



Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden
korkeakoulu

Hanna Tuominen

Vantaan kaupungin purojen luokittelu valuma-alueiden vettä läpäisemättömän pinnan perusteella

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Vantaalla 30.1.2015

Valvoja: Professori Harri Koivusalo

Ohjaajat: DI Antti Auvinen, DI Ulla-Maija Rimpiläinen

Tekijä Hanna Tuominen

Työn nimi Vantaan kaupungin purojen luokittelu valuma-alueiden vettä läpäisemättömän pinnan perusteella

Laitos Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka

Professuuri Tekninen vesitalous**Professuurikoodi** YHD-12

Työn valvoja Professori Harri Koivusalo

Työn ohjaajat DI Antti Auvinen, DI Ulla-Maija Rimpiläinen

Päivämäärä 30.1.2015**Sivumäärä** 93 + 7**Kieli** suomi

Vettä läpäisemättömä pinta esiintyy runsaasti kaupunkialueilla ja sen määrä lisääntyy kaupunkien laajentuessa ja tiivistyessä. Tästä seuraa muutoksia alueen hydrologisissa olosuhteissa. Läpäisemättömän pinnan osuuden (TIA) ja purojen tilan välillä on havaittu selkeä yhteys. Tässä työssä tavoitteena oli määrittää läpäisemättömien pintojen määrä Vantaan kaupungin purojen valuma-alueilla ja soveltaa läpäisemättömän pinnan mallia (ICM) purojen luokitteluun.

Läpäisemättömän pinnan malli (ICM) on Schuelerin (1994) kehittämä luokittelu, jonka avulla pienvesistöjen tilaa voidaan arvioida valuma-alueiden läpäisemättömän pinnan perusteella. Mallissa on neljä luokkaa: herkkä (TIA 0 - 0,10), muuntuva (0,11 - 0,25), taantuva (0,26 - 0,60) ja taajaman kuivatusoja (0,61 - 1,0). Malli antaa vihjeitä pienvesistöjen tilasta, mutta todellisen tilan varmistamiseksi tarvitaan lisäksi mittausaineistoa.

Vantaan kaupungin purojen luokittelua varten pienvaluma-alueiden maankäyttömuodot selvitettiin Corine-paikkatietoaineiston (CLC) avulla. Corine-aineiston maankäyttömuodoille määritettiin läpäisemättömän pinnan osuudet (TIA). Kun Vantaan maankäyttömuodot tunnettiin, laskettiin läpäisemättömän pinnan osuudet kaupungin purojen valuma-alueille. ICM:n avulla maankäytön muutoksien vaikutuksia voidaan ennakoita ja pienvesistöjä suojella.

Läpäisemättömän pinnan osuuksien määrittäminen Corine-aineiston maankäyttömuodoille Vantaalla pohjautui työssä suoritettuihin sadanta- ja valuntamittauksiin. Mittaukset suoritettiin kesällä 2014 kahdella Vantaan pienvaluma-alueella, Kirkonkylän- ja Krakanojalla. Mittausten perusteella Kirkonkylänojan TIA:ksi laskettiin 0,55 ja Krakanojan 0,30. Lisäksi luokittelun hyvyttä tarkasteltiin aiempien tutkimusten mukaisten indikaattorilajien antamilla viitteillä pienvesien tilasta.

Merkittäville maankäyttömuodoille selvitettyjä TIA osuuksia ovat tiiviisti rakennetut alueet 0,51, väljästi rakennetut alueet 0,22 ja teollisuuden ja palveluiden alueet 0,71. Nämä tunnusluvut vastaavat hyvin kirjallisuudessa esitettyjä arvoja. Läpäisemättömän pinnan mallin perusteella Kirkonkylänojan TIA:ksi määritettiin $0,52 \pm 0,03$ ja Krakanojan $0,32 \pm 0,03$, jotka olivat yhteneväisiä kenttämittausten kanssa. Vantaan pienvaluma-alueista kahdeksan luokitellaan ICM:n mukaan herkäksi, kahdeksan muuntuvaksi ja viisi taantuvaksi.

Avainsanat läpäisemätön pinta, Corine Land Cover, maankäyttö, ICM, hulevesi, valuntakerroin, Vantaa

Author Hanna Tuominen

Title of thesis Classification of Urban Streams in Vantaa City Based on Impervious Cover of Subwatershed

Department Civil and Environmental Engineering

Professorship Water Resources Management **Code of professorship** YHD-12

Thesis supervisor Professor Harri Koivusalo

Thesis advisors M.Sc. Antti Auvinen, M.Sc. Ulla-Maija Rimpiläinen

Date 30.1.2015

Number of pages 93 + 7

Language Finnish

City areas have large share of impervious surfaces and the extent of these surfaces increases as the city expands and becomes denser. This has an impact on the hydrologic conditions of the area. There is a clear relationship between the amount of total impervious area (TIA) and the state of the streams. In this work the objective was to determine the impervious cover in Vantaa city's subwatersheds and apply impervious cover model (ICM) to the classification of these subwatersheds.

Schueler (1994) developed an impervious cover model describing how the proportion of the imperviousness is deflected to the state of the stream. There are four categories in the model: sensitive (TIA 0 - 0,10), impacted (0,11 - 0,25), non-supporting (0,26 - 0,60) and urban drainage (0,61 - 1,0). ICM provides a rough prediction of the state of the stream, but actual monitoring data are needed to classify the streams more reliably.

To apply the ICM the distribution of land use types were examined in the subwatersheds of Vantaa city using Corine Land Cover (CLC) geographic information. The percentages of TIA were then defined for the Corine land use types. When the land use types and TIAs were known the imperviousness of the subwatershed were calculated. With ICM the effects of land use changes on stream hydrological conditions can be assessed to support the protection of the streams.

During the summer of 2014 rainfall and runoff measurements were carried out in the subwatersheds of Kirkonkylänoja and Krakanoja in Vantaa city. Based on these measurements the percentages of TIA were determined to the land use of CLC. In Kirkonkylänoja subwatershed TIA was 0,55 based on the measurements and in Krakanoja TIA was 0,30. In addition, the goodness of the categorization was examined through a research of a few biological indicators.

TIA values were determined for the significant land use types of Corine: TIA of continuous urban fabric was 0,51, TIA of discontinuous urban fabric 0,22 and TIA of industrial or commercial units 0,71. These values corresponded well to the literature values. Based on ICM the TIA of the subwatershed of Kirkonkylänoja was determined to be $0,52 \pm 0,03$ and TIA of Krakanoja $0,32 \pm 0,03$. These values are compatible to the field measurements. Eight of the subwatersheds of Vantaa city are classified as sensitive, eight as impacted and five as non-supporting.

Keywords impervious cover, Corine Land Cover, land use, ICM, storm water, runoff coefficient, Vantaa

Alkusanat

Tämä työ on tehty Vantaan kaupungille Kuntatekniikan keskuksen toimeksiannosta. Haluan kiittää Vantaan kaupunkia mielenkiintosiesta aiheesta ja työn rahoittamisesta. Lisäksi haluan kiittää Maa- ja vesitekniikan tuki ry:tä työn rahallisesta tukemisesta.

Haluan kiittää työni valvojaa professori Harri Koivusaloa opastuksesta ja kommentteista joita työni aikana sain sekä jo opiskelunaikaisesta kannustuksesta. Haluan kiittää työni ohjaajia Antti Auvista runsaista kommentteista ja neuvoista työni aikana sekä Ulla-Maija Rimpiläistä mielenkiinnon herättämisestä ja innostuksen luomisesta työni aihetta kohtaan.

Sain työni ajaksi ohjausryhmän, johon kuului valvojan ja ohjaajien lisäksi Päivi Jäntti-Hasa, Paula Kankkunen, Harri Keinänen, Sinikka Rantalainen ja Petra Tammisto Vantaan kaupungilta; Kirsti Lahti Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistykseltä ja Nora Sillanpää Aalto yliopistolta. Haluan kiittää koko ohjausryhmääni, teiltä sain kannustavaa palautetta ja hyviä kommentteja koko työni ajan.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni sekä ystäviäni tämän työn ja jo opiskelun aikaisesta tuesta ja tsemppaamisesta. Erityisesti haluan kiittää sinua Pekko matemaattisesta neuvonannosta, työtä edistävästä pohdintoista sekä aidosta mielenkiinnosta työtäni kohtaan.

Vantaalla 30.1.2015

Hanna Tuominen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo.....	1
Merkinnät.....	3
Lyhenteet	4
Kuvat	5
Taulukot	7
1 Johdanto.....	9
2 Kirjallisuuskatsaus	11
2.1 Kaupungistuminen.....	11
2.2 Läpäisemätön pinta	12
2.2.1 Läpäisemätön kokonaispinta ja tehoisa läpäisemätön pinta.....	13
2.2.2 Läpäisemättömän pinnan malli.....	15
2.2.3 Maankäyttö	20
2.2.4 Läpäisemätön pinta Vantaalla.....	22
2.2.5 Vaikutukset vesistöihin	22
2.3 Hulevesi	24
2.4 Valuntakerroin.....	26
3 Tutkimusaineisto.....	30
3.1 Vantaan kohdealueet	30
3.1.1 Kirkonkylänoja.....	32
3.1.2 Krakanoja.....	34
3.1.3 Vantaan muut pienvesistöt	37
3.2 Maanpeiteaineistot	40
3.2.1 Corine-aineisto	40
3.2.2 Kylmäojan läpäisemättömyys	42
3.3 Vesistö- ja säämittaukset	44
3.3.1 Mittauspisteet.....	44
3.3.2 Mittalaitteet	45
3.3.3 Ilmatieteen laitoksen sääaineisto	47
4 Työn eteneminen ja menetelmät	49
4.1 Sääaineiston analysointi	50
4.2 Virtaamamittausten analysointi.....	51
4.3 Maankäytön ja läpäisemättömän pinnan osuuksien määrittäminen	52
4.4 Vantaan pienväluma-alueiden luokittelu	53
4.5 Läpäisemättömän pinnan luokittelun todentaminen	54
4.6 Valuntakertoimen määrittäminen	54
5 Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	55
5.1 Sadanta- ja valuntamittaukset	55
5.2 Sadanta- ja valunta-aineiston soveltaminen	57
5.3 Pienväluma-alueiden maankäyttö	60
5.4 Läpäisemättömän pinnan osuus	64
5.5 Pienvesistöjen luokittelu läpäisemättömän pinnan perusteella.....	68
5.6 Pienvesistöjen luokittelun sopivuus	75

5.7	Valuntakertoimet	79
5.8	Epävarmuustekijät.....	81
6	Johtopäätökset.....	85
	Lähdeluettelo	87
	Liiteluettelo	93
	Liitteet	

Merkinnät

C	[-]	kokonaisvalunnan valuntakerroin
C _n	[-]	osavaluma-alueen valuntakerroin
C _{vol}	[-]	välittömän valunnan valuntakerroin
A	[ha/km ²]	pinta-ala
A _n	[ha/km ²]	osavaluma-alueen pinta-ala

Lyhenteet

Corine-aineisto	Corine Land Cover (CLC), maanpeitteen paikkatietoaineisto
EIA	Tehoisa läpäisemätön pinta (Effective Impervious Area)
ICM	Läpäisemättömän pinnan malli (Impervious Cover Model)
TIA	Kokonaisläpäisemätön pinta (Total Impervious Area)

Kuvat

Kuva 1. Kaupungeissa asuvan väestön osuus koko maailman väestöstä (United Nations 2014a)	11
Kuva 2. Lämpäsemättömän pinnan konseptuaalinen malli (ICM) (CWP 1998)	16
Kuva 3. Uudistettu lämpäsemättömän pinnan konseptuaalinen malli (ICM) (Schueler et al. 2009).....	17
Kuva 4. Järveläisen (2014) määrittämät lämpäsemättömän pinnan osuudet 95 % luottamusvälillä eri maankäytön muodoille Lahdessa. CC = keskusta-alue, CP = palveluiden/yleiset alueet, IND = teollisuuden alueet, MFR = kerrostaloalueet ja SFR = pientaloalueet	21
Kuva 5. Regressiokäyrä valuntakertoimen määrittämiseen valuma-alueen TIA:n perusteella (Schueler 1994)	29
Kuva 6. Suomen ilmasto-oloihin sovitettu regressioyhtälö usein toistuvien vesisateiden valuntakertoimen (C_{VOL}) määrittämiseen valuma-alueen TIA:n perusteella (Sillanpää & Koivusalo 2014).....	29
Kuva 7. Vantaan kaupungin kartta ja sijainti Suomessa (Vantaan kaupunki 2014).....	30
Kuva 8. Vantaan maalajikartta ja pienvesistöt (Vantaan kaupunki 2014)	31
Kuva 9. Kirkonkylänojan valuma-alueen sijainti Vantaalla, mustan viivan rajaamana (Vantaan kaupunki 2014)	32
Kuva 10. Kirkonkylänojan valuma-alue, taustalla ilmakeku vuodelta 2013 (Vantaan kaupunki 2014).....	33
Kuva 11. Kirkonkylänojan maalajikartta (Vantaan kaupunki 2014).....	34
Kuva 12. Krakanojan valuma-alueen sijainti Vantaalla, mustan viivan rajaamana (Vantaan kaupunki 2014)	35
Kuva 13. Krakanojan valuma-alue, vasemmalla ilmakeku vuodelta 2013, oikealla maalajikartta (Vantaan kaupunki 2014).....	36
Kuva 14. Työssä tarkasteltavat Vantaan pienvesikohteet tai niiden yhdistelmät (Taulukko 7), sekä yhdistelmille annetut koodit (1-16 ja A-D) (muokattu Vantaan kaupunki 2014).....	37
Kuva 15. Vantaan virtavesiselvityksessä havainnoidut kohteet (Janatuinen 2011, muokattu Vantaan kaupunki 2014)	39
Kuva 16. Taimenen (luonnollinen ja istutettu) ja purokatkan esiintymisalueet Vantaalla. Lisäksi lähteet ja noususteet (Janatuinen 2011, muokattu Vantaan kaupunki 2014). Purokatkaa esiintyy aina myös taimenen luonnollisilla esiintymisalueilla.	40
Kuva 17. Corine 2012 -aineiston rasteri Keski-Vantaalta valuma-alue rajoilla (muokattu Syke 2014b, Vantaan kaupunki 2014).....	41
Kuva 18. Kylmänojan osavaluma-alueet (C1 – C11) ja niiden lämpäsemättömän pinnan osuudet (TIA) vuonna 2007 (Krebs 2009)	43
Kuva 19. Kirkonkylän- ja Krakanojan mittauspisteet sekä valuma-alueiden rajausta mittausten sisältämään alueeseen. Taustalla ortokuva vuodelta 2013 (Vantaan kaupunki 2014).....	45
Kuva 20 StarFlow 6526H akustinen virtaamamittari (Luode Consulting 2014).....	46
Kuva 21. Vaisalan WXT520 säälähetin (kuva Hanna Tuominen)	46
Kuva 22. Ilmatieteen laitoksen tuottama sadekertymä 20.7.2014 klo 11-14 olleelle sadetapahtumalle [mm], kuvassa myös purot ja pienvaluma-alueet (muokattu Ilmatieteen laitos 2014a, Vantaan kaupunki 2014)	47
Kuva 23. Työn suorittamisen vuokaavio	49

Kuva 24. Sadeaineiston interpolointi sadetapahtumalle 26.6.2014. Keskellä kuviota Helsinki-Vantaan lentokentän (ylempi) ja Manttaalikujan mittauspisteet. Kuvan 25 alue rajattuna (huomioi kuvien erilaiset skaalat)	50
Kuva 25. Rajattu sadeaineiston interpolointi [mm] sadetapahtumalle 26.6.2014. Kuvassa myös Kirkonkylänojan ja Krakanojan valuma-alueajukset (Vantaan kaupunki 2014)	51
Kuva 26. Työn aikaisten mittausten valunnat ja sademäärä Kirkonkylän- ja Krakanojalla	55
Kuva 27. Työn aikaisten mittausten valunnat ja sademäärän kertymä Kirkonkylän- ja Krakanojalla.....	57
Kuva 28. Kirkonkylän- ja Krakanojan sadannan ja välittömän valunnan suhde, regressiosuorat ja -yhtälöt	60
Kuva 29. Corine-aineiston maankäyttömuotojen jakautuminen Kirkonkylän- ja Krakanojalla, prosenttiosuudet.....	61
Kuva 30. Kylmäojan osavaluma-alueiden (Krebs 2009) maankäyttö Corine 2006-aineistossa	62
Kuva 31. Tarkastelussa olleiden Vantaan kaupungin pienvaluma-alueiden (Kuva 14) Corine 2012 -aineiston mukainen maankäyttö.....	63
Kuva 32. Vantaan pienvaluma-alueiden TIA ja vaihteluväli $\pm 0,03$. Tummat viivat kuvaavat läpäisemättömän pinnan mallin rajoja: herkkä 0 – 0,10, muuntuva 0,11 – 0,25 ja taantuva 0,25 – 0,60; harmaat korostetut alueet luokkien vaihtumisvyöhykkeitä: herkkä 0,05 – 0,10 ja muuntuva 0,20 – 0,25 (Schueler 1994, Schueler et al. 2009)	71
Kuva 33. Vantaan pienvaluma-alueiden luokittelu Schuelerin (1994 muodostaman läpäisemättömän pinnan mallin mukaan. Kuvassa pienvaluma-alueiden numerot/kirjaimet (muokattu Vantaan kaupunki 2014)	72
Kuva 34. Vantaan pienvaluma-alueiden luokittelu Schuelerin(1994) muodostaman läpäisemättömän pinnan mallin mukaan a) vaihteluvälin suurimmilla arvoilla ja b) pienimmillä arvoilla (muokattu Vantaan kaupunki 2014)	73
Kuva 35. Ilkka-hankkeen läpäisemättömän pinnan luokittelu (Kesäniemi 2014b)	74
Kuva 36. Purokatkan esiintyminen sekä lähteet Vantaan pienvesistöissä (Janatuinen 2011, muokattu Vantaan kaupunki 2014) taustana ICM:n mukainen luokitus.....	76
Kuva 37. Taimenen luonnolliset lisääntymisalueet, alueet joihin on istutettu taimenia ja vesien nousuesteet (Janatuinen 2011, muokattu Vantaan kaupunki 2014) taustana ICM:n mukainen luokitus	77

Taulukot

Taulukko 1. Lämpäsemättömän pinnan malli (ICM), taajamapurojen luokittelu puroissa havaittujen muutosten perusteella, suojelun tavoitteet ja toimenpiteet. Suomen oloihin sovellettu taulukko lämpäsemättömän pinnan mallista (Schueler 1994, josta muokannut Salminen et al. 2010).....	18
Taulukko 2. Kuusiston (2002) määrittämät lämpäsemättömän pinnan osuudet eri maankäyttöluokille.....	20
Taulukko 3. Vakkilaisen ja muiden (2005 muokattu) koostama taulukko lämpäsemättömän pinnan osuuksista asukastiheyden mukaan	20
Taulukko 4. Lämpäsemättömän pinnan osuus maankäyttömuodon perusteella (Zaman & Ball 1994).....	21
Taulukko 5. Kuusiston (2002) määrittämät valuntakertoimet erilaisille maankäyttömuodoille huomioiden maankäyttö, maaperä ja rinteiden kaltevuus.....	27
Taulukko 6. Maalajikartassa käytettävät lyhenteet ja värikoodit.....	31
Taulukko 7. Vantaan pienvesistöjen (Kuva 14) jako tätä työtä varten	38
Taulukko 8. Corine -maanpeiteaineiston luokitukset (Syke 2015)	42
Taulukko 9. Kylmäojan osavaluma-alueiden pinta-alat ja TIA (Krebs 2009)	44
Taulukko 10. Työssä käytetyt Ilmatieteen laitoksen (2014b) säähavaintoasemat ja niiden koordinaatit sekä oma mittauspiste Manttaalikujalla	48
Taulukko 11. Sadetapahtumat eri mittauspisteiden mukaan esitettynä, tummennetut arvot valittiin valuntakertoimen määrittämiseen.....	58
Taulukko 12. Kirkonkylän- ja Krakanojan sadetapahtumat, niiden sadannat, valunnat ja valuntakertoimet.....	59
Taulukko 13. Corine-aineiston maankäyttömuotojen jakautuminen Kirkonkylän- ja Krakanojalla, pinta-alat ja prosenttiosuudet	61
Taulukko 14. Corine-aineiston maankäyttömuodoille määritetyt lämpäsemättömän pinnan osuudet. Lentokenttäalueen ensimmäinen luku kuvaa muita valuma-alueita ja jälkimmäinen Kirkonkylänojan valuma-alueita	65
Taulukko 15. Kuuden maankäyttömuodon TIA tässä työssä tehdyn tutkimuksen ja kirjallisuuslähteiden perusteella	66
Taulukko 16. Corine-aineiston maankäyttömuotojen TIA:n määrittämiseen käytettyjen valuma-alueiden (Kirkonkylän-, Krakan- ja Kylmäoja) tunnetut ja lasketut TIA, sekä näiden erotukset (vaihteluväli)	66
Taulukko 17. Corine-aineiston maankäyttömuotojen herkkyytarkastelu: vaikutuksen suuruus, TIA:n vaihteluväli ja maankäytön pinta-ala. Pieni luku tarkoittaa, että maankäyttömuodolla on suuri vaikutus lämpäsemättömän pinnan määrityksessä, vaihteluväli kuvaa niitä TIA:n arvoja, joita maankäytön muoto voi saada ilman muutoksia valuma-alueiden TIA:ssa. Lentokenttäalueella on esitetty kaksi arvoa, ensimmäinen kuvaa muiden alueiden tilannetta ja jälkimmäinen kuvaa Kirkonkylänojaa	68
Taulukko 18. Vantaan kaupungin pienvaluma-alueiden lämpäsemättömän pinnan osuus (TIA) ja sen vaihteluväli (pienvesistöjen numeroita vastaavat nimet (Taulukko 7, Kuva 14)	69
Taulukko 19. Vantaan pienvaluma-alueiden välittömän valunnan kertoimet (C_{VOL}) (Sillanpää & Koivusalo 2014) lämpäsemättömän pinnan (TIA) mukaan määritettynä.....	80
Taulukko 20. Corine-aineiston maankäyttömuotojen välittömän valunnan kertoimet (Sillanpää & Koivusalo 2014) lämpäsemättömän pinnan mukaan määritettynä.	

Lentokenttäalueen ensimmäiset arvot kuvaavat muita valuma-alueita ja jälkimmäiset Kirkonkylänojaa.....	81
---	----

1 Johdanto

Suomessa kaupunkiympäristön hydrologinen tutkimus on ollut melko vähäistä. Ensimmäisiä kattavia selvityksiä oli valtakunnallinen hulevesitutkimus vuosina 1977 - 1979 (Melanen & Laukkanen, 1981). Tämän jälkeen hulevesiasiat ovat jääneet taka-alalle, kunnes tällä vuosituhanella kiinnostus niitä kohtaan on taas kasvanut. Vakkilainen ja muut (2005) tekivät kattavaa tutkimusta kaupunkiympäristön hulevesistä RYVE eli Kaupunkivedet ja niiden hallinta -projektissa vuosina 2001 - 2003, missä seurattiin rakennetun ympäristön hydrologisia muutoksia. Sillanpää (2013) perehtyi puolestaan kaupunkirakentamiseen ja sen aiheuttamiin vaikutuksiin hulevesiin ja käsitteli lisäksi kylmän kauden aikaisia vaikutuksia. Stormwater-hankkeessa vuosina 2008 - 2010 selvitettiin maakäytön muotojen ja läpäisemättömän pinnan vaikutusta hulevesiin ja niiden laatuun (Valtanen et al. 2014a, Valtanen et al. 2014b). Lisäksi vuosina 2012 - 2014 tehtiin Kestävän ympäristön kaupunkilaboratorio -hanke, joka jatkoi Stormwater- ja RYVE -hankkeiden pohjalta kaupunkiympäristön hulevesien tutkimusta (Sillanpää et al. 2014).

Tämä työ jatkaa osaltaan hydrologista tutkimusta Suomessa. Työn motivaationa toimi läpäisemättömän pinnan osuus valuma-alueella ja sen vaikutus hulevesiin ja lopulta vastaanottavaan puroon. Valuma-alueen läpäisemättömän pinnan osuudella on vaikutusta niin syntyvän huleveden määrään kuin laatuun. Tässä työssä keskityttiin hulevesien määrälliseen vaikutukseen. Huleveden määrällisellä hallinnalla voidaan osaltaan kuitenkin hallita myös huleveden laatua (Sillanpää 2013). Jotta valuma-alueella muodostuvan huleveden määrää voitiin arvioida, tuli alueen läpäisemättömän pinnan osuus tuntea.

Työn päätavoitteena on selvittää Vantaan kaupungin purojen tila kaupunkitasolla valuma-alueiden vettä läpäisemättömän pinnan osuuden perusteella. Tavoite toteutettiin luokittelemalla Vantaan purot Schuelerin (1994) muodostaman läpäisemättömän pinnan mallin (ICM) mukaan. Tätä varten tavoitteena on määrittää valuma-alueiden läpäisemättömän pinnan osuudet. Lisäksi tavoitteena on muodostaa valuma-alueille välittömän valunnan kertoimet. Tässä työssä läpäisemättömän pinnan malli pohjautuu sadanta- ja valuntamittauksiin, jotka suoritettiin kesällä 2014 kahdella Vantaan pienvalluma-alueella, Kirkonkylänohjalla ja Krakanojalla.

Läpäisemättömän pinnan mallin avulla Vantaan kaupungin purojen tilaa voidaan arvioida ja maankäytön muutosten seurauksiin varautua. Malli yksinään antaa kuitenkin vain vihjeitä pienvesistön tilasta ja vesistön todellisen tilan määrittämiseksi tarvitaan aina tarkentavia mittauksia. Malli soveltuu vesistöille, joiden valuma-alueiden pinta-alat ovat 5 - 50 km² (Schueler 1994).

Hulevesitutkimuksen yhtenä tärkeänä osana on ollut määrittää läpäisemättömän pinnan osuuksia erilaisille maankäyttömuodoille. Tässä työssä läpäisemättömän pinnan osuudet määritettiin Euroopan ympäristökeskuksen laatiman Corine Land Cover

maanpeitteen paikkatietoaineiston maankäyttömuodoille. Aineiston avulla läpäisemättömän pinnan osuuksia oli helppo soveltaa myös muille alueille, tässä työssä Vantaan kaupungin pienvaluma-alueille.

Hulevesitutkimuksissa halutaan usein selvittää alueen tai maankäyttömuodon valuntakertoimia. Tämän työn luokittelun pohjalta pienvaluma-alueille sekä Corine-aineiston maankäyttömuodoille laskettiin välittömän valunnan kertoimet Sillanpään ja Koivusalon (2014) koostaman regressioyhtälön perusteella. Kyseinen yhtälö on muodostettu Suomessa tehtyjen tutkimusten pohjalta. Valuntakertoimien avulla mitoitussateen muodostama välitön valunta kyseisellä alueella voidaan laskea.

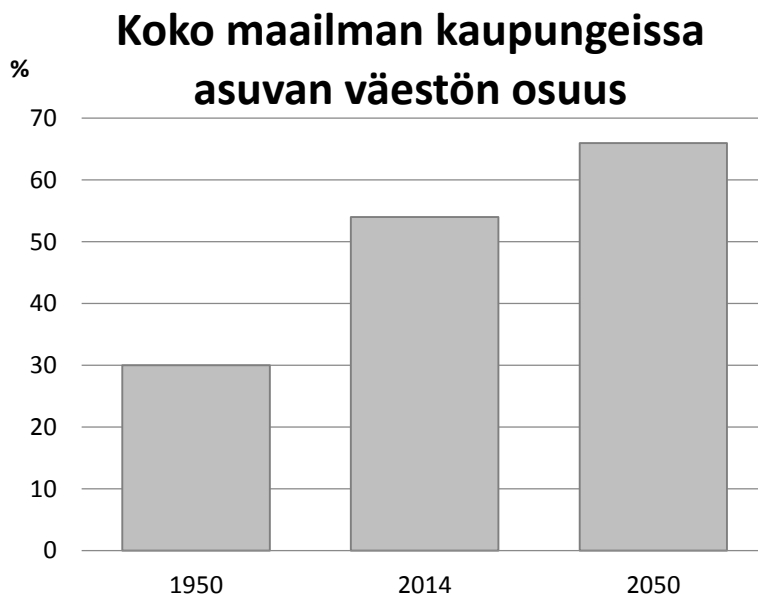
Työn tarkoituksena oli muodostaa työkalu, joka kattaa koko Vantaan kaupungin alueen ja pienvesistöt. Tarkoituksena ei ollut suorittaa tarkkoja biologisia tai laadullisia tutkimuksia yksittäisestä vesistöstä. Tästä syystä yksityiskohtaisia tarkennuksia yksittäisten purojen osalta ei kyetty tekemään. Työn avulla Vantaan kaupungin alueelta saatiin suuntaa-antava kuvaus purojen tilasta.

Koska läpäisemättömän pinnan malli pohjautuu yhden kuukauden mittausjakson sadanta- ja valuntamittauksiin kasvukaudella, kuvastavat tulokset kesäaikaista tilannetta. Tällöin ne eivät ole yleistettävissä koko vuodelle. Lisäselvitysten ja -mittausten avulla mallin luotettavuutta ja yleistettävyyttä voidaan parantaa.

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Kaupungistuminen

Yli puolet maailman väestöstä (54 %) asuu kaupungeissa, kun vuonna 1950 osuus oli vain 30 % (United Nations 2014a). Vuoteen 2050 mennessä jopa 66 % väestöstä on arvioitu asuvan kaupungeissa (Kuva 1). Euroopan kaupungistumisaste on maailman keskiarvoa suurempi, 73 %. Suomessa kaupungistuneen väestön määrä on vielä tätäkin suurempi, vuoden 2014 kesällä rakennetussa kaupunkiympäristössä asui 84,1 % väestöstä (United Nations 2014b), vaikka alueet kattavat vain noin 2 % koko maan pinta-alasta (Ristimäki et al. 2003). Lisääntyvä kaupungistuminen tuottaa monia haasteita.



Kuva 1. Kaupungeissa asuvan väestön osuus koko maailman väestöstä (United Nations 2014a)

Kaupungistumisen yksi piirre on läpäisemättömän pinnan määrän kasvu, jolloin metsäiset ja peltoalueet vähenevät (Stankowski 1972, Brabec et al. 2002, Wissmar et al. 2004). Suomessa pääkaupunkiseudulla läpäisemättömä pinta on 184 km² kattaen 23 % alueen kokonaispinta-alasta ja Vantaalla 52 km², eli 22 % Vantaan kokonaispinta-alasta (Ilmastonkestävä kaupunki 2014). Läpäisemättömän pinnan osuuden lisääntyminen muuttaa alueen hydrologisia olosuhteita, tällöin veden luonnollinen kierto ja koko vesiekosysteemin toiminta häiriintyy (Cappiella & Brown 2001, Shuster et al. 2005, Sillanpää 2013). Läpäisemättömän pinnan osuus vaikuttaa voimakkaasti valunnan lisääntymiseen ja valuntapiikkien voimistumiseen, sillä kaupunkialueilla vedet kulkeutuvat maanpintaa ja viemäriverkostoa pitkin nopeasti suoraan vesistöihin, eivätkä pääse imeytymään maaperään samalla tavoin kuin luonnontilaisilla alueilla. Kaikesta tästä seuraa tulva-, eroosio- ja vedenlaatuongelmia (Brabec et al 2002, Sillanpää 2013).

Kaupungistumista tapahtuu pääasiassa laajentamalla ulospäin ja tiivistämällä olemassa olevaa rakennetta (Vakkilainen et al. 2005). Vantaalla tämä näkyy esimerkiksi kaupun-

kirakenteen tiivistymisenä suunnitteilla olevan Aviapoliksen alueella ja levittymisenä harvaan asutuille alueille, esimerkiksi Luoteis-Vantaalle (Rimpiläinen 2014). Tiivistyvä kaupunkirakenne kohdistaa alueen puroihin entistä enemmän vaikutuksia ja maankäytöllisiä paineita, sillä purouoman muokkaus tai putkitus on usein väistämätöntä (Vakkilainen et al. 2005). Toisaalta puroumien säilyttäminen avoimina ylläpitäisi maisemallisia ja virkistyskäytöllisiä arvoja. Kokonaisuudessaan kaupunkirakenteen tiivistäminen kasvattaa läpäisemätöntä pintaa vähemmän kuin levittäytyminen laajemmalle alueelle, mutta huonontaa tiiviin alueen vesistöjen tilaa merkittävästi (Kuusisto 2002, Vakkilainen et al. 2005). Kaupunkirakenteen tiivistäminen on kuitenkin väistämätöntä, Heikki Setälä mainitsi haastattelussa (Mattila-Niemen 2014) kaupungin rakennetun alueen kasvavan jopa nopeammin kuin siellä asuvan väestön.

Suuret kaupungit houkuttavat enemmän ihmisiä kasvattaen kaupunkien asukasmääriä ja näin myös kokoja entisestään, jolloin läpäisemättömän pinnan osuus kaupungeissa kasvaa (Shuster et al. 2005). Kaavoituksella ja suunnittelulla voidaan jossakin määrin säädellä läpäisemättömän pinnan osuutta (Schueler 1994, Urbonas & Doerfer 2005, Schueler et al. 2009), esimerkiksi kaavoittamalla enemmän kerrostaloalueita kuin pientaloalueita. Tällä on kuitenkin vaikutusta lähinnä kattopinta-alaan. Teiden ja muiden liikkumiseen tarvittavien läpäisemättömien alueiden laajuuteen ei kaavoituksella juuri ole puututtu Suomessa, vaikka suunnittelemalla kadut kapeammiksi voidaan helposti vähentää läpäisemättömän pinnan osuutta kaupunkialueilla (Schueler 1994, Rimpiläinen 2014).

2.2 *Läpäisemätön pinta*

Läpäisemättömän pinnan ja vastaanottavan vesistön välillä on selvästi havaittava yhteys (Booth & Jackson 1997, Cheng & Wang 2002, Cappiella & Brown 2001, Kuusisto 2002, Shuster et al. 2005, King et al. 2011). Läpäisemätön pinta voidaan jakaa pääasiassa kahteen tyyppiin: kattopintaan ja liikennealueisiin. Kattopinnan käsite on selkeä ja liikennealueita ovat tiet, parkki- ja piha-alueet, kävelykadut yms. Läpäisemätön pinta on selkeä käsite ja siksi se sopii hyvin yleiseksi muuttujaksi maankäytön suunnitteluun (Schueler 1994, Schueler et al. 2009). Niin suunnittelijat, insinöörit, arkkitehdit, tutkijat ja päättäjät ymmärtävät helposti tämän mitattavan parametrin. Läpäisemätön pinta on yksi tärkeimmistä mittareista liittyen kaupunkirakentamiseen ja syntyvien hulevesien vaikutuksiin ympäristössä (Lee & Heaney 2003).

Kaupunkien läpäisevä pinta, kuten rakennetut viheralueet, liikuntakentät, yms. ovat erilaisessa tilassa kuin luonnollinen läpäisevä pinta. Kaupunkialueilla maaperää on muokattu voimakkaasti esimerkiksi poistamalla päällimmäisiä maakerroksia, täyttämällä alenevia kohtia ja ojittamalla soita, lisäksi maaperä on painunut kasaan ja tiivistynyt rakennustoiminnan seurauksena (Schueler 2000). Häiriintynyt ja tiivistynyt pohjamaa ei ole enää täysin läpäisevää, eikä kyseinen maaperä kykene imemään vettä samassa määrin kuin luonnontilainen (Schueler 2000, Schueler 2005, Shuster et al. 2005). Tämä

kasvattaa alueen pintavaluntaa. Suomen talvioloissa läpäisevä pinta käyttäytyy usein kuten läpäisemätön pinta (Sillanpää 2013). Maaperän jäätyessä valuntaa tapahtuu lähinnä pintavaluntana.

2.2.1 Läpäisemätön kokonaispinta ja tehoisa läpäisemätön pinta

Sen lisäksi, että läpäisemätön pinta voidaan jakaa kattopintaan ja tieverkostoon, voidaan se esittää läpäisemättömän pinnan kokonaismääränä, kokonaisläpäisemättömyytenä (TIA, Total Impervious Area) ja tehoisana läpäisemättömänä pintana, tehoisana läpäisemättömyytenä (EIA, Effective Imperious Area). Läpäisemätön kokonaispinta-ala sisältää kaiken läpäisemättömän pinnan valuma-alueella ja tehoisa läpäisemätön pinta vain ne alueet TIA:sta, jotka ovat hydraulisesti yhdistettynä hulevesiverkostoon ja näin johtavat hulevedet suoraan vesistöihin (Sutherland 1995, Shuster et al. 2008). Muut läpäisemättömät pinnat, jotka johtavat sadevedet viereisille läpäiseville pinnoille, kuten joskus esimerkiksi katot, jätetään EIA:ssa huomiotta. Valuma-alueiden läpäisemättömyyttä tutkittaessa tärkeämpää olisi kiinnittää huomio tehoisaan läpäisemättömään pintaan, kuin kokonaisläpäisemättömyyteen, sillä EIA tuottaa lähes kaiken pintavalunnan kaupunkialueella (Lee & Heaney 2003, Shuster et al. 2005, Sillanpää 2013).

Kokonaisläpäisemättömyyttä, TIA:ta, ilmaistaan prosenttiosuutena koko valuma-alueesta (Shuster et al. 2005), mutta sitä on arvioitu myös asukastiheyden tai kadun reunakiveyksen funktiona (Brabec et al. 2002). Yleisimmin läpäisemättömän pinnan osuuden mittaamiseen käytetään kaukokartoitusmenetelmiä, eli satelliitti- ja ilmakuvia, koska nämä ovat halpoja tuottaa ja kuvia on saatavilla runsaasti. (Schueler 1994, Brabec et al. 2002, Lee & Heaney 2003, Schueler et al. 2009). Satelliitti- ja ilmakuvien ansiosta läpäisemättömän pinnan osuus on helppo mitata, jolloin se on hyvä indikaattori kaavoituksessa ja suunnittelussa (Schueler 1994, Schueler et al. 2009). Läpäisemättömän pinnan osuuden mittaamisessa tulisi kuitenkin huolehtia kuvien ajantasaisuudesta; maankäytön muutokset voivat tapahtua hyvinkin nopeasti ja vanhentuneet kuvat ja tiedot lisäävät mittauksen epätarkkuutta (Shuster et al. 2005). Läpäisemättömän pinnan sijainti valuma-alueella on hyvin paikkakohtaista, mikä aiheuttaa sen arviointiin haasteita (Brabec et al. 2002, Lee & Heaney 2003, Shuster et al. 2005). Tästä syystä tulee käyttää harkintaa, kun määritetään keskimääräinen arvio maankäyttömuodon kokonaisläpäisemättömyydelle (Brabec et al. 2002, Shuster et al. 2005, Shuster et al. 2008).

Tehoisan läpäisemättömyyden oletetaan useimmiten olevan määrätty prosenttiosuus kokonaisläpäisemättömyydestä valuma-alueella (Brabec et al. 2002, Shuster et al. 2005). Sillanpään (2013) tutkimusten mukaan TIA:n ja EIA:n välistä suhdetta voidaan ilmaista kaavalla 1:

$$TIA = \frac{EIA + 0,133}{1,082} \quad [1]$$

Tehoisan läpäisemättömän pinnan osuudet vaihtelevat vielä enemmän eri maankäyttömuotojen välillä kuin kokonaisläpäisemättömyys (Vakkilainen et al. 2005). Vaikka kaukokartoitusta käytetään yleisesti TIA:n osuuden arviointiin, ei se yksin riitä EIA:n määrittämiseen (Lee & Heaney 2003). EIA:ta voidaan arvioida esimerkiksi Sutherlandin (1995) menetelmällä, joka perustuu hulevesiviemäriverkoston laajuuteen (Vakkilainen et al. 2005). Chiewin ja McMahonin (1999) esittämä tapa arvioida tehoisan läpäisemättömän pinnan osuutta on kuitenkin todettu parhaimmaksi (Shuster et al. 2008). Tässä tehoisan läpäisemättömän pinnan osuus saadaan kokonaissadannan ja välittömän valunnan suhteesta, lineaarisella regressiosuoralla. Menetelmää käytetään pienille ja keskisuurille sateille, joissa valuntaa muodostuu pääasiassa vain tehoisilta läpäisemättömiltä pinnoilta. Tarkimmat tulokset tehoisan läpäisemättömän pinnan osuudesta valuma-alueella saadaan kuitenkin kenttätutkimuksilla, jolloin esimerkiksi yksittäisten talojen kattopintojen hydrologinen yhteys hulevesiverkostoon tarkistetaan (Lee & Heaney 2003).

Varsinkin Amerikassa, missä läpäisemättömän pinnan tutkimusta on paljon tehty, tiet, pysäköintialueet ja muut kuljetukseen liittyvät läpäisemättömät pinnat, esimerkiksi piha-alueet, muodostavat suurimman osan tehokkaaseen läpäisemättömään pintaan kuuluvista alueista, sillä ne on hydraulisesti yhdistetty hulevesiverkostoon (Schueler 1994, Lee & Heaney 2003). Lisäksi näiltä pinnoilta myös huuhtoutuu haitallisia aineita huleveden mukana suoraan vesistöön. Kuitenkin teiden pintamateriaali ja ikä vaikuttavat niiden läpäisevyyteen ja kykyyn säilyttää vettä (Shuster et al. 2005). Vanhempi tie sisältää enemmän halkeamia ja epätasaisuutta muodostaen kulkureittejä vedelle ja tämä vaikuttaa hulevesivaluntaan vähentävästi tai ainakin viivyttävästi.

Amerikassa kattopintoja ei ole useinkaan yhdistetty hulevesiviemäriin, vaan niille tuleva sadevesi ohjataan viereisille läpäiseville pinnoille, kuten pihan nurmialueille (Schueler 1994, Lee & Heaney 2003). Tällöin kertyvän sateen vaikutukset luonnolliseen hydrologiaan ovat vähäiset, vaikka myös kattopinnoilta päätyy haitallisia aineita hulevesien mukana vesistöön. Suomessa varsinkin tiiviillä kaupunkialueilla myös kattopinnat on yhdistettynä hulevesiverkostoon jolloin niillä on yhtä suuri merkitys hulevesien tuottajana kuin teillä ja parkkialueilla (Rimpiläinen 2014).

Pienillä ja keskisuurilla sadetapahtumilla tehoisa läpäisemätön pinta muodostaa lähes kaiken syntyvän valunnan (Lee & Heaney 2003, Sillanpää 2013). Muulta valuma-alueelta ja erityisesti niiltä alueilta, joita ei lasketa mukaan EIA:han, muodostuu valuntaa sitä vastoin vain suurilla sadetapahtumilla. Tämä johtuu siitä, että suurempien sateiden aikana maaperän huokosten täytyttyä vedellä, alkaa vesi virrata maanpintaa pitkin läpäisemättömän pinnan tavoin. Samanlainen tilanne syntyy myös talvella, kun maaperä jäätyy eikä kykene imemään vettä ja haihdunta on myös minimissään. Talvikaikainen valunta on suurta verrattuna kesäaikaiseen (Sillanpää 2013). Burtonin ja Pitin (2002) mukaan 5 - 10 mm sateilla tehoisa läpäisemätön pinta muodostaa kaiken syntyvän valunnan ja läpäisevä pinta aktivoituu noin 20 mm sateilla. Sillanpään ja Koi-

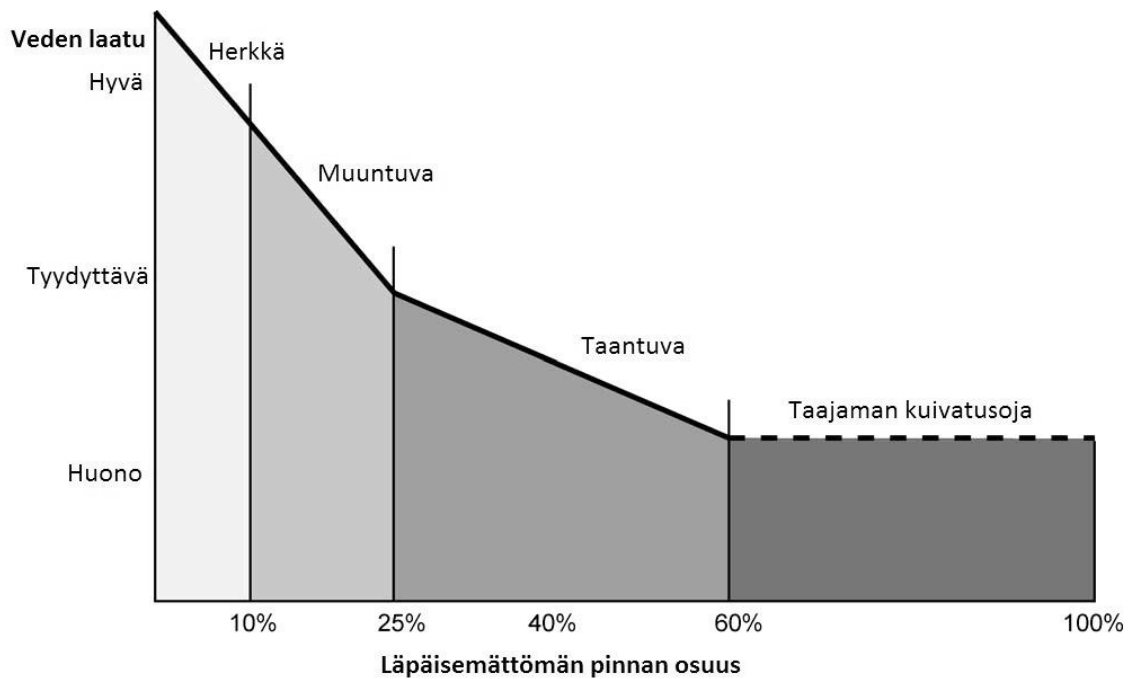
vusalon (2014) mukaan Suomen ilmasto-oloissa on saatu samankaltaisia tuloksia: pienten ja suurten sateiden raja asettuu keskimäärin välille 17 - 20 mm.

Suomessa tehoisan läpäisemättömän pinnan ja kokonaisläpäisemättömyyden suhdetta ovat tutkineet muun muassa Melanen ja Laukkanen (1981) seitsemällä eri valuma-alueella. Kyseiset valuma-alueet sijaitsivat ympäri Suomea ja sisälsivät asuinalueita (pien- ja kerrostalo), liikennealueen, teollisuudenalueen ja keskusta- sekä liikealueita. Tuloksena saatiin, että EIA:n osuus kokonaisläpäisevyydestä on 50 - 80 % asuinalueella ja 80 - 90 % kaupungin keskusta- ja teollisuusalueilla. Tämä viittaa siihen, että tehoisan läpäisemättömyyden osuus lähestyy kokonaisläpäisemättömyyttä, kun läpäisemättömän pinnan osuus kasvaa. Myös Sillanpää (2013) on todennut saman; kun valuma-alueen läpäisemättömyys on alle 40 %, on TIA:n ja EIA:n suhde lineaarinen, suuremmilla läpäisemättömän pinnan osuuksilla lineaarisuus muuttuu eksponentiaaliseksi. Valuma-alueen läpäisemättömyyden ollessa alle 40 % on tehoisan läpäisemättömän pinnan osuus keskimäärin 58 % kokonaisläpäisemättömyydestä. Yli 40 % läpäisemättömyydellä tehoisan läpäisemättömän pinnan osuus on 85 %.

2.2.2 Läpäisemättömän pinnan malli

Läpäisemättömän pinnan malli (ICM, Impervious Cover Model) tutkii valuma-alueen vettä läpäisemättömien pintojen osuuden vaikutuksia pienvesistöjen virtaamiin, veden laatuun ja kokonaisuudessaan vesistöjen tilaan (Schueler et al. 2009). Koska malli keskittyy vain yhteen muuttujaan, läpäisemättömän pinnan osuuteen, voidaan sillä sekä määrittää pienvesistön vaste stressitekijöihin että ennakoida vesistön muuttumista läpäisevän pinnan osuuden lisääntyessä. Ennakoinnin perusteella voidaan myös rajoittaa pienvesistöihin kohdistuvia vaikutuksia, vähentämällä läpäisemättömän pinnan määrää valuma-alueella.

Läpäisemättömän pinnan mallia on alettu kehittämään jo vuonna 1994 maankäytön suunnittelun avuksi sekä huomioimaan ja ennakoimaan kaupunkialueiden pienvesistöjen tilaa (Schueler et al. 2009). Mallin perustana on 18 tieteellistä tutkimusta, joissa selvitettiin suoria tai epäsuoria läpäisemättömän pinnan osuuden vaikutuksia vesistön laadun indikaattoreihin (esimerkiksi kala- ja vesihyönteislajit, kasvusto, uoman morfologia). Tutkimusten tuloksena havaittiin, että valuma-alueen vettä läpäisemättömän pinnan osuuden kasvaessa 10 - 15 %:iin puron tilan säilyminen ja säilyttäminen luonnontilaisena heikkenee voimakkaasti. Näiden tutkimusten perusteella Schueler (1994) tuotti ensimmäisen konseptuaalisen version pienvaluma-alueiden läpäisemättömän pinnan mallista (Kuva 2).

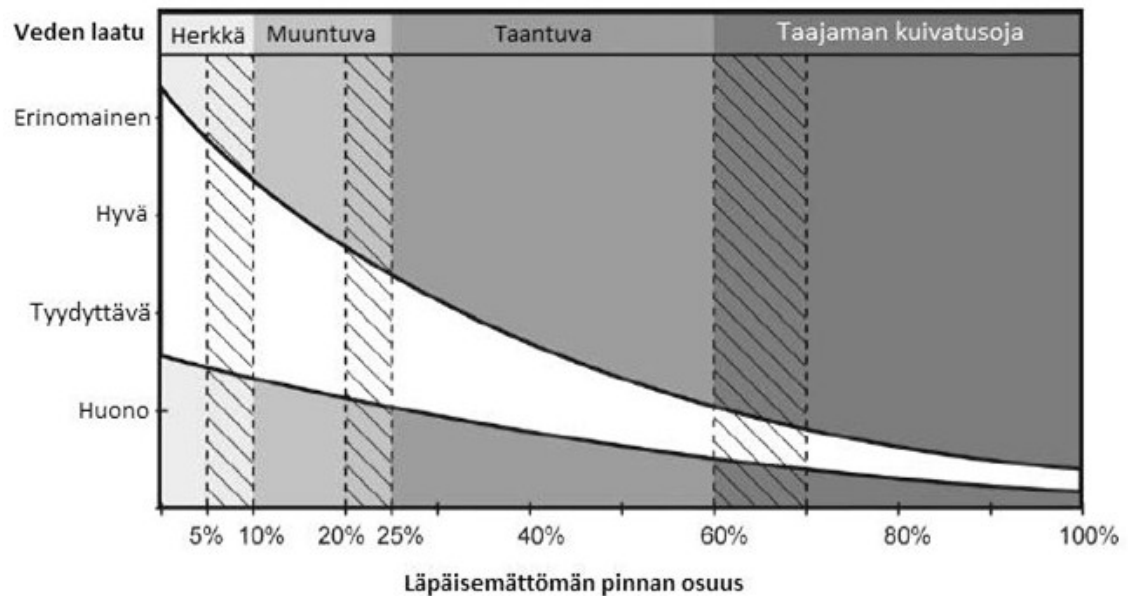


Kuva 2. Läpäisemättömän pinnan konseptuaalinen malli (ICM) (CWP 1998)

Kuvan 2 konseptuaalisessa mallissa on esitetty läpäisemättömän pinnan luokitukset (Schueler et al. 2009). Pienvesistöjen valuma-alueet, joilla on 10 % tai vähemmän läpäisemättömää pintaa luokitellaan mallin mukaan *herkiksi* (sensitive). Näiden alueiden vesistöt pystyvät useimmiten säilyttämään hydrologiset toimintansa ennallaan luonnontilaisena tai lähes luonnontilaisena. Näin ne pystyvät myös säilyttämään hyvän tai erinomaisen eliöstön monimuotoisuuden. Kun valuma-alueella on läpäisemättömää pintaa 11 - 25 %, on alue *muuntuva* (impacted). Tällöin vesistön tila heikkenee jo selvästi ja monet määrittävät indikaattorit liukuvat tyydyttävään veden laadun luokkaan. Tässä luokassa suojavyöhykkeiden leveydellä kuitenkin on merkittävä vaikutus; vesistön laatu voi edelleen olla tyydyttävä, jos alueella on riittävästi suojavyöhykkeitä. Kun valuma-alueen vettä läpäisemättömän pinnan osuus nousee välille 26 – 60 %, luokitellaan puro *taantuvaksi* (non-supporting). Tällöin vesistö ei enää kykene säilyttämään luonnollista hydrologiaa, uoman vakavuutta, elinympäristöä, veden laatua tai monimuotoisuutta. Tämän luokan vesistöjen laatu laskee niin alas, että niitä on oikeastaan mahdotonta enää kunnostaa luonnontilaisiksi tai edes lähes luonnontilaisiksi. Kun valuma-alueen läpäisemättömän pinta ylittää 60 %, luokitellaan pienvesistöt *taajaman kuivatusojaksi* (urban drainage), sillä ne ovat niin muokattuja että toimivat lähinnä hulevesien johdatuksessa. Veden laatu näissä vesistöissä on huono, uoma epävakaa, ja eliöstö ja elinympäristö heikkoja. Usein nämä uomat ovat myös enimmäkseen putkitettu tai muuten eristetty luonnosta. Kuitenkin läpäisemättömän pinnan osuuden vaikutukset pienvesien hydrologiaan tunnetaan vain empiirisesti ja raja-arvot eri luokkien välillä vaihtelevat valuma-aluekohtaisesti (Shuster et al. 2005).

Ensimmäistä versiota (kuva 2) läpäisemättömän pinnan mallista on tarkennettu lisätutkimusten valossa vuonna 2009 (Schueler et al. 2009). Mallin toimivuutta tarkastel-

tiin uudestaan yli 200 tieteellisen tutkimuksen valossa (CWP 2003). Näistä suurin osa vahvistaa tai täydentää väitettä läpäisemättömän pinnan osuuden negatiivisesta korrelaatiosta pienvesistöjen laatuun, eikä yksikään kumoa sitä. Muutamat tutkimuksista jouduttiin sivuuttamaan, sillä vertailukelpoiset kriteerit eivät täyttyneet (Schueler et al. 2009). Uusien tutkimusten valossa mallista on tehty uusi jaottelu, joka seuraa pääsääntöisesti vanhaa mallia, mutta johon on tehty muutamia muutoksia. Uudistettu konseptuaalinen läpäisemättömän pinnan malli on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Uudistettu läpäisemättömän pinnan konseptuaalinen malli (ICM) (Schueler et al. 2009)

Uudistetussa läpäisemättömän pinnan mallissa (ICM) (kuva 3) veden laatua ei kuvata enää yksittäisenä viivana, vaan tilana, joka on leveimmillään pienellä läpäisevyyden osuudella ja kapenee voimakkaasti valuma-alueen läpäisemättömän pinnan osuuden kasvaessa (Schueler et al. 2009). Tämä kuvaa sitä tosiasiaa, että veden laatu eri valuma-alueilla vaihtelee voimakkaasti, kun läpäisemättömän pinnan osuus on pieni. Tällöin muilla parametreilla, kuten maaperällä, metsäisyydellä tai suojavyöhykkeen leveydellä, on enemmän vaikutusta vesistöön kuin läpäisemättömän pinnan osuudella. Läpäisemättömän pinnan osuuden kasvaessa veden laatu heikkenee selkeästi kaikkien indikaattorien osalta, mikä näkyy kuvan 3 kartion voimakkaassa kapenemisessa, sillä suuria vaihteluita ei eri valuma-alueiden välillä ole enää havaittavissa.

Uudistetussa läpäisemättömän pinnan mallissa (kuva 3) on lisätty vaihtumisvyöhykkeet ennen varsinaista luokitteluvaihdosta (Schueler et al. 2009). Esimerkiksi muutos herkästä muuntuvaan tapahtuu 5 ja 10 % läpäisemättömyyden välillä. Muuttumisvyöhykkeet ovat tärkeä lisä malliin, sillä veden laatu luonnossa ei heikkene yhtäkkiä läpäisemättömän pinnan osuuden muuttuessa vaan muutos tapahtuu vähitellen. Lisäksi yksittäiset indikaattorit reagoivat eri tavalla läpäisemättömään pintaan ja veden laatu voi jonkin indikaattorin mukaan olla huonompi tai parempi kuin jonkun toisen.

Muuttumisvyöhykkeet myös kehottavat tukeutumaan mitattuun aineistoon yksittäisten pienvesistöjen osalta, jotta oikea luokka valitaan oikein perusteiden ja luotettavasti (Schueler et al. 2009). Taulukossa 1 on esitetty Suomen oloihin sovellettu versio läpäisemättömän pinnan mallin luokittelusta, vesistöjen suojelun tavoitteista ja vesistöille suoritettavista toimenpiteistä (Salminen et al. 2010). Taulukko on tehty ICM:n ensimmäisen version mukaan. Kun läpäisemättömän pinnan osuus tunnetaan, taulukon avulla voidaan arvioida uoman kunto ja vesistön tila sekä määrittää suosituksia maankäytön ohjaukseen, hulevesien hallintaan ja uoman suojeluun.

Taulukko 1. Läpäisemättömän pinnan malli (ICM), taajamapurojen luokittelu puroissa havaittujen muutosten perusteella, suojelun tavoitteet ja toimenpiteet. Suomen oloihin sovellettu taulukko läpäisemättömän pinnan mallista (Schueler 1994, josta muokannut Salminen et al. 2010)

Taajamapurojen luokittelu	Luonnontilainen puro TIA 0-10 %	Muuntunut puro TIA 11-25%	Taantunut puro TIA 26-100%
Vedenlaatu	Hyvä	Kohtalainen	Kohtalainen - huono
Uoman vakavuus	Vakaa	Epävakaa	Erittäin epävakaa
Puron biologinen monimuotoisuus	Erinomainen - hyvä	Hyvä - kohtalainen	Vähäinen
Suojavyöhykkeet	Laajat, yhtenäiset suojavyöhykkeet	Mahdollisimman hyvät ekologiset käytävät	Viherkäytävät
Puron suojelun tavoitteet	Vesistön biologisen monimuotoisuuden sekä uoman vakavuuden säilyttäminen	Puron tärkeimpien, luontaisten ominaispiirteiden säilyttäminen	Alapuolisen vesistön kuormituksen vähentäminen
Hulevesien hallinta pohjautuu	Välillisiin ympäristövaikutuksiin	Välittömään puhdistustehokkuuteen	Välittömään puhdistustehokkuuteen
Uudet rakennushankkeet	Pyritään ohjaamaan muualle	Ei sallita	Sallitaan
Maankäytön ohjaustapa	Vettä läpäisemättömän pinnan rajoittaminen valuma-alueella	Vettä läpäisemättömän pinnan rajoittaminen tonteilla	Taajamarakenteen tiivistäminen ja täydennysrakentaminen
Alueen tilan seuranta	Vettä läpäisemättömän pinnan määrän sekä alueen biologisen tilan seuranta	Haitta-aineiden seuranta	Haitta-aineiden seuranta
Vedenlaadun seuranta	Kiintoaineen kertyminen ja lämpötila	Ravinne- ja metallikuorma	Ulosteperäiset bakteerit

Läpäisemättömän pinnan mallin (ICM) tarkoituksena on kuvata pienvesistöjen keskimääräistä käyttäytymistä eri indikaattoreiden mukaan; ei niinkään ennustaa yksittäisen puron tai indikaattorin antamaa tilannetta (Schueler et al. 2009, CWP 2003). Tästä syystä mallin käyttäminen yksittäisenä pienvesistön laadun määrittäjänä on epävarmaa

ja malli antaa enemmänkin vihjeitä siihen minkälainen laatu kyseisellä pienvesistöllä voisi olla. Yksittäiset tapaukset tulisi aina varmistaa mittausaineistolla (Shuster et al. 2005, Schueler et al. 2009).

Läpäisemättömän pinnan malli soveltuu pienille 5 - 50 km² valuma-alueille (Schueler 1994, CWP 2003, Schueler 2005). ICM ei kuitenkaan ole paras työkalu mallintamaan alueita, joiden läpäisemättömän pinnan osuus on alle 10 % koko valuma-alueesta tai kun alueella on suuria pistekuormituslähteitä tai vesistön kulkua rajoittavia tekijöitä, kuten suuria patoja (Schueler et al. 2009). Mallia on kehitetty pääasiassa Yhdysvalloissa, joten sen toimivuutta muissa olosuhteissa on syytä selvittää. Mallia on kuitenkin testattu onnistuneesti monenlaisissa olosuhteissa. Myös läpäisemättömän pinnan erilaiset mittaustavat voivat aiheuttaa eroavaisuuksia mallin hyvyydelle.

Veden laatua voidaan mitata erilaisilla parametreilla, sillä vesistön kokonaislaatu on yhdistelmä veden fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista sekä biologisesta monimuotoisuudesta (Brabec et al. 2002). Tämä kuitenkin myös vaikeuttaa vesistön laadun määrittämistä. Yksi parametri voi osoittaa veden laadun olevan hyvää, kun toinen samasta vesistöstä otettu parametri kuvaa veden laadun huonoksi. Brabecin ja muiden (2009) mukaan veden laatua kannattaa arvioida herkimmän parametrin mukaan tai tehdä mielellään useita erilaisia analyysyjä, jotta vesistön todellinen kunto saadaan selville. Läpäisemättömän pinnan mallissa (ICM) tutkittavat vesistön laatuparametrit eli indikaattorit on jaettu viiteen eri luokkaan. Nämä luokat ovat puron hydrologia, uoman morfologia, elinympäristö, veden laatu ja puron monimuotoisuus (Schueler 2005, Schueler et al. 2009).

Uoman biologiset indikaattorit ovat merkittäviä vesistön laadun kuvaajia, sillä niihin vaikuttavat sekä veden kemialliset että fysikaaliset ominaisuudet (Brabec et al. 2002). Jos vesistön laatu luokitellaan vain kemiallisten parametrien mukaan, eivät läpäisemättömän pinnan vaikutukset usein ole niin merkittäviä. Biologiset indikaattorit kuvaavat lisäksi paremmin puron pitkäaikaista tilaa, eivätkä niinkään lyhytaikaisia kemiallisia vaihteluita. Pienillä läpäisemättömän pinnan osuuksilla vaikutuksia vesieliöihin ja niiden lajeihin purouomassa ilmenee enemmän kuin vaikutuksia kemiallisiin tai fysikaalisiin ominaisuuksiin.

Kaupungistuneen ympäristön lisääntyessä ei ole mahdollista säilyttää kaikkien vesistöjen laatua erinomaisena, sillä tällöin rakentaminen tulisi hajauttaa valtavalle alueelle, jotta alle 10 % läpäisemättömän pinnan osuus ei ylittyisi (Brabec et al. 2002). Perusteltua on keskittää rakentaminen pienemmälle alueelle, jolloin luodaan myös tehokkuutta maankäyttöön, eikä esimerkiksi teitä tarvitse rakentaa niin paljon. Tämä kuitenkin tarkoittaa valintaa puroumien välillä. Osa puroista jää väkisinkin rakentamisen jalkoihin, jolloin niiden laatu heikkenee voimakkaasti, osa voi säilyttää elinvoimaisuutensa ja toimia biologisesti monimuotoisina virkistysalueina. (Brabec et al. 2002, Shueler et al. 2009.)

2.2.3 Maankäyttö

Läpäisemättömän pinnan osuuksia erilaisille maankäytönmuodoille on määritetty monissa tutkimuksissa (Zaman & Ball 1994, Kuusisto 2002, Vakkilainen et al. 2005, Järveläinen 2014). Toisaalta kuitenkin tiedetään, että nämä arviot ovat hyvin aluekohtaisia, eikä yleispätevää osuutta voida välttämättä esittää (Brabec et al. 2002, Shuster et al. 2005). Taulukoissa 2, 3 ja 4, sekä kuvassa 4 on esitetty eri tutkimuksissa määritettyjä läpäisemättömän pinnan osuuksia erilaisilla maankäytön luokilla. Taulukoista ja kuvasta nähdään miten läpäisemättömän pinnan osuudet vaihtelevat suuresti samankin maankäytön sisällä. Esimerkiksi asuinalueiden läpäisemättömän pinnan määrään vaikuttaa asukastiheys ja rakennustyyppi. Haasteensa eri maankäytön muotojen luokitteluun tuovat erilaiset määrittävät. Jos läpäisemättömän pinnan osuus määritetään valuma-aluekohtaisesti, saa TIA pienempiä arvoja alueen rakentamattomien pinta-alojen vuoksi, kuin jos se määritettäisiin yksittäiselle maankäyttömuodolle.

Taulukko 2. Kuusiston (2002) määrittämät läpäisemättömän pinnan osuudet eri maankäyttöluokille

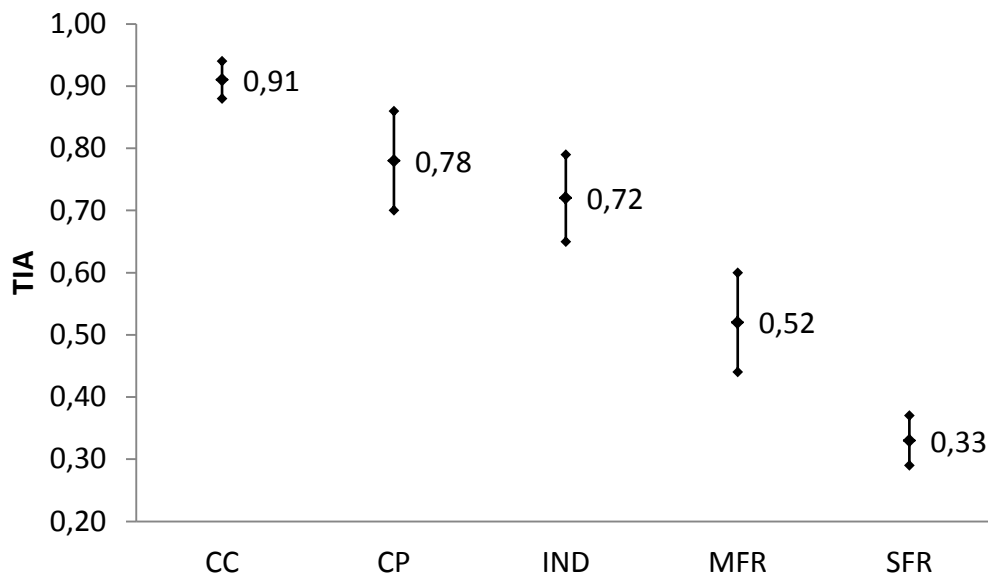
Maankäyttö	TIA
Liike- ja teollisuusalue	0,75
Koulu- ja kirkkoalue	0,6
Hyvin tiivis pientaloalue (< 1000 m ²)	0,3
Tiivis pientaloalue	0,15
Väljä pientaloalue (> 2000 m ²)	0,07
Rivitalo/pienkerrostaloalueet	0,35
Väljä kerrostaloalue	0,35
Tiivis kerrostaloalue	0,5
Hyvin tiivis kerrostaloalue	0,75
Metsä, pelto, niitty, suo	0,02
Vesi	0

Taulukko 3. Vakkilaisen ja muiden (2005 muokattu) koostama taulukko läpäisemättömän pinnan osuuksista asukastiheyden mukaan

Maankäyttö	Asukastiheys (as/km ²)	TIA
Pientaloalue	2600	0,20
	3000	0,29
Kerrostaloalue	8500	0,30
	12300	0,50
	16000	0,40
Keskusta-alue	6500	0,64
	12500	0,66

Taulukko 4. Lämpisemättömän pinnan osuus maankäyttömuodon perusteella (Zaman & Ball 1994)

Maankäyttö	TIA
Väljä asuinalue	0,37
Tiivis asuinalue	0,45
Hyvin tiivis asuinalue	0,55
Liikealue	0,55
Avomaa	0
Teollisuusalue	0,55
Eriyiskäyttö	0,5
Liikennealue	0,80



Kuva 4. Järveläisen (2014) määrittämät lämpisemättömän pinnan osuudet 95 % luotamusvälillä eri maankäytön muodoille Lahdessa. CC = keskusta-alue, CP = palveluiden/yleiset alueet, IND = teollisuuden alueet, MFR = kerrostaloalueet ja SFR = pientaloalueet

Tässä työssä maankäytön luokitteluun käytettiin Corine Land Cover maanpeite paikkatietoaineistoa, jota käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.2.1. Muita yleisesti käytettävissä olevia aineistoja ovat muun muassa Euroopan ympäristöviraston (European Environment Agency, EEA) tuottama Soil sealing -aineisto (EEA 2015a), jota on hyödynnetty esimerkiksi Ilkka-hankkeessa (Ilmaston kestävä kaupunkin suunnitteluopas 2014) pääkaupunkiseudun lämpisemättömyyden määrittämiseen (katso myös **Virhe. Viitteen lähde ei löytnyt.**). Soil sealing -aineisto kuvaa suoraan maanpinnan lämpisemättömän pinnan osuutta. Ilkka-hankkeen yhteydessä Helsingin seudun ympäristöpalvelut kuntayhtymä (HSY) on tilannut myös uuden Seudullisen maanpeiteaineiston, joka on tuotettu pääkaupunkiseudulle (Kesäniemi 2014a). Aineisto perustuu ilmakuvatulkintaan. Ensimmäinen versio uudesta aineistosta valmistui lokakuussa 2014, mutta aineistoa kuitenkin parannellaan siinä esiintyvien yleisten virheiden poistamiseksi. Kolmas

käytettävissä oleva aineisto on myös EEA:n tuottama Urban Atlas –maankäyttöaineisto (EEA 2015b), se on saatavilla Suomessa pääkaupunkiseudulta ja suurimmista kaupungeista.

2.2.4 Lämpäsemätön pinta Vantaalla

Vantaan pienvaluma-alueiden luokittelu lämpäsemättömän pinnan mallin perusteella (ICM) on tehty Ilkka-hankkeessa (Ilmastonkestävä kaupunki 2014) vuonna 2014. Hankkeessa määritetyt lämpäsemättömän pinnan osuudet perustuvat EEA:n Soil sealing -rasteriaineistoon vuodelta 2009. Soil sealing aineiston ruutukoko on 20 x 20 m² (Kesäniemi 2014b).

Ilmastonkestävä kaupunki (2014) tutkimuksen mukaan Vantaalla lämpäsemättömyyttä pintaa on 52 km², se on 21,6 % koko Vantaan pinta-alasta. Lämpäsemättömän pinnan suhde asukasta kohden Vantaalla on 248 m² vuoden 2014 syyskuun asukasmäärän (210 096 asukasta) mukaan laskettuna (Väestötietojärjestelmä 2014). Keski-Vantaalla lämpäsemättömyyttä pintaa esiintyy enemmän kuin reunamilla. Pyhtäänkorvenojan valuma-alueella on Vantaan suurin lämpäsemättömyys 72 %. Pyhtäänkorven- ja Kirkonkylänojan valuma-alueiden yhteislämpäsemättömyys on 65 % ja sijoittuen ICM-luokittelun mukaan taajaman kuivatusojaksi. Krakanojan lämpäsemättömyys jää hieman pienemmäksi, 44 %:iin, sijoittuen taantuvaksi puroksi.

2.2.5 Vaikutukset vesistöihin

Kaupunkialueilla purojen tila pysyy harvoin luonnontilaisena (Urbonas & Doerfer 2005, Vakkilainen et al. 2005). Luonnontilaisten uomien osuus vähenee, kun uomia suoristetaan tai putkitetaan rakennetun pinta-alan lisääntyessä. Lämpäsemättömät pinnat aiheuttavat muutoksia vesistöjen fysikaalisissa ja ekologisissa tekijöissä. Uomien muokkaus vaikuttaa veden virtaukseen ja uoman habitaatteihin. Luonnontilaisten purojen elinolosuhteet ovat monipuoliset, mutta voimakkaasti muokatuissa puroissa elinolosuhteet yksipuolistuvat, millä on vaikutusta eliöihin ja kaloihin.

Kuten on jo todettu, lämpäsemättömän pinnan osuuden ja pienvesistöjen tilan välillä on selvästi havaittava yhteys. Mitä enemmän lämpäsemättömyyttä pintaa valuma-alueella on, sitä isompi osa sadannasta muodostuu valunnaksi (Schueler 1994, Lee & Heaney 2003, CWP 2003, Wissmar et al. 2004, Urbonas & Doerfer 2005, Kauffman et al. 2009). Tällöin valuntapiikki voimistuu ja sen toistuvuus lisääntyy pienienkin sateiden muodostaessa valuntaa (Lee & Heaney 2003). Viemäriverkoston tehostuessa valuvan veden nopeus kasvaa ja aika, joka vedellä kuluu uomaan pääsemiseen, lyhenee. Vesistöjen alavirrassa seurauksena on tulvimista ja eroosiota (Sillanpää 2013). Toistuvat ylivirtaamat ja virtaamavaihtelut puroissa aiheuttavat uoman morfologisia muutoksia, mistä seuraa lisää eroosiota, uoman syvenemistä sekä uoman elinolosuhteiden muutoksia (Schueler 1994 Vakkilainen et al. 2005). Myös pohjaveden imeytyminen vähenee suhteessa lämpäsemättömän pinnan osuuteen ja samalla kuivan kauden virtaama puroissa voi pie-

nentyä (Schueler 1994, Lee & Heaney 2003, CWP 2003, Kauffman et al. 2009). Kun läpäisemätön pinta määrittää suurinta osaa valuma-alueesta, muuttuu lähes kaikki valunta hulevesivalunnaksi, muuttaen kokonaisvaltaisesti alueen hydrologista tehokkuutta ja vaikuttaen pienvesistöjen tilaan negatiivisesti (Shuster et al. 2005).

Valunnan kasvun lisäksi pienvesistöihin vaikuttavat myös huleveden laadun muutokset. Läpäisemättömän pinnan osuuden kasvu tehostaa haitallisten aineiden kulkeutumista vesistöihin (Lee & Heaney 2003). Kaduille laskeutuvat ja kerääntyvät ilmansaasteet, autoista valuvat öljyt ja raskasmetallit, tienpinnasta irtoava aines ja eläimien jätökset kulkeutuvat nopeasti pienvesistöihin sadetapahtuman sattuessa (Schueler 1994, Schueler et al. 2009). Kaupungistuneiden alueiden pienvesistöjen laatu on useimmiten heikko verrattaessa luonnontilaiseen.

Rakennustoiminta kaupunkialueilla vaikuttaa hulevesien laatuun ja näin pienvesistöihin voimakkaasti (Sillanpää 2013). Rakennustyön alla olevien alueiden vesistöt ovat koko rakennusajan häiriintyneessä tilassa, ja rakennusajat voivat olla useita vuosia. Vesistössä rakennustoiminta ei välttämättä näy aivan heti, vaan muutoksen selvään havaitsemiseen menee aikaa. Jos vesistöön on vahvasti vaikuttanut rakennustoiminta, ei jälkeinpäin tehtävillä hulevesien käsittelyillä voida enää parantaa vesistön tilaa (Shaver et al. 2007).

Läpäisemättömän pinnan sijainti valuma-alueella voi merkittävästi vaikuttaa pienvesistön tilaan (Maxted & Shaver 1998 Brabec et al. 2002 mukaan, Silva & Williams 2001, Cheng & Wang 2002). Kun läpäisemätön pinta sijaitsee purouoman ylävirrassa, on sillä vaikutusta suureen osaan uomaa. Jos taas läpäisemätön pinta sijaitsee alavirrassa, syntyy vaikutuksia pienemmällä alueella. Uoman eroosiota esiintyy eniten silloin, kun valuma-alueen ylävirta on päällystettyä, toisin sanoen puron ylävirran luonnontilaisuus tasaa virtaamia alavirrassa (Booth 1990 Brabec et al. 2002 mukaan, Kuusisto 2002).

Läpäisemättömän pinnan sijainti ylä- ja alavirran suhteen lisäksi vesistön tilaan vaikuttaa läpäisemättömän pinnan sijainti puron välittömässä läheisyydessä. Se onko läpäisemätön pinta aivan purouoman vieressä vai onko uoman ja läpäisemättömän pinnan välillä suojavyöhyke vaikuttaa ratkaisevasti puron laatuun elinympäristönä. Tuffordin ja muiden (1998) mukaan merkittäviä muutoksia pienvesistön ravinnepitoisuuksissa tapahtuu, jos läpäisemättömää pintaa rakennetaan uoman välittömään läheisyyteen, mikä tässä tapauksessa tarkoittaa 150 m ja vähemmän, jos taas kyseinen matka jätetään suojavyöhykkeeksi, suuria muutoksia ravinnepitoisuuksissa ei tapahdu (Brabec et al. 2002). 150 m suojavyöhyke on kuitenkin maankäytöllisesti melko laaja ja tästä syystä vaikea toteuttaa kaupungistuneilla alueilla (Kuusisto 2002). Silva ja Williams (2001) toteavatkin että optimaalisen suojavyöhykkeen määrittäminen ei ole niin yksinkertaista.

Suojavyöhykkeen kasvustolla on myös vaikutusta (Brabec et al. 2002). Syväjuuriset kasvit suojaavat uomaan paremmin eroosiolta kuin kaupunkialueilla yleiset heinikot. Myös kosteikkoalueet toimivat vedenlaatua parantavina alueina. Kun ylävirrassa puron suojavyöhykkeenä on metsää yli tai ainakin 50 - 70 %, vesistön laadun indikaattorit ovat paremmat kuin jos suojavyöhykettä ei olisi (Schueler et al. 2009, Brabec et al. 2002). Kuitenkin metsäisen suojavyöhykkeen hyödyt laimenevat, kun läpäisemättömän pinnan osuus valuma-alueella kasvaa, Hornerin ja muiden (1997) mukaan tässä raja-arvona on 45 % valuma-alueesta. Metsäisillä suojavyöhykkeillä on rajoituksensa.

Purokatkaa (*Gammarus pulex*) voidaan käyttää indikaattorilajina vesistön tilan tarkkailussa. Purokatka on puhtaan vesistön indikaattorilaji ja yleinen virtaavissa vesistöissä (Maltby 1994, The Nuffield foundation 2008, Tolonen 2014). Se suosii virtaavaa ja viileitä lähdevaikutteisia vesiä (Maltby 1994, Tolonen 2014). Purokatka on tärkeä saaliseläin monille kalalajeille ja siksi sen esiintyminen virtavesistöissä voi indikoida sopivia olosuhteita esimerkiksi taimenelle.

Vesisammalet (bryidit) ovat toinen virtaavien vesien indikaattorilaji. Veden tilan heikkeneminen johtaa vesisammalen taantumiseen, mistä seuraa vesistön monimuotoisuuden vähentymistä, joka voi johtaa esimerkiksi taimenen häviämiseen alueelta (Valonia 2014). Vesisammalet heijastavat vesistön pidempiaikaista tilaa, eivät niinkään veden laadun lyhytkestoisia muutoksia (Vanderpoorten & Palm 1998). Tosin Mykrän ja muiden (2008) mukaan vesisammalet eivät soveltuisi indikaattorilajeiksi Suomen oloissa.

Vesistöjen tilaan voidaan vaikuttaa suunnittelulla (Vakkilainen et al. 2005). Kaava- ja kaupunkisuunnittelu tulisi olla valuma-aluelähtöistä ja ulottua yli kuntarajojen. Hulevesien käsittelyyn sopivat alueet tulisi huomioida ja kartoittaa ajoissa ja varata niille kaavoihin tarvittava tila. Hulevesien määrää voidaan lisäksi vähentää minimoimalla läpäisemättömän pinnan osuus. Yksittäisiä uomaosuuksia voidaan myös suojata kaavoituksella, mutta kokonaisvaltainen suojelu on hankalampaa. Uoman tilan parantamisessa välittömän ympäristön lisäksi koko valuma-alueen maankäyttö tulisi ottaa huomioon.

2.3 Hulevesi

Hulevesi on kaupunkialueilla maanpinnalla tai katoilla syntyvää poisjohdettavaa pintavettä eli sade- tai sulamisvettä (RIL 2004). Hulevettä muodostuu läpäisemättömiltä pinnoilta, kun vesi ei pääse imeytymään maaperään tai haihtumaan kasvuston kautta. Mitä enemmän läpäisemättömää pintaa on, sitä enemmän valuntaa muodostuu. Kaupunkialueiden laajoilla läpäisemättömillä pinnoilla ja tehokkaan sadevesiviemäröinnin vaikutuksesta hulevettä syntyy runsaasti, varsinkin verrattaessa luonnontilaiseen alueeseen. Hulevesiin voidaan lukea myös perustusten kuivatusvedet (Kuntaliitto 2012), sillä ne johdetaan usein samassa putkistossa, vaikka ne ovatkin luonteeltaan hyvin erilaisia kuin sade- ja sulamisvedet. Tässä työssä ei käsitellä kuivatusvesiä.

Kaupungeissa hulevesiverkostot on pääsääntöisesti rakennettu niin, että ne kuljettaisivat satavan tai sulavan veden mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti pois (Shuster et al. 2005, Sillanpää & Koivusalo 2014). Viemäriverkoston tehokkuus vähentää veden määrää kaupungin kaduilla, mutta siirtää vedet voimakkaasti muualle (Vakkilainen et al. 2005). Tällöin hulevesien vaikutukset ilmenevät voimakkaina pienellä alueella. Sekaviemäroinnissä, mitä on ennen vanhaan käytetty kaupunkialueen vesien poisjohtamiseen, hulevedet ja jätevedet johdetaan samaan putkistoon ja sitä kautta jätevedenpuhdistamolle. Sekaviemärointiä esiintyy edelleen tiiviisti rakennetuilla kaupunkialueilla, kuten Helsingin keskustassa, mutta nykyään näihin verkostoihin on liitetty myös erillisviemäroinnin alueita. Nykyään hulevedet pyritään erottamaan jätevesistä, johtamalla ne eri putkistoihin (erillisviemärointi), ja hulevedet ohjataan suoraan pienvesistöön (RIL 2004). Erillisviemärointi on yleistynyt 1960-luvulla. Se helpottaa jäteveden puhdistusta, sillä hulevedet laimentavat jätevettä ja suurten sadetapahtumien yhteydessä vettä ei tarvitse juoksuttaa puhdistusaltaiden ohi, eikä puhdistamatonta jätevettä päädy vesistöön. Kuitenkin erillisviemäroinnissäkin hulevettä päätyy jätevesiverkostoon suurten sadetapahtumien aikaan putkiston kunnan ollessa huono. Toisaalta kuitenkin hulevedet sisältävät myös haitallisia aineita, joita ei olisi hyvä päästää käsittelemättömänä vesistöihin. Hulevedet vaikuttavat ratkaisevasti pienvesistöjen tilaan (Brabec et al. 2002). Vantaalla ei ole sekaviemäreitä, sillä tehokkaampi rakentaminen on alkanut vasta erillisviemäroinnin yleistymisen aikoihin (Rimpiläinen 2014).

Viemäreitä mitoitetaan sateen ominaisuuksien, kuten rankkuuden, kestoajan ja toistuvuuden mukaan (RIL 2004, Kilpeläinen 2006). Yleisesti rankat sateet kestävät vain hetken, kun taas pitkät sateet eivät ole rankkoja, mutta toisaalta pidempikestoisen sateen aikana sademäärä kuitenkin kasvaa. Perustuen viiden vuoden monitorointitutkimukseen kolmella valuma-alueella Espoossa, usein toistuvat pienet ja keskisuuret sadetapahtumat ovat pienempiä kuin 17 - 20 mm, näitä on 80 % sadetapahtumista (Sillanpää & Koivusalo 2014). Suuria sateita taas ovat nämä arvot ylittävät sateet, joita ovat loput 20 % sadetapahtumista. Sadetilanteessa suurin suhteellinen muutos alueen muuttuessa luonnontilaisesta kaupunkimaiseen tapahtuu pienillä ja usein toistuvilla sadetapahtumilla, suuret sadetapahtumat tuottavat joka tapauksessa suuria määriä vettä pienvesistöjen välitettäväksi (Vakkilainen et al. 2005, Sillanpää 2013). Sateen toistuvuus kuvaa sitä ajanjaksoa, kuinka usein kyseisen suuruinen tai sitä rankempi sade tilastojen perusteella ilmenee (RIL 2004). Hyvin rankat sateet ovat harvinaisimpia. Hulevesien hallinnassa pienten ja keskisuurien sateiden osalta, joita on suurin osa sateista, seuraavia toimenpiteitä ovat imeytys, suodatus ja puhdistus (Sillanpää & Koivusalo 2014). Nämä toimenpiteet vaikuttavat sekä huleveden määrään että laatuun. Suurien sateiden osalta viivytyks ja tulvanhallinta ovat vaikuttavia toimenpiteitä, sillä hulevesijärjestelmät eivät kykene käsittelemään tulvavesiä.

Nykyään huleveden nopean poisjohtamisen sijaan vedenkierron ennallistaminen ja laadun parantaminen kaupunkiympäristöissä on herättänyt enemmän kiinnostusta (Sillanpää & Koivusalo 2014). EU:n vesipuitelidirektiivin mukaan sisävesien ja rannikko-

alueiden tulisi olla ekologiselta tilaltaan hyviä vuoteen 2015 mennessä (Vantaan hulevesiohjelma 2009, Uudenmaan ELY-keskus 2014). Tämän seurauksena alueelliset ympäristökeskukset ovat laatineet vesienhoitosuunnitelmat. Uudellamaalla vesienhoitosuunnitelma ja siihen liittyvä toimenpideohjelma ovat voimassa vuoteen 2015 asti, ja tämän seuraajana vuosille 2016 - 2021 ollaan päivittämässä uudistettua toimenpidesuunnitelmaa. Nykyisen toimenpideohjelman mukaan hulevesien käsittelyyn tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota, ja kuntien toivotaankin laativan omat hulevesistrategiansa. Vantaan hulevesiohjelma on tehty vuonna 2009 (Vantaan hulevesiohjelma 2009). Strategian yhtenä tavoitteena on, että luonnonmukainen hulevesien käsittely otetaan huomioon maankäytön suunnittelussa ja toteutuksessa.

2.4 Valuntakerroin

Valuntakerroin osoittaa sen osan sateesta, joka muuttuu hulevedeksi. Muu osa sateesta muuttuu valunnan kannalta häviöksi. Valuntakerrointa pienentää maanpinnan kostuminen, painannesäilyntä, haihdunta ja imeytyminen (Sillanpää 2013). Haihdunnan osuus lyhytkestoisen sadetapahtuman aikana on pieni verrattuna painannesäilyntään tai imeytymiseen. Valuntakerroin saa arvon väliltä 0 - 1, ja siihen vaikuttavat useat tekijät; pinnan läpäisevyys, kaltevuus, kasvillisuus, jäätyneisyys, sateen rankkuus ja kesto-aika sekä edelliset sateet (Vesijohtojen ja viemärien suunnittelu 1979). Lisäksi valuntakerroin kasvaa sadetapahtuman edetessä, sen seurauksena, kun maaperässä olevat tyhjät huokoset täyttyvät ja suurempi osa vedestä alkaa virrata maan pinnalla. Mitä paremmin maanpinta imee itseensä vettä, sitä pienempi on valuntakerroin.

Suuri läpäisemättömän pinnan osuus tuottaa myös suuren valuntakertoimen. On arvioitu, että suurilla läpäisemättömän pinnan osuuksilla maaperällä tai sen topografialla ei ole suurta merkitystä valuntakertoimeen (Schueler 1994). Suuret päällystetyn pinnan osuudet katsotaan kuitenkin alkavan vasta, kun läpäisemättömää pintaa on enemmän kuin 40 % (Kuusisto 2002). Eli pienillä läpäisemättömyyden osuuksilla (15 - 40 %) maaperän laatu ja kaltevuus tulisi ottaa huomioon valuntakerrointa määritettäessä. Suomessa hyvin suurella osalla valuma-alueita läpäisemättömyys on pieni keskittyneiden kaupunkirakenteiden vuoksi.

Valuntakerroin voidaan määrittää kokeellisesti yksittäiselle pinnalle tai ohjeellisen arvon valuntakertoimelle voi valita taulukosta. Lisäksi valuntakertoimen arvioita erilaisille maankäytön alueille on myös määritetty (RIL 2004). Kuusiston (2002) tutkimuksissa valuntakertoimia määritettiin erilaisille maankäytönmuodoille. Maankäytön lisäksi tutkimuksissa huomioitiin maaperän laatu ja rinteiden kaltevuus. Tutkimusten perusteella muodostettiin yleistettävä taulukko (Taulukko 5), jossa valuntakertoimet on esitetty yksityiskohtaisemmin kuin useissa muissa lähteissä. Taulukossa valuntakertoimet on jaoteltu kolmeen luokkaan maaperän kaltevuuden suhteen ja samoin kolmeen luokkaan maaperän laadun suhteen. Maaperän laadun luokat ovat A, sora, hiekka ja turve;

B, moreeni ja C, savi, siltti, lieju ja kallio. Taulukosta valitaan sopiva valuntakerroin huomioiden erilaiset maaperät ja rinteiden kaltevuudet kussakin tilanteessa.

Taulukko 5. Kuusiston (2002) määrittämät valuntakertoimet erilaisille maankäyttömuodoille huomioiden maankäyttö, maaperä ja rinteiden kaltevuus

Rinteiden kaltevuus Maaperäluokka	0-1°			1-4°			<4°		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Harva pientaloalue	0,05	0,1	0,15	0,1	0,15	0,2	0,15	0,2	0,25
Tiivis pientaloalue	0,1	0,15	0,2	0,15	0,2	0,25	0,2	0,25	0,3
Hyvin tiivis pientaloalue	0,15	0,2	0,25	0,2	0,25	0,3	0,25	0,3	0,35
Rivi- tai pienkerrostaloalue, väljä kerrostaloalue	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6
Tiivis kerrostaloalue, teollisuus- ja liikealueet, koulut	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7
Hyvin tiivis kerrostaloalue	0,4	0,55	0,7	0,5	0,65	0,8	0,6	0,75	0,9
Puisto	0,05	0,1	0,13	0,15	0,2	0,25	0,2	0,3	0,35
Metsä	0,01	0,05	0,1	0,05	0,1	0,2	0,1	0,2	0,25
Liikennealue - asfaltoitu	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
Liikennealue - sorapintainen	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Pelto, niitty, nurmi	0,05	0,1	0,15	0,15	0,25	0,35	0,3	0,4	0,55
Sorakentät	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5
Vesi	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Maaperäluokat: A = sora, hiekka, turve. B = moreeni. C = savi, siltti, lieju, kallio.

Yksittäisen valuma-alueen sisällä on usein monia erilaisia läpäisemättömän pinnan alueita ja valuntakerroin voi vaihdella suuresti (Vakkilainen et al. 2005). Tällöin tarkempi arvio valuma-alueen valuntakertoimesta saadaan käyttämällä keskimääräistä valuntakerrointa osavaluma-alueiden mukaan laskettuna. Seurauksena myös hulevesien aiheuttama virtaama voidaan laskennallisesti arvioida tarkemmin. Keskimääräinen valuntakerroin, C, saadaan kaavasta 2,

$$C = \frac{\sum C_n A_n}{A} \quad [2]$$

missä C_n on osavaluma-alueen valuntakerroin, A_n on osavaluma-alueen pinta-ala (ha/km^2) ja A on koko valuma-alueen pinta-ala (ha/km^2).

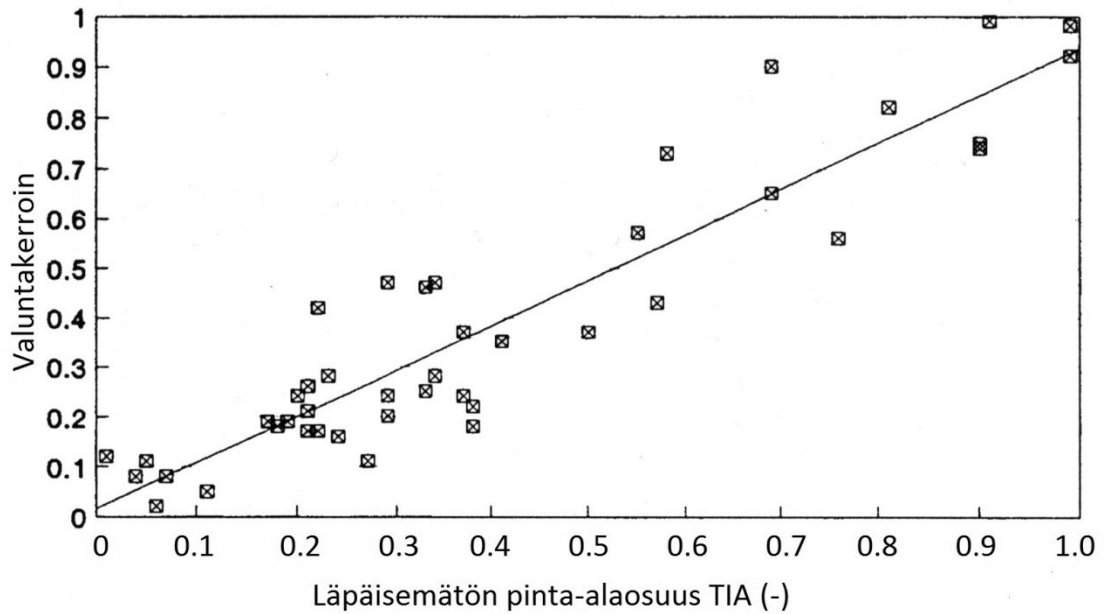
Ohjeelliset valuntakertoimet ovat arvioita maaperän ominaisuuksista. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi hulevesiverkoston mitoittamisessa. Monissa tutkimuksissa kuitenkin havaitaan, että valuntakertoimet pienten ja keskisuurien sateiden kohdalla ovat mitattuina pienempiä kuin kirjallisuudessa ilmoitetut kokonaisvaluntakertoimet (Pitt 1987, Roesner 1999). Myös Sillanpään (2013) mukaan Suomen ilmasto-oloissa mitatut valuntakertoimet ovat useimmiten pienempiä kuin mitoituskerroimet tai vastaavat kertoimet muista tutkimuksista. Poikkeuksena kuitenkin suurten ja harvinaisten sateiden aiheuttamat valuntakertoimet, jotka voivat olla jopa suurempia kuin mitoituskerroimet.

Pienille ja suurille sateille tulisi olla omat valuntakertoimensa, jotta pieniä sateita ei yliarvioitaisi ja suuret sateet ottaisivat huomioon kaikki valuntaa muodostavat alueet

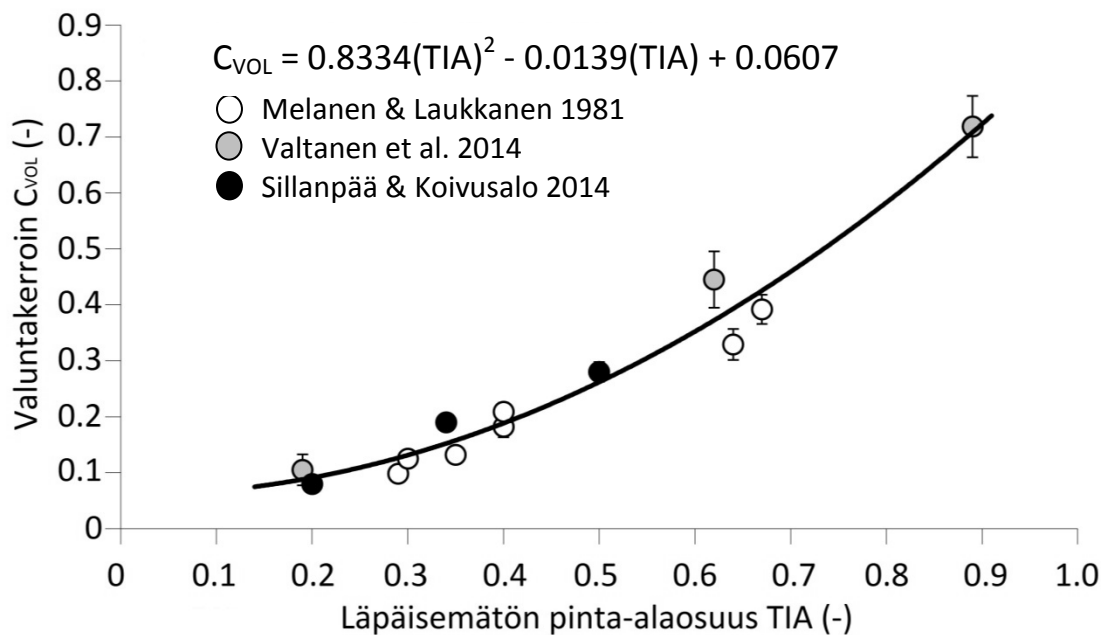
(Sillanpää 2013). Kaupunkialueilla pienten ja keskisuurten sateiden aikana valuntaa muodostuu lähinnä läpäisemättömiltä pinnoilta. Muodostuvaa valuntaa kutsutaan välittömäksi valunnaksi. Välittömän valunnan valuntakerroin, C_{VOL} , määritetään sadannan ja välittömän valunnan suhteena. Välitön valunta saadaan, kun kokonaisvalunnasta vähennetään pohjavalunta, mutta se ei ole sama asia kuin viemärimitoituksessa käytetty perinteinen valuntakerroin (Sillanpää & Koivusalo 2014). Chiewin ja McMahonin (1999) tehoisan läpäisemättömän pinnan määrittämisen menetelmällä, regressiosuoran yhtälöllä, voidaan määrittää tehoisa sademäärä, jonka jälkeen kyseisellä alueella alkaa muodostua valuntaa.

Läpäisemättömän pinnan osuuden ja valuntakertoimen välillä on selvästi havaittava yhteys. Riippuvuus on melko voimakas muuten, paitsi pienillä läpäisemättömän pinnan osuuksilla, jolloin maaperän muilla ominaisuuksilla, kuten maaperän laadulla ja kaltevuudella on enenevässä määrin merkitystä. Schuelerin (1994) tutkimuksen mukaan varsinkin, jos läpäisemättömän pinnan osuus ylittää 40 % valuma-alueen pinta-alasta, ei maaperällä tai topografialla ole juurikaan merkitystä valuntakertoimeen. Myös Vakkilaisen ja muiden (2005) sekä Sillanpään (2013) tutkimuksessa on selvästi osoitettu, että kaupunkialueiden suurilla läpäisemättömyyksillä maaperän muilla ominaisuuksilla kuin läpäisemättömän pinnan osuudella, ei ole juurikaan merkitystä valuntakertoimen suuruuteen usein toistuvien sadetapahtumien aikana.

Schuelerin (1994) tutkimuksen mukaan läpäisemättömän pinnan ja valuntakertoimen välinen suhde on lähes 1/1, mistä on esitetty regressiosuora kuvassa 5. Vakkilaisen ja muiden (2005) mukaan kaupunkialueiden valuntakerroin olisi kuitenkin vain puolet tai hieman vähemmän alueen läpäisemättömien pintojen osuudesta. Sillanpää ja Koivusalo (2014) ovat jatkaneet Vakkilaisen ja muiden (2005) tutkimuksia. Näistä ja muista (Melanen & Laukkanen 1981, Valtanen et al. 2014a) mittauksista koottu regressiokäyrä (Kuva 6) osoittaa, että läpäisemättömän pinnan ja välittömän valunnan suhde on pienempi kuin Schuelerin (1994) määrittämä kokonaisvalunta, mutta ei niin yksiselitteinen kuin Vakkilaisen ja muiden (2005) tuottama arvio, sillä välittömän valunnan kerroin kasvaa suuremmilla läpäisemättömän pinnan osuuksilla. Sillanpään ja Koivusalon (2014) koostama regressiokäyrä kuvaa pienten ja keskisuurten sateiden yhteyttä kokonaisläpäisemättömyyteen, ja on muodostettu pienten (joitakin hehtaareita) valuma-alueiden perusteella. Käyrä ja regressioyhtälö ovat esitettynä kuvassa 6.



Kuva 5. Regressiokäyrä valuntakertoimen määrittämiseen valuma-alueen TIA:n perusteella (Schueler 1994)



Kuva 6. Suomen ilmasto-oloihin sovitettu regressioyhtälö usein toistuvien vesisateiden valuntakertoimen (C_{VOL}) määrittämiseen valuma-alueen TIA:n perusteella (Sillanpää & Koivusalo 2014)

3 Tutkimusaineisto

3.1 Vantaan kohdealueet

Vantaan kaupunki sijaitsee Etelä-Suomessa, merenrannan läheisyydessä. Meren läheisyys vaikuttaa Vantaan ilmastoon merkittävästi. Vantaa kuuluu Pääkaupunkiseutuun yhdessä Helsingin, Espoon ja Kauniaisten kanssa. Vantaa on Suomen neljänneksi suurin kaupunki, vuoden 2014 syyskuussa Vantaan asukasmäärä oli 210 096 (Väestötietojärjestelmä 2014). Kuvassa 7 näkyy Vantaan kaupungin sijainti Suomessa ja Vantaan kartta.



Kuva 7. Vantaan kaupungin kartta ja sijainti Suomessa (Vantaan kaupunki 2014)

Vantaan maankäyttöä luonnehtivat voimakkaasti Helsinki-Vantaan lentokenttä ja sen vaatimat logistiikka-alueet sekä useat valtakunnalliset pääväylät (Vantaan hulevesiohjelma 2009). Toisaalta myös laajat pientaloalueet sekä kerrostaloalueet ovat osa kaupunkia. Keskustamaista tiivistä kaupunkirakennetta Vantaalla on vain vähän, mutta viheralueita runsaasti. Lentokentän meluhaitan vuoksi sen lähialueet ovat keskittyneet työ- ja logistiikka-alueiksi sisältäen suuria teollisuusrakennuksia ja asfalttikenttiä. Pientaloalueet ovat tiivistyneet lähiaikoina runsaasti, aiheuttaen kasvavaa painetta hulevesien suhteen. Aiemmin Vantaan asutus on keskittynyt Vantaanjokilaaksoihin (Rimpiläinen 2014).

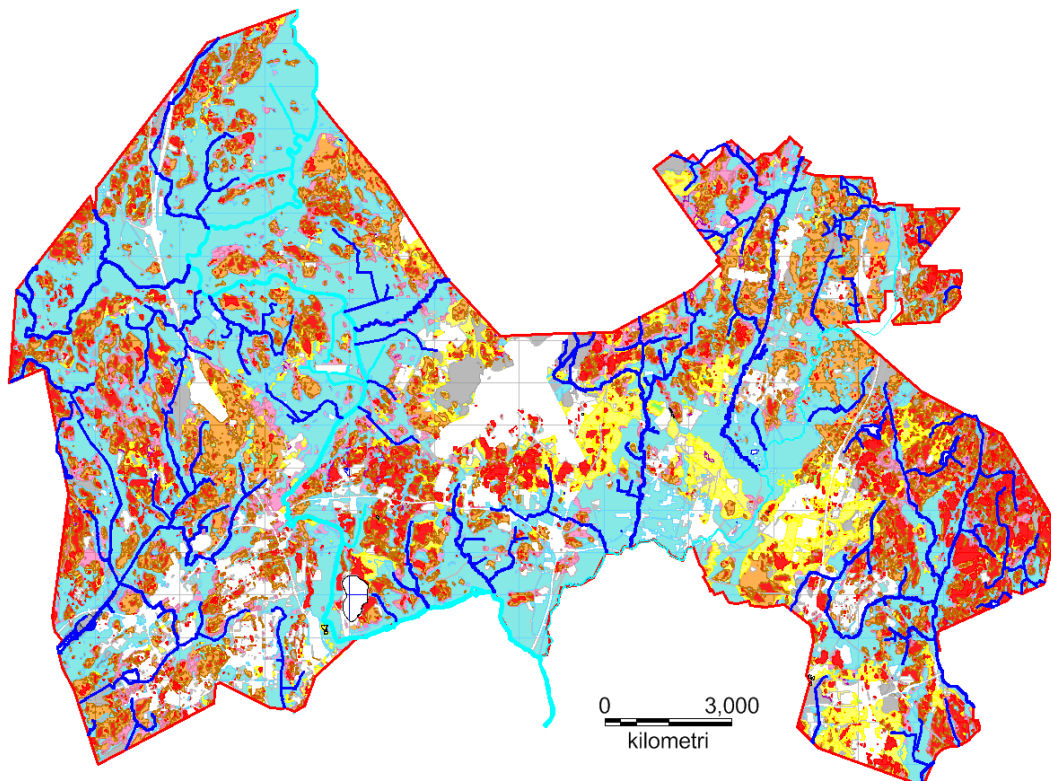
Vantaanjoki ja sen sivuhaara Keravanjoki halkovat Vantaata etelä-pohjoissuunnassa. Vantaan- ja Keravanjoki, sekä niiden pienvedet ovat merkittäviä virkistysalueita Vantaalla. Vantaanjoen valuma-alue on luokiteltu ekologiselta tilaltaan tyydyttäväksi (Vantaan hulevesiohjelma 2009).

Vantaan pääasiallinen maalaji on savi ja hiesu, johtuen Vantaan- ja Keravanjokilaaksoista. Kyseisen maalajin vaikutuksesta sateiden aiheuttamat virtaamapiikit helposti kasvavat, kun vesi ei pääse imeytymään, lisäksi pohjavesi ei myöskään tasaa virtaamia. Kuvassa 8 on esitetty Vantaan maalajikartta pienvesistöineen, pienvesistöt tummanisinisellä ja Vantaanjoki turkoosilla. Kuvasta erottuu selkeänä myös Helsinki-Vantaan lentokenttäalue täyttömäineen (valkoinen). Moreeni- ja hiekka-maat ovat Vantaalla jo pääasiassa rakennettuja alueita.

Maalajikartta kuvaa maan pintakerroksissa olevia maalajeja 0 - 1 m syvyydessä. Maalajikartassa voi olla myös kaksoismaalajimerkintöjä, esimerkiksi Hk/Sa, silloin, kun kerrosraja esiintyy 0 - 1 metrin syvyydellä maanpinnasta. Kartassa esiintyvät maalajien rajat ovat enemmänkin suuntaa antavia vaihtumisvyöhykkeitä kuin tarkkoja maalajin vaihtumiskohtia. Taulukossa 6 on esitetty maalajikartassa käytettävät merkinnät.

Taulukko 6. Maalajikartassa käytettävät lyhenteet ja värikoodit

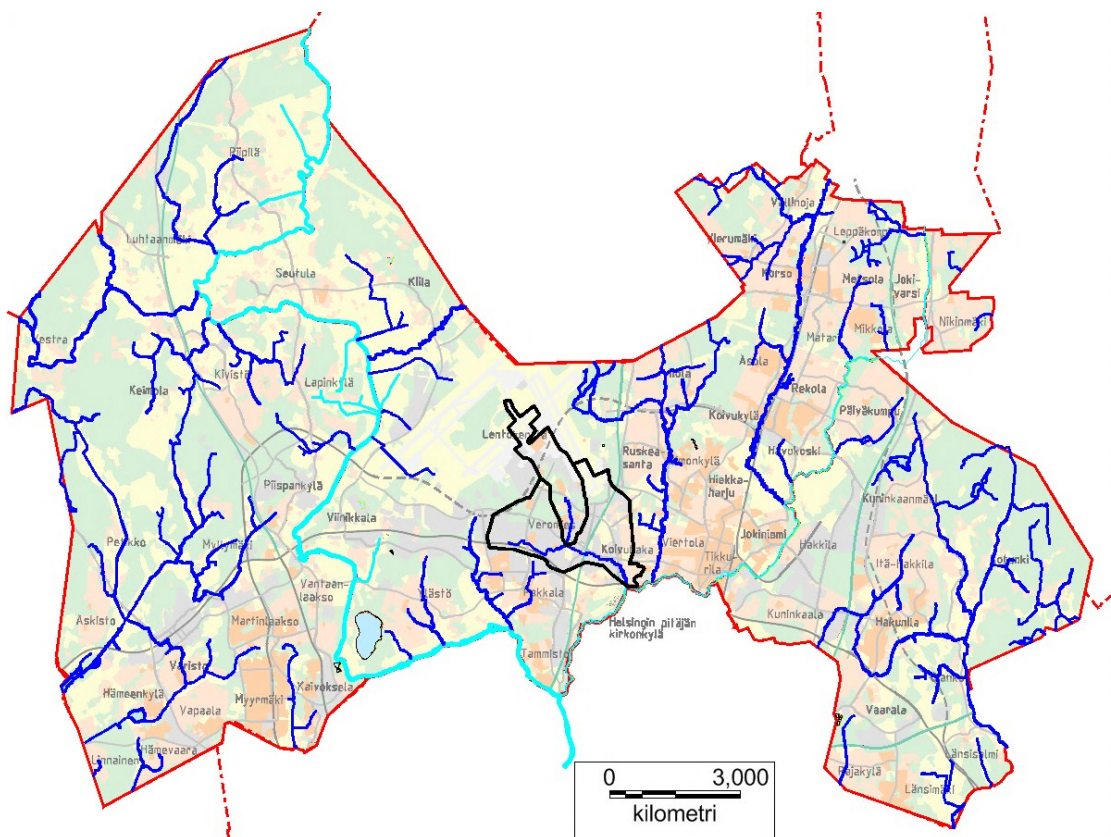
Väri	Lyhenne	Maalaji
Punainen	K	Kallio
Oranssi	Mr	Moreeni
Vihreä	Sr	Sora
Keltainen	Hk	Hiekka
Vaalean punainen	Si	Siltti
Turkoosi	Sa	Savi
Tumman harmaa	Tv	Turve
Harmaa	T	Täyttö- tai toiminta-alue



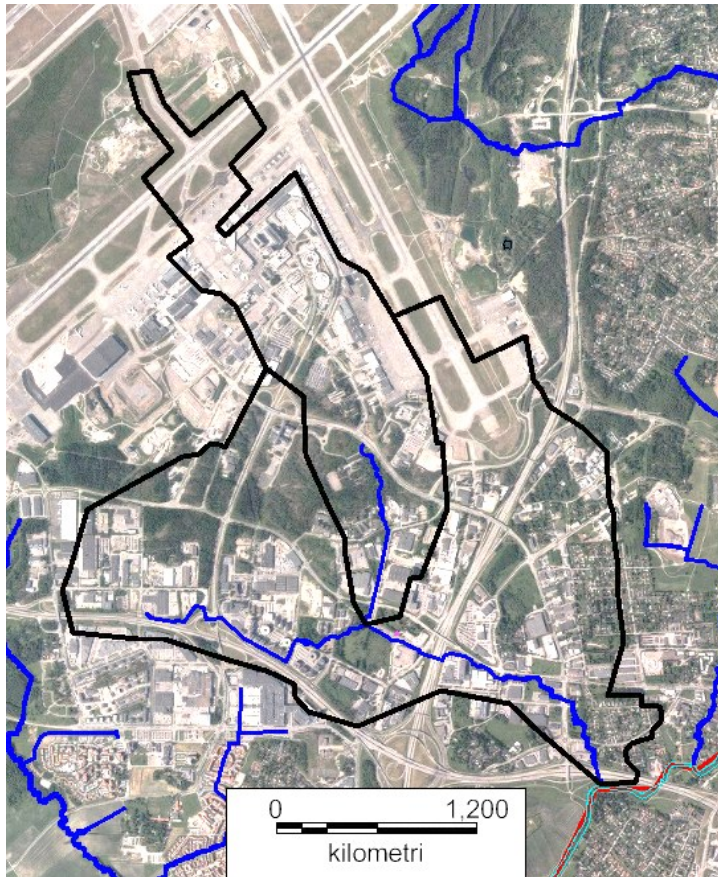
Kuva 8. Vantaan maalajikartta ja pienvesistöt (Vantaan kaupunki 2014)

3.1.1 Kirkonkylänoja

Kirkonkylänojan valuma-alue sijaitsee Keski-Vantaalla. Purovesistö kuuluu Keravanjoen valuma-alueeseen, sen vedet laskevat Keravanjoen kautta Vantaanjokeen ja sitä kautta lopulta Suomenlahteen. Valuma-alue jaotellaan kahteen alueeseen; Kirkonkylänojan päähaaraan ja sen sivuhaaraan Pyhtäänkorvenojaan päähaaran pohjoispuolella (Kuva 9) (Haikala et al. 2009). Tässä työssä Kirkonkylänojalla tarkoitetaan näitä molempia alueita, ellei toisin mainita. Kirkonkylänojan valuma-alue on 4,8 km² ja Pyhtäänkorven 2,3 km². Kokonaisuudessaan Kirkonkylänojan valuma-alue on 7,1 km² ja se on muodoltaan pyöreähkö. Kirkonkylänojan uoman kokonaispituus on 5,1 km ja sen kaltevuus on 0,8 %. Tarkempi kuva Kirkonkylänojasta ja sen valuma-alueesta on esitettyinä kuvassa 10.



Kuva 9. Kirkonkylänojan valuma-alueen sijainti Vantaalla, mustan viivan rajaamana (Vantaan kaupunki 2014)



Kuva 10. Kirkonkylänojan valuma-alue, taustalla ilmakuva vuodelta 2013 (Vantaan kaupunki 2014)

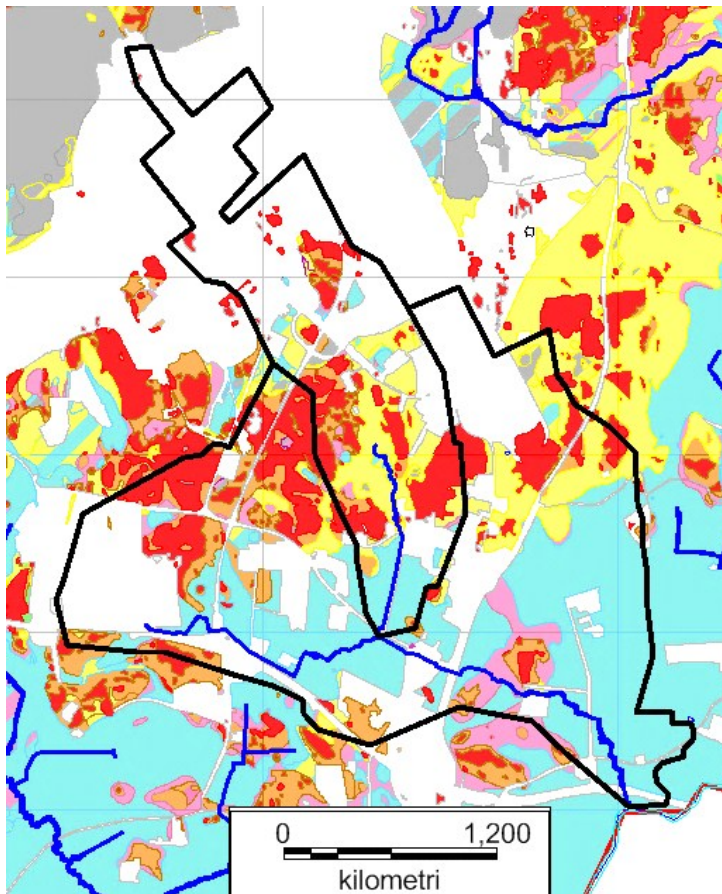
Kirkonkylänoja on hyvin kaupunkimainen puro. Suurimmaksi osaksi se kulkee katujen varsilla putkitettuna tai avo-ojana. Haikalan ja muiden (2009) mukaan uoman pituudesta 32 % on putkitettua ja loppuosa on avouomaa. Tosin joitakin lisäputkituksia on kuitenkin tehty tämän jälkeen esimerkiksi Manttaalitien varteen. Muutamilla alueilla puro kuitenkin mutkittelee luonnonmukaisesti. Puron keskivirtaama on 10 l/s ja uoma on tulvaherkkä.

Kirkonkylänojan valuma-alue on tiiviisti rakennettua aluetta, koostuen pääasiassa teollisuuden ja palveluiden alueista. Valuma-alueen itäreunalla on asuinalueita. Osittain Kirkonkylänojan valuma-alueella sijaitsevan Helsinki-Vantaan lentokentän hulevesiä päätyy myös puroon. Lentokenttä sijoittuu alueen pohjoisosiin ja sen osuus koko valuma-alueesta on 23 % eli 1,6 km². Runsaan rakennetun ympäristön seurauksena puro luokitellaan morfologiselta tilaltaan voimakkaasti tai hyvin voimakkaasti muokatuksi (Haikala et al. 2009).

Läpäisemättömän pinnan osalta Kirkonkylänojan suurimmat huleveden määrään ja laatuun vaikuttavat tekijät ovat lentokenttäalue ja Aviapoliksen suuret teollisuus- ja työpaikka-alueet lentokentän eteläpuolella. Lisäksi alueen halkoo Kehä III ja Tuusulanväylä. Rakennetun ympäristön vaikutuksesta hulevedet virtaavat nopeasti läpäisemättömien pintojen kautta hulevesiverkostoon ja purouomaan. Uomassa on nähtävissä

eroosiota suuren hulevesimäärän seurauksena ja sen vedenlaatu on heikkoa (Janatuinen 2011, Valkama et al. 2013). Kirkonkylänojan veden määrän ja laadun muutokset tapahtuvat nopeasti.

Kirkonkylänoja kulkee pääosin savi- tai täyttömaa-alueilla, tosin pieniä hiekkaesiintymiä löytyy joukosta. Kuvassa 11 on esitettyä kirkonkylänojan maalajikartta (ks. maalajikartassa käytetyt lyhenteet ja värikoodit, Taulukko 6).



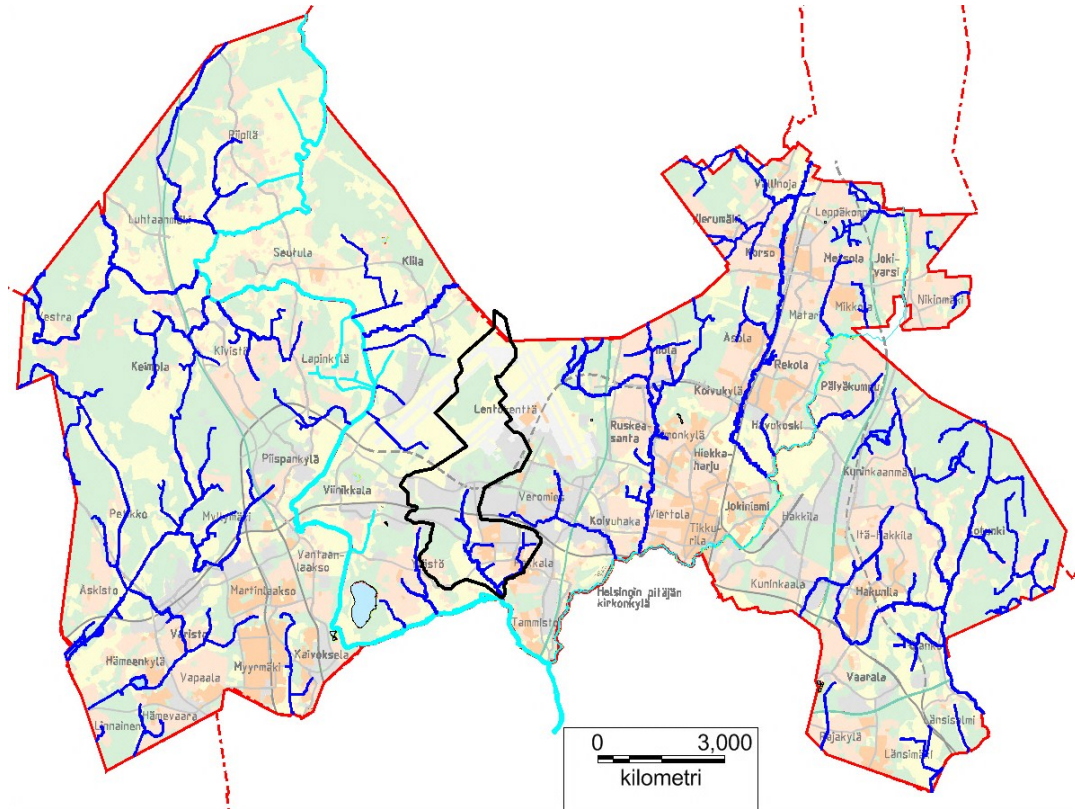
Kuva 11. Kirkonkylänojan maalajikartta (Vantaan kaupunki 2014)

Kirkonkylänoja ei ole maisemallisesti merkittävä, mutta avouomaosuuksilla on kuitenkin merkitystä kaupunkikuvulle (Haikala et al. 2009). Puron virkistysarvo on pieni runsaista teollisuus- ja palvelualueista johtuen. Pyhtäänkorvenojan pohjoispäässä sijaitsee kuitenkin kapea virkistysalue. Alajuoksulla sijaitsevan täydellisen nousuesteen vuoksi Kirkonkylänojalla ei havaita kaloja. Pohjaeläimistö on myös lajistoltaan hyvin vähäistä tai puuttuu paikoin kokonaan suurelta osin hulevesien seurauksena. Taimenelle potentiaalista elinaluetta kuitenkin löytyy. Luontoarvoluokitukseltaan puro kuuluu luokkaan III, ”purokohteessa luontoarvoja” (Haikala et al. 2009, Janatuinen 2011).

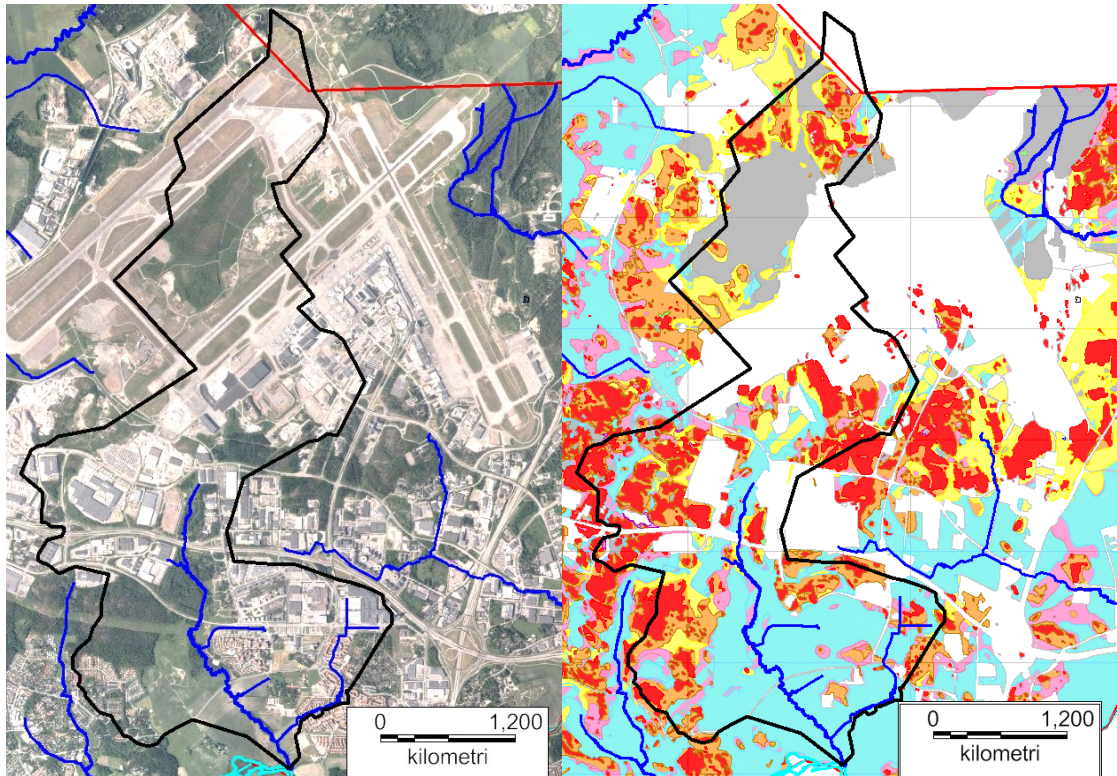
3.1.2 Krakanoja

Krakanoja sijaitsee Keski-Vantaalla, Kirkonkylänojan valuma-alueen vieressä, mutta toisin kuin Kirkonkylänoja, Krakanoja kuuluu Vantaanjoen valuma-alueeseen ja laskee

Vantaanjokeen noin 2 km ennen Keravanjoen yhtymistä (Kuva 12). Krakanojan valuma-alue on pitkittäinen pohjois-etelä suunnassa ja sen koko on 10,2 km². Uoman kokonaispituus on 7,3 km, pisimmän, Kartanonkosken haaran, pituuden ollessa noin 2 km. Uoman kaltevuus on 0,5 % (Haikala et al. 2009). Kuvassa 14 on tarkempi esitys Krakanojasta ja sen valuma-alueesta.



Kuva 12. Krakanojan valuma-alueen sijainti Vantaalla, mustan viivan rajaamana (Vantaan kaupunki 2014)



Kuva 13. Krakanojan valuma-alue, vasemmalla ilmakuva vuodelta 2013, oikealla maalajikartta (Vantaan kaupunki 2014)

Krakanojan alaosa on lähes luonnontilainen puro, vaikka sen valuma-alueen pohjoisosa on käytännössä kokonaan Helsinki-Vantaan lentokenttäalueella. Lentokenttäalue kattaa noin 40 % koko Krakanojan valuma-alueesta. Valuma-alueen keskiosassa ja idässä on teollisuuden ja palveluiden alueita. Asutus sijaitsee Veromäen alueella sekä lounaisosassa. Pääuoma kulkee kuitenkin useiden virkistysalueiden läpi ja peltoalueella tarjoten suojavyöhykkeen purolle. Haikalan ja muiden (2009) mukaan Krakanojan uoman pituudesta 19 % on putkitettua ja 81 % purosta kulkee avouomassa.

Krakanoja kulkee pääasiassa savialueella ja lisäksi lentokentän kohdalla on täyttömaata ja turvetta. Kuvassa 13 on esitetty Krakanojan maalajikartta (ks. maalajikartassa käytettävät merkinnät, Taulukko 6).

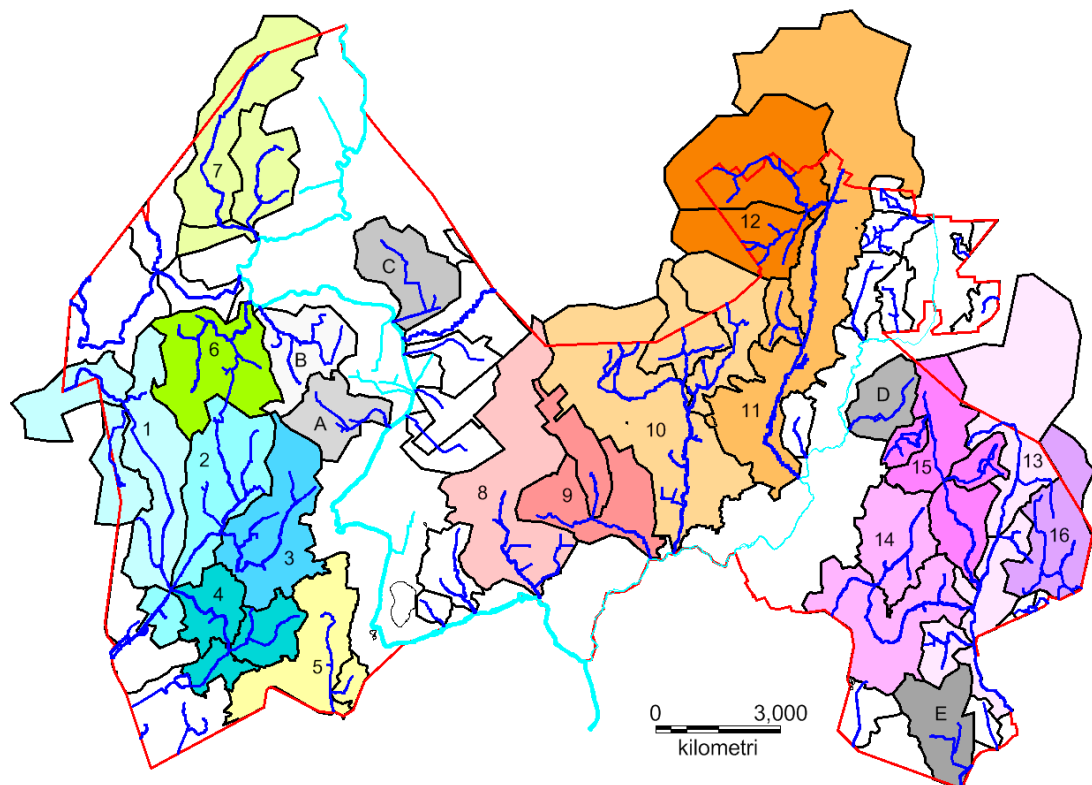
Krakanojan pisin haara sijoittuu Veromäen alueelle. Se on tiiviisti rakennettua teollisuuden ja palveluiden aluetta ja siellä on myös runsaasti asuinalueita. Kartanonkosken haara onkin voimakkaasti muokattu tiiviin rakentamisen seurauksena, tosin uomaa on kunnostettu luonnontilaiseksi (Haikala et al. 2009). Muuten Krakanoja luokitellaan luonnontilaiseksi tai lähes luonnontilaiseksi / vähän muokatuksi.

Krakanoja saa luontoarvoluokan II ”Purokohteessa merkittäviä luontoarvoja” (Haikala et al. 2009). Uoman Tulkintien eteläpuolinen osuus mutkittelee luonnonomaisesti ja alue on varattu luonnonsuojelualueeksi, sillä siellä kasvaa muun muassa vaativia lehtolajeja. Ylästöntien eteläpuolinen alue katsotaan lisäksi maisemallisesti arvokkaaksi. Krakanoja on lähdevaikutteinen, mutta runsaan rakentamisen johdosta hulevedet ai-

heuttavat kuitenkin ongelmia vedenlaatuun, ja varsinkin yläjuoksun ekologinen tila on heikko (Haikala et al. 2009, Janatuinen 2011). Krakanojan alapuolisessa osassa liikkuu kaloja, mutta yläjuoksulla niitä ei ole. Kokonaisuudessaan Krakanojalla on merkittävää virkistyskäyttöarvoa.

3.1.3 Vantaan muut pienvesistöt

Haikala ja muut (2009) ovat inventoineet Vantaan pienvesikohteet. Selvityksen mukaan kohteita on 67 kappaletta, joista 55 on puroja tai oja ja 12 lampia tai järviä. Tässä työssä pienvesikohteina käsitellään vain puroja. Lisäksi tarkemmassa analyysissä on pääsääntöisesti ne purot tai purojen yhdistelmät, joiden valuma-alue on yli 5 km². Muutamissa tapauksissa analyysiin sisällytettiin myös kiinnostavia puroja, joiden valuma-alue on alle 5 km². Tässä työssä tarkemmin analysoitavia kohteita on yhteensä 21 kappaletta, tähän sisältyy Kirkonkylänoja ja Krakanoja. Valittujen purojen valuma-alueet ovat kooltaan 2,9 - 22,3 km², mutta alle 5 km² valuma-alueita tarkasteltiin erikseen, sillä ne eivät kuulu läpäisemättömän pinnan mallin sovellusalueeseen. Kohteet on esitetty kuvassa 14 ja niiden tarkemmat tiedot taulukossa 7. Purojen nimet ja numeroinnit vastaavat Haikalan ja muiden (2009) selvityksessä käytettyjä nimiä, jos kohteille ei ole annettu virallisia nimiä. Luokituksen ulkopuolelle jäivät valuma-alueet on koodattu kirjaimilla A-E, ja niiden väriyty on harmaa. Muutamista valuma-alueista, esimerkiksi alueista 13 ja 14, jää pieniä alueita huomioimatta uudemman valuma-aluejaon myötä. Nämä eivät kuitenkaan vaikuta merkittävästi lopputulokseen.



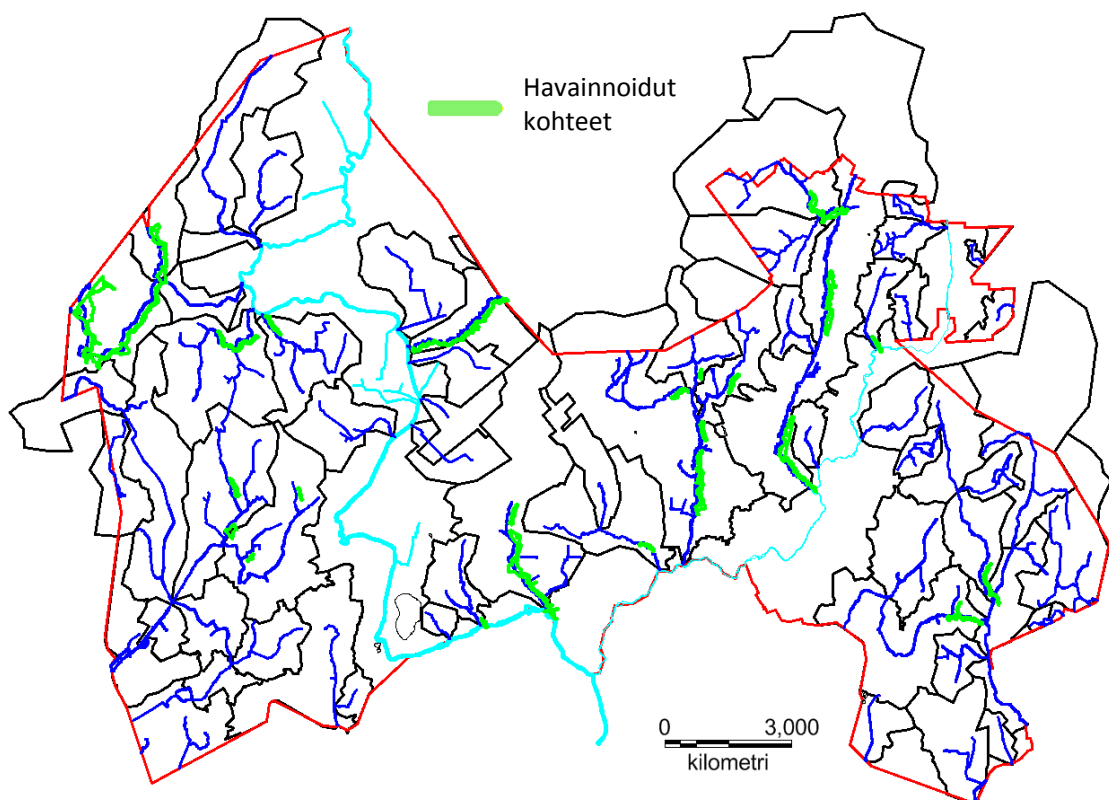
Kuva 14. Työssä tarkasteltavat Vantaan pienvesikohteet tai niiden yhdistelmät (Taulukko 7), sekä yhdistelmille annetut koodit (1-16 ja A-D) (muokattu Vantaan kaupunki 2014)

Taulukko 7. Vantaan pienvesistöjen (Kuva 14) jako tätä työtä varten

Koodi	Numero	Nimi	Pinta-ala [km ²]	Pinta-ala yhteensä
Pitkäjärveen laskevat purot				
1.	12A	"Tiistronoja"	6,5	11,9
	12B	Herukkapuro	3,0	
	1003	Odilampi ja "Odilammenoja"	2,4	
2.	11	Pikkujärvenoja	1,1	7,3
	13	"Kynikenoja"	6,1	
3.	14	"Myllymäenoja"	6,5	6,5
4.	15A	"Varistonoja"	2,4	5,7
	15B	"Lammasoja"	1,1	
	15C	"Pellaksenoja"	2,1	
Helsingin Pikku Huopalahteen laskevat purot				
5.	31A	Mätäoja	5,5	6,2
	31B	"Onkioja"	0,7	
Vantaanjokeen laskevat purot				
6.	412	"Jelmusanoja"	6,4	6,4
7.	413A	"Laminsuonoja"	6,9	11,0
	413B	Hankoja	0,9	
	414	"Murtoonpellonoja"	3,2	
A	410	"Koivupäänoja"	2,9	2,9
B	411	"Pekinoja"	3,8	3,8
C	415	"Katinmäenoja"	4,0	4,0
8.	421	Krakanoja	10,2	10,2
Keravanjokeen laskevat purot				
9.	461A	"Kirkonkylänoja"	4,8	7,0
	461B	"Pyhtäänkorvenoja"	2,2	
10.	462	Kylmäoja	13,8	21,4
	463	"Kylmäojan pohjoishaara"	2,8	
	464	"Kylmäojan itähaara"	4,7	
	465	Rekolanoja	21,2	
11.	466	"Lipstikkaoja"	1,2	22,3
	467	"Vierumäenoja"	4,2	
12.	468	"Vallinoja"	8,4	12,6
	D	472	Suutonoja	
Sipoon Kappelvikeniin/Björnsövikeniin laskevat purot				
13.	71A	Krapuoja	3,3	14,7
	71B	"Roxinoja"	10,1	
	72	"Ojangonoja"	1,3	
14.	73A	"Kormuniitynoja"	6,5	10,5
	73B	"Itä-Hakkilanoja	3,9	
15.	74A	"Sotunginoja"	2,6	10,0
	74B	"Myyraksenoja"	3,7	
	1009	Bisajärvi ja "Bisanoja"	1,1	
	1008	Kuusijärvi ja "Kuusijärvenoja"	0,8	
Porvarinlahteen laskeva puro				
E	61	"Westerkullanoja"	3,6	3,6
Sipoon Karlvikeniin laskeva puro				
16.	81	"Nybyggetinoja"	5,1	5,1

Suurin osa Vantaan pienvesistöistä sijaitsee viheralueilla, tarjoten puroille luonnolliset olosuhteet rakennettujen alueiden keskellä. Kuitenkin väistämättä osa vesistöistä sijaitsee lähes kokonaan tai osittain jo rakennettujen alueiden sisällä (Vantaan hulevesiohjelma 2009). Suureen osaan Vantaan puroja suotautuu pintavalunnan lisäksi pohjavettä, mikä näkyy esimerkiksi purojen kuivankauden valunnoissa (Janatuinen 2011, Rimpiläinen 2014).

Vantaan virtavesiselvityksessä 2010 - 2011 (Janatuinen 2011) tarkasteltiin tarkemmin arvokkaita virtavesien kohteita, jotka ovat esitettynä kuvassa 15. Kuvasta nähdään, että muutamia pidempiä osuuksia on tarkasteltu tarkemmin, mutta myös lyhyitä yksittäisiä kohteita on tarkasteltu. Virtavesiselvityksessä tarkastellut kohteet määritettiin kolmiportaisella asteikolla niiden "arvokkuuden" mukaan; valtakunnallisesti arvokas, maakunnallisesti arvokas ja paikallisesti arvokas (Janatuinen 2011). Luokittelu on kuitenkin vain suuntaa antava, sillä virallista arvoluokitusta ei ole valtakunnallisesti annettu. Samassa purossa voi olla useita eri kohteita, jolloin niille voi luonnollisesti tulla myös eri luokitukset.

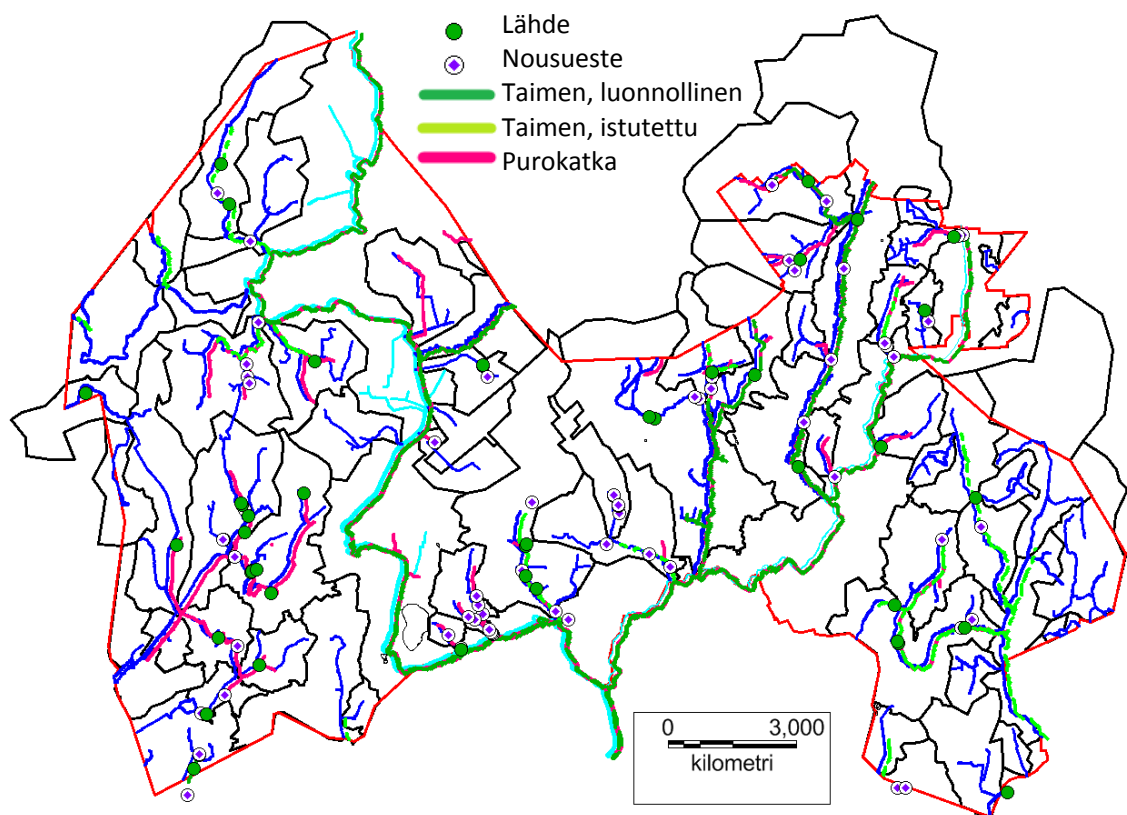


Kuva 15. Vantaan virtavesiselvityksessä havainnoidut kohteet (Janatuinen 2011, muokattu Vantaan kaupunki 2014)

Tässä työssä tarkastelluista kohteista kaksi sai virtavesiselvityksen (Janatuinen 2011) mukaisen luokituksen "maakunnallisesti arvokas", muut kohteet olivat "paikallisesti arvokkaita". Maakunnallisesti arvokkaita pienvesistöjen kohteita selvityksen mukaan olivat Krakanojan (8) alempi osuus Kehä III ja Vantaanjoen välissä, Kynikenojan (2)

Grankullan purolaakso sekä Rekolanojan (11) yläjuoksun purokäytävä Korson Ankkalampien ja Rekolan aseman välissä.

Vantaan virtavesiselvityksen (Janatuinen 2011) yhteydessä Vantaalla tutkittiin myös purokatkan sekä taimenen esiintyminen vesistöissä. Purokatkan sekä taimenen esiintymisten avulla vesistön tilaa voidaan tarkastella biologisten indikaattorien avulla. Kuvassa 16 on esitettyä purokatkan ja taimenen elinalueet Vantaalla sekä alueet joihin taimenta on istutettu. Lisäksi kuvassa on myös virtavesien lähteet, jotka voivat merkittävästi parantaa veden laatua, sekä virtavesien nousuesteet. Nousuesteet eivät useinkaan ole täydellisiä esteitä, mutta voivat vaikeuttaa kalojen ja eliöiden liikkumista vesistöissä.



Kuva 16. Taimenen (luonnollinen ja istutettu) ja purokatkan esiintymisalueet Vantaalla. Lisäksi lähteet ja nousuesteet (Janatuinen 2011, muokattu Vantaan kaupunki 2014). Purokatkaa esiintyy aina myös taimenen luonnollisilla esiintymisalueilla.

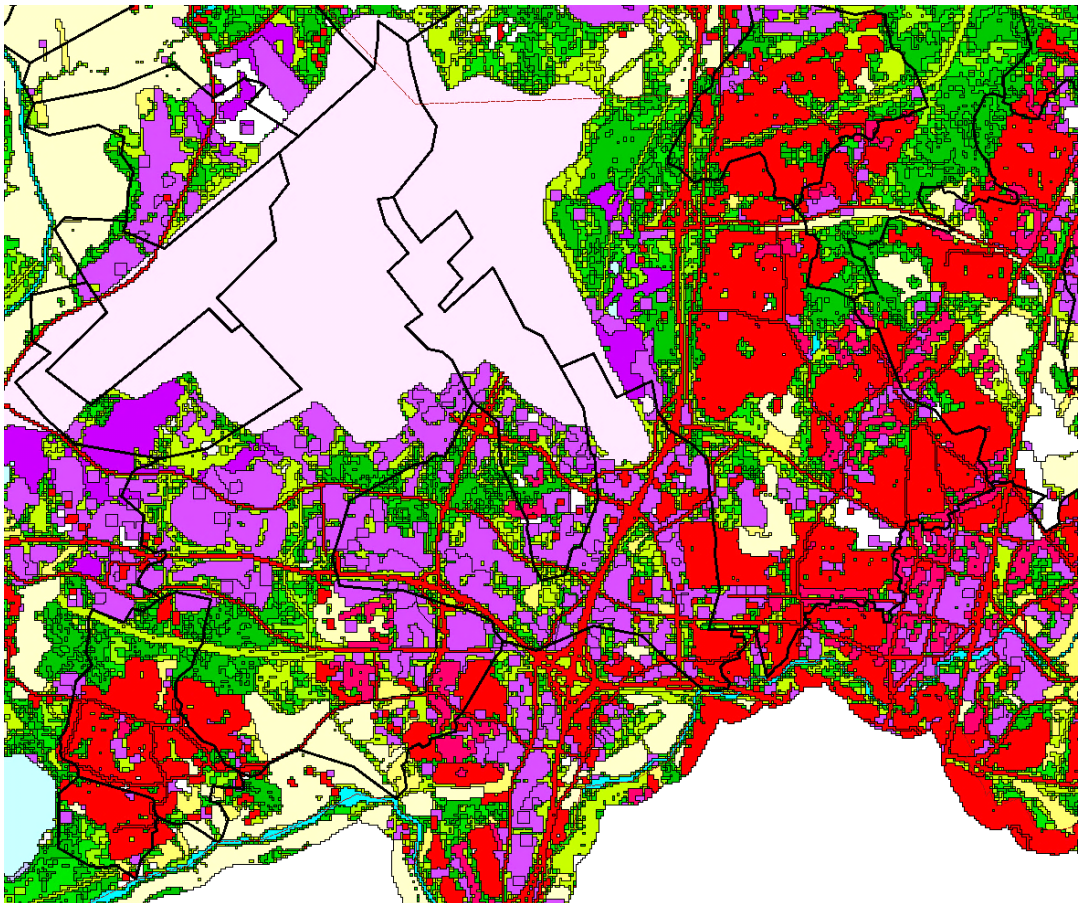
3.2 Maanpeiteaineistot

3.2.1 Corine-aineisto

Maanpeitteen paikkatietoaineisto Corine Land Cover (CLC) on Suomen ympäristökeskuksen luoma aineisto maankäytön muodoista Suomessa. Aineisto on osa Euroopan kattavaa aineistoa ja rekisteröitymisen jälkeen se on ladattavissa Ympäristökeskuksen Oiva - ympäristö- ja paikkatietopalvelusta (Syke 2015). Paikkatiedot löytyvät Oivassa ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ESRI shape -muodossa. Aineistoihin kuuluu rasteri-

sekä vektoriaineistot ja lisäksi muutokset edellisestä päivitetystä aineistosta. (Ympäristöhallinnon paikkatietoaineistot 2014.)

Corine 2012 on sarjan uusin paikkatietoaineisto (Syke 2014a). Edelliset suomalaiset aineistot ovat vuosilta 2000 ja 2006. Vuoden 2012 aineisto kuvaa kyseisen vuoden Suomen maankäyttöä ja maanpeitettä. Uusimmasta aineistosta rasteriaineistot tulivat saataville syksyllä 2014, loput aineistot tulivat saataville vuoden 2014 lopulla. Pikselikoko vuoden 2012 rasteriaineistossa on $20 \times 20 \text{ m}^2$, kun edellisten vuosien aineistojen tarkkuus on $25 \times 25 \text{ m}^2$ (Syke 2015). Tarkkuuden muutoksista johtuen eri vuosien aineistot eivät ole täysin verrattavissa keskenään. Taulukossa 8 on kuvattu Corine 2012 -aineiston maanpeiteluokat, numerokoodit sekä kartassa käytettävät värikoodit (Syke 2015). Vuoden 2012 aineistossa edellisinä vuosina käytetty luokka ”Teollisuuden ja palveluiden alueet” on jaettu kahteen osaan, ”teollisuuden alueet” ja ”palveluiden alueet”. Kuvassa 17 on esimerkki Corine 2012 -aineiston rasterista Keski-Vantaalta, jossa Kirkonkylän- ja Krakanojan valuma-alueet sekä Tikkurilan näkyvät keskusta oikeassa reunassa (Syke 2015). Tässä työssä hyödynnettiin sekä vuoden 2006 että vuoden 2012 aineistoa.



Kuva 17. Corine 2012 -aineiston rasteri Keski-Vantaalta valuma-alue rajoilla (muokattu Syke 2014b, Vantaan kaupunki 2014)

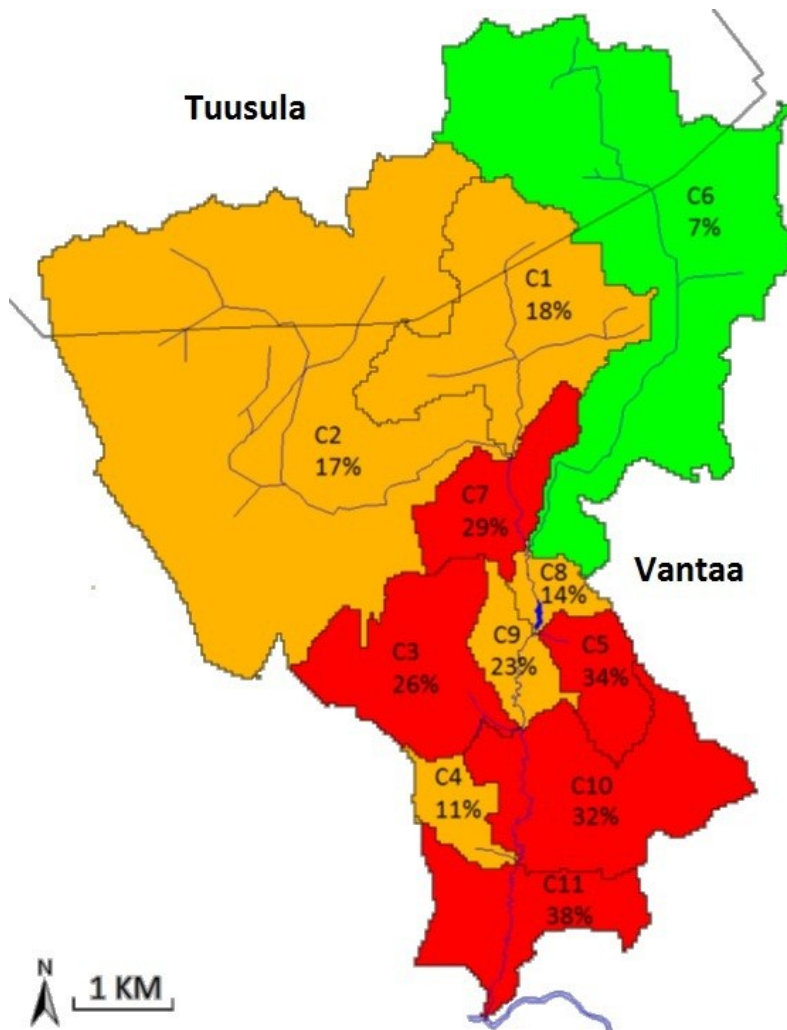
Taulukko 8. Corine -maanpeiteaineiston luokitukset (Syke 2015)

111	Tiiviisti rakennetut asuinalueet
112	Väljästi rakennetut asuinalueet
121	Teollisuuden ja palveluiden alueet
122	Liikennealueet
123	Satama-alueet
124	Lentokenttäalueet
131	Maa-aineisten ottoalueet
132	Kaatopaikat
133	Rakennustyöalueet
141	Taajamien viheralueet ja puistot
142	Urheilu- ja vapaa-ajan toiminta-alueet
211	Pellot
222	Hedelmäpuu- ja marjapensasviljelmät
231	Laidunmaat
242	Peltojen ja niittyjen muodostama mosaiikki
243	Pienipiirteinen maatalousmosaiikki
311	Lehtimetsät
312	Havumetsät
313	Sekametsät
321	Luonnonniityt
322	Varvikot ja nummet
324	Harvapuustoiset alueet
331	Rantahietikot ja dyynialueet
332	Kalliomaat
333	Niukkakasvustoiset kangasmaat
411	Sisämaan kosteikot
412	Avosuot
421	Merenrantakosteikot
511	Joet
512	Järvet
523	Meri

3.2.2 Kylmäojan läpäisemättömyys

Krebs (2009) on määrittänyt Kylmäojan valuma-alueelle läpäisemättömän pinnan osuuksia ja niiden muutoksia vuosina 1977, 1982, 1992, 2007 ja 2030. Läpäisemättömän pinnan osuudet on määritetty ilmakuva- ja karttatulkinnalla sekä maastokäynneillä, lisäksi vuoden 2030 läpäisemättömän pinnan osuudet on arvioitu yleiskaavan perusteella. Tämän työn osalta tarkasteltiin vuoden 2007 tilannetta. Työssä huomioitiin erikseen katot, tiet ja piha-alueet. Kylmäojan valuma-alue sijaitsee suurimmaksi osaksi Vantaan puolella (75 %), mutta siihen kuuluu alueita myös Tuusulan puolelta (25 %).

Lisäksi Helsinki-Vantaan lentokenttä sijaitsee osittain kyseisellä valuma-alueella. Krebs (2009) jakoi Kylmäojan yhteentoista osavaluma-alueeseen ja näille määritettiin läpäisemättömän pinnan osuudet (Kuva 18, Taulukko 9 ja Liite 1). Läpäisemättömän pinnan osuuksien mukaan osavaluma-alueet luokiteltiin läpäisemättömän pinnan mallin (ICM) mukaan. Kuvasta 18 havaitaan, että eteläinen Kylmäojan pääuoma on hyvin päällystettyä, kun taas itähaarassa (C6) ja muutenkin pohjoisosassa (C1 ja C2) sijaitsee vähemmän läpäisemättömää pintaa. Krebsin (2009) mukaan Kylmäojan kokonaisläpäisemättömyys on vuonna 2007 ollut 19 %. Taulukosta 9 nähdään, että puolet osavaluma-alueista on alle 100 hehtaarin suuruisia ja vain kolme alueista on suurempia kuin 200 hehtaaria.



Kuva 18. Kylmäojan osavaluma-alueet (C1 – C11) ja niiden läpäisemättömän pinnan osuudet (TIA) vuonna 2007 (Krebs 2009)

Taulukko 9. Kylmäojan osavaluma-alueiden pinta-alat ja TIA (Krebs 2009)

Osavaluma-alueet	Pinta-ala [ha]	TIA [%]	TIA [ha]
C1	272	18 %	49
C2	710	17 %	121
C3	131	26 %	34
C4	44	11 %	5
C5	53	34 %	18
C6	440	7 %	31
C7	79	29 %	23
C8	38	14 %	5
C9	40	23 %	9
C10	162	32 %	52
C11	96	38 %	36

3.3 Vesistö- ja säämittaukset

Työn aikana suoritettiin virtaamamittauksia Kirkonkylän- ja Krakanojassa. Lisäksi Kirkonkylänojan vedenlaatumittauksia ja mittauspisteen välittömässä läheisyydessä kerättiin säätietoja yhden kuukauden mittausjakson aikana. Mittaukset suoritettiin kesällä 2014 (26.6. – 25.7.2014). Laitteet suorittivat mittaukset 10 minuutin välein, ja tuloksia saattoi seurata lähes reaaliaikaisesti. Lopulliset tulokset oli valmiiksi kalibroitu puroissa suoritettuja varmennusmittauksia vastaan. Mittausten tarkoituksena oli saavuttaa tarkkoja tietoja Kirkonkylän- ja Krakanojan sademääristä ja virtaamista, jotta kyseisille valuma-alueille ja näiden CORINE-aineiston maankäytön muodoille voidaan määrittää valuntakertoimet. Mittaukset antavat tarkkaa tietoa purojen valuma-alueista ja auttavat ymmärtämään vesistöjen tilaa.

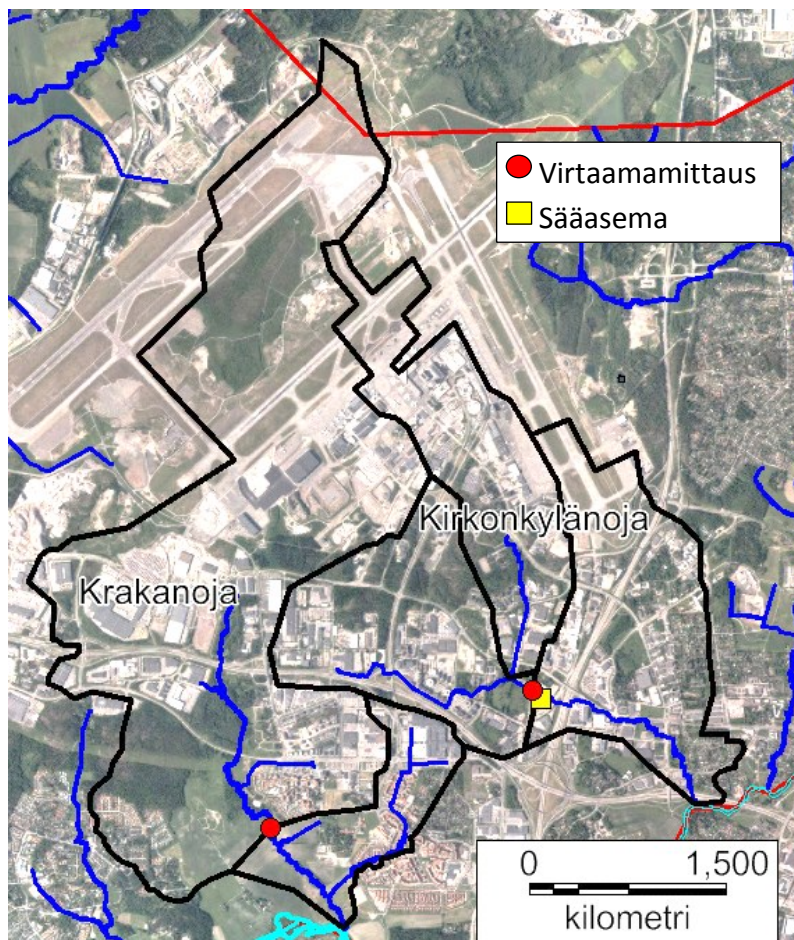
3.3.1 Mittauspisteet

Kirkonkylänojan mittauspiste sijaitsee Manttaalikujan alittavassa rummussa Veromiehessä. Mittauspiste on valuma-alueen keskivaiheilla (Kuva 19), joten koko valuma-alueen tilannetta ei pystytä näiden mittausten perusteella selvittämään. Mittauspisteen yläjuoksulle jäävän valuma-alue on 4,5 km², Kirkonkylänojan osuuden ollessa 2,2 km² ja Pyhtäänkorvenojan osuuden ollessa 2,3 km². Kyseiseen mittauspisteeseen päädyttiin, koska samassa pisteessä on aiemminkin suoritettu virtaamamittauksia ja tulokset ovat paremmin vertailtavissa. Kirkonkylänojan virtaama- ja laatumittalaitteet sijoitettiin ojan putkiosuuteen, sillä mittausten tarkkuus on parempi putkessa kuin avo-ojassa.

Krakanojan virtaaman mittauspiste sijaitsee Lautamiehenpolun länsipuolella olevassa Ylästöntien alittavassa siltarummussa (Kuva 19). Mittauspiste sijaitsee Krakanojan eteläkärjessä, noin 1 km yläjuoksulle Vantaanjoen liittymästä. Mittausalueeksi on määritetty 9,2 km². Mittauspiste valittiin helposti saavutettavan sijainnin ja tulosten tark-

kuuden vuoksi, sillä tulosten kalibrointi onnistuu paremmin siltarummussa kuin avoumassa.

Sääasema sijoitettiin Kirkonkylänojan mittauspaikan läheisyyteen, viereisen rakennuksen (Manttaalikuja 2) katolle (Kuva 19). Mittarin sijoittaminen katolle tarjoaa häiriötömän ja esteettömämmän mittauskohdan. Sademittauksen tuloksia käytetään sekä Kirkonkylänojan että Krakanojan valunnan määrittämiseen. Tässä työssä huomioitavaa on, että yksittäinen mittauspiste luo epävarmuustekijän tuloksiin, sillä yleisesti käytössä oleva hulevesimonitoroinnin sadannan mittaamisen laatuvaatimus esittää, että mittausalueella olisi yksi sademittari 1 km² kohden (Shuster et al. 2008).



Kuva 19. Kirkonkylän- ja Krakanojan mittauspisteet sekä valuma-alueiden rajaus mittausten sisältämään alueeseen. Taustalla ortokuva vuodelta 2013 (Vantaan kaupunki 2014)

3.3.2 Mittalaitteet

Työn mittaukset suoritettiin Luode Consulting Oy:n toimesta. Mittausasemien ytimenä toimi dataloggerkortti ja siihen liitettävä tiedonsiirtoyksikkö, joiden avulla kerätty tieto saatiin nopeasti nähtäviin (Luode Consulting 2014). Laitteet toimivat akuilla. Dataloggeriin ohjelmoitiin mittausväliksi 10 minuuttia. Mittausten tiedot olivat saatavilla nettipalvelun kautta ja tiedonsiirto tapahtui kerran päivässä.

3.3.2.1 Virtaamamittari

Virtaaman mittaukseen käytettiin StarFlow 6526H akustista mittaria (Kuva 20). Kyseisen mittarin tekniikka perustuu ultraääneen; ultraäänisignaali lähetetään ylävirtaan ja se heijastuu takaisin pienistä partikkeleista tai ilmakuplista (Unidata 2013). Takaisin heijastuvista säteistä määritetään veden nopeus. Lisäksi laitteessa on paineanturi, jolla mitataan veden korkeutta. Laite asetetaan uoman pohjaan tai hyvin lähelle sitä, putken tai siltarummun säännönmukainen märkäpiiri tuottaa tarkimpia tuloksia.



Kuva 20 StarFlow 6526H akustinen virtaamamittari (Luode Consulting 2014)

3.3.2.2 Säälähetin

Säätiedot mitattiin Vaisalan WXT520 säälähettimellä (Kuva 21) (Vaisala 2014). Laite mittaa ilmanpainetta ja -kosteutta, sademäärää, lämpötilaa sekä tuulen nopeutta ja suuntaa. Laite on akkukäyttöinen. Laite toimii ja tallentaa lämpötilat $-52 \dots +60 \text{ }^\circ\text{C}$, jossa $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ tarkkuus on $\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Tulos ilmoitetaan $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ tarkkuudella. Sademittaus ilmoitetaan kertymänä valitulta aikajaksolta ja tuloksen resoluutio on $0,1 \text{ mm/h}$. Jos sateen määrä ajanjakson sisällä on alle resoluution, ei sadetta laitteen mukaan ole muodostunut. Tässä työssä mittauksen ajanjaksoksi asetettiin 10 minuuttia.

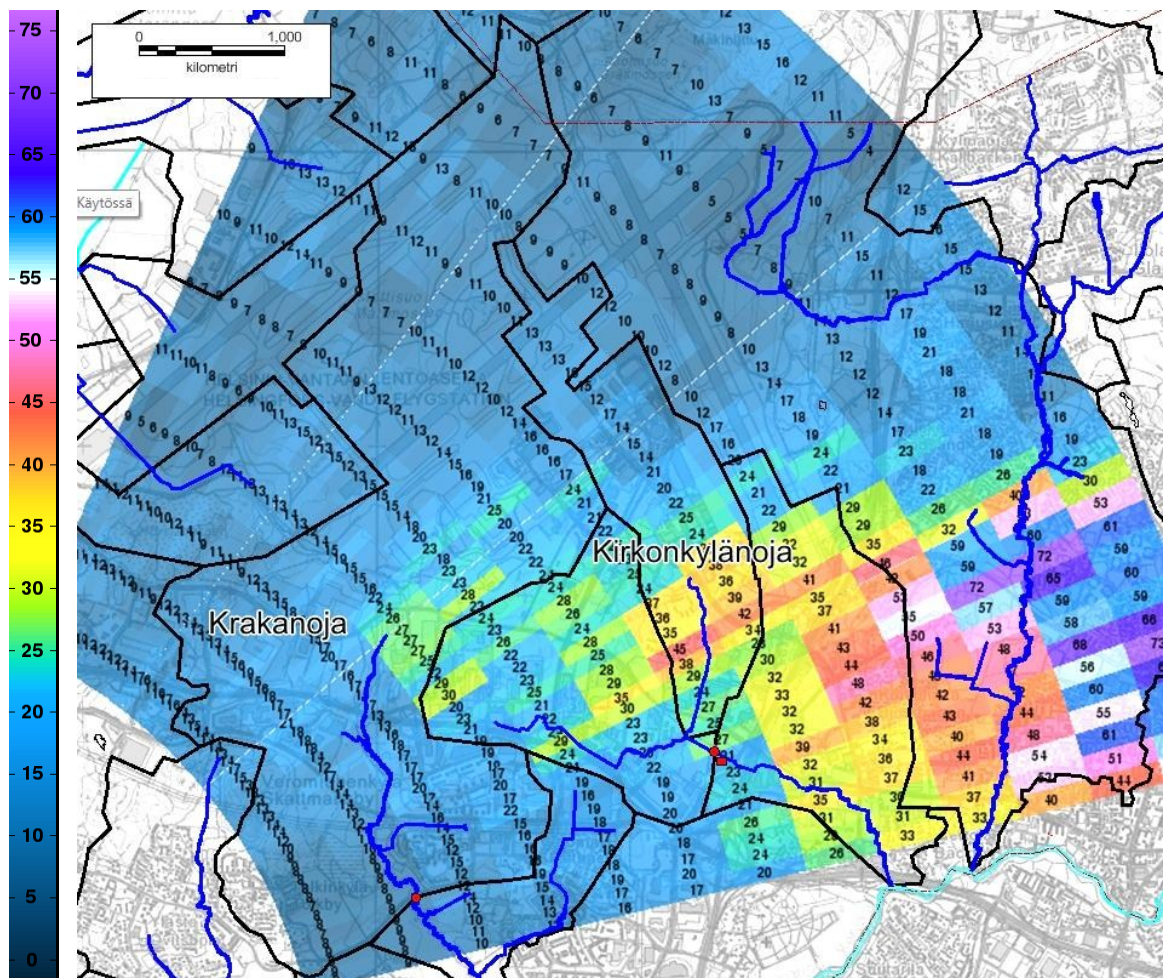


Kuva 21. Vaisalan WXT520 säälähetin (kuva Hanna Tuominen)

3.3.3 Ilmatieteen laitoksen sääaineisto

Työssä suoritettujen säämittausten lisäksi sadetapahtumia haluttiin tarkentaa muilla menetelmillä. Koska sadetilanteet eivät tapahdu koko valuma-alueella samanaikaisesti ja yhtä suurina, on yhden mittauspisteen perusteella määritetyt sademäärät koko valuma-alueelle epätarkkoja. Tämän seurauksena mittausajanjaksolla olleita sadetapahtumia tarkasteltiin myös Ilmatieteen laitoksen sadetutkan (2014a) ja avoimen aineiston palvelun (2014b) kautta ladattavien säähavaintoasemien tietojen avulla. Tässä työssä käytettiin siis kolmea erilaista sääaineistoa, omia mittauksia, Ilmatieteen laitokselta tilattua sadetutkakuvaa (2014a) sekä Ilmatieteenlaitoksen avoimen aineiston (2014b) säätietoja.

Ilmatieteen laitokselta (2014a) tilattiin sadetutkakuvaa 20.7.2014 tapahtuneesta sadetilanteesta (Kuva 22). Lähin sadetutka sijaitsee Vantaan Kaivokselassa, mutta kuvassa on yhdistetty useiden lähteiden tietoja. Sadetutkakuva antaa tietoja sademääristä valuma-alueiden sisällä, ja näiden tietojen perusteella Kirkonkylänojan ja Krakanojan valuma-alueiden valuntakertoimet saadaan vastaamaan paremmin todellisuutta.



Kuva 22. Ilmatieteen laitoksen tuottama sadekertymä 20.7.2014 klo 11-14 olleelle sadetapahtumalle [mm], kuvassa myös purot ja pienvaluma-alueet (muokattu Ilmatieteen laitos 2014a, Vantaan kaupunki 2014)

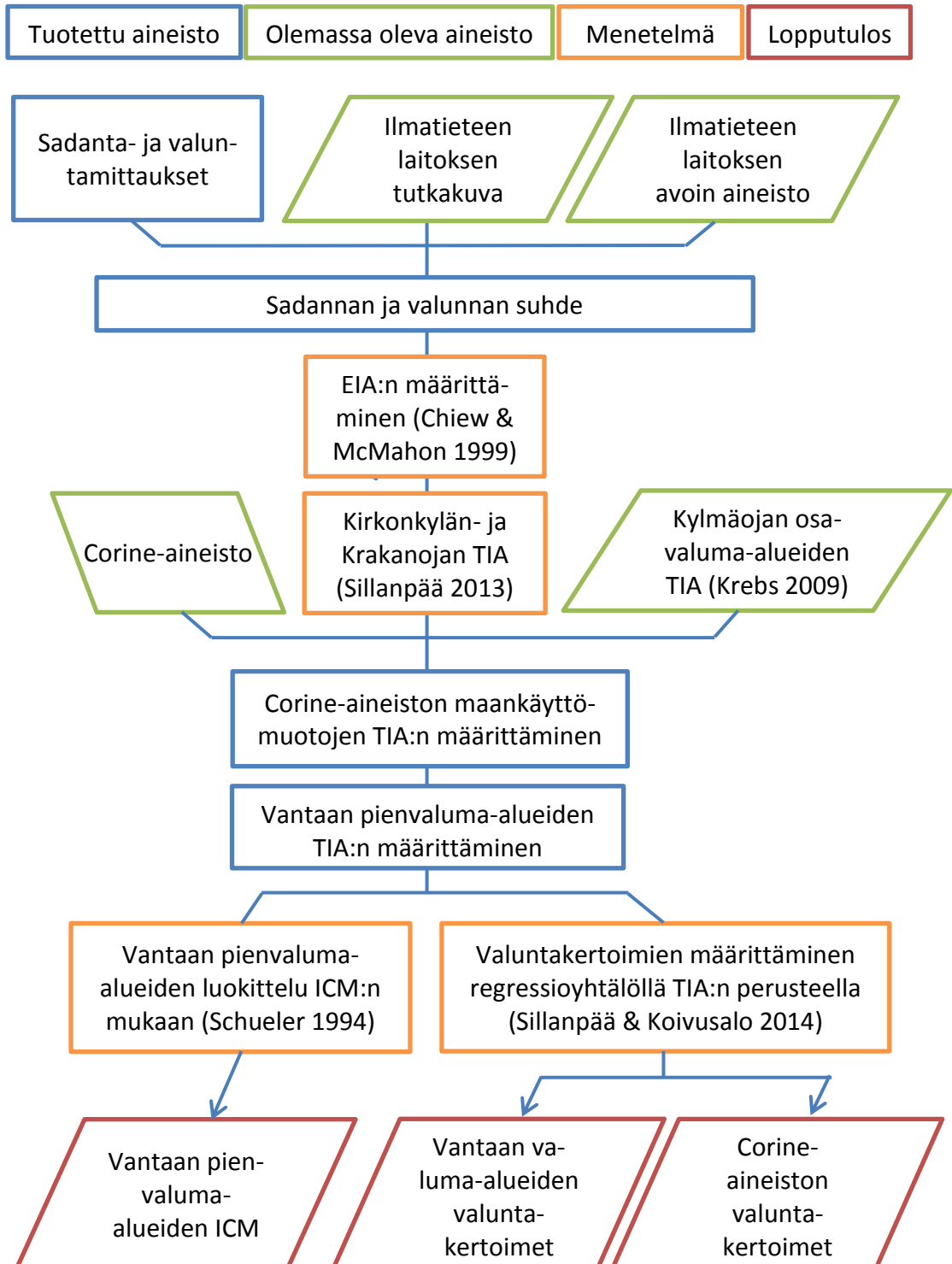
Ilmatieteen laitoksella on avoimen aineiston palvelu, josta tässä työssä ladattiin päivittäisiä sademääriä mittausjaksolta. Tätä työtä varten sadetietoja kerättiin 6 säähavaintoasemalta. Kyseiset havaintoasemat ja niiden koordinaatit sekä myös oma mittauspisteemme Manttaalikujalla ovat listattuna taulukossa 10.

Taulukko 10. Työssä käytetyt Ilmatieteen laitoksen (2014b) säähavaintoasemat ja niiden koordinaatit sekä oma mittauspiste Manttaalikujalla

Sääasema	Lat (°)	Long (°)
Tapiola, Espoo	60.17802	24.78732
Kumpula, Helsinki	60.20307	24.96130
Nuuskio, Espoo	60.29128	24.56788
Manttaalikuja, Vantaa	60.29373	24.98034
Helsinki-Vantaan lentokenttä	60.32670	24.95675
Porvoo	60.39171	25.60730
Nurmijärvi	60.50878	24.65373

4 Työn eteneminen ja menetelmät

Työn eteneminen ja menetelmät on esitetty kuvassa 23. Kaaviossa kuvataan tässä työssä tuotetut aineistot ja prosessit, joita aineistojen tekemiseen on tarvittu, työssä käytetyt jo olemassa olevat aineistot, menetelmät sekä työn tavoitteiden mukaiset lopputulokset.



Kuva 23. Työn suorittamisen vuokaavio

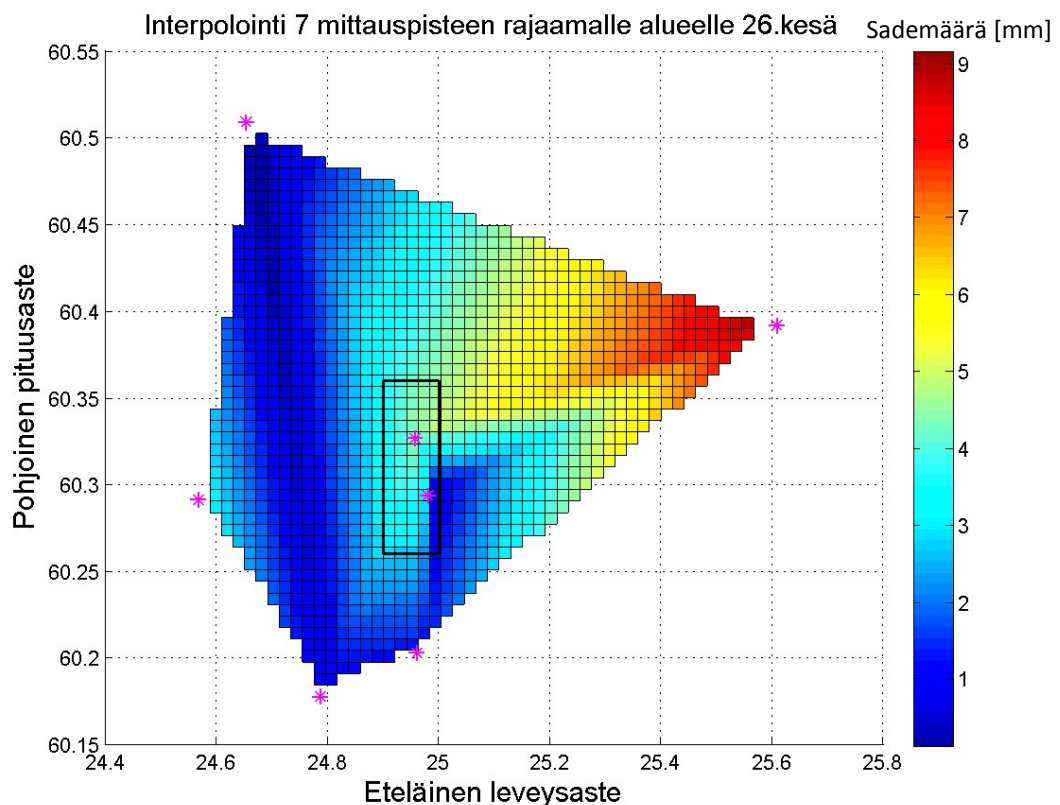
4.1 Sääaineiston analysointi

Säämittausten tulokset saatiin Luode Consultingilta. Yksittäisistä sadetapahtumista laskettiin kokonaissadanta, jota käytetään välittömän valunnan valuntakertoimien määrittämiseen. Lisäksi sademittausten perusteella virtaamamittaukset jaettiin sadetapahtumiin.

Ilmatieteen laitoksen (2014a) tutkakuvasta 20.7.2014 sattuneelle sadetapahtumalle määritettiin sademäärät manuaalisesti laskemalla valuma-alueiden rajojen sisälle osuvien ruutujen ilmoittamat määrät. Kokonaiset ja puolikkaat ruudut laskettiin mukaan ja alle puolikkaan ruudut jätettiin huomioimatta. Tällä tavalla saatiin keskimääräinen sademäärä.

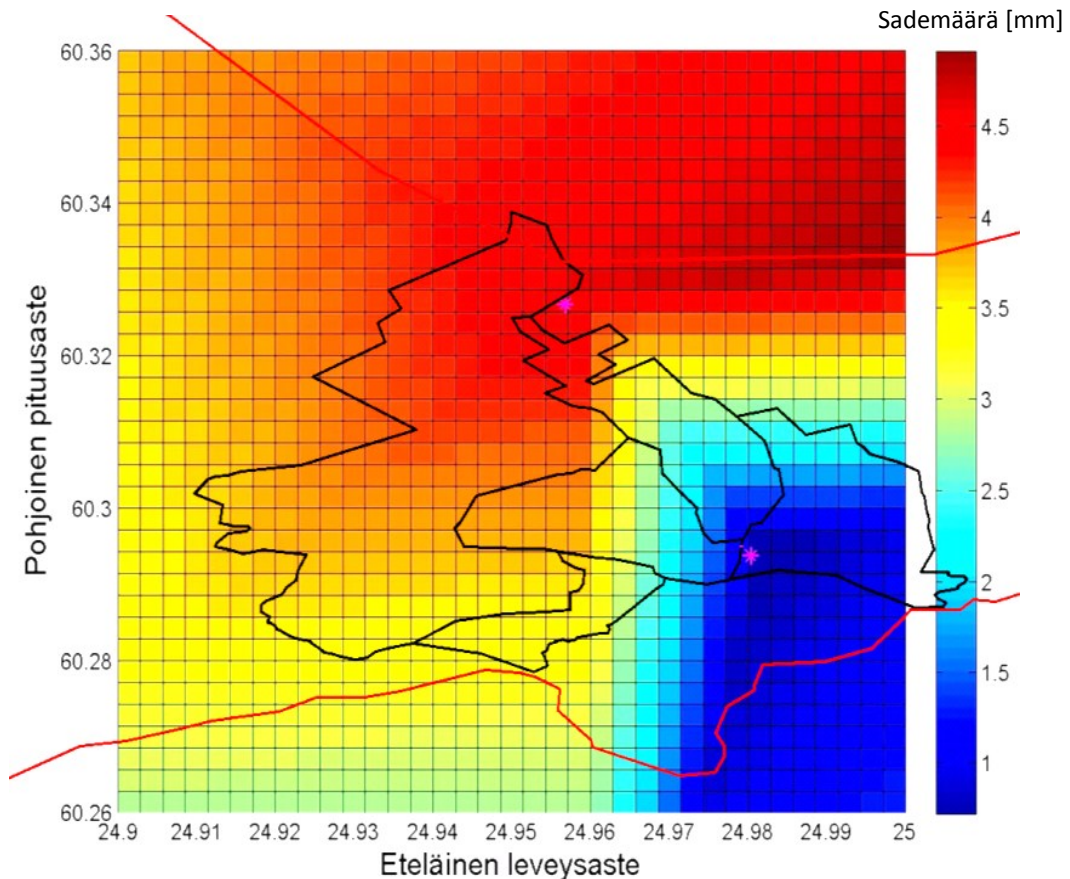
Ilmatieteen laitoksen (2014b) avoimesta aineistosta saadut havaintopisteet sijoitettiin koordinaattien perusteella toisiinsa nähden oikeille paikoille ja pisteille ilmoitettiin niissä tapahtuneet päiväkohtaiset sademäärät. Tämän jälkeen sademäärille suoritettiin lineaarinen interpolointi pisteiden välille päiväkohtaisesti. Näin myös pisteiden välille saatiin arvio sademäärästä.

Kuvassa 24 on esitettyinä sademäärien interpolointi pisteiden välillä. Lineaarinen interpolointi antaa pisteiden välille arvion sademäärästä, sillä luonnossa saderintama ei esiinny täysin lineaarisena.



Kuva 24. Sadeaineiston interpolointi sadetapahtumalle 26.6.2014. Keskellä kuviota Helsinki-Vantaan lentokentän (ylempi) ja Manttaalikujan mittauspisteet. Kuvan 25 alue rajattuna (huomioi kuvien erilaiset skaalat).

Interpoloinnin jälkeen sadantakuviin liitettiin valuma-alueiden rajat. Kuvassa 25 on esitetty interpoloinnin tulokset ja Kirkonkylänojan ja Krakanojan valuma-alueiden rajaama alue. Syntyneestä kuvasta lasketaan samoin kuin Ilmatieteen laitoksen tutkaku- vasta manuaalisesti valuma-alueiden sisään rajautuvien ruutujen osoittamat sadannat.



Kuva 25. Rajattu sadeaineiston interpolointi [mm] sadetapahtumalle 26.6.2014. Kuvassa myös Kirkonkylänojan ja Krakanojan valuma-alueajukset (Vantaan kaupunki 2014)

4.2 Virtaamamittausten analysointi

Virtaamamittaukset saatiin valmiiksi kalibroituina varmennusmittauksia vastaan Luode Consultingin toimesta. Virtaaman arvoissa esiintyi muutamia puuttuvia havaintoja, jotka täydennettiin lineaarisella interpoloinnilla. Puuttuvia havaintoja ei kuitenkaan esiintynyt sadetapahtumien aikana. Virtaamat muutettiin valunnoiksi valuma-alueen pinta-alan mukaan, jaettiin jaksoihin sadetapahtumien mukaan ja niistä poistettiin pohjavalunta. Näin valunnoista voidaan määrittää välittömän valunnan kertoimet. Valuntatapahtumia käsiteltiin yksittäisinä tapahtumina.

Pohjavalunnat määritettiin jokaiselle sadetapahtumalle erikseen. Pohjavalunta katsottiin olevan sellainen keskiarvoinen valunta, joka esiintyy viimeisen tunnin aikana ennen sadetapahtuman alkua. Tämä arvo vähennetään kokonaisvalunnasta sadetapahtuman aikana ennen valuntakertoimen määrittämistä.

Sadetapahtuma alkaa siitä, kun ensimmäiset sadannan arvot ovat rekisteröityneet mittalaitteeseen. Sadetapahtuma kestää niin kauan, kunnes valunta on palautunut lähtötilanteeseen tai niin pieneksi, että tapahtuman valuntakerroin ei enää muutu merkittävästi ($< 0,01$) edellisen tunnin aikana ja valunnan arvoista havaitaan, että suurin valunta on jo ohitse. Tässä työssä sadetapahtumien aiheuttamat resessiot valunnoissa olivat niin pitkiä, että ne eivät saavuttaneet alkuarvoaan järkevässä ajassa. Resessio katkaistiin silloin, kun valuntakerroin ei enää muuttunut merkitsevästi. Tällöin välittömän valunnan ulkopuolelle jäi osa valunnasta, mutta sen osuus oli hyvin pieni suhteessa koko valuntaan.

Sadannan ja välittömän valunnan arvoista muodostettiin regressiosuorat Kirkonkylän- ja Krakanojalle Chiewin ja McMahonin (1999) käyttämän menetelmän avulla. Regressiosuorista määritettiin tehoisan läpäisemättömän pinnan osuudet sekä valuntaa muodostava sademäärä. Menetelmä on kehitetty pienille ja keskisuurille sateille. Menetelmällä saadaan selville tehoisan läpäisemättömän pinnan osuus valuma-alueella. EIA:n avulla valuma-alueille määritettiin kokonaisläpäisemättömyys (TIA) Sillanpään (2013) esittämän suhteen, kaavan 1 (sivu 13) avulla.

4.3 Maankäytön ja läpäisemättömän pinnan osuuksien määrittäminen

Sadanta- ja valuntamittausten perusteella Kirkonkylän- ja Krakanojan valuma-alueille sekä Krebsin (2009) mukaan Kylmäojan osavaluma-alueille (C1-C11) määritettyjä TIA (tunnettu TIA) osuuksia sekä näiden valuma-alueiden pinta-aloja ja Corine-aineiston osuuksia on käytetty tässä työssä läpäisemättömän pinnan osuuksien määrittämiseen. Läpäisemättömän pinnan osuudet määritettiin ensin Corine-aineiston maankäyttömuodoille. Tämän jälkeen näiden osuuksien perusteella TIA määritettiin muille tarkastelussa olleille Vantaan pienvaluma-alueille.

Jotta TIA voidaan määrittää maankäyttömuodoille, tulee Corine-aineiston osuudet valuma-alueilla tuntea. Tässä työssä Corine-aineiston rasterikuva käsiteltiin ensin vektoriksi, jotta tarkempiin aluerajauksiin päästiin käsiksi, ja tämän jälkeen aineisto rajattiin Vantaan pienvaluma-alueiden mukaan. Rajauksen jälkeen Corine-aineiston eri maankäyttömuotojen pinta-alojen osuudet tunnetaan kullakin valuma-alueella.

Corine-aineiston maankäyttömuotojen osuudet Kirkonkylän- ja Krakanojan valuma-alueilla sekä Kylmäojan osavaluma-alueilla yhdistettiin matriisiksi (matriisi A). Lisäksi muodostettiin toinen matriisi (matriisi B), johon asetettiin aluksi maankäyttömuotojen läpäisemättömän pinnan osuuksien kirjallisuusarvoja (Järveläinen 2014, Zaman & Ball 1994, Vakkilainen et al. 2005, Kuusisto 2002). Matriisit on esitetty liitteessä 2. Matriisien A ja B perusteella laskettiin pinta-ala painotettuna keskiarvona (kaava 2, sivu 27) valuma-alueiden TIA:t (laskettu TIA). Näitä laskettuja TIA:ta verrattiin tunnettuihin. Vertailun pohjalta matriisin B arvoja muutettiin, jotta laskettu TIA ja tunnettu TIA vastaisivat paremmin toisiaan kaikilla valuma-alueilla yhtäaikaisesti. Edellä kuvattua pro-

sessia toistettiin, kunnes päästiin mielekkääseen tulokseen, eli kunnes kaikkien valuma-alueiden laskettu ja tunnettu TIA vastasivat toisiaan mahdollisimman hyvin, mutta kuitenkin niin että Corine-aineiston maankäyttöluokat pysyivät järkevinä.

Corine-aineiston maankäyttömuotojen läpäisemättömän pinnan osuuden määrittämisessä lasketun TIA:n ja tunnetun TIA:n välinen erotus kuvaa menetelmän vaihteluväliä. Menetelmä on sitä tarkempi, mitä pienempi vaihteluväli on. Vaihteluväli on muodostettu Kirkonkylän-, Krakan- ja Kylmäojan perusteella ja kuvaa näiden alueiden tilannetta.

Kun matriisin B lopulliset arvot ja vaihteluväli oli määritetty, verrattiin saatuja läpäisemättömän pinnan osuuksia vielä kirjallisuusarvoihin. Matriisin B arvojen avulla laskettiin kaikkien muiden pienvaluma-alueiden läpäisemättömän pinnan osuudet. Näille pienvaluma-alueille laskettujen TIA arvoja tarkasteltiin lisäksi muodostetun vaihteluvälin mukaan.

Corine-aineiston maankäytön luokkien läpäisemättömyyden merkitystä tarkasteltiin jokaisen luokan kohdalla. Tämä herkkyystarkastelu suoritettiin yhdelle luokalle kerrallaan lopullisten TIA osuuksien määrittämisen jälkeen. Herkkyystarkastelussa yksittäisen maankäyttöluokan läpäisemättömyyttä muutettiin ensin suuremmaksi ja sitten pienemmäksi, kunnes jonkin valuma-alueen lasketun ja herkkyystarkastelun vuoksi uudella arvolla lasketun TIA:n erotus kasvoi itseisarvoltaan yli 5 %. Nämä muutetut arvot kirjattiin ylös ja niiden erotuksen itseisarvon perusteella tutkittiin kyseisen maankäyttöluokan vaikutusta valuma-alueiden TIA:han.

Helsinki-Vantaan lentokenttäalueen läpäisemättömyys vaihtelee alueen sisällä runsaasti. Tämän seurauksena eri valuma-alueilla sijaitsevat lentokentän osuudet sisältävät erilaiset määrät läpäisemättömää pintaa. Siksi tässä työssä Kirkonkylän- ja Krakanojalle läpäisemättömän pinnan osuuksien määrät lentokenttäalueella on määritetty tarkastelemalla vuoden 2013 ilmakuvaa. Tällöin eri valuma-alueilla käytetään erilaisia TIA:n arvoja lentokenttäalueista.

4.4 Vantaan pienvaluma-alueiden luokittelu

Vantaan muille pienvaluma-alueille määritettiin Corine-aineiston mukaiset maankäytön muotojen osuudet samoin kuin aiemmin on kuvattu luvussa 4.3. Tämän jälkeen eri maankäyttömuotojen läpäisemättömän pinnan osuuksien perusteella muodostettiin pienvaluma-alueille kokonaisläpäisemättömyys. Läpäisemättömän pinnan osuuksien perusteella pienvesistöt luokiteltiin läpäisemättömän pinnan mallin mukaan. Luokittelu suoritettiin MapInfon teemakarttaa käyttäen määrittäen luokitteluvälit mallin mukaisesti.

4.5 Lämpäsemättömän pinnan luokittelun todentaminen

Lämpäsemättömän pinnan lisäksi luokittelun todentamiseen ja tarkentamiseen on syytä käyttää myös muita indikaattoreita. Tässä työssä todentamiseen käytetään Vantaan virtavesiselvityksen (Janatuinen 2011) yhteydessä muodostettuja aineistoja purokatkan ja taimenen esiintymisestä. Lisäksi hyödynnetään samassa selvityksessä tarkasteltuja muita biologisia indikaattoreita sekä vesistön tilaa. Näiden tarkastelujen avulla luokittelun todenmukaisuutta ja onnistuneisuutta voidaan arvioida.

Virtavesiselvityksessä muodostetut karttapohjat purokatkan ja taimenen esiintymisestä asetettiin päällekkäin työssä muodostetun luokittelun kanssa. Näin lajien esiintymisen perusteella voidaan tarkastella veden tilaa myös muun kuin vain lämpäsemättömän pinnan osuuden perusteella. Lisäksi virtavesiselvityksessä tehtyjen muiden tarkasteltujen tuloksien avulla voidaan arvioida vesistön tilaa.

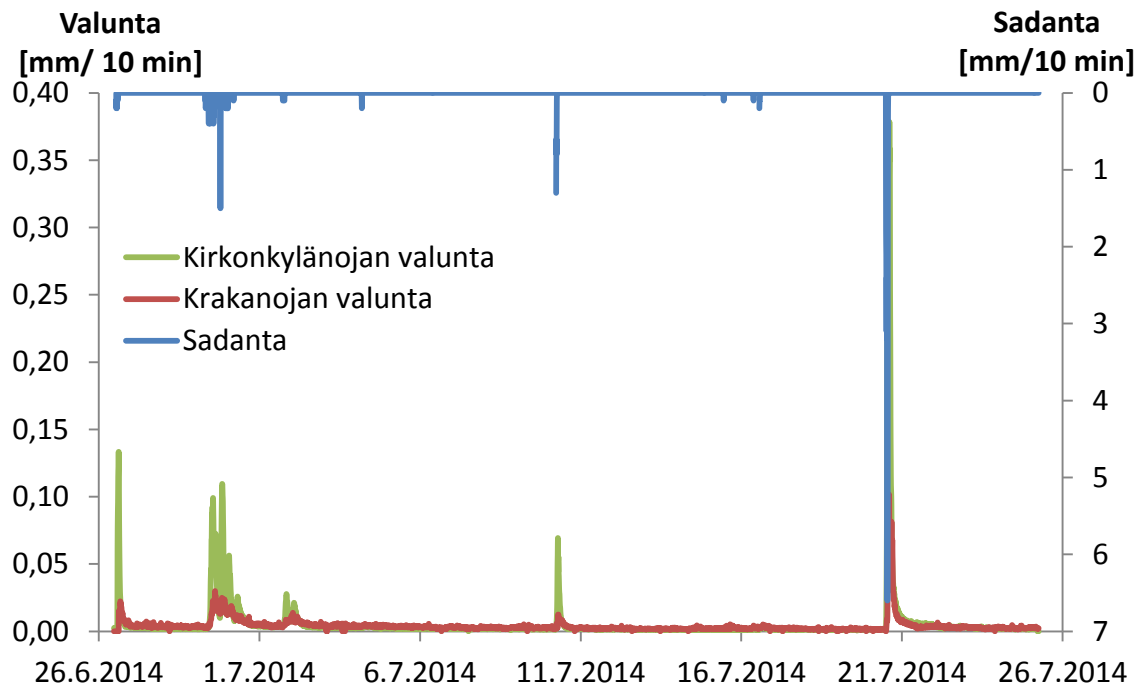
4.6 Valuntakertoimen määrittäminen

Lämpäsemättömien pintojen osuuksien lisäksi tarkastelluille pienvesikohteille määritettiin valuntakertoimet lämpäsemättömän pinnan osuuden mukaan. Samanlainen toimitus tehtiin myös Corine-aineiston maankäytön muodoille. Valuntakertoimet määritettiin Sillanpään (2013) muodostaman regressioyhtälön mukaan (Kuva 6) lämpäsemättömän pinnan osuudesta. Määritetyt valuntakertoimet kuvaavat kesäaikaisen sadannan valuntakerrointa ja pienten ja keskisuurten sadetapahtumien tilannetta. Valuntakertoimia ei voi yleistää koskemaan koko vuoden tilannetta.

5 Tulokset ja tulosten tarkastelu

5.1 Sadanta- ja valuntamittaukset

Työn aikana suoritetujen sadanta ja valuntamittausten tulokset on esitetty kuvassa 26 10 minuutin arvoina ja kuvassa 27 kertymäkuvaajana. Mittausaikana sadetapahtumia oli vain muutamia, kahdeksan kappaletta, mutta pienimpien vaikutus ei näy valunnoissa. Rankin sadetapahtuma osui 20.7.2014, jolloin mittauspisteen sademäärä oli 23,4 mm, ja sadetapahtuma kesti vain alle kaksi tuntia. Tapahtuma sattui pitkän kuivan kauden jälkeen. Toinen suurempi sadetapahtuma oli 30.6 – 1.7, jolloin sadetapahtuma on kestänyt yli vuorokauden vaihteen. Kyseisessä sadetapahtumassa pidemmän ajan sisällä oli useita pieniä sadetapahtumia. Sateettomat hetket olivat kuitenkin niin lyhyitä, ettei niitä voi erottaa omiksi tapahtumikseen. Pitkä sadetapahtuma kasvattaa valuntakerrointa merkittävästi. Sademäärä tässä tapahtumassa oli 11,2 mm.



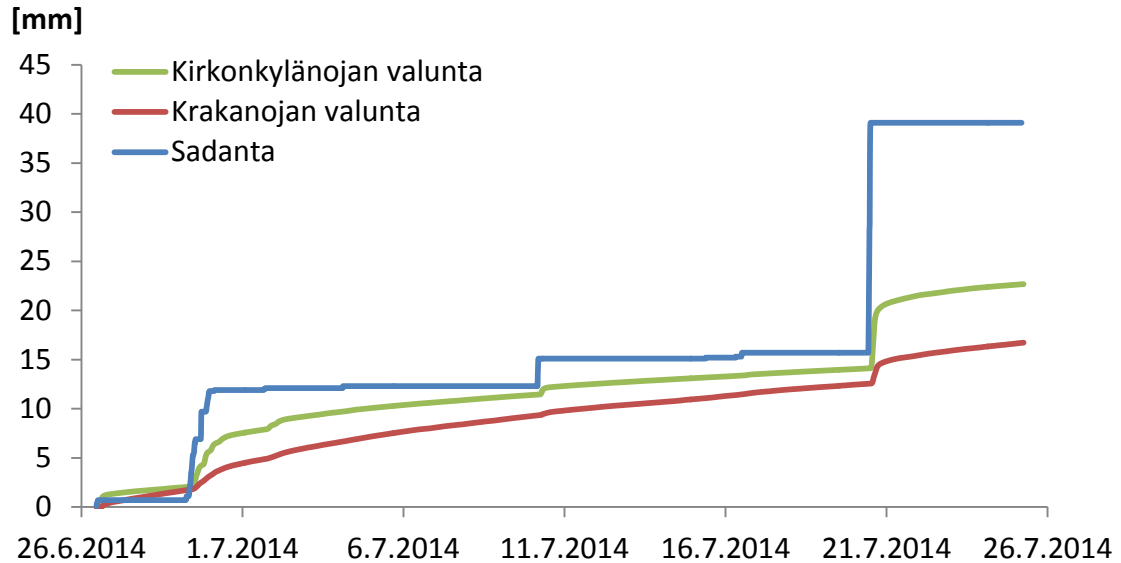
Kuva 26. Työn aikaisten mittausten valunnat ja sademäärä Kirkonkylän- ja Krakanojalla

Helsingin Kaisaniemen mittausasemalla tehdyn ilmastotutkimuksen (vuodet 1951 – 2000) mukaan sateet kestävät heinäkuussa keskimäärin 50 minuuttia sateettoman jakson ollessa 22 tuntia (Kilpeläinen 2006). Tässä tutkimuksessa on kuitenkin huomiotu vain sateet, eikä sadetapahtumia ole jaettu valunnan mukaan tapahtumiin. Sillanpään (2013) Espoossa suorittamien mittauksissa valunnan mukaan jaetun sadetapahtuman kesto kesäaikana on viisi tuntia ja sadetapahtumien välinen aika hieman vajaa kaksi päivää. Tämän työn mittausten perusteella keskimääräinen valunnan mukaan jaettujen sadetapahtumien kesto oli mittausaikana noin 3 tuntia. Sateettoman ajan kesto oli yli vuorokauden. Mittausten perusteella sateet vaikuttavat keskimääräiseltä kesäajan sadetapahtumilta.

Kilpeläisen (2006) mukaan keskimääräinen sateen intensiteetti on heinäkuussa 0,23 mm 10 minuutissa ja sadetapahtuman summa 1,3 mm. Sillanpään (2013) tutkimuksessa kesäaikainen intensiteetti on 0,8 mm 10 minuutissa ja sadetapahtuman summa 4,2 mm. Tulokset eroavat siinä, että Sillanpään (2013) tutkimuksessa pienet sateet, joilla ei ole ollut vaikutusta valuntaan on jätetty huomiotta, jolloin tilanne kuvaa sadanta- valuntatapahtumia. Tämän työn mittausten keskimääräinen sateen intensiteetti oli 0,23 mm 10 minuutissa, mikä vastaa Kilpeläisen (2006) heinäkuun yleistä tilannetta. Työssä suoritettujen mittausten rankimman sadetapahtuman intensiteetti oli 2,3 mm 10 minuutissa. Tämän työn mittausten sadetapahtumien summa oli 4,3 mm, joka on Sillanpään (2013) tutkimuksen kanssa samassa luokassa. Jos tämän työn sadetapahtuman summassa huomioidaan vain pienet ja keskisuuret sadetapahtumat (<17-20 mm) (Sillanpää ja Koivusalo 2014) oli sadesumma 2,0 mm, eli samaa suuruusluokkaa kuin heinäkuussa yleensä (Kilpeläinen 2006). Yleisesti mittausten aikaiset sadetapahtumien intensiteetit ja sademäärät olivat keskimääräisiä yleiseen kesäaikaiseen tilanteeseen nähden.

Työn yhden kuukauden mittausaikainen kokonaissadanta oli 39,1 mm (Kuva 27). Heinäkuussa Helsinki-Vantaan lentokentällä puolestaan satoi yhteensä 42 mm (Ilmatieteen laitos 2014b). Keskiarvo, vuosilta 1981 – 2010, lentokentän heinäkuun sademäärille on 66 mm (Ilmatieteen laitos 2014c). Tämän vuoden sateet jäivät siis 24 mm keskiarvon alapuolelle. Yleisesti heinäkuussa sadetapahtumille ominaista on rankkuus ja lyhytkestoisuus, mutta kuun lopussa rankkojen sateiden todennäköisyys pienenee (Kilpeläinen 2006). Tämän työn mittauksien mukaan heinäkuu sadetapahtumat olivat keskimääräisiä, sillä ne olivat melko pieniä ja lyhyitä sateita, mutta poikkeuksellista oli kuun lopussa ollut rankka sadetapahtuma.

Krakanojalle mittausaikana tullut sadanta on ollut pienempi kuin Kirkonkylänojan sadanta. Tästä syystä Kirkonkylänojan valunnan osuus on suurempi kuin Krakanojan (Kuvat 26 ja 27) Kirkonkylänojalla myös valunnan piikit olivat suuremmat, mikä johtuu osittain valuma-alueiden muodosta, mutta kuvaa myös Kirkonkylänojan läpäisemättömän pinnan määrää. Läpäisemätön pinta äärevöittää valuntaa ja johtaa hulevedet nopeasti vesistöön (Lee & Heaney 2003). Tämä vaikuttaa luonnollisesti myös valunnan suuruuteen. Valunnan kertymisen linja oli kuitenkin molemmissa puroissa samanmuotoinen. Valuntakertymästä voitiin helposti erottaa 20.7 ja 30.6 olleiden sadetapahtuman aiheuttama valunnan kasvu. Mittausten perusteella Kirkonkylänojalla valuntaa kertyi mittausaikana 22,7 mm ja Krakanojalla 16,7 mm. Valunnan kuvaajissa (Kuva 27) on mukana myös pohjavalunta, joka Kirkonkylänojalla oli keskimäärin 8,2 mm koko mittausaikana (14 l/s pohjavirtaamalla) ja Krakanojalla 11,5 mm (41 l/s pohjavirtaamalla). Virtausmittausten perusteella vaikuttaisi, että joitakin pieniä sadetapahtumia on osunut valuma-alueille, vaikka sademittari ei ole rekisteröinyt sadantaa, tästä tulee esille kesäsateiden paikallisuus (Kilpeläinen 2006).



Kuva 27. Työn aikaisten mittausten valunnat ja sademäärän kertymä Kirkonkylän- ja Krakanojalla

5.2 Sadanta- ja valunta-aineiston soveltaminen

Sademäärät vaihtelevat tapahtumakohtaisesti ja läheistenkin mittauspisteiden erot voivat olla suuria, johtuen sateiden rankkuudesta ja paikallisuudesta (Kilpeläinen 2006). Tästä syystä hulevesimittauksessa sadantamittareita tulisi olla yksi 1 km² kohden (Shuster et al. 2008). Koska tässä työssä sadantamittareita oli vain yksi suurta pinta-alaa kohden, tarkennettiin sadantatuloksia myös muiden lähteiden avulla. Yhteensä sademäärien määrittämiseen käytettiin kolmea eri lähdettä: omia mittauksia, Ilmatieteen laitokselta (2014a) tilattua tutkakuvaa ja Ilmatieteen laitoksen (2014b) avointa aineistoa. Työssä käytetyt sademäärät valuntakertoimen määrittämiseen valittiin eri sadetapahtumille eri lähteiden perusteella. Valuntakertoimia määritettäessä selvästi liian pienet sademäärät erottuivat joukosta antaen valuntakertoimeksi jopa suuremman arvon kuin 1, jota ei voi käyttää valuntakertoimen määrittämiseen.

Ilmatieteen laitoksen (2014b) avoimen aineiston perusteella muodostettu interpolointi lähdepisteiden välille tuotti arvioita sadannasta Kirkonkylän- ja Krakanojan valuma-alueiden kohdalla. Taulukkoon 11 on koottu omien mittausten (Manttaalikuja), Helsinki-Vantaan lentokentän, suoritettujen interpoloinnin ja Ilmatieteen laitokselta (2014a) tilatun tutkakuvan muodostamat sademäärät. Manttaalikujan ja Helsinki-Vantaan lentokentän mittauspisteet sijaitsevat valuma-alueiden välittömässä läheisyydessä. Näistä eri lähteistä saaduista tiedoista valittiin parhaiten tapahtumaan sopivat sademäärät, joiden perusteella valuntakertoimet määritettiin. Interpoloinnin tuloksia käytettiin pääsääntöisesti silloin, kun omien mittausten ja Helsinki-Vantaan lentokentän sademäärät erosivat toisistaan selkeästi, jolloin keskiarvoinen määrä näiden väliltä kuvasi parhaiten todellista tilannetta. Aina interpoloinnin antamat sademäärät eivät kuitenkaan käyneet yksiin mitattujen valuntojen kanssa, mikä kävi ilmi selkeästi liian suurista tai pienistä valuntakertoimista. Tällöin (10.7 molemmissa kohteissa ja 16.7 Krakanojal-

la) käytettiin omien sadantamittausten tulosta. 20.7 tapahtuneesta sadetapahtumasta sademäärä laskettiin Ilmatieteen laitokselta (2014a) tilatusta tutkakuvasta, jonka voidaan olettaa kuvaavan parhaiten kyseistä sadetapahtumaa.

Taulukko 11. Sadetapahtumat eri mittauksten mukaan esitettynä, tummennetut arvot valittiin valuntakertoimen määrittämiseen

Sademäärät [mm]	Manttaali- kuja	Helsinki-	Kirkonkylänoja	Krakanoja		
		Vantaan lento- kenttä (*)	Interpo- lointi (*)	Tutka- kuva (+)	Interpo- lointi (*)	Tutka- kuva (+)
26.kesä	0,7	4,6	3		-	
30.kesä	11,2	11,2	11,5		11,6	
1.heinä	0,2	3,5	2,4		3,4	
10.heinä	2,8	0	0,9		0	
16.heinä	0,4	0,7	0,6		0,7	
20.heinä	23,4	13,8	15,8	21,1	11,6	12,4

* Ilmatieteen laitoksen avoin aineisto, + Ilmatieteen laitoksen (2014a) tutkakuva

Taulukkoon 12 on koottu taulukosta 11 valitut sademäärät (tummennettu) sekä näiden perusteella lasketut sadetapahtumien välittömät valunnat ja kokonaisvalunnat molempien valuma-alueiden osalta. Näiden sadetietojen perusteella Kirkonkylänoja sadantaa kertyi kokonaisuudessaan 41 mm, Krakanojalla 30 mm (Taulukot 11 ja 12). Nämä arvot poikkeavat hieman sademittausten tuloksesta. Mitattu sadanta oli lähempänä Kirkonkylänoja kuin Krakanojalle määritettyä sadantaa. Ilmatieteen laitoksen avoimen aineiston ja tutkakuvan perusteella määritetyt sadannat vastaavat paremmin hyvin Kirkonkylän- ja Krakanojalla mitattuja valuntoja. Kirkonkylänojan valunta oli mitausten perusteella suurempi kuin Krakanojan valunta, jolloin alueelle tulleen sadan nankin tulisi olla suurempi. Tämän perusteella myös muun aineiston kuin vain suoritetun mittauksen sademääriä on järkevää käyttää valuntakertoimen määrittämiseen tässä työssä.

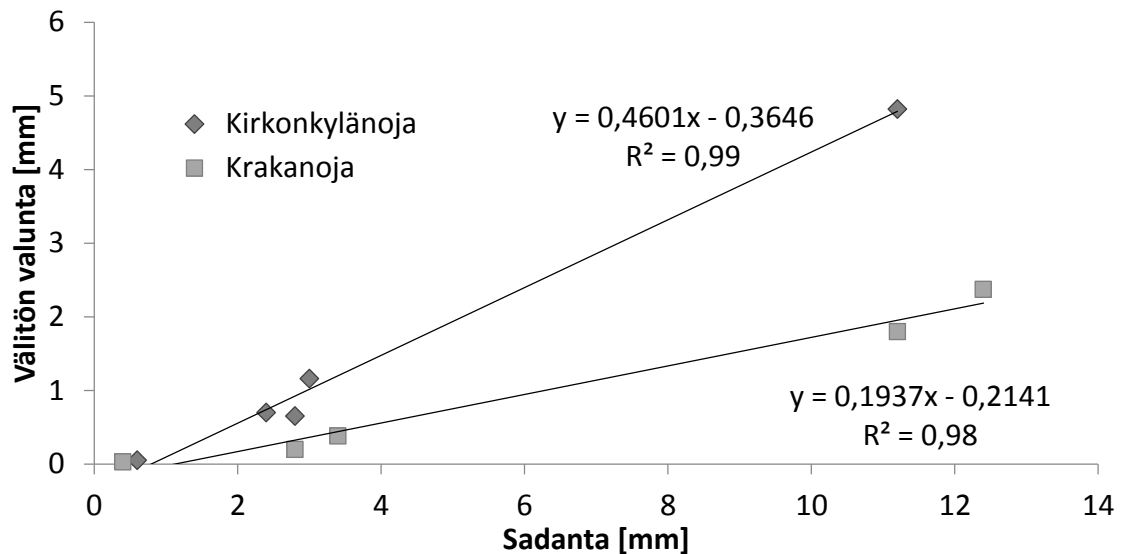
Valuntakerroin muodostuu sademäärän ja välittömän valunnan suhteesta. Valuma-alueille lasketuista valuntakertoimista (Taulukko 12) havaitaan, että ne vaihtelivat suuresti sadetapahtumien mukaan. Pääsääntöisesti valuntakerroin kasvoi sadetapahtuman kasvaessa, mutta aina näin ei ollut. Esimerkiksi Krakanojalla 10.7 ja 16.7 valuntakertoimet saivat saman arvon, vaikka sademäärät olivatkin erisuuruiset. Myös Kirkonkylänojan 20.7 erottui joukosta, sillä siinä valuntakerroin oli selvästi pienempi kuin pienemmissä sadetapahtumissa (26.6 ja 30.6). Samainen päivä oli sademäärältään myös omaa luokkaansa ollen ainoa suureksi (> 17 - 20 mm) (Sillanpää & Koivusalo 2014) luokiteltava sadetapahtuma mittausjaksolla. Kyseisen rankkasateen aikana hulevesiviemärit eivät kyenneet johtamaan koko tulevaa virtaamaa eteenpäin, vaan aiheutui pado tusta. Tällöin mitatun välittömän valunnan resessio jäi hyvin pitkäksi. Kyseisen sadetapahtuman mitatut virtaamaan arvot eivät kuvaa vapaana virtaavan veden tilannetta,

ne voivat antaa liian pieniä virtaaman arvoja. Näistä syistä johtuen kyseiselle tapahtumalle määritetty valuntakerroin on todennäköisesti todellisuutta pienempi. Toisaalta kyseistä sadetapahtumaa edelsi pitkä kuiva kausi, jolloin maaperässä oli tilaa vedelle, mikä taas pienentää tapahtuman valuntaa ja valuntakerrointa. Krakanojalla 26.6 virtaamamittareita oltiin asentamassa, kun sadetapahtuma alkoi, jolloin puron virtaama alkoi nousta jo mittareiden asennusvaiheessa. Virtaaman lähtötilannetta ei saatu tästä syystä mitattua. Kyseinen sadetapahtuma jätettiin määrittelyssä huomioimatta.

Taulukko 12. Kirkonkylän- ja Krakanojan sadetapahtumat, niiden sadannat, valunnat ja valuntakertoimet

Kirkonkylänoja	26.6	30.6	1.7	10.7	16.7	20.7
Sadanta [mm]	3	11,2	2,4	2,8	0,6	21,1
Välitön valunta [mm]	1,1	4,8	0,7	0,6	0,1	6,5
Kokonaisvalunta [mm]	1,2	5,1	1,0	0,7	0,1	6,6
Valuntakerroin	0,37	0,43	0,29	0,23	0,09	0,31
Krakanoja	26.6	30.6	1.7	10.7	16.7	20.7
Sadanta [mm]		11,2	3,4	2,8	0,4	12,4
Välitön valunta [mm]		1,8	0,4	0,2	0,03	2,4
Kokonaisvalunta [mm]		2,3	0,9	0,3	0,1	2,6
Valuntakerroin		0,16	0,11	0,07	0,07	0,19

Taulukossa 12 esitettyjen sadantojen ja välittömien valuntojen suhteesta muodostettiin kuvaaja, joka on esitetty kuvassa 28. Kirkonkylänojan suurin sadetapahtuma (21,1 mm), jätettiin pois tästä kuvaajasta, sillä se ylittää pienten ja keskisuurten sateiden rajan. Kuvaajalle muodostettiin regressiosuorat ja yhtälöt Chiewin ja McMahonin (1999) menetelmän mukaan. Regressioyhtälön ensimmäisen asteen termi kuvaa valuma-alueen tehoisaa läpäisemättömää pintaa. Kirkonkylänojalla tehoisa läpäisemätön pinta regressioyhtälön mukaan oli 0,46 ja Krakanojalla 0,19 suhteessa valuma-alueiden pinta-alaan. Tehoisasta läpäisemättömästä pinnasta määritettiin kokonaisläpäisemättömyys Sillanpään (2013) muodostaman suhteen (kaava 1, sivu 13) perusteella. Kirkonkylänojan TIA oli tällöin 0,55 ja Krakanojan puolestaan 0,30. Regressiosuorien tulokset kuvaavat todellisuutta suhteessa toisiinsa, sillä Kirkonkylänojalla on rakennettua aluetta enemmän kuin Krakanojalla, niin kuin yhtälötkin osoittavat.



Kuva 28. Kirkonkylän- ja Krakanojan sadannan ja välittömän valunnan suhde, regressiosuorat ja -yhtälöt

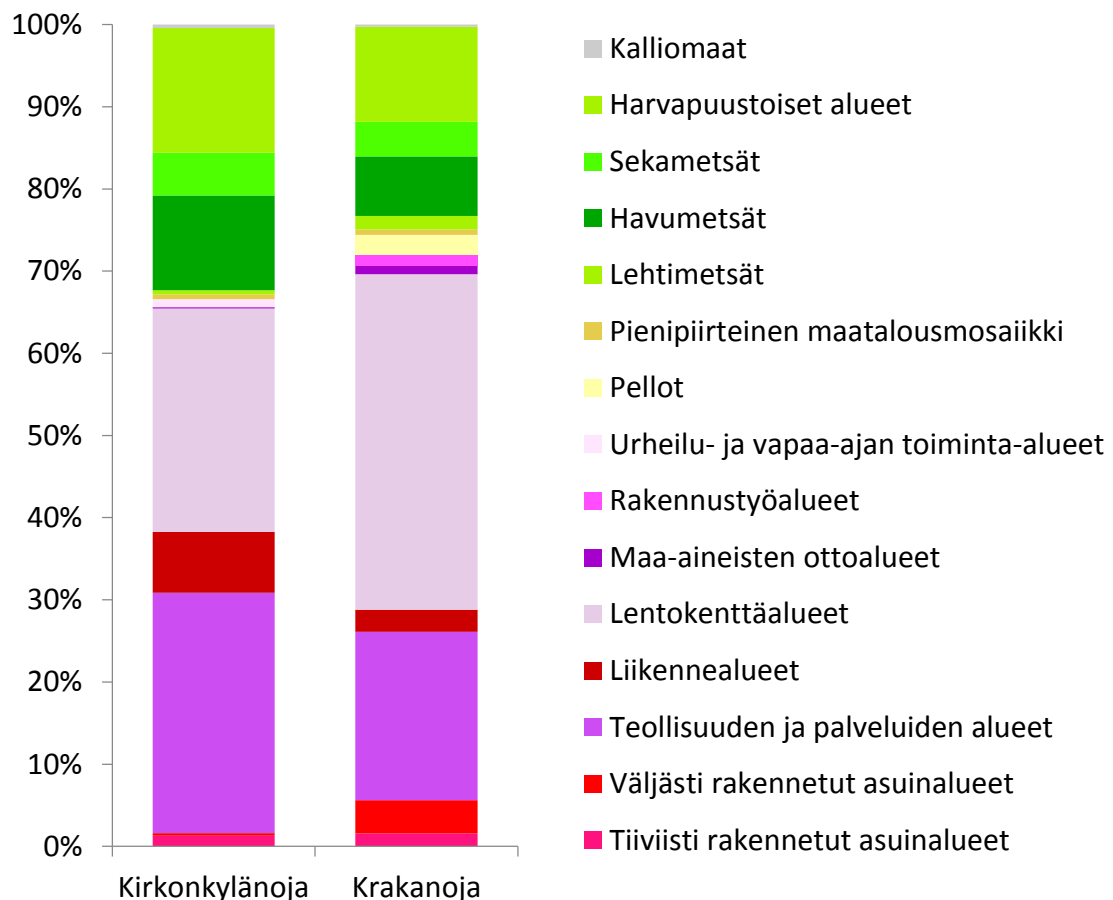
Sadannan ja valunnan mukaan muodostettujen regressioyhtälöiden perusteella (Kuva 28) valuma-alueille laskettiin sademäärä, jonka jälkeen valuntaa alkaa muodostua. Kirkonkylänojalla 0,8 mm suurempi sade muodosti valuntaa ja Krakanojalla taas sademäärän tuli olla suurempi kuin 1,1 mm. Tämä kuvaa todellisuutta, sillä Kirkonkylänojalla, missä läpäisemätöntä pintaa on enemmän kuin Krakanojalla, pienempi sademäärä alkaa muodostaa valuntaa, kun taas Krakanojalla, missä läpäisevää pintaa on enemmän, myös valuntaa muodostava sademäärä tulee olla suurempi.

5.3 Pienvaluma-alueiden maankäyttö

Vantaan kaupungin valuma-alueiden maankäyttöä tarkasteltiin Corine-aineiston avulla. Corine-aineiston maankäyttömuotojen jakautuminen Kirkonkylän- ja Krakanojalla on esitettyinä taulukossa 13 ja kuvassa 29. Taulukossa 13 teollisuuden ja palveluiden alueet on ilmoitettu sekä yhdistettynä luokkana että erikseen. Yhdistetty luokka sisältää molemmat erikseen ilmoitetut luokat. Corine-aineiston versiossa 2012 kyseiset luokat on ilmoitettu erikseen, mutta vanhemmassa aineistossa (2006) luokat on ilmoitettu yhdistettynä. Rakennettua aluetta on Kirkonkylänojalla 65 % ja Krakanojalla 70 % (Kuva 29). Kaikki rakennettu alue ei kuitenkaan ole läpäisemätöntä pintaa. Lentokenttäalueet vievät molemmista valuma-alueista noin 1/3 osan, 27 % Kirkonkylänojalla ja 40 % Krakanojalla. Toisen ison osan alueista vie teollisuuden ja palveluiden alueet; 29 % Kirkonkylänojalla ja 21 % Krakanojalla.

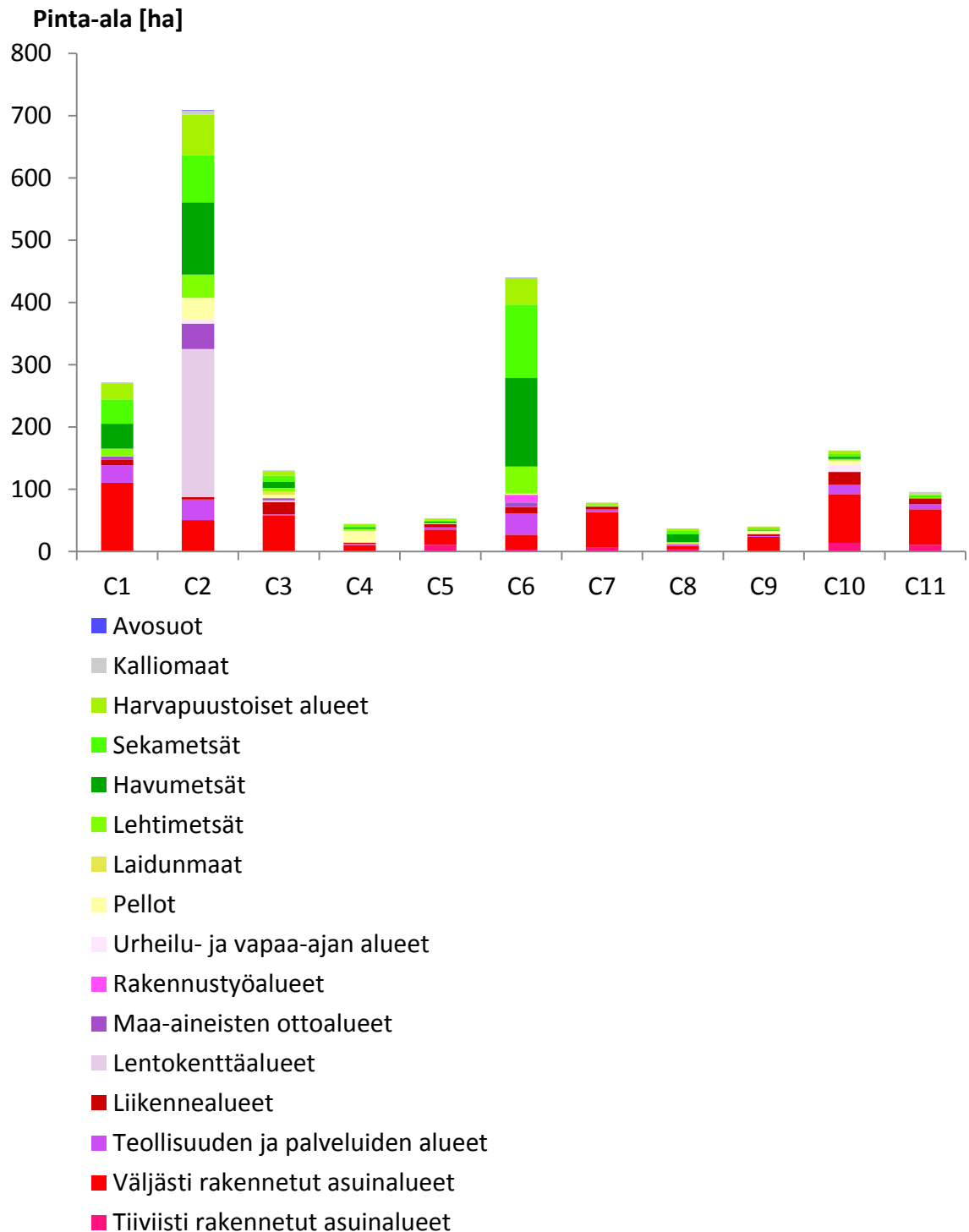
Taulukko 13. Corine-aineiston maankäyttömuotojen jakautuminen Kirkonkylän- ja Krakanojalla, pinta-alat ja prosenttiosuudet

Corine-aineiston maankäyttö	Kirkonkylänoja		Krakanoja	
	ha	%	ha	%
Tiiviisti rakennetut asuinalueet	5,7	1,3 %	14,4	1,6 %
Väljästi rakennetut asuinalueet	1,4	0,3 %	36,8	4,0 %
Teollisuuden ja palveluiden alueet	129,6	29,3 %	186,5	20,5 %
Palveluiden alueet	58,2	13,1 %	61,3	6,7 %
Teollisuuden alueet	71,4	16,1 %	125,3	13,8 %
Liikennealueet	32,8	7,4 %	24,3	2,7 %
Lentokenttäalueet	120,3	27,2 %	371,6	40,8 %
Maa-aineisten ottoalueet	0,8	0,2 %	9,3	1,0 %
Rakennustyöalueet	0,0	0,0 %	12,5	1,4 %
Urheilu- ja vapaa-ajan toiminta	4,2	1,0 %	0,1	0,0 %
Pellot	0,0	0,0 %	21,8	2,4 %
Pienipiirteinen maatalousmosaiikki	2,6	0,6 %	5,9	0,7 %
Lehtimetsät	2,4	0,5 %	14,9	1,6 %
Havumetsät	51,0	11,5 %	66,2	7,3 %
Sekametsät	23,0	5,2 %	38,1	4,2 %
Harvapuustoiset alueet	67,1	15,2 %	105,2	11,6 %
Kalliomaat	1,9	0,4 %	2,5	0,3 %
Yhteensä	443	100 %	910	100 %



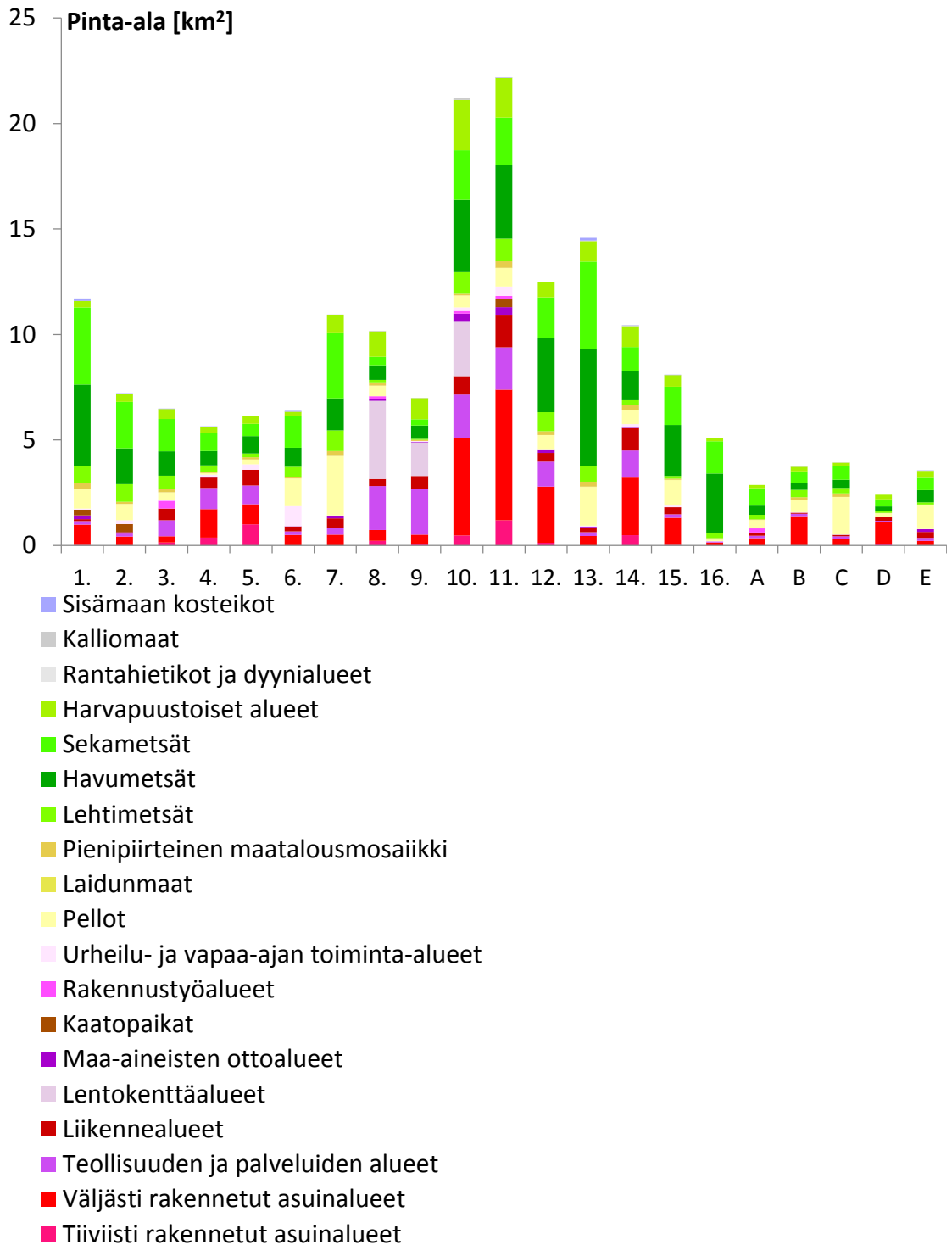
Kuva 29. Corine-aineiston maankäyttömuotojen jakautuminen Kirkonkylän- ja Krakanojalla, prosenttiosuudet

Kuvassa 30 on esitetty Kylmäojan osavaluma-alueiden (C1-C11) (Krebs 2009) maankäyttö vuoden 2006 Corine-aineiston mukaan. Suurin osa osavaluma-alueista on tiiviisti rakennettuja alueita, ainoastaan alueilla C4, C6 ja C8 rakentamatonta aluetta eli metsiä, peltoja tai kalliomaata, on reilusti enemmän kuin puolet alueesta. Alueilla C1 ja C2 hieman alle puolet on rakentamatonta. Näillä alueilla rakennetuista luokista suurimman osa vievät asuinalueet, lisäksi alueella C2 oleva lentokenttäalue vie suuren osan koko osavaluma-alueen pinta-alasta.



Kuva 30. Kylmäojan osavaluma-alueiden (Krebs 2009) maankäyttö Corine 2006-aineistossa

Kuvaan 31 on koottu tarkastelussa olleiden pienvaluma-alueiden Corine 2012 -aineiston mukainen maankäyttö. Alueet 10 ja 11 ovat pinta-alaltaan suurimmat. Paljon rakennettua aluetta sisältäviä alueita ovat 4, 5, 8, 9, 14 ja D. Paljon metsää tai peltoja sisältävät alueet ovat puolestaan 1, 2, 6, 7, 13, 15, 16, A, C sekä E. Tiiviisti rakennetut alueet sisältävät paljon läpäisemätöntä pintaa ja ovat näin todennäköisimmin luokittelun taantuvassa luokassa ja päinvastoin.



Kuva 31. Tarkastelussa olleiden Vantaan kaupungin pienvaluma-alueiden (Kuva 14) Corine 2012 -aineiston mukainen maankäyttö

5.4 Lämpäsemättömän pinnan osuus

Kirkonkylänojan lämpäsemättömän pinnan osuus (TIA) sadanta- ja valuntamittausten mukaan on 0,55 ja Krakanojan 0,30, kuten kappaleessa 5.1 on esitetty. Näiden tulosten sekä Kylmäojan osavaluma-alueiden (C1-C11) lämpäsemättömien pintojen osuuksien (Krebs 2006) perusteella Corine-aineiston maankäyttömuodoille määritetyt lämpäsemättömän pinnan osuudet on esitetty taulukossa 14. Lentokenttäalueille on muista maankäyttömuodoista poiketen annettu kaksi arvoa, toinen Kirkonkylänojalle ja toinen muille alueille, alueen lämpäsemättömän pinnan suuren vaihtelevuuden huomioimiseksi. Taulukon lähtökohta on kirjallisuudessa (Zaman & Ball 1994, Kuusisto 2002, Vakki-lainen et al. 2005, Järveläinen 2014). Kirjallisuusarvoja muokattiin sopivammiksi alueiden TIA:n perusteella.

Suurimmat lämpäsemättömän pinnan arvot saavat maankäyttömuodot liikennealueet (TIA 0,88) sekä teollisuuden- ja palveluiden alueet (TIA 0,71) (Taulukko 14). Myös lentokenttäalue kuuluu Kirkonkylänojalla samaan sarjaan (TIA 0,85), vaikka saakin osittain myös huomattavasti pienempiä arvoja (0,32) muilla alueilla. Asuinalueilla TIA saa arvoja 0,22 ja 0,51. Muut rakennetut alueet, maa-ainesten ottoalueet, rakennustyöalueet sekä urheilu- ja vapaa-ajan toiminta-alueet, saavat arvoja 0,13, 0,14 ja 0,17 tässä järjestyksessä. Nämä ovat siis selvästi vähemmän lämpäsemättömää pintaa sisältäviä alueita. Peltoalueille määritettiin TIA:ksi 0,02 ja metsille vähemmän kuin 0,01. Harvapuustoiset alueet saavat hieman suuremman TIA:n arvon 0,04. Kalliomaille lämpäsemättömän pinnan osuudeksi määritettiin 0,22, kalliopinnan pienen lämpäisevyyden vuoksi, vaikka tämä pinta ei olekaan ihmistoimin rakennettua lämpäsemättömää pintaa.

Taulukko 14. Corine-aineiston maankäyttömuodoille määritetyt läpäisemättömän pinnan osuudet. Lentokenttäalueen ensimmäinen luku kuvaa muita valuma-alueita ja jälkimmäinen Kirkonkylänojan valuma-alueita

Corine-aineiston maankäyttö	TIA %
Tiiviisti rakennetut asuinalueet	0,51
Väljästi rakennetut asuinalueet	0,22
Teollisuuden ja palveluiden alueet	0,71
Liikennealueet	0,88
Lentokenttäalueet	0,32/0,85
Maa-aineisten ottoalueet	0,13
Rakennustyöalueet	0,14
Urheilu- ja vapaa-ajan toiminta	0,17
Pellot	0,02
Pienipiirteinen maatalousmosaiikki	0,02
Laidunmaat	0,02
Lehtimetsät	< 0,01
Havumetsät	< 0,01
Sekametsät	< 0,01
Harvapuustoiset alueet	0,04
Kalliomaat	0,22
Avosuot	< 0,01

Taulukkoon 15 on koottu tämän tutkimuksen sekä aiempien tutkimusten (Zaman & Ball 1994, Kuusisto 2002, Vakkilainen et al. 2005, Järveläinen 2014) läpäisemättömän pinnan osuuksia valituille maankäytön muodoille vertailua varten. Eroavaisuuksia selittää osaltaan arvojen erilaiset määrittelytavat, varsinkin väljästi rakennetun alueen osalta. Tässä työssä määritetyt läpäisemättömän pinnan osuudet ovat samaa luokkaa kuin kirjallisuudessa esitetyt arvot. Väljästi rakennetun asuinalueen sekä teollisuuden ja palveluiden alueiden vaihteluvälit ovat melko suuret (0,20). Tiiviisti rakennettujen alueiden läpäisemättömän pinnan osuudet ovat kaikissa tutkimuksissa hyvin samankaltaisia vaihdellen arvosta 0,4 arvoon 0,52, keskiarvon ollessa 0,48. Tässä työssä muodostettu arvo on vaihteluvälin yläpäässä. Väljästi rakennetuilla alueilla vaihtelua on hieman enemmän, arvosta 0,17 arvoon 0,37, keskiarvon ollessa 0,27. Tässä työssä väljästi rakennettujen alueiden arvoksi saatiin 0,22, mikä on hieman pienempi kuin keskiarvo. Teollisuuden ja palveluiden alueen läpäisemättömyydet vaihtelevat välillä 0,55 – 0,75, keskiarvon ollessa 0,67. Tämän työn tulokset ovat yläpäässä vaihteluväliä. Liikennealueilla läpäisemättömyydet ovat samaa luokkaa. Peltojen ja metsien läpäisemättömyyksissä ei ole juurikaan eroja.

Taulukko 15. Kuuden maankäyttömuodon TIA tässä työssä tehdyn tutkimuksen ja kirjallisuuslähteiden perusteella

	Tämä työ	Järveläinen (2014)	Vakkilainen <i>et al.</i> (2005)	Kuusisto (2002)	Zaman & Ball (1994)
Tiiviisti rakennetut asuinalueet	0,51	0,52	0,4	0,49	0,5
Väljästi rakennetut asuinalueet	0,22	0,33	0,25	0,17	0,37
Teollisuuden ja pal- veluiden alueet	0,71	0,75		0,68	0,55
Liikennealue	0,88				0,8
Pellot	0,02		0,02		
Metsät	< 0,01		0,02		

Taulukkoon 16 on koottu maankäyttömuotojen laskennassa käytettyjen valuma-alueiden tunnetut läpäisemättömän pinnan osuudet (TIA tun.) (Kirkonkylän-, Krakano- ja Kylmäojalle) sekä taulukon 14 maankäyttömuotojen perusteella määritetyt samoille valuma-alueille lasketut läpäisemättömän pinnan osuudet (TIA las.). Lisäksi taulukossa on näiden läpäisemättömyyksien erotukset (TIA erot.) eli mallin vaihteluväli, joka pyrittiin minimoimaan. Kirkonkylän- ja Krakanojan tunnetut läpäisemättömän pinnan osuudet saatiin sadanta- ja valuntamittausten perusteella. Kylmäojan osavaluma-alueiden (C1-C11) TIA saatiin Krebsin (2009) määrittämistä arvoista.

Kirkonkylän- ja Krakanojan valuma-alueiden sekä Kylmäojan osavaluma-alueiden (C1-C11) tunnettujen ja laskettujen läpäisemättömien pintojen osuuksien suurimmat erotukset ovat itseisarvoltaan 0,03 (eli 3 %) (Taulukko 16). Jotta läpäisemättömän pinnan osuuksia voitiin yleistää myös muille valuma-alueille, käytettiin TIA:n arvolle vaihteluvälinä tätä suurinta arvoa, vaikka joillakin tarkastelussa olleilla alueilla vaihteluväli onkin tätä pienempi. Vantaan pienivaluma-alueille määritetty läpäisemättömän pinnan vaihteluväli on 0,06, ts. $\pm 0,03$.

Taulukko 16. Corine-aineiston maankäyttömuotojen TIA:n määrittämiseen käytettyjen valuma-alueiden (Kirkonkylän-, Krakano- ja Kylmäoja) tunnetut ja lasketut TIA, sekä näiden erotukset (vaihteluväli)

	Kirk	Krak	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
TIA las.	0,52	0,33	0,20	0,18	0,26	0,14	0,35	0,10	0,30	0,14	0,24	0,34	0,35
TIA tun.	0,55	0,30	0,18	0,17	0,26	0,11	0,34	0,07	0,29	0,14	0,23	0,32	0,38
TIA erot	0,03	-0,02	0,02	0,01	0,00	-	0,01	-	0,03	0,01	0,00	0,01	0,02

Työssä Corine-aineiston maankäyttöluokkien TIA osuuksille suoritettiin herkkyystarkastelu. Tämän tarkastelun tulokset on esitetty taulukossa 17. Herkkyysluku kuvaa kyseisen maankäytön läpäisemättömän pinnan vaihteluväliä, jolloin muutosta valuma-alueiden TIA:ssa ei esiinny 5 % enempää. Mitä pienempi herkkyysluku on, sitä enemmän vaikutusta kyseisellä luokalla on valuma-alueiden TIA:han, sillä sitä vähemmän luokan läpäisemättömän pinnan osuudella on varaa muuttua, ennen kuin muutos näkyy valuma-alueiden TIA:ssa. Pienen herkkyysluvun maankäyttöluokat antavat luotettavimman tuloksen maankäytön läpäisemättömyydestä.

Herkkyystarkastelun luokitukseen vaikuttaa kyseisen osa-alueen kokonaispinta-ala, vaikka poikkeuksiakin on (Taulukko 17). Pääsääntöisesti suurempi pinta-ala vaikuttaa TIA:han merkittävämmän kuin pienempi pinta-ala. Niillä maankäyttömuodoilla, joiden kokonaispinta-ala on pieni, alle 100 km², ei ole vaikutusta valuma-alueiden TIA:han, esimerkkinä maa-ainesten ottoalueet, rakennustyöalueet ja laidunmaat. Poikkeuksena ovat kuitenkin tiiviisti rakennetut asuinalueet, joiden pinta-ala 72 hehtaaria, mutta vaikutusta TIA:han on, sekä pellot, joiden pinta-ala on 92 hehtaaria ja vaikutus TIA:han on suuri. Eniten TIA:han vaikuttavat väljästi rakennetut asuinalueet, pellot ja havumetsät. Keskimäärin rakennetut alueet esiintyvät luokassa vähän vaikutusta.

Taulukko 17. Corine-aineiston maankäyttömuotojen herkkyytarkastelu: vaikutuksen suuruus, TIA:n vaihteluväli ja maankäytön pinta-ala. Pieni luku tarkoittaa, että maankäyttömuodolla on suuri vaikutus läpäisemättömän pinnan määrityksessä, vaihteluväli kuvaa niitä TIA:n arvoja, joita maankäytön muoto voi saada ilman muutoksia valuma-alueiden TIA:ssa. Lentokenttäalueella on esitetty kaksi arvoa, ensimmäinen kuvaa muiden alueiden tilannetta ja jälkimmäinen kuvaa Kirkonkylänojaa

Corine-aineiston maankäyttö	Paljon vaikutusta	Vähän vaikutusta	Ei vaikutusta	Vaihteluväli	Pinta-ala [ha]
Tiiviisti rakennetut asuinalueet		0,5		0,26 - 0,76	72
Väljästi rakennetut asuinalueet	0,14			0,15 - 0,29	535
Teollisuuden ja palveluiden alueet		0,36		0,53 - 0,89	135
Liikennealueet		0,47		0,53 - 1,0	146
Lentokenttäalueet	0,26	0,35		0,19 - 0,45 / 0,65 - 1,0	732
Maa-aineisten ottoalueet			1	0,0 - 1,0	67
Rakennustyöalueet			1	0,0 - 1,0	25
Urheilu- ja vapaaajan toiminta			0,94	0,0 - 0,94	25
Pellot	0,15			0,0 - 0,15	92
Pienipiirteinen maatalousmosaiikki			1	0,0 - 1,0	9
Laidunmaat			1	0,0 - 1,0	11
Lehtimetsät		0,55		0,0 - 0,55	125
Havumetsät	0,15			0,0 - 0,15	448
Sekametsät	0,2			0,0 - 0,20	323
Harvapuustoiset alueet		0,4		0,0 - 0,40	337
Kalliomaat			1	0,0 - 1,0	18
Avosuot			1	0,0 - 1,0	1

5.5 Pienvesistöjen luokittelu läpäisemättömän pinnan perusteella

Corine-aineiston maankäyttömuodoille määritettyjen läpäisemättömien pintojen perusteella Vantaan kaupungin pienvaluma-alueille laskettiin läpäisemättömän pinnan osuudet. Valuma-alueiden TIA:n vaihteluväli määritettiin $\pm 0,03$. Taulukkoon 18 on koottu TIA:n numeeriset arvot ja kuvassa 32 on esitetty samaisen taulukon arvot kaaviossa. Kuvaan 32 on lisäksi merkitty läpäisemättömän pinnan mallin rajat: herkkä 0,0 –

0,10, muuntuva 0,11 – 0,25 ja taantuva 0,25 – 0,60 (Schueler 1994). Taulukossa 18 ja kuvassa 32 esitetty Vantaan pienvesien luokittelu on kuvattuna havainnollistavina karttoina kuvissa 33 ja 34. Taulukko 18 ja kuvat 33 ja 34 ovat myös liitteessä 3.

Taulukko 18. Vantaan kaupungin pienvaluma-alueiden läpäisemättömän pinnan osuus (TIA) ja sen vaihteluväli (pienvesistöjen numeroita vastaavat nimet (Taulukko 7, Kuva 14))

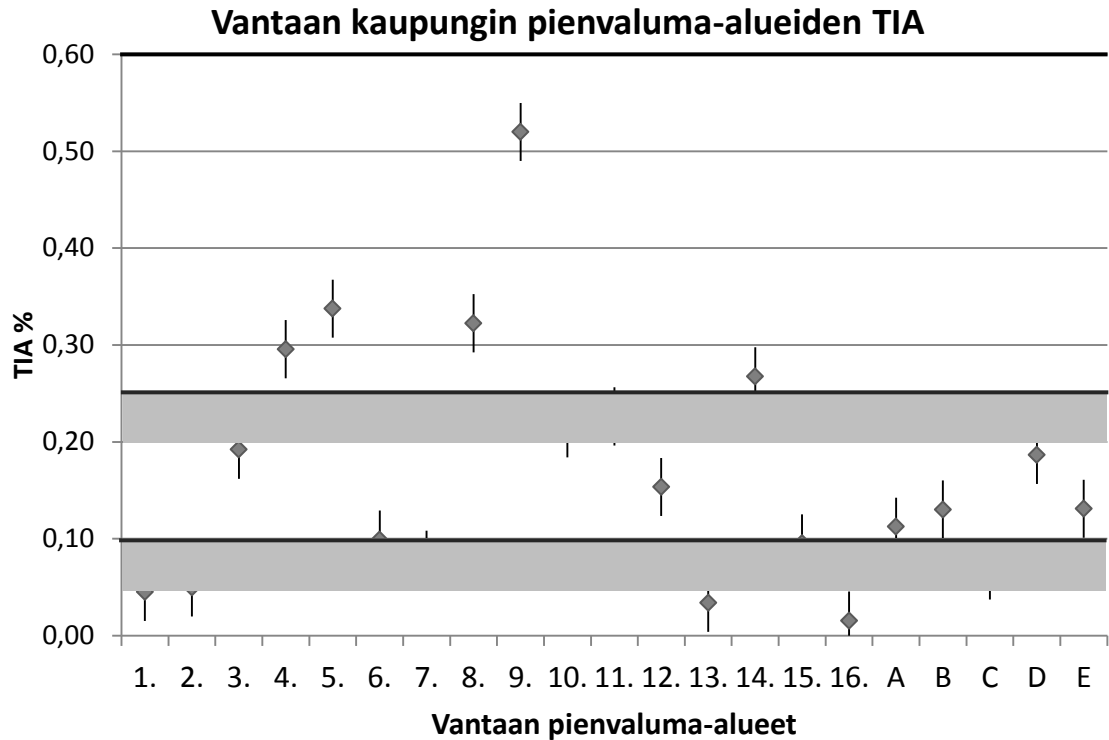
Vantaan pienvesistöt	TIA
1.	0,05 ± 0,03
2.	0,05 ± 0,03
3.	0,19 ± 0,03
4.	0,30 ± 0,03
5.	0,34 ± 0,03
6.	0,10 ± 0,03
7.	0,08 ± 0,03
8.	0,32 ± 0,03
9.	0,52 ± 0,03
10.	0,21 ± 0,03
11.	0,23 ± 0,03
12.	0,15 ± 0,03
13.	0,03 ± 0,03
14.	0,27 ± 0,03
15.	0,10 ± 0,03
16.	0,02 ± 0,03
A	0,11 ± 0,03
B	0,13 ± 0,03
C	0,07 ± 0,03
D	0,19 ± 0,03
E	0,13 ± 0,03

Läpäisemättömän pinnan mallin (Schueler 1994) mukaan yksikään Vantaan pienvesistö ei päätynyt luokkaan 'taajaman kuivatusoja' (taulukko 18, kuva 32). Tarkasteltujen pienvesistöjen suurin läpäisemättömän pinnan osuus on Kirkonkylänojoilla (9) arvolla 0,52 ± 0,03. Kirkonkylänoja kuuluu siis luokkaan taantuva (TIA 0,25 – 0,60). Sadanta- ja valuntamittausten perusteella Kirkonkylänojan TIA:ksi määritettiin 0,55. Kirkonkylänojan kohdalla mallin vaihteluvälin suurin läpäisemättömän pinnan arvo on siis lähinnä mitattua arvoa. Muilla Vantaan kaupungin valuma-alueilla TIA jää alle 0,40. Pienvesistöt numeroilla 4, 5, 8, 9 sekä 14 luokitellaan taantuviksi (TIA 0,25 – 0,60). Tähän luokkaan kuuluu myös Krakanoja (8) läpäisemättömyyden arvolla 0,32 ± 0,03. Mittausten perusteella Krakanojan läpäisemättömyydeksi saatiin 0,30. Mitattu tulos sijoittuu mallin vaihteluvälin pienimmän arvon luokkaa. Muuntuvaan luokkaan (TIA 0,11 – 0,25)

kuuluvat pienvesistöt 3, 10, 11 ja 12. Myös pienvesistöt A, B, D ja E kuuluvat tähän luokkaan, mutta ne ovat mallin sovellusalueen ulkopuolella pinta-alojensa puolesta (Schueler 1994), jolloin luokittelu ei niiden kohdalla välttämättä ole täysin luotettava. Herkkään luokkaan (TIA 0,0 – 0,10) kuuluvat loput pienvesistöt, eli 1, 2, 6, 7, 13, 15, 16 sekä C (Taulukko 18), joka myös on pinta-alansa puolesta mallin sovellusalueen ulkopuolella (Schueler 1994). Herkkään luokkaan kuuluvien vesistöjen tilaa on ICM:n mallin mukaan vaikeinta arvioida, sillä vesistön tila riippuu tässä luokassa rakennetumpia alueita enemmän myös maaperän muista ominaisuuksista ja maankäytöstä (Schueler et al. 2009). Herkkään ja muuntuvaan luokkaan kuuluu molempiin kahdeksan Vantaan pienvesistöistä. Jos kuitenkin kirjaimilla merkityjä vesistöjä ei huomioida mallin sovellusalueen vuoksi, sijoittui herkkään luokkaan seitsemän ja muuntuvaan neljä pienvesistöä. Herkän luokan kaksi pienvesistöä saivat kuitenkin arvon, 0,10, aivan luokkien rajalta. Pienvesistöjen sijainti on esitetty kuvassa 14 (sivu 37).

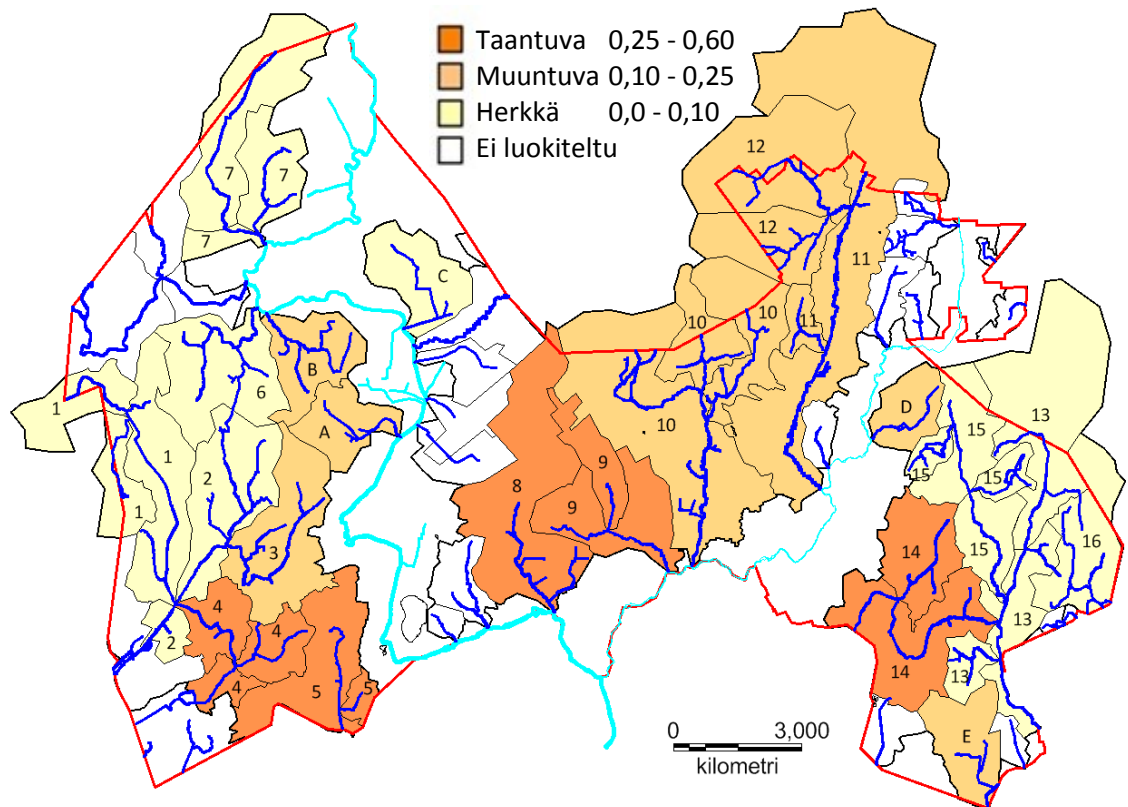
Läpäisemättömän pinnan malliin kuuluu myös luokittelun vaihettumisvyöhykkeet. Herkän luokan vaihettumisvyöhyke on välillä 0,05 – 0,10, muuntuvan 0,20 – 0,25 ja taantuvan 0,60 – 0,70 (Kuva 32) (Schueler et al. 2009). Vaihettumistyöhykkeelle sijoittuvat pienvesistöt ovat luokitukseltaan epävarmempia kuin muut, sillä pienvesistöt voivat vesistön tilan puolesta kuulua kumpaan tahansa luokkaan vyöhykkeen molemmin puolin. Varsinkin näiden pienvesistöjen tilaa olisi syytä tarkastella tarkemmin lisämittausten avulla. Vaihettumisvyöhykkeellä sijaitsevien pienvesistöjen läpäisemättömän pinnan osuuden lisääntyminen voi herkästi siirtää pienvesistön luokitukseltaan seuraavaan luokkaan.

Läpäisemättömän pinnan osuuden perusteella herkän luokan vaihettumisvyöhykkeelle sijoittuu pienvesistöt numeroilla 1, 2, 6, 7, 15 sekä C (Taulukko 18, Kuva 32). Vain kaksi pienvesistöä herkässä luokassa, 13 (Krapuoja) ja 16 (Nybyggetinoja), ovat turvallisesti vaihettumisvyöhykkeen alapuolella. Näissä pienet muutokset TIA:ssa eivät aiheuta luokituksen muutosta. Muuntuvan luokan vaihettumisvyöhykkeelle sijoittuvat pienvesistöt 10 (Kylmäoja) ja 11 (Rekolanoja). Vantaan pienvesistöjen TIA:t jäävät alle taantuvan luokan rajan, jolloin myöskään kyseiselle vaihettumisvyöhykkeelle ei sijoitu yhtään vesistöä.



Kuva 32. Vantaan pienvaluma-alueiden TIA ja vaihteluväli $\pm 0,03$. Tummat viivat kuvaavat läpäisemättömän pinnan mallin rajoja: herkkä 0 – 0,10, muuntuva 0,11 – 0,25 ja taantuva 0,25 – 0,60; harmaat korostetut alueet luokkien vaihtumisvyöhykkeitä: herkkä 0,05 – 0,10 ja muuntuva 0,20 – 0,25 (Schueler 1994, Schueler et al. 2009)

Läpäisemättömän pinnan mallin (Schueler 1994) mukaan luokiteltujen pienvaluma-alueiden sijainti Vantaalla on esitetty kuvassa 33. Keski-Vantaalle ei sijoitu yhtään herkäksi (TIA 0,0 – 0,10) luokiteltua aluetta (vaalean keltainen), eli Keski-Vantaan alue on rakennetumpaa kuin alueet Vantaan kaupungin reunoilla. Herkäksi luokitellut valuma-alueet sijoittuvat Itä- ja Länsi-Vantaalle, varsinkin rakentamattomille alueille Vantaan kaupungin rajojen läheisyyteen. Taantuvan luokan (TIA 0,25 – 0,60, tumma oranssi) valuma-alueet sijoittuvat Vantaan eteläreunaan niin Keski-, Itä- kuin Länsi-Vantaalla. Muuntuvaan luokkaan (TIA 0,10 – 0,25) jaoteltujen alueiden suurin keskittymä on Keski-Vantaalla Kylmäojan (10) ja Rekolanojan (11) sekä sen sivupurojen alueilla.

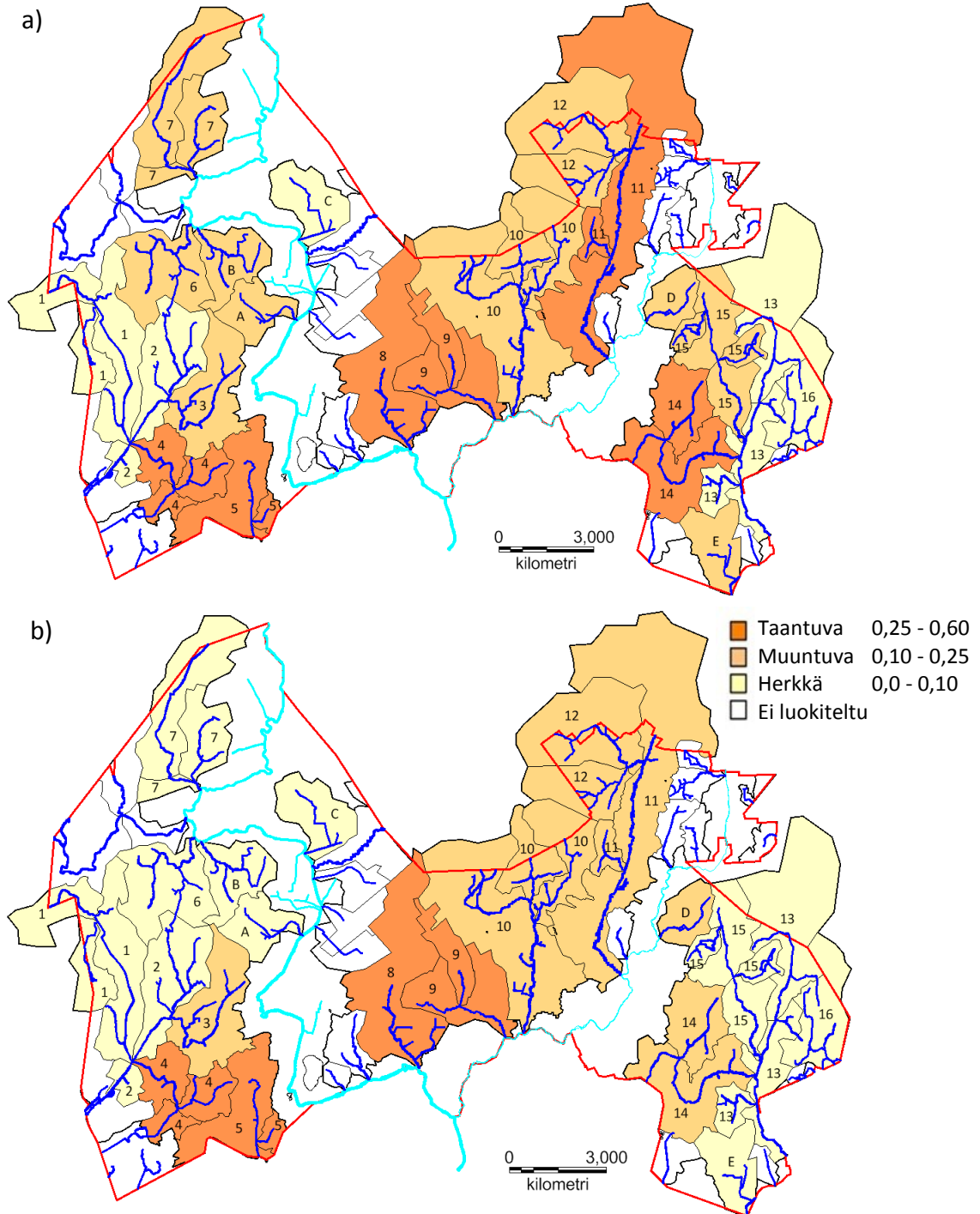


Kuva 33. Vantaan pienväluma-alueiden luokittelu Schuelerin (1994 muodostaman läpäisemättömän pinnan mallin mukaan. Kuvassa pienväluma-alueiden numerot/kirjaimet (muokattu Vantaan kaupunki 2014)

Vaihtumisvyöhykkeen (Kuva 32) lisäksi läpäisemättömän pinnan mallille määritetty vaihteluväli ($\pm 0,03$) voi aiheuttaa pienvälistöjen siirtymisen luokasta toiseen tai luokan vaihtumisvyöhykkeelle. Mallin vaihteluvälin merkitystä arvioitiin tarkastelemalla näitä siirtyviä valuma-alueita. Kuvassa 34 on esitetty vaihteluvälin mukaiset (suurin ja pienin arvo) luokittelun tulokset. Valuma-alueet 6, 7, 11, 14 ja 15, sekä alueet A, B ja E muuttivat luokitustaan, kun läpäisemättömän pinnan osuus alueilla muuttui vaihteluvälin mukaiset 0,06 yksikköä. Kirjaimin merkityt alueet eivät ole pinta-alaltaan mallin sovellusalueella (Schueler et al. 2009), joten niiden luokitusta tulee arvioida kriittisesti. Verrattuna valuma-alueille määritetyn TIA:n keskiarvoon neljä aluetta (6, 7, 11 ja 15) siirtyvät suurempaan luokkaan siirryttäessä vaihteluvälin mukaiseen suurimpaan arvoon. Loput neljä muutoksen kokevaa aluetta (14, A, B ja E) siirtyvät alempaan luokkaan siirryttäessä vaihteluvälin mukaiseen pienimpään arvoon. Ne valuma-alueet, joiden luokitus ei muutu vaikka läpäisemättömän pinnan osuutta muutetaan vaihteluvälin mukaan, ovat luokitukseltaan luotettavimpia. Muutoksen kokevat valuma-alueet sijaitsevat luokituksen rajojen läheisyydessä ja niiden tilaa olisi syytä tarkastella tarkemmin.

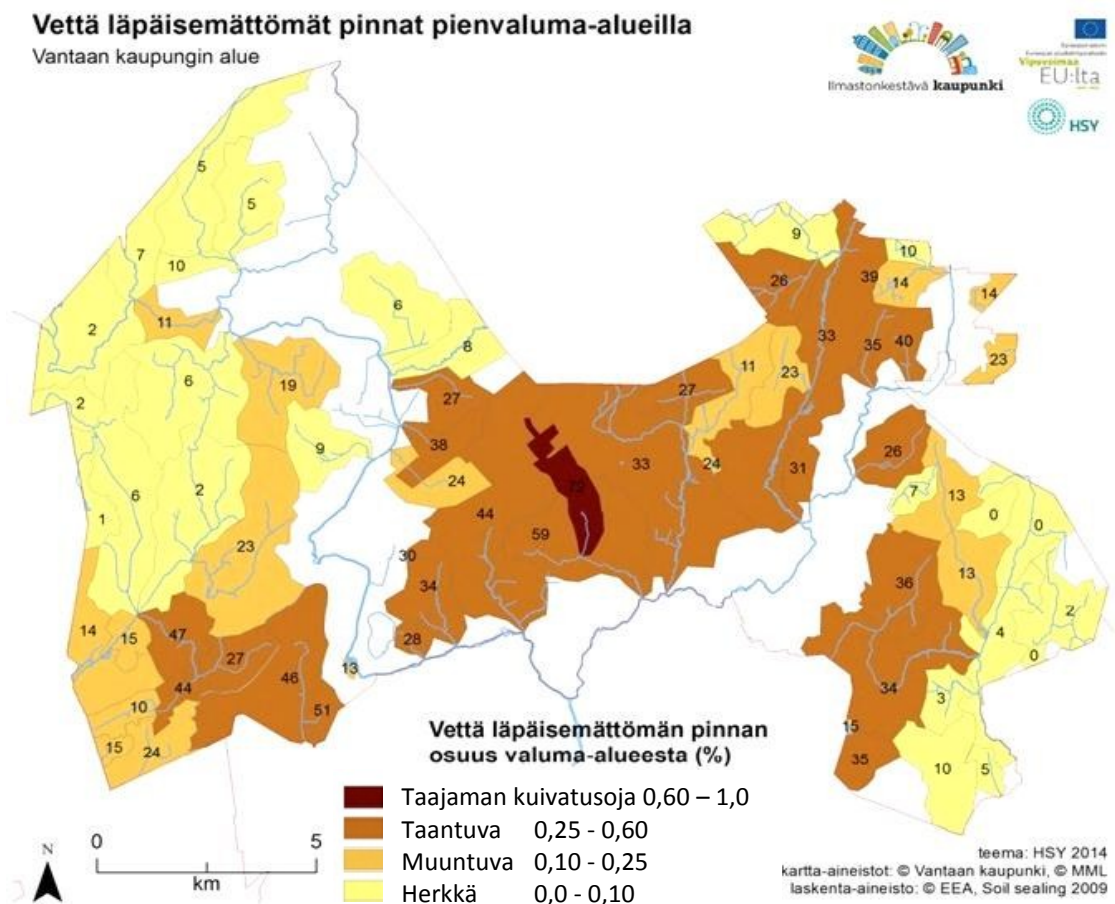
Vaihtumisvyöhykkeille sijoittuvat valuma-alueet vaihteluvälin pienimmän arvon mukaan ovat 6, 7, 11, 14, 15, A, B ja E (Kuva 32). Nämä ovat ne samat alueet, joilla muutosta luokasta toiseen ylipäätään tapahtuu vaihteluvälin muutosten mukaan. Vaihtelu-

välin suurimman arvon mukaan vaihtumisvyöhykkeelle sijoittuvat valuma-alueet 1, 2, 3, 10, 13, 16, C ja D. Nämä alueet eivät muuta luokitustaan, mutta ajautuvat luokittelun vaihtumisvyöhykkeelle ja siten herkkään tilaan läpäisemättömän pinnan muutosten suhteen.



Kuva 34. Vantaan pienvaluma-alueiden luokittelu Schuelerin(1994) muodostaman läpäisemättömän pinnan mallin mukaan a) vaihteluvälin suurimmilla arvoilla ja b) pienimmillä arvoilla (muokattu Vantaan kaupunki 2014)

Tässä työssä Vantaan pienvaluma-alueille suoritettun läpäisemättömän pinnan mallin ja Ilkka-hankkeessa (Ilmastonkestävä kaupunki 2014) tehdyn samanlaisen luokittelun tulokset ovat hyvin samankaltaiset (Kuva 35), vaikka tämän työn tulokset antavatkin hieman pienempiä TIA:n arvoja. Ilkka-hankkeessa (2014) luokittelu tehtiin kaikille Vantaan yksittäisille pienvaluma-alueille, mutta tässä työssä luokittelu tehtiin valuma-alueiden kokonaisuuksille, jotta tarvittava 5 km² pinta-ala saavutettiin (Schueler 1994). Suurin osa tässä työssä herkäksi (TIA 0,0 – 0,10) luokitelluista alueista saavat herkän luokituksen myös Ilkka-hankkeen mukaan. Tämän työn taantuvaan luokkaan (TIA 0,25 – 0,60) kuuluvat alueet ovat pääsääntöisesti myös Ilkka-hankkeessa taantuvia, lukuun ottamatta Kylmäojan (10) ja Rekolanojan (11) alueita. Länsi-Vantaalla myös muuntuvat alueet (TIA 0,10 – 0,25) on luokiteltu samoiksi molemmissa töissä.



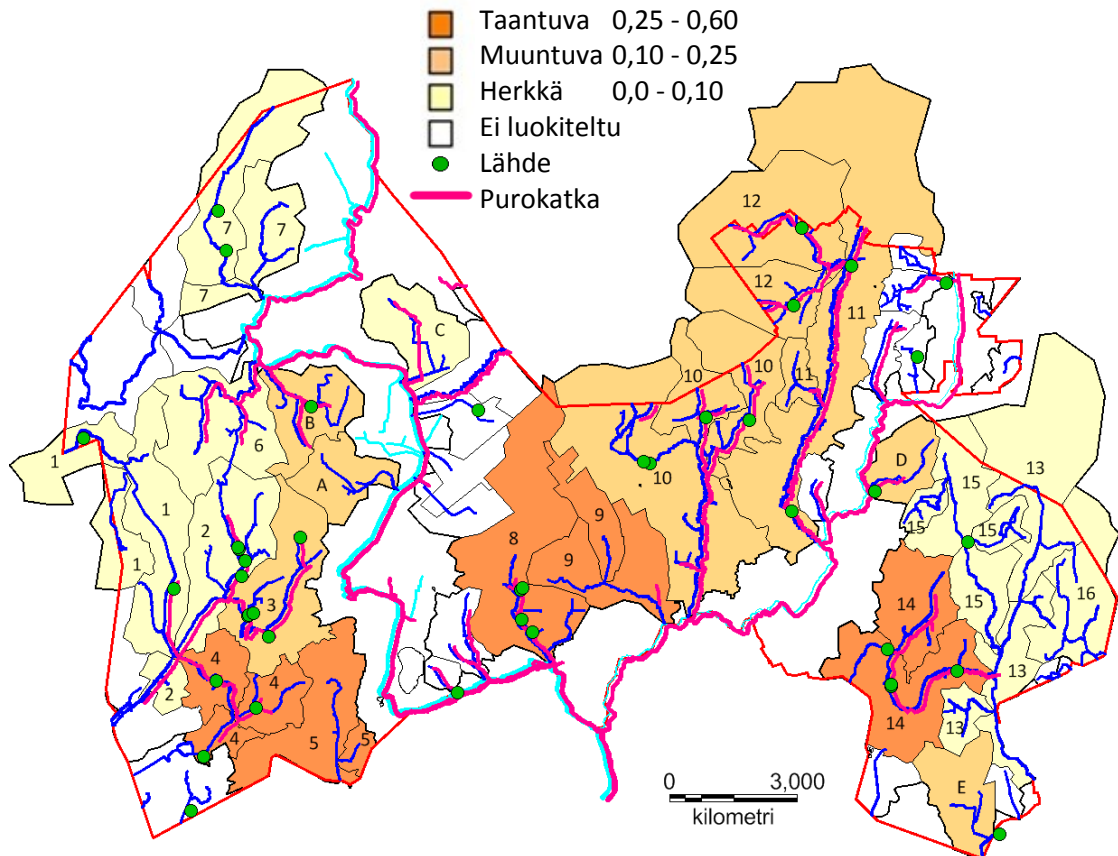
Kuva 35. Ilkka-hankkeen läpäisemättömän pinnan luokittelu (Kesäniemi 2014b)

Ilkka-hankkeen (Kuva 35) (Ilmastonkestävä kaupunki 2014) mukaan Kirkonkylänojalle määritetty läpäisemättömän pinnan osuus on 0,65 ja Krakanojalle puolestaan 0,44. Tässä työssä samoille alueille määritetyt osuudet olivat $0,52 \pm 0,03$ ja $0,32 \pm 0,03$. Myös tässä työssä mitatut TIA:n osuudet, 0,55 Kirkonkylänojalle ja 0,30 Krakanojalle, ovat pienempiä kuin Ilkka-hankkeessa määritetyt.

5.6 Pienvesistöjen luokittelun sopivuus

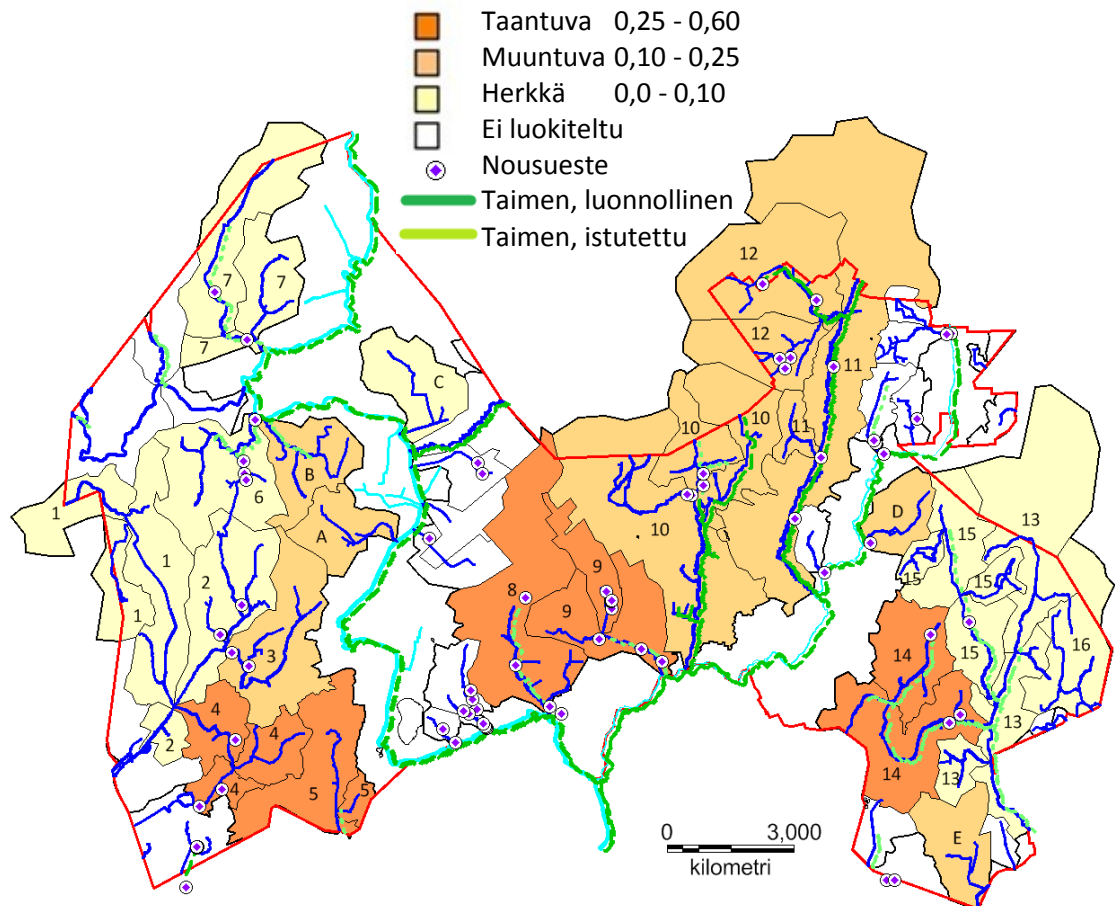
Läpäisemättömän pinnan malli (Schueler 1994) antaa vihjeitä siitä minkälainen vesistön tila on valuma-alueen läpäisemättömän pinnan mukaan pääteltynä. Läpäisemätön pinta ei yksinään kuitenkaan kerro luotettavasti puron tilasta, vaan lisäksi tarvitaan vesistömittauksia (Shuster et al. 2005, Schueler et al. 2009). Tässä työssä vesistömittauksia ei tehty. Kuitenkin luokittelun toimivuuden kannalta on tärkeää arvioida vesistön tilaa myös joidenkin muiden indikaattoreiden kuin vain läpäisemättömän pinnan mukaan. Vantaan virtavesiselvityksessä (Janatuinen 2011) tutkittiin pienvesistöjen arvokkaita kohteita, mutta selvitettiin myös Vantaan purojen tilaa purokatkan sekä taimeen osalta. Näiden lajien levinneisyyden perusteella läpäisemättömän pinnan mallin tuloksia voitiin tarkastella biologisen indikaattorin mukaan.

Kuvassa 36 on esitettyinä purokatkan levinneisyys Vantaan pienvesistöissä sekä vesistöissä esiintyvät luonnonvesilähteet (Janatuinen 2011) yhdessä tässä työssä muodostetun ICM lukituksen kanssa. Janatuisen (2011) mukaan purokatkaa esiintyy lähes koko Vantaalla, purokatkaa voi kuitenkin esiintyä myös muilla alueilla, kuin mitä kyseisessä tutkimuksessa on todettu. Taantuviksi (TIA 0,25 – 0,60) luokitelluilla valuma-alueilla purokatkaa näyttää esiintyvän vain, jos alueella on myös lähteitä, joita purokatka suosii (Maltby 1994, Tolonen 2014). Lähteet voivat parantaa veden laatua merkittävästi. Taantuvaksi luokiteltuun Kormuniitynojaan (14) suotautuu merkittävästi myös pohjavettä, joka parantaa veden laatua merkittävästi. Tämä todennäköisesti vaikuttaa purokatkan esiintymiseen kyseisessä purossa. Muuntuviksi (TIA 0,10 – 0,25) luokitelluilla alueilla tilanne on samankaltainen kuin taantuvassa luokittelussa, purokatkaa näyttää esiintyvän vain jos vesistössä on lähteitä. Tästä poikkeuksena on Kylmäojan (10) päähaara. Kyseisessä haarassa Helsinki-Vantaan lentokentältä tulevilla hulevesillä on uoman veden laatuun huomattava vaikutus (Haikala et al. 2009). Kylmäoja (10) ja Rekolanoja (11 ja 12) ovat erittäin lähdepitoisia, millä on todennäköisesti merkitystä myös purokatkan esiintymisessä. Herkiksi (TIA 0,0 – 0,10) luokiteltujen valuma-alueiden kohdalla tilanne ei ole yksinkertainen; joillakin alueilla purokatkaa esiintyy, mutta toisilla ei huolimatta lähteiden vaikutuksesta. Näiden alueiden tilannetta tulisi tutkia tarkemmin. Itä-Vantaalla valuma-alueilla 13, 15 ja 16 veden virtaus on kuitenkin melko pientä ja tasaista eikä selviä virtauspaikkoja juuri esiinny. Tämä voi vaikuttaa purokatkan esiintymiseen merkittävästi, sillä veden virtaus on oleellinen kyseisen lajin selviytymiselle (Maltby 1994, Tolonen 2014). Janatuisen (2011) selvityksen perusteella lähteiden vaikutuksella näyttää olevan suuri merkitys purokatkan esiintymiseen. Purokatkaa ei näytä esiintyvän vesistössä ilman lähteiden vaikutusta, paitsi Jelmusanojalla (6) ja Katinmäenojalla (C), joka on molemmat luokiteltu herkiksi.



Kuva 36. Purokatkan esiintyminen sekä lähteet Vantaan pienvesistöissä (Janatuinen 2011, muokattu Vantaan kaupunki 2014) taustana ICM:n mukainen luokitus

Kuvassa 37 on esitetty taimenen luonnolliset lisääntymisalueet Vantaalla sekä alueet, joihin taimenta on istutettu (Janatuinen 2011) yhdessä tässä työssä muodostetun ICM-luokituksen kanssa. Lisäksi kuvassa on esitetty purojen noususteet pisteillä. Janatuinen (2011) selvityksen perusteella taimen nousi Vantaan- ja Keravanjoesta vain Kylmäojalle (10) ja Rekolanojalle (11, 12). Havaintoja taimenen noususta on kuitenkin myös muista vesistöistä, muun muassa Krakanojasta (8) ja Tervaojasta. Muutamiin puroihin taimenta on istutettu (Janatuinen 2011), eli ne soveltuisivat olosuhteiltaan taimenelle. Ne purot, joihin taimen Janatuinen (2011) selvityksen mukaan nousee luonnollisesti, on molemmat luokiteltu muuntuviksi (TIA 0,10 – 0,25). Istutukseen sopivia alueita esiintyy kaikkien ICM:n luokkien alueilla. Taimenen nousu Kylmäojaan (10) ja Rekolanojaan (11 ja 12) voi tarkoittaa, että veden laatu on paremmassa kunnossa kuin mitä läpäisemättömän pinnan malli pelkän TIA:n perusteella kuvaa. Kyseiset purovesistöt ovatkin erittäin lähdepitoisia, millä on veden laatuun suuri merkitys. Taimenen nousua voitaisiin helpottaa poistamalla vesistöissä olevia noususteitä. Kylmäoijan (10) ja Rekolanojan (11 ja 12) läpäisemättömän pinnan määrää olisi syytä seurata ja rajoittaa taimenen elinolosuhteiden turvaamiseksi.



Kuva 37. Taimenen luonnolliset lisääntymisalueet, alueet joihin on istutettu taimenia ja vesien nousuesteet (Janatuinen 2011, muokattu Vantaan kaupunki 2014) taustana ICM:n mukainen luokitus

Purokatkan esiintyminen (Janatuinen 2011) pienvesistöissä 2, 6 ja C vastaa hyvin tässä työssä tehtyä läpäisemättömän pinnan mallin (ICM) mukaista luokitusta (Kuvat 36 ja 37). Näissä vesistöissä esiintyy purokatkaa ja valuma-alueen luokitus on herkkä (TIA 0,0 – 0,10), jolloin vedenlaatu on luokituksen mukaan hyvä (Schueler et al. 2009, Salminen et al. 2010). Myös pienvesistö 1 on samalla kannalla, sillä osalla uomasta esiintyy purokatkaa (Janatuinen 2011). Herkiksi luokitellut pienvesistöt 6, 7, 13 ja 15 vahvistavat luokitusta taas taimenten istutusalueina (Janatuinen 2011), vedenlaadun tulee olla hyvää, jotta taimenen istutus on järkevää. Janatuinen (2011) mukaan alueilla 2, 6 ja 15 esiintyy lisäksi vesisammalta ja/tai runsaasti muita pohjaeläimiä sekä vesistöt ovat ainakin osittain suojavyöhykkeiden ympäröiminä. Nämä suojavyöhykkeet toimivat myös ekologisina kulkuväylinä. Kaikki tämä vahvistaa läpäisemättömän pinnan mallin onnistumista.

Alueilla 4, 8, 9 ja 14 esiintyy purokatkaa ja/tai ne ovat taimenten istutusalueita (Kuvat 36 ja 37) (Janatuinen 2011), kyseiset alueet on tässä työssä luokiteltu taantuviksi. Läpäisemättömän pinnan mallin mukaan taantuneeksi (TIA 0,25 – 0,60) luokitellun alueen vedenlaatu on kohtalainen tai huono ja biologinen monimuotoisuus vähäinen (Schueler et al. 2009, Salminen et al. 2010). Kyseiset alueet eivät siis suoraan vahvista

tehtyä ICM:n luokitusta. Kirkonkylänojan (9) luokitusta kuitenkin vahvistaa suojavaikokkeiden puuttuminen lähes kokonaan sekä vesisammalen puuttuminen (Janatuinen 2011), sen sijaan purossa kasvaa jätevesisientä (Valkama ym. 2013), mikä kuvaa vesistön heikkoa tilaa. Kormuniitynojan (14) vesisammalta sen sijaan esiintyy ja puro on kaupunkipuroksi hyvin monimuotoinen (Janatuinen 2011). Selittävänä tekijänä voi olla pohjavesien runsas suotautuminen puroon, mikä parantaa veden tilaa ja mahdollistaa herkempien lajien esiintymisen. Kyseinen puro luokitellaankin muuntuvaksi vaihteluvälin pienimmän arvon mukaan, biologisten indikaattorien mukaan vaikuttaa, että muuntuva luokka kuvaisi paremmin kyseisen vesistön tilaa. Muut taantuviksi luokitellut alueet eivät vahvasta luokittelua, paitsi alue 5, sillä kyseisellä alueella ei esiinny purokatkaa eikä taimenta (Kuvat 36 ja 37) (Janatuinen 2011).

Alueet 3, 10, 11, 12, B ja D vahvistavat ICM:n mukaisista luokittelua heikosti (Kuvat 36 ja 37). Kyseiset alueet on luokiteltu muuntuviksi (TIA 0,10 – 0,25). Näillä alueilla esiintyy purokatkaa tai taimenta tai alueet soveltuvat taimenen istutukseen (Janatuinen 2011). Muuntuvan alueen veden laatu voi olla niin hyvä, että purokatkan ja taimenen eläminen alueella onnistuu (Schueler et al. 2009, Salminen et al. 2010). Alueilla 3, 10, 11 ja B esiintyy lisäksi vesisammalta ja purolla on suojavaikokkeita (Janatuinen 2011). Kylmäoja (10) ja Rekolanoja (11) ovat kuitenkin hyvin lähdevaikutteisia, mikä parantaa vesistön tilaa ja herkkien eliöiden esiintymistä purossa. ICM:n luokittelun vaihteluvälien mukaan Rekolanoja (11) voi olla luokitukseltaan myös taantuva. Tämä luokka puolestaan ei enää tukisi ICM:n luokittelun onnistuneisuutta. Pekinoja (B) puolestaan voisi olla luokitukseltaan myös herkkä, mikä vahvistaisi ICM:n onnistuneisuutta vahvasti.

Alueilla 16, A ja E ei esiinny purokatkaa eikä taimenia, alueilla ei myöskään ole istutettu taimenta (Kuvat 36 ja 37) (Janatuinen 2011). Nämä alueet on luokiteltu muuntuviksi (TIA 0,10 – 0,25). Vedenlaatu vesistöissä voi olla sen verran huonoa, että kyseisten eliöiden eläminen ei alueilla onnistu. Nämä alueet eivät heikennä, mutta eivät myöskään vahvista ICM:n luokittelun onnistuneisuutta. Nybyggetinoja (16) kuitenkin on veden virtaukselta melko heikkoa, mikä osaltaan selittää purokatkan puuttumisen.

Läpäisemättömän pinnan mallia vahvistavia pienvesistöjä on Janatuisen (2011) tutkimuksen mukaan tarkasteltuna kahdeksan kappaletta ja mallia heikosti vahvistavia lisäksi kuusi (Kuvat 36 ja 37). Mallia vastaan olevia pienvesistöjä on neljä. Kolme pienvesistöä ei vahvista eikä heikennä mallin mukaista luokittelua. ICM:n luokittelua vahvistavista pienvesistöistä seitsemän on luokiteltu herkiksi ja yksi taantuvaksi. Luokittelua heikosti vahvistavat pienvesistöt on kaikki luokiteltu muuntuviksi. Luokittelua vastaan olevat pienvesistöt on kaikki luokiteltu taantuviksi. Yksi herkäksi luokiteltu pienvesistö ja kaksi muuntuvaksi luokiteltua vesistöä eivät vahvista eivätkä heikennä mallia. Kormuniitynojan (14) osalta selittävä tekijä kuitenkin löytyy, ja puron voisi luokitella myös muuntuvaksi, jolloin se ei varsinaisesti heikennä ICM:n luokittelua. Myös Kylmäojan (10) ja Rekolanojan (11) osalta selittäviä tekijöitä vesistön parempaan tilaan löytyy. Tästä syystä nämä eivät varsinaisesti heikennä luokitusta. Tällöin mallia vahvistavia

pienvesistöjä olisi kuusi ja heikentäviä puolestaan vain kolme. Näiden tietojen perusteella voidaan arvioida läpäisemättömän pinnan mallin luokituksen onnistuneen hyvin. Herkäksi luokitellut vesistöt vastaavat luotettavimmin purokatkan ja taimenen esiintymiseen, mutta mitä enemmän läpäisemättömpää pintaa pienvesistön valuma-alueella on, sitä heikommin vesistön tila vastaa mallia. Lisätietoa ja mittauksia tulisi suorittaa yksittäisistä pienvesistöistä.

5.7 Valuntakertoimet

Vantaan pienvaluma-alueille laskettiin välittömän valunnan kerroin Sillanpään ja Koivusalon (2014) esittämän regressioyhtälön mukaan (Kuva 6). Lasketut valuntakertoimet kuvaavat kesäaikaisen pienen tai keskisuuren sateen tilannetta. Talvella tilanne on hyvin erilainen, sillä maaperä on jäässä ja haihdunta minimissään. Tällöin lähes kaikki muodostuva valunta on pintavaluntaa (Sillanpää 2013). Läpäisemättömän pinnan osuudet ja niiden perusteella lasketut välittömän valunnan kertoimet on esitettyinä taulukossa 19. Taulukossa 20 on esitettyinä Corine-aineiston maankäyttömuodoille määritetyt valuntakertoimet saman regressioyhtälön perusteella laskettuna sekä maankäytön läpäisemättömän pinnan osuudet. Välittömän valunnan kerroin kasvaa, kun läpäisemättömän pinnan osuus kasvaa. Kasvu tapahtuu eksponentiaalisesti, niin kuin regressioyhtälö esittää. Vantaan pienvaluma-alueiden valuntakerroin vaihtelee välillä 0,06 – 0,28 (Taulukko 19). Regressioyhtälön perusteella laskettava valuntakerroin voi pienimmillään olla 0,06, yhtälön vakiotermin mukaan. Pienillä läpäisemättömän pinnan osuuksilla valuntakerroin pysyy arvossa 0,06 tai hyvin lähellä sitä. Pienvaluma-alueille määritetty suurin valuntakerroin, 0,28, kuten suurin läpäisemättömän pinnan osuuskin, 0,52, on Kirkonkylänojoilla (9).

*Taulukko 19. Vantaan pienvaluma-alueiden välittömän valunnan kertoimet (C_{VOL}) (Sil-
lanpää & Koivusalo 2014) läpäisemättömän pinnan (TIA) mukaan määritettynä*

Vantaan pienvesistöt	TIA	C_{VOL}
1.	0,05	0,06
2.	0,05	0,06
3.	0,19	0,09
4.	0,30	0,13
5.	0,34	0,15
6.	0,10	0,07
7.	0,08	0,06
8.	0,32	0,14
9.	0,52	0,28
10.	0,21	0,10
11.	0,23	0,10
12.	0,15	0,08
13.	0,03	0,06
14.	0,27	0,12
15.	0,10	0,07
16.	0,02	0,06
A	0,11	0,07
B	0,13	0,07
C	0,07	0,06
D	0,19	0,09
E	0,13	0,07

Corine-aineiston maankäyttömuodoille määritetyistä välittömän valunnan kertoimista suurimman arvon, 0,72, sai liikennealueet, jolla on myös suurin läpäisemättömän pinnan osuus (Taulukko 20). Lentokenttäalueen valuntakerroin ja TIA ilmoitettiin kahdella eri arvolla; suurempi kuvaa Kirkonkylänojan tilannetta ja pienempi muiden alueiden tilannetta. Suurilla läpäisemättömän pinnan osuuksilla, yli 0,40, ei maaperän muilla ominaisuuksilla ole enää juurikaan merkitystä valuntakertoimen suuruuteen (Schueler 1994). Suuren TIA:n omaavien maankäyttöluokkien valuntakertoimien voidaan olettaa kuvaavan tilannetta tarkemmin kuin pienemmällä läpäisemättömällä pinnalla olevat luokat. Pelto ja metsäalueilla valuntakertoimeksi laskettiin 0,06, sillä niissä läpäisemättömän pinnan osuus on hyvin pieni. Tällöin maaperän ominaisuudet tulisi ottaa tarkemmin huomioon.

Taulukko 20. Corine-aineiston maankäyttömuotojen välittömän valunnan kertoimet (Sillanpää & Koivusalo 2014) läpäisemättömän pinnan mukaan määritettynä. Lentokenttäalueen ensimmäiset arvot kuvaavat muita valuma-alueita ja jälkimmäiset Kirkkonkylänojaa

Corine-aineiston maankäyttö	TIA	C _{vol}
Tiiviisti rakennetut asuinalueet	0,51	0,27
Väljästi rakennetut asuinalueet	0,22	0,10
Teollisuuden ja palveluiden alueet	0,71	0,47
Palveluiden alueet	0,71	0,47
Teollisuuden alueet	0,71	0,47
Liikennealueet	0,90	0,72
Lentokenttäalueet	0,32/0,85	0,14/0,65
Maa-aineisten ottoalueet	0,13	0,07
Rakennustyöalueet	0,14	0,08
Urheilu- ja vapaa-ajan toiminta	0,17	0,08
Pellot	0,02	0,06
Pienipiirteinen maatalousmosaiikki	0,02	0,06
Laidunmaat	0,02	0,06
Lehtimetsät	0,00	0,06
Havumetsät	0,00	0,06
Sekametsät	0,00	0,06
Harvapuustoiset alueet	0,04	0,06
Kalliomaat	0,22	0,10
Avosuot	0,00	0,06

Verrattaessa työssä laskettuja välittömän valunnan kertoimia (Taulukko 20) Kuusiston (2002) määrittämiin kertoimiin (Taulukko 5) havaitaan, että asuinalueiden valuntaker-
toimet sijoittuvat samaan suuruusluokkaan, mutta tarkempaa vertailua on hankala tehdä Kuusiston määrittämien tarkempien luokkien, mutta myös suuremman vaihtelun vuoksi. Tässä työssä lasketut Corine-aineiston teollisuuden ja palveluiden alueiden ker-
toimet sijoittuvat Kuusiston (2002) tulosten keskivaiheille, ja ovat siten luotettavampia, tosin tässäkin on havaittavissa suurta vaihtelua. Tämän työn metsäalueiden kertoimet sijoittuvat Kuusiston (2002) vaihteluvälin alavaiheille, mutta eivät aiemmin esitetyistä syistä välttämättä ole täysin luotettavia.

5.8 Epävarmuustekijät

Ympäristön mallintaminen on aina yksinkertaistus luonnosta ja sisältää epävarmuutta. Tässä työssä epävarmuustekijöitä läpäisemättömän pinnan malliin (ICM) tuo työssä suoritettujen sadanta- ja valuntamittausten virheet. Mittausajankohta oli lyhyt, vain yhden kuukauden ajanjakso, johon ei sisältynyt montaa sadetapahtumaa. Sadetapahtumien vähyyks luo epätarkkuutta mittauksien perusteella määritettyihin läpäisemät-

tömän pinnan osuuksiin Kirkonkylän- ja Krakanojalla. Yksittäinen sadannan mittauspiste lisää oman osansa epävarmuutta, hulevesimittauksessa sadantamittareita tulisi olla yksi 1 km² kohden (Shuster et al. 2008). Lisäksi mittauspisteen sijainti Kirkonkylänojan suhteen on parempi kuin Krakanojaan nähden. Yksittäisen mittauspisteen luomaa epävarmuutta pyrittiin minimoimaan Ilmatieteen laitoksen avoimen aineiston avulla, mutta tämän sadeaineiston lineaarinen interpolointi aiheuttaa omalta osaltaan kuitenkin epävarmuutta, sillä saderintama ei etene täysin lineaarisesti luonnossa. Yleisesti voidaan olettaa, että mitattu sademäärä on lähempänä todellista Kirkonkylänojalla kuin Krakanojalla. Molemmille valuma-alueille on lisäksi osunut sateita, joita ei sadantamittauspisteellä ole havaittu, mutta joissa valuntaa on kuitenkin hieman muodostunut.

Kesäaikainen sadetapahtuma vaikuttaa valuntaan eri tavoin kuin syksyinen tai talvinen sadetapahtuma. Kesällä on kasvukausi, jolloin kasvit myös käyttävät suuren osan satavasta vedestä. Syksyllä ja talvella kasvit eivät tarvitse vettä niin paljon, jolloin valunta on suurempaa. Talvella veden sataminen lumena siirtää vielä valuntapiikkiä voimakkaasti. Talvella maaperän jäätyminen myös vaikuttaa veden pintavaluntaan. Suurempi osa satavasta vedestä muuttuu pintavalunnaksi, kun läpäisevä maaperä käyttäytyy läpäisemättömän pinnan tavoin (Sillanpää 2013). Mittausten ajoittuminen kesäaikaan kuvaa kuitenkin hyvin välittömän valunnan tilannetta, sillä sadetapahtumien muodostama valunta kuvaa lähes täysin välittömän valunnan osuutta.

Läpäisemättömän pinnan mallia (ICM) on kehitetty pääsääntöisesti Yhdysvalloissa (Schueler 1994). Tästä syystä mallin toimivuuden suhteen Suomen oloissa tulee olla kriittinen. Lisätutkimuksia tämän suhteen tarvitaan. Toisaalta ICM:n kehittämisessä käytetyt tutkimukset sijoittuvat hyvinkin erilaisille valuma-alueille (Schueler et al. 2009), jolloin sen soveltaminen myös muihin maihin onnistuisi. ICM:n mukainen valuma-alueiden vesistön tilan luokittelun varmistaminen tarvitsee joka tapauksessa vesistömittauksia (Shuster et al. 2005, Schueler et al. 2009). ICM:n herkiksi luokitellut valuma-alueet (TIA < 10 %) ovat mallin mukaan vesistön tilaltaan vaikeimmin pääteltävissä, sillä pienellä läpäisemättömän pinnan osuudella maaperän muilla ominaisuuksilla ja maankäyttömuodolla on enenevässä määrin merkitystä vesistön tilaan (Schueler et al. 2009).

Corine-aineiston tarkkuus vuoden 2012 versiossa on 20 x 20 m² ja vuoden 2006 versiossa 25 x 25 m² (Syke 2015). Näitä molempia versioita hyödynnettiin tässä työssä läpäisemättömän pinnan osuuden määrittämisessä. Aineiston tarkkuus vaikuttaa myös mallin tarkkuuteen. Lisäksi aineistojen eri versioiden vertaaminen, varsinkin, kun tarkkuudet ovat erilaiset, voi aiheuttaa epätarkkuutta määritettyihin läpäisemättömän pinnan osuuksiin.

Läpäisemättömän pinnan osuudet ovat vain arvioita todellisuudesta. Työssä arvioidut Corine-aineiston maankäyttömuotojen osuudet vastasivat kuitenkin aiempia tutkimuksia (Zaman & Ball 1994, Kuusisto 2002, Vakkilainen et al. 2005, Järveläinen 2014) mel-

ko tarkasti. Toisaalta epävarmuutta aiheuttaa se että yksittäisille maankäyttömuodoille ei välttämättä ole määritettävissä yleispäteviä läpäisemättömän pinnan osuuksia (Bräbec et al. 2002, Shuster et al. 2005), sillä maankäyttö voi vaihdella voimakkaasti samankin maankäyttöluokan sisällä.

Läpäisemättömän pinnan (TIA) osuuden määrittämisessä tehoisan läpäisemättömän pinnan (EIA) osuuden mukaan käytettiin Sillanpään (2013) koostamaa yhtälöä. Tämä yhtälö on kuitenkin kehitetty pienillä valuma-alueilla (joitakin hehtaareita) ja sen soveltaminen Kirkonkylän- ja Krakanojan kokoisille alueille voi aiheuttaa epätarkkuutta määrittelyyn. Corine-aineiston pohjalta muodostettu pienvaluma-alueiden TIA osuus vastasi kuitenkin hyvin kenttämittausten ja Ilmatieteen laitoksen (2014a ja 2014b) aineistojen mukaan määritettyjä TIA:n osuuksia. Lisäksi myös Ilkka-hankkeessa (Ilmastonkestävä kaupunki 2014) suoritettujen läpäisemättömän pinnan luokituksen mukaan Kirkonkylän- ja Krakanojan TIA:n olivat samaa luokkaa. Tämä kertoo Sillanpään (2013) kaavan toimivuudesta myös suuremmilla valuma-alueilla.

Vantaan kaupungissa on runsasta rakennustoimintaa. Rakentamisen aikaiset vaikutukset vesistöissä voivat näkyä viiveellä vesistön tilassa. Rakennustyöalueet myös vaikuttavat vesistöihin enemmän kuin valmiiksi rakennettu kaupunkialue (Sillanpää 2013), joka sisältää paljon läpäisemättömää pintaa. Rakennustoiminnan vaikutukset voivat muodostaa epävarmuutta mallin luokitteluun, vaikutukset tulisi ottaa huomioon pienvesistöjen luokittelussa. Rakennustoiminnan seurauksena voidaan heikentää vesistöjen tilaa pitkiksi ajoiksi (Shaver et al. 2007).

Välittömän valunnan kertoimen laskemisessa hyödynnettiin Sillanpään ja Koivusalon (2014) määrittämää regressioyhtälöä. Regressioyhtälö perustuu suomalaisiin mittauksiin, mutta mittaukset on suoritettu pienillä valuma-alueilla. Sovellettaessa menetelmää suurille valuma-alueille voi seurata epätarkkuutta. Valuntakertoimen laskemisessa ei myöskään otettu huomioon maaperän laatua tai kaltevuutta.

Corine-aineiston maankäyttömuotojen läpäisemättömän pinnan osuuden määrittämisen yhteydessä suoritettu herkkyystarkastelu varmentaa läpäisemättömän pinnan mallin toimivuutta. Herkkyystarkastelun avulla selvisi, että jotkin maankäyttömuodot ovat herkempiä muutoksille TIA:n suhteen kuin toiset. Herkät maankäyttömuodot aiheuttavat epävarmuutta mallin toimimiselle, mutta toisaalta antavat pienen vaihteluvälin kyseisen maankäytön TIA:lle. Ne maankäyttömuodot, jotka eivät ole herkkiä muutoksille, lisäävät mallin varmuutta, mutta toisaalta aiheuttavat epätarkkuutta yksittäisen läpäisemättömän pinnan osuuden määrittämisessä, sillä vaihteluväli voi olla hyvin suuri. Tällä menetelmällä määritetyt läpäisemättömän pinnan osuudet kuvaavat kyseisten alueiden (Kirkonkylän-, Krakanojan- ja Kylmäojan) tilannetta ja sovellettaessa ICM:a toisille alueille, voi mallin tarkkuus heikentyä.

Muutammat pienvesistöt sijaitsevat Vantaan lisäksi myös ympäröivissä kunnissa. Näitä alueita otettiin työssä huomioon valuma-alueiden kartan mukaisesti. Kuitenkaan kaikkia valuma-alueita ei voitu tarkastella koko valuma-alueensa laajuudelta. Ne alueet, jotka jäivät tarkastelun ulkopuolelle, voivat vaikuttaa kyseisten alueiden luokitteluun.

6 Johtopäätökset

Tämän työn tavoitteena oli luokitella Vantaan kaupungin purot läpäisemättömän pinnan mallin (ICM) mukaan. Tätä varten pienvesistöille määritettiin läpäisemättömän pinnan osuudet käyttäen Corine-aineiston maankäyttömuotoja. Läpäisemättömän pinnan osuuksien määrittämisessä hyödynnettiin lisäksi Kirkonylänojan ja Krakanojan valuma-alueilla suoritettuja sadanta- ja valuntamittauksia. Luokittelun lisäksi Vantaan pienvaluma-alueille laskettiin myös välittömän valunnan kertoimet.

Läpäisemättömän pinnan vaikutuksien yhteys pienvesistöjen tilaan on hyvin tunnettu (Booth & Jackson 1997, Cheng & Wang 2002, Cappiella & Brown 2001, Kuusisto 2002, Shuster et al. 2005, King et al. 2011) ja läpäisemättömän pinnan malli (Schueler 1994) kuvaa tätä yhteyttä hyvin. Tämän työn pohjalta voidaan todeta, että läpäisemättömän pinnan malli soveltuu käytettäväksi Suomen oloissa. Tarkempia tutkimuksia on kuitenkin syytä tehdä ja selvittää suomalaisia kaupunkipuroja kuvaavia biologisia indikaattorilajeja mallin luotettavuuden parantamiseksi. Vantaan kaupungin osalta läpäisemättömän pinnan malli kuvaa koko kaupungin kattavaa tilannetta hyvin ja selkeästi. Mallia voidaan Vantaan osalta helposti ajanmukaistaa uusien Corine-aineiston päivitysten myötä ja soveltaa myös muille alueille samaisen aineiston ansioista.

Vantaan valuma-alueille saatu $\pm 0,03$ vaihteluväli läpäisemättömän pinnan osuudessa on tarkka. Suurin osa valuma-alueista pysyy ICM:n mukaisessa luokituksessaan, vaikka vaihteluvälin mukaiset muutokset läpäisemättömälle pinnalle tehtäisiinkin (Kuvat 32, 33 ja 34). Näiden alueiden luokituksen voidaan olettaa olevan luotettava. Muutamien valuma-alueiden, 6, 7, 11, 14 ja 15 sekä A, B ja E, luokitukset muuttuvat vaihteluväliä muutettaessa. Varsinkin näillä alueilla lisätutkimuksia olisi syytä tehdä puron oikean tilan varmistamiseksi.

Tarkastelussa olleista Vantaan pienvaluma-alueista 8 luokiteltiin herkäksi, 8 muuntuvaksi ja 5 taantuvaksi läpäisemättömän pinnan mallin mukaisesti (Kuva 33). Yksikään valuma-alue ei sijoittunut luokkaan 'taajaman kuivatusoja'. Vantaan pienvaluma-alueista Kirkonkylänojan läpäisemättömän pintaa on eniten, mittausten mukaan osuus on 0,55 ja luokittelun mukaan puolestaan $0,52 \pm 0,03$. Keski-Vantaa on kokonaisuudessaan melko rakennettua aluetta. Herkäksi luokitellut alueet sijoittuvat Vantaan itä- ja länsireunoille kuntarajojen läheisyyteen.

Vantaan pienvaluma-alueiden läpäisemättömän pinnan mallin luokitus vastaa hyvin Vantaalle aiemmin Ilmastonkestävä kaupunki (2014) -hankkeessa tehtyä samanlaista luokitusta (Kuva 35). Lisäksi työn luokituksen onnistuneisuutta tarkasteltiin purokatkan ja taimenen elinalueiden suhteen (Kuva 36, Kuva 37) (Janatuinen 2011). Nämä indikaattorilajit vahvistivat luokitusta melko hyvin. Luokituksen tarkentamiseksi lisätutkimuksia kuitenkin vaaditaan.

Läpäisemättömän pinnan mallia voidaan jatkossa hyödyntää maankäytön suunnittelussa Vantaalla. Vantaan yleiskaavan mukaista tilannetta voidaan tarkastella läpäisemättömän pinnan osalta ja selvittää minkälaisia vaikutuksia sillä on puroihin. Yksittäisen valuma-alueen tilannetta voidaan myös tarkastella maankäytön muutosten pohjalta. Näin saatavan tuloksen avulla voidaan selvittää tarvittavia toimenpiteitä kyseisellä alueella, ja mahdollisia hulevesien käsittelyn tilavarauksia voidaan suunnitella jo etukäteen. Lisäksi kaavoihin voidaan asettaa merkintöjä hulevesien hallinnan vaatimuksista. Esimerkiksi herkäksi luokitelluille puroille vaatimukset voivat olla tiukemmat. Mallin avulla voidaan myös ohjata maankäytön muutoksia niin että herkemmillä valuma-alueilta rakentamista ohjataan alueille, jossa muutokset eivät aiheuta niin suuria seuraamuksia pienvesistössä.

Jatkotutkimuksilla mallin toimivuutta voidaan tarkastaa ja parantaa, sillä yksistään mallin antama luokitus ei kuvaa täydellisesti vesistöjen tilaa. Mallin hyvyttä voidaan parantaa suorittamalla lisämittauksia Kirkonkylänojasta tai Krakanojasta, jotta useampia sadanta- ja valuntatapahtumia saadaan määritettyä ja näin läpäisemättömän pinnan osuuksia tarkennettua. Suorittamalla mittauksia muista mallissa luokitelluista puroista luokittelun onnistuneisuutta voidaan tarkistaa. Myös lisäaineiston tutkiminen luokiteltujen vesistöjen tilasta auttaa tarkistamaan mallin hyvyttä. Lisäksi erilaisten paikkatietoaineistojen käytöllä mallin läpäisemättömän pinnan osuuksia voidaan tarkistaa, määrittää uudestaan ja tarkentaa.

Lähdeluettelo

Booth, D. 1990. Stream channel incision following drainage-basin urbanization. *Water Resources Bulletin* 26, 3: 407-17. Brabec et al. 2002 mukaan.

Booth, D. & Jackson, C. 1997. Urbanization of aquatic systems: degradation thresholds, stormwater detection, and the limits of mitigation. *Journal of the American Water Resources Association*. 33(5): 1077-1090.

Burton, G. & Pitt, R. 2002. *Stormwater effects handbook: A toolbox for watershed managers, scientists and engineers*. CRC Press. s. 929.

Brabec, E., Schulte, S. & Richards, P. 2002. Impervious surfaces and water quality: a review of current literature and its implications for watershed planning. *Journal of Planning Literature*. 16(4): 499-514.

Cappiella, K. & Brown, K. 2001. *Impervious cover and land use in the Chesapeake bay watershed*. Center for Watershed Protection. Elliot Citu, Md.

CWP. 1998. *Rapid watershed planning handbook*, Center for Watershed Protection, Ellicott City, Md. 310 s.

CWP. 2003. *Impacts of impervious cover on aquatic systems*, Center for Watershed Protection, Ellicott City, Md. 137 s.

Cheng, S. & Wang, R. 2002. An approach for evaluating the hydrological effects of urbanization and its application. *Hydrological Processes*, 16: 1403-1418.

Chiew, F. & McMahon, T. 1999. Modelling runoff and diffuse pollution loads in urban areas. *Water Science and Technology*. 39(12): 241-248.

EEA. 2015a. EEA Fast Track Service Precursor on Land Monitoring - Degree of soil sealing. [viitattu 16.1.2015] Saatavissa: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-fast-track-service-precursor-on-land-monitoring-degree-of-soil-sealing#tab-european-data>

EEA. 2015b. Urban Atlas. [viitattu 16.1.2015] Saatavissa: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas#tab-gis-data>

Haikala, M., Nuottajärvi, M., Vähäkäkelä, M., Koironen, J., Pitkänen, A. ja Eitsi, E. 2009. *Vantaan pienvesiselvitys*, FCG Planeko Oy. 86 s.

Hepojoki, A., Järvelä J., Kalve, D., Keskinen, M., Kokkonen T., Koskela, J., Kuokkanen, A., Kuronen, R., Kuusisto, E., Vakkilainen, P. & Varis, O. 2012. *Vesitekniikan perusteet*. Yhd-12.1020 *Vesitekniikan perusteet*. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulu.

Horner, R., Booth, D., Azous, A. & May, C. 1997. *Watershed determinants of ecosystem functioning*. Teoksessa: *Effects of watershed development and management on aquatic ecosystems*. Roesner, L. (toim). New York: American Society of Civil Engineers.

Ilmastonkestävä kaupunki. 2014. Pääkaupunkiseudun ja Vantaan vesistöalueen vettä läpäisemättömien pintojen kartoitus Soil sealing -rasteriaineistolla. s. 7. Saatavissa: http://www.ymk-projektit.fi/suunnitteluopas/files/2014/07/ILKKA_p%C3%A4%C3%A4_kaupunkiseutu_ja_vantaan_vesist%C3%B6alue_kartoitus_raportti.pdf

Ilmaston kestävän kaupungin suunnitteluopas. 2014. Ilmastonkestävä kaupunki – työkaluja suunnitteluun. [viitattu 18.12.2014] Saatavissa: <http://ilmastotyokalut.fi/hanke/>

Ilmatieteen laitos. 2014a. Sadetutkakooste 20.7.2014 klo 11-14.

Ilmatieteen laitos. 2014b. Ilmatieteen laitoksen havaintoasemat. [viitattu 7.11.2014] Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/havaintoasemat>

Ilmatieteen laitos. 2014c. Heinäkuun 2014 sää ja tilastot. Julkaistu 1.8.2014 [viitattu 1.10.2014]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/heinakuu>

Janatuinen, A. 2011. Vantaan virtavesiselvitys, Vantaan kaupunki. 166 s.

Järveläinen, J. 2014. Land-use based stormwater pollutant load estimation and monitoring system design: Case of Lahti city, Finland. Diplomityö. Aalto yliopisto. Espoo. 88 s.

Kauffman, G., Belden, A., Vonck, K. & Homsey, A. 2009. Link between impervious cover and base flow in the White clay creek wild and Scenic watersheds in Delaware. Journal of hydrologic engineering. Special issue: Impervious surfaces in hydrologic modelling and monitoring. 14(4): 303-433.

Kesäniemi, O. 2014a. Vettä läpäisemättömän pinta Seudullisessa maanpeiteaineistossa. Ympäristötalon seminaari 24.11.2014. [viitattu 10.12.2014] Saatavissa: <http://www.hel.fi/static/ymk/seminaari/kesaniemi-141124.pdf>

Kesäniemi, O. 2014b. Schuelerin vettä läpäisemättömän pinnan osuuteen perustuvan taajamapurojen luokittelun soveltuvuus Vantaan pienväluma-alueille. Ilmastonkestävä kaupunki. 7 s. Saatavissa: http://www.ymk-projektit.fi/suunnitteluopas/files/2014/07/schuelerin_luokittelun_soveltuvuus_Vantaalle2.pdf

Kilpeläinen, T. 2006. Kesäsateiden ilmastolliset piirteet Helsingin Kaisaniemessä 1951–2000. Pro gradu. Helsingin yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta. 75 s.

King, R., Baker, M., Kazayak, P. & Weller, D. 2011. How novel is too novel? Stream community thresholds at exceptionally low levels of catchment urbanization. Ecological Applications. 21(5): 1659-1678.

Krebs, G. 2009. Development of land-use within the urbanizing Kylmäoja watershed. Diplomityö. TKK. Espoo. 184 s.

Kuusisto, P. 2002. Kaupunkirakentamisen vaikutus pieniin valuma-alueisiin ja vesistöihin Suomessa. Helsingin yliopisto, Maantieteen laitos, sarja B. 63 s.

Lee, G. & Heaney, J. 2003. Estimation of Urban Imperviousness and its Impacts on Storm Water Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 129(5): 419-426.

Luode Consulting. 2014. Luode Consulting Oy. [Viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: www.luode.net

Maltby, L. 1994. Stress, shredders and streams: using *Gammarus* energetics to assess water quality. Teoksessa: Sutcliffe, D. (toim.) *Water quality and stress indicators in marine and freshwater ecosystems: linking levels of organisation (individuals, populations, communities)*. FBA Special Publications. 98-110 s.

Mattila-Niemi, E. 2014. Suomi kaupungistuu, tutkijat kiristävät tahtia. Helsingin yliopisto. Julkaistu 19.05.2014 [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://uutiset.helsinki.fi/2014/05/19/suomi-kaupungistuu-tutkijat-kiristavat-tahtia/#.U-HNWVBMccs>

Maxted, John R., and Earl Shaver. 1998. The use of retention basins to mitigate storm-water impacts to aquatic life. Paper presented at the national conference on Urban Retrofit Opportunities for Water Resources Protection in Urban Areas, Chicago, IL. Brabec et al. (2002) mukaan.

Melanen, M. & Laukkanen, R. 1981. Quantity of storm runoff in urban areas. Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Helsinki, Finland. 42: 3-39.

Mykrä, H., Aroviita, J., Hämäläinen, H., Kotanen, J., Vuori, K.-M. & Muotka, T. 2008. Assessing stream condition using macroinvertebrates and macrophytes: concordance of community responses to human impact. – *Fundamental and Applied Limnology*. 172(3): 191-203.

Pitt, R. 1987. Small storm urban flow and particulate washoff contributions to outfall discharges. Doctoral thesis, University of Wisconsin-Madison. 514 s.

Rimpiläinen, U-M. 2014. Suunnitteluinsinööri. Vantaan kaupunki, Kuntatekniikan keskus, Katutekniikka. Vantaa, Kielotie 13, 01300 Haastattelu. 10.5.2014.

RIL, Suomen rakennusinsinöörien liitto ry. 2004. 124-2 Vesihuolto II. Viemärlaitos. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Vammalan kirjapaino Oy. 453-454, 456-457, 459 s.

Ristimäki, M., Oinonen, K., Pitkäranta, H. & Harju, K. 2003. Kaupunkiseutujen väestönmuutos ja alueellinen kasvu. *Suomen ympäristö* 657. Helsinki: Ympäristöministeriö. 196 s.

Roesner, L. 1999. The hydrology of urban runoff quality management. Teoksessa: Roney, A., Stahre, P. & Roesner, L. (Toim.) *Sustaining water resources in the 21st century*. ASCE, Reston, VA. 229-241 s.

RYVE. 2014. Kaupunkivedet ja niiden hallinta. [Viitattu 20.10.2014] Saatavissa: <http://water.tkk.fi/wr/tutkimus/urban/ryve/>

Salminen, O., Ahponen, H., Lahti, K., Nikinmaa, E. & Rimpiläinen, U. 2010. Rakennettu taajamaluonto suojelee Vihdin Enäjärveä. *Ympäristö* 3/2010: 28-31.

Schueler, T., Frakey-McNeal, L. & Capiella, K. 2009. Is impervious cover still important? Review of recent research. *Journal of Hydrologic Engineering*. 14(4): 309-315.

Schueler, T. 1994. The importance of imperviousness. *Watershed Protection Techniques*. 1(3): 100-111.

Schueler, T. 2000. The Peculiarities of Perviousness. *Watershed Protection Techniques*. 2(1): 233-238.

Schueler, T. 2005. An integrated framework to restore small urban watersheds, Version 2.0. *Urban Subwatershed Restoration Manual 1*, CWP, Ellicott City, Md.

Shaver, E., Horner, R., Skupien, J., May, C. & Ridley, G. 2007. *Fundamentals of urban runoff management: Technical and institutional issues*. 2nd ed. North American Lake Management Society, Madison, Wisconsin, USA. 327 s.

Shuster, W., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E. & Smith, D. 2005. Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal*. 2(4): 263-275.

Shuster, W., Fletcher, T.D. & Deletic, A. 2008. [Chapter 17:] Stormwater. Teoksessa: Fletcher, T.D., Deletic, A. (toim.) *Data requirements for integrated urban water management*. Urban Water Series. 1. UNESCO: 225-241.

Sillanpää, N. 2013. Effects of suburban development on runoff generation and water quality. Doctoral dissertation. Aalto University. Department of Civil and Environmental Engineering. 226 s.

Sillanpää, N. & Koivusalo, H. 2014. Impacts of Urbanization and Event Magnitude on Runoff Contributing Area and Runoff Coefficients. *Proceedings International Conference on Urban Drainage 2014*, 7-12.9.2014, Sarawak, Malaysia.

Sillanpää, N., Koivusalo, H., Setälä, H., Valtanen, M. 2014. Urban hydrological monitoring in Finland: past experiences, recent results, and future directions. Teoksessa: Mäkelä, I. & Palvi, T. (toim.). *Lahti as an Urban Laboratory for Sustainable Environment*. The publication series of Lahti University of Applied Sciences, Series C Articles, reports and other current publications, part 153: 70-84.

Silva, L. & Williams, D. 2001. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. *Water Research*. 35(14): 3462-3472.

Stankowski, S. 1972. Population density as an indirect indicator of urban and suburban land-surface modifications. U.S. Geological Survey Professional Paper 800-B. Washington, DC.

Sutherland, R. 1995. Methods for estimating the effective impervious area of urban watersheds. *Watershed Protection Techniques*. 2(1): 282-284.

Syke. 2014a. Maankäyttö- ja maanpeiteaineistojen tuottaminen CORINE Land Cover 2012 -hankkeessa. Julkaistu 11.12.2014. [Viitattu 18.1.2015]. Saatavissa: http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Maankaytto_ja_maanpeiteaineistojen_tuottaminen_CORINE_Land_Cover_2012_hankkeessa/Maankaytto_ja_maanpeiteaineistojen_tuott%289085%29

Syke. 2014b. CORINE 2012 -maanpeiteaineisto. Ladattu 1.10.2014.

Syke. 2015. Latauspalvelu LAPIO. [Viitattu 18.1.2015]. Saatavissa: http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/lapio_flex.html#

The Nuffield foundation 2008. Estimating environmental damage in freshwater. Advanced applied science: GCE A2 UNITS. Saatavissa: http://www.nuffieldfoundation.org/sites/default/files/25_Estimatg_env_freshwater.pdf

Tolonen, J. 2014. Purokatkoja bongaamassa. Valonian blogi vesistöistä ja vesiensuojelusta. Julkaistu 2.6.2014. [viitattu 7.1.2015]. Saatavissa: <http://vesistojenaarella.wordpress.com/2014/06/02/purokatkoja-bongaamassa/>

Tufford, D., McKellar H. & Hussey, J. 1998. In-stream nonpoint source nutrient prediction with land-use proximity and seasonality. *Journal of Environmental Quality* 27: 100-111.

Unidata Pty Ltd. 2013. 6526H Starflow. Esite.

United Nations. 2014a. World urbanization prospects, the 2014 revision, highlights. 19 s.

United Nations. 2014b. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. File 1: Population of Urban and Rural Areas at Mid-Year (thousands) and Percentage Urban, 2014. Excel-file. [Viitattu 12.12.2014] Saatavissa: <http://esa.un.org/unpd/wup/CD-ROM/Default.aspx>

Uudenmaan ELY-keskus. 2014. Vesienhoidon suunnittelu ja yhteistyö Uudellamaalla. Julkaistu 30.9.2014 [viitattu 31.10.2014]. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Vesienhoidon_suunnittelu_ja_yhteistyö/Vesienhoito_ELYkeskussa/Uusimaa

Urbanas, B. & Doerfer J. 2005. Master planning for stream protection in urban watersheds. *Water science and technology*. 51(2): 239-247.

Vaisala. 2014. Vaisala Weather Transmitter WXT520, Access to Real Time Weather Data. Esite.

Vakkilainen, P., Kotola, J. & Nurminen, J. 2005. Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. Suomen ympäristö 776. Ympäristöministeriö. Helsinki. 116 s.

Valkama, P., Laakso, S., Kivimäki, A-L. ja Lahti, K. 2013. Selvitys eräiden Vantaan purojen automaattisista vedenlaadun seurannoista 2011 – 2012. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 71/2013: 39 s.

Valonia, 2014. Virtavedet & virtavesien kunnostaminen. Valonia: Varsinais-Suomen kestävän kehityksen ja energia-asioiden palvelukeskus. Julkaistu 2.12.2014.

Valtanen, M., Sillanpää, N. & Setälä, H. 2014a. Effects of land use intensity on storm-water runoff and its temporal occurrence in cold climates. *Hydrological Processes*. 28(4): 2639-2650.

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, & Soil Pollution*, 225(6): 16 s.

Vanderpoorten, A. & Palm, R. 1998. Canonical variables of aquatic bryophyte combinations for predicting water trophic level. *Hydrobiologia*. 386: 85-93.

Vantaan hulevesiohjelma. 2009. Vantaan kaupunki, Kuntatekniikan keskus. Julkaistu 2/2009: 31 s.

Vantaan kaupunki. 2014. Mapinfo-aineisto.

Vesijohtojen ja viemärien suunnittelu. 1979. Kaupunkiliiton julkaisu B 63. Kirjapaino Oy Nova, Helsinki. 90 s.

Väestötietojärjestelmä. 2014. Kuntien asukasluvut aakkosjärjestyksessä. Rekisteritilanne 30.9.2014. [viitattu 31.10.2014] Saatavissa: <http://vrk.fi/default.aspx?docid=8638&site=3&id=0>

Wissmar, R., Timm, R. & Logsdon, M. 2004. Effects of changing forest and impervious land covers on discharge characteristics of watersheds. *Environmental management*. 34(1): 91-98.

Ympäristöhallinnon paikkatietoaineistot. 2014. OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu asiantuntijoille. Valtion ympäristöhallinnon virastot. Julkaistu 30.9.2014. [viitattu 1.10.2014] Saatavissa: <http://www.d3.ymparisto.fi/d3/paikkatieto.htm>

Zaman, S. & Ball, J.E. 1994. Simulation of small events in an urban catchment. *Proceedings of 1994 hydrology and water resources conference (1994)*: 353-358. Australian National Conference Publication 94/15. Choi, K-S. & Ball J.E. mukaan. 2002. Parameter estimation for urban runoff modelling. *Urban Water*. 4(1): 31-41.

Liiteluettelo

Liite 1. Kylmäojan osavaluma-alueiden (C1-C11) (Krebs 2009) maankäyttö Corine 2006 -aineiston mukaan luokiteltuna. 1 sivu

Liite 2. Matriisit A ja B. 2 sivua

Liite 3. Lämpisemättömän pinnan malli, pienvaluma-alueet. 4 sivua

Liite 1. Kylmäojan osavaluma-alueiden (C1-C11) (Krebs 2009) maankäyttö Corine 2006 - aineiston mukaan luokiteltuna

Corine-aineiston maankäyttö	Osavaluma- alueet [ha]	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Tiiviisti rakennetut asuinalueet		1,3	0	0,1	0	11,2	3,3	6,2	4,5	0,7	13,9	10,9
Väljästi rakennetut asuinalueet		109,5	50,4	57,7	10,6	24,0	23,7	56,9	5,0	23,1	78,4	57,2
Teollisuuden ja palveluiden alueet		28,0	33,0	2,2	2,1	3,7	34,7	4,4	2,5	1,1	15,0	8,3
Liikennealueet		9,0	4,2	20,0	1,9	5,1	9,7	4,9	0	3,6	20,5	9,5
Lentokenttäalueet		0	237,7	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0
Maa-aineisten ottoalueet		5,0	40,8	3,3	0	0	7,5	0	0,2	0	0,2	0
Rakennustyöalueet		0	0	0	0	0	12,2	0	0	0	0	0
Urheilu- ja vapaa-ajan alueet		0,4	6,1	0,5	0,5	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1	11,5	0
Pellot		0	35,3	5,4	17,7	0	1,2	0,5	0	3,7	5,9	0,1
Laidunmaat		0	0	5,1	1,6	0	0,4	0	1,9	0,3	1,2	0,02
Lehtimetsät		12,4	37,3	5,4	2,3	0,8	43,6	0,7	1,0	1,1	2,2	1,5
Havumetsät		39,7	115,9	9,9	2,0	2,3	141,8	0,8	13,0	1,1	3,3	1,1
Sekametsät		39,5	75,0	9,6	2,4	2,1	117,7	0,9	6,0	2,5	4,7	1,6
Harvapuustoiset alueet		25,7	65,7	7,6	3,3	2,9	42,8	2,9	3,0	2,8	5,6	2,3
Kalliomaat		1,6	6,5	1,3	0	0	0,4	0,3	0	0	0	3,3
Avosuot		0	1,2	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0

Liite 2. Matriisit A ja B

Matriisi A: Corine-aineiston TIA:n määrittämisessä käytetyt valuma-alueet (Kirkonkylän- ja Krakanoja sekä Kylmäojan osavaluma-alueet (C1-C11)(Krebs 2009)) ja niiden maankäyttömuotojen pinta-alat

Corine-aineiston maankäyttö	Kirkonkylänoja ha	Krakanoja ha	C1 ha	C2 ha	C3 ha	C4 ha	C5 ha	C6 ha	C7 ha	C8 ha	C9 ha	C10 ha	C11 ha
Tiiviisti rakennetut asuinalueet	5,7	14,4	1,3	0,0	0,1	0,0	11,2	3,3	6,2	4,5	0,7	13,9	10,9
Väljästi rakennetut asuinalueet	1,4	36,8	109,5	50,4	57,7	10,6	24,0	23,7	56,9	5,0	23,1	78,4	57,2
Teollisuuden ja palveluiden alueet	129,6	186,5	28,0	33,0	2,2	2,1	3,7	34,7	4,4	2,5	1,1	15,0	8,3
Liikennealueet	32,8	24,3	9,0	4,2	20,0	1,9	5,1	9,7	4,9	0,0	3,6	20,5	9,5
Lentokenttäalueet	120,3	371,6	0,0	237,7	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maa-aineisten ottoalueet	0,8	9,3	5,0	40,8	3,3	0,0	0,0	7,5	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0
Rakennustyöalueet	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Urheilu- ja vapaa-ajan toiminta	4,2	0,1	0,4	6,1	0,5	0,5	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1	11,5	0,0
Pellot	0,0	21,8	0,0	35,3	5,4	17,7	0,0	1,2	0,5	0,0	3,7	5,9	0,1
Pienipiirteinen maatalousmosaiikki	2,6	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Laidunmaat	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	1,6	0,0	0,4	0,0	1,9	0,3	1,2	0,0
Lehtimetsät	2,4	14,9	12,4	37,3	5,4	2,3	0,8	43,6	0,7	1,0	1,1	2,2	1,5
Havumetsät	51,0	66,2	39,7	115,9	9,9	2,0	2,3	141,8	0,8	13,0	1,1	3,3	1,1
Sekametsät	23,0	38,1	39,5	75,0	9,6	2,4	2,1	117,7	0,9	6,0	2,5	4,7	1,6
Harvapuustoiset alueet	67,1	105,2	25,7	65,7	7,6	3,3	2,9	42,8	2,9	3,0	2,8	5,6	2,3
Kalliomaat	1,9	2,5	1,6	6,5	1,3	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	3,3
Avosuot	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Matriisi B: Corine-aineiston maankäyttömuotojen TIA. Lentokenttäalueen ensimmäinen arvo muita alueita ja jälkimmäinen arvo Kirkonkylänojaa

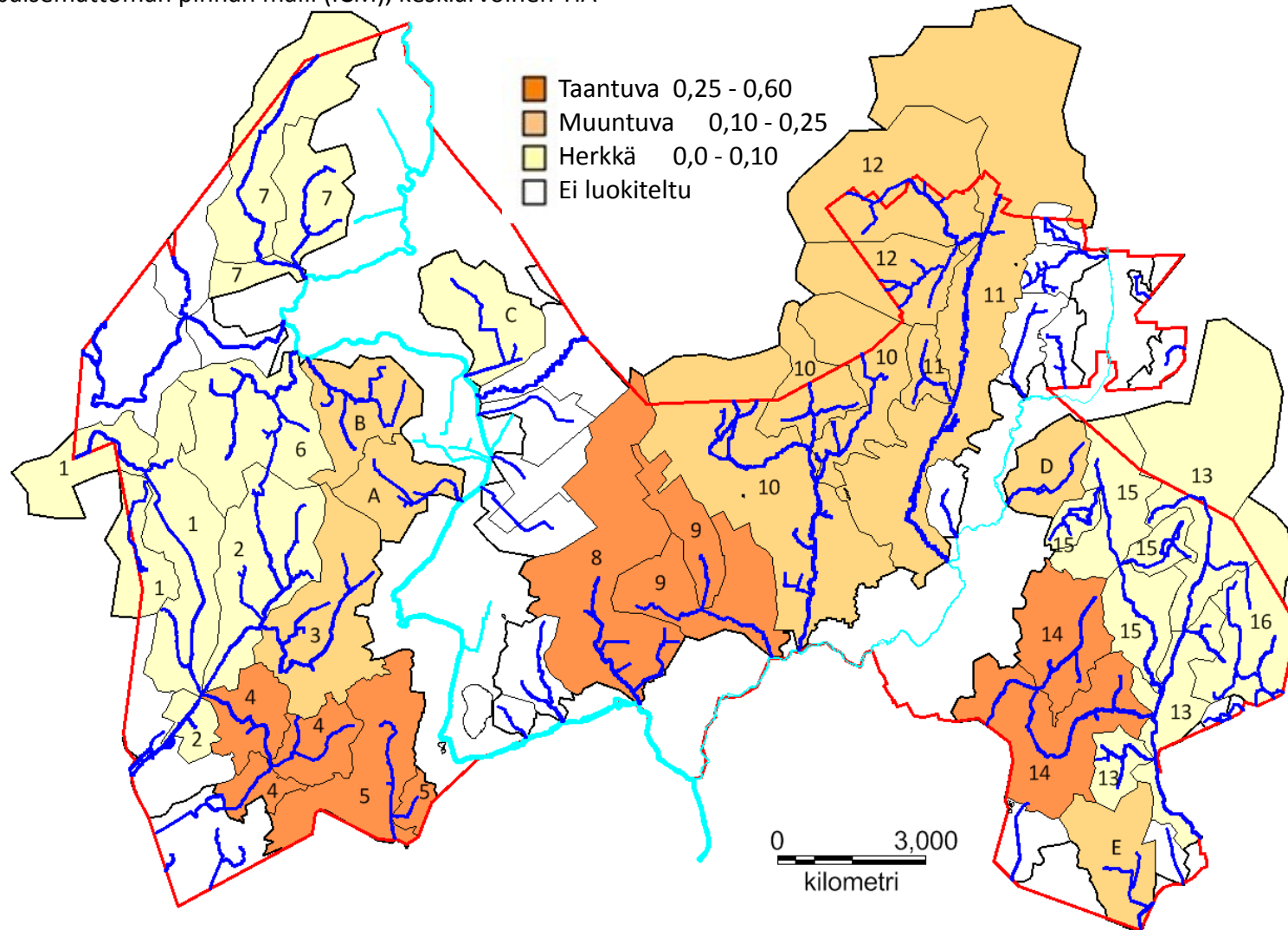
Corine-aineiston maankäyttö	TIA %
Tiiviisti rakennetut asuinalueet	0,51
Väljästi rakennetut asuinalueet	0,22
Teollisuuden ja palveluiden alueet	0,71
Liikennealueet	0,88
Lentokenttäalueet	0,32/0,85
Maa-aineisten ottoalueet	0,13
Rakennustyöalueet	0,14
Urheilu- ja vapaa-ajan toiminta	0,17
Pellot	0,02
Pienipiirteinen maatalousmosaiikki	0,02
Laidunmaat	0,02
Lehtimetsät	0,00
Havumetsät	0,00
Sekametsät	0,00
Harvapuustoiset alueet	0,04
Kalliomaat	0,22
Avosuot	0,00

Liite 3. Lämpisemättömän pinnan malli (ICM), pienvaluma-alueet

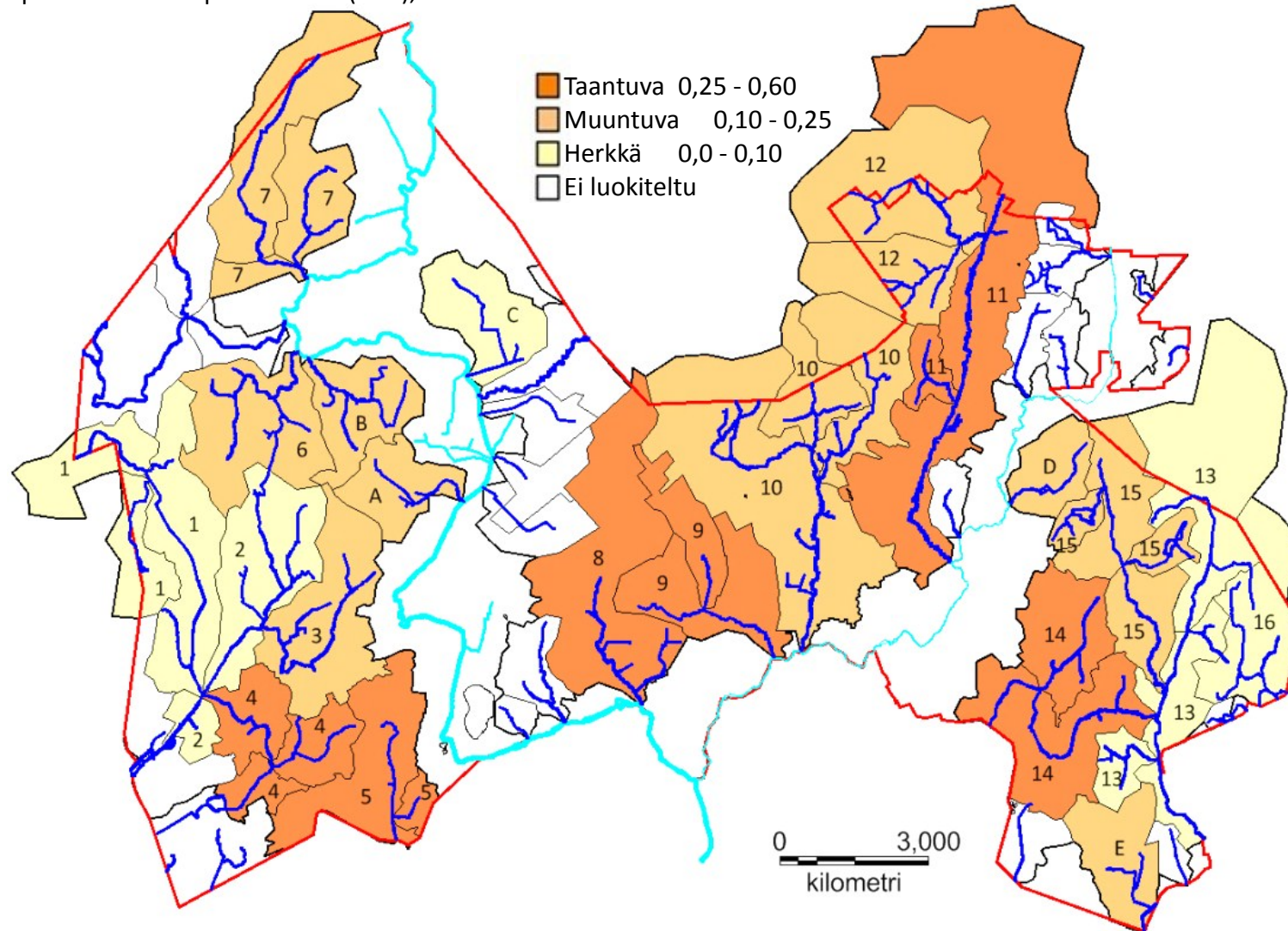
TIA:n vaihteluväli on $\pm 0,03$

Vantaan pienvesistöt	Suurin TIA	Keskiarvoinen TIA	Pienin TIA
1.	0,08	0,05	0,02
2.	0,08	0,05	0,02
3.	0,22	0,19	0,16
4.	0,33	0,30	0,27
5.	0,37	0,34	0,31
6.	0,13	0,10	0,07
7.	0,11	0,08	0,05
8.	0,35	0,32	0,29
9.	0,55	0,52	0,49
10.	0,24	0,21	0,18
11.	0,26	0,23	0,20
12.	0,18	0,15	0,12
13.	0,06	0,03	0,00
14.	0,30	0,27	0,24
15.	0,13	0,10	0,07
16.	0,05	0,02	0,00
A	0,14	0,11	0,08
B	0,16	0,13	0,10
C	0,10	0,07	0,04
D	0,22	0,19	0,16
E	0,16	0,13	0,10

Läpäisemättömän pinnan malli (ICM), keskiarvoinen TIA



Läpäisemättömän pinnan malli (ICM), suurin TIA



Läpäisemättömän pinnan malli (ICM), pienin TIA

