

Vesijärven hulevesikuormitus Lahden kaupunkialueelta

Lahden kaupunki
Tekninen ja ympäristötoimiala
Lahden ympäristöpalvelut
2016

Vesijärven hulevesikuormitus Lahden kaupunkialueelta

Juhani Järveläinen, Ismo Malin & Matti Kotakorpi

Sisällys

1. Johdanto.....	1
2. Hulevesistä ja kuormitusarvioinnista.....	2
2.1 Hulevesitutkimus Suomessa.....	3
2.2 Hulevesien tutkimustarpeet tulevaisuudessa.....	4
3. Arvioinnissa käytetyt menetelmät ja aineistot.....	4
4. Kuormitusarvioinnin tulokset.....	6
5. Yhteenveto ja toimenpide-ehdotukset.....	8
6. Lähteet.....	9

1. Johdanto

Tässä raportissa käsitellään Lahden kaupunkialueelta hulevesiviemäreitä sekä Joutjokea pitkin Vesijärveen tulevaa ravinnekuormitusta. Salpausselän pohjoispuolisilla Lahden kaupunkialueilla muodostuvat hulevedet on pääosin johdettu käsittelemättöminä Vesijärven Enonselälle.

Suuri osa tiiviisti rakennetuilla kaupunkialueilla satavasta vedestä ei imeydy luontaisesti maaperään vaan virtaa alueilta pois johtuen erilaisten vettä läpäisemättömien pintojen kuten teiden, parkkipaikkojen, kattojen ja jalkakäytävien suuresta määrästä. Rakennetuilla alueilla maan pinnalta, rakennusten katoilta tai muilta vastaavilta pinnoilta pois johdettavaa, sateen tai lumen sulamisen seurauksena syntynyttä pintavaluntaa kutsutaan hulevedeksi. Tulvanhallinnallisista syistä hulevedet on perinteisessä kaupunkisuunnittelussa pyritty johtamaan mahdollisimman tehokkaasti pois rakennetuilta alueilta hulevesiviemäreitä pitkin. Hulevesiverkostossa sadevesien mukana vastaanottaviin vesistöihin kulkeutuu kuitenkin monia ihmisen toiminnan jälkeensä jättämiä haitta-aineita, esimerkiksi ravinteita, raskasmetalleja, kiintoainetta, biohajoavaa orgaanista ainesta, ympäristölle haitallisia kemikaaleja sekä patogeenisiä mikro-organismeja. Erityisesti ravinteet aiheuttavat vesistöissä rehevöitymistä eli levä- ja kasvibiomassan kasvua mistä puolestaan seuraa mm. alusveden happiongelmiä, arvokalakantojen taantumista sekä järven virkistyskäyttömahdollisuuksien heikkenemistä esimerkiksi voimakkaiden sinileväkukintojen vuoksi. Lahdessa kaupungin alueelta tulevan hulevesikuormituksen keskittyminen järven kuormittuneimmalle ja heikkokuntoisimmalle Enonselän alueelle on vesiensuojelun kannalta erityisen ongelmallista. On myös todennäköistä että Lahden hulevesikuormitus on osaltaan edesauttanut sen kunnon aikaisempaa heikkenemistä.

Vesijärveen sen lasku-uomista tuleva vuosittainen hajakuormitus on arvioitu vedenlaadun seurantanäytteiden, osavaluma-aluekohtaisten maankäyttöjakaumien ja vuosittaista sadantakeskiarvoa vastaavan valunnan perusteella 7 980 kg fosforia ja 285 700 kg typpeä (Järveläinen *ym.* 2015). Ilmaperäisen laskeuman määräksi on arvioitu laskeumamittausten perusteella 2 130 kg fosforia ja 52 400 kg typpeä vuodessa (Autio ja Malin 2010). Hulevesien Vesijärveen aiheuttamaa ravinnekuormitusta on puolestaan arvioitu suurimmista hulevesiviemäreistä otettujen seurantanäytteiden (Autio 2010) sekä Espoossa määritettyjen eri maankäyttötyypeille ominaisten keskimääräisten ravinnepitoisuuksien avulla (Järvinen 2007). Näiden arvioiden mukaan suurimpien hulevesiviemärien kautta Vesijärveen tuleva vuotuinen ravinnekuormitus on noin 150 – 230 kg fosforia ja 2 200 – 3 700 kg typpeä mikä vastaa noin 1,5 – 2,3 % Vesijärveen kohdistuvasta kokonaisfosfori- ja 0,7 – 1,1 % kokonaistypikuormituksesta.

Koko kaupunkialueelta hulevesien mukana tuleva ravinnekuormitus on kuitenkin tätä suurempi; kaikkiaan hulevettä johdetaan Vesijärveen yli 40 erillisen purkuviemärin kautta. Lisäksi Vesijärveen laskevan Joutjoen valuma-alueesta suurin osa on rakennettua Lahden kaupungin aluetta ja on siten kuormituslähteenä rinnastettavissa muuhun hulevesivaluntaa tuottavaan kaupunkialueeseen. Aution (2010) mukaan kaupungin koko 32 km² valuma-alueelta Vesijärveen tuleva vuotuinen ravinnehuuhtouma olisi suurimpien hulevesiviemäreiden keskimääräisten ravinnepitoisuuksien mukaan laskettuna noin 990 kg fosforia ja 14 200 kg typpeä. Hulevesiviemäriverkosto ei kuitenkaan kata koko valuma-aluetta; hulevesivaluntaa tuottavan kaupunkialueen tarkempi määrittäminen mahdollistaa valunta-arvioiden täsmentämisen. Kertanäytteistä määritettyjen ravinnepitoisuuksien mukaan laskettuja kuormitusarvioita on myös mahdollista tarkentaa uuden paikallisen tutkimustiedon myötä. Kuormitusarvioinnin tuloksia voidaan hyödyntää Vesijärven suojelutoimenpiteiden suunnittelussa ja ravinnetaseiden laskennassa.

2. Hulevesistä ja kuormitusarvioinnista

Kaupungistumisen voidaan yleisellä tasolla todeta lisäävän hulevesivalunnan määrää ja huonontavan hulevesien laatua. Näiden muutosten laajuus kasvaa tyypillisesti maankäytön intensiteetin myötä. (esim. Marsalek 1978; Novotny 2002) Rakennettujen alueiden hulevesien laatu on vahvasti sidoksissa alueiden maankäyttötyyppiin (esim. Marsalek 1978; Novotny 2002; Park *ym.* 2009). Tiealueet ovat tyypillisesti merkittäviä hiilivetyjen, raskasmetallien sekä rikin lähteitä (Barrett *ym.* 1998; Kim *ym.* 2005), kun taas kaupallisten palvelujen ja teollisuuden alueet tuottavat keskimääräistä suurempia määriä orgaanisia haitta-aineita sekä raskasmetalleja (Mikkelsen *ym.* 1994) ja rakennettavat alueet huomattavia määriä kiintoainetta (Brezonik ja Stadelmann 2002). Viheralueiden lannoitus ja leikkuu, ilmaperäinen laskeuma sekä eläinten jätökset ovat merkittäviä kaupunkialueiden hulevesien sisältävien ravinteiden lähteitä (Burton ja Pitt 2001; Hvitved-Jacobsen *ym.* 2010; Pitt *ym.* 1995).

Hulevesistä mitatut haitta-ainepitoisuudet vaihtelevat huomattavasti sekä yksittäisten sadantavaluntatapahtumien aikana että niiden välillä riippuen mm. tarkasteltavan valuma-alueen ominaisuuksista ja sen ihmistoiminnan tyypistä, sadannan määrästä ja intensiteetistä sekä sadetta edeltävästä kuivasta ajasta. Suurimmat haitta-ainepitoisuudet on usein havaittu valunnan alkuvaiheessa mutta tämän ilmiön ei ole havaittu olevan toistettavissa eri alueilla tai haitta-aineilla (esim. U.S. EPA 1983; Burton ja Pitt 2001; Novotny 2002; Hvitved-Jacobsen *ym.* 2010). Yksittäisen tutkittavan alueen hulevesien keskimääräisten haitta-ainepitoisuuksien luotettava määrittäminen vaatiikin pitkän aikajänteen ympärivuotista seuranta. Se on teknisesti haastavaa, koska pitoisuuksissa esiintyvän suuren vaihtelun lisäksi hulevesiputkistoon sijoitetut jatkuvatoimiset mittalaitteet ovat alttiina monille erilaisille häiriötekijöille etenkin kevään ja syksyn huippuvirtaamien aikana. Tällaisen seurannan vaatiman ajan ja kustannusten vuoksi hulevesiä onkin tutkittu Suomessa luonnonvesiä vähemmän ja kattavia tuloksia kaupungistuneiden alueiden hulevesien laadusta on saatavilla verrattain vähän.

Laajoille, useita maankäyttömuotoja sisältäville alueilla soveltuvia hulevesien kuormitusarviointimenetelmiä on olemassa useita. Yksinkertaisimmillaan kuormitusarviointi perustuu eri maankäyttötyypeille tutkimuksissa määritettyihin ominaiskuormitusarvoihin ja monimutkaisimmillaan yksityiskohtaiseen valuntamallinnukseen yhdistettynä aluekohtaisiin keskimääräisiin haitta-ainepitoisuuksiin. Yksiselitteisesti parasta arviointimenetelmää ei kuitenkaan ole olemassa; toimiakseen luotettavasti monimutkaiset mallit edellyttävät hulevesivalunnan määrän arvioimiseksi tarkasteltavan alueen hydrologisten ominaisuuksien yksityiskohtaista määrittämistä mikä on usein epäkäytännöllisen aikaa vievää ja kallista mikäli tarkasteltava alue on kooltaan suuri. Usein käytetäänkin eri maankäyttömuodoille tai pintamateriaaleille määritettyjä keskimääräisiä valuntakertoimia joita on taulukoitu hydrologisiin julkaisuihin ja oppaisiin. Valuntakerroin kuvaa alueelle satavan ja sieltä pintavaluntana poistuvan vesimäärän suhdetta ja riippuu pääasiassa tarkasteltavan alueen sisältämien vettä läpäisemättömien pintojen (esim. kadut, parkkipaikat, katot ja jalkakäytävät) määrästä.

Mahdollisimman luotettava tieto tarkasteltavan alueen hulevesien laadusta on myös edellytys luotettavalle kuormitusarvioinnille. Hulevesien sisältämät keskimääräiset haitta-ainepitoisuudet voidaan arvioida esimerkiksi mittaamalla niitä tarkasteltavalla alueella muodostuvista hulevesistä, ekstrapoloimalla todennäköiset pitoisuudet valuma-alueen tunnettujen pitoisuuksien (maankäytön tyyppi, vettä läpäisemättömän pinnan määrä yms.) perusteella tai käyttämällä aiemmissa tutkimuksissa mahdollisimman samantyyppisille alueille pitkien mittausjaksojen perusteella määritettyjä pitoisuuksia. Hulevesissä esiintyvien haitta-aineiden pitoisuuksien huomattavan vaihtelun ja siitä seuraavan epävarmuuden vuoksi päädytään yleensä käyttämään olemassa olevia tutkimustuloksia. Tällöin edustavan tutkimustiedon saatavuuden merkitys kuormitusarvioinnissa korostuu.

2.1 Hulevesitutkimus Suomessa

Ensimmäinen ja laajin hulevesitutkimus Suomessa, *Valtakunnallinen hulevesitutkimus* (Melanen 1981; Melanen ja Laukkanen 1981; Melanen 1982) toteutettiin 1977–1979 kuudella valuma-alueella neljässä kaupungissa. Tässä tutkimuksessa havaittiin selkeä ero esikaupunkimaisten asuinalueiden ja muiden (keskusta- ja liikenne-) alueiden hulevesien laadun välillä. Muiden alueiden hulevesien laatu oli pääosin huonompi kuin asuinalueiden. Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen tuloksia on käytetty laajasti hulevesikuormitusarvioinnissa. Tutkimuksessa käytetty menetelmä vuotuisten kokonaiskuormitusten arvioimiseksi ei kuitenkaan myöhempien tutkimusten tapaan perustunut jatkuvatoimiseen valuntamittaukseen, mikä vaikeuttaa valtakunnallisen hulevesitutkimuksen tulosten vertailua nykytutkimuksiin (Sillanpää 2013). Tämä yhdessä analyysimenetelmien kehittymisen ja päästölähteissä tapahtuneiden muutosten (esim. lyijyn käytöstä poistaminen bensiinin lisäaineena) kanssa rajoittaa Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen tulosten hyödyntämismahdollisuuksia nykyisten kuormitusarviointien perustana.

Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen 1977–1979 jälkeen Suomessa ei tutkittu hulevesien muodostumista kaupunkialueilla yli kahteen vuosikymmeneen. Seuraava hulevesitutkimus (Kotola ja Nurminen 2003; Metsäranta *ym.* 2005) toteutettiin Espoossa vuosina 2001–2003 kolmella kaupunkialueella, joista yhdellä oli rakennustoimintaa. Kaksi muuta tutkittua aluetta olivat asuinalueita joista toinen omakotitalo- ja toinen kerrostaloalue. Tutkimuksessa mitattiin säämuuttujia, hulevesivalunnan määrää ja laatua, minkä lisäksi tehtiin rajallinen määrä pohjavesi- ja lumimittauksia. Vertailualueena tutkimuksessa oli luonnontilainen metsäalue Siuntiossa. Hulevesissä mitatut haitta-ainepitoisuudet sekä niiden perusteella määritetyt haitta-ainehuuhtoumat vaihtelivat eri alueiden välillä. Suurin vaihtelu havaittiin kiintoainepitoisuuksissa ja pienin kokonaistyyppipitoisuuksissa. Rakentuvan alueen haitta-ainehuuhtoumat maanrakennustöiden yhteydessä todettiin keskimäärin noin 200 % muita tutkittuja alueita suuremmiksi. Tässä tutkimuksessa hulevesistä määritettyjä keskimääräisiä ravinnepitoisuuksia hyödynnettiin Lahti Vesi Oy:n julkaisemassa Lahden suurimpien hulevesiviemärien kuormitusarvioinnissa (Järvinen 2007).

Sillanpää (2013) jatkoi hulevesitutkimuksia vuosina 2003–2006 samoilla Espoon alueilla kuin Kotola ja Nurminen (2003) sekä Metsäranta *ym.* (2005) tavoitteenaan selvittää kaupungistumisen vaikutuksia hulevesivalunnan muodostumiseen ja huleveden laatuun sekä niiden vuodenaikavaihteluihin pidemmällä aikajänteellä. Tutkimuksessa havaittiin että hulevesistä mitatuissa haitta-ainepitoisuuksissa esiintyneistä suurista vuodenaikavaihteluista huolimatta vuosikuormitus ei pitkällä aikajänteellä keskittynyt tiettyihin vuodenaikoihin. Yksittäiset korkeimmat tapahtumahuuhtoumat mitattiin kylmän ajan valuntatapahtumista ja korkeimmat yksittäiset tapahtumapitoisuudet kesäaikaisista sadetapahtumista. Rakennustoiminnan todettiin huonontavan hulevesien laatua merkittävästi. Sateen aiheuttaman valuntavasteen havaittiin muuttuvan rakennetuilla alueilla noin 17–20 mm sateen jälkeen, jolloin vettä läpäisevät pinnat alkavat tuottaa välitöntä valuntaa maaperän kyllästymisen seurauksena. Suomalaisessa mitoituskirjallisuudessa vastaaville maankäyttötyypeille esitettyjen valuntakertoimien havaittiin myös olevan korkeita verrattuna tutkimusalueilla mitattuihin valuntakertoimiin, millä on käytännön merkitystä keskimääräisen kaupungistumisen asteen omaavien kaupunkialueiden hulevesivaluntamäärien arvioinnissa. Tutkimuksessa tarkkailluilla alueilla mitattujen haitta-ainepitoisuuksien perusteella havaittiin myös Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa 1977–1979 vastaaville maankäyttötyypeille määritettyjen pitoisuuksien olevan liian korkeita kuvaamaan luotettavasti hulevesien nykyistä laatua. Samansuuntaisia havaintoja on tehty myös kansainvälisissä tutkimuksissa joissa on verrattu 1970- ja 1980-luvuilla mitattuja hulevesihavaintoja nykytutkimusten tuloksiin (esim. Park *ym.* 2009; Langeveld *ym.* 2012).

Lahdessa Valtanen *ym.* (2014a, b, c) tutkivat maankäytön intensiteetin vaikutuksia hulevesivalunnan muodostumiseen kaupunkialueilla vuosina 2008–2010. Tutkimuksessa tarkkailtiin kahta maankäytöltään

tiivisti rakennettua keskusta-aluetta sekä yhtä pientaloaluetta. Tutkimuksessa kerättiin kuormitusarvioinnin kannalta erityisen arvokasta tietoa tiiviisti rakennettujen keskusta-alueiden hulevesien laadusta sekä kuormituksen jakautumisesta eri vuodenaikojen kesken.

2.2 Hulevesien tutkimustarpeet tulevaisuudessa

Suomessa viime vuosina julkaistut hulevesitutkimukset ovat tuottaneet kuormitusarvioinnin kannalta paljon käyttökelpoista uutta tietoa, erityisesti tiiviisti rakennettujen kaupunkialueiden ja kaupungistuvien alueiden hulevesien laadusta, hulevesivalunnan muodostumisesta sekä niiden vuodenaikavaihteluista. Tästä huolimatta useille kaupunkialueiden maankäyttötyypeille ei ole olemassa luotettavaa tietoa niiden hulevesien laadusta. Tällaisia maankäyttötyyppejä ovat erityisesti tiiveimmin rakennetut ydinkeskusta-alueet, teollisuusalueet sekä erityyppiset kaupunkien viheralueet. Myös hulevesien hallintaan käytettyjen imeytys- ja viivytysratkaisujen käytännön toimivuudesta tulisi kerätä tietoa mm. maankäytön suunnittelun ja mitoituksellisten ohjeiden kehittämiseksi. Myös lumen vaikutusta keväisten hulevesien muodostumiseen sekä haitta-aineiden sitoutumisesta ja vapautumisesta lumesta tulisi selvittää tarkemmin.

3. Arvioinnissa käytetyt menetelmät ja aineistot

Vesijärveen Lahden kaupunkialueelta aiheutuva vuosittainen hulevesikuorma arvioitiin tilavuuspitoisuusmallinnuksen avulla. Arviointimallissa Vesijärveen Lahden kaupunkialueelta hulevesivaluntaa tuottava alue jaettiin kuuteen osaan; Ankkurin suuntaan, Kilpiäisen suuntaan, Mukkulan suuntaan, Jalkarannan suuntaan, Keskustan suuntaan sekä Joutjoen suuntaan (kuva 1). Eri osien rajaukset eivät täysin vastaa alueiden valuma-alueita koska ne on joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta tehty kattamaan ainoastaan suoraan hulevesiviemäroinnin piirissä oleva rakennettu kaupunkialue. Alueiden sisäinen maankäyttö määritettiin digitoimalla niiden sisältämien viheralueiden, pientaloalueiden sekä tiiviisti rakennettujen alueiden suhteelliset osuudet. Tiiviisti rakennetut alueet pitivät sisällään kaupallisten ja julkisten palvelujen alueita, teollisuusalueita sekä pääosin kestopäällystettyjä kerrostaloalueita. Pientaloalueet koostuivat omakoti-, pari- ja rivitaloasutuksesta ja viheralueet metsä-, puisto-, nurmi- ja muista rakentamattomista alueista. Alueiden pinta-alat ja niiden sisältämien maankäyttötyyppien suhteelliset osuudet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Lahden kaupunkialueen hulevesivaluntaa tuottavat osa-alueet, pinta-alat (ha) ja niiden jakautuminen pientaloalueisiin, tiiviisti rakennettuihin alueisiin sekä viheralueisiin.

Alue	Pinta-ala (ha)	Pientaloalue (%)	Tiiv.rak. alue (%)	Viheralue (%)
Jalkarannan suunta	316,74	54	13	33
Ankkurin suunta	117,58	0	68	32
Keskustan suunta	301,65	19	56	27
Mukkulan suunta	252,77	10	17	73
Kilpiäisen suunta	226,89	53	5	42
Joutjoen suunta	1103,58	26	23	51
YHT.	2319			



Kuva 1. Vesijärveen hulevesivaluntaa tuottavat Lahden kaupunkialueet.

Kullakin maankäyttötyypillä on niillä syntyvän hulevesivalunnan määrään ja laatuun vaikuttavat ominaispiirteensä, joita hyödynnettiin kuormitusarvioinnissa. Alueilla muodostuvan hulevesivalunnan määrä arvioitiin Lahden vuosittaisen sadantakeskiarvon ja maankäyttökohtaisten valuntakertoimien avulla. Tiiviisti rakennettujen ja pientaloalueiden hulevesivalunnan määrän arvioinnissa käytetyt valuntakertoimet perustuvat Lahden kaupunkialueella määritettyihin eri maankäyttöluokkia vastaaviin keskimääräisiin läpäisemättömän pinnan osuuksiin (Järveläinen 2014) ja viheraluille käytetty valuntakerroin kirjallisuudessa esitettyihin arvoihin (Nordeidet *ym.* 2004).

Vuosittainen kokonaiskuormitus arvioitiin maankäyttökohtaisten hulevesivaluntamäärien ja maankäyttöluokille ominaisten haitta-ainepitoisuuksien avulla. Käytetyt haitta-ainepitoisuudet perustuvat Lahden kaupunkialueella 2008–2010 kolmella (Valtanen *ym.* 2014) ja Espoossa 2001–2006 kahdella (Sillanpää 2013) kaupungistumisen eri asteita edustavilla valuma-alueilla suoritettuihin intensiivisiin hulevesimittauksiin sekä erityyppisillä rakentamattomilla alueilla 2000-luvun alussa mitattuihin ominaiskuormitusarvoihin (Vuorenmaa *ym.* 2002). Taulukossa 2 on esitetty kuormitusarvioinnissa käytetyt valuntakertoimet sekä haitta-ainepitoisuudet.

Taulukko 2. Eri maankäyttöluokille kuormitusarvioinnissa käytetyt valuntakertoimet (-), keskimääräiset typpi- (TN) ja fosforipitoisuudet (TP) (mg/l) sekä ominaiskuormitusarvot (kg/ha/a).

Maankäyttöluokka	Pientaloalue	Tiiv. rak. alue	Viheralue
Käytetty valuntakerroin	0,34	0,75	0,30
Keskim. TN-pit. (mg/l)	1,79	1,71	
Keskim. TP-pit. (mg/l)	0,09	0,41	
Ominaiskuormitus N (kg/ha/a)			4,20
Ominaiskuormitus P (kg/ha/a)			0,22

Tässä raportissa tiiviisti rakennetuille alueille käytetyt keskimääräiset fosforipitoisuudet olivat hieman alhaisempia kuin Lahden Paavolassa, Tapanilassa ja Teivaalla 2002–2009 kerättyjen hulevesinäytteiden keskiarvo (Autio 2010; 0,53 mg TP/l), johtuen todennäköisesti vuoden 2006 näytteiden keräysajankohdasta keskimääräistä korkeampia pitoisuusarvoja edustavan pitkän kuivan jakson jälkeisen voimakkaan sateen aikana (Niukkanen 2008). Ilman vuoden 2006 näytteitä 2002–2009 kerättyjen näytteiden keskimääräinen fosforipitoisuus on 0,35 mg TP/l. Tilanne on tyypin osalta samansuuntainen; vuosien 2002–2009 keskiarvo on 2,90 mg TN/l ja ilman vuoden 2006 näytteitä 1,91 mg TN/l. Mitchellin (2005) useista pohjoismaisista hulevesitutkimuksista kokoamassa vertailussa keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus tiiviisti rakennetuille keskusta-alueille oli 0,30 mg TP/l ja vastaava kokonaistyyppipitoisuus 1,52 mg TN/l joten arvioinnissa käytetyt ravinnepitoisuudet eivät olennaisesti poikenneet aikaisemmissa tutkimuksissa vastaavia maankäyttömuotoja edustaville alueille määritetyistä.

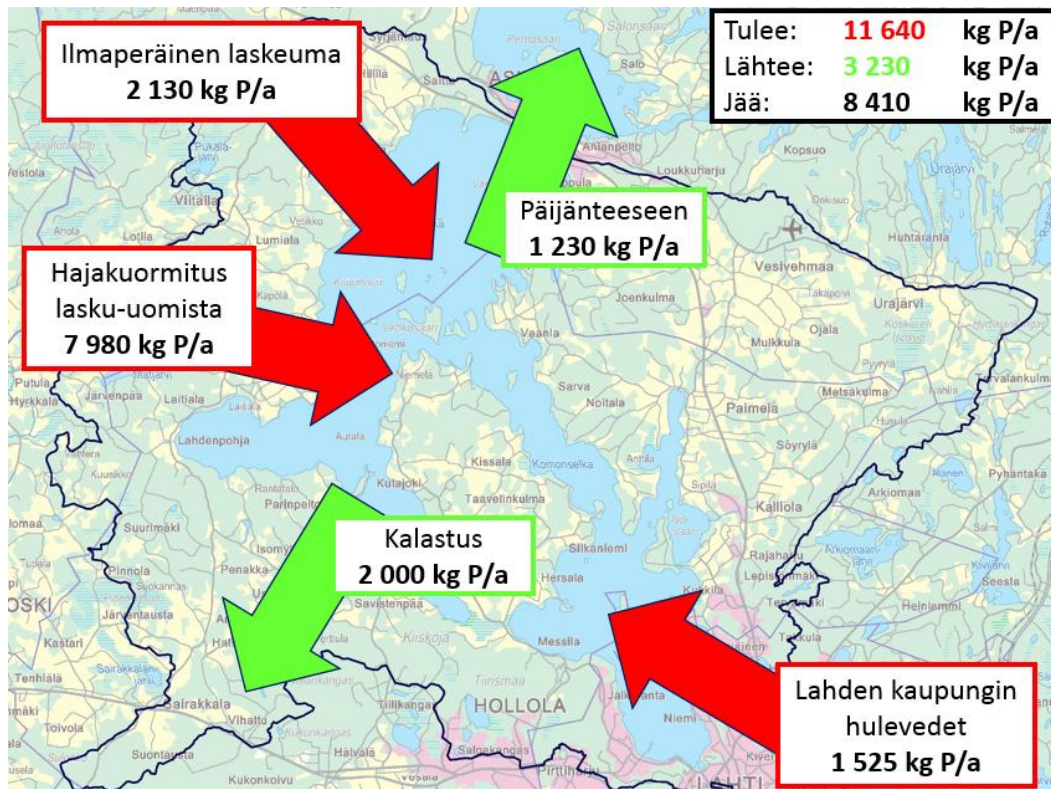
4. Kuormitusarvioinnin tulokset

Tilavuus-pitoisuusmallinnuksella arvioidut vuosittaiset hulevesivalunnat ja ravinnekuormitukset on esitetty taulukossa 3. Vuosittainen kokonaishulevesivalunta on arviolta 6,3 miljoonaa m³ josta hieman alle puolet, noin 2,9 miljoonaa m³, on peräisin Joutjoen valuma-alueelta. Keskusta-alueen arvioitu vuosivalunta (noin 1 080 000 m³) vastaa hyvin Järvisen (2007) esittämää 980 000 – 1 144 000 m³ arviota saman alueen vuosittaisesta valunnasta.

Taulukko 3. Arviot Lahden kaupunkialueelta Vesijärveen päätyvästä hulevesivalunnan määrästä (m³/a), ravinnekuormituksesta (kg/a) sekä ravinnekuormituksesta pinta-alaa kohden (kg/ha/a) alueittain.

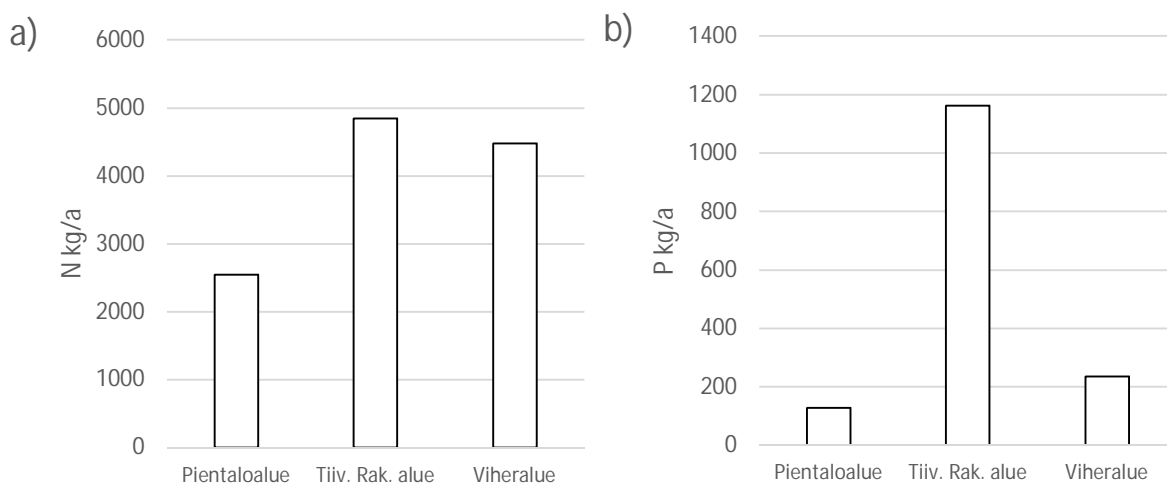
Alue	Valunta (m ³ /a)	Kuormitus (kg/a)		Kuormitus (kg/ha/a)	
		N	P	N	P
Jalkarannan suunta	760 900	1 431	136	4,52	0,43
Ankkurin suunta	450 300	806	164	6,86	1,39
Keskustan suunta	1 078 300	1 932	357	6,40	1,18
Mukkulan suunta	607 800	1 221	129	4,83	0,51
Kilpiäisen suunta	492 800	955	66	4,21	0,29
Joutjoen suunta	2 886 800	5 525	673	5,01	0,61
YHT.	6 276 900	11 868	1 525		

Kuormitusarvioinnin mukaan Lahden kaupunkialueen hulevesiviemäreistä Vesijärveen tuleva vuotuinen fosforikuormitus on arviolta 1 525 kg eli noin 13,1 % ja typpikuormitus arviolta 11 870 kg eli noin 3,4 % arvioidusta kokonaiskuormituksesta (11 640 kg P/a ja 349 700 kg N/a; Järveläinen *ym.* 2015). Hulevesien osalta päivitetty fosforitase on esitetty kuvassa 2. Hulevesien enonselän alueelle tuoma vuosittainen fosforikuormitus on huomattava suhteessa Suomen Ympäristökeskuksen VEMALA-ravinnekuormitusmallilla arvioituun kaikista päästölähteistä peräisin olevaan enonselän fosforikuormitukseen, joka oli vuonna 2014 noin 3 100 kg P/a (Valtion ympäristöhallinto 2015).



Kuva 2. Vesijärven fosforitase lasku-uomien seurannan sekä laskeumamittausten perusteella arvioituna ja hulevesien osalta tarkennettuna. Hajakuormitus tarkoittaa mm. haja-asutuksesta sekä maa- ja metsätalousalueilta tulevaa kuormitusta, jonka tarkkaa päästölähdettä ei voida määrittää.

Lahden hulevesivaluntaa tuottavista alueista suurin yksittäinen kuormittaja on myös pinta-alaltaan suurin Joutjoen alue, jota pitkin Vesijärveen kulkeutuu vuosittain arviolta 5 500 kg typpeä ja 670 kg fosforia. Suhteessa pinta-alaan suurin kuormitus tulee tiiviimmin rakennetuilta Keskustan ja Ankkurin alueilta sekä typen että fosforin osalta. Arvioidussa typpikuormituksessa pinta-alaan kohden ei eri alueiden kesken ollut merkittäviä eroja. Lahden eri alueille määritetyt keskimääräiset ominaiskuormitusluvut vastaavat alueiden maankäyttöjakaumat huomioiden hyvin aikaisempaa tutkimustietoa rakennettujen alueiden hulevesien laadusta.



Kuva 3. Lahden kaupunkialueelta Vesijärveen tulevan arvioidun vuotuisen typpi- (a) ja fosforikuormituksen (b) (kg/a) jakautuminen eri maankäyttöluokkien kesken.

Arvioitu ravinnekuormitus on jakautunut typen osalta melko tasaisesti tiiviisti rakennettujen alueiden ja viheralueiden kesken, kun taas fosforin osalta suurin osa kuormituksesta tulee tiiviisti rakennetuilta alueilta (kuva 3).

5. Yhteenveto ja toimenpide-ehdotukset

Suurin osa (noin 77 %) Lahden alueelta Vesijärveen tulevasta fosforikuormituksesta on tehdyn kuormitusarvioinnin perusteella peräisin tiiviisti rakennetuilta keskusta-alueilta. Kokonaisuutena kaupungin hulevesikuormitus edustaa noin 13 % vuotuisesta järveen tulevasta kokonaisfosforikuormituksesta. Vuotuinen typpikuormitus jakautuu tasaisemmin tiiviisti rakennettujen alueiden (42 %), pientaloalueiden (39 %) sekä viheralueiden (19 %) kesken ja edustaa noin 3,3 % vuosittaisesta Vesijärven arvioidusta kokonaistyyppikuormituksesta. Suhteessa pinta-alaan suurin kuormitus tulee Lahden keskustan ja Ankkurin alueitten hulevesiviemäreistä. Arvioidut kuormitukset edustavat pitkän aikajänteen todennäköistä tilastollisesti keskimääräistä vuosikuormaa; yksittäisinä vuosina ravinnekuormat todennäköisesti mm. ilmasto-oloissa esiintyvän vaihtelun seurauksena poikkeavat tässä raportissa esitetyistä. Uusi mitattu tieto etenkin tiiveimmin rakennettujen keskusta-alueiden hulevesien laadusta mahdollistaisi kuormitusarvioiden tarkentamisen.

Lahden kaupunkialueelta tulevan hulevesikuormituksen keskittyminen Vesijärven Enonselän alueelle on muiden kuormituslähteiden ja pitkän viiptymän ohella edesauttanut sen tilan heikentymistä yhdeksi järven kuormittuneimmista ja heikkokuntoisimmista alueista. On myös luultavaa että hulevesikuormitus edelleen hidastaa sen kunnan kohentumista ja saattaa paikallisesti myös edesauttaa kielteisten vesistövaikutusten esiintymistä Enonselällä. Lahden keskusta-alueen hulevesiviemäreistä tulevalla hulevesikuormituksella saattaa erityisesti kesäisten rankkasateiden aikaan olla huomattava paikallinen vedenlaatua heikentävä vaikutus.

Normaalioloissa suurin osuus hulevesien mukana Vesijärveen tulevasta ravinnekuormituksesta on seurausta usein toistuvien pienten sateiden synnyttämästä valunnasta. Sen viivyttäminen ja imeyttäminen syntypaikalla osana ns. kokonaisvaltaista hulevesien hallintaa on suositeltava tapa vähentää kaupunkialueiden aiheuttamaa hulevesikuormitusta. Tiiviisti rakennetuilla kaupunkialueilla nopeasti toteutettavissa olevat ja kustannustehokkaat ratkaisut hulevesien hallintaan ovat kuitenkin rajallisia koska olemassa olevan kaupunkiympäristön muokkaaminen vesien kierron kannalta luonnollisemmaksi on kallista ja aikaa vievää. Lisäksi suurimpien hulevesivirtaamien hallinta tiiviisti rakennetuilla keskusta-alueilla edellyttää yhä perinteisten tulvanhallintamenetelmien käyttöä hajautettujen hulevesiratkaisujen rinnalla; esimerkiksi hulevesien viivyttäminen erilaisilla kosteikkoratkaisuilla ei usein ole käytännössä mahdollista niiden vaatiman tilan vuoksi.

Viheralueiden sisällyttäminen kaupunkisuunnitteluun, vettä läpäisevien pintamateriaalien käyttö kaduilla ja jalkakäytävillä, parkkipaikoilla ja kaduilla syntyvien hulevesien ohjaaminen imeytyspainanteisiin ja olemassa oleville viheralueille sekä sadeveden kerääminen ja hyödyntäminen kiinteistöillä esimerkiksi kaupunkipuutarhojen kasteluvetenä ovat kaikki keinoja kaupunkialueella syntyvän hulevesikuormituksen vähentämiseksi. Myös täyttötilavuudeltaan riittävien viherkattojen on havaittu pidättävän useasti toistuvat pienet sateet tehokkaasti, mutta jotkin viherkatot saattavat mm. käytettävästä kasvillisuudesta, täyttömateriaaleista ja lannoituksesta riippuen vapauttaa niiltä poistuviin hulevesiin enemmän ravinteita kuin ne sitovat joten suunniteltujen viherkattoratkaisujen tekniseen toteutukseen tulisi kiinnittää erityistä huomiota.

Hulevesien hallintaan tulisi kiinnittää huomiota etenkin uusia kaupunkialueita suunniteltaessa ja olemassa olevaa kaupunkialuetta kunnostettaessa, jolloin rakennettavien ja uusittavien kohteiden suunnittelussa voidaan toteuttaa kokonaisvaltaisen hulevesien hallinnan sekä Lahden kaupungin hulevesiohjelman mukaisia toimenpiteitä. Lahdessa erityisen ajankohtaisia suunnittelukohteita hulevesien kannalta ovat lähitulevaisuudessa Rantakartanon alue sekä yhdeksi Lahden kaupungin kärkihankkeeksi ehdotettu kahden keskusta-alueen suurimman hulevesiviemäriin yhdistäminen rakenteilla olevaan vanhan ratapenkan varaviemäriin, josta niiden hulevedet voitaisiin edelleen johtaa käsiteltäviksi Hennalan alueelle. Toteutuessaan suunnitelma vähentäisi Lahden keskusta-alueiden Enonselkään kohdistamaa hulevesikuormitusta merkittävästi.

Uusilla ja kunnostettavilla alueilla rakentamisvaiheen aikaisten hulevesien asianmukaiseen käsittelyyn tulisi kiinnittää erityistä huomiota; rakennettavien alueiden käsittelemättömät hulevedet sisältävät moninkertaisesti haitta-aineita normaaleihin kaupunkialueisiin verrattuna. Mikäli hulevesien hallintaan käytetään erilaisia viivytysrakenteita kuten hulevesialtaita ja kosteikkoja tulisi ne pyrkiä rakentamaan hyvissä ajoin ennen muun rakennustoiminnan aloittamista, jotta niiden ravinteita pidättävä ja kiintoainetta sitova kasvillisuus ehtii kehittyä.

6. Lähteet

AUTIO, M. 2010. Hulevesikuormitus Vesijärven Enonselälle. Lahden kaupunki, Lahden seudun ympäristöpalvelut. 13 s.

AUTIO, M. & MALIN, I. 2010. Vesijärven ilmaperäinen ravinnekuormitus. Lahden kaupunki, Lahden seudun ympäristöpalvelut. 11 s.

BARRETT, M.E., IRISH, L.B., MALINA, J.F. & CHARBENEAU, R.J. 1998. Characterization of highway runoff in Austin, Texas, area. *Journal of Environmental Engineering*, 124/2, 131-37.

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 Research*, 36/7, 1743-57.

BURTON, A. & PITT, R. 2001. *Stormwater Effects Handbook: A Toolbox for Watershed Managers, Scientists, and Engineers*. Taylor & Francis.

HVITVED-JACOBSEN, T., VOLLERTSEN, J. & NIELSEN, A.H. 2010. *Urban and Highway Stormwater Pollution: Concepts and Engineering*. CRC Press/Taylor & Francis.

JÄRVELÄINEN, J. 2014. Kaupunkimittakaavan maankäyttöpohjainen hulevesikuormituksen arviointi ja hulevesitarkkailun suunnittelu: Sovellus Lahden kaupunkiin. Diplomityö. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu, Helsinki. 88 s.

JÄRVELÄINEN, J., MALIN, I., MÄYRÄNPÄÄ, R., KOTAKORPI, M. & KUPARINEN, M. 2015. Vesijärveen laskuomien kautta tuleva ravinnekuormitus ja sen vähentämismahdollisuudet. Lahden kaupunki, Lahden seudun ympäristöpalvelut. 30 s.

JÄRVINEN, M. 2007. Hulevesiviemärien ravinnekuormitus Vesijärven Enonselälle. – Lahti Vesi Oy, Aqua Vesijärvi 2017 – hanke, raportti. 10 s.

- KETO, J. 2008. Vesijärvi II – projekti 2002–2007, loppuraportti. Lahden kaupunki, Lahden seudun ympäristöpalvelut. 40 s. + liitteet.
- KIM, L-H., KAYHANIAN, M., ZOH, K-D. & STENSTROM, M.K. 2005. Modeling of highway stormwater runoff. *Science of The Total Environment*, 348/1–3, 1-18.
- Kokonaisfosforikuormitus: Kymijoen vesistöalue – Vesijärvi. Valtion ympäristöhallinto. 29.11.2015 (päivitetty). <http://wwwi2.ymparisto.fi/i2/96/14/l6768400_3424660/fi.html> [viitattu 30.11.2015]
- KOTOLA, J. & NURMINEN, J. 2003. Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 2: koealuetutkimus. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja, 8/203.
- LANGVELD, J.G., LIEFTING, H.J. & BOOGAARD, F.C. 2012. Uncertainties of stormwater characteristics and removal rates of stormwater treatment facilities: Implications for stormwater handling. *Water Research*, 46(20), 6868-80.
- MARSALEK, J. 1978. Pollution due to urban runoff: Unit loads and abatement measures. International Reference Group on Great Lakes Pollution from Land Use Activities, International Joint Commission.
- MELANEN, M. 1981. Quality of runoff water in urban areas, Publications of the water research institute, 42. National board of waters, Finland.
- MELANEN, M. & LAUKKANEN, R. 1981. Quantity of storm runoff water in urban areas, Publications of the water research institute, 42. National board of waters, Finland.
- MELANEN, M. 1982. Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen tulokset. *Vesitalous*, /3/1982, 1-20.
- METSÄRANTA, N., KOTOLA, J. & NURMINEN, J. 2005. Effects of urbanization on runoff water quantity and quality: Experiences from test catchments in Southern Finland. *International Journal of River Basin Management*, 3/3, 229-34.
- MITCHELL, G. 2005. Mapping hazard from urban non-point pollution: a screening model to support sustainable urban drainage planning. *Journal of Environmental Management*, 74(1), 1-9.
- MIKKELSEN, P.S., WEYER, G., BERRY, C., WALDENT, Y., COLANDINI, V., POULSEN, S., GROTEHUSMANN, D. & ROHLFING, R. 1994. Pollution from urban stormwater infiltration. *Water Science & Technology*, 29/1-2, 293-302.
- NIUKKANEN, H. 2008. Lahden keskusta-alueen aiheuttama hulevesikuormitus Vesijärven Enonselälle. Helsingin yliopiston ympäristöekologian laitoksen tutkimuksia ja raportteja 62, pro gradu. 36 s.
- NORDEIDET, B., NORDEIDE, T., ASTEBOL, S.O. & HVITVED-JACOBSEN, T. 2004. Prioritising and planning of urban stormwater treatment in the Alna watercourse in Oslo. *Sci Total Environ*, 334-335, 231-8.
- NOVOTNY, V. 2002. *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*; Hoboken, NJ. Wiley.
- PARK, M-H., SWAMIKANNU, X. & STENSTROM, M.K. 2009. Accuracy and precision of the volume–concentration method for urban stormwater modeling. *Water Research*, 43(11), 2773-86.
- PITT, R., FIELD, R., LALOR, M., and BROWN, M. 1995. Urban stormwater toxic pollutants: assessment, sources, and treatability. *Water Environment Research*, 67(3), 260-75.
- U.S. EPA 1983. Results of the Nationwide Urban Runoff Project, Vol. 1, Final Report, Water Planning Division, U.S. EPA, Washington, DC. U.S. Environmental Protection Agency (toim.).

- SILLANPÄÄ, N. 2013. Effects of suburban development on runoff generation and water quality. Väitöskirjatyö. Aalto-yliopisto. 226 s.
- VALTANEN, M., SILLANPÄÄ, N. & SETÄLÄ, H. 2014a. Effects of land use intensity on stormwater runoff and its temporal occurrence in cold climates. *Hydrological Processes* 28(4): 2639-2650. DOI: 10.1002/hyp.9819
- VALTANEN, M., SILLANPÄÄ, N. & SETÄLÄ, H. 2014b. The effects of urbanization on runoff pollutant concentrations, loadings and their seasonal patterns under cold climate. *Water, Air and Soil Pollution*, 225: 1977. DOI: 10.1007/s11270-014-1977-y
- VALTANEN, M., SILLANPÄÄ, N. & SETÄLÄ, H. 2014c. Key runoff event factors affecting urban runoff pollutant transport under cold climate. Käsikirjoitus.
- VUORENMAA, J., REKOLAINEN, S., LEPISTÖ, A., KENTTÄMIES, K. & KAUPPILA, P. 2002. Losses of Nitrogen and Phosphorus from Agricultural and Forest Areas in Finland during the 1980s and 1990s. *Environmental Monitoring and Assessment*, 76(2), 213-48.