

# Kaupunkipuron tulvat ja niiden merkitys - esimerkkinä Helsingin Mellunkylänpuron valuma-alue

MATTI TIKKANEN

*Luonnonmaantieteen laboratoriot, Maantieteen laitos, Helsingin yliopisto*



*Tikkanen, Matti (1999). Kaupunkipuron tulvat ja niiden merkitys - esimerkkinä Helsingin Mellunkylänpuron valuma-alue (Floods and their consequences in an urban catchment of Mellunkylänpuro, Helsinki, Finland). Terra 111: 1, 3-15.*

Variations of discharge and water quality in a small urban brook, Mellunkylänpuro were studied within the courses of a snowmelt quick flow period and storm flood episodes in 1998. More than half of the catchment (9.95 km<sup>2</sup>) consists of built-up areas with large impermeable surfaces, sewers and storm drains. 62 water samples were collected during the quick flow periods in order to determine their electrical conductivity, solid material content and concentration of non-evaporating dissolved and colloid substances.

The storm flood discharges are higher, and occur sooner in summer than during the snowmelt period, and even a very low rainfall can induce a quite large and quick flood. The highest discharge, over 3000 l/s (runoff 300 l/s/km<sup>2</sup>), was caused by a heavy rainfall of 40 mm, and it destroyed one bridge and damaged the measuring weir on the lower reaches of the brook.

The concentration of suspended solids rose suddenly after the rain events and reached their maximum clearly before the peak discharges. Diurnal variations were greatest at the beginning of the snowmelt flood season. Peak concentration values (600-900 mg/l) were 30-45 times greater than the pre-flood levels (c. 20 mg/l). The proportion of organic matter among the suspended solids was 13-47 percent. The electrical conductivity and the concentrations of dissolved substances decreased at the time of peak discharges with little diurnal variation. Salting of the roads and the impact of sea water in the lowest part of the drainage basin increased the concentrations and conductivity.

*Matti Tikkanen, Laboratory of Physical Geography, Department of Geography, P.O. Box 9, SF-00014 University of Helsinki, Finland.*

Kaupunkien nopea kasvu vaikuttaa huomattavasti paikallisiin vesivaroihin ja veden jakautumiseen. Suurkaupungeissa käyttövesi joudutaan tuomaan usein kaukaa kuluttajille. Kaupungit vaikuttavat sadeoloihin ja heikentävät alueensa veden laatua. Erityisen voimakkaasti urbanisoituminen vaikuttaa kaupunkipurujen ja -jokien tulvavirtaamiin (Hall 1984: 78). Tulvien toistumistiheys kasvaa ja virtaamahuiput suurenevät. Urbanisaatiolla on suhteellisesti ottaen suurin merkitys pienten tulvien yhteydessä (Goudie & Viles 1997: 140). Wallingin (1987) mukaan veden liikkeellä ja siihen liittyvällä mekaanisella ja kemiallisella denudaatiolla on tärkeä geomorfologinen merkitys myös kaupunkiympäristöjen valuma-alueysteemeissä.

Kaupunkialueiden pienet purot ja niiden valuma-alueet ovat kokeneet suuria fyysisiä muutoksia. Rakentamisen myötä kasvillisuutta on poistettu, maanpintaa muutettu vettä läpäisemättömäksi ja puroja on pantu virtaamaan ojissa, kanavissa sekä viemäritunneleissa. Nykyiset kaupunkipurot ovat suurelta osin ihmisen muokkaamia ja niiden hydrologiset ominaisuudet poikkeavat selvästi luonnontilaisesta (Graf 1988: 283). Hyväkuntoisina ja hoidettuina purot kuitenkin rikastuttavat kaupunkiympäristöä ja toimivat yhdessä metsä- ja puistoalueiden kanssa kaupunkialuetta halkovina ekologisina käytävinä ja tulvavesien kulkuväylinä (Keller & Hoffman 1977; Neller 1988; Ruth 1997; Ketola ym. 1998). Purot heijastavat herkästi myös lähialueensa kuormitusta sekä muita ihmistoiminnan ympäristövaikutuksia.

Suomessa pieniin valuma-alueisiin kohdistuvaa tutkimusta on tehty pääasiassa maaseutu ympäristössä (esim. Mansikkaniemi 1982; Seuna 1982, 1983; Tikkanen ym. 1985; Pajala 1989; Tikkanen 1990; Peltonen 1996). Hydrologisen havainnoinnin piirissä on kaikkiaan yli 90 pientä valuma-aluetta (Kivinen 1994). Tutkimus on painottunut maa- ja metsätalouden vesistövaikutusten selvittämiseen (Kenttämies & Saukkonen 1996). Kaupunkiympäristön valuma-alueita ja puroja on tutkittu selvästi vähemmän, mutta viime aikoina myös kaupunkipurojen ja sadevesiviemäreissä virtaavien hulevesien laatu vaihtelua on alettu selvittää (Melanen 1981; Jalava 1987; Neller 1993; Ketola 1996; Hilkkku 1997; Ruth 1997).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tiheään toistuvan näytteenoton avulla kaupunkipuron virtaama- ja ainepitoisuusvaihtelua lumensulamisen sekä yksittäisten rankkasateiden nostattamien tulvien yhteydessä keväällä ja kesällä 1998. Myös veden ainepitoisuuden alueellista luonnetta selvitettiin tutkimusalueen eri osista. Tutkimusalueena oli Itä-Helsingissä sijaitseva Mellunkylänpuro, jonka valuma-alueesta suurin osa on nykyisin kaupunkimaisen maankäytön piirissä.

## Puro ja sen valuma-alue

Mellunkylänpuro laskee Vartiokylänlahden perukkaan ja sen valuma-alueen kokonaispinta-ala on 9,95 km<sup>2</sup>, josta 3,05 km<sup>2</sup> on Vantaan aluetta (Ketola 1996). Puro alkaa suo-ojana Slättmossenin keidassuolta, joka sijaitsee Porvoon moottoritien pohjoispuolella (kuva 1). Purolla on nykyisin vain muutamia sivuhaaroja, koska osa uomista on hävinnyt rakennettujen alueiden viemäroinnin yhteydessä. Katualueilta hulevesiä keräävät viemäriputket laskevat vetensä kuitenkin puroon. Tärkeimmät avoimet sivuhaarat ovat Linnanpellonoja ja Broändanpuro, joista viime mainittu virtaa Vartiokylänlahden jatkeena olevien vesijättömaiden halki ja yhtyy pääuomaan hiukan ennen sen mereen laskemista.

Mellunkylänpuro virtaa nykyisin lähes kokonaisuudessaan keinotekoisessa uomassa. Vesialassa ja Mellunmäen metroaseman alueella pääuoman vedet virtaavat pitkiä matkoja viemäreissä. Alkuperäistä uoma on oiottu ja syvennetty ruoppauksin. Uoman paikkaa on myös siirretty lukuisissa kohdissa tie- ja asuntorakentamisen tieltä. Merkittävin muutos on tapahtunut puron alajuoksulla, missä puro yhtyi alunperin Broändanpuron keskijuoksulle, mutta on nykyisin ohjattu Itäväylän alapuolelta peltojen halki suoraan etelään (kuva 1), Vanha purolaakso on maisemoitu ja se on yhdistetty ojalla nykyiseen puroon, josta virtaa vettä vanhaan uomaan vain suurempien tulvien yhteydessä.

Pääuoman pituus on 5,5 kilometriä. Puron putouskorkeus on yhteensä 31 metriä, joten keskimääräinen gradientti on 5,6 m/km (Ketola 1996). Broändanpuron gradientti on lähes olematon, koska se virtaa koko pituudeltaan vasta äskettäin merestä kohonneella alustalla. Pääuomassa on kolme koskijaksoa, joista suurin on Vesalan Aarrepuiston lähes 10 metriä korkea koski. Muita koskia ovat Ojapuistonkoski ja Tankomäenkoski. Ojapuistonkosken yhteydessä on jäänteitä 1950-luvulla rakennetusta padosta, jonka avulla alueelle oli padottu uimapaikkana käytetty tekoallas.

Mellunkylänpuron valuma-alueen luoteisosissa on suhteellisen korkeita (max 63 m), runsaasti avokallioita sisältäviä alueita. Valtaosa alueesta sijoittuu 10-40 metrin korkeustasolle. Puron alajuoksu ja Broändanpuron laakso ovat hyvin alavia, minkä vuoksi merivesi nousee silloin tällöin näille alueille. Alueen maaperästä 60 prosenttia on moreenia ja hiekkaa, 29 prosenttia savea, neljä prosenttia turvetta ja noin yksi prosentti täyttömaata (Ketola 1996). Muu osa valuma-alueesta on avokalliota. Alueen glasifiuviaaliset kerrostumat liittyvät valuma-alueen latvoilta Fazerilasta puron alajuoksun kautta Kalvikinniemielle suuntautuvaan harjujaksoon.

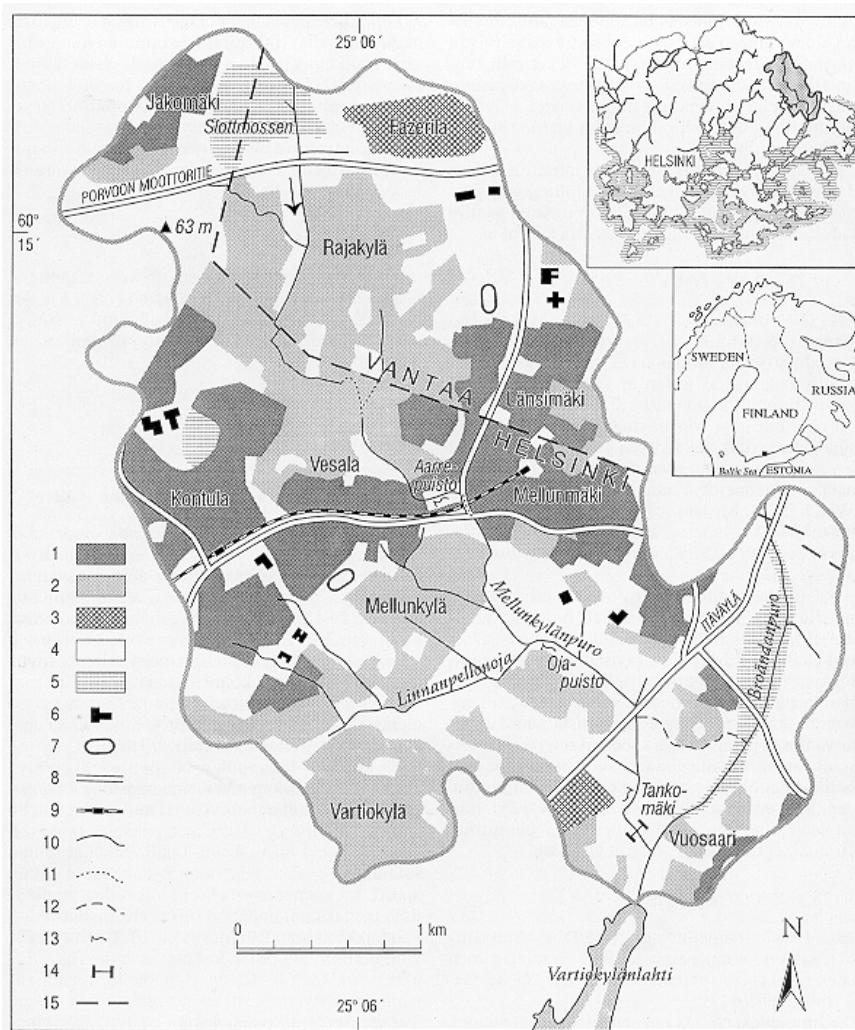
Harjukerrostumat ovat pääosin levinneet tasapintaisiksi kentiksi ja sijaitsevat monin paikoin savikerroksien alla. Savikoiden paksuus on suurimmillaan Broändanpuron varsilla, missä on mitattu yli 20 metrisiä kerrostumia (*Geotekninen kartta...* 1989).

Alueen maankäyttö on muuttunut nopeasti viimeaikaisen kaupungistumisen myötä. Topografikarttojen mukaan asutus oli vielä 1940-luvulla hyvin harvaa, ja valuma-alueella oli tuolloin lähinnä metsää, suota ja peltoa. Vielä 1950-luvun lopussakin alueen eteläosissa oli laajalti peltoa, mutta omakotitaloasutusta oli syntynyt jo melko runsaasti valuma-alueen pohjois- ja keskiosiin (Rajakylä ja Mellunkylä). 1960-luvulta alkaen alueelle on rakennettu paljon myös kerrostaloja, ja nykyisin yli puolet valuma-alueen pinta-alasta on jo kerros- (20 %), pientalo- (32 %) ja teollisuusaluetta (3 %). Metsäalueiden osuus on runsas kolmannes (38 %) ja pelto- ja niittyalueita on jäljellä seitsemän prosenttia pinta-alasta (Ketola 1996). Tiheä katuverkko, asutus- ja teollisuusalueiden katot ja asfaltoidut

pinnat viemäreineen ovat heikentäneet veden mahdollisuuksia imeytyä maahan ja nopeuttaneet sen virtaamista purouomiin.

## Aineisto ja menetelmät

Tutkimusta varten otettiin 16.4.-12.6.1998 välisenä aikana 62 vesinäytettä. Näytteet koostuivat havaintosarjoista, joista yksi otettiin huhtikuussa (16.-23.4.) lumensulamisvaiheessa ja toinen kesäkuussa (11.-12.6.) ukkossateen aiheuttaman tulvajakson yhteydessä. Näiden sarjojen näytteet otettiin Mellunkylänpuron päähaaran alajuoksulla olevan mittapadon kohdalta. Huhtikuun havaintosarjassa näytteenottoväli oli tihein virtaamahuippujen yhteydessä, kesäkuun havaintosarjassa näytteet otettiin puolen tunnin välein. Lisäksi huhtikuussa otettiin kaksi erillistä näytesarjaa (16.4. ja 19.4.), joiden tavoitteena oli selvittää pitoisuseroja valuma-alueen eri osissa ennen tulvaa ja tulvan aikana. Näytteet otettiin molemmilla kerroilla tunnin aikana tärkeimmistä sivuhaaroista sekä pääuomasta aina latvoilta puron suulle saakka. Näytteet otettiin litran mittapulloihin, jotka vietiin säilytettäväksi kylmiöön.



Kuva 1. Mellunkylänpuron valuma-alue ja sen sijainti. 1. Kerrostaloasutus, 2. pientaloasutus, 3. teollisuusalue, 4. metsä, puisto, pelto tai niitty, 5. suo, kosteikko, 6. julkinen rakennus, 7. urheilukenttä, 8. moottoritie, katu, 9. metro, 10. puro, oja, 11. viemäröity uoma, 12. vanha purouoma, 13. koski, 14. mittapato, 15. kaupungin raja. *Figure 1. The Mellunkylänpuron catchment and its location. 1. Block of flats, 2. small houses, 3. industrial area, 4. forest, park, field or meadow, 5. peat bog, wetland, 6. public building, 7. sports field, 8. highway, local road, 9. underground, 10. brook, ditch, 11. storm drain, 12. old brook channel, 13. rapids, 14. municipal border.*

Mellunkylänpuron virtaamat mitattiin puron alajuoksulle rakennetulta mittapadolta, jonka purkuaukon kulma on 120 astetta. Virtaama saatiin padolta vedenkorkeuden perusteella kaavasta

$$(1) Q = 2,47 x H^{2,5},$$

jossa  $Q$  = virtaama ( $m^3/s$ ) ja  $H$  = vedenkorkeus (m) (Gregory & Walling 1973). Alueellisten näytteiden ottoaikoiilta virtaamaa ei mitattu. Tutkimusjakson sademäärät mitattiin valuma-alueen alaosaan sijoitetulla sademittarilla.

Laboratoriossa vesinäytteistä mitattiin ensin sähkönjohtavuus, joka kuvaa veteen ionisoituneiden anionien ja kationien määrää ja samalla likimäärin liuenneiden aineiden kokonaismäärää (WHO 1978). Mittauksessa käytettiin Konduktometer CG 855 -laitetta, jolla saadut lukemat vastaavat suoraan  $+25$  °C:een sähkönjohtavuusarvoja (SFS 3022).

Näytteiden kiintoainepitoisuus mitattiin suodattamalla 100-500 ml näytettä Schleicher & Schuell GF 52 -lasikuitusuodattimilla. Ennen osanäytteen ottamista näytepulloa ravisteltiin voimakkaasti näytteen homogenisoinniseksi. Suodatinsuppiloon kaadettu näyte imettiin suodattimen läpi alipainetta käyttäen. Ennen suodatusta suodattimet kuivattiin ja punnittiin, ja suodatuksen jälkeen petrimaljaan siirrettyä suodosta suodattimien kuivattiin lämpökaapissa ( $105$  °C) vähintään tunnin ajan. Kuivatuksen jälkeen suodokset jäähdytettiin huoneen lämpöön eksikaattorissa ja punnittiin. Kiintoainepitoisuus (s) saatiin yhtälöstä

$$(2) s = 1000 (a - b)/c,$$

jossa  $s$  = kiintoainepitoisuus (mg/l),  $a$  = suodattimen ja suodoksen paino (mg),  $b$  = suodattimen paino (mg) ja  $c$  = suodatukseen käytetty näytemäärä (ml) (SFS 3037).

Kiintoaineksen orgaanisen aineksen osuuden selvittämiseksi upokkainiin siirrettyjä suodoksia hehkutettiin polttouunissa lämpötilassa  $550$  °C yhden tunnin ajan, minkä jälkeen ne jäähdytettiin eksikaattorissa ja punnittiin. Vähentämällä punnitustulos alkuperäisen suodoksen painosta saatiin selville hehkutushäviö, joka kuvastaa likimain kiintoaineen sisältämää orgaanisen aineksen osuutta.

Veden sisältämien haihtumattomien liuenneiden ja kolloidisten aineiden kokonaismäärä selvitettiin haihduttamalla 100 ml suodatettua näytettä kuiviin. Haihdutus tapahtui dekantterilaseissa lämpökaapissa  $103$  °C:een lämpötilassa. Ennen haihdutusta dekantterilasit kuivattiin ja punnittiin. Näytteen kuivuttua dekantterilasit haihdutusjäännöksineen jäähdytettiin eksikaattorissa ja punnittiin uudelleen. Liuenneiden aineiden kokonaismäärä (1) laskettiin yhtälöstä

$$(3) l = 1000 (a - b)/c,$$

jossa  $l$  = haihdutusjäännös (mg/l),  $a$  = dekantterilasien ja haihdutusjäännöksen paino (mg),  $b$  = dekantterilasien paino (mg) ja  $c$  = haihdutukseen käytetty näytemäärä (ml) (Vesianalyyssitoimikunnan mietintö 1968).

## Tulokset

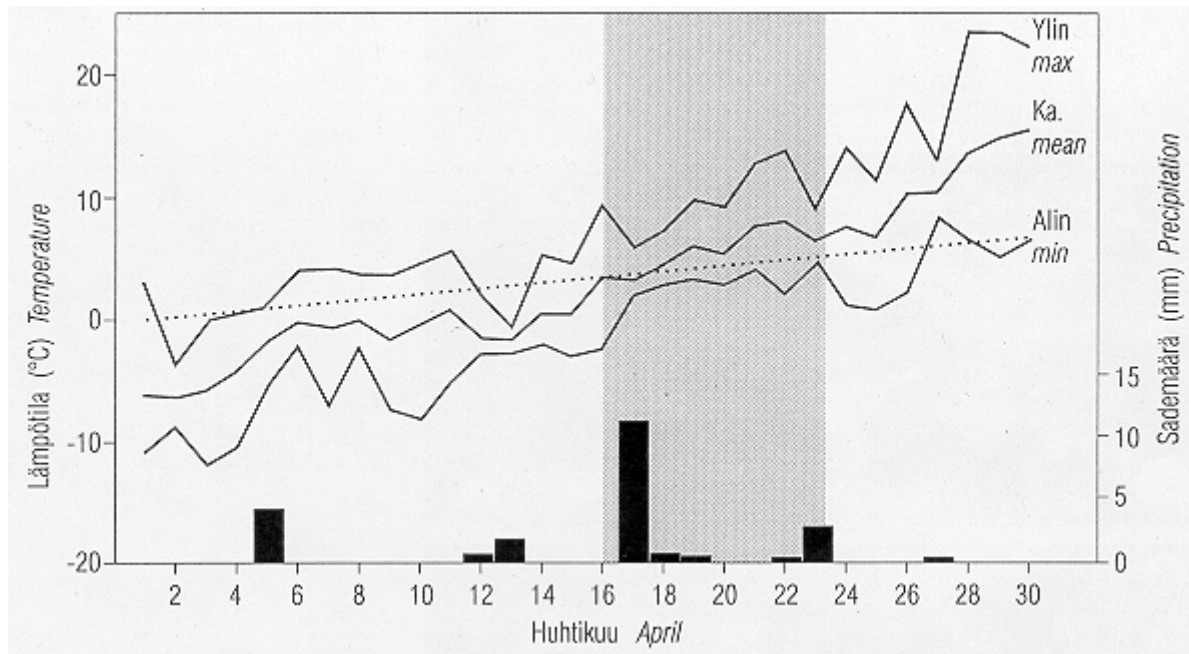
### Huhtikuun sääolot ja alkukesän ukkossateet

Huhtikuu oli lämpöoloiltaan kokonaisuudessaan lähes normaali koko eteläisessä Suomessa. Kuukauden keskilämpötila oli Kaisaniemen havaintoasemalla  $2,7$  °C. Tämä on  $0,4$  °C alempi kuin pitkän ajan keskiarvo. Helsinki-Vantaan lentoaseman keskiarvo  $2,9$  °C on puolestaan sama kuin pitkän ajan keskiarvo. Huhtikuu oli normaalia kuivempi, sillä kuukauden kokonaissademäärät,  $24$  mm Helsinki-Vantaan lentoasemalla ja  $25$  mm Kaisaniemessä, ovat vain  $65$  ja  $68$  prosenttia pitkän ajan keskiarvoista (*Ilmastokatsaus...* 1998b).

Kuukauden alkupuolen lämpötila oli hieman normaalia alhaisempi. Muutamana päivänä vuorokauden maksimilämpötilakin jäi nollan alapuolelle ja öisin oli jopa yli  $-10$  °C:een pakkasia (kuva 2). Tämän vuoksi maaliskuun lopulla alkanut lumen sulaminen pysähtyi käytännössä kahden viikon ajaksi. Lämpeneminen alkoi kuukauden puolivälissä ja maksimilämpötilat olivat ensimmäisen havaintojakson loppupäivinä jo yli  $10$  °C. Kun myös yön minimilämpötilat kohosivat huhtikuun 17. päivästä alkaen  $0$

°C:een yläpuolelle, lumen sulaminen edistyi nopeasti aiheuttaen purossa tulvan. Varsinaisen tutkimusjakson päätyttyä lämpötila kohosi ja oli 28. huhtikuuta Helsinki-Vantaan havaintoasemalla 23,1 °C ja Kaisaniemessäkin 20,8 °C (*Ilmastokatsaus... 1998b*).

Koko huhtikuun havaintojaksoa edeltävä talvi oli melko vähäluminen, sillä lauhat sääjaksot sulattivat lumipeitettä sekä tammi- että helmikuussa aiheuttaen talvitulvia Mellunkylänpurossa samoin kuin läheisessä Vantaanjoessakin (Pasanen 1998). Niinpä lunta oli Kaisaniemen havaintoasemalla maaliskuun puolivälissä vain seitsemän senttimetriä, kun kauden 1961-1990 keskiarvo oli 32 senttimetriä (*Ilmastokatsaus... 1998a*).



Kuva 2. Huhtikuun lämpötilat ja sademäärät. Ylin viiva kuvaa vuorokauden maksimilämpötilaa, keskellä oleva viiva keskilämpötilaa ja alin viiva minimilämpötilaa. Pisteviiva esittää pitkänajan keskilämpötilaa huhtikuussa. Lämpötilat on mitattu Helsinki-Vantaan lentoasemalla. Varjostettu alue esittää jaksoa, jolloin kevättulvanäytteet kerättiin.

*Figure 2. Temperature variations (Helsinki- Vantaa) and precipitation in April. The uppermost line shows daily maximum temperatures, the middle line mean temperatures and the lowest line minimum temperatures. The dotted line show the long-term averages of mean temperatures. The shaded area represents the period when spring flood samples were collected.*

Huhtikuun havaintojakson alkaessa lumet olivat jo sulaneet melko vähiin aukeilta mailta. Helsingin Kaisaniemen havaintoasemalla lunta oli 15. huhtikuuta kaksi senttimetriä (*Ilmastokatsaus... 1998b*). Tutkimusalueen metsissä sen sijaan oli vielä melko runsaasti lunta. Tilanne oli siinä suhteessa varsin normaali, sillä Solantien (1987) mukaan pysyvä lumipeite häviää Helsingin seudulla aukeilta mailta keskimäärin 20. huhtikuuta ja metsistä keskimäärin 30. huhtikuuta. Huhtikuun alkupuolen sademäärät jäivät hyvin pieniksi ja tulivat osin lumena. Suurin yksittäinen sade oli 17. huhtikuuta, jolloin tutkimusalueella satoi 12 mm vettä. Se sai aikaan varsinaisen lumensulamajakson korkeimman tulvahuipun Mellunkylänpurossa.

Kevättulvajakson jälkeen alueella oli muutamia ukkossateita. Ne aiheuttivat purossa lyhyitä mutta voimakkaita tulvia. Niistä 11. kesäkuuta sattuneen ensimmäisen ja tässä työssä tarkemmin käsitellyn tulvan aiheuttaneen ukkosen aikana satoi 10 mm vettä. Myöhemmin heinäkuun alussa sattuneen voimakkaan ukonilman aikana vettä satoi peräti 40 mm, mistä oli seurauksena puron mittasuhteisiin nähden raju tulva.

## Virtaamavaihtelu

Tutkimuksen alkaessa virtaama oli mittapadolla 85 l/s ja vuorokausivaihtelu vähäistä. Lumen nopea sulaminen ja virtaamien kasvu käynnistyivät äkisti 17. huhtikuuta kello 10 alkaneen sateen seurauksena. Noin neljä tuntia kestäneen sateen aikana vettä tuli yhteensä 12 mm ja siitä valtaosa heti sateen alussa. Sadevesi yhdessä lumensulamisvesien kanssa aiheutti purolla nopean tulvan. Se saavutti huippunsa kello 22 eli 12 tuntia sateen alkamisesta (ks. kuvat 3 A ja B sekä 5).

Tulvahuipun aikana suurin mitattu virtaama oli 529 l/s. Saavutettuaan huipun virtaama kääntyi nopeasti laskuun ja vuorokauden kuluttua virtaama oli laskenut arvoon 200 l/s (ks. kuva 5). Seuraavien päivien aikana virtaamassa oli nähtävissä pienille valuma-alueille tyypillinen vaihtelu, joka aiheutui lämpötilan vuorokausivaihtelusta (vrt. Burt & Gardiner 1984; Tikkanen 1990). Vuorokauden sisäinen vaihtelu seurasi viiveellä lämpötilan vuorokausivaihtelua siten, että virtaama saavutti huippunsa noin kello 19-21 ja minimiarvonsa noin kello 12-15. Vaihtelu oli suurinta heti sadehuipun jälkeisessä vaiheessa ja pieneni vähitellen tutkimusjakson loppua kohti. Lämpötilan aiheuttama vuorokauden sisäinen virtaamavaihtelu oli alussa yli 100 l/s, mutta tutkimusjakson lopussa enää noin 30 l/s.

Virtaamavaihtelua seurattiin lisäksi yhden ukkossateen aiheuttaman tulvan aikana 11.-12. kesäkuuta. Sateen alkaessa kello 19.45 virtaama oli purossa 21,5 l/s. Sade kesti 1,5 tuntia ja yhteensä 10 mm:n sateesta puolet tuli kello 20-20.30. Sateen vaikutus näkyi virtaaman nopeana kasvuna ja virtaamahuippu saavutettiin noin kello 21.45 eli vain kaksi tuntia sateen alkamisen ja puoli tuntia sateen päättymisen jälkeen. Suurin virtaama oli nyt 748 l/s eli selvästi suurempi kuin lumensulamisjaksolla vaikka sademäärä oli pienempi eikä lisänä ollut lumen- sulamisesta vapautuneita vesiä. Tulvahuipun jälkeen vesimäärä laski nopeasti ja viiden tunnin kuluttua virtaama oli enää 112 l/s (ks. kuva 6).



Kuva 3. Virtaamat Mellunkylänpuron mittapadolla ennen tulvan alkua 16.4. (A) ja tulvan nousuvaiheessa 17.4. (B). (Valokuvat kirjoittajan)

*Figure 3. Discharges of Mellunkylänpuro at the measuring weir. Photographed on April 16, 1998 before (A) and on April 17, 1998 during (B) the springflood season. All photographs by the author.*

Suurin tulva purossa oli 3. heinäkuuta, jolloin iltpäivällä alkaneesta ja runsaasti suurikokoisia rakeita sisältäneestä sateesta (40 mm) pääosa tuli parin tunnin aikana. Tämä aiheutti purolla tulvan, jossa virtaama oli parhaimmillaan arviolta jopa yli 3000 l/s (kuva 4 A ja B). Tarkkaa arvoa virtaamasta ei saatu, koska vesi ei mahtunut mittapadon purkuaukkoon, vaan virtasi osin sen ohitse. Tulva myös vaurioitti puroon rakennettua mittapatoa sekä rikkoi ylempänä maantiesillan ja aiheutti uomanpenkereiden sortumisia (kuva 4 C ja D). Siltavaurio syntyi, kun puron kuljettama puuaines ja muut roskat tukkivat osittain siltarummut, jolloin nopeasti nousseet tulvavedet huuhtoivat mennessään siltapenkereen maa-aineksen.



Kuva 4. Ukkossateen aiheuttama tulva ja sen seuraukset Mellunkylänpurossa 3.7.1998. A) Virtaama mittapadolla on yli 3000 l/s. B) Puro on laajentunut 10 metriä leveäksi virraksi Itäväylän alapuolella. C) Puroon sortunutta puustoa Ojapuistonkosken alapuolella. D) Tulvan rikkoma silta Ojapuistonkosken yläpuolella. (Valokuvat kirjoittajan)

*Figure 4. Flash flood and its consequences after a heavy thunderstorm on the lower reaches of Mellunkylänpuro on July 3, 1998. A) Maximum discharge more than 3000 l/s at the measuring weir. B) The flooded stream is 10 meters in width on the lower course of Mellunkylänpuro. C) Collapsed trees in the stream following an accelerated flood erosion downstream from Ojapuistonkoski. D) The flood has destroyed the bridge upstream from Ojapuistonkoski. All photographs by the author*

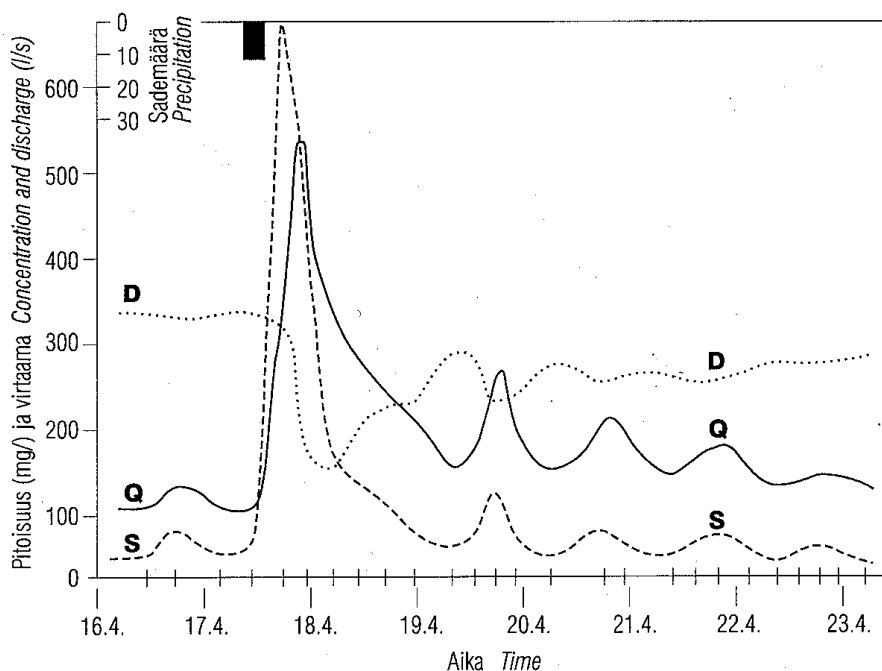
### Ainepitoisuudet puron alajuoksulla

Ennen lumensulamajakson alkua veden kiintoainepitoisuus oli 26 mg/l. Pitoisuus kääntyi jyrkkään nousuun pian sateen alkamisen jälkeen ja saavutti huippunsa (672 mg/l) viisi tuntia sateen päättymisen jälkeen, mutta kolme tuntia ennen virtaamahuippua. Pitoisuushuipun jälkeen arvot piettenivät vieläkin nopeammin kuin virtaama-arvot ja laskivat runsaassa vuorokaudessa arvoon 36 mg/l. Tämän jälkeen pitoisuudessa oli samankaltaista, vuorokauden sisäistä vaihtelua kuin virtaamassakin. Kuitenkin vain ensimmäisen vuorokausihuipun aikana pitoisuus ylitti enää arvon 100 mg/l (kuva 5). Jakson loppuaikana pitoisuusarvot olivat 20-50 mg/l. Havaintosarjan päättyessä kiintoainepitoisuus oli enää 16 mg/l eli suuremmasta virtaamasta huolimatta alemmalla tasolla kuin tutkimusjakson alussa. Vuorokauden sisäinen vaihtelu pieneni tasaisesti jakson loppua kohti.

Hehkutuskevennyksenä määritelty orgaanisen aineksen osuus oli 12,9-47,1 prosenttia. Pitoisuus oli alhaisin tulvahuippujen aikana ja korkein havaintojakson alussa ja lopussa alhaisten virtaamien yhteydessä. Yli 1000 mg/l pitoisuuksilla orgaanisen aineksen osuus jää Ketolan (1996) mukaan Mellunkylänpurossa alle 10 prosentin.

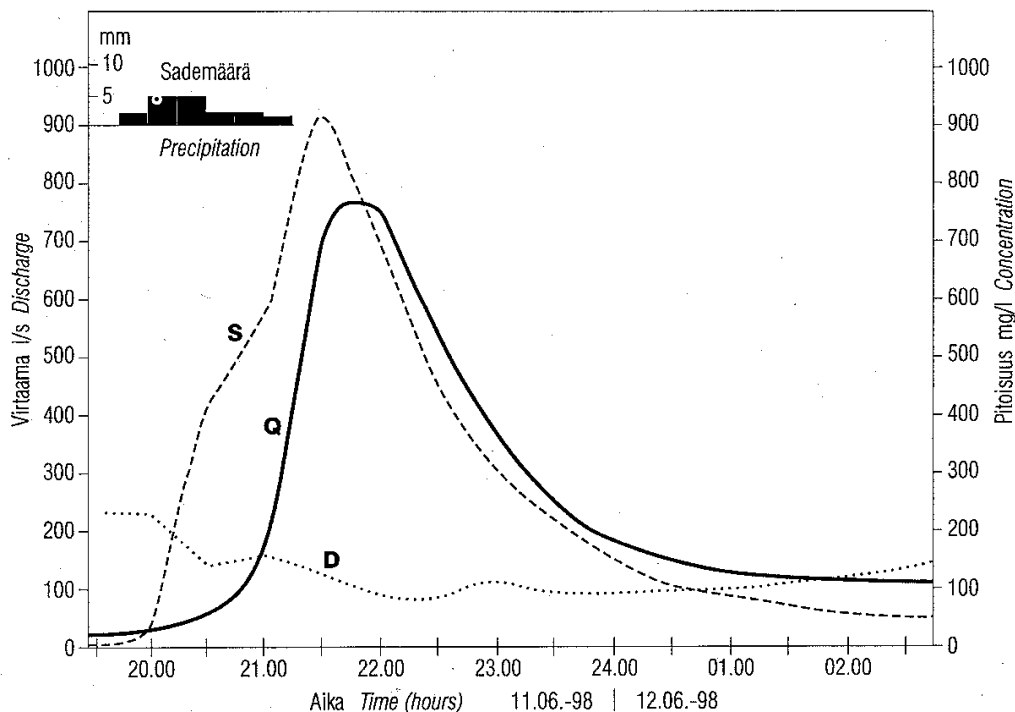
Liuenneiden aineiden kokonaispitoisuuden vaihtelu poikkesi suuresti kiintoainepitoisuuden vaihtelusta. Ennen tulvan alkua liuenneiden aineiden pitoisuus oli korkein (325 mg/l) koko jaksolla (kuva 5). Tulvan alettua pitoisuudet laskivat nopeasti ja minimiarvo, 138 mg/l, saavutettiin kahdeksan tuntia suurimman tulvahuipun jälkeen. Tämän jälkeen pitoisuudet alkoivat taas nousta ja noin vuorokauden kuluttua minimistä ne olivat 210-270 mg/l. Varsinkin ensimmäisten päivittäisten virtaamamaksimien vaikutus näkyi selvänä liuenneiden aineiden pitoisuuslaskuna, mutta havaintojakson

loppua kohti vuorokauden sisäinen vaihtelu pieneni. Kokonaisuutena pitoisuusarvot jatkoivat kuitenkin nousua havaintojakson loppua kohti, mutta jäivät lopussakin (267 mg/l) selvästi lähtötasoa alemmaksi.



Kuva 5. Virtaaman (Q), suspension (S) ja liuenneiden aineiden (D) pitoisuuden vaihtelu kevättulvajaksolla huhtikuussa 1998. Näytteenoton ajankohdat on merkitty poikkiviivoilla.

Figure 5. Variations in discharge (Q) and the concentrations of suspended solids (S) and dissolved substances (D) during the spring quick flow season in April 1998. Sampling times are indicated with crosslines.

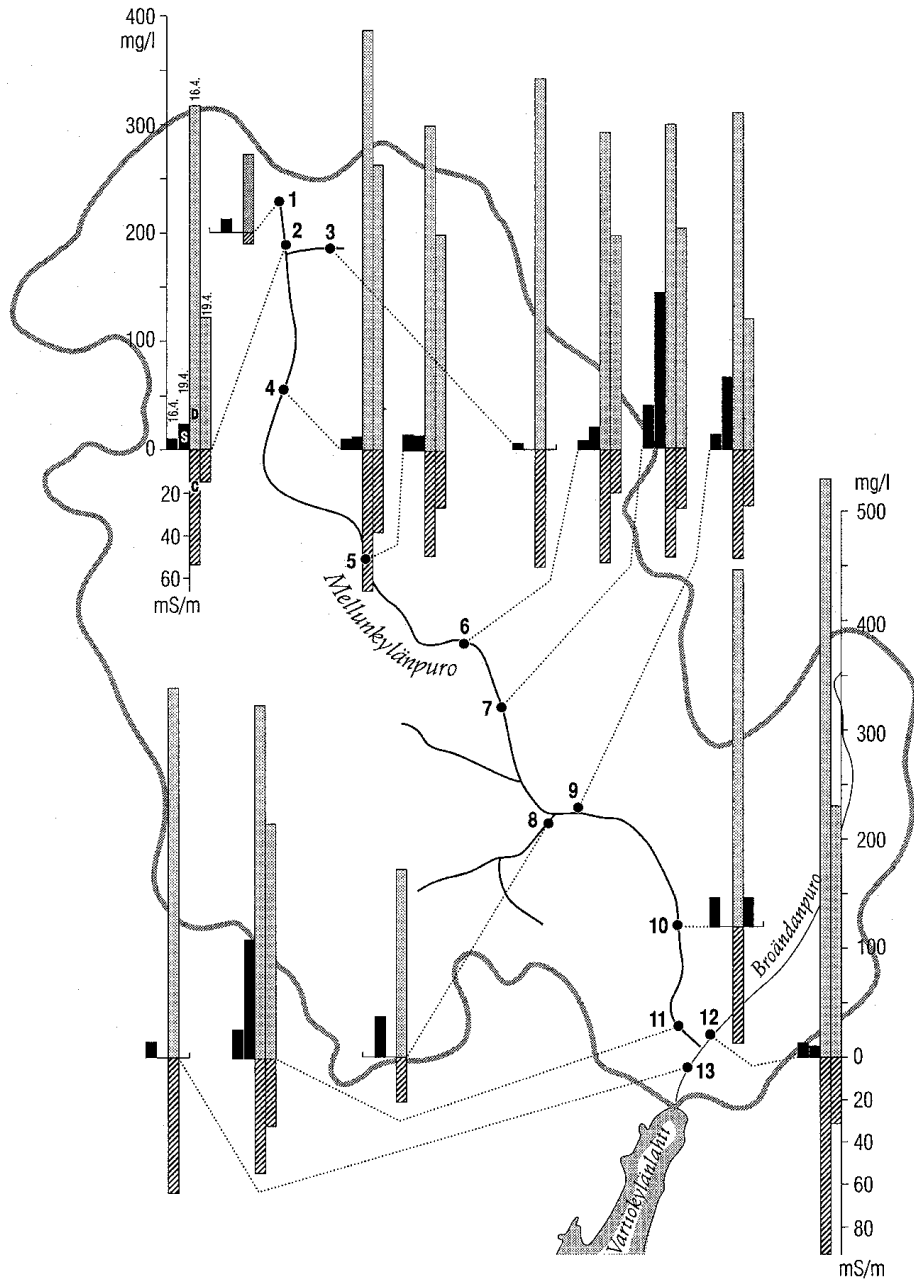


Kuva 6. Virtaaman (Q), suspension (S) ja liuenneiden (D) aineiden vaihtelu ukkossateen aiheuttaman tulvan yhteydessä kesäkuussa 1998. Näytteenoton ajankohdat on merkitty poikkiviivoilla.

Figure 6. Variations in discharge (Q) and the concentrations of suspended solids (S) and dissolved substances (D) following a thunderstorm in June 1998. The sampling times are indicated with cross lines.



Veteen ionisoituneiden aineiden kokonaismäärää kuvastavat sähkönjohtavuusarvot noudattelivat odotusten mukaisesti liuenneiden aineiden pitoisuusvaihtelua. Suurin arvo, 53,5 mS/m, mitattiin havaintosarjan alussa ennen tulvaa. Minimiarvo 22,0 mS/m mitattiin kaksi tuntia suurimman tulvahuipun jälkeen. Sateen nostattaman suurimman tulvahuipun mentyä ohi sähkönjohtavuusarvot kohosivat keskimäärin havaintojakson loppua kohti ja olivat 30,0-38,5 mS/m.



Kuva 7. Ainepitoisuudet ja sähkönjohtavuus Mellunkylänpuron valuma-alueen eri osissa 16.4. ja 19.4. 1998. Musta (S) = suspensiopitoisuus, pisteytetty (D) = liuenneiden aineiden pitoisuus, vinoviivoitettu (C) = sähkönjohtavuus. Puuttuva havainto näkyy aukkona kyseisen havaintopäivän kohdalla.

Figure 7. Water quality readings for isolated samples collected from different parts of the drainage basin on April 16 and April 19, 1998. Black (S) = suspended solids, stippled (D) = dissolved substances, hatched (C) = electrical conductivity.

Kesäkuun ukkossateen nostattama tulva aiheutti voimakkaita muutoksia varsinkin kiintoainepitoisuuksissa. Ennen tulvan alkua kiintoainetta oli vedessä 22 mg/l, mutta 30 minuutin kuluttua pitoisuus oli jo 415 mg/l (kuva 6). Suurin pitoisuus (913 mg/l) mitattiin tunnin ja 45 minuutin kuluttua sateen

alkamisesta hiukan ennen tulvahuippua. Pitoisuushuippu oli siis korkeampi kuin lumensulamajakson aikana. Virtaamahuipun aikana kiintoainepitoisuus oli jo kääntynyt laskuun ja tunnin kuluttua virtaamahuipusta pitoisuus oli laskenut arvoon 302 mg/l. Vajaan viiden tunnin kuluttua virtaamahuipusta kiintoainepitoisuus oli enää 47 mg/l eli vain viisi prosenttia tulvan huippupitoisuudesta.

Hehkutuskevennyksenä saatu orgaanisen aineksen määrä kiintoaineessa oli ennen tulvaa 28,2 prosenttia. Tulvahuipun ja suurimpien kiintoainepitoisuuksien aikaan orgaanista ainesta oli sedimentissä alimmillaan 11,4 prosenttia. Tulvahuipun jälkeen orgaanisen aineksen osuus kasvoi, ja lopussa sen osuus oli jo 36,2 prosenttia.

Liuenneiden aineiden pitoisuus laski tulvan alkaessa puolessa tunnissa arvosta 222 mg/l arvoon 143 mg/l. Seuraavan puolen tunnin kuluttua pitoisuus kohosi (154 mg/l), mutta laski pian uudelleen. Se saavutti miniminsä 2,5 tuntia tulvan alun ja puoli tuntia virtaamahuipun jälkeen. Tämän jälkeen pitoisuusarvot alkoivat kohota hitaasti, niin että havaintojakson päättyessä lukema oli 127 mg/l. Sähkönjohtavuusarvo oli ennen tulvaa 31,6 mS/m, mistä se laski tulvahuipun aikana arvoon 7,5 mS/m ja nousi jälleen lopussa arvoon 17,4 mS/m.

### **Pitoisuuksien alueellinen vaihtelu**

Valuma-alueen eri osista otetut näytteet osoittavat, että Mellunkylänpuron kiintoainepitoisuudessa on samankaltaisia huomattavia alueellisia eroja kuin maaseutualueellakin (ks. Tikkanen 1990) ja että pitoisuus kasvaa keskimäärin puron latvoilta alajuoksulle. Muutos ei kuitenkaan ole tasaista, vaan pitoisuus nousee ja laskee välillä nopeasti. Ennen kevättulvaa (16.4.) otetun näytesarjan pienin kiintoainepitoisuus, 3,8 mg/l, mitattiin Fazerilan tehdasalueelta tulevasta ojasta (kuva 7, piste 3), jossa virtaa pääosin tehtaan lauhdevesiä. Suurin arvo (38,8 mg/l) taas saatiin pisteestä 7. Se sijaitsee Mellunmäen metroaseman alapuolella paikassa, jonka yläpuolella purouomaa on siirretty uuden tien rakennustöiden yhteydessä sivuun entiseltä paikaltaan. Korkea pitoisuus aiheutuu pääosin uoman siirtämisestä, sillä tietyökohdan yläpuolella (piste 6) pitoisuus oli vain 6,8 mg/l. Ennen mereen laskemista (piste 13) kiintoainepitoisuus oli 15,6 mg/l. Pitoisuutta alensivat alajuoksulla Broändanpurosta tulevat vedet (piste 12), joiden kiintoainepitoisuus oli vain 13,5 mg/l.

Kolme päivää myöhemmin otetun toisen sarjan näytteet otettiin kevättulvajaksolta heti suurimman tulvahuipun mentyä ohi. Virtaama mittapadolla oli tuolloin 230 l/s. Lähes kaikissa havaintopisteissä kiintoainepitoisuudet olivat selvästi korkeampia kuin ensimmäisellä näytteenottokerralla. Korkein kiintoainepitoisuus mitattiin nytkin pisteestä 7, josta saatiin arvo 142,5 mg/l. Koska tietyön yläpuolelta pisteestä 6 otetun näytteen pitoisuus oli vain 20,0 mg/l, on selvää että pääosa kiintoaineesta oli jälleen peräisin puron siirretyltä uomaosuudelta. Tietyökohdan alapuolella pitoisuus laski jo pisteessä 9 arvoon 65,0 mg/l, mutta nousi uudelleen mittapadolla (piste 11) arvoon 104 mg/l. Alhaisin arvo (9,0 mg/l) mitattiin Broändanpurosta (piste 12).

Liuenneiden aineiden pitoisuus oli ennen tulvaa kaikissa havaintopisteissä selvästi korkeampi kuin tulvajaksolla. Ennen tulvaa mitatuista arvoista korkein (554 mg/l) oli Broändanpuron (piste 12) näytteessä. Muuten pitoisuudet olivat 292-384 mg/l. Broändanpuron korkea arvo johtuu siitä, että puronvarret ovat kohonneet merestä vasta äskettäin, joten maaperän sedimenteissä on vielä runsaasti merivedestä peräisin olevia suoloja, ja pitoisuutta lisää vielä se, että alavimmat osat puron varsista jäävät vieläkin korkean merivesivaiheen aikana lyhytaikaisesti veden peittoon. Sähkönjohtavuusarvot olivat valuma-alueen eri osissa 49,591,8 mS/m.

Tulvajakson näytesarjassa liuenneiden aineiden pitoisuudet olivat 72-261 mg/l - toisin sanoen ne olivat edellisen havaintosarjan minimiarvoa pienempiä. Selvästi alhaisin arvo (72 mg/l) mitattiin Slättmossenin suolta tulevasta ojasta (piste 1). Suurin (261 mg/l) taas saatiin puron latvoilta pisteestä neljä. Kyseinen paikka sijaitsee Porvoon moottoritien alapuolella. Selityksenä korkeaan pitoisuuteen on mitä ilmeisemmin tiesuolaus, josta peräisin olevat suolat nostivat liuenneiden aineiden määrää (vrt. Ketola 1996). Tulvavedet olivat sen sijaan laimentaneet Broändanpuron pitoisuuden lähes puoleen edellisestä kerrasta. Sähkönjohtavuus oli poikkeavan alhainen (3,6 mS/m) Slättmossenin suovesinäytteessä (piste 1). Muuten johtavuus oli 15,2-38,5 mS/m.

## Keskustelu

Mellunkylänpuron valuma-alue oli vielä puoli vuosisataa sitten pääosin metsien peitossa. Peltoja ja haja-asutusta oli tuolloin vain jonkin verran. Nykyinen valuma-alue on valtaosin rakennettua ja siten monin tavoin keinotekoista. Puron vaikutuspiirissä on kuitenkin yhä myös maaseutumaisia, metsien, puistojen ja peltojen peittämiä alueita.

Itse purossa ei ole juuri luonnontilaisia osuuksia, vaan uomaa on ruopattu ja oiottu suuresti. Ainoastaan Aarrepuiston koskiosuudella puro virtaa glasifluviaalisiin kerrostumiin syntyneessä laaksossa suunnilleen alkuperäisessä uomassaan. Paikoin puroa on siirretty huomattavasti alkuperäiseltä paikaltaan ja keskijuoksulla purovedet on ohjattu satojen metrien matkalta viemäritunneleihin. Valuma-alueen kaupungistuminen, purouoman muutokset sekä sadevesiviemärointi lisäävät selvästi puroveden virtausnopeutta ja voimistavat eroosiota (Hall 1984: 112).

Mellunkylänpuron virtaamavaihtelu on normaalisti nopeaa ja äärevää, mutta vaihtelussa on huomattavia eroja. Esimerkiksi kevään lumensulamisjaksolla sattuneen sateen aiheuttama tulvahuippu saavutettiin noin kahdeksan tuntia sateen päättymisestä ja 12 tuntia sateen alkamisesta, mutta kesällä ukkossateen aiheuttama tulvahuippu saavutettiin jo vajaan tunnin kuluttua sateen lakkaamisesta ja vain kaksi tuntia sateen alkamisesta. Kesällä samansuuruinen sade aiheuttikin selvästi korkeamman tulvahuipun kuin lumensulamisjaksolla, jolloin lumi hidasti selvästi veden liikettä valuma-alueelta uomiin.

Lämpötilan vuorokausivaihtelun aiheuttaman tulvahuipun viive lumensulamisjakson lopulla muistutti maaseutupurojen viivettä (vrt. Tikkanen 1990). Tähän vaikutti tutkimusjaksolla erityisesti se, että lunta oli tuolloin lähinnä metsäisillä alueilla, mistä sulamisvesien ehtiminen uomiin vie pidemmän ajan. Viemäroidyiltä asuntoalueilta lumet olivat jo käytännöllisesti katsoen sulaneet pois, eikä sieltä näin ollen tullut enää tulvaa aiheuttavia sulamisvesiä. Vuorokauden sisäisen lämpötilavaihtelun virtaamia nostava vaikutus tuntui vasta iltapäivällä. Virtaamahuippu oli yleensä kello 19-22.

Kesällä tulva nousi ja laski selvästi nopeammin kuin lumensulamisvaiheen tulvissa. Jo verraten pienet sateet aiheuttivat merkittäviä tulvatilanteita (vrt. Goudie & Viles 1997: 140). Kesäsateen nostattaman tulvan nousuvaihe kesti vain vajaat pari tuntia ja varsinainen tulva oli kokonaisuudessaan ohi 4-5 tunnissa. Tämä on selvästi vähemmän kuin pienissä maaseutupuroissa. Esimerkiksi Mellunkylänpuroa valuma-alueeltaan pienemmässä Lammin Koiransuolenojassa pelkkä nousuvaihe voi kestää viisi tuntia ja koko tulva 12 tuntia (Tikkanen 1990).

Kaupunkipurojen virtaamia nopeuttavia tekijöitä ovat muun muassa kasvillisuuden poisto, sadevesiviemärointi, vettä läpäisemättömät rakennusten katot, päällystetyt katu- ja piha-alueet sekä purouomaston oikominen ja ruoppaus (Delleur 1982; Ketola ym. 1998). Mellunkylänpurolla virtaamaa nopeuttavia tekijöitä ovat lisäksi vettä varastoivien altaiden puute, huonosti vettä imevien savikoiden ja kallioiden huomattava osuus valuma-alueen pinta-alasta sekä purottoman kynnysten ruoppaukset ja suhteellisen voimakas gradientti.

Virtaamien tapaan myös kiintoainepitoisuudessa ilmeni nopeaa vaihtelua. Suurin havaittu pitoisuus (913 mg/l) esiintyi ukkossateen nostattaman tulvan alkuvaiheessa. Pitoisuushuippu ajoittuikin aina ennen virtaamahuippua. Tämä johtuu siitä, että tulvan alkuvaiheessa suspensiokuormaa lisää uoman pohjalle rauhallisen virtaaman aikana sedimentoitunut aines, joka lähtee helposti liikkeelle virtaaman voimistuessa. Myös kaduilta huuhtoutuva hienoaines joutuu nopeasti viemärihulevesien mukana uomiin. Suspension ohella kiintoainetta kulkeutuu myös huomattavasti pohjakuljetuksena, jonka vaikutuksesta esimerkiksi mittapadon yhteyteen vuonna 1995 kaivettu pysähdysallas täyttyi sedimentistä pääosin jo vajaan vuoden kuluessa. Kesällä 1998 uudelleen ruopattu allas täyttyi jo saman vuoden syysateiden nostattamien tulvien yhteydessä.

Mellunkylänpurossa on esiintynyt tilapäisesti jopa yli 3000 mg/l kiintoainepitoisuuksia (Ketola 1996). Huippupitoisuudet liittyivät kuitenkin tulvajaksoihin, joiden aikana itse purossa oli meneillään ruoppauksia. Myös tämän tutkimuksen yhteydessä oli selvästi nähtävissä, että keskijuoksulla ollut uomanmuutostyö nosti voimakkaasti kiintoainepitoisuutta.

Huippupitoisuuksia Mellunkylänpurossa esiintyy kuitenkin normaalisti vain hetkellisesti. Niiden esille saaminen vaatii tiheään toistuvaa havainnointia. Toistuvien tulvahuippujen yhteydessä pitoisuudet ovat korkeimpia aluksi ja pienenevät myöhempien tulvahuippujen aikana, koska huuhtoutuminen kuljettaa

ensin pois helpoimmin irtoavan materiaalin. Lumensulamisjaksolla pitoisuudet eivät nousseet aivan huippulukemiin, koska lumi heikentää tehokkaasti pintahuuhtoutumista ja maa on usein vielä roudassa (vrt. Hartikainen 1992). Joka tapauksessa erityisesti kiintoainekuljetuksesta valtaosa tapahtuu lyhytaikaisten tulvahuippujen yhteydessä (vrt. Schmidt 1981; Tikkanen ym. 1985).

Liuenneiden aineiden pitoisuudet ja sähkönjohtavuusarvot vaihtelevat kiintoainepitoisuutta vähemmän ja muutokset ovat usein käänteisiä kiintoainepitoisuuden vaihteluun verrattuna. Pitoisuudet ovat korkeimpia pienillä virtaamilla, mutta laskevat nopeasti tulvahuippujen aikana. Tosin aivan tulvan alussa pitoisuudet voivat hetkellisesti myös nousta (vrt. Tikkanen 1990). Kaupunkialueella tähän on syynä mm. kaduilta huuhtoutuvien suolojen vaikutus. Ketola (1996) on todennut tiesuolauksen nostavan selvästi liuenneiden aineiden pitoisuutta Mellunkylänpurossa. Sama vaikutus oli nähtävissä myös tämän tutkimuksen yhteydessä erityisesti Porvoon moottoritien alapuolisella osuudella. Natriumia voi olla kaupunkipurojen vedessä keväisin jopa yli 400 mg/l (Ketola 1996; Ruth 1997; Ketola ym. 1998).

Kokonaisuutena liuenneiden aineiden pitoisuudet olivat tutkimusjaksoilla korkeampia kuin esimerkiksi Lammin pienissä puroissa (vrt. Tikkanen ym. 1985; Tikkanen 1990), mutta ne vastaavat melko hyvin Lounais-Suomen savikkoalueilta saatuja arvoja (Mansikkaniemi 1982; Peltonen 1996). Pitoisuudet olivat kuitenkin pienempiä kuin Mellunkylänpurossa keskimäärin (vrt. Ketola 1996: 97). Tämä johtuu siitä, että liuenneiden aineiden pitoisuudet ovat yleensäkin pienimmillään kevättulvan jälkeisessä vaiheessa (Tikkanen ym. 1985; Tikkanen 1990; Peltonen 1996), johon nyt tehdyt havainnot ajoittuvat. Alhaisimmat pitoisuudet mitattiin kuitenkin ukkossateen nostaman tulvan aikana, jolloin nopeasti puroon virranneet vedet eivät ehtineet huuhtoa mukaansa liukoisia aineita. Broändanpuron korkeat pitoisuudet johtuvat pääosin siitä, että merivesi nousee ajoittain valuma-alueen alimpiin osiin.

Tulvilla on hyvin suuri merkitys kaupunkipurojen vuotuisessa ainekuljetuksessa, koska virtaamat ja varsinkin kiintoainepitoisuudet nousevat niiden aikana korkeiksi. Huolimatta tulvien lyhyestä kestosta niiden aikana tapahtuu merkittävä osa vuotuisesta kuljetuksesta. Ravinteista erityisesti suspensioainekseen sitoutuneen fosforin, mutta myös typen pitoisuudet nousevat voimakkaasti tulvien yhteydessä (Tikkanen 1990). Lumeen talven aikana kertyneet epäpuhtaudet kulkeutuvat ensimmäisten sulamisvesien aikana puroihin ja muuttavat nopeasti veden laatua (Ketola ym. 1998).

Rankkasateiden nostattamat tulvat saattavat aiheuttaa myös huomattavaa vahinkoa silloin, kun viemäritunneleiden mitoitus on riittämätön. Tästä on hyvänä osoituksena heinäkuun alussa sattunut ukkossateen aiheuttama tulva, joka rikkoi puron keskijuoksulla maantiesillan ja huuhtoi pois maa-ainesta purovarren kevyen liikenteen väyliltä. Samantyyppinen tilanne syntyi elokuussa myös Helsingin Mätäjoella, kun roskat ja sortuva maa-aines patosivat tulvajärven, joka tunkeutui rakennuksiin ja uhkasi sortaa mittavan maantienkereen.

Mikäli rakentaminen jatkuu, Mellunkylänpuro pysyy epävakaaassa tilassa (vrt. Wolman 1967; Neller 1988). Sen fluviaaliset prosessit tulevat entistäkin äärevämmiksi, ellei puroon rakenneta virtaamia tasoittavia altaita tai kosteikkoja. Varsinkin kaivetut uomanosat kuluvat nopeasti voimakkaiden tulvahuippujen yhteydessä. Mellunkylänpuron uoman äyräillä onkin tapahtunut jopa pieniä maanvieremiä. Kulutusta ja kiintoaineen kulkeutumista mereen voitaisiin pienentää rakentamalla pohjapatoja ja tekoaltaita sekä ohjaamalla purovedet alajuoksun alkuperäiseen uomaansa, jolloin sedimenttiainesta kerrostuisi merta lähellä olevalle kosteikkoalueelle.

## Johtopäätökset

Mellunkylänpuron kaltaiset pienvesistöt valuma-alueineen sopivat hyvin tutkimuskohteiksi silloin, kun halutaan selvittää nopean kaupungistumisen ja siihen liittyvän ympäristön muutoksen vaikutuksia hydrologisiin prosesseihin. Vaikka tämän tutkimuksen aineisto on pieni ja koskee pääosin vain kahden erilaisen tulvajakson seuranta, joitakin kaupunkipuroille tyypillisiä piirteitä voidaan saatujen tulosten perusteella erottaa:

1. Lumensulamisjaksolla vesisateen voimistaman tulvan aikana virtaama nousee selvästi hitaammin kuin kesäsateen aiheuttamassa tulvassa. Kesällä jo 10 millimetrin sademäärä kaupunkiympäristössä saa aikaan korkean mutta lyhytkestoisien tulvan. Kesätulva on ohi viidessä tunnissa. Lumensulamisjaksolla vesisateen vaikutus näkyy tulvassa lähes kaksi vuorokautta.

2. Varsinkin kiintoainespitoisuuden vaihtelu on kaupunkipurossa suurta ja nopeaa. Kesäsateen seurauksena pitoisuus saavuttaa huippunsa 1,5 tunnin kuluttua sateen alustaja kasvaa 45-kertaiseksi lähtötasoon verrattuna. Liuenneen aineen pitoisuudet ja sähkönjohtavuusarvot ovat pienimmillään korkeimpien tulvahuippujen jälkipuoliskoilla. Lumi vaimentaa pitoisuusvaihtelua kevättulvan yhteydessä.

3. Keinotekoiset muutokset valuma-alueella ja purouomissa ovat äärevöittäneet hydrologisia olosuhteita. Poikkeuksellisen rankat sateet aiheuttavat helposti vaaratilanteita ja taloudellista vahinkoa, kun äkisti nousevat tulvavedet eivät mahdu vanhoihin rumpuputkiin ja viemäriin. Kaupunkiympäristössä valtaosa puron vuotuisesta ainekuljetuksesta tapahtuu korostetusti hyvin lyhytaikaisten tulvajaksojen aikana. Lukuisat keinotekoiset muutokset valuma-alueella ja varsinkin purouomissa heijastuvat nopeasti tulvajaksojen fluviaalisiin prosesseihin ja veden laatuun. Koska muuttuneiden olosuhteiden vaikutusmekanismeissa on selvää vuodenaikaisvaihtelua, niiden tarkempi tutkiminen vaatii pitkäaikaista seurantaan automatisoitua näytteenottolaitteistoa käyttäen.

## KIRJALLISUUS

- Burt, T.P. & A.T. Gardiner (1984). Runoff and sediment production in a small peat-covered catchment: some preliminary results. *Teoksessa* Burt, T.P. & D.E. Walling (toim.): *Catchment experiments in fluvial geomorphology*, 277-288. Geo Books, Norwich.
- Delleur, J.W. (1982). Introduction to urban hydrology and stormwater management. *Teoksessa* Kilber, D. (toim.): *Urban stormwater hydrology. American geophysical union. Water resources monograph 7*, 1-34.
- Geotekninen karna 1:10 000/GE0 10 M*. Geotekninen osasto, Helsinki 1989.
- Goudie, A. & H. Viles (1997). *The earth transformed. An introduction to human impacts on the environment*. 276 s. Blackwell Publishers, Hong Kong.
- Graf, W.L. (1988). *Fluvial processes in dryland rivers*. 346 s. Springer-Verlag, Berlin.
- Gregory, K.I. & D.E. Walling (1973). *Drainage basin form and process. A geomorphological approach*. 456 s. Edward Arnold, Norwich.
- Hall, M.J. (1984). *Urban hydrology*. 299 s. Elsevier, Belfast.
- Hartikainen, H. (1992). Maatalous ja ympäristönsuojelu. *Teoksessa* Heinonen, R. (toim.): *Maa, viljely ja ympäristö*, 301-334. WSOY, Porvoo.
- Hilkku, V. (1997). Aineskuljetus ja veden laatu Rekolanojassa, Itä-Vantaalla. Pro gradu -tutkielma. 94 s. Maantieteen laitos, Helsingin yliopisto.
- Ilmastokatsaus, maaliskuun 1998 sää* (1998a). Ilmatieteen laitos, Helsinki. 11 s.
- Ilmastokatsaus, huhtikuun 1998 sää* (1998b). Ilmatieteen laitos, Helsinki. 11 s.
- Jalava, H. (1987). Helsingin purot. Helsingin kaupungin ympäristönsuojelulautakunta, julkaisu 5/1987. 97 s. Helsingin kaupunki.
- Keller, E.A. & E.K. Hoffman (1977). Urban streams: sensual blight or amenity? *Journal of Soil and Water Conservation* 32: 5, 237-240.
- Kenttämies, K. & S. Saukkonen (1996). Metsätalous ja vesistö. Yhteistutkimusprojektin "Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta" (METVE) yhteenveto. *Maa- ja metsätalousministeriö, julkaisu 4/1996*. 100s.
- Ketola, T. (1996). Ainekuljetus ja veden laatu Mellunkylänpurossa, Itä-Helsingissä. Pro gradu -tutkielma. 90 s. Maantieteen laitos, Helsingin yliopisto.
- Ketola, T., O. Ruth & M. Tikkanen (1998). Mätäjoki kulkee läpi renkaan ja roinan. Roskat pilaavat mielikuvan kaupunkipurojen laadusta. *Helsingin Sanomat* 16.5.1998, D1.
- Kivinen, Y. (1994). Pienet valuma-alueet sovelletun hydrologian ja ympäristöntutkimuksen työkaluina. Vesi- ja ympäristöhallitus, hydrologian toimisto. Julkaisematon moniste. 5 s.
- Mansikkaniemi, H. (1982). Soil erosion in areas of intensive cultivation in southwestern Finland. *Fennia* 160:2, 225-276.
- Melanen, M. (1981). Quality of runoff waters in urban areas. *Publications of the Water Research Institute* 42, 123-190.
- Neller, R.J. (1988). A comparison of channel erosion in small urban and rural catchments, Armidale, New South Wales. *Earth surface processes and landforms* 13, 1-7,

- Neller, R.J. (1993). The concentration of suspended sediments in Turku catchments: Implications for the quality of Finnish urban runoff. *Aqua Fennica* 23: 1, 111-115.
- Pajala, H. (1989). Savijoen valuma-alueen kiintoaine-erosio. Pro gradu -tutkielma. 54 s. Maantieteen laitos, Helsingin yliopisto.
- Pasanen, E. (1998). Vetinen kesä ei juuri nostanut järvien pintaa. *Helsingin Sanomat* 9.9.1998, D10.
- Peltonen, S. (1996). Maaperäerosio ja pintaveden laatu Unajanjoen valuma-alueen alaosassa Lounais-Suomessa. *Terra* 108: 3, 143-159.
- Ruth, O. (1997). Mätäjoki - nimeään parempi. Kaupunkipuron virtaama, aineskuljetus ja veden laatu sekä valunta-alueen virkistyskäyttö. Pro gradu -tutkielma. 210 s. Maantieteen laitos, Helsingin yliopisto.
- Schmidt, K.H. (1981). Der Sedimentaushalt der Ruhr. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Supplement-Band* 39, 59-70.
- Seuna, P. (1982). Frequency analysis of runoff of small basins. *Publications of the Water Research Institute* 48. 77s.
- Seuna, P. (1983). Small basins - a tool in scientific and operational hydrology. *Publications of the Water Research Institute* 51. 61 s.
- SFS 3022 (1974). *Veden sähkönjohtavuuden määrittäminen*. 4 s. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.
- SFS 3037 (1976). *Veden kiintoaineen määrittäminen*. 3 s. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.
- Solanta, R. (1987). Lumiolos. *Teoksessa* Alalammi, P. (toim.): *Suomen kartasto, vihko 131, ilmasto*, 18-22. Maanmittauslaitos & Suomen Maantieteellinen Seura, Helsinki.
- Tikkanen, M. (1990). Temporal variations in water quality and fluvial erosion in a small drainage basin in southern Finland. *Fennia* 168: 1, 1-29.
- Tikkanen, M., M. Seppälä & O. Heikkinen (1985). Environmental properties and material transport of two rivulets in Lammi, southern Finland. *Fennia* 163: 2, 217-282.
- Vesianalyysitoimikunnan mietintö (1968). *Komiteamietintö B* 19. 355 s.
- Walling, D.E. (1987). Rainfall, Runoff and Erosion of the Land: A Global View. *Teoksessa* Gregory, K.J. (toim.): *Energetics of Physical Environment. Energetic approaches to physical geography*, 90-117. John Wiley & Sons, Chichester.
- WHO (1978). *Water quality surveys. A guide for the collection and interpretation of water quality data*. Unesco, WHO. 350 s. Sydenhams, United Kingdom.
- Wolman, G. (1967). A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. *Geografiska Annaler A* 49, 385-395.