

Opinnäytetyö

Kestävän kehityksen koulutusohjelma

Ympäristösuunnittelija (AMK)

2015

Heidi Nurminen

RAKENTAMISEN AIKAISET VESISTÖVAIKUTUKSET

– rakennusvesistä aiheutuva kuormitus ja sen
hallinnan suunnittelu



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kestävän kehityksen koulutusohjelma

4.12.2015 | Sivumäärä 47

Ohjaajat Piia Leskinen, Jari Hietaranta

Heidi Nurminen

RAKENTAMISEN AIKAISET VESISTÖVAIKUTUKSET - RAKENNUSVESISTÄ AIHEUTUVA KUORMITUS JA SEN HALLINNAN SUUNNITTELU

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, minkälaista kuormitusta rakennustyömailta pintavaluntana johtuvat valumavedet eli rakennusvedet aiheuttavat vastaanottaville vesistöille ja mitkä tekijät vaikuttavat kuormituksen määrään ja laatuun. Yleisesti hulevesien hallinnassa keskitytään torjumaan niiden haitallisia vaikutuksia jo olemassa olevilla asuin-, teollisuus- tai kaupunkialueilla. Rakennustöiden aikaista kuormitusta ei nykyisellään huomioida riittävästi. Kuormitus on kuitenkin merkittävää ja sen vaikutukset vastaanottaviin vesistöihin voivat olla pitkäaikaisia.

Rakennustyömaiden vaikutukset rakennusvesien laatuun ovat moninaisia. Koska monet haitta-aineet siirtyvät vesistöissä sitoutuneina kiintoainekseen, pidetään kiintoaineksen määrää tärkeimpänä parametrina. Tässä työssä rakennusvesien laatua tarkastellaan ravinne- ja kiintoainekuormituksen osalta.

Rakennusvesien hallinnan suunnittelussa huomioon tulee ottaa alueen koko ja luonne sekä mahdolliset valuntavesien aiheuttamat riskit. Ensisijaisesti paras ratkaisu on pyrkiä estämään välittömän pintavalunnan syntyä huomioimalla vettä läpäisemättömien pintojen sekä kasvillisuuden määrä. Päämääränä tulisi olla maaperän eroosion estäminen, ja että liikkeelle lähtenyt kiintoainekseä pysäytetään ennen sen päätymistä vesistöön.

Opinnäytetyössä esimerkkikohteena toimineen Kaarinan Rauhalinnan rakennustyömaalla vedenlaadun ja virtaamien seuranta suoritettiin Rauhalinnanojassa jatkuvatoimisilla vedenlaadunmittalaitteilla sekä vesinäytteenotolla vertailujaksolla 14.11.2014–27.10.2015. Kokonaisfosforikuormitus Rauhalinnanojan valuma-alueelta oli noin 40 kg/a ja kiintoainekuormitus hieman alle 30 000 kg/a. Verrattaessa Rauhalinnanojassa esiintyneitä rakennustöiden aikaisia kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuuksia valmiilta pientaloalueelta saatuihin tuloksiin oli ero lähes kymmenkertainen.

ASIASANAT:

Rakennusvesi, rakennustyömaa, veden laatu, vesistövaikutukset, jatkuvatoiminen vedenlaadunseuranta

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sustainable Development

2015 | Total number of pages 47

Instructors Piia Leskinen, Jari Hietaranta

Heidi Nurminen

THE EFFECTS OF CONSTRUCTION ACTIVITIES ON WATERSHED WATER QUALITY AND TOTAL LOADING – PLANNING OF THE CONSTRUCTION WATER MANAGEMENT

The purpose of the thesis is to find out the effects caused by construction water on receiving watershed. In general stormwater management is focused on preventing harmful effects in already built areas. In most cases the impacts caused by construction activities are not taken into consideration. However, the amount of loading can be significant and it may have long term effects on receiving waters.

The impacts from construction activities into the construction water are diverse. Many pollutants are attached to suspended solids and therefore the amount of total suspended solids is considered as the primary parameter. In this thesis the monitoring of construction water quality is based on the load from nutrients and total suspended solids.

When developing construction water management plan, the size and characters of the area and potential risks caused by construction site runoff must be taken into consideration. Primary solution is to minimize direct runoff by maintaining pervious surfaces and vegetation in the area. It is essential to prevent soil erosion and to catch eroded particles before receiving watershed.

The study area is located in Rauhalinna, Kaarina. Study period for water quality and runoff monitoring was 14.11.2014–27.10.2015. The monitoring was implemented by continuous monitoring solutions and grab samples. Annual export rates for total phosphorus from the catchment area was 40 kg/a and almost 30 000 kg/a for total suspended solids. The concentrations for total phosphorus and for total suspended solids in Rauhalinnanoja is nearly ten times higher than the concentrations observed from low-density residential area.

KEYWORDS:

Construction water, construction site, water quality, watershed impacts, continuous water quality monitoring

SISÄLTÖ

SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Tausta	8
1.2 Tutkimuksen tavoite	9
2 RAKENNUSVESI	10
2.1 Rakennusveden käsite	10
2.2 Rakennusvesistä aiheutuva kuormitus	10
2.3 Kuormitukseen vaikuttavat tekijät	11
2.4 Lainsäädäntö	15
3 RAKENNUSVESIEN HALLINTA	17
3.1 Kuormituksen hallintakeinot	20
3.1.1 Vähentäminen	20
3.1.2 Johtaminen	21
3.1.3 Viivyttäminen	23
3.1.4 Imeyttäminen	24
4 TUTKIMUSALUE RAUHALINNA	26
4.1 Valuma-alueen kuvaus	28
4.2 Tutkimusmenetelmät	30
4.3 Kuormituksen hallintakeinot alueella	31
4.4 Tutkimustulokset	37
4.4.1 Virtaaman seuranta	37
4.4.2 Vedenlaadun seuranta	39
4.4.3 Kokonaiskuormitus	41
5 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	44
LÄHTEET	46

LIITTEET

Liite 1. Rauhalinnan hulevesisuunnittelun tarvearvio (Sito 2014.)

KUVAT

Kuva 1. Kaarinan Rauhalinnan työmaa-alue. Lähtötilanne ennen rakennustöiden alkua. (Kuva: Heidi Nurminen)	14
Kuva 2. Kaarinan Rauhalinnan työmaa-alue, kunnallistekniikan rakennustöiden aloituksen jälkeen. (Kuva: Heidi Nurminen)	14
Kuva 3. Esimerkkikuvat suojaamattomista maa-alueista Rauhalinnan työmaalla. (Kuva: Heidi Nurminen)	19
Kuva 4. Esimerkkikuva Rauhalinnan rakennustyömaasta. Kaivutöiden yhteydessä läjitetty maa-aines on erityisen herkkää eroosiolle. (Kuva: Heidi Nurminen)	20
Kuva 5. Rauhalinnan osayleiskaava-alue. (Kaarinan kaupunki 2015a.)	26
Kuva 6. Mitta-aseman sijainti kartalla. (Turun Opaskartta, Kiinteistöliikelaitos. 30.9.2015.)	27
Kuva 7. Ote hulevesien hallinnan tarvearviosta. Alueet 6.1 ja 6.2 muodostavat Rauhalinnanojan valuma-alueen. (Sito 2014.)	29
Kuva 8. Rauhalinnanoja kuvattuna Saaristotietä kohti. (Kuva: Heidi Nurminen)	30
Kuva 9. Mitta-asemalla YSI-moniparametrianturi ja Keller-pinnankorkeusanturi. (Kuva: Jussi Laaksonlaita)	31
Kuva 10. Suunnittelupiirros suodatuspadon poikkileikkauksesta. (Sito 2014.)	32
Kuva 11. Suunnittelupiirros suodatuspadosta pituus suunnasta. (Sito 2014.)	33
Kuva 12. Rauhalinnanojan suodatuspato. (Kuva: Jussi Laaksonlaita)	33
Kuva 13. Suunnittelupiirros viimeisen suodatuspadon poikkileikkauksesta. (Sito 2014.)	34
Kuva 14. Suunnittelupiirros viimeisestä suodatuspadosta pituus suunnasta. (Sito 2014.)	34
Kuva 15. Rauhalinnanojan viimeinen patorakennelma sekä maasuojavallit. (Kuva: Heidi Nurminen)	35
Kuva 16. Rauhalinnanojan viimeinen suodatuspato 18.9.2015 sadetapahtuman jälkeen. Padon yli kulkenut virtaama kulutti patorakennetta, jolloin perustuksissa käytetyt kivet ja suodatinkangas paljastui. (Kuva: Jussi Laaksonlaita)	36

KUVIOT

Kuvio 1. Rauhalinnanojan virtaama (l/s) ja sameus (NTU) vertailujaksolla.	38
Kuvio 2. Rauhalinnanojan vesinäytteiden kokonaisfosforin ja YSI sameuden välinen korrelaatio.	42
Kuvio 3. Rauhalinnanojan vesinäytteiden kiintoainepitoisuuden ja YSI sameuden välinen korrelaatio.	42

TAULUKOT

Taulukko 1. Ylempänä Rauhalinnanojasta mitta-asemalta otettujen vesinäytteiden kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuudet. Alla 18.9.2015 9:35 ennen suodatuspatoja otetun vesinäytteen pitoisuudet.	40
Taulukko 2. Ympäristöhallinnon ohje pienten savimailla sijaitsevien jokien veden kokonaisfosfori pitoisuuteen. (Aroviita ym. 2012, 50.)	40
Taulukko 3. Vedenlaadun luokitus Tukholman veden pienille vesistöille määrittämien raja-arvojen mukaan. (Regioplanen- och traffikkonturet 2009, 11.)	40

SANASTO

Hulevesi	Rakennetulla alueella maanpinnalle, rakennuksen katolle tai muulle pinnalle kertyvää sade- tai sulamisvettä (Vesihuoltolaki 2001/119).
Hulevesien hallinta	Hulevesien kertymiseen vaikuttavat ja niiden johtamiseen ja käsittelyyn liittyvät toimenpiteet (Kuntaliitto 2012, 10).
Kiintoaine	Kiintoaineella tarkoitetaan vedessä olevaa hiukkasmaista ainesta. Kiintoaineen merkitys kokonaisravinnekuormitusta selvitettäessä on tärkeä, sillä yleensä suurin osa fosforista on sitoutunut kiintoainekseen. (Mettinen & Valjus 2014, 24.)
Läpäisevä pinta	Läpäisevällä pinnalla tarkoitetaan rakennettuja tai luonnontilaisia pintoja, joilla tapahtuu veden imeytymistä (Kuntaliitto 2012, 12).
Läpäisemätön pinta	Rakennettu tai muokattu pinta, josta vesi ei imeydy maaperään. Läpäisemättömien pintojen osuutta kuvataan TIA-arvolla (Total Impervious Area).(Kuntaliitto 2012, 12.)
Rakennusvesi	Tässä opinnäytetyössä rakennusvesi-käsitteellä tarkoitetaan rakennustyömailla sadannasta sekä työmaiden pesu- ja purkuvesistä aiheutuvaa pintavaluntaa.
Ravinnekuorma	Fosforista ja typestä aiheutuva kuormitus esimerkiksi hulevesissä.
Valunta	Maanpinnalla tai sen sisällä kulkeutuva sateen tai sulamisvesien osa (Kuntaliitto 2012, 15).

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Kaupungistumisen vaikutukset veden luonnolliseen hydrologiseen kiertoon ovat merkittäviä ja niiden aiheuttamat ongelmat ovat nousseet 2000-luvun aikana laaja-alaisesti esille. Kaupungistumisen myötä sadannan on havaittu kasvavan jopa 10 % suuremmaksi, kuin vähemmän rakennetuilla alueilla. Tiiviisti rakennettujen alueiden suuri läpäisemättömien pintojen määrä, joka voi olla jopa yli 50 % alueen kokonaispinta-alasta, vähentää lisäksi haihduntaa. Lisääntyneet vesimassat aiheuttavat tulvahaittoja sekä kuormitusta vastaanottaville vesistöille. Hulevesien hallintakeinoilla pyritään palauttamaan veden luonnollista kiertoa lisäämällä vettä imeyttävien pintojen määrää ja kasvillisuutta, jotka pienentävät välitöntä valuntaa ja suodattavat haitta-aineita. (Kuntaliitto 2012, 18; Vakkilainen ym. 2005 8-9.)

Hulevesien ongelmat koskevat useita eri toimijoita aina viranomaistasolta yksittäisiin toimijoihin. Erilaiset toimintamallit ja tekniset suunnitelmat otetaan huomioon kaavoituksessa, ympäristönsuojelunäkökulmissa, aluesuunnittelussa sekä vesihuoltolaitoksilla. Pääsääntöisesti suunnittelussa on kuitenkin keskitytty torjumaan haitallisia vaikutuksia asuin-, teollisuus- tai kaupunkialueilta niiden valmistuttua, eikä itse rakennustöiden aikaisia kuormituksia ole otettu riittävästi huomioon. Vaikka rakennustöiden aikainen kuormitus ei kestoaltaan yleensä ole pitkäaikaista, on niiden aikainen kuormitus merkittävää ja sen vaikutukset vastaanottaviin vesistöihin voivat olla pitkäaikaisia. Rakennusvesien hallinnan ongelmia aiheuttaa suuri kiintoainekuormitus verrattuna valmiisiin alueisiin, minkä seurauksena useimmat hulevesien hallintaan käytettävät keinot eivät rakennustyömailla toimi parhaalla mahdollisella tavalla. Rakennustyömaiden suunnittelussa huomiota tulisi nykyistä enemmän kiinnittää vesistövaikutusten arviointiin ja toteuttaa alueelle kuormituksen hallintaratkaisuja sekä työjärjestyksen jaksotussuunnitelma jo ennen rakennustöiden aloitusta. (Kuntaliitto 2012, 18-19.)

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää minkälaista kuormitusta rakennusaikaiset valumavedet aiheuttavat vastaanottaville vesistöille ja mitkä tekijät vaikuttavat kuormituksen määrään ja laatuun. Opinnäytetyössä esitetään lisäksi hallinnan suunnittelussa huomioon otettavia näkökulmia. Koska viime vuosiin saakka huomio on ollut valmiilta alueilta syntyvään hulevesikuormitukseen, pohditaan erilaisten kuormituksen hallintakeinojen toimivuutta rakennusvesien näkökulmasta.

Opinnäytetyössä esimerkkikohteena toimivan Kaarinan Rauhalinnan työmaalla vedenlaadun ja virtaamien seuranta on suoritettu vuoden 2014 marraskuusta ja sitä tullaan jatkamaan, kunnes rakennustyöt alueella on saatu päätökseen. Opinnäytteessä esitetään Rauhalinnanojasta automaattisilla vedenlaadunmittalaitteilla vertailujaksolla 14.11.2014-27.10.2015 saatujen mittaustulosten, sekä otettujen vesinäytteiden pohjalta uomassa tapahtuneita vedenlaadun muutoksia sekä niiden mahdollisia syitä. Arvioinnin kohteena on myös Rauhalinnassa toteutettujen rakennusvesien hallintamenetelmien toimivuus kuormituksen hallinnan näkökulmasta.

2 RAKENNUSVESI

2.1 Rakennusveden käsite

Tässä opinnäytetyössä rakennustyömailta pintavaluntana johtuvasta vedestä käytetään nimitystä rakennusvesi (*engl. construction water*). Käsite sisältää niin rakennustyömaiden pintavaluntavedet, lumien sulamisvedet, työmaille mahdollisesti muodostuvien altainen purkuvedet kuin myös työmailla suoritettavista pesuista sekä huuhteluista maastoon päästettävät vedet.

2.2 Rakennusvesistä aiheutuva kuormitus

Rakennustyömaiden vaikutukset niillä syntyvien tai työmailta johdettavien vesien laatuun ovat moninaiset. Suurin kuormitus aiheutuu maaperästä valunnan mukana liikkeelle lähtevästä erodoituvasta maa-aineksesta. Kiintoainekuormitus vesistöihin rakennustyömailta voi olla jopa 10–20-kertainen verrattuna maanviljelyksessä oleviin maihin ja 1000–2000-kertainen metsäisiin alueisiin verrattuna. Näin ollen kuormitus on hyvin merkittävä ja tapahtuu lyhyessä ajassa, jolloin vaikutukset vastaanottavaan vesistöön ovat suuria. (EPA 2005, 1-2.)

Kuten todettu, rakennusvesien valunta aiheuttaa haitallisia vaikutuksia sitä vastaanottaville vesistöille. Hulevesien seurannassa yleisimpinä haitta-aineina pidetään kokonaisravinnekuormitusta, kiintoaineen määrää sekä metalleja, öljyjä ja erityyppisiä orgaanisia yhdisteitä. Monet haitta-aineet siirtyvät vesistöissä sitoutuneina kiintoainekseen, joten kiintoaineksen määrää pidetään tärkeimpänä parametrina (Kuntaliitto 2012, 124). Rakennusvesien laadun seurannassa käytössä ovat samat parametrit. Koska resurssit vedenlaadun seurantaan ovat yleensä rajoitetut, suoritetaan hule- sekä rakennusvesien tutkimuksia pääosin ravinteiden ja kiintoaineksen osalta.

Espoon Saunalahdenrannan rakennustyömailla vuosina 2001–2006 tehtyjen mittausten perusteella voidaan todeta rakennustyömailla suoritettavien töiden

vaikuttavan erityisesti kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuksiin rakennusvesissä. Seurannassa havaittiin kiintoainepitoisuuden nousseen 20–60-kertaiseksi ja kokonaisfosforipitoisuuden 5-9-kertaiseksi vertailujaksoon nähden. Rakennustyömaa toimien ei nähty suoraan vaikuttavan typpipäästöihin. (Kotola & Nurminen 2003, 114; Sillanpää 2013, 208-209.)

Espoossa suoritettujen tutkimusten pohjalta laskettiin vuosihuuhtoumat erilaisille maankäyttötyypeille. Rakennustyömailta esiintyvä keskimääräinen vuosihuuhtouma oli kokonaisfosforin osalta 65 kg/km²/a ja kiintoaineksen osalta 54 800 kg/km²/a. Vastaavat vuosihuuhtoumat valmiilla pientaloalueella olivat kokonaisfosforin osalta 26 kg/km²/a ja kiintoaineksen osalta 12 900 kg/km²/a. Voidaan siis todeta, että vuodessa rakennustyömailta aiheutuvan fosforikuormituksen kertyminen valmiilta pientaloalueelta kestäisi yli kaksi vuotta. Rakennustyömailta aiheutuvan kiintoainekuormituksen vuosihuuhtouman kertymiseen valmiilta pientaloalueelta kuluisi yli neljä vuotta. (Sillanpää 2013, 77.)

Tutkimuksia rakennusvesien aiheuttamasta kuormituksesta on suoritettu pääasiassa Yhdysvalloissa. Koska ilmaston ja valuma-alueen ominaisuudet eroavat Suomen olosuhteisiin paljon, on vertailu näiden tulosten välillä haastavaa. Pohjoismaissa ilmaston ja valuma-alueen olosuhteiden voitaisiin katsoa olevan samankaltaisia kuin Suomessa, mutta rakennusvesien kuormitukseen liittyviä tutkimuksia ei ole tiettävästi muissa Pohjoismaissa suoritettu. (Sillanpää 2013, 37 ja 97.)

2.3 Kuormitukseen vaikuttavat tekijät

Rakennusvesien laatuun vaikuttavat seikat tulisi ottaa huomioon jo rakennustyömailta suunniteltaessa. Vaikka haittavaikutukset usein ovatkin lyhytaikaisia, ja kuormitus vähenee töiden edetessä, muuttuu alueen hydrologinen kierto pysyvästi läpäisemättömien pintojen määrän lisääntyessä. (Burton & Pitt 2002, 31.)

Kuormitukseen vaikuttavien tekijöiden tarkastelu tulisi aloittaa selvittämällä alueen ominaisuuksia sen ollessa luonnontilainen. Valuma-alueen

ominaisuuksien sekä tyypillisten valuntatapahtumien selvittämisen avulla saadaan alueesta kokonaisvaltainen kuva, jonka määrittämällä reunaehdoilla rakennusvesien aiheuttamaan kuormitukseen käytettäviä keinoja tulee mitoittaa.

Maaperän ominaisuuksien vaikutukset valunnan laatuun ovat suurimmat luonnontilaisilla tai vain kevyesti rakennetuilla alueilla. Rakentamisen aiheuttama lisäys läpäisemättömien pintojen määrässä muuttaa valunnan kulkeutumisreittejä sekä sadannan ja valuntanopeuden välistä suhdetta, mikä on nähtävissä lisääntyneinä virtaamahuippuina. Tästä syystä on erityisen tärkeää ymmärtää rakennustöiden aiheuttamien muutosten vaikutukset hydrologiseen kiertoon, jolloin mahdolliset ongelmakohteet voidaan huomioda suunnittelussa. (Burton & Pitt 2002, 388–390.)

Tärkeimmät kuormitukseen vaikuttavat seikat maaperässä ovat sen koostumus, maalajin eroosioherkkyys sekä maaperän kyky imeyttää vettä. Rakennettaessa uusia asuinalueita, aiheutuu erityisesti rakennustöiden alkuvaiheessa suoritettavista maanmuokkaustöistä maaperän eroosioalttiutta luonnontilaisen tai viljellyn kasvillisuuden poiston myötä. Eroosion kannalta ongelmallisimpia ovat karkeat maalajit, joissa hiukkaset ovat irrallisina tai vain köyhästi toisiinsa sitoutuneina. Eteläisessä Suomessa maaperä on kuitenkin pääosin savea, ja jopa kolmannes kaikista Suomen pelloista sijaitsee savikolla. Savimaita pidetään tyypillisesti stabiileina, eivätkä ne ole yhtä eroosioherkkiä kuin karkeammat maalajit. Savimaiden pintaeroosiota aiheuttavat sadeepisaroiden iskut, joiden liike-energian vapautuessa pintamaa liettyy, eivätkä irronneet hiukkaset kiinnity enää helposti takaisin. Mikäli samanaikaisesti esiintyy pintavaluntaa, siirtyvät savipartikkelit tehokkaasti veden mukana, koska pintajännitettä, joka puristaisi partikkeleita kasaan, ei enää esiinny. Pintaeroosion lisäksi savimailla esiintyy diffuusioeroosiota, jota edistää maaperän muokkauksen aiheuttama epävakaus maaperän partikkeleissa. Tämä aiheuttaa savipartikkeleiden siirtymisen lämpöliikkeessä maasta veteen. (Aura ym. 2006, 7-8.)

Rakennustöillä on suuri vaikutus luonnontilaisen maaperän ominaisuuksiin. Kasvillisuuden poisto, työkoneiden käytöstä aiheutuva maaperän tiivistyminen ja muutokset topografiassa heikentävät veden imeytymistä maaperään. Savimailla

veden imeytyminen voi hidastua jopa 12-kertaisesti, mikäli rakennustöiden takia maaperä tiivistyy luonnontilaisesta. Läpäisemättömän pinta-alan lisääntyessä vettä imeytyy vähemmän maaperään, jolloin pohjavesivalunta heikkenee, eikä pohjavettä kerry kuten luonnontilaisilla alueilla. (Burton & Pitt 2002, 389 + 396; Kotola & Nurminen 2003a, 13.)

Sadantatapahtumien aiheuttaman valunnan seurauksena esiintyvien suurten virtaamien kuormitusten voimakkuuden, niiden tyypillisen keston ja esiintymisfrekvenssin selvittämisellä on mahdollista arvioida kokonaiskuormituksen määrää vastaanottavaan vesistöön. Kun näihin tietoihin yhdistetään vastaanottavassa vesistössä eri virtaamilla tapahtuvat paikalliset muutokset sekä kuormituksen haitta-aineiden pitoisuudet, saavutetaan tarkka kuva kokonaiskuormituksesta. Selvityksissä tulee ottaa huomioon se, että laadultaan huonointa valunta on sadetapahtuman alussa, erityisesti pidempien kuivien jaksojen jälkeen, jolloin maanpintaan kertyneet haitta-aineet huuhtoutuvat ensimmäisinä. Alkuhuuhtouman (nk. first flush) jälkeen kiintoaineen ja kokonaisfosforin pitoisuudet laskevat sadetapahtuman edetessä. (Burton & Pitt 2002, 349; Laukkanen & Melanen 1980, 36.)



Kuva 1. Kaarinan Rauhalinnan työmaa-alue. Lähtötilanne ennen rakennustöiden alkua. (Kuva: Heidi Nurminen)



Kuva 2. Kaarinan Rauhalinnan työmaa-alue, kunnallistekniikan rakennustöiden aloituksen jälkeen. (Kuva: Heidi Nurminen)

2.4 Lainsäädäntö

Suomessa hulevesiä koskeva lainsäädäntö on hajautettu useaan eri lakiin. Lait ottavat kantaa lähinnä alueiden suunnitteluun ja niiden toimivuuteen hulevesien hallinnan ja käsittelyn osalta alueen valmistuttua. Maankäyttö- ja rakennuslaissa todetaan, että hulevesien hallinnan yleisinä tavoitteena on kehittää hulevesien suunnitelmallista hallintaa erityisesti asemakaava-alueella, imeyttää ja viivyttää hulevesiä niiden kerääntymispaikalla, ehkäistä hulevesistä ympäristölle ja kiinteistölle aiheutuvia haittoja ja vahinkoja ottaen huomioon myös ilmaston muuttuminen pitkällä aikavälillä ja edistää luopumista hulevesien johtamisesta jätevesiviemäriin (MRL 22.8.2014/682).

Suoraan rakennustöiden aikaisen kuormituksen hallintaan ei osoiteta säädöksiä. Annetut lait rakennusvesiä sivuten koskevat vesistöjen ja ympäristön pilaamiskieltoa. Ympäristönsuojelulaissa veloitetaan toiminnanharjoittaja järjestämään toimintansa niin, että haitalliset päästöt ympäristöön voidaan ehkäistä tai ainakin ne tulee rajoittaa mahdollisimman vähäisiksi (Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527). Laissa todetaan myös, että kaikessa toiminnassa pintavesien laatu tulee säilyttää sellaisella tasolla, ettei siitä aiheudu haittaa luonnolle, luonnonvarojen käyttämiselle, ympäristön yleiselle viihtyisyydelle tai terveydelle (Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527).

Kuntien olisi mahdollista ohjata rakennusvesien hallintaa antamalla määräyksiä rakennusjärjestyksessä, ympäristönsuojelujärjestyksessä ja eri lupamenettelyissä, joilla rakennuttaja veloitettaisiin toteuttamaan työmailla riittävät toimenpiteet haittojen ehkäisemiseksi. (Kuntaliitto 2012, 87.) Vaihtelua ohjeistuksissa on kuntien kesken paljon. Helsingin kaupunki on vuonna 2013 laatinut työmaavesiohjeen, jossa on seikkaperäisesti esitetty työmaavesien laatuongelmaa, sen hallintakeinoja, säädöksiä työmaavesiä koskien sekä ohjeita käsittelysuunnitelman tekoon (Helsingin kaupunki, 2013). Turun kaupungin rakennusjärjestyksessä (Turun kaupunki 2015) todetaan ”Työmaavesien käsittelyssä tulee noudattaa ympäristönsuojelumääräyksiä.”, jolloin tarkempia ohjeita käsittelyn suorittamiseksi ei ole annettu. Rakentamistapamääräyksessä

tai kaavamääräyksissä olevat ohjeet rakennusvesien käsittelylle ovat käytössä laaja-alaisemmin, mutta niiden taso vaihtelee suuresti kunnittain. Kaikki erityisesti rakennusvesiin liittyvät ohjeistukset kunnissa ovat lähinnä suosituksia, eikä resursseja niiden toteutumisen tai toimivuuden seurantaan ole riittävästi. Tästä johtuen useimmilla rakennustyömailla rakennusvesien käsittelyyn ei kiinnitetä tarvittavaa huomiota.

3 RAKENNUSVESIEN HALLINTA

Hule- sekä rakennusvesien hallinta voidaan jakaa määrän ja laadun hallintaan. Muodostuvien valuntavesien määrää on mahdollista hallita rajoittamalla niiden muodostumista ja ohjaamalla jo muodostuneita valuntavesiä pois pintavalunnasta esimerkiksi erilaisilla imeyttämiskeinoilla. Laadun hallinnassa pääpaino tulisi olla kuormituksen ennaltaehkäisyssä. Koska suurin osa haitta-aineista on sitoutunut kiintoainekseen, ovat erilaiset laskeuttamis- tai suodatusmenetelmät tehokkaita kuormituksen hallinnassa. (Kuntaliitto 2012, 20.)

Suunniteltaessa rakennusvesien hallintakeinoja, tulee huomio kiinnittää kokonaisuuteen. Ensisijaisesti paras ratkaisu on pyrkiä estämään välittömän pintavalunnan syntyä huomioimalla vettä läpäisemättömien pintojen sekä kasvillisuuden määrä. Usein paras mahdollinen lopputulos on mahdollista saavuttaa yhdistelemällä erilaisia ratkaisuja. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon alueen koko ja luonne sekä mahdolliset valuntavesien aiheuttamat riskit. (Kuntaliitto 2012, 141–142.)

Rakennusvesien kuormituksen hallinnan suunnittelu tulisi aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, hankkeen varmistuttua. Huolellisella suunnittelulla on mahdollista ennaltaehkäistä haittoja vastaanottavaan vesistöön. Kartoitus tulisi aloittaa keräämällä kaikki rakennusvesien laatuun vaikuttavat asiat yhteen, jolloin kokonaisuuden hallinta myöhäisemmässä vaiheessa on helpompaa. Aluksi tulisi koota tiedot hankealueella suoritettavista rakennustöistä ja niiden valmisteluista eri urakoitsijoiden osalta, jolloin on mahdollista osoittaa tulevat riskiajankohdat sekä -kohteet. Alueen lähtötilanne tulisi esittää esimerkiksi kartan avulla, jolloin on mahdollista osoittaa kuormituksen ongelmakohdat ja liittää suunnitelmaan toimet, joilla näihin puututaan. Tarkastelussa huomioon tulisi ottaa:

- alueen topografia
- maaperän ominaisuudet ja mahdolliset siihen aiemmin kohdistuneet kuormitukset

- alueen luonnolliset valuntaolosuhteet
- alueella sijaitsevat suojeltavat luontokohteet.

(EPA 2007, 9-10.)

Työjärjestyksen suunnittelussa jaksottaminen tulisi hoitaa niin, että mahdollisimman pieni osa maa-alasta olisi kerralla muokattuna, jolloin maaperän eroosio olisi mahdollisimman vähäistä. Kasvipeitteellisiä alueita tulisi mahdollisuuksien mukaan säästää työmaalle ja sen ympäristöön, jolloin osa rakennusvesistä suodattuisi ja imeytyisi suoraan maaperään ehkäisten maa-aineksen eroosiota ja kulkeutumista lisääviä suuria ja nopeita valuntoja. Heti kun työt tietyillä alueilla on saatu päätökseen, tulisi maaperä suojata istuttamalla kasvillisuutta tai asentamalla eroosiosuojaukseen tarkoitettuja mattoja väliaikaisratkaisuksi. Eroosiosuojamattoina voidaan käyttää muovilangasta tai kookoksesta tehtyjä alustoja, jotka asennuksen jälkeen peitetään kasvialustalla. Myös erilaisilla siirrettävillä kasvillisuusmatoilla maaperän suojaus on mahdollista toteuttaa nopeasti. (RT 89-10998, 9.)

Päämääränä tulisi olla se, että maaperä pysyy stabiilina eikä eroosiota aiheudu, ja toisekseen se, että liikkeelle lähtenyt kiintoainne pysäytetään ennen vesistöä. Muodostuvien valuntavesien ohjaus tulisi harkita niin, että ne eivät päätyisi rakennustyömaalle jos alueen topografia sen mahdollistaa. (EPA 2007, 18.)



Kuva 3. Esimerkkikuvat suojaamattomista maa-alueista Rauhalinnan työmaalla. (Kuva: Heidi Nurminen)

Työjärjestyksen suunnittelun jälkeen, ennen varsinaisten töiden aloitusta, tulee tärkeimpiin laskuosiin sijoittaa jonkinlaisia rakenteita kiintoaineksen sitouttamiseksi. Nämä ratkaisut voivat olla joko alueelle pysyvästi sijoitettavia tai vain rakennustöiden aikaisia, jolloin ne poistetaan rakennustöiden loppuvaiheessa. Mikäli alueelle pysyvästi sijoitettavia ratkaisuja käytetään rakennusaikaisen kuormituksen hallintaan, tulee niiden kunto tarkastaa säännöllisesti, erityisesti töiden päätyttyä. Kiintoainekuormitus rakennustyömailta voi helposti tukkia esimerkiksi erityyppiset suodatinratkaisut, jolloin huoltotoimenpiteet tulee suorittaa järjestelmien toiminnan takaamiseksi. (EPA 2007, 10–17.)

Huolellisen suunnittelun jälkeen, rakennustöiden alettua, suunniteltujen kuormitusta vähentävien ratkaisujen toiminnan seuranta tulisi suorittaa säännöllisesti. Ainoastaan riittävän seurannan avulla mahdollisiin ongelmiin voidaan reagoida ajoissa. On myös huomattava, että vastavalmistuneiden

alueiden haitta-ainekuormitus säilyy korkeammalla tasolla myös rakentamisen jälkeen kasvillisuuden vähyyden tai jopa puuttumisen seurauksena, aina siihen asti kunnes kasvillisuuden tila saadaan riittävälle tasolle. (EPA 2007, 8; Vakkilainen ym., 39.)



Kuva 4. Esimerkkikuva Rauhalinnan rakennustyömaasta. Kaivutöiden yhteydessä läjitetty maa-aines on erityisen herkkää eroosiolle. (Kuva: Heidi Nurminen)

3.1 Kuormituksen hallintakeinot

3.1.1 Vähentäminen

Rakennus- tai hulevesien hallintasuunnitelmaa laadittaessa, tulisi ensisijaisesti pyrkiä vähentämään hulevesien syntyä. Suunnittelussa tulisi pyrkiä ennallistamaan alueen hydrologista kiertoa mahdollisimman lähelle alkuperäistä. Tähän tavoitteeseen päästään säästämällä alueelle vaihtelevia maastonmuotoja,

säästämällä luontaista kasvillisuutta niin paljon kuin mahdollista ja minimoimalla päällystettyjen pintojen määrä. (Kuntaliitto 2012, 142.)

Hydrologinen kierto tulee ottaa huomioon jo maankäytön suunnittelua laadittaessa. Rakentamalla useaan tasoon, sen sijaan, että rakennettaisiin useita matalia rakennuksia, säästetään kattopinta-alassa, mikä vähentää suoraa valuntaa. Katualueiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon mahdollisuudet läpäisevien päällysteiden käyttöön. Vettä läpäiseviä päällysteitä ovat esimerkiksi harvat kiveykset, muovi- tai betonikennostot sekä läpäisevä asfaltti, jotka toimivat hyvin kevyemmin liikennöidyillä alueilla. Läpäiseville päällysteille johdettavan huleveden tulee kuitenkin olla laadultaan melko puhdasta, sillä näiden ratkaisujen puhdistusteho ei ole suuri ja ne tukkeutuvat herkästi. (Kuntaliitto 2012, 142.)

Kasvillisuuden avulla on mahdollista parantaa maaperän veden imeytyskykyä. Kasvien juuret muokkaavat maaperää huokoisemmaksi ja kasvien hyödyntäessä vettä haihdunnan määrä lisääntyy. Kasvillisuuden ohella maaperän rakennetta parantaa myös sitä muokkaavat pieneliöt. (Burton & Pitt 2002, 389-390.)

Rakennusvesien käsittelyssä suurin rooli on juuri rakennustyömaiden huolellisella suunnittelulla ja jaksottamisella. Työmaalla tulisi kohdistaa maanmuokkaustoimia mahdollisimman pienelle alueelle kerrallaan, jotta kasvipeitteellisyys olisi mahdollista säilyttää ja ennallistaa muilla alueilla. Kasvillisuuden vaikutus valuntaolosuhteisiin on erityisen tärkeä rakennustyömailla, joilla raskaat työkoneet tiivistävät maanpintaa jo ennen päällystystoimia, aiheuttaen haitallisia vaikutuksia maaperän kykyyn imeyttää vettä.

3.1.2 Johtaminen

Hulevesien johtamisella tarkoitetaan avo-ojissa, puroissa, viherpainanteissa tai muissa avouomaratkaisuihin perustuvissa menetelmissä sekä maan alla sijaitsevissa hulevesiputkistoissa tai salaojissa tapahtuvaa hulevesien kokoamista, tavoitteena siirtää hulevedet pois halutulta alueelta hallitusti. (Kuntaliitto 2012, 20 ja 157.)

Pintajohtamismenetelmien avulla on myös mahdollista hidastaa virtaamaa sijoittamalla uomaan patoavia rakenteita. Pohjapatojen avulla veden imeytyminen maaperään parantuu, ja virtaaman hidastuessa haitta-aineet sedimentoituvat pohjaan, jolloin epäpuhtauksien määrä vedessä vähenee. Viemäröinnin tavoitteena on puhtaasti vesimassojen siirto toiseen paikkaan. (Kuntaliitto 2012, 157.)

Hulevesien johtamiseen käytettävää ratkaisua suunniteltaessa, tulee ottaa huomioon alueella esiintyvät erilaiset sadetapahtumat ja virtaamat. Mitä suuremmaksi alueella tapahtuvat virtaamat kasvavat, sitä suurempi on eroosio- ja tulvariski. Avouomaratkaisut toimivat mitoituksen osalta huomattavasti joustavammin kuin putkiratkaisut, sillä ne pystyvät tarvittaessa hetkellisesti varastoimaan vettä osittain yli maksimi mitoitusmäärien. (Kuntaliitto 2012, 170.)

Rakennustyömailla käyttökelpoisia johtamisratkaisuja ovat lähinnä avo-ojat ja painanteet, joiden lisäksi käytössä tulisi olla keinoja estämään kiintoaineksen pääsyä vesistöön. Jotta mahdollisimman pieni määrä kiintoainesta päätyisi vastaanottavaan vesistöön, tulee ojien ja penkkojen luiskat suojata sekä minimoida muokattujen maapintojen määrä. Suojauksen päämääränä on saattaa uomiin ja painanteisiin kasvillisuuspeite, joka on mahdollista toteuttaa nopeasti nurmi- tai eroosiosuojamatoilla. (EPA 2007, 19.)

Rakennusvesien puhdistuksen kannalta virtaaman tulee hidastua niin paljon, että kiintoaine ehtii laskeutua. Käytännössä tämä tarkoittaa enintään 1-3 % pituuskaltevuutta tai erilaisia pohjapatorakenteita. Hidastunut virtaama edistää myös hulevesien imeytymistä maaperään. Suurilla valuma-alueilla tilantarve on näiden ratkaisujen kohdalla suuri, jotta järjestelmät toimisivat halutulla tavalla. Kasvillisuuden käytöllä saadaan lisättyä haitta-aineiden sitoutumista ja toisaalta ehkäistyä mahdollisia eroosiosta aiheutuvia ongelmia juurien sitoessa maainesta. (Kuntaliitto 2012, 158–159.)

Mikäli rakennettavalle alueelle on asennettu hulevesiviemärit, tulee viemärien tuloliittymät suojata suodattimilla, jotta rakennustöiden aikana valunnan mukana liikkuva kiintoaines ei pääse tukkimaan putkistoja. Suojaukseen käytetään

esimerkiksi erilaisia hiekka- tai kiviainessuodattimia. Suomessa kunnallistekniikantyöt toteutetaan rakennustyömailla usein etupainotteisesti, jolloin riski viemäreiden tukkeutumiseen on suuri. Lisäksi hulevesiviemäriin päätyvät haitta-aineet aiheuttavat suoria päästöjä purkupisteisiin. (EPA 2007, 20.)

3.1.3 Viivyttäminen

Hulevesien viivyttämisratkaisuilla tarkoitetaan erilaisia lampia, kosteikkoja, painanteita tai rakennettuja kaivantoja, joiden tarkoituksena on varastoida muodostunutta hulevettä. Hulevesiä varastoimalla on mahdollista hidastaa purkupisteisiin kohdistuvaa virtaamaa, jolloin ne toimivat eroosio- ja tulvahaittoja estävinä rakenteina, ja toisaalta hidastunut virtaama mahdollistaa parantuneen vedenlaadun, kun kiintoaines sedimentoituu. Pinta-alaltaan suuremmissa ratkaisuissa on yleensä pysyvä vesipinta ja ravinteita sitovaa kasvillisuutta, kun taas pienemmät kaivannot voivat sateiden välillä kuivua ja ne voivat olla rakenteeltaan putkijärjestelmien kaltaisia. (Kuntaliitto 2012, 173–177.)

Viivyttämisratkaisut ovat rakennusvesien haitta-ainekuormituksen ehkäisyn jälkeen toimivin keino puuttua työmailta aiheutuvaan ravinne- sekä kiintoainekuormitukseen. Parhaimman tuloksen saavuttamiseksi erityyppiset kaivannot tulisi toteuttaa niin, että rakennustöiden alkaessa niissä olisi jo kasvillisuutta, toisaalta suojaamassa rakenteita eroosiolta, toisaalta hidastamassa virtaamaa ja suodattamassa ravinteita. (Kuntaliitto 2012, 173-177.)

Lammikot ja painanteet ovat loivareunaisia altaita, joilla pyritään vähentämään virtausta, laskeuttamaan kiintoainesta ja varastoimaan vesimassaa suurilla virtaamilla. Niiden reuna-alueet ovat kasvillisuuden peittämät, jolloin osa ravinteista sitoutuu kasvien käyttöön. Lammikoiden ja painanteiden vesien purku tapahtuu pohjapatorakenteiden tai kapeikkojen kautta, ja niihin tulee sijoittaa ylivuotoputki mahdollisten suurten sadantatapahtumien varalle. Erityisesti rakennustyömailla tasausaltaan rakentaminen ennen varsinaista lammikkoa on

suositeltavaa, jolloin suurin kiintoainekuormitus kohdistuu pienempään altaaseen, joka on helppo tyhjentää tarvittaessa. (Kuntaliitto 2012, 173.)

Rakennusvesien hallintakeinojen etupainotteinen rakentaminen ei kuitenkaan ole aina mahdollista. Viivytyispainanteilla saavutetut hyödyt ovat kuitenkin suuria, vaikka ne rakennettaisiinkin vasta töiden alkaessa. Rakennustöiden päättyessä, tulee kuitenkin varautua tyhjentämään altaisiin kertynyt kiintoainekertymä, jolloin niiden toiminta jatkossa voidaan taata.

3.1.4 Imeyttäminen

Imeyttämisellä tarkoitetaan rakenteita, joilla hulevesiä pyritään imeyttämään maaperään tai pohjaveteen paikallisesti. Hulevesien imeytysratkaisut toimivat laadun hallinnassa suodattaen haitta-aineita vesimassasta. Ratkaisut voivat koostua pelkistä karkeasta maa-aineksesta, mutta parhaiten haitta-aineita pidättävät ratkaisut ovat nk. biosuodatusrakenteita, joissa kasvillisuuden ja eri maalajien yhdistelmillä saadaan aikaan myös biologisia- ja kemiallisia puhdistusprosesseja. Imeyttämisratkaisuja voidaan toteuttaa myös maanalaisilla imeytysrakenteilla. (Valtanen ym. 2010, 28.)

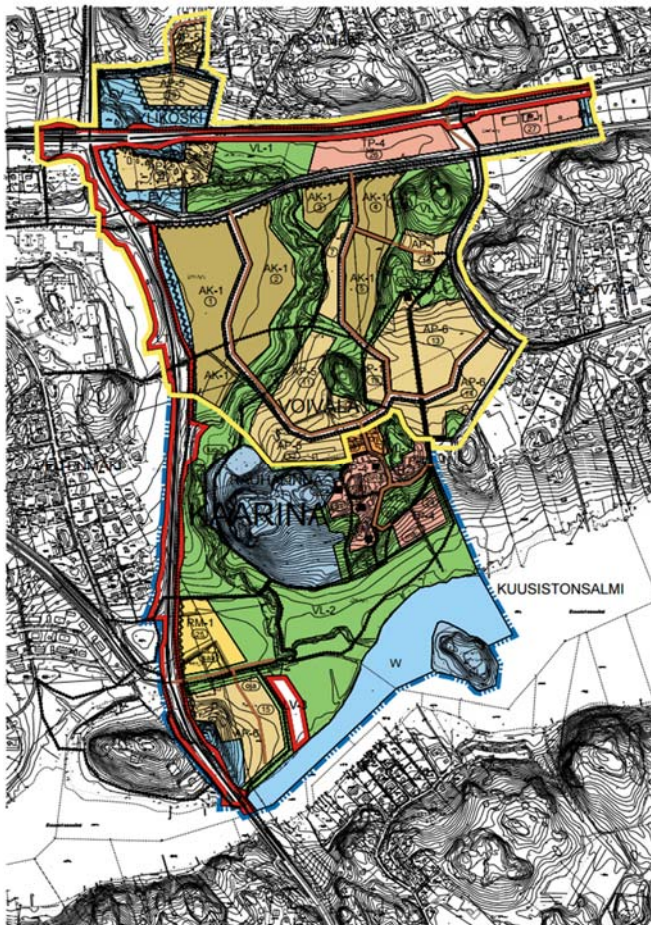
Imeytyskaivannot ovat maan päälle tai maanpinnan alle sijoitettavia huleveden imeytysratkaisuja, joihin vesi johdetaan pintavaluntana tai viemäreillä. Niiden tarkoituksena on imeyttää vedet hiljalleen maaperään huokoisen kiviaineksen tai muovikennostojen läpi. Imeytyskaivantoihin johdettava vesi tulee esikäsitellä ennen järjestelmään johtamista, esimerkiksi erityyppisillä hiekkasuodattimilla tai laskeutusaltailla tukkeutumisen ehkäisemiseksi. Maanpäälliset ja maanalaiset järjestelmät tulee eristää ympäröivästä maaperästä, jotta maa-ainesta ei päädy imeytysrakenteisiin. (Kuntaliitto 2012, 147–149.)

Rakennusvesien hallinnassa imeytysratkaisut eivät yleensä ole käyttökelpoisia niiden tukkeutumisriskin takia. Rakennusvesistä aiheutuvan suuren kiintoainekuormituksen pääsy imeyttämisjärjestelmiin tulee estää toteuttamalla ne osana laajempaa hulevesijärjestelmää, jolloin suurin kiintoainekuormitus laskeutetaan ennen niitä. Suositeltavaa on rakentaa imeyttämisratkaisut vasta

rakennustöiden loppuvaiheessa, jolloin kuormitus ei ole enää suurta. Mikäli järjestelmät rakennetaan etupainotteisesti ennen rakennustöiden alkua, tulee niiden kunto tarkastaa ennen alueen luovutusta ja mahdollinen kertynyt kiintoaines tyhjentää tai suodattava maa-aines vaihtaa.

4 TUTKIMUSALUE RAUHALINNA

Osana Voivalan osayleiskaavan muutosta, Kaarinan kaupunki aloittaa Rauhalinnassa täydennysrakentamisen, jonka tavoitteena on suunnitella noin 1 500 asukkaan alue. Rauhalinnan osayleiskaava-alue rajoittuu Viipurintien, rakennettavan Ladjakoskenkujan, Uudenmaantien, Rauhalinnantien, Vähä-Rauhalinnan, Kuusistonsalmin, Saaristotien ja Kaarinantien väliselle alueelle (kuva 5). Kaava-alueen pinta-ala on 97 ha. Suunnittelussa tulevan asuinalueen hulevesien hallintaan kiinnitetään erityistä huomiota niin, että uudesta alueesta tulee hulevesien käsittelyn esimerkkikohde. Hulevesiratkaisuilla tullaan edistämään tulvasuojelua, luonnonsuojeluarvoja sekä alueen viihtyisyyttä ja vetovoimaisuutta. Alueen hulevesiratkaisujen suunnittelusta vastaa ympäristökonsultointiyritys Sito Oy. (Kaarinan kaupunki 2015.)



Kuva 5. Rauhalinnan osayleiskaava-alue. (Kaarinan kaupunki 2015a.)

Turun Ammattikorkeakoulun Vesitekniikan tutkimusryhmä on tutkinut Rauhalinnanojan hulevesiä vuoden 2014 marraskuusta alkaen. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää Rauhalinnanojan vedenlaatua sekä virtaamaa ennen alueella suoritettavia rakennustöitä ja jatkaa seuranta suoritettavien rakennustöiden ajan. Tutkimuksista saatavan tiedon perusteella on mahdollista laskea arvio rakennusvesien aiheuttamasta ravinne- ja kiintoainekuormituksesta Rauhalinnanojaan. Tutkimuksia jatketaan, kunnes alue valmistuu.

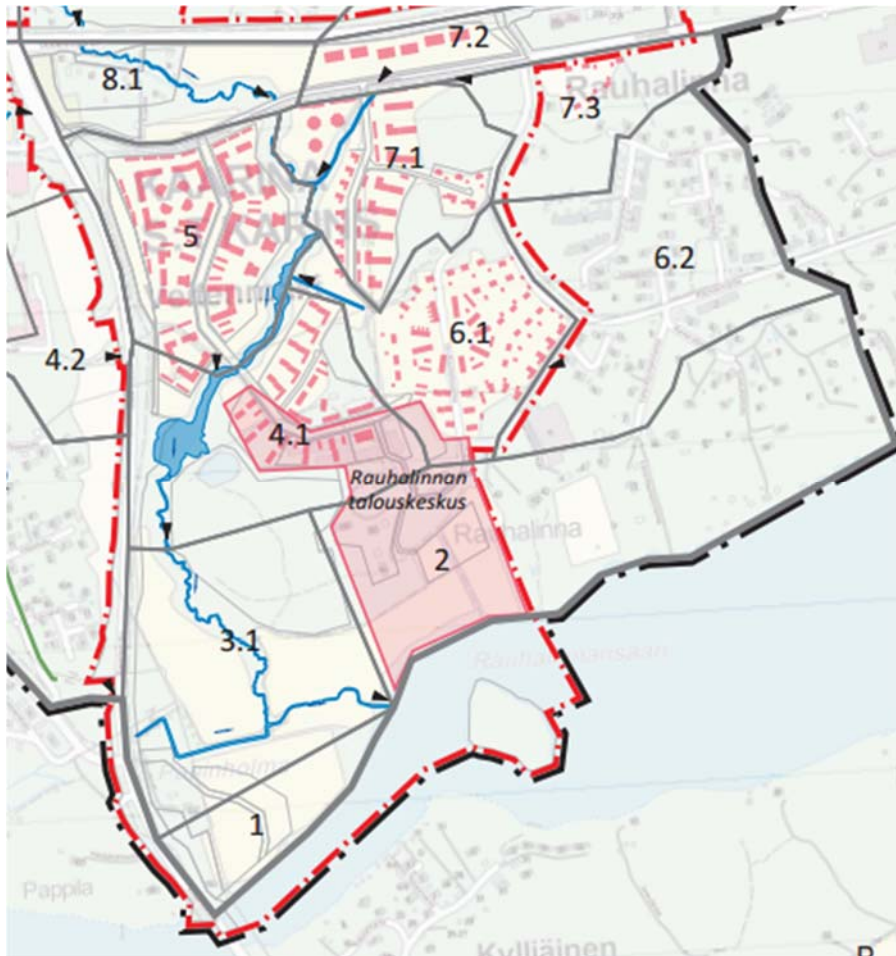
Rakentaminen alueella alkoi maaliskuussa 2015, joten tuloksista on nähtävissä kunnallistekniikan ja katujen rakentamisen vaikutukset valuntavesien laatuun. Opinnäytteessä arvioinnin kohteena on rakennustyömaan aiheuttama fosfori- ja kiintoainekuormitus Rauhalinnanojassa. Opinnäytteessä tullaan myös tarkastelemaan Rauhalinnanojaan elokuussa 2015 rakennettujen suodatuspatojen toimintaa käytännössä. Turun Ammattikorkeakoulun Vesitekniikan tutkimusryhmän mitta-asema sijaitsee Ladjakoskenpuron sivuhaarassa (kuva 6), josta käytetään opinnäytetyössä nimitystä Rauhalinnanoja.



Kuva 6. Mitta-aseman sijainti kartalla. (Turun Opaskartta, Kiinteistöliikelaitos. 30.9.2015.)

4.1 Valuma-alueen kuvaus

Rauhalinnanojan valuma-alueen pinta-ala on 27 ha (Sito 2014) ja se jakautuu maankäytöltään kolmeen osaan. Alueen länsipuoli on ennen rakennustöiden alkua ollut viljelyskäytössä olevaa peltoaluetta. Itään rajautuvalla puolella on jo olemassa olevaa pien- ja rivitaloasutusta ja osittain näiden kahden alueen väliin sekä valuma-alueen reunamille jää luonnontilaista kallio- ja metsäaluetta. Karkeasti voidaan todeta, että Rauhalinnantie Rahkasammaleenkadulle asti toimii maankäytön osalta rakennetun ja rakennettavan alueen jakajana. Kuvassa 7. esitetyssä kartassa rakennettava alue sijoittuu alueelle 6.1. Jo valmis asuinalue, joka kuuluu Rauhalinnanojan valuma-alueeseen, sijaitsee kuvassa alueella 6.2. Valuma-alueella läpäisemättömän pinnan kokonaismäärä (TIA, total impervious area) rakennettavalla alueella ennen rakennustöiden aloitusta oli 19 % ja Rauhalinnanojan valuma-alueeseen kuuluvalla jo rakennetulla alueella 37 % (Sito 2014). Alueelle suoritettavien rakennustöiden arvioidaan kaksinkertaistavan läpäisemättömän pinta-alan määrän 38 %:iin alueella 6.1, valmiille alueelle 6.2 muutoksia ei kohdistu (Sito 2014). Valuma-alueella hulevedet johdetaan pääasiassa hulevesiviemäreissä, jonka lisäksi alueella on pieniä avo-ojia.



Kuva 7. Ote hulevesien hallinnan tarvearviosta. Alueet 6.1 ja 6.2 muodostavat Rauhalinnanojan valuma-alueen. (Sito 2014.)

Maaperältään alue koostuu koheesiomaalajeista, pääasiassa savesta. Savipatjan paksuus Rauhalinnantien ja Iso-Rauhalinnantien väliin jäävällä alueella on 5-10 metriä, paikoitellen jopa 15 metriä (Kaarinan kaupunki 2014). Maastonmuodoiltaan alue on melko tasaista, korkeusero korkeimman kalliohuipun ja matalimman peltoalueen välillä on 20 metriä ja pinta-alaltaan yli 25 metriä merenpinnasta olevat alueet ovat pieniä. Topografian ollessa pääasiassa tasainen, alueella ei sijaitse erityisen eroosioherkkiä kohteita. Itse Rauhalinnanojan runsas järviruokokasvusto vähentää uoman eroosioriskiä (kuva 8).



Kuva 8. Rauhalinnanoja kuvattuna Saaristotietä kohti. (Kuva: Heidi Nurminen)

4.2 Tutkimusmenetelmät

Rauhalinnassa pinnankorkeutta mitataan kaksi kertaa tunnissa 12.11.2014 alkaen Keller DCX-22 (VG) –pinnankorkeusanturilla (kuva 9). Keller –pinnankorkeusanturi mittaa pinnankorkeuden painevaihtelun avulla, lisäksi pinnankorkeusanturi mittaa veden lämpötilaa. Rauhalinnanojaan on sijoitettu 120 asteen v-pato, jolloin pinnankorkeustiedosta on mahdollista laskea virtaama Thompsonin padon laskentakaavalla:

$$Q = 0,0236\mu \tan \frac{\theta}{2} h^{5/2}, \text{ jossa}$$

Q = virtaama padon yli [l/s]

μ = purkautumisvakio [0,6]

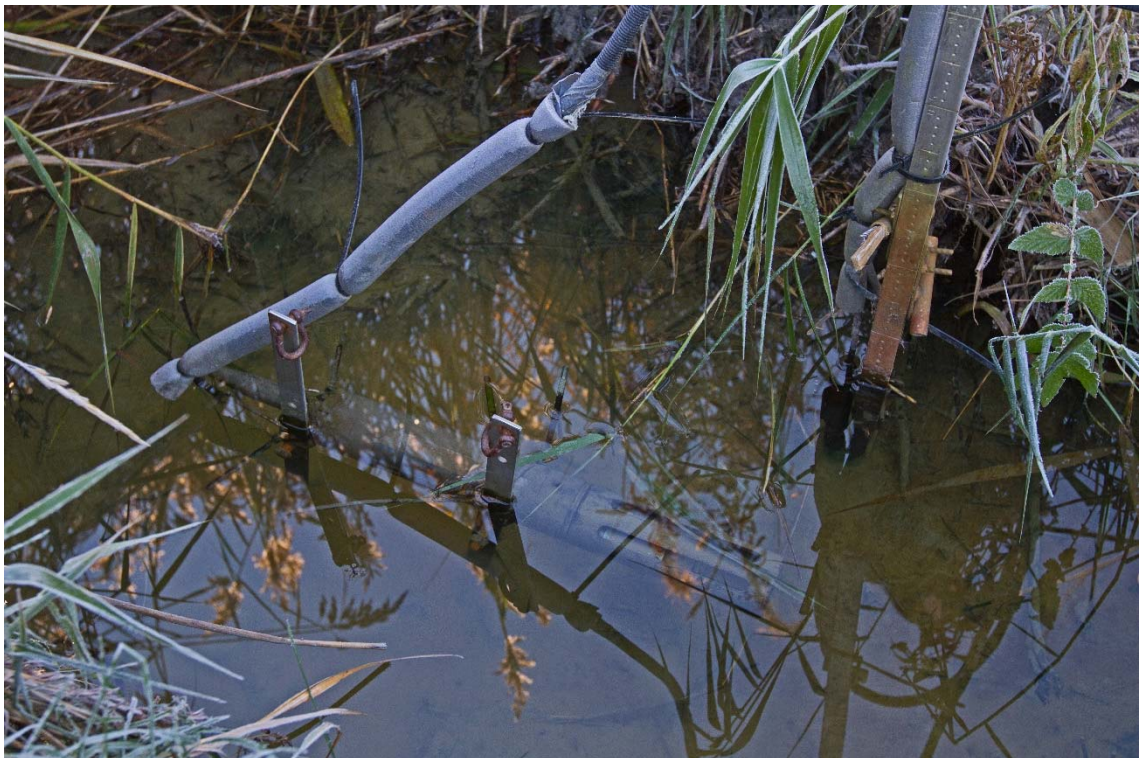
θ = purkautumisaukon kulma [120°]

h = veden korkeus patoaukon pohjasta [cm]

(Kupiainen 2010, 31–32)

Vedenlaadun seuranta Rauhalinnassa suoritetaan YSI 6600 –sarjan moniparametriaanturilla, jolla mitataan viittä eri parametria kaksi kertaa tunnissa (kuva 9). Nämä parametrit ovat: lämpötila (°C), pH, sameus (NTU),

sähkönjohtokyky (mS/cm) ja happi (mg/l ja %). YSI-moniparametrianhuri on sijoitettuna Rauhalinnanojaan pinnankorkeusanturin läheisyyteen. Lisäksi Rauhalinnanojasta on otettu vesinäytteitä 11.12.2014 alkaen. Näytteet analysoitiin Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:n (LSVSY) akkreditoidussa laboratoriossa. Näytteistä analysoitiin kiintoaine nuclepore 0,4 µm suodatuksella (laboratorion sisäinen menetelmä A06), kokonaisfosfori (Lachat QuickChem menetelmä 10–115-01) sekä kokonaistyyppi (Lachat QuickChem menetelmä 10–115-01).

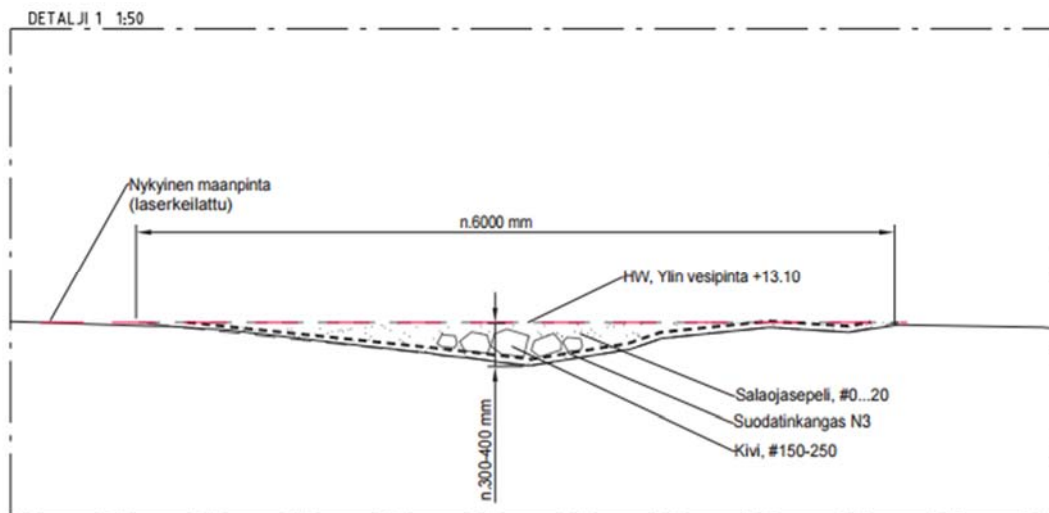


Kuva 9. Mitta-asemalla YSI-moniparametrianhuri ja Keller-pinnankorkeusanturi. (Kuva: Jussi Laaksonlaita)

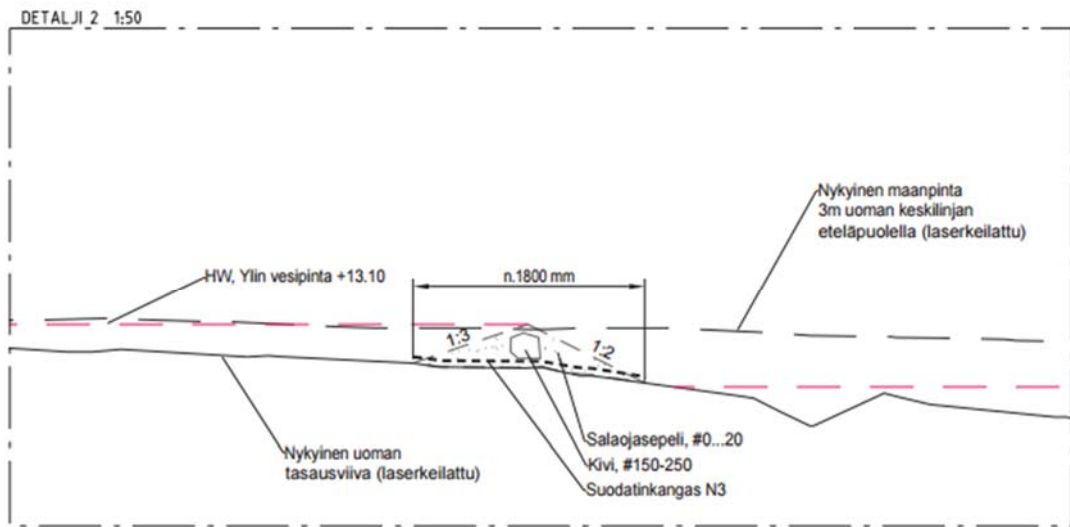
4.3 Kuormituksen hallintakeinot alueella

Rakennustöiden aloituksen aikaan alueella ei ollut käytössä rakennusvesien kuormitukseen kohdistuvia hallintakeinoja. Vuoden 2015 elokuussa 19.-25. päivien välillä Rauhalinnanojaan rakennettiin neljä suodatuspatoa, joiden avulla pyritään hidastamaan virtaamaa ja suodattamaan vedestä kiintoainesta.

Padoista kolme ensimmäistä, yläjuoksulta katsottuna, rakennettiin samalla tavalla (kuvat 10, 11 ja 12). Pohjalle asetettiin suodatinkangas, jonka päälle ladottiin kiviä sekä salaojasepeliä. Pinta tasattiin vastaamaan laskennallista ylintä vesipintaa kullakin padolla. Viimeinen suodatuspato rakennettiin asentamalla suodatinkangas, jonka päälle läjitettiin salaojasepeliä (kuvat 13, 14 ja 15). Rakenne stabiloitiin puupaalutuksella, johon asetetulla suodatinkankaalla lisättiin padon kiintoaineksen pidätyskykyä. Puupaalutuksen ylle jätettiin ylivuotokynnys, josta suurien sadantapahtumien aikana vesimassat pääsevät kulkemaan rakennelman yli. Padon molemmille puolille sijoitettiin vettä pidättävät maavallit, jotka tulvatilanteissa estävät veden kiertämisen varsinaisen patorakennelman ympäri. Padot rakennettiin käyttäen yleisiä mitoitusperiaatteita. (Sito 2014.)



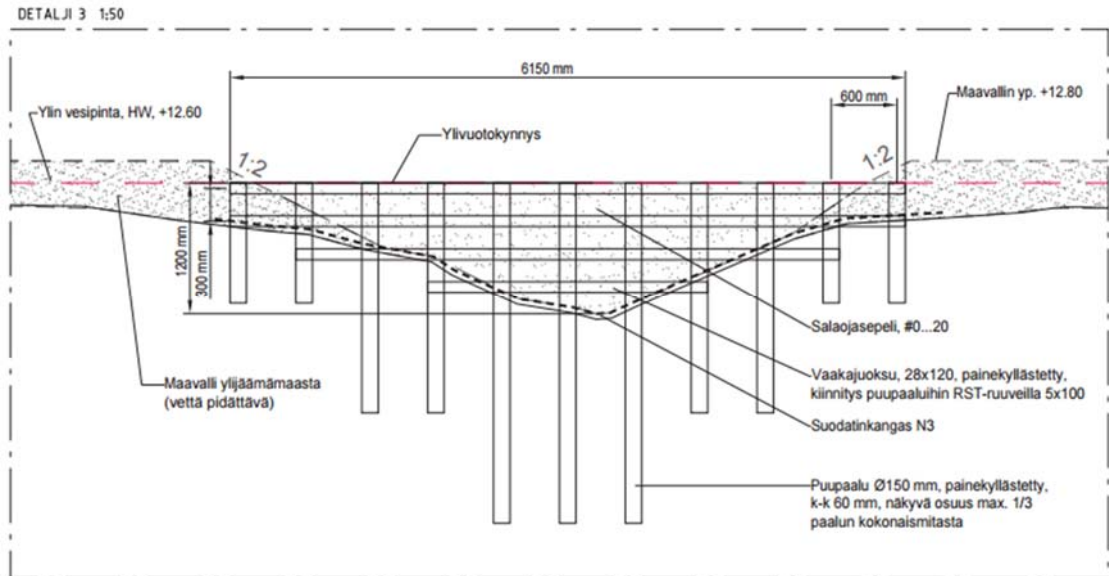
Kuva 10. Suunnittelu- ja rakennuspiirros suodatuspadon poikkileikkauksesta. (Sito 2014.)



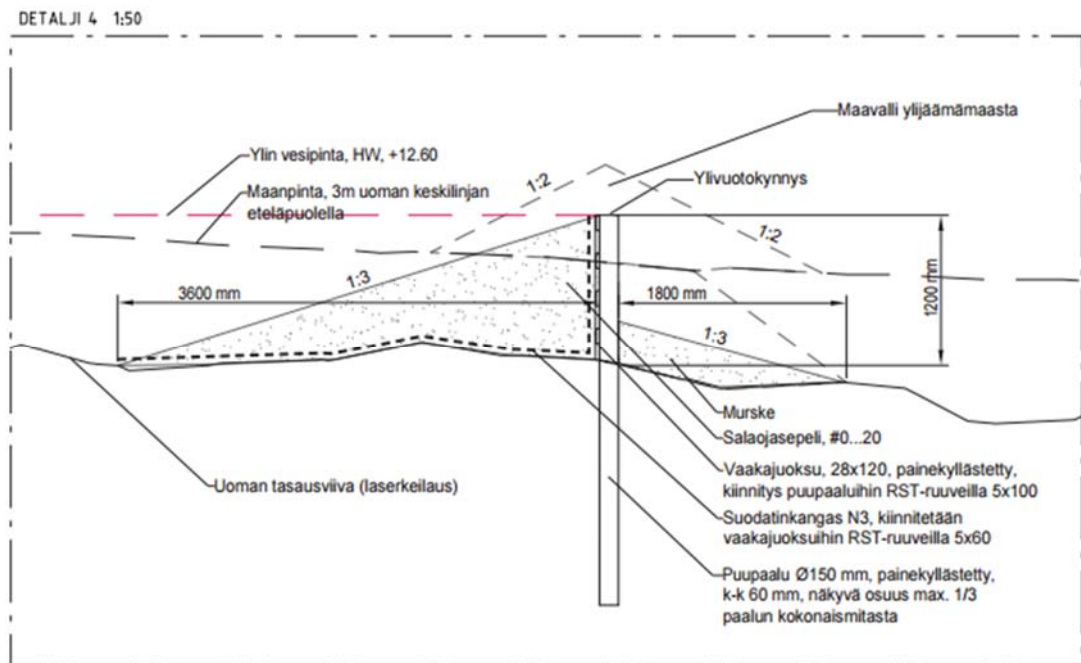
Kuva 11. Suunnittelupiirros suodatuspadosta pituussuunnasta. (Sito 2014.)



Kuva 12. Rauhalinnanojan suodatuspato. (Kuva: Jussi Laaksonlaita)



Kuva 13. Suunnittelupiirros viimeisen suodatuspäädön poikkileikkäuksesta. (Sito 2014.)



Kuva 14. Suunnittelupiirros viimeisestä suodatuspäädöstä pituussuunnasta. (Sito 2014.)



Kuva 15. Rauhalinnanojan viimeinen patorakennelma sekä maasuojavallit. (Kuva: Heidi Nurminen)

Rauhalinnanojan suodatuspatojen toteutus tapahtui kuormituksen kannalta myöhäisessä vaiheessa. Patojen valmistuessa alueella suoritettujen kunnallistekniikantyöiden olivat jo päättyneet ja vähäsateisen syksyn takia suodatuspatojen toiminnan arviointi perustuu ainoastaan yhteen näytteenottokertaan.

Patojen rakennuksen jälkeen uomassa virtaavan veden määrä väheni, rakennelmien padotessa vettä erityisesti pienten virtaamien aikana. Padottunut vesi purkautui hitaasti suotautuen rakennelmien läpi pienten virtaamien aikana. Patojen valmistumisen jälkeen ensimmäisen sadetapahtuman yhteydessä virtaaman aiheuttama eroosio kulutti rakennelmiin lisättyä salaojasepeliä (kuva 16). Tämän voidaan katsoa jatkossa mahdollisesti heikentävän patojen kykyä suodattaa kiintoainesta.



Kuva 16. Rauhalinnanojan viimeinen suodatuspato 18.9.2015 sadetapahtuman jälkeen. Padon yli kulkenut virtaama kulutti patorakennetta, jolloin perustuksissa käytetyt kivet ja suodatinkangas paljastui. (Kuva: Jussi Laaksonlaita)

18.9.2015 suoritetussa näytteenotossa vesinäyte otettiin myös ennen suodatuspatoja. Näytteissä kiintoaineksen ja kokonaisfosforin pitoisuudet olivat suuremmat kuin mitta-asemalta 18.9.2015 otetussa näytteessä, joiden tulokset esitetään taulukossa 1. Valuma-alueelta tulevan purkuputken ja suodatuspatojen välissä tapahtuva lisäys kiintoaineen ja kokonaisfosforin määrässä voidaan katsoa aiheutuvan uoman virtaaman siirtymisestä patojen vaikutuksesta. Sadetapahtuman yhteydessä Rauhalinnanojan virtaama siirtyi patoamisen seurauksena viereiselle pellolle. Suuri osa uoman vesimassasta kulkeutui suoraan viimeisen suodatuspadon yli, jolloin pellon suojaamattomasta maa-aineksesta virran mukana irronneet partikkelit mahdollisesti siirtyivät sellaisenaan mitta-asemalle. Pienempien virtaamien aikana vesi suodattuu patorakenteiden lävitse, jolloin rakenteiden voidaan olettaa toimivan kiintoainetta pidättävinä.

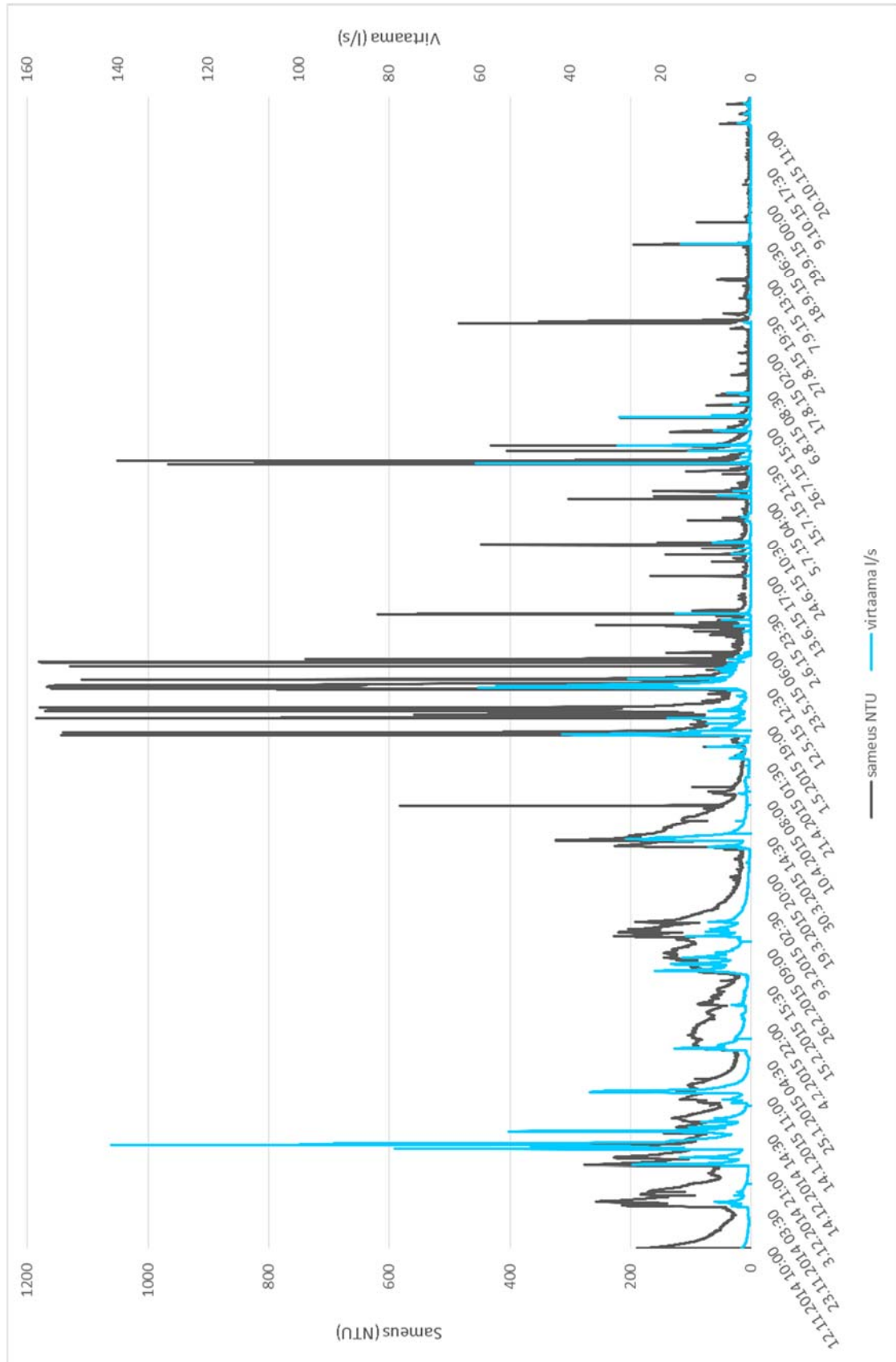
Seuranta suodatuspatojen vaikutuksista Rauhalinnanojan vedenlaatuun tullaan jatkamaan myös opinnäytetyön vertailujakson jälkeen.

4.4 Tutkimustulokset

Mitta-asemalla sijaitsevan YSI-anturin ja Keller DCX-pinnakorkeusanturin mittaustuloksista on mahdollista tehdä johtopäätöksiä Rauhalinnanojan sameuden ja virtaaman kehityksestä seurantajaksoilla. Yhdistämällä nämä kaksi kuvaajaa, voidaan nähdä virtaaman kokoluokan vaikutuksia uoman vesimassassa esiintyvään sameuteen (kuvio 1). Rauhalinnanojasta mitta-asemalta otettiin vertailujakson aikana neljä vesinäytettä, joista analysoitiin kiintoaine sekä kokonaisfosfori. Viimeisellä näytteenottokerralla vesinäyte otettiin myös ennen suodatuspatoja, jolloin on mahdollista nähdä patorakenteiden vaikutus uoman vedenlaatuun.

4.4.1 Virtaaman seuranta

Rauhalinnanojan valuntaolosuhteet muuttuivat seurantajakson aikana rakennustöiden vaikutuksesta. Alueen heinittyneet pellot raivattiin ja kaivutyöt aloitettiin maaliskuun lopussa, mikä on nähtävissä Rauhalinnanojan lisääntyneenä sameutena. Valuntaolosuhteiden muutoksen voidaan olettaa aiheuttavan muutokset virtaamien käytöksessä. Ennen toukokuun 2015 loppua virtaamat kasvoivat sadetapahtumien alussa nopeasti. Saavutettuaan huippuvirtaaman pinnankorkeus uomassa laskee usein hitaasti vasta useamman päivän kuluessa sadetta edeltävälle tasolle. Alueen muokkaustöiden jälkeen 23.5.2015 on havaittavissa valuntatapahtumien muuttuminen nopeammaksi, mikä kertoo maaston vedenpidätyskyvyn heikkenemisestä. Sadetapahtuman alussa virtaama kasvaa nopeasti ja sateen loppumisen jälkeen virtaama myös laskee hyvin äkkiä verrattuna aiempaan. Alueella esiintyneen sadannan määrästä on kerätty mittaustietoa vasta 17.8.2015 alkaen, jolloin sadantietoa alueelta ei tässä opinnäytetyössä käytetyltä vertailujaksolta ole saatavissa.



Kuvio 1. Rauhalinnanojan virtaama (l/s) ja sameus (NTU) vertailujaksolla.

4.4.2 Vedenlaadun seuranta

Muutokset uoman veden sameudessa ovat sidoksissa alueella tapahtuneisiin kaivu- ja maanmuokkaustöihin. Tutkimusryhmän alueella suorittamien kenttätöiden yhteydessä havaittiin kaivutöiden alkaneen maaliskuun 2015 lopulla. Tämän jälkeen mitatuissa sameusarvoissa on havaittavissa kasvaneita pitoisuuksia ja suuria vaihteluja verrattuna aiempaan. Samennus uomassa kulkevassa vedessä jää erityisesti toukokuussa 2015 sadetapahtumien loppumisenkin jälkeen korkealle tasolle.

Jaksolla 12.11.2014-12.3.2015 ennen rakennustöiden alkua sameusarvot ylittivät 300 NTU yhden mittauksen aikana. Samanpituisella jaksolla 13.3.–12.7.2015, jolloin rakennustyöt olivat käynnissä, yli 300 NTU sameusarvoista tehtiin 270 havaintoa. Näistä 92 arvoa ylittivät 1000 NTU, jota voidaan pitää erittäin suurena samennuksena uoman vedessä (kuvio 1). Pienillä virtaamilla Rauhalinnanojan tyypillinen sameus on 5-10 NTU, jolloin uoman vesi silmämääräisesti näyttää kirkkaalta.

Rakennustyömaalta tulevan kiintoaineksen määrän voidaan katsoa olleen erityisesti kevään ja kesän aikana korkea. Laboratoriossa analysoiduista vesinäytteistä 13.5.2015 todettu 2400 mg/l oleva kiintoainepitoisuus on kymmenkertainen verrattuna näytteistä saatuihin arvoihin ennen rakennustöiden aloitusta (taulukko 1). Rauhalinnanojasta otetuissa vesinäytteissä myös kokonaisfosforin määrät ovat olleet vertailujaksolla hyvin suuria. Ympäristöhallinnon pintavesien tilan arviointiohjeen mukaan savimailla sijaitsevien pienten jokien fosforipitoisuuksien katsotaan olevan jo 130 µg/l pitoisuuksilla välttävää tai huonoa tasoa (taulukko 2) (Aroviita ym. 2012, 50). Kevään rakennustöiden vaikutus kokonaisfosforin määrään uomassa kulkevassa vedessä oli huomattava, ja sen voidaan katsoa aiheutuvan rakennusveden suuresta kiintoainekuormituksesta. Toisaalta jo ennen rakennustoimia otetuissa vesinäytteissä kokonaisfosforin määrä on ollut korkea, mikä viittaa alueella luontaisesti esiintyvään maaperän suureen fosforipitoisuuteen. 18.9.2015

suoritetun näytteenoton yhteydessä vesinäyte otettiin myös ennen suodatuspatoja (taulukko 1).

Taulukko 1. Ylempänä Rauhalinnanojasta mitta-asemalta otettujen vesinäytteiden kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuudet. Alla 18.9.2015 9:35 ennen suodatuspatoja otetun vesinäytteen pitoisuudet.

Näytteenotto päivämäärä, kellonaika	Kiintoaine (mg/l)	Kokonaisfosfori (µg/l)
11.11.2014 0:00	250	780
11.12.2014 7:45	180	590
13.5.2015 12:44	2400	3500
18.9.2015 9:30	350	600

18.9.2015 9:35	230	410
----------------	-----	-----

Taulukko 2. Ympäristöhallinnon ohje pienten savimailla sijaitsevien jokien veden kokonaisfosfori pitoisuuteen. (Aroviita ym. 2012, 50.)

Erinomainen/hyvä (µg/l)	Hyvä/Tyydyttävä (µg/l)	Tyydyttävä/Välttävä (µg/l)	Välttävä/Huono (µg/l)
40	60	100	130

Tukholman veden laatimassa hulevesien laatuluokituksessa asetetaan raja-arvot, joita hulevesien kuormituksen ei tulisi ylittää pienissä uomissa (taulukko 3). Rauhalinnanojasta otetuista vesinäytteistä kaikki ilmoitetut arvot ylittyvät moninkertaisesti. Laadultaan parhaimmassakin vesinäytteessä, joka otettiin 11.12.2014, kokonaisfosforin määrä ylittää yli kolminkertaisesti suositellun raja-arvon ja kiintoaineksen määrän osalta ylitys on 4,5-kertainen.

Taulukko 3. Vedenlaadun luokitus Tukholman veden pienille vesistöille määrittämien raja-arvojen mukaan. (Regioplane- och traffikkonturet 2009, 11.)

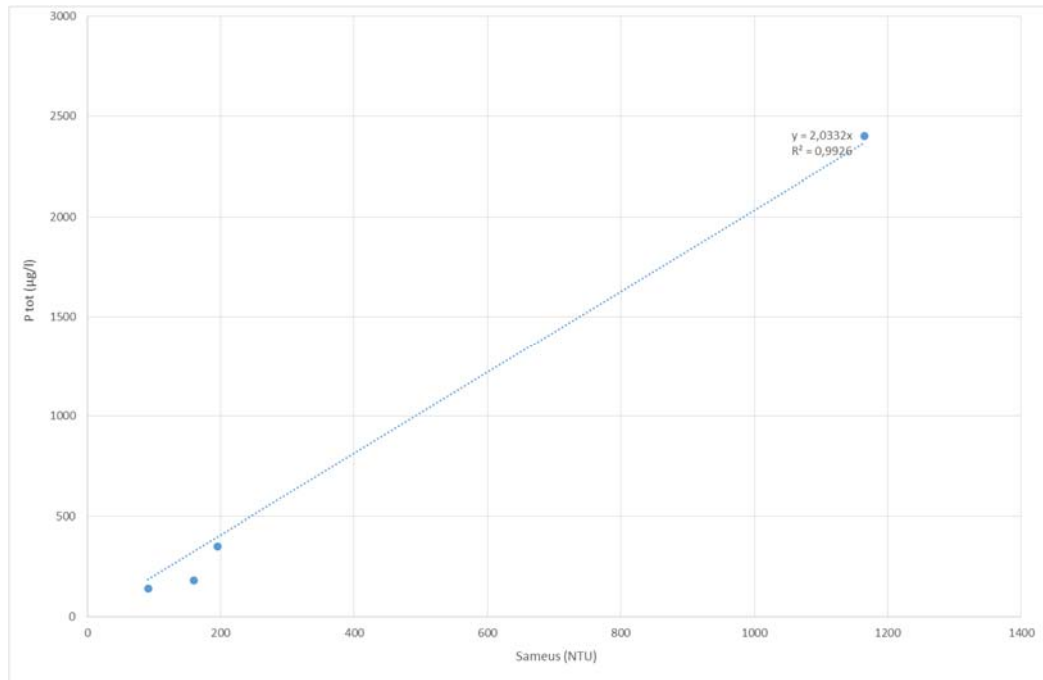
Kokonaisfosfori (µg/l)	Kokonaistyyppi (µg/l)	Kiintoaine (mg/l)
160	2000	40

4.4.3 Kokonaiskuormitus

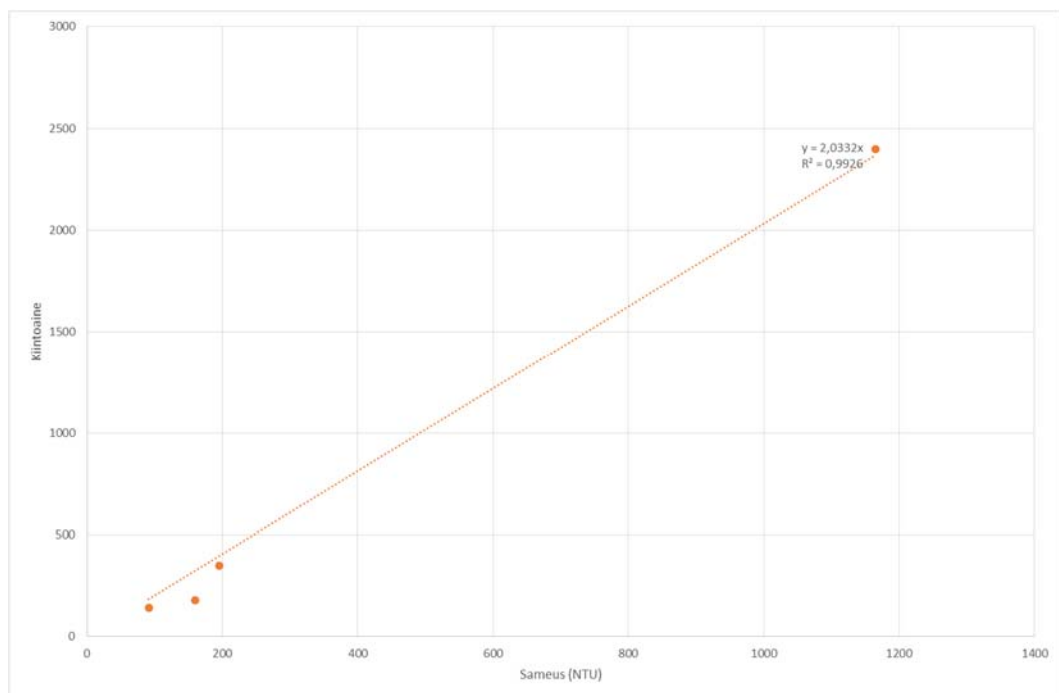
Rauhalinnanojan valuma-alueen kokonaiskuormitus laskettiin fosfori- ja kiintoainekuormituksen osalta. Näytteiden pienen lukumäärän vuoksi laskelmia ei voida pitää tilastollisesti luotettavina, mutta niillä on mahdollista osoittaa aiheutuneen kuormituksen kokoluokkaa.

Havaittu korrelaatio kokonaisfosforin ja YSI-anturilta saadun sameusarvon välillä oli merkitsevä (0,99) (kuvio 2). Myös vesinäytteiden kiintoaineen ja YSI-anturin sameusarvon välillä oli positiivinen ja merkitsevä (0,99) (kuvio 3). Näytepisteet eivät jakaudu tasaisesti vaihteluvälille, mistä johtuen tuloksia ei voida pitää luotettavina (kuvio 2 ja 3).

Vuonna 2007 Lepsämänjoella suoritetuissa tutkimuksissa havaittiin YSI-anturilta saadun sameusarvon ja kokonaisfosforin selityssasteeksi 0,92. Sameuden ja kiintoaineen välillä selityssaste oli 0,99. Tutkimuksessa käytettyjen näytteiden määrä oli 24 kpl. Alueena Lepsämänjoki on Rauhalinnanojan kaltainen savimainen peltoalue. Sameuden ja kiintoaineen voimakkaan korrelaation voidaan katsoa johtavan myös kokonaisfosforin ja sameuden väliseen korrelaatioon, fosforin sitoutuessa voimakkaasti savihiukkasten alumiini- ja rautayhdisteisiin. Näin voidaan todeta kokonaisfosforipitoisuuksien ja kiintoainepitoisuuksien korreloivan yleisesti savimailla sameuden kanssa. (Valkama ym. 2007, 200-202.)



Kuvio 2. Rauhalinnanojan vesinäytteiden kokonaisfosforin ja YSI sameuden välinen korrelaatio.



Kuvio 3. Rauhalinnanojan vesinäytteiden kiintoainepitoisuuden ja YSI sameuden välinen korrelaatio.

Lineaaristen funktioiden perusteella Rauhalinnanojan kuormitus laskettiin virtaamapainotteisesti kokonaisfosforin ja kiintoaineen osalta. Seurantajaksolla oli 352 päivää ja kuormitus laskettiin näiden arvojen pohjalta koko vuoden jaksolle.

Kokonaisfosforikuormitus Rauhalinnanojan valuma-alueelta oli noin 40kg/a ja kiintoainekuormitus hieman alle 30 000 kg/a. Laskennallinen kokonaisfosforikuormitus muutettuna kuormitukseksi neliökilometriä kohden Rauhalinnanojassa oli 150 kg/km²/a ja kiintoainekuormitus 100 000 kg/km²/a.

Seurantajaksolla ennen rakennustöiden aloitusta kokonaisfosforipitoisuus oli hieman alle 400 µg/l ja kiintoainepitoisuus 250 mg/l. Kevään ja kesän 2015 aikana rakennustöiden ollessa käynnissä kuormitus kasvoi lähes kolminkertaiseksi. Kokonaisfosforipitoisuus rakennustöiden aikana oli hieman yli 1 000 µg/l ja kiintoainepitoisuus lähes 750 mg/l.

Espoossa suoritetussa tutkimuksessa (kappale 2) vertailualueena käytettiin valmista pientaloaluetta. Kokonaisfosforipitoisuudet tältä alueelta olivat keskimäärin 110 µg/l ja kiintoainepitoisuus keskimäärin 68,2 mg/l. Rauhalinnanojaan rakennustöiden aikana kohdistuva kuormitus on lähes kymmenkertainen näihin arvoihin nähden. (Sillanpää 2013, 76.)

5 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Hulevesien hallinnan suunnittelusta määrätään lainsäädännössä, mutta usein se ei ulotu koskemaan rakennusaikaisia vesistövaikutuksia. Kuitenkin rakennusvesien aiheuttama kuormitus on hyvin merkittävä, kuten kappaleessa kaksi todetaan. Rakentajille erityisesti Suomen olosuhteisiin suunnatun yhtenäisen ohjeistuksen kokoaminen, ja rakennusvesien hallintasuunnitelmien vaatiminen osana työmaiden lupakäytäntöjä, ohjaisi rakennusvesien kuormituksen hallintaa työmaasuunnittelun kiinteäksi osaksi. Hyviä rakennusvesien kuormituksen hallinnan ohjeita on laadittu esimerkiksi Yhdysvalloissa Environmental Protection Agencyn toimesta vuonna 2007, joista ”*Developing your stormwater pollution prevention plan, A guide for construction sites*” olisi hyvä malliesimerkki Suomen oppaan laatimiseen.

Kuormituksen hallintakeinojen suunnittelun aloitus mahdollisimman aikaisessa vaiheessa työmaasuunnittelun yhteydessä on lopputuloksen kannalta olennaista. Rakennustyömailla suurin kuormitus ajoittuu yleensä työmaan aloituksen yhteyteen, jolloin maanmuokkaustoimista aiheutuva maaperän eroosioherkkyys lisää kiintoaineen määrää valuntavesissä. Parhaat tulokset on mahdollista saavuttaa hallintakeinojen etupainotteisella rakentamisella, mutta pienilläkin toimilla on mahdollista saavuttaa merkittäviä vaikutuksia. Eniten huomiota tulisi kiinnittää maaperän eroosion estämiseen työmaasuunnittelun keinoilla.

Rauhalinnassa suurimpien ravinne- ja kiintoainekuormitusten yhteydessä keväällä 2015 alueella ei ollut minkäänlaisia rakenteita, jotka olisivat vähentäneet Rauhalinnanojaan kohdistuvaa kuormitusta. Rakennustyömaan alkuvaiheessa koko alueen kattavat kaivutyöt aiheuttivat merkittävää samennusta ja lisääntyntä ravinne- ja kiintoainekuormitusta Rauhalinnanojassa. Saadut virtaamapainotetut kuormituslaskelmat osoittavat kokonaisfosforin kuormituksen olleen vuoden jaksolla Rauhalinnanojassa lähes kolminkertainen ja kiintoainekuormituksen kaksinkertainen, verrattuna kappaleessa kaksi esitettyihin Espoon rakennustyömaalla suoritettuihin tutkimuksiin.

Rakennustöiden jaksottamisella ja muokatun maaperän suojaustoimilla suurinta kuormitusta olisi voinut olla mahdollista ehkäistä.

Verratessa rakennustöiden aikaisia kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuuksia Rauhalinnanojassa valmiilta pientaloalueelta saatuihin tuloksiin on ero lähes kymmenkertainen. Tämä korostaa rakennusvesien kuormituksen hallinnan roolia, vaikka kyseessä olisikin vain lyhytaikainen työmaa. Samoilla virtaamilla rakennustyömaalta esimerkiksi kuukaudessa aiheutuvan kuormituksen kertymiseen menisi pientaloalueelta lähes vuosi.

Rakennettujen suodatuspatojen toiminnan arviointi perustui havainnointiin sekä yhteen näytteenottokertaan. Kappaleessa neljä esitetyistä näytetuloksissa ravinteiden ja kiintoaineen määrä ennen patorakennelmia oli pienempi, kuin patorakennelmien jälkeen otetussa näytteessä. Koska tuloksia ei ole saatavilla kuin yhdestä näytteenottokerrasta voi kyseessä olla yksittäistapaus. Patorakenteiden suodattavan aineksen kulumisen sadetapahtumien yhteydessä saattaa kuitenkin jatkossa vaikuttaa rakenteiden kykyyn vähentää kiintoainekuormitusta.

Opinnäytetyöprosessin aikana tehdyissä selvitystöissä useat eri tahot ovat osoittaneet kiinnostustaan rakennusvesien kuormitukseen liittyviä ongelmia kohtaan. Hulevesien hallinnan kysymykset ovat jo vakiinnuttaneet asemansa aluesuunnittelussa ja tulevaisuuden kehitys rakennusvesien huomioimisessa toivottavasti tulee olemaan samansuuntainen. Rakennusvesien liittäminen kiinteäksi osaksi hulevesiä koskevaan lainsäädäntöön edesauttaisi hallintakeinojen laajempaa käyttöä rakennustyömaiden suunnittelussa.

LÄHTEET

Aroviita Jukka, Hellsten Seppo, Jyväsjärvi Jussi, Järvenpää Lasse, Järvinen Marko, Karjalainen Satu Maaria, Kauppila Pirkko, Keto Antton, Kuoppala Minna, Manni Kati, Mannio Jaakko, Mitikka Sari, Olin Mikko, Perus Jens, Pilke Ansa, Rask Martti, Riihimäki Juha, Ruuskanen Ari, Siimes Katri, Sutela Tapio, Vehanen Teppo ja Vuori Kari-Matti, 2012. Ohje pintavesien ekologisen ja kemiallisen tilan luokitteluun vuosille 2012-2013 –päivitetyt arviointiperusteet ja niiden soveltaminen. Helsinki.

Aura Erkki, Rätty Mari, Saarela Katariina, 2006. Savimaiden eroosio. Jokioinen: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus.

Burton Allen & Pitt Robert, 2002. Stormwater effects handbook. United States: Lewis Publishers

EPA. Environmental Protection Agency, 2005. Stormwater Phase II Final Rule. United States.

EPA. Environmental Protection Agency, 2007. Developing your stormwater pollution prevention plan: A guide for construction sites. United States.

EPA. Environmental Protection Agency, 2015. Stormwater wetland. Viitattu 27.10.2015 <http://water.epa.gov/polwaste/npdes/swbmp/Stormwater-Wetland.cfm>

Helsingin kaupunki, 2013. Helsingin kaupungin työmaavesiohje. Viitattu 2.11.2015 <http://www.hel.fi/hel2/ymk/julkaisut/oppaat/Tyomaavesiohje.pdf>

Kaarinan kaupunki, 2014. Rauhalinnan kairaukset: Kaava-alueen geotekniset ominaisuudet. Viitattu 9.10.2015 https://www.kaarina.fi/asuminen_rakentaminen/tontit/omakotitontit/jatkuvahaku/fi_FI/rauhalinna/_files/93532905914630212/default/Rauhalinna%20kairaukset.pdf

Kaarinan kaupunki, 2015. Voivalan osayleiskaavan muutos Rauhalinnassa. Viitattu 27.5.2015 https://www.kaarina.fi/kaavat_ja_kiinteistot/kaavoitus/vireilla_olevat_kaavat/Voivalan_osayleiskaavan_muutos/fi_FI/Voivalan_osayleiskaavan_muutos/

Kaarinan kaupunki, 2015a. Rauhalinnan osayleiskaava 1:5000. Kaarinan kaupungin ympäristöpalvelut.

Kotola Jyrki & Nurminen Jyrki, 2003. Kaupunkialueiden hydrologia – valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla osa 2: koealuetutkimus. Espoo: Otamedia Oy.

Kotola Jyrki & Nurminen Jyrki, 2003a. Kaupunkialueiden hydrologia – valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla osa 1: kirjallisuustutkimus. Espoo: Otamedia Oy.

Kuntaliitto, 2012. Hulevesiopas. Helsinki.

Kupiainen Virve, 2010. Pohjaveden purkautuminen metsäojiin Rokuan harjualueella ja ojan kunnostus padottamalla. Diplomityö. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Oulu: Oulun yliopisto.

Laukkanen Risto & Melanen Matti, 1980. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja: Urban storm runoff quality and its dependence on some rainfall and catchment characteristics. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

MRL, Maankäyttö- ja rakennuslaki 22.8.2014/682.

Mettinen Aki & Valjus Jorma, 2014. Siuntionjoen vesistön yhteistarkkailu vuonna 2013. Karkkila: Harriprint Tmi.

Regionplane- och trafikkontoret 2009. Förslag till riktvärden för dagvattenutsläpp. Regionala dagvattennätverket i Stockholms län.

RT 89-10998 2010. Kasvillisuusalueiden maatyöt. Rakennustietosäätiö RTS.

Sillanpää Nora 2013. Effects of suburban development on runoff generation and water quality. Väitöskirja. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Helsinki: Aalto-yliopisto.

Sito 2014. Antti-Jaakko Koskenniemi. Henkilökohtainen tiedonanto 9.11.2015.

Turun Ammattikorkeakoulu, 2015. Rauhalinnasta hulevesien mallialue. Viitattu 17.9.2015
<http://www.turkuamk.fi/fi/tutkimus-kehitys-ja-innovaatiot/hae-projekteja/rauhalinnasta-hulevesien-mallialue>

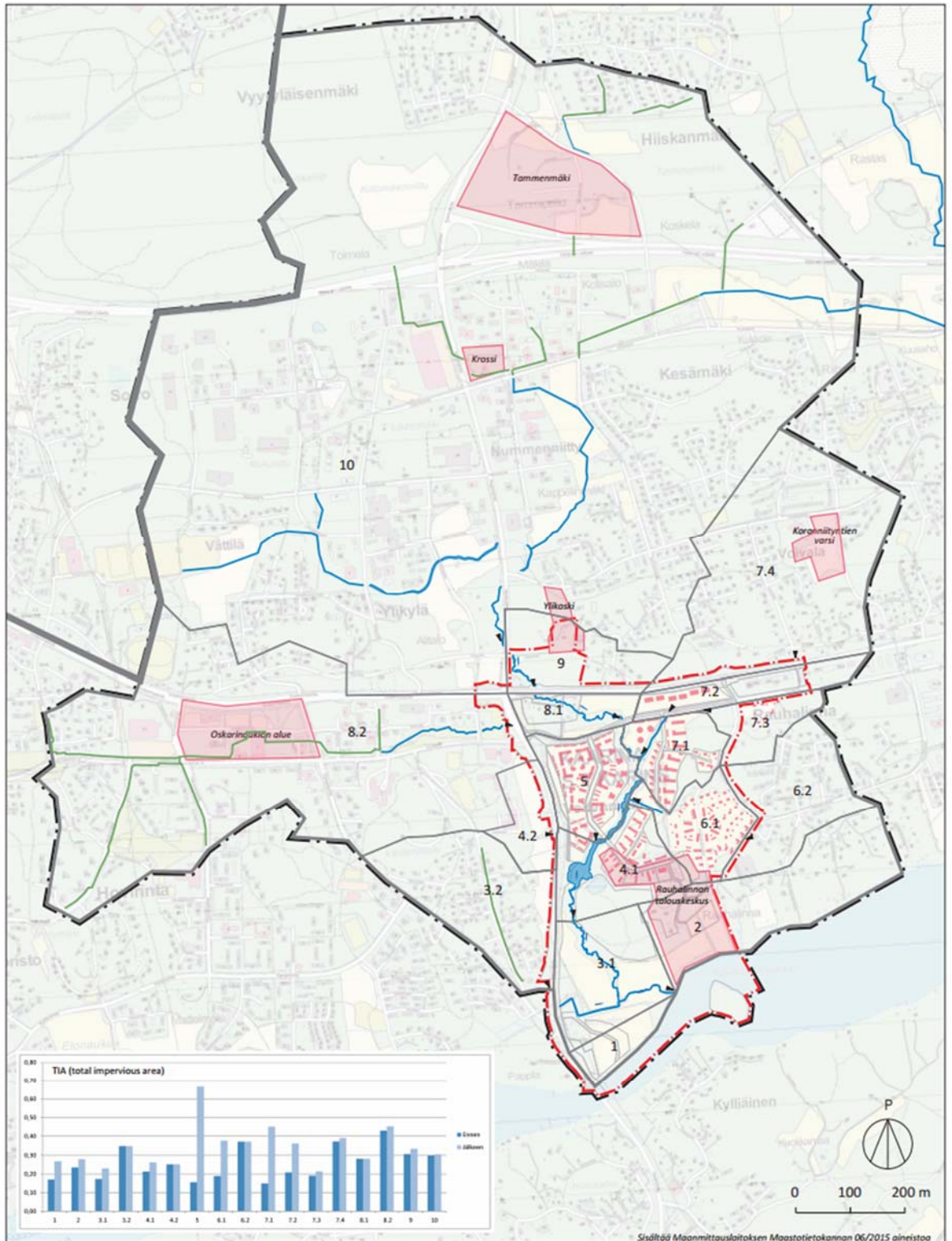
Turun kaunpunki 2015. Rakennusjärjestys. Viitattu 2.11.2015
http://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files/voimassa_oleva_rakennusjarjestys.pdf

Vakkilainen Pertti, Kotola Jyrki, Nurminen Jyrki, 2005. Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. Suomen ympäristöministeriö. Helsinki: Edita Prima Oy.

Valkama Pasi, Lahti Kirsti, Särkelä Asko, 2007. Automaattinen veden laadun seuranta Lepsämänjoella. Terra 119: 3-4. Helsinki: Suomen maantieteellinen seura.

Valtanen marjo, Sillanpää Nora, Hätinen Niina, Setälä Heikki, 2010. Hulevesien imeytyttäminen ja suodattaminen: haitta-aineet ja menetelmät. Helsingin Yliopisto, Ympäristötieteidenlaitos. Julkaisematon liite Stormwater-hankkeen loppuraporttiin.

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527.



RAUHALINNAN HULEVESISUUNNITTELU
 LIITE 4. HULEVESIEN HALLINNAN TARVEARVIO 1:12 000 (A3)
 LUONNOS 9.9.2015
 A.J.Kaskenniemi

MERKINNÄT

- Päävedenjakaja (OIVA 2010)
- Valuma-alueen raja
- Osavaluma-alueen raja
- Selvitysalueen raja
- Rauhalinnon OYK-alue

- Oja/puro
- Pieni oja/puro
- Hulevesiviemäri
- Virtausuunta
- Valuma-alueen purkupiste

MAANKÄYTÖN MUUTOKSET

- Vireillä olevat AK-hankkeet
- Rauhalinnon alue-havainnekuvan rakennukset

