www.helsinginvesi.fi/general/Uploads_files/jateveden_raja-arvot_2002.pdf). Luettu 25.4.2009
- Hyvärinen V., Solantie R., Aitamurto S. & Drebs A. 1995. Suomen vesitase 1961-1990 valuma-alueittain. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A.* (220):1-68.
- Hyyrynen V.-M., Kääriä-Fischer L. & Palo S. 2007. Hulevedet osana kaupunkiympäristöä Oulussa. *Vesitalous.* 2007 (2): 6-11.
- Ilmatieteen laitos 2009. [http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutos/suomessa\\_18.html](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutos/suomessa_18.html) Luettu 17.7.2009.
- Kaakinen H. 2008. Tourujoen virtaamatiedot Jyväskylän Energia Oy:ltä 14.12.-31.12. 2007 väliseltä ajalta. Sähköposti saapunut ja luettu 4.11.2008.
- Kaakinen H. 2007. Tourujoen virtaamatiedot Jyväskylän Energia Oy:ltä 1.1.-14.12.2007 väliseltä ajalta. Sähköposti saapunut ja luettu 14.12.2007.
- Kansanterveyslaitos 2005. [http://www.ktl.fi/portal/suomi/tietoa\\_terveydesta/elinymparisto/vesi/talousvesi/mikrobiologiset\\_muuttujat\\_valvontatutkimuksissa/koliformiset\\_bakteerit\\_ja\\_escherichia\\_coli/](http://www.ktl.fi/portal/suomi/tietoa_terveydesta/elinymparisto/vesi/talousvesi/mikrobiologiset_muuttujat_valvontatutkimuksissa/koliformiset_bakteerit_ja_escherichia_coli/) Luettu 6.4.2008
- Keränen J. 2001. Jyväsjärven tilan kehitys 1840–2000 –pilaantumisen ja elpymisen aikakaudet. *Pro gradu -tutkielma*. Jyväskylän yliopisto. 1-105.



- Kotola J. & Nurminen J. 2003b. Kaupunkialueiden hydrologia – valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 2: koealuetutkimus. *Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja* 2003 (8):1-203.
- Kotola J. & Nurminen J. 2005. Kaupunkirakentamisen hydrologiset vaikutukset. Teoksessa: Vakkilainen P., Kotola J. & Nurminen J. (toim.), Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. *Suomen ympäristö* 2005 (776):12-31.
- Kuusisto P., Ruth O. & Tikkanen M. 2005. Valuma-alueiden kaupungistuminen ja sen vesistövaikutukset. Teoksessa: Vakkilainen P., Kotola J. & Nurminen J. (toim.), Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. *Suomen ympäristö* 2005 (776):45-63.
- Lee J.H., Bang K.W., Ketchum L.H., Chloé J.S. & Yu M.J. 2002. First flush analysis of urban storm runoff. *Sci. Total Environ.* 293: 163-175.
- Lee J.H. & Bang K.W. 2000. Characterization of urban stormwater runoff. *Water Res.* 34: 1773-1780.
- Leinonen A. 1992. Vedenlaatu ja ravinteiden hajakuormitus Tourujoen vesistöalueella vv. 1989-1991. *Pro gradu –tutkielma*. Jyväskylän yliopisto. 1-101.
- McPherson T.N., Burian S.J., Turin H.J., Stenstrom M.K. & Suffet I.H. 2002. Comparison of the pollutant loads in dry and wet weather runoff in a southern California urban watershed. *Water Sci. Technol.* 45: 255-261.
- Meriläinen J.J., Hynynen J., Palomäki A., Mäntykoski K. & Witick A. 2003. Environmental history of an urban lake: a palaeolimnological study of Lake Jyväsjärvi, Finland. *J. Paleolimnol.* 30: 387-406.
- Niemi J.S., Niemi R.M., Malin V. & Poikolainen M.-L. 1997. Bacteriological Quality of Finnish Rivers and Lakes. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 15-21.
- Niemi J. & Niemi M. 1991. Hygienian indikaattoribakteereiden esiintyminen kuormitetussa joessa sekä luonnontilaisilla ja hajakuormitetuilla alueilla. *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 1991 (299):57-61.
- Palomäki A. 2004. Jyväsjärvi-hankkeet j2, Jyväsjärven sisäinen kuormitus - ainetaselaskelmat ja kokeelliset sedimenttitutkimukset, *Ympäristöntutkimuskeskus Jyväskylän yliopisto, tutkimusraportti* 2004 (17):1-22 s.
- Palomäki A. (toim.) Työryhmä: Karjalainen J., Salonen K., Huttula T., Harju T., Högmander P., Keskinen T., Kuitunen P., Seppänen J. & Virtasalo J. 2004. Jyväsjärvi-hankkeet j2, Jyväsjärven hoito- ja kunnostussuunnitelma. *Ympäristöntutkimuskeskus, Jyväskylän yliopisto*. 1-20.
- Peltola-Thies J. 2005. Rakennetun ympäristön aiheuttama vesistökuormitus. Teoksessa: Vakkilainen P., Kotola J. & Nurminen J. (toim.), Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. *Suomen ympäristö* 2005 (776):32-44.
- Rhodes M.W. & Kator H. 1999. Sorbitol-fermenting bifidobacteria as indicators of diffuse human faecal pollution in estuarine waersheds. *J. Appl. Microbiol.* 87: 528-535.
- Rintala J. 2003. s. 4. Teoksessa: Rintala J., Hänninen K. & Veijanen A. *Ympäristöteknologian perusteet, luentomoniste* 2005.
- Romula J. 2009. Sähköposti Jyväsjärven valuma-alueen pinta-alasta. Sähköposti saapunut ja luettu 28.4.2009.
- Ruth O. 2007. Bakteerit kaupunkivesien kuormittajina. *Vesitalous* 2007 (2):19-22.
- Salonen K., Karjalainen J., Högmander P., Keskinen T., Huttula T. & Palomäki A. 2005. Recovery of Lake Jyväsjärvi after pollution by municipal and industrial waste waters. *Verh.Internat. Verein. Limnol.* 29: 619-622.
- Salonen S., Frisk T., Kärmeniemi T., Niemi J., Pitkänen H., Silvo K. & Vuoristo H. 1992. Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä – vaikutusten arviointi. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A* (96). 1-137.
- Salovaara M. (toim.), Junttanen S., Järvinen K., Kosonen L., Laihosalo K., Salovaara M. & Palomäki R. 2009. Ympäristön tila Tampereella 2008. *Ympäristönsuojelun julkaisuja* 2009 (2):1-96.

- Sandahl J.F., Baldwin D.H, Jenkins J.J. & Scholz N.L. 2007. Partitioning and A Sensory System at the Interface between Urban Stormwater Runoff and Salmon Survival. *Environ .Sci. Technol.* 41: 2998-3004.
- Sansalone J.J. & Buchberger S.G. 1997. Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water. *J. Environ. Eng.* 123: 134-142.
- Sario J., Kupiainen K., Silvennoinen H. & Tervahattu H. 2005. Hulevedet ja kiinteistöjen kuivatus – hallinnon ja lainsäädännön kehittäminen. Teoksessa: Vakkilainen P., Kotola J. & Nurminen J. (toim.), Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. *Suomen ympäristö 2005 (776)*:78-89.
- Silander J., Ollila M., Aaltonen J., Jylhä K., Koistinen T., Kilpeläinen T., Vajda A., Tuomenvirta H., Tiihonen T. Sillanpää N., Vakkilainen P. & Karvonen T. 2007. Climate change impacts and adaptation in the hydrology of urban areas. *The third international conference on climate and water. Finnish Environment Institute SYKE.* s. 436-441.
- Sinton L.W., Finlay R.K. & Hannah D.J. 1998. Distinguishing human from animal faecal contamination in water: a review. *N.Z. J. Mar. Freshwater Res.* 32: 323-348.
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 292/1996. <http://www.edilex.fi/saadokset/lainsaadanto/19960292> Luettu 6.4.2008.
- Suomen ympäristökeskus 2008. <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=29826&lan=fi> Päivitetty 20.10.2008. Luettu 17.7.2009.
- Vahtiraportit 2009. *Sappi Finland Oy, Kankaan tehdas, vuoden 2007 raportti.* Luettu 12.10.2009.
- Vakkilainen P., Kotola J. & Nurminen J. (toim). 2005. Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. *Suomen ympäristö 2005 (776)*:1-116s.
- Vallinkoski M. 2008. Viheralueet ja ilmastonmuutos. Jyväskylän kansalaisopiston avoin luentotilaisuus 29.1.2008.
- Veijola H. 2007. Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy, Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon päätöstarckkailun neljännesvuosiraportti 1.4.-30.6.2007. *Ympäristöntutkimuskeskus Jyväskylän yliopisto, tutkimusraportti 2007 (103)*:1-5 + liitteet.
- Veijola H. 2008. Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy, Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon päätöstarckkailun neljännesvuosiraportti 1.10.-31.12.2007. *Ympäristöntutkimuskeskus Jyväskylän yliopisto, tutkimusraportti 2008 (7)*:1-5+ liitteet.
- Wetzel R.G. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems.* Academic press, San Diego (Calif.).



28.8.2007

Paikka	Virtaama (m <sup>3</sup> /h)	Kiintoaine (kg/h)	Kiintoaine (%)	Kok. typpi (g/h)	Kok. typpi (%)	Kok. fosfori (g/h)	Kok. fosfori (%)
Purot	866	145,7	80,4	526,1	21,3	146,7	25,9
Köyhänoja	655	9,8	5,4	576,3	23,3	28,8	5,1
Tourujoki	864	22,3	12,3	864,0	35,0	59,6	10,5
Kaivot	262	1,8	1,0	254,4	11,5	148,5	38,7

8.10.2007

Paikka	Virtaama (m <sup>3</sup> /h)	Kiintoaine (kg/h)	Kiintoaine (%)	Kok. typpi (g/h)	Kok. typpi (%)	Kok. fosfori (g/h)	Kok. fosfori (%)
Purot	814	82,5	93,0	763,6	32,4	114,9	57,7
Köyhänoja	445	2,4	2,8	426,8	18,1	12,0	6,0
Tourujoki	891	3,6	4,0	1069,2	45,3	46,3	23,3
Kaivot	32	0,2	0,2	98,8	4,2	25,9	13,0

10.12.2007

Paikka	Virtaama (m <sup>3</sup> /h)	Kiintoaine (kg/h)	Kiintoaine (%)	Kok. typpi (g/h)	Kok. typpi (%)	Kok. fosfori (g/h)	Kok. fosfori (%)
Purot	706,4	18,52	18,6	823,0	2,30	27,53	2,7
Köyhänoja	2610,7	23,76	23,9	5482,4	15,29	73,10	7,3
Tourujoki	30143,8	57,27	57,5	29540,9	82,40	904,31	90,0
Kaivot	0,7	0,00	0,00	3,3	0,01	0,01	0,00

Liite 2. Tulostaulukot vuoden 2007 täysiltä näytteenottokierroksilta (-: ei mittauksia eikä näytettä, \*: unohtunut sekoittaa ennen kyseistä mittausta).

Pvm	Virtaama (l/s)								
	28.3.	17.4.	25.6.	26.6.	28.6.	8.8.	28.8.	8.10.	10.12.
<b>Paikka</b>									
1	3,3	2,0	0,2	0,2	0,43	1,9	2,3	1,2	5,88
4	2,7	-	0	2,8	2,50	2,6	15,9	3,8	3,35
5	5,0	3,0	0	13,3	-	25,0	29,6	47,5	10,50
6	141,4	49,1	24,5	18,4	52,88	46,6	83,3	135,6	121,81
7	-	-	-	-	-	-	-	7,4	-
8	13,4	5,7	-	-	10,80	4,5	18,3	3,3	11,30
9	13,7	9,6	-	0,4	2,59	4,0	13,4	5,6	17,93
10	6,2	6,1	0,8	0,7	3,00	1,7	37,5	14,0	4,92
11	1,9	2,3	0,2	0,3	1,32	1,3	10,0	3,5	3,75
12	15,3	8,5	0,2	1,1	2,44	5,8	30,2	4,3	16,78
Köyhänoja (uusi)	373,5	258,0	31,7	34,9	48,90	233,7	181,9	123,5	725,19
Köyhänoja (vanha)	341,7	260,5	-	-	-	-	-	-	-
Tourujoki	240,0	7047,8	240,0	240,0	6579,60	240,0	240,0	247,5	8373,26
Kaivo A	0,0	0,0	0,0	0,7	0,84	0,0	1,0	1,0	0,18
Kaivo B	0,0	0,0	0,0	0,5	0,40	0,0	1,0	0,4	0,02
Kaivo C	0,0	0,0	0,0	0,9	1,28	0,0	6,8	0,5	0,00
Kaivo D	0,0	0,0	0,0	8,0	11,71	0,0	62,2	4,9	0,00
Kaivo E	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaivo F	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaivo G	-	-	0,0	0,5	0,06	0,0	1,2	1,5	0,00
Kaivo H	-	-	0,0	0,4	2,55	0,0	0,6	0,5	0,00

Kiintoaine (mg/l)								
Pvm	28.3.	17.4.	25.6.	28.6.	8.8.	28.8.	8.10.	10.12.
<b>Paikka</b>								
1	3,7	0,9	0,9	18,6	0,9	5,4	4,2	1,3
4	24,8	-	7,2	2,4	4,6	9,6	22,5	2,3
5	6,6	1,9	3,0	-	22,0	16,2	35,2	1,9
6	27,8	7,8	2,3	4,5	9,4	23,6	92,7	22,5
7	-	-	-	-	-	-	5,2	-
8	0,9	0,3	-	4,4	3,8	5,1	13,4	0,7
9	54,1	15,7	-	8,4	11,8	23,6	12,3	14,8
10	435,9	122,3	2,9	23,8	36,7	908,0	590,8	324,7
11	52,4	220,0	5,1	9,3	4,9	147,1	16,7	28,0
12	74,3	16,5	2,3	5,8	14,2	64,9	20,3	23,5
Köyhänoja (uusi)	9,7	6,4	2,8	5,0	3,8	14,9	5,5	9,1
Köyhänoja (vanha)	6,6	4,9	-	-	-	-	-	-
Tourujoki	5,0	3,7	4,5	10,2	3,8	25,9	4,0	1,9
Kaivo A	29,3	15,6	57,0	16,0	6,9	8,6	22,0	0,3
Kaivo B	24,5	34,7	36,5	5,0	-	94,9	7,5	1,1
Kaivo C	16,1	6,0	33,7	7,0	18,8	8,4	17,6	5,5
Kaivo D	-	18,2	4,2	7,5	9,1	5,5	1,7	3,4
Kaivo E	826,5	12,0	25,9	8,5	5,4	18,8	13,9	16,9
Kaivo F	78,4	61,0	14,5	41,0	114,3	141,5	50,6	55,2
Kaivo G	-	-	-	1,3	-	2,9	5,5	-
Kaivo H	-	-	-	2,7	41,2	2,3	5,5	27,9

Sameus (FNU)								
Pvm	28.3.	17.4.	25.6.	28.6.	8.8.	28.8.	8.10.	10.12.
<b>Paikka</b>								
1	7,3	5,4	6,1	41,7	6,1	14,0	10,8	6,9
4	32,2	-	4,3	3,0	1,7	18,0	49,6	5,7
5	17,4	7,2	2,5	-	11,8	28,0	59,2	8,9
6	27,4	11,5	2,3	6,0	8,0	22,8	76,9	17,9
7	-	-	-	-	-	-	9,0	-
8	1,4	0,7	-	1,9	2,6	5,3	8,0	1,8
9	27,3	13,7	-	10,2	10,3	18,2	8,2	17,2
10	129,0	108,0	4,0	19,5	30,8	862,0	568,0	335,0
11	51,6	237,0	1,4	5,4	4,7	70,0	14,8	29,4
12	43,8	22,4	2,1	7,9	13,7	64,9	16,1	29,4
Köyhänoja (uusi)	6,1	3,1*	2,9	3,8	3,5	17,2	7,8	6,4
Köyhänoja (vanha)	5,5	4,0	-	-	-	-	-	-
Tourujoki	3,5	3,2	3,1	7,2	3,1	5,9	3,7	3,1
Kaivo A	19,2	23,8	8,6	24,4	2,1	14,1	35,1	5,1
Kaivo B	33,2	41,6	17,4	7,1	-	88,0	12,1	1,3
Kaivo C	3,3	4,5	14,1	9,6	4,5	11,2	41,6	9,4
Kaivo D	-	8,9	13,5	6,2	3,8	4,9	1,9	5,8
Kaivo E	180,0	8,8	8,7	8,8	2,8	23,4	20,4	13,1
Kaivo F	28,4	92,2	15,7	78,4	13,1	107,0	72,4	76,5
Kaivo G	-	-	-	1,5	-	2,6	7,5	-
Kaivo H	-	-	-	3,1	26,3	4,9	10,1	8,4

Väri (mg/lPt)								
Pvm	28.3.	17.4.	25.6.	28.6.	8.8.	28.8.	8.10.	10.12.
<b>Paikka</b>								
1	75,9	29,7	62,3	113,5	69,4	126,6	57,7	91,0
4	125,6	-	58,5	82,3	69,9	73,9	125,4	84,0
5	95,2	50,0	88,4	-	82,3	75,3	68,6	129,3
6	114,0	47,9	90,4	65,3	84,5	77,6	81,3	93,4
7	-	-	-	-	-	-	57,4	-
8	77,2	50,7	-	92,5	85,8	178,3	185,2	112,3
9	150,6	32,1	-	79,2	95,3	63,6	67,7	130,7
10	109,9	39,7	26,9	40,4	50,9	114,0	101,5	231,5
11	93,5	107,0	17,6	33,7	43,5	72,2	57,3	94,1
12	148,3	44,9	49,9	65,9	76,3	146,5	88,1	101,0
Köyhänoja (uusi)	186,4	127,9	120,7	115,7	219,9	124,6	184,1	240,5
Köyhänoja (vanha)	185,1	127,0	-	-	-	-	-	-
Tourujoki	120,3	51,0	84,3	93,6	77,9	69,3	89,6	194,5
Kaivo A	23,5	0,0	23,5	76,6	13,8	34,0	47,7	81,0
Kaivo B	61,6	52,1	167,7	70,3		167,6	33,7	115,8
Kaivo C	124,5	89,0	196,0	66,4	31,2	97,2	110,4	106,8
Kaivo D	-	0,0	78,7	73,8	62,3	74,1	159,9	136,4
Kaivo E	202,9	14,0	153,4	63,4	73,3	80,6	86,8	208,6
Kaivo F	155,4	118,1	296,6	173,5	34,4	108,2	204,3	131,3
Kaivo G	-	-	-	23,2	-	25,9	13,1	-
Kaivo H	-	-	-	25,2	74,8	33,3	19,2	106,2

pH								
Pvm	28.3.	17.4.	25.6.	28.6.	8.8.	28.8.	8.10.	10.12.
<b>Paikka</b>								
1	7,1	7,3	7,9	7,4	7,5	7,3	7,4	7,1
4	7,0	-	7,7	7,4	8,2	7,0	7,0	7,2
5	7,3	7,4	7,3	-	7,3	7,0	7,0	7,2
6	7,2	7,4	7,1	7,4	7,3	6,9	7,1	7,1
7	-	-	-	-	-	-	6,7	-
8	6,9	7,0	-	7,0	7,1	6,8	7,1	6,8
9	6,9	7,2	-	7,2	7,5	6,9	7,1	6,9
10	7,4	7,8	7,9	7,5	7,9	6,9	7,2	7,5
11	7,3	7,5	7,8	7,6	7,8	7,1	7,4	7,2
12	6,9	7,2	7,3	7,3	7,2	7,0	7,4	7,0
Köyhänoja (uusi)	7,4	7,4	7,5	7,7	7,3	7,5	7,5	7,3
Köyhänoja (vanha)	7,4	7,4	-	-	-	-	-	-
Tourujoki	6,9	7,0	6,9	7,1	7,1	6,9	7,0	6,9
Kaivo A	8,6	7,5	6,9	7,0	6,9	6,9	7,0	7,6
Kaivo B	6,9	6,8	6,2	9,6		8,5	7,0	10,9
Kaivo C	6,8	6,7	6,4	7,1	6,6	6,6	6,7	7,0
Kaivo D	-	6,7	7,0	7,2	6,7	6,6	6,9	7,2
Kaivo E	7,2	7,6	6,8	7,0	7,2	6,7	6,8	7,1
Kaivo F	7,3	7,3	6,7	7,4	6,7	7,3	7,2	7,4
Kaivo G	-	-	-	7,1	-	6,8	6,9	-
Kaivo H	-	-	-	6,4	6,9	5,6	6,3	6,7

Sähkönjohtokyky (mS/m)								
Pvm	28.3.	17.4.	25.6.	28.6.	8.8.	28.8.	8.10.	10.12.
<b>Paikka</b>								
1	10,5	13,3	22,0	8,5	17,8	9,5	11,5	12,2
4	18,5	-	20,5	12,0	9,9	6,0	6,1	17,5
5	42,7	48,9	12,6	-	13,1	10,7	9,6	40,1
6	10,5	14,6	12,1	13,9	11,3	6,4	6,9	10,5
7	-	-	-	-	-	-	17,1	-
8	10,2	9,5	-	11,9	11,3	9,9	12,5	9,9
9	17,5	21,8	-	9,8	23,7	5,7	21,9	18,9
10	13,3	19,5	24,4	9,9	23,4	2,2	6,4	15,3
11	10,3	13,5	22,7	13,9	20,8	5,7	8,8	10,7
12	9,5	11,8	20,2	14,0	14,2	8,3	14,4	9,8
Köyhänoja (uusi)	15,3	11,6	12,1	14,4	9,6	11,1	11,9	11,5
Köyhänoja (vanha)	14,9	11,7	-	-	-	-	-	-
Tourujoki	25,1	33,5	8,8	7,7	7,8	17,9	32,2	8,6
Kaivo A	8,9	8,2	11,1	2,6	6,3	2,0	2,9	23,1
Kaivo B	8,4	23,5	5,8	4,8	-	39,0	2,3	32,6
Kaivo C	13,8	15,5	19,6	5,4	15,9	14,2	11,0	10,1
Kaivo D	-	4,1	20,9	16,1	9,7	3,2	9,7	12,2
Kaivo E	12,3	42,9	21,5	6,4	15,6	2,8	3,6	13,7
Kaivo F	9,3	75,3	19,6	6,9	11,3	3,5	6,1	6,4
Kaivo G	-	-	-	2,3	-	1,4	1,7	-
Kaivo H	-	-	-	1,2	48,1	0,5	0,9	34,0

Kok. typpi (µg/l)								
Pvm	28.3.	17.4.	25.6.	28.6.	8.8.	28.8.	8.10.	10.12.
<b>Paikka</b>								
1	1100	1300	1300	920	1400	1000	780	1300
4	2300	-	1200	1000	610	560	690	1500
5	1600	1500	780	-	660	590	930	1500
6	790	850	710	610	630	520	920	930
7	-	-	-	-	-	-	1200	-
8	2100	650	-	640	760	650	870	870
9	1100	1800	-	640	1700	700	1200	2400
10	2200	2000	1300	840	1800	620	1000	2100
11	1700	1500	2000	1100	2100	820	940	1400
12	1400	980	520	650	920	710	890	1100
Köyhänoja (uusi)	1200	1200	1000	1300	1000	880	960	2100
Köyhänoja (vanha)	1900	1000	-	-	-	-	-	-
Tourujoki	1700	2200	680	650	550	1000	1200	980
Kaivo A	1200	1600	1600	770	800	350	720	4800
Kaivo B	1200	4000	3100	770	-	8000	730	1700
Kaivo C	1100	940	2400	670	1500	960	1400	920
Kaivo D	-	1200	14000	7200	1600	890	5000	6000
Kaivo E	1000	550	1100	1100	930	610	1100	1200
Kaivo F	1700	530	2600	990	1200	960	1100	940
Kaivo G	-	-	-	480	-	270	570	-
Kaivo H	-	-	-	550	1100	160	470	1300



Kok. fosfori (µg/l)								
Pvm	28.3.	17.4.	25.6.	28.6.	8.8.	28.8.	8.10.	10.12.
Paikka								
1	51	23	42	100	27	76	110	32
4	150	-	53	28	20	55	130	26
5	24	23	22	-	43	56	76	21
6	37	15	21	22	22	50	140	30
7	-	-	-	-	-	-	71	-
8	23	8	-	28	24	42	47	13
9	9	44	-	100	130	130	140	79
10	110	120	24	42	51	700	470	250
11	400	160	17	27	25	180	65	40
12	69	28	17	27	34	110	98	33
Köyhänoja (uusi)	76	20	14	18	19	44	27	28
Köyhänoja (vanha)	25	16	-	-	-	-	-	-
Tourujoki	51	31	25	32	33	69	52	30
Kaivo A	380	160	150	61	150	49	160	16
Kaivo B	83	86	240	46	-	320	120	26
Kaivo C	55	38	170	49	120	62	130	42
Kaivo D	-	300	2000	1100	330	650	1400	1200
Kaivo E	280	460	50	80	47	63	160	44
Kaivo F	84	130	240	110	180	350	840	110
Kaivo G	-	-	-	19	-	23	22	-
Kaivo H	-	-	-	25	170	12	19	21

Liite 3. Näytteenottoaikkojen valuntakertoimet (huom. purojen kertoimet ovat vrk-arvoja ja kaivojen hetkellisiä arvoja).

<b>Paikka</b>	<b>Valuntakerroin</b>
1	0,02
4	0,13
5	0,59
6	0,12
8	0,08
9	0,09
10	0,39
11	1,01
12	0,22
14	0,15
15	0,19
A	1,31
B	3,84
C	0,87
D	0,39
G	0,96
H	0,79

Liite 4. Näytteenottoaikkojen ja niille valittujen vertailuvesistöjen korrelaatio- ja t-testi-tulokset sekä kyseiselle näytteenottoaikalle valittu vertailuvesistö.

<b>Paikka</b>	<b>Pearson, r</b>	<b>T-testi, p</b>	<b>Vertailuvesistö</b>
1	0,639	0,02	Kylmänoro (12)
4	0,051	0,26	Köyhänoja (14)
5	0,220	0,05	Kylmänoro (12)
6	0,503	0,39	Kylmänoro (12)
8	0,449	0,12	Köyhänoja (14)
9	0,860	0,37	Köyhänoja (14)
10	0,003	0,16	Köyhänoja (14)
11	0,229	0,02	Köyhänoja (14)

Liite 5. Kiintoaine-ravinne-korrelaatiotaulukot (merkitsevät,  $p < 0,05$ , lihavoituina).

<b>Kiintoaine - kokonaisfosfori</b>				<b>Kiintoaine - kokonaistyyppi</b>			
Paikka	n	R	p	Paikka	n	R	p
<b>1</b>	<b>8</b>	<b>0,693</b>	<b>0,028</b>	1	8	-0,615	0,052
<b>4</b>	<b>7</b>	<b>0,989</b>	<b>&lt;0,001</b>	4	7	0,366	0,210
<b>5</b>	<b>7</b>	<b>0,948</b>	<b>0,001</b>	5	7	-0,548	0,101
<b>6</b>	<b>8</b>	<b>0,981</b>	<b>&lt;0,001</b>	6	8	0,492	0,108
<b>8</b>	<b>7</b>	<b>0,865</b>	<b>0,006</b>	8	7	-0,234	0,307
<b>9</b>	<b>7</b>	<b>-0,686</b>	<b>0,044</b>	9	7	-0,195	0,338
<b>10</b>	<b>8</b>	<b>0,940</b>	<b>&lt;0,001</b>	10	8	-0,352	0,196
11	8	0,408	0,158	11	8	-0,277	0,254
<b>12</b>	<b>26</b>	<b>0,927</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>12</b>	<b>26</b>	<b>0,402</b>	<b>0,021</b>
<b>14</b>	<b>26</b>	<b>0,544</b>	<b>0,002</b>	14	26	0,047	0,409
<b>15</b>	<b>8</b>	<b>0,721</b>	<b>0,022</b>	15	8	-0,163	0,350
A	8	0,448	0,133	A	8	-0,235	0,288
<b>B</b>	<b>7</b>	<b>0,878</b>	<b>0,005</b>	<b>B</b>	<b>7</b>	<b>0,956</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>C</b>	<b>8</b>	<b>0,919</b>	<b>0,001</b>	<b>C</b>	<b>8</b>	<b>0,963</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>D</b>	<b>7</b>	<b>-0,706</b>	<b>0,038</b>	D	7	-0,466	0,146
E	8	0,352	0,197	E	8	0,088	0,418
F	8	-0,014	0,487	F	8	-0,399	0,164
<b>G</b>	<b>9</b>	<b>0,976</b>	<b>&lt;0,001</b>	G	9	0,073	0,426
<b>H</b>	<b>17</b>	<b>0,932</b>	<b>&lt;0,001</b>	H	17	0,340	0,091

Liite 6. Tehoseurantajaksojen virtaama-, ainepitoisuus ja kuormitustaulukot.

Paikka	Aika (14-15.5.2007)	Sademäärä (mm)	Virtaama (l/s)	Kiintoainepitoisuus (mg/l)	Tot-N pitoisuus (µg/l)	Tot-P pitoisuus (µg/l)	Kiintoainekuormitus (kg/h)	Tot-N kuormitus (g/h)	Tot-P kuormitus (g/h)
<b>Köyhänoja</b>	19:00	0,00	146,7	2,5	990	13	1,32	522,8	6,9
	21:45	0,75	138,8	2,4	1000	13	1,20	499,7	6,5
	1:07	1,50	149,9	4,3	1000	14	2,32	539,6	7,6
	4:20	0,25	170,9	4,7	1100	16	2,89	676,8	9,8
	10:30	0,00	145	2,7	1100	13	1,41	574,2	6,8
<b>Kylmänoro</b>	19:30	0,00	3,2	4,1	790	21	0,05	9,0	0,2
	21:15	0,75	3,6	5,1	740	20	0,07	9,5	0,3
	0:49	1,50	9,9	263,5	960	200	9,34	34,0	7,1
	3:45	0,25	5,1	19,4	850	41	0,36	15,8	0,8
	10:10	0,00	4,1	5,3	690	22	0,08	10,2	0,3
<b>Kaivo</b>	19:45	0,00	0	46,0	910	97	0,00	0,0	0,0
	22:15	0,75	2,5	102,7	3400	290	0,91	30,1	2,6
	1:50	1,50	1,4	112,3	1500	140	0,55	7,4	0,7
	4:50	0,25	0,3	49,8	1500	110	0,05	1,4	0,1
	11:15	0,00	0	42,4	1500	92	0,00	0,0	0,0

<b>Paikka</b>	<b>Aika</b>	<b>Sademäärä (mm)</b>	<b>Virtaama (l/s)</b>	<b>Kiintoainepitoisuus (mg/l)</b>	<b>Tot-N pitoisuus (µg/l)</b>	<b>Tot-P pitoisuus (µg/l)</b>	<b>Kiintoainekuormitus (kg/h)</b>	<b>Tot-N kuormitus (g/h)</b>	<b>Tot-P kuormitus (g/h)</b>
<b>Köyhänoja</b>	27.6.2007 17:15	9,66	53,70	34,3	1100	38	6,62	212,7	7,35
	28.6.2007 11:00	4,79	48,90	5,0	1300	18	0,88	228,9	3,17
	29.6.2007 11:05	0,50	61,00	2,9	1200	15	0,64	263,5	3,29
	29.6.2007 13:25	3,56	79,90	14,7	1200	33	4,23	345,2	9,49
	30.6.2007 21:10	0,00	49,90	2,7	1200	15	0,49	215,6	2,69
<b>Kylmänoro</b>	27.6.2007 16:35	9,66	4,16	44,4	810	78	0,67	12,1	1,17
	28.6.2007 8:45	4,79	2,44	5,8	650	27	0,05	5,7	0,24
	29.6.2007 10:45	0,50	2,20	6,6	780	33	0,05	6,2	0,26
	29.6.2007 13:00	3,56	5,09	94,8	690	100	1,74	12,6	1,83
	30.6.2007 20:35	0,00	0,91	4,1	760	20	0,01	2,5	0,07
<b>Kaivo G</b>	27.6.2007 16:20	9,66	2,50	15,7	700	38	0,14	6,3	0,34
	28.6.2007 8:25	4,79	0,06	1,3	480	19	<0,01	0,1	<0,01
	29.6.2007 10:30	0,50	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,00
	29.6.2007 12:35	3,56	5,85	141,4	620	170	2,98	13,0	3,58
	30.6.2007 20:15	0,00	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,00
<b>Kaivo H</b>	27.6.2007 16:15	9,66	2,12	29,3	660	49	0,22	5,0	0,37
	28.6.2007 8:15	4,79	2,55	2,7	550	25	0,02	5,0	0,23
	29.6.2007 10:20	0,50	1,25	2,9	470	47	0,01	2,1	0,21
	29.6.2007 12:30	3,56	4,42	136,2	1100	380	2,17	17,5	6,04
	30.6.2007 20:20	0,00	0,91	11,3	560	48	0,04	1,8	0,16

Paikka	Aika	Sademäärä (mm)	Virtaama (l/s)	Kiintoainepitoisuus (mg/l)	Tot-N pitoisuus (µg/l)	Tot-P pitoisuus (µg/l)	Kiintoainekuormitus(kg/h)	Tot-N kuormitus (g/h)	Tot-P kuormitus (g/h)
<b>Köyhänoja</b>	23.7.2007 15:25	0,00	126,90	5,3	1000	19	2,421	456,8	8,680
	24.7.2007 13:20	6,10	121,90	6,1	960	20	2,677	421,3	8,777
	25.7.2007 11:30	2,03	96,70	3,4	1100	16	1,184	382,9	5,570
	26.7.2007 15:00	0,51	158,20	6,3	990	17	3,588	563,8	9,682
	27.7.2007 11:05	0,00	133,20	3,3	1100	16	1,582	527,5	7,672
<b>Kylmänoro</b>	23.7.2007 14:35	0,00	2,36	6,8	970	27	0,058	8,2	0,229
	24.7.2007 12:50	6,10	5,33	158,5	1300	190	3,039	24,9	3,643
	25.7.2007 10:55	2,03	4,48	8,8	850	30	0,142	13,7	0,483
	26.7.2007 14:30	0,51	1,86	5,9	900	26	0,040	6,0	0,174
	27.7.2007 10:35	0,00	1,51	3,8	860	22	0,021	4,7	0,120
<b>Kaivo G</b>	23.7.2007 14:10	0,00	0,00	-	-	-	0,000	0,0	0,000
	24.7.2007 12:30	6,10	6,50	112,6	1400	180	2,635	32,8	4,212
	25.7.2007 10:40	2,03	3,75	30,5	2900	81	0,412	39,2	1,094
	26.7.2007 14:10	0,51	0,07	4,3	2100	20	0,001	0,5	0,005
	27.7.2007 10:10	0,00	0,00	-	-	-	0,000	0,0	0,000
<b>Kaivo H</b>	23.7.2007 14:15	0,00	0,82	10,1	620	17	0,030	1,8	0,050
	24.7.2007 12:20	6,10	5,50	47,2	1600	130	0,935	31,7	2,574
	25.7.2007 10:30	2,03	4,00	15,5	1900	49	0,224	27,4	0,706
	26.7.2007 14:00	0,51	0,03	14,4	1800	34	0,001	0,2	0,004
	27.7.2007 10:15	0,00	0,85	12,6	1100	120	0,038	3,4	0,366

Paikka	Aika	Sademäärä (mm)	Virtaama (l/s)	Kiintoainepitoisuus (mg/l)	Tot-N pitoisuus (µg/l)	Tot-P pitoisuus (µg/l)	Kiintoainekuormitus(kg/h)	Tot-N kuormitus (g/h)	Tot-P kuormitus (g/h)
<b>Köyhänoja</b>	27.8.2007 16:45	0,25	46,6	1,4	1000	14	0,235	167,8	2,35
	28.8.2007 13:00	25,4	181,9	14,9	880	44	9,765	576,3	28,81
	29.8.2007 10:30	2,79	146,8	4,4	1700	27	2,325	898,4	14,27
	30.8.2007 13:50	0,76	108,2	2,8	1200	21	1,091	467,4	8,18
	31.8.2007 11:05	0,76	107,6	2,3	1100	18	0,891	426,1	6,97
<b>Kylmänoro</b>	27.8.2007 16:15	0,25	0,3	1,7	770	27	0,002	0,9	0,03
	28.8.2007 9:00	25,4	30,2	64,9	710	110	7,051	77,1	11,95
	29.8.2007 10:00	2,79	14,6	19,5	770	61	1,027	40,6	3,22
	30.8.2007 13:20	0,76	2,9	8,7	830	40	0,092	8,8	0,42
	31.8.2007 10:40	0,76	3,5	3,5	850	32	0,044	10,7	0,40
<b>Kaivo G</b>	27.8.2007 15:50	0,25	0,0	-	-	-	0,000	0,0	0,000
	28.8.2007 8:40	25,4	1,2	2,9	270	23	0,013	1,2	0,10
	29.8.2007 9:30	2,79	1,5	4,4	320	23	0,024	1,7	0,12
	30.8.2007 13:10	0,76	0,0	-	-	-	0,000	0,0	0,000
	31.8.2007 10:30	0,76	0,0	-	-	-	0,000	0,0	0,000
<b>Kaivo H</b>	27.8.2007 16:00	0,25	0,0	-	-	-	0,000	0,0	0,000
	28.8.2007 8:30	25,4	0,6	2,3	160	12	0,005	0,3	0,03
	29.8.2007 9:20	2,79	1,0	5,9	260	22	0,021	0,9	0,08
	30.8.2007 13:00	0,76	0,0	2,4	540	54	0,000	0,0	0,00
	31.8.2007 10:20	0,76	0,0	15,0	630	26	0,000	0,0	0,00

## Liite 7. Näytteenottoaikkojen pinta-alataulukot.

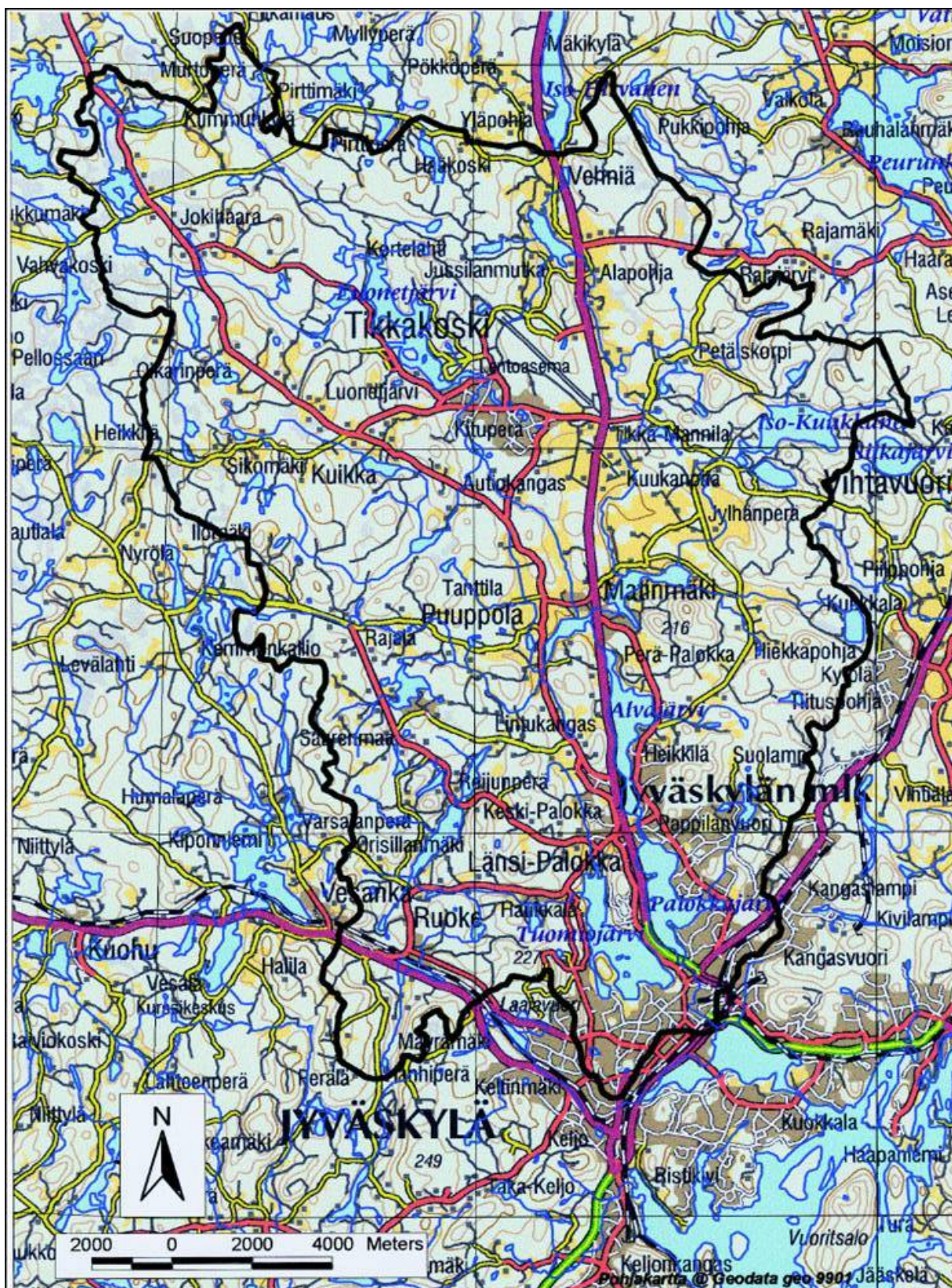
<b>Paikka</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>Köyhänoja (14)</b>	<b>Tourujoki (15)</b>	<b>D</b>	<b>Yht. (km<sup>2</sup>)</b>
<b>Pinta-alatyypit</b>														
Kerrostaloalue	0,03	0,01	0,01	0,35	0,04	0,01	0,06	0,13	0,01	0,00	0,55	1,87	0,03	<b>3,11</b>
Pientaloalue	0,15	0,19	0,01	0,61	0,23	0,30	0,25	0,02	0,01	0,15	2,31	16,74	0,02	<b>20,99</b>
Keskusta-alueet	0,00	0,11	0,06	0,37	0,01	0,01	0,02	0,03	-	0,02	0,31	1,55	0,13	<b>2,62</b>
Teollisuusalueet	-	-	0,10	0,41	0,00	0,02	0,00	-	-	0,00	0,58	2,47	-	<b>3,58</b>
Liikennealueet	0,02	0,05	0,12	0,43	0,04	0,04	0,02	0,01	-	0,01	0,76	8,46	0,04	<b>10,01</b>
Urheilu- ja virkistyspalveluiden alueet	-	0,00	-	0,07	0,01	0,01	-	-	-	-	0,26	0,59	0,10	<b>1,04</b>
Kalliokiviainesten louhinta- alueet	0,00	-	-	-	0,01	-	-	-	-	0,00	-	0,13	-	<b>0,14</b>
Turvetuotantoalueet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	<b>0,00</b>
Soran- ja hiekanottoalueet	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	1,52	-	<b>1,53</b>
Maataluoden alueet	0,00	-	-	0,01	-	-	0,06	0,01	-	0,01	0,06	29,96	-	<b>30,10</b>
Metsämaa	0,25	0,09	0,06	3,45	0,35	0,65	0,20	0,14	0,02	0,47	13,50	247,46	0,22	<b>266,87</b>
Vesistöt	-	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	0,00	0,53	23,25	0,00	<b>23,79</b>
Kaatopaikka-alueet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,05	-	<b>0,58</b>
<b>Yht. (km<sup>2</sup>)</b>	<b>0,46</b>	<b>0,45</b>	<b>0,37</b>	<b>5,71</b>	<b>0,69</b>	<b>1,04</b>	<b>0,62</b>	<b>0,35</b>	<b>0,04</b>	<b>0,67</b>	<b>19,39</b>	<b>334,05</b>	<b>0,54</b>	<b>364,36</b>

<b>Paikka</b>	<b>km<sup>2</sup></b>
<b>A</b>	0,015
<b>B</b>	0,003
<b>C</b>	0,026
<b>E</b>	-
<b>F</b>	-
<b>G</b>	0,012
<b>H</b>	0,015



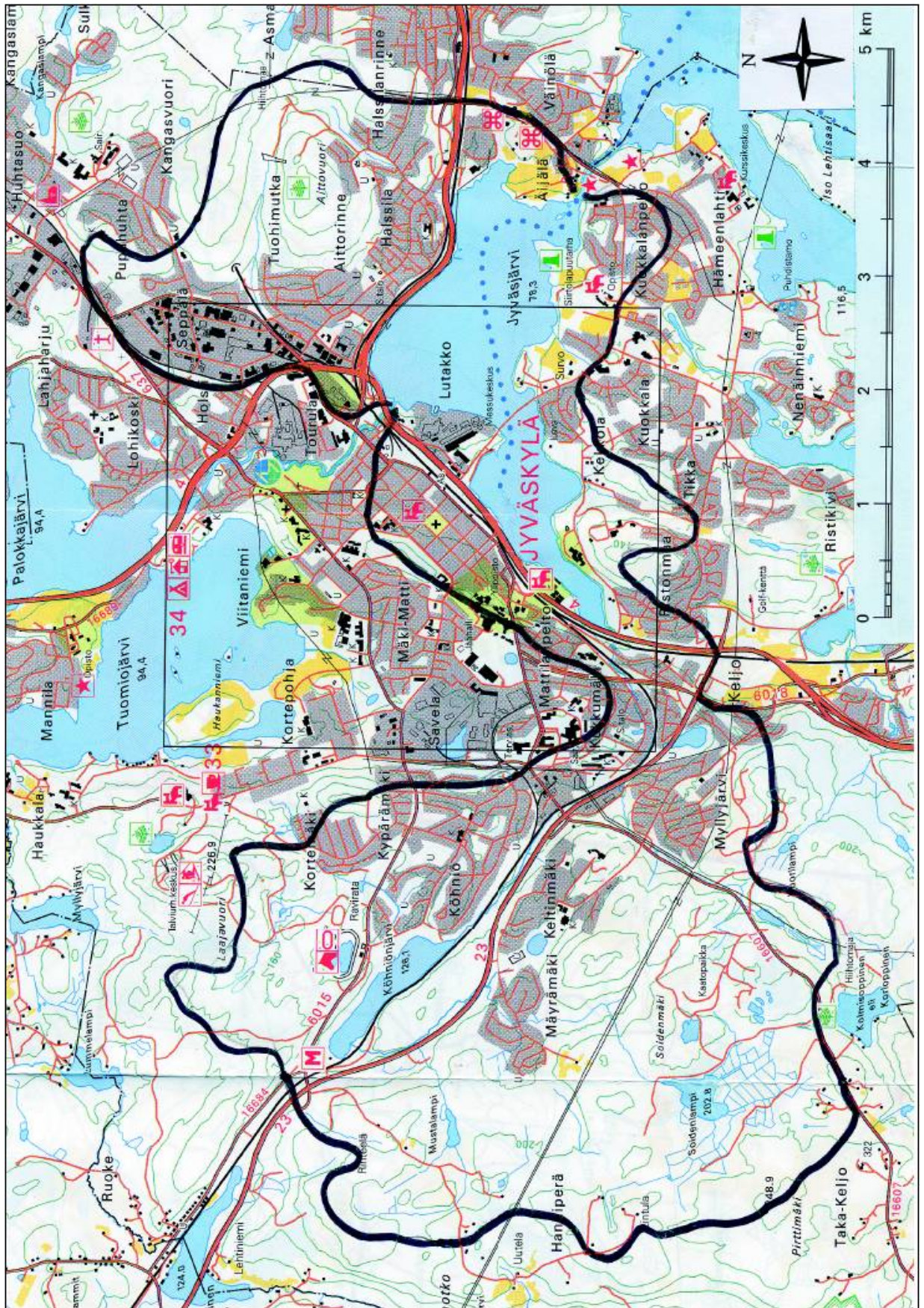
Alue	1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Köyhänoja (14)	Tourujoki (15)	D	Yht. (%)
<b>Pinta-alatyypit (%)</b>														
Kerrostaloalue	6,5	2,7	2,5	6,1	6,2	0,9	9,2	36,5	34,5	0,5	2,9	0,6	5,9	0,9
Pientaloalue	33,6	41,8	3,2	10,8	32,8	28,7	40,4	7,0	16,3	22,8	11,9	5,0	3,6	5,8
Keskusta-alueet	0,1	24,8	17,3	6,5	1,5	1,3	3,5	8,3	-	2,4	1,6	0,5	23,1	0,7
Teollisuusalueet	-	-	27,7	7,1	0,4	1,9	0,6	-	-	0,1	3,0	0,7	-	1,0
Liikennealueet	3,7	10,6	33,3	7,5	6,5	3,9	3,1	3,7	-	1,9	3,9	2,5	7,1	2,7
Urheilu- ja virkistyspalveluiden alueet	-	0,8	-	1,2	1,6	0,5	-	-	-	-	1,4	0,2	18,6	0,3
Kalliokiviainesten louhinta- alueet	0,0	-	-	-	1,2	-	-	-	-	0,4	-	0,0	-	0,0
Turvetuotantoalueet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	-	0,0
Soran- ja hiekanottoalueet	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	0,4
Maataluoden alueet	0,4	-	-	0,1	-	-	9,9	2,6	-	0,8	0,3	9,0	-	8,3
Metsämaa	55,7	19,2	16,0	60,4	49,8	62,7	33,2	41,8	49,1	71,0	69,6	74,1	40,8	73,2
Vesistöt	-	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	-	0,0	2,7	7,0	0,8	6,5
Kaatopaikka-alueet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,7	0,0	-	0,2





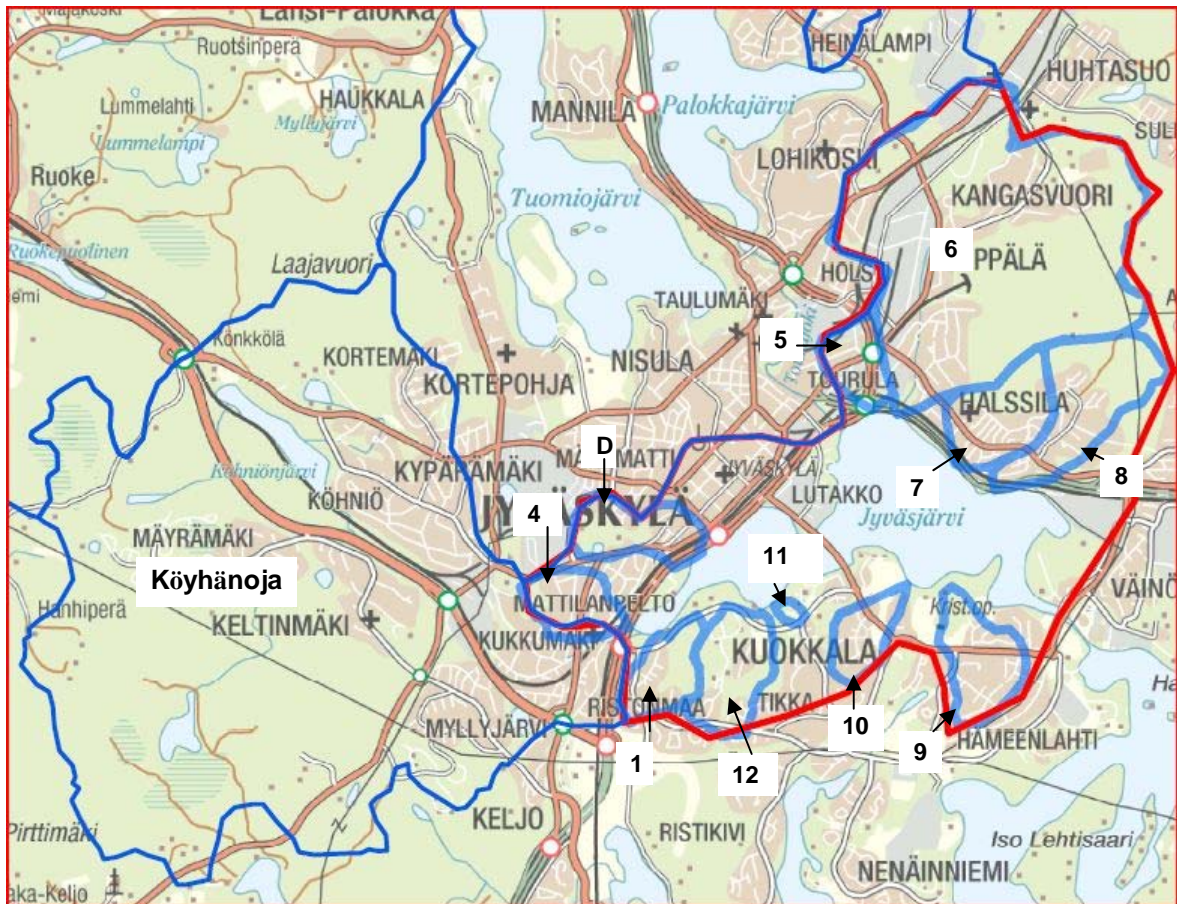
Liite 8. Tourujoen valuma-aluekartta (Keränen 2001).



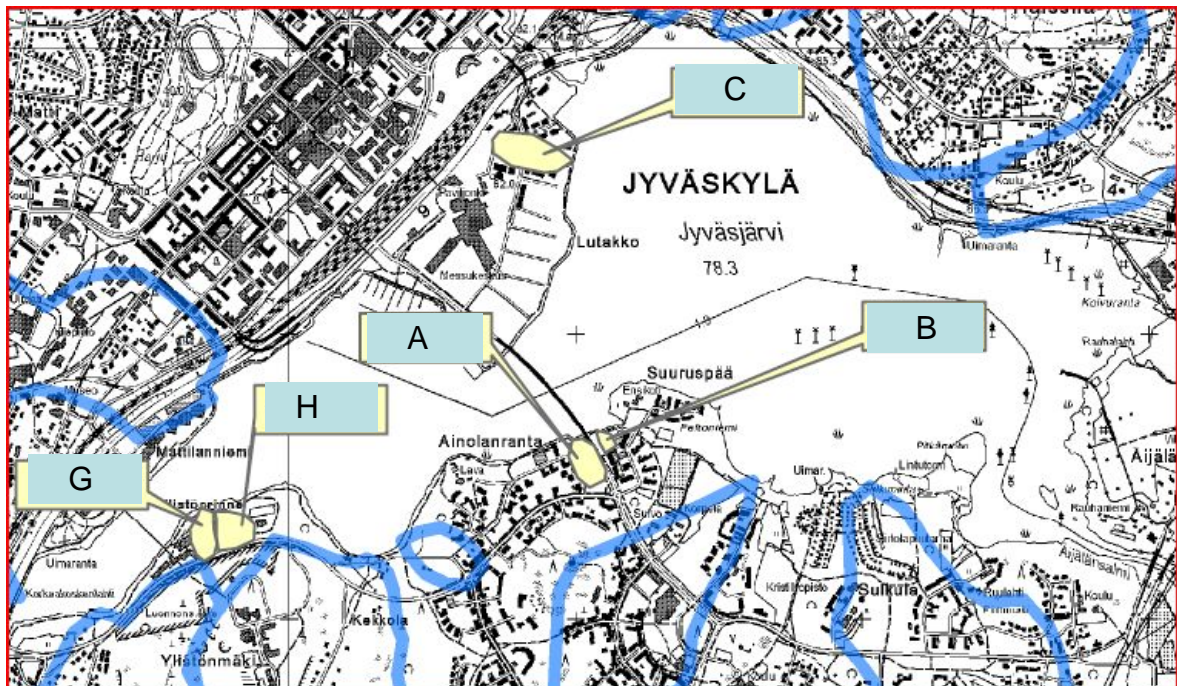


Liite 9. Jyväsjärven valuma-aluekartta (Keränen 2001).





Liite 10. Jyväskylän osavalmu-alueet Köyhänojan, purojen ja kaivon D osalta (rajattu sinisellä).



Liite 11. Kaivojen A-C sekä G ja H valuma-alueet (keltaiset alueet).