

OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY of OULU

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

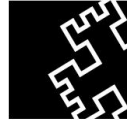
**Laskeutusaltaan suunnittelu Kilpisjärven  
rajanylityspaikalle**

Ville Parantala

Ympäristötekniikka

Kandidaatintyö

Joulukuu 2015



OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY of OULU

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**Laskeutusaltaan suunnittelu Kilpisjärven  
rajanylityspaikalle**

Ville Parantala

Ohjaajat: Pekka Rossi, Hannu Marttila

Vesi- ja yhdyskuntatekniikka

Kandidaatintyö

Joulukuu 2015

# TIIVISTELMÄ

## OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma		Pääaineopintojen ala Vesi- ja yhdyskuntatekniikka	
Tekijä Parantala Ville		Työn ohjaaja yliopistolla Rossi P, tohtori	
Laskeutusaltaan suunnittelu Kilpisjärven rajanylityspaikalle			
Opintosuunta Vesi- ja yhdyskuntatekniikka	Työn laji Kandidaatintyö	Aika Joulukuu 2015	Sivumäärä 33 s., 1 liite
Tiivistelmä			
<p>Työn tarkoituksena on tarkastella laskeutusaltaiden toimintaan liittyvää teoriaa sekä suunnitella hulevesien selkeyttämiseen käytettävä laskeutusallas Kilpisjärven rajanylityspaikalle. Hulevedet tulevat päällystetyltä rekkojen pysähtymis- ja tarkistusalueelta ja niiden laatua tarkastellaan kirjallisuuteen perustuen. Alue sijaitsee pohjavedenmuodostumisalueella, joten hulevesiä ei voida käsittelemättä imeyttää maaperään. Allasta edeltää hiilivetyjen- ja öljynerotuskaivot. Kiintoaineksen laskeuttamisen jälkeen hulevedet johdetaan läheiselle suolle, jossa osa jäljelle jääneestä kiintoaineksesta imeytyy turpeeseen ja osa huuhtoutuu ympäristöön pintavalunnan mukana.</p> <p>Laskeutusaltaan tehtävänä on vähentää kiintoaineskuormaa laskeuttamalla kiintoaines altaan pohjalle. Viipymää altaassa voidaan lisätä hidastamalla virtausnopeutta altaassa, tai pienentämällä ulosvirtauksen määrää altaasta. Liian suuri virtausnopeus altaassa voi myös aiheuttaa partikkeleiden resuspensiota, mikä tulee ottaa huomioon allasta suunniteltaessa. Laskeutusallas suunnitellaan käyttäen partikkeleiden teoreettista laskeutumisenopeutta, mutta altaan toimivuutta tarkastellaan myös pintakuormateorian mukaisesti. Altaan tarkkaa toimintaa on vaikea ennustaa, koska viipymä ja virtaus altaassa on riippuvainen alueen sadannasta. Mitoitusvirtaamana on käytetty kerran kymmenessä vuodessa tapahtuvaa viiden minuutin kestoista rankkasadetta.</p> <p>Tutkimuksessa esitetyillä altaan mitoilla ja viipymällä mitoitussateesta aiheutuvista hulevesistä saadaan selkeytettyä sora, hiekka, hieta ja mahdollisesti myös karkein hiesu. Altaaseen voidaan myös rakentaa virtausta tasaava ja jakava pohjapato, joka samalla myös pienentää aktiivista virtauskerrosta. Tässä työssä ei määritetty altaan lopullista muotoa. Koska allas sijaitsee pohjavedenmuodostumisalueella, altaaseen suunniteltiin vaativan kloridisuojauksen mukainen pohjarakenne. Tämän lisäksi altaan tulo- ja poistoputkiin tulee asentaa sulkuventtiilit, jotta allas saadaan suljettua mahdollisen onnettomuuden tapahtuessa.</p>			
Muita tietoja			

# ABSTRACT FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Degree Programme Environmental engineering		Major Subject Water and civil engineering	
Author Parantala Ville		Thesis Supervisor Rossi P, PhD	
Title of Thesis Sedimentation Basin Design For The Kilpisjärvi Frontier Transit Point			
Major Subject Water and civil engineering	Type of Thesis Bachelor's Thesies	Submission Date December 2015	Number of Pages 33 p., 1 App.
Abstract			
<p>The goal of this bachelor's thesis was to study the theory related to sedimentation basins and how they operate, and designing a sedimentation basin for the treatment of runoff waters from Kilpisjärvi border station. Runoff waters origin from a paved parking and checking lot for trucks and tankers. The quality of runoff water is defined based on literature. The area is located in ground water recharge area so the runoff waters cannot be let to infiltrate to the ground without treatment. Prior to the basin are oil and hydrocarbon trap wells. Treated waters are conducted to a near-by swamp where a part of remaining suspended solids is trapped into peat and others flushed to the surrounding environment as surface runoff.</p> <p>The function of the sedimentation basin is to decrease the suspended solid load by forcing it to settle in the bottom of the basin. Retention time can be increased by slowing the horizontal flow velocity in the basin or limiting the out flow rate from the basin. If the horizontal flow velocity through the basin is too high it can cause resuspension which must be observed while designing the basin. The basin is designed by using the theoretical settling time of particles, but the functionality of the basin is also examined according to the surface load theory. It is impossible to predict the exact settling rate because the flow velocity and retention time are related to rainfalls. Design flow is determined by using a 5 minutes lasting heavy rainfall which appears in ten years periods.</p> <p>With the designed basin dimensions and retention time it is possible to separate gravel, sand, coarse silt and a part of medium silt from the runoff waters. A barrier can be constructed in the beginning of the basin to make the flow through the basin more uniformly distributed and divided. A barrier also diminishes the height of the active flow bed. In this study the final form of the basin was not determined. The proper foundations were designed by using Finnish guidelines and regulations that must be applied when the study area is located in ground water recharge areas. In addition closing valves should be installed into to the inlet and outlet pipes so that the basin can be properly closed in case of an accident.</p>			
Additional Information			

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 Johdanto .....	7
2 Laskeutusaltaan teoria ja vaikuttavat tekijät.....	8
2.1 Laskeutusaltaan teoreettinen toimintamalli .....	8
2.2 Pintakuormateoria .....	9
2.3 Partikkeleiden laskeutumisnopeus .....	9
2.4 Resuspensio .....	11
2.5 Virtaus altaassa .....	12
2.5.1 Virtaustila .....	12
2.5.2 Virtausyhtälöt.....	13
3 Laskeutusaltaan mitoitus .....	15
3.1 Kohteen kuvaus.....	15
3.2 Altaan rakenne .....	16
3.3 Mitoitusvirtaama / vesimäärä.....	16
3.4 Laskeutumisaajat ja liikkeellelähdon rajanopeudet .....	19
3.5 Viipymä .....	20
3.6 Altaan pohjavesisuojaus ja sulku .....	23
3.7 Altaan huolto ja ylläpito .....	24
3.8 Saavutettavat tulokset.....	24
3.9 Johtopäätökset ja suositukset.....	26
4 Yhteenveto.....	30
5 Lähdeluettelo .....	32

Liitteet

LIITTEET:

Liite 1. Altaan poikki- ja pituusleikkaukset

## MERKINNÄT JA LYHENTEET

A	pinta-ala
B	leveys
d	halkaisija
$C_D$	vastuskerroin
g	putoamiskiihtyvyys
H	syvyys
$v_s$	partikkelin laskeutumisnopeus
$v_v$	veden virtausnopeus
$v_r$	liikkeellelähdön rajanopeus
L	leveys
m	massa
$Q_{mit}$	mitoitusvirtaama
P	märkäpiiri
Re	Reynoldsin luku
$S_h$	hydraulinen pintakuorma
$\mu$	dynaaminen viskositeetti
$\nu$	kinemaattinen viskositeetti
$\rho$	tiheys

# 1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö käsittelee hulevesien selkeyttämiseen tarkoitettun laskeutusaltaan suunnittelua. Laskeutusaltaan toimintaperiaate ja vaikuttavat tekijät ovat esitelty teoriaosiossa. Mitoitusosiossa käsitellään Kilpisjärven rajanylityspaikalle rakennettavaa hulevesien laskeutusallasta. Mitoitettavaan laskeutusaltaaseen johdettavat hulevedet tulvat rajanylityspaikan rekkojen tarkistus- ja parkkialueelta, joka on päällystetty asfaltilla. Alueella on myös hieman pihaverhouksia, jotka koostuvat lähinnä betonikivetyksistä, kivrakasta ja pienistä viheralueista. Päällystetty alue on ympäröivää maastoa korkeammalla, joten hulevedet ympäröivästä maastosta eivät päädy laskeutusaltaaseen. Mitoituksen tarkoituksena on tarkastella, minkälainen viipymäaika olisi teoreettisesti mahdollista saavuttaa, sekä minkä tyyppiset kiintoainepartikkelit on tämän viipymän puitteissa mahdollista laskeuttamalla erottaa hulevesistä. Lisäksi mitoitusosiossa käsitellään erilaisia altaan toteutusmahdollisuuksia, ja perustellaan niiden tapauskohtaista soveltuvuutta. Altaaseen suunnitellaan myös suojaus- ja sulkutoimenpiteet onnettomuuksien varalle, koska laskeutusallas sijaitsee pohjavedenmuodostumis alueella. Selkeytetyt hulevedet johdetaan läheiselle suolle, josta ne imeytyvät maaperään.

## 2 LASKEUTUSALTAAN TEORIA JA VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 2.1 Laskeutusaltaan teoreettinen toimintamalli

Laskeutusaltaan mitoittaminen perustuu kahteen päätekijään, jotka ovat virtausnopeus altaassa ja partikkeleiden laskeutumisnopeudet. Virtausnopeuteen altaassa voidaan vaikuttaa altaan muodoilla ja virtauksen poikki-pinta-alan koolla. Partikkeleiden laskeutumisnopeuteen puolestaan ei voida vaikuttaa, koska se on riippuvainen partikkelin koosta ja tiheydestä. Laskeutusaltaan teoreettista toimintamallia havainnollistaa kuva 1. Teoreettisen toimintamallin mukaan allas pystyy pidättämään partikkeleita, joiden laskeutuminen altaan pohjalle vie vähemmän aikaa kuin virtaaminen tulopisteestä poistopisteeseen (Ruohtula 1996). Tällöin pidättyvien partikkeleiden minimi laskeutumisaika saadaan verranosta:

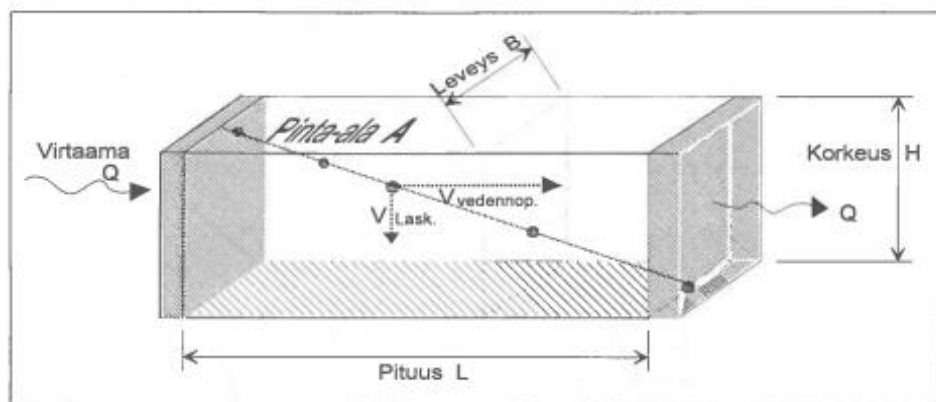
$$\frac{L}{v_v} \geq \frac{H}{v_s} \rightarrow v_s \geq \frac{v_v * H}{L}$$

missä,  $v_s$  = partikkelin laskeutumisnopeus [m/s]

$v_v$  = veden virtausnopeus [m/s]

$H$  = laskeutusaltaan syvyys

$L$  = laskeutusaltaan leveys



Kuva 1. Laskeutusaltaan teoreettinen malli (Ruohtula 1996)



Teoreettisen toimintamallin pohjalta voidaan johtaa pintakuormateoria, jonka periaate on kuvailtu seuraavassa kappaleessa.

## 2.2 Pintakuormateoria

Pintakuormateoriaa on käytetty laskeutusaltaiden mitoituksessa vesihuoltotekniikassa sekä maatalouden ja turvetuotannon vesien selkeytyksessä (Taponen 1995). Pintakuormateorian mukaan laskeutusaltaaseen voi pidättäytyä sellaisia hiukkasia, joiden lasketumisnopeus on yhtä suuri tai suurempi kuin altaan virtaaman ja pinta-alan osamäärä. Tätä suhdetta kutsutaan pintakuormaksi, ja se määritetään kaavaa (1) käyttäen. Pintakuorma kuvaa sen vesikerroksen paksuutta, joka altaaseen muodostuu valitun aikayksikön kuluessa, jos vettä ei poistuisi. Yleensä pintakuormaa tarkastellaan metreinä tunnissa [m/h], joka kuvaa tunnin aikana muodostuvaa vesikerrosta. Pintakuormateorian oletuksena on, että tuleva virtaus jakaantuu tasaisesti koko altaan leveydelle, pituudelle ja syvyydelle (Ruohtula 1996). Todellisuudessa tilanne ei ole tämä, vaan altaaseen tulisi suunnitella virtausta tasaavia elementtejä. Esimerkiksi tulovirtaus voidaan jakaa useampaan haaraan koko altaan leveydelle, tai rakentaa altaaseen veden virtausta tasaava pohjapato, mikäli tilaa on tarpeeksi pituussuunnassa.

Pintakuorma:

$$S_h = \frac{Q_{mit}}{A} \quad (1)$$

missä,  $S_h$  = hydraulinen pintakuorma [m/h]

$Q_{mit}$  = mitoitusvirtaama [m<sup>3</sup>/h]

$A$  = laskeutusaltaan pinta-ala [m<sup>2</sup>]

## 2.3 Partikkeleiden laskeutumisenopeus

Partikkeleiden laskeutumisaikaan voidaan arvioida Stokesin lain avulla, kun virtaus altaassa on laminaarista ja partikkeleiden virtauksesta aiheutuva Reynoldsin luku on välillä  $10^{-4} < Re < 0,2$ . Stokesin laki on esitetty kaavassa (2). Mikäli virtaus on laminaarista, mutta Reynoldsin luku on välillä  $0,2 < Re < 500 - 1000$ , tulee laskeutumisenopeus arvioida Fairin, Geyerin and Okunin johtamalla kaavalla, joka on esitetty kaavassa (3). Monien luonnossa esiintyvien partikkeleiden koko ja

laskeutumisnopeus johtavat Reynoldsin lukuun, joka on välillä  $0,2 < Re < 500-1000$  (Gregory ja Zabel, 1990) .

Stokesin laki:

$$v_s = \frac{g(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu} \quad (2)$$

missä,  $v_s$  = laskeutumisnopeus [m/s]  
 $g$  = putoamiskiihtyvyys [m/s<sup>2</sup>]  
 $\rho_s$  = partikkelin tiheys [Kg/m<sup>3</sup>]  
 $\rho$  = fluidin tiheys [Kg/m<sup>3</sup>]  
 $d$  = partikkelin halkaisija [m]  
 $\mu$  = fluidin dynaaminen (absoluuttinen) viskositeetti [Ns/m<sup>2</sup>]

Fairin, Geyerin and Okunin johtama kaava partikkelin laskeutumisnopeudelle:

$$V_s = \left( \frac{4g(\rho_s - \rho)d}{3C_D\rho} \right)^{1/2} \quad (3)$$

missä,  $v_s$  = laskeutumisnopeus [m/s]  
 $g$  = putoamiskiihtyvyys [m/s<sup>2</sup>]  
 $\rho_s$  = partikkelin tiheys [Kg/m<sup>3</sup>]  
 $\rho$  = fluidin tiheys [Kg/m<sup>3</sup>]  
 $d$  = partikkelin halkaisija [m]  
 $C_D$  = vastuskerroin =  $24/Re + 3/Re^{1/2} + 0,34$

Molempien kaavojen oletuksena on että (Gregory ja Zabel, 1990):

- Partikkelit ovat pallonmuotoisia, kovia ja sileitä, sekä niillä kaikilla on sama tiheys.
- Partikkelien liike on ainoastaan alaspäin, eikä partikkelien mahdollista sivuttain tai ylöspäin liikehdintää huomioida.
- Lähekkäiset partikkelit eivät häiritse toistensa laskeutumista
- Ainut laskeutumista vastustava voima on fluidin viskositeetti

Vastuskertoimeen  $C_D$  vaikuttava partikkelin Reynoldsin luku määritetään kaavalla (4):

$$Re = \frac{\rho * v_s * d}{\mu} \quad (4)$$

missä, Re = Reynoldsin luku

$\rho$  = fluidin tiheys [Kg/m<sup>3</sup>]

$v_s$  = partikkelin laskeutumisnopeus [m/s]

d = partikkelin halkaisija [m]

$\mu$  = fluidin dynaaminen (absoluuttinen) viskositeetti [Ns/m<sup>2</sup>]

Parkkipaikoilta alkunsa saavien hulevesien sisältämien partikkeleiden ominaisuuksia on tutkittu hyvin vähän Suomessa ja muissa pohjoismaissa. Tässä työssä mitoitukseen käytettävät arvot partikkelien halkaisijan ja tiheyden osalta perustuvat USA:ssa ja Kanadassa tehtyihin tutkimuksiin. Parkkipaikkojen ja teiden hulevesien sisältämät partikkelit tulevat monesta eri lähteestä, esimerkiksi tuulen kuljettamana ympäröiviltä alueilta, renkaiden ja jarrujen kulumisesta, pakokaasuista, tiemerkinnoista ja päällysteen kulumisesta. (M.Kayhanian et al., 2012)

M.Kayhanian ym.(2012) tutkivat tutkimuksessaan parkkipaikkojen ja maanteiden hulevesien koostumuksia, ja osoittivat että partikkeleiden tiheydet vaihtelevat välillä 1.55-1.94 g/cm<sup>3</sup>, riippuen myös partikkelin koosta. Näytteitä otettiin myös hulevesien viivyttämisaikojen, joissa pohjasedimentin tiheys vaihteli välillä 1.77-2.24 g/cm<sup>3</sup>. Tutkimus suoritettiin Kaliforniassa, joten hulevesinäytteet sisälsivät todennäköisesti enemmän orgaanista ainesta, kuin hulevedet sisältävät Kilpisjärvellä. Syynä tähän on että, Kilpisjärven alue on huomattavasti karumpi ja ilmastoltaan kylmempi. Tämän perusteella tässä raportissa partikkeleiden tiheydeksi on valittu 2,0 g/cm<sup>3</sup> laskeutumisaikojen määrittäessä. Laskeutumisajat partikkelikoon mukaan on esitetty taulukossa 2. ja niiden määrittämiseen on käytetty kaavoja (2) ja (3), riippuen partikkelin koon ja laskeutumisajan aiheuttamasta Reynoldsin luvusta, joka on laskettu kaavalla (4).

## 2.4 Resuspensio

Kiintoaineksen sedimentoitumisen käänteisilmiöksi kutsuttua resuspensiota ilmenee, kun virtaama altaassa on tarpeeksi suuri aiheuttaen leikkausvoiman irrotusvoiman, joka on suurempi kuin partikkelia pohjassa pitävä voima. Tällöin jo kertaalleen altaan pohjalle

sedimentoitunut partikkeli irtoaa pohjasta ja lähtee kulkeutumaan uudelleen virtauksen mukana. Laminaarisissa olosuhteissa liikkeellelähdön rajanopeus  $v_r$  voidaan laskea kaavan (5) mukaan. Tällöin veden lämpötilaksi oletetaan 10 °C ja veden kinemaattiseksi viskositeetiksi  $1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . (Häikiö 1998)

$$v_r = 0,45 * \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \right)^{0,25} * v_s^{0,25} \quad (5)$$

missä,  $v_r$  = liikkeellelähdön rajanopeus [m/s]

$\rho_s$  = partikkelin tiheys [Kg/m<sup>3</sup>]

$\rho$  = veden tiheys [Kg/m<sup>3</sup>]

$v_s$  = partikkelin laskeutumisnopeus [m/s]

Liikkeellelähdön rajanopeudet partikkelikoon mukaan on esitetty taulukossa 2.

## 2.5 Virtaus altaassa

### 2.5.1 Virtaustila

Hydrodynamiikan kaksi päätapautumaa ovat avouomavirtaus ja putkivirtaus. Virtaus laskeutusaltaassa on avouomavirtausta, jolloin sen yläpintaan vaikuttaa ainoastaan ilmakehän paine. Virtaus avouomassa voi olla laminaarista tai turbulanttista (Ashees & Peltokangas 2015).

Laminaarisessa virtauksessa:

- Nestepartikkelien keskimääräinen virtausnopeus on sama kuin virtauksen keskimääräinen nopeus
- Partikkelien liikettä voidaan kuvata virtaviivoilla
- Nestekerrosten välillä ei tapahdu sekoittumista

Turbulenttisessa virtauksessa puolestaan:

- Liikeradat mutkittelevat, jolloin virtaus on pyörteistä
- Partikkelien nopeus ja suunta poikkeavat sattumanvaraisesti virtauksen arvoista

Laskeutusaltaissa pyritään laminaarivirtaukseen. Tällöin veden ja partikkelien liikettä altaassa pystytään laskemaan ja mallintamaan helpommin ja varmemmin. Raja laminaarisen- ja turbulenttisen virtaaman välillä voidaan ilmaista dimensioimattoman Reynoldsin luvun avulla. Reynoldsin luku avouomassa lasketaan kaavalla (6) (Ashees & Peltokangas 2015):

$$Re = \frac{v_v * R}{\nu} \quad (6)$$

missä,  $v_v$  = keskimääräinen virtausnopeus [m/s]

$R$  = hydraulinen säde [m] =  $A/P$

$A$  = uoman poikkipinta-ala [m<sup>2</sup>]

$P$  = uoman märkäpiiri [m]

$\nu$  = kinemaattinen viskositeetti [m<sup>2</sup>/s]

Virtaus avouomassa hydraulisen säteen avulla laskettuna on laminaarista kun  $Re < 500$  ja varmasti turbulenttista kun  $Re > 12\,500$ . Väliä  $500 \leq Re \leq 12\,500$  kutsutaan siirtymävaiheeksi, jossa virtaus voidaan luokitella joko laminaariseksi tai turbulenttiseksi. Reynoldsin luvun raja-arvot vaihtelevat virtausolosuhteiden mukaan (Chow 1959).

### 2.5.2 Virtausyhtälöt

Stationäärisellä, eli jatkuvalla, virtauksella tarkoitetaan virtausta, joka ei muutu ajan suhteen (Ashees & Peltokangas 2015). Laskeutusallas mitoitetaan tietylle mitoitusvirtaamalle, olettaen että virtaus on stationääristä, vaikka virtaama todellisuudessa vaihteelikin riippuen sateen kestosta ja intensiteetistä. Tällöin voimassa ovat massan-, energian- ja liikemäärän säilymislaite. Jatkuvuusyhtälö jatkuvalla virtaukselle voidaan esittää kaavan (7) avulla (Ashees & Peltokangas 2015):

$$Q = v_1 * A_1 = v_2 * A_2 \quad (7)$$

missä,  $Q$  = virtaama [m<sup>3</sup>/s]

$v$  = keskimääräinen virtausnopeus poikkileikkauksessa [m/s]

$A$  = poikkileikkauksen pinta-ala [m<sup>2</sup>]

Häiriöttömässä stationäärivirtauksessa avouomassa on voimassa Bernoullin yhtälö, joka kuvaa energian säilyvyyttä ja energiamuotoja. Bernoullin yhtälö kokoonpuristumattomalle ideaalinsteelle on esitetty kaavassa (8) (Ashees & Peltokangas 2015):

$$H = y + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

missä,  $y$  = asemakorkeus [m]  
 $v^2/2g$  = nopeuskorkeus [m]  
 $p/\gamma$  = painekorkeus [m]  
 $H$  = energiakorkeus [m] = vakio

## 3 LASKEUTUSALTAAN MITOITUS

### 3.1 Kohteen kuvaus

Koekohtena toimivalle Kilpisjärven rajanylityspaikalle suunnitellaan laskeutusallas parkkipaikan hulevesien selkeyttämiseksi. Parkkipaikalla on toistuvaa raskasta liikennettä, koska se toimii rekkojen pysäytys-, valaisu-, ja tarkistusalueena. Alueella liikennöivistä raskaista ajoneuvoista suuri osa kuljettaa puuta ja kaloja. Varsinkin puurekoista voidaan olettaa tippuvan pieniä puunpalasia ja haketta parkkipaikka-alueelle, jotka huuhtoutuvat hulevesien mukana laskeutusaltaaseen. Tämän lisäksi hulevedet sisältävät partikkeleita, jotka oletettavasti ovat peräisin ympäröiviltä alueilta, renkaiden ja jarrujen kulumisesta, teiden hiekoituksesta liukkauden torjumiseksi, pakokaasuista, tiemerkinnöistä ja päällysteen kulumisesta. Mineraalipartikkelit, jotka kulkeutuvat huleveden seassa ovat todennäköisesti soraa, hiekkaa ja muita karkeita maalajeja, koska alue sijaitsee pohjaveden muodostumisalueella, jossa pintakerros on yleensä hyvin vettä läpäisevää ja karkeaa maa-ainesta.

Altaaseen täytyy myös suunnitella onnettomuussuojaus, jotta onnettomuuden tapahtuessa hulevesien laskeminen imeytys alueelle saadaan suljettua. Allas rakennetaan vesitiiviiksi, ja siellä pidetään pysyvä vedenpinta koko kesäkauden ajan, mutta talvea varten allas on pystyttävä tyhjentämään ainakin osittain, jotta allas olisi käytettävissä heti keväällä kevätsateiden ja sulamisvesien käsittelyä varten.

Parkkipaikka-alueen pinta-ala on n. 1,78 ha, josta:

- asfaltoitua piha-aluetta 7700 m<sup>2</sup>
- asfaltoitua valtatieä 1600 m<sup>2</sup>
- betonikivetystä 920 m<sup>2</sup>
- muita pihaverhouksia 4400 m<sup>2</sup>
- rakennusten kattoja 670 m<sup>2</sup>
- kivrakkaa 2510 m<sup>2</sup>

### 3.2 Altaan rakenne

Altaalle varattu alue on n. 70 m pitkä ja 30 m leveä. Tähän tilaan tulee rakentaa laskeutusallas, jossa on neljä eri vyöhykettä:

- Sisääntulovyöhyke, jonka tarkoitus on jakaa tulovirtaama koko altaan leveydelle
- Laskeutumisyvyöhyke, jossa kiintoaineksen laskeutuminen tapahtuu
- Lietetila, joka varastoi laskeutuneen kiintoaineksen
- Poistovyöhyke, josta lähtevä vesi poistuu altaasta

Altaan reunaluiskat rakennetaan kaltevuuteen 1:5, jotka jyrkkenevät pysyvän vedenpinnan alapuolella kaltevuuteen 1:1,5. Altaan pysyvä vedenpinta suunnitellaan 1,5 m syvyyteen altaan reunoista. Jotta virtausnopeutta altaassa saadaan pienennettyä, tulee altaan virtaussyvyuden olla 1,5 m virtauspoikkileikkauksen kasvattamiseksi. Tämän lisäksi altaan pohjalle tulee kaivaa lietetila, jonka korkeus alkupäässä on 0,3 m ja loppupäässä 0,15 m, jolloin pohjan kaltevuus on n. 3 ‰. Altaan suunnitellut poikki- ja pituusleikkaukset ovat esitetty liitteessä 1. Pysyvän vedenpinnan leveydeksi B saadaan 15 m ja pituudeksi L 55 m.

### 3.3 Mitoitusvirtaama / vesimäärä

Mitoitusvirtaama määritetään Liikenneviraston Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu-ohjeen mukaisesti.

Valuma-alue < 10 ha

- ➔ mitoitusvirtaaman laskenta 1/10 v rankkasateen mukaan
- ➔ Mitoitussateen kesto: 5 min

Mitoitusvirtaama  $Q_{mit}$  lasketaan yhtälön (6) mukaisesti

$$Q_{mit} = \psi * F * i \quad (6)$$

jossa,  $Q_{mit}$  = virtaama [l/s]

$\psi$  = valumakerroin

F = valuma-alueen pinta-ala [ha]



$i$  = mitoitussateen rankkuus [ $l/s*ha$ ]

Valumakerroin määritetään taulukon 1 mukaan.

Taulukko 1. Valumakertoimen määrittäminen (Liikennevirasto 2013)

Pinnan tyyppi	Valumakerroin $\psi$
katto	0,80...1,00
asfalttipäällyste	0,70...0,90
tien nurmetettu luiska	0,40...0,60
avoin kalliomaasto	0,30...0,50
soratie, soraluiska	0,20...0,50
nurmipintainen piha, puisto	0,10...0,40
niitty, pelto, puutarha	0,10...0,30
suo	0,05...0,15
kumpuileva sekametsä	0,05...0,20
tasainen metsämaasto	0,10...0,10
tasainen sorakenttä	0,00...0,05

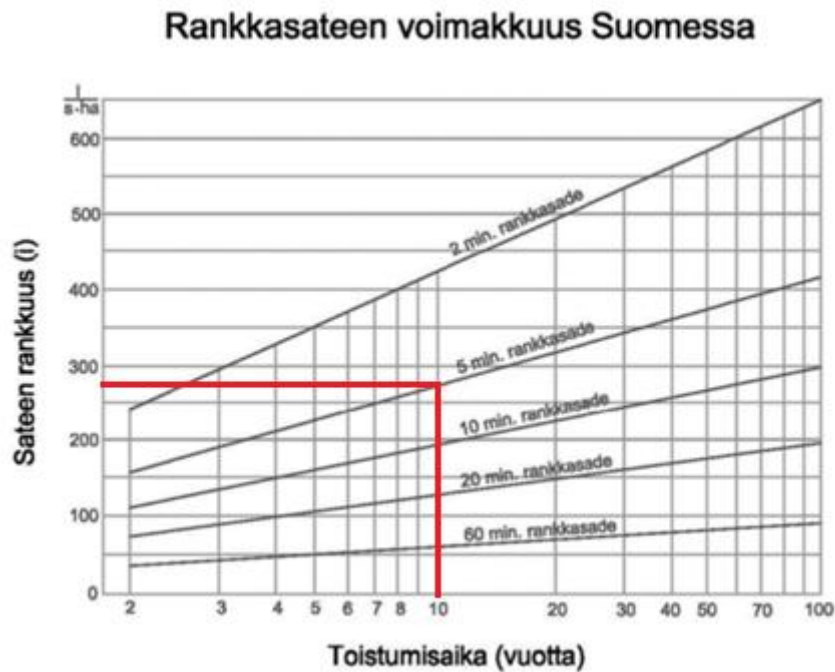
Keskimääräisen valumakertoimen muodostaminen:

- Asfaltti: 0,9
- Katto: 1,0
- Pihaverhous: 0,4
- Kivirakka: 0,5
- Betonikiveys: 0,8 (viherympäristö 2012)

➔ Tällöin keskimääräinen valumakerroin on:

$$\psi = \frac{(0,9*0,93 \text{ ha} + 1*0,067 \text{ ha} + 0,4*0,44 \text{ ha} + 0,5*0,251 \text{ ha} + 0,8*0,092 \text{ ha})}{1,78 \text{ ha}} = 0,7186 \approx 0,72$$

Mitoitussateen rankkuus määritetään kuvan 1 nomogrammin perusteella.



Kuva 2. Rankkasateen voimakkuus Suomessa (Liikennevirasto 2013)

→ Sateen rankkuus  $i = 270 \text{ l/s*ha}$

Tällöin mitoitusvirtaama  $Q_{mit}$ :

$$Q_{mit} = 0,72 * 1,78 \text{ ha} * 270 \frac{\text{l}}{\text{s*ha}} = 346,032 \frac{\text{l}}{\text{s}} \approx 350 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Vesimäärä  $V_v$ , joka virtaa altaaseen mitoitusateen aikana on tällöin:

$$V_v = Q * t = 346,032 * 300 \text{ s} = 103\,809,6 \text{ l} = 103,8 \text{ m}^3 \approx 105 \text{ m}^3$$

Kuntaliiton Hulevesioppaan mukaan ilmastonmuutos vaikuttaa tulevaisuudessa sateiden luonteeseen. Sateiden rankkuuden ja esiintymistiheyden on ennustettu lisääntyvän. Kun ilmastonmuutos otetaan mitoituksessa huomioon, mitoitusateen rankkuus olisi  $280 \text{ l/s*ha}$  (Hulevesiopas 2012). Tällöin mitoitusvirtaama olisi:

$$Q_{mit} = 0,72 * 1,78 \text{ ha} * 280 \frac{\text{l}}{\text{s*ha}} = 358,85 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Ja vesimäärä:

$$V_v = Q * t = 358,85 * 300 \text{ s} = 107\,654,4 \text{ l} = 107,7 \text{ m}^3$$

### 3.4 Laskeutumisaajat ja liikkeellelähdön rajanopeudet

Taulukossa 2. on laskettuna erikokoisten partikkeleiden laskeutumisaajat, partikkeleiden Reynoldsin luku, sekä liikkeellelähdön rajanopeus. Oletuksena on käytetty että

- veden lämpötila on 10 °C
- virtaus altaassa on laminaarista
- partikkelien tiheys on 2,0 g/cm<sup>3</sup>.

Laskeutumisaajat ovat laskettu yhtälöillä (2) ja (3), Reynoldsin luku yhtälöllä (4) ja liikkeellelähdön rajanopeus käyttäen yhtälöä (5). Reynoldsin luku on ensin laskettu kaavan (2) antamien laskeutumisnopeuksien mukaan, ja tämän jälkeen määritetty iteroimalla niille partikkelikoille, joiden reynoldsin luku > 0,2. Iteroinnin jälkeen uudet laskeutumisnopeudet on laskettu kaavalla (2), Reynoldsin luku tarkistettu ja iterointia jatkettu kunnes tulokset pitivät paikkansa.

Taulukko 2. Partikkeleiden laskeutumisnopeus. Veden lämpötila 10 °C ja partikkeleiden tiheys 2,0 g/cm<sup>3</sup>

Partikkelin halkaisija [m]	Laskeutumisaika [mm/s]	Laskentakaava	Re	v <sub>r</sub> [m/s]
0,000001	0,00042	(2)	3,1904E-07	0,009617
0,000002	0,00167	(2)	2,5523E-06	0,013601
0,000005	0,01043	(2)	3,988E-05	0,021505
0,00001	0,04171	(2)	0,00031904	0,030412
0,000015	0,09385	(2)	0,00107676	0,037247
0,00002	0,16684	(2)	0,00255232	0,04301
0,00003	0,37540	(2)	0,00861408	0,052676
0,00004	0,66738	(2)	0,02041857	0,060825
0,00005	1,04278	(2)	0,03988001	0,068004
0,0001	3,90423	(3)	0,29862696	0,094596
0,00025	20,24590	(3)	3,87142818	0,142749
0,0005	55,99226	(3)	21,4137189	0,184085
0,001	119,81939	(3)	91,6476269	0,222648

Erikokoisille mineraalipartikkeleille on myös valmiiksi laskettuja laskeutumisaikoja ja liikkeellelähdön rajanopeuksia. Taulukossa 3. on esitetty M.Häikiön vuonna 1998 laskemat tulokset, jotka on laskettu olettaen veden lämpötilaksi 10°C ja partikkelien tiheydeksi 2,65 g/m<sup>3</sup>.

Taulukko 3. Erikokoisten mineraalipartikkeleiden laskeutumisopeuksia ja liikkeellelähdön rajanopeuksia, kun veden lämpötila on 10 C ja partikkelien tiheys 2650 Kg/m<sup>3</sup>. (Häikiö 1998)

Maalajiluokka (Rt)	d (mm)	Laskeutumisnopeus (mm s <sup>-1</sup> )	Laskeutumisaika 1 m kohden <sup>(1)</sup>	Liikkeellelähdön rajanopeus (mm s <sup>-1</sup> )
<b>Sora</b>	10	736	1 s	470
<b>Hiekka</b>	1	149	7 s	320
	0.8	125	8 s	300
	0.6	97	10 s	280
	0.5	75	13 s	270
	0.4	55	18 s	250
	0.3	37	27 s	220
<b>Hieta</b>	0.2	21	48 s	190
	0.15	14	1 min	180
	0.1	6.9	2 min	150
	0.08	4.4	4 min	130
	0.06	2.5	7 min	110
	0.05	1.7	10 min	100
	0.04	1.1	15 min	93
	0.03	0.62	27 min	80
<b>Hiesu</b>	0.02	0.27	1 h	66
	0.015	0.15	2 h	57
	0.01	0.069	4 h	46
	0.008	0.044	6 h	42
	0.006	0.025	11 h	36
	0.005	0.017	16 h	33
	0.004	0.011	1 d	29
	0.003	0.0062	2 d	25
<b>Savi</b>	0.002	0.0027	4 d	21
	0.0015	0.0015	8 d	18
	0.001	0.00069	17 d	15
	0.0001	0.0000069	1677 d	4.6
<b>Kolloidit</b>	0.00001	0.000000069	460 a	1.5

1) Laskettu laskeutumisnopeuden perusteella

### 3.5 Viipymä

Altaan toimiessa läpivirtausperiaatteella, viipymä altaan syvällä, laskeutumiseen varatulla alueella, olisi (liitteen 1. mukaisella rakenteella):

$$T = \frac{A_p * L}{Q_{mit}} = \frac{14,75 m^2 * 47 m}{0,350 \frac{m^3}{s}} = 1980,7 s \approx 33 min$$

Viipymää voidaan kasvattaa padottamalla allasta. Kuntaliiton Hulevesioppaan mukaan laskeutus- ja viivytyksaltaissa tulisi pyrkiä 12 tunnin viipymään. Tästä suosituksesta voidaan kuitenkin poiketa, mikäli se kasvattaa tukkeutumiseriskiä. Viipymän kannalta olennainen mitoitussparametri on poistovirtauksen suuruus. Tähän vaikuttavat

poistoputken halkaisija ja sen sijoitus syvyysuunnassa. Mikäli pyritään 12 tunnin viipymään mitoitussateelle, ulosvirtauksen altaasta tulee olla

$$Q_{out} = \frac{V_v}{T} \quad (7)$$

missä,  $Q_{out}$  = ulosvirtaaman suuruus [l/s]

$V_v$  = mitoitussateen tilavuus [l]

$T$  = viipymä [s]

$$Q_{out} = \frac{105\,000\text{ l}}{(12 \cdot 60 \cdot 60)\text{ s}} = 2,43\text{ l/s}$$

Mitotussade nostaa vedenpintaa altaassa korkeuden  $h$  verran (reunaluiskia ei ole huomioitu):

$$h = \frac{Q}{A} = \frac{105\text{ m}^3}{825\text{ m}^2} = 0,127\text{ m}$$

Mikäli poistoputken asennussyvyys tiedetään, poistoputken pinta-ala voidaan laskea torricellin lain avulla (Hosia 1982). Tällöin tarvittava putken pinta-ala on:

$$A_{out} = \frac{Q_{out}}{k \cdot \sqrt{2gH_h}} \quad (8)$$

missä,  $A_{out}$  = poistoaukon pinta-ala [m<sup>2</sup>]

$Q_{out}$  = ulosvirtaaman suuruus [m<sup>3</sup>/s]

$k$  = ulosvirtauskerroin

$H_h$  = hydraulinen korkeus [m]

$g$  = putoamiskiikkyvyys [m/s<sup>2</sup>]

Mikäli poistoputki sijoitetaan 1 metrin syvyyteen pysyvän vedenpinnan tasosta, ja putki asennetaan kaivon sisältä lähteväksi etäisyydeltä  $l = d/2$  ( $d$  = putken halkaisija),  $H_h = 1\text{ m} + h = 1,127\text{ m}$  ja  $k = 0,5$ . Tällöin poistoaukon pinta-ala  $A$  on:

$$A_{out} = \frac{0,00243 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,127\text{ m}}} = 1,03 \cdot 10^{-3}\text{ m}^2$$

Putken halkaisija  $d$ :

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}{\pi}} = 0,036 \text{ m} = 36 \text{ mm}$$

Näin pientä poistoaukkoa ei ole kuitenkaan järkevää toteuttaa, koska se on herkkä tukkeutumiselle. Poistoaukon kooksi tulisi valita ainakin 100 mm, jotta tukkeutumisriski pienenesi ja huoltoväli pitenisi. Poistoaukon halkaisijan ollessa 100 mm:

$$A_{out_2} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (0,1 \text{ m})^2 = 7,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Tällöin poistovirtaama on:

$$\begin{aligned} Q_{out_2} &= k \cdot A_{out_2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_h} \\ &= 0,5 \cdot 7,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,127 \text{ m}} = 0,0185 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \end{aligned}$$

Viipymäksi saadaan:

$$T_2 = \frac{V_v}{Q} = \frac{105 \text{ m}^3}{0,0185 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 5675 \text{ s} \approx 95 \text{ min}$$

Viipymää voidaan kasvattaa vielä asettamalla purkusyvyyys korkeammalle. 100 mm Purkuputki voidaan asentaa 0,3 m syvyyteen vedenpinnasta, jolloin poistovirtaama  $Q_{out_3} = 0,011 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tällöin viipymä  $T_3$  olisi n. 154 min.

Huomioitavaa on, että poistovirtaaman suuruus on sen teoreettinen maksimi arvo, sillä vedenpinnan laskiessa, laskee myös virtausnopeus poistoaukosta ulos. Kun padotuskorkeutta purkukaivon päällä on alle 2 cm, ulosvirtaaman rajoittavaksi tekijäksi muodostuu kaivonkannen läpäisy. Vielä 2 cm padotuksella kaivon ( $d = 700 \text{ mm}$ ) läpäisy on 11,9 l/s, mutta 1,5 cm:ssä se on tippunut jo 7,9 l/s (Kumpulainen et al., 1979). Viipymät eri putkikoilla ja asennuskorkeuksilla ovat laskettu maksimivirtaaman perusteella, joten todellisuudessa ne ovat hieman pidempiä. Maksimivirtaamaa käytetään mitoitusperusteena, jotta mitoituksen varmuus kasvaa.

Lisäksi, jos putken halkaisija on 100 mm:n, putkesta tulee olla 50 mm ( $=d/2$ ) pitkä osa kaivon sisällä. Ulosvirtaus nopeudet ovat laskettu tätä tilannetta vastaavalla ulosvirtauskertoimella (Hosia 1982).

### 3.6 Altaan pohjavesisuojaus ja sulku

Altaan pohjavesisuojaus toteutetaan Tiehallinnon Pohjaveden suojaus tien kohdalla-ohjeen mukaan. Alueella ei käytetä kloridia liukkaudentorjunnassa, mutta sitä kulkeutuu ajoneuvojen mukana. Lisäksi alueella liikennöi säiliöautoja, jotka sisältävät eri kemikaaleja. Onnettomuuden varalle altaaseen rakennetaan vaativa kloridisuojaus, jonka mukaan altaan luiskiin ja pohjalle rakennettavan suojauksen rakenne on:

Bentoniittimatto + muovi:

- 0,4m suojaverhousta
- 0,1 m hiekkaa tai suojaverhousta
- sisälle ja pohjalle 1,5 mm ohutmuovi
- bentoniittimatto

Tai bentoniittimaa + muovi:

- 0,25 m suojaverhousta
- 0,1 m hiekkaa tai suojaverhousta
- sisälle ja pohjalle 1,5 mm ohutmuovi
- 0,15 m bentoniittimaata

Bentoniittimaakerroksen paksuus riippuu materiaalin k-arvosta yleisten laatuvaatimusten ja työselitysten (TYLT) mukaisesti. Bentoniittimaata käytettäessä suojausrakenteen paksuus tulee olla vähintään 0,5 m luiskissa ja altaan pohjalla. Parkkialueen reunassa verhousten paksuus tulee olla 0,25...0,35. Bentoniittimattoa käytettäessä tarvitaan maton päälle vähintään 0,5 m maakerros tueksi ja painoksi. Luiskissa ja ojissa käytetään yleensä 0,5 mm paksuista limittäin asennettavaa ohutmuovia, mutta altaissa käytetään 1,5 mm paksuista hitsisaumattua ohutmuovia koko altaan leveydellä. Alustan kantavuuden ja suojauksen tarve riippuu pohjamaasta, ja tarvittavat toimenpiteet on esitetty Tiehallinnon pohjavesien suojaus tien kohdalla-ohjeessa (Tiehallinto 2004)

Onnettomuuden tapahtuessa tulee altaan poistovirtaus pystyä sulkemaan. Tämä on mahdollista asentamalla venttiilit altaan poistoputkiin. Sulkuventtiilit voidaan asentaa lisäksi altaan tuloputkiin, mutta tällöin hulevesille tulee rakentaa vaihtoehtoinen purkulinja, joka ohittaa laskeutusaltaan ja ohjaa hulevedet suoraan suolle imeytyväksi.

### 3.7 Altaan huolto ja ylläpito

Altaan huollon ja ylläpidon helpottamiseksi altaaseen tulee rakentaa venttiilillä suljettava tyhjennysputki. Tyhjennys putken halkaisija on 100 mm, jolloin tukkeutumisriski on pieni, eikä allas pääse tyhjentymään liian nopeasti aiheuttaen resuspensiota. Tyhjennysputki sijoitetaan altaan loppupäähän tyhjennyskaivoon liittyen 0,5 m altaan pohjan yläpuolelle. Tällöin altaaseen jää 0,5 m paksuinen vesikerros, joka voidaan tarvittaessa tyhjentää imuatolla. Allas tulee tyhjentää talviajaksi tyhjennysputken kautta, jotta allas pystyy käsittelemään kevään sulamisvedet, jotka sisältävät todennäköisesti paljon liukkaudentorjunnassa käytettyä hiekkaa ja muuta talviaikana parkkialueelle kulkeutunutta kiintoainesta. Pohjalle jäävä 0,5 m paksuinen vesikerros jäätyy talvella, mutta kevään sulamisvedet sulattavat sen todennäköisesti nopeasti. Allas tulee tyhjentää ja puhdistaa kiintoaineksesta noin kahden – kolmen vuoden välein, tai viimeistään kun altaan liettila on täysi. Jokavuotiselle tyhjennykselle ei ole tarvetta, koska alueen hulevesien kiintoainekuormat ovat todennäköisesti pieniä.

### 3.8 Saavutettavat tulokset

Altaan pinta-ala:  $A = 15 \text{ m} * 55 \text{ m} = 825 \text{ m}^2$

Altaan poikkipinta-ala:  $A_p = 16,7 \text{ m}^2$

Virtauksen poikkipinta-ala (ilman liettilaa):  $A_v = 14,75 \text{ m}^2$

Altaan syvyys (ilman liettilaa)  $H = 1,5 \text{ m}$

Altaan keskimääräinen syvyys (liettila huomioitu):  $H_a = 1,725 \text{ m}$

Märkäpiiri (ilman liettilaa)  $P = 15,7 \text{ m}$

Altaan tilavuus (reunaluiskia ja liettilaa ei huomioitu)



Normaali tilanteessa:

$$V = 14,75 \text{ m} * 47 \text{ m} = 693,25 \text{ m}^3$$

Altaan maksimi tilavuus:

$$V_{\max} = 693,25 \text{ m}^3 + 825 \text{ m}^2 * 0,5 \text{ m} \\ = 1105,75 \text{ m}^3$$

Viipymä:

$$T = 154 \text{ min}$$

Virtausnopeus altaassa:

$$v_v = \frac{Q_{mit}}{A_v} = \frac{0,350 \text{ m}^3/\text{s}}{14,75 \text{ m}^2} = 0,0237 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2,37 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Reynoldsin luku:

$$Re = \frac{v_v * R}{\nu} = \frac{0,0237 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,939 \text{ m}}{1,519 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 14\,650,6$$

→ Mitoitusvirtaus aiheuttaa altaaseen turbulenttisen virtaaman.

Pintakuorma:

$$S_h = \frac{Q * t}{A} = \frac{0,350 \text{ (m}^3/\text{s}) * 300 \text{ s}}{825 \text{ m}^2} = 0,127 \frac{\text{m}}{5 \text{ min}} = 0,000424 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

→ Mikä tarkoittaa, että pintakuormateoriaan perustuen allas kykenisi pidättämään mitoitusstateesta ne partikkelit, joiden laskeutumisenopeus  $v_s \geq 0,424 \text{ mm/s}$

Tässä tilanteessa on kuitenkin soveliaampaa tarkastella partikkeleita,

- jotka ehtivät laskeutua mitoitusvirtaaman viipymän puitteissa altaan pohjalle asti
- jotka ehtivät laskeutua mitoitusvirtaaman viipymän puitteissa pysyvän vedenpinnan alapuolelle.

154 min viipymällä altaan pohjalle ehtivät laskeutua sellaiset partikkelit, joiden laskeutumisenopeus  $v_s$  on yhtä suuri, tai suurempi, kuin:

$$v_s = \frac{H_a + h}{T} = \frac{(1,725 + 0,127) \text{ m}}{(154 * 60) \text{ s}} = 2,004 * 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,200 \text{ mm/s}$$

Pysyvän vedenpinnan alapuolelle 154 min viipymällä puolestaan ehtivät laskeutua partikkelit, joiden laskeutumisaika  $v_s$  on yhtä suuri, tai suurempi, kuin:

$$v_s = \frac{H}{T} = \frac{0,127 \text{ m}}{(154 \cdot 60) \text{ s}} = 1,37 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,0137 \text{ mm/s}$$

Jotta partikkelit, jotka ehtivät laskeutua pysyvän vedenpinnan alapuolelle, pidättäytyisivät laskeutusaltaaseen, tulee niiden laskeutua altaan pohjalle saakka. Tämä vaatii aikaa:

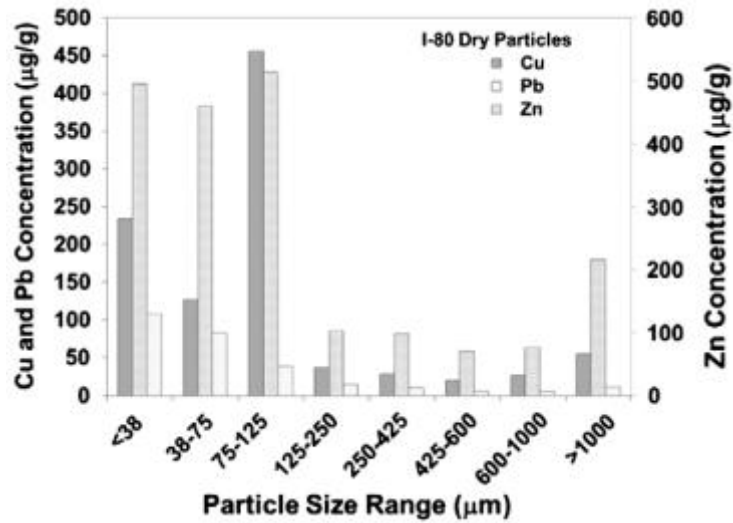
$$T = \frac{H_a + h}{v_s} = \frac{(1,725 + 0,127) \text{ m}}{1,37 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 134\,743,9 \text{ s} \approx 37,5 \text{ h}$$

### 3.9 Johtopäätökset ja suositukset

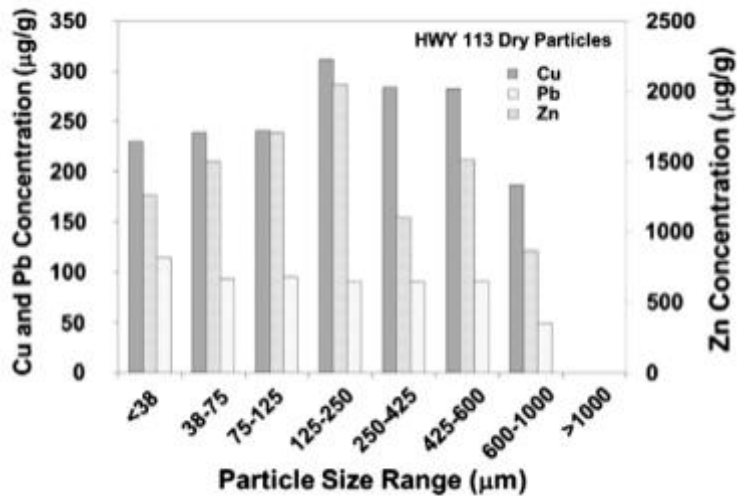
Suunniteltu laskeutusallas kykenee teoreettisesti pidättämään mitoitussateesta partikkeleita, joiden laskeutumisaika on suurempi kuin 0,20 mm/s. Tämä tarkoittaa, että mineraalipartikkeleista ( $\rho = 2,65 \text{ g/cm}^3$ ) pidättäytyisi partikkelit, joiden halkaisija on suurempi kuin 0,02 mm. Tällöin allas pidättäisi mitoitussateesta ainakin soran, hiekan, hiedan ja karkeimman hiesun. Mikäli tarkastellaan partikkeleita, joiden tiheys on  $2,0 \text{ g/cm}^3$ , allas kykenee pidättämään partikkelit joiden halkaisija on vähintään 0,025 mm. Huomioitavaa kuitenkin on, että nämä partikkelikoot vastaavat partikkeleita, jotka ehtivät laskeutua altaan pohjalle asti mitoitussateen viipymän puitteissa. Veden palautuessa pysyvän vedenpinnan tasolle, partikkeleiden laskeutuminen jatkuu virtaamattomassa ja häiriöttömässä tilassa, jolloin mm. hienommallakin hiesulla on mahdollisuus pidättäytyä altaaseen. Laskeutuminen häiriöttömässä tilassa jatkuu seuraavaan sateeseen asti, minkä vuoksi tarkka tulos vaihtelee sadetapahtumien esiintymistiheyden mukaan. Pienillä virtaamilla ( $Q < 10 \text{ l/s}$ ) allas toimii läpivirtausperiaatteella, jolloin vedenpinta ei pääse merkittävästi nousemaan. Tällöin partikkelien pidättäytyminen altaaseen riippuu virtausnopeudesta ja kulkeutumismatkasta. Virtausnopeutta voidaan pienentää suurentamalla altaan poikkipinta-alaa, ja virtausmatkaa muuttamalla virtausreittiä rakentamalla altaaseen esimerkiksi saarekkeita, tai muita virtausta ohjaavia rakenteita.

Huomattavaa kuitenkin on, että raskasmetallikonsentraatiot ovat jonkin verran suurempia pienissä alle 0,125 mm partikkeleissa kuin suuremmissa. Tämä johtuu pienten

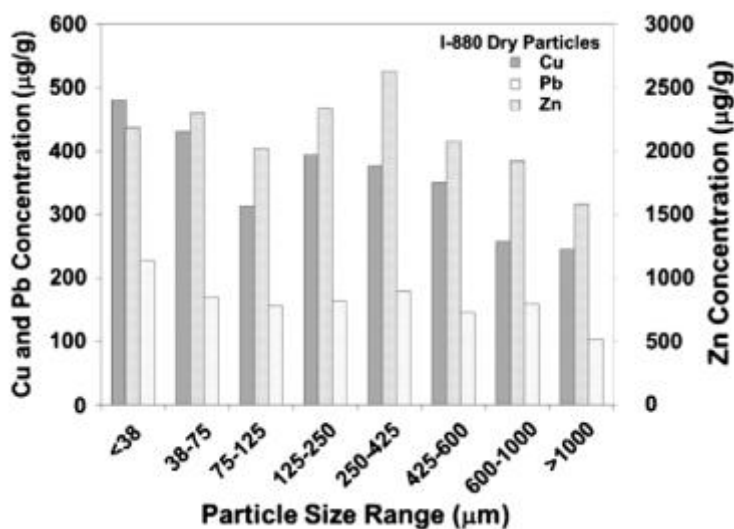
partikkelien suuresta reaktiivisesta pinta-alasta. Kuparin, lyijyn ja sinkin konsentraatiot kolmelta eri Kalifornialaiselta valtatieltä kerätyistä näytteistä ovat esitetty kuvissa 3-5. (Kayahanian et al.,2012).



Kuva 3. Raskametallikonsentraatiot valtatieltä I-80 (Kayahanian et al., 2012)



Kuva 4. Raskametallikonsentraatiot valtatieltä 113 (Kayahanian et al., 2012)



Kuva 5. Raskametallikonsentraatiot valtatieltä I-880 (Kayahanian et al., 2012)

Typpi ja fosfori ovat hulevesissä joko veteen liuenneina tai epäorgaaniseen kiintoainekseen sitoutuneena. Kokonaisfosforista ja -typestä suurin osa on sitoutunut pienten partikkelien pinnalle, johtuen suuresta pinta-alasta massayksikköä kohden, ja ovat tästä syystä hyvin vaikeita poistaa laskeutusaltaita käyttämällä (Häikiö 1998). Teiltä otettujen näytteiden perusteella partikkeleihin sitoutuneesta kokonaistypestä 30 – 60 % voi olla sitoutunut 0,011 - 0,150 mm kokoisiin partikkeleihin, ja kokonaisfosforista 30 – 50 % alle 0,02 mm kokoisiin (Kayahanian et al., 2012). Tutkimukset ovat kuitenkin suoritettu vilkkaasti liikennöidyillä alueilla, ja erilaisissa sääolosuhteissa verrattuna kohdealueella vallitseviin olosuhteisiin. Kohdealueella hulevesien sisältämät partikkelit ovat todennäköisesti soraa, hiekkaa ja muita karkeita maalajeja, mutta osa myös renkaiden ja jarrujen kulumisesta irtoavaa ainesta, irtoavaa päällystettä ja ajoneuvojen mukana kulkeutuvia aineita. Tämä tarkoittaa, että hulevedet sisältävät todennäköisesti vain vähäisen määrän orgaanista ainesta, sekä partikkelien numeerinen lukumäärä ja haitta-aineiden konsentraatiot ovat huomattavasti pienempiä kuin vilkkaasti liikennöidyillä valtateilla.

Vaikka mitoitusvirtaama aiheuttaakin altaaseen turbulenttisen virtauksen, voidaan turbulenssin olettaa olevan vähäistä, ja sen muuttuvan laminaariseksi virtauksen edetessä. Turbulenssia voidaan vähentää rakentamalla altaan alkupäähän pohjapato, joka myös samalla toimii virtausta jakavana ja tasaavana rakenteena. Näin virtaaman saadaan johdettua tasaisemmin koko altaan leveydelle. Lisäksi aktiivista virtauskerrosta saadaan pohjapadon avulla pienennettyä, jolloin sen alapuolelle jää runsaammin laskeutumistilaa.

Altaaseen johdettava virtaama suositellaan jakamaan kolmeen eri haaraan virtaaman tasaamiseksi koko altaan leveydelle (Mohammadighavam et al., 2015 ). Sisääntuloputket asennetaan pysyvän vedenpinnan tasalle, eli 1,5 metrin syvyyteen. Tällöin poikkeuksellisen suurten valumien vuoksi tapahtuva vedenpinnan nousu ei aiheuta padotusta hulevesiputkissa, eivätkä hulevedet pääse tulvimaan parkkipaikka-alueelle kaivonkansien kautta. Poistovyöhyke toteutetaan päätyluiskaan upotetulla hulevesikaivolla, jonka kautta allas myös tarvittaessa tyhjennetään. Poistokaivosta lähtevä 100 mm putki asennetaan 0,3 m syvyyteen kaivonkannesta. Altaan tyhjennys putki asennetaan 1 m syvyyteen pysyvän vedenpinnan ja kaivonkannen tasosta, poistokaivoon liittyväksi. Poistokaivosta tarvitaan myös toinen tyhjennysputki, mikä asennetaan vähintään 1 m syvyyteen. Poistoputkiin tulee asentaa venttiilit, jotta ne saadaan tarvittaessa suljettua ja avattua. Lisäksi päätyluiskaan tulee asentaa rumpuputki 0,5 m pysyvän vedenpinnan yläpuolelle, joka toimii tulvareittinä.

## 4 YHTEENVETO

Laskeutusaltaan mitoitusta ja toimintaa voidaan tarkastella eri näkökulmista. Tässä tutkimuksessa altaan toimintaa tarkasteltiin pintakuorman, virtausnopeuden ja viipymän avulla. Partikkeleiden laskeutumisenopeus määritettiin mm. Stokesin lain avulla, johon vaikuttavia tekijöitä ovat partikkelin koko ja tiheys, sekä fluidin viskositeetti ja tiheys. Mitoituksessa otettiin huomioon myös veden virtausnopeus altaassa. Liian suuri virtausnopeus pienentää viipymää altaassa heikentäen laskeutumista, ja voi aiheuttaa partikkeleiden resuspensiota. Virtausnopeudella on vaikutusta myös altaassa vallitsevaan virtaustilaan. Laskeutusaltaita suunniteltaessa pyritään altaassa laminaariseen virtaamaan. Vaikka virtaus ei olisikaan jatkuvaa, mitoituksessa sen oletettiin olevan häiriötöntä stationäärivirtausta, jolloin voimassa ovat massan-, energian-, liikemäärän säilymislaite.

Tässä suunnitelmassa mitoitusvirtaama ja vesimäärä määritettiin käyttämällä kerran kymmenessä vuodessa esiintyvää rankkasadetta. Viipymää altaassa kasvatettiin padottamalla allasta käyttäen hyväksi poistoputken koon ja asennussyvyyden vaikutusta poistovirtaaman suuruuteen. Laskeutusallas pystyy varmuudella pidättämään mitoitussateesta ainakin niitä partikkeleja, jotka ehtivät viipymän puitteissa laskeutumaan altaan pohjalle, mikäli resuspensiota ei pääse tapahtumaan. Koska virtaus altaaseen ei ole jatkuvaa, osa partikkeleista, jotka eivät ehdi laskeutua altaan pohjalle, jää laskeutumaan altaaseen häiriöttömissä ja virtaamattomissa olosuhteissa seuraavaan sateeseen saakka. Näiden partikkeleiden pidättyvyyteen vaikuttaa seuraavien sateiden rankkuus, kesto ja esiintymistiheys. Mitoitussateesta altaaseen johdettavaksi vesimääräksi määritettiin noin  $105 \text{ m}^3$ , jota saadaan viivytettyä altaassa n. 154 minuuttia. Tällöin mitoitussateesta pidättyyisi altaaseen mineraalipartikkelit, joiden koko  $> 0,02 \text{ mm}$ . Tämän perusteella sora, hiekka, hieta ja mahdollisesti myös osa karkeasta hiesusta on mahdollista saada erotettua hulevesistä. Huomattavaa kuitenkin on, että alle  $0,125 \text{ mm}$  partikkeleissa on eri tutkimuksissa havaittu suurempia raskasmetallikonsentraatioita, kuin suuremmilla partikkeleilla. Suurin osa kokonaistypestä ja -fosforista on sitoutunut hyvin pieniin partikkeleihin, joita on hankala erottaa laskeuttamalla.

Altaaseen johdettavien hulevesien syöttölinja suositeltiin jaettavan kolmeen haaran virtaaman tasaamiseksi tehokkaammin koko altaan leveydelle. Tämän lisäksi suositeltiin altaaseen rakennettavaa pohjapatoa virtaaman tasaamisen ja jakautumisen

tehostamiseksi, sekä aktiivisen virtauskerroksen pienentämiseksi. Altaan pohjavesisuojaus suunniteltiin vaativan kloridisuojauksen mukaan. Lisäksi altaan poistoputkiin tulee asentaa sulkuventtiilit, jotta allas saadaan suljettua mahdollisen onnettomuuden tapahtuessa. Altaan tyhjentäminen tapahtuu poistokaivoon liittyvän tyhjennysputken kautta. Allas tulisi tyhjentää talviajaksi, jotta se ei jäätyisi umpeen talviaikana, ja olisi siten käyttökuntoinen kevään sulamisvesiä varten.

## 5 LÄHDELUETTELO

Asheesh M., Peltokangas J., 2005. Hydromekaniikan perusteet [verkkodokumentti].

Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Saatavissa:

[www.tekniikka.oamk.fi/~mohameda/hydromekaniikka%20perusteet.doc](http://www.tekniikka.oamk.fi/~mohameda/hydromekaniikka%20perusteet.doc) [viitattu 8.12.2015]

Chow V.T., 1959. Open-Channel Hydraulics, International student edition. Tokyo. McGraw-Hill. 680 s. ISBN 0-07-085906-X.

Gregory R., Zabel T.Z., 1990. Sedimentation and Flotation. Teoksessa: Pontius W.P. (toim.) American Water Works Association - Water Quality and Treatment: A handbook of Community Water Supplies. -4<sup>th</sup> edition. New York: McGraw-Hill, s. 367–454. ISBN 0-07-001540-6

Hosia L., 1982, Hydrauliiikka. Teoksessa: Mustonen S. (toim.) RIL141 – Yleinen vesitekniikka. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto ry, s. 119-194. ISBN 951-758024-x

Kuntaliitto, 2012. Hulevesiopas. Suomen Kuntaliitto, Helsinki. 150 s. ISBN 978-952-213-896-5

Häikiö M, 1998. Laskeutusaltaan toimivuus maatalouden vesiensuojelussa. Suomen ympäristökeskuksen moniste 110. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 90.s ISBN 952-11-0241-1

Kayhanian M., McKenzie E.R., Leatherbarrow J.E, Young T.M., 2012. Characteristics of road sediment fractionated particles captured from paved surfaces, surface run-off and detention basin. University of California. Science of the Total Environment 439 (2012) s. 172-186

Kumpulainen A., Ottman R., 1979. Hulevesikannet. Selvitys hulevesikansien vedenläpäisevyydestä ja mitoituksista. Viatek Oy. 30 s.



Liikennevirasto, 2013. Liikenneviraston ohjeita: Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-05\\_teiden\\_ja\\_ratojen\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-05_teiden_ja_ratojen_web.pdf)

Mohammadighavam S., Heiderscheidt E., Kløve B., 2015 Optimization of chemical treatment basin for peat mining runoff water treatment using COMSOL flow model. University of Oulu. 6<sup>th</sup> IC-EpsMsO (2015) s. 324 - 329

Ruohtula J. (toim.), 1996. Kosteikkojen ja laskeutusaltaiden suunnittelu. Suomen ympäristökeskuksen moniste 11. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 50 s.

Taponen T., 1995 Laskeutusaltaat maatalouden vesiensuojelussa. Uudenmaan ympäristökeskuksen julkaisu 3. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki. 56 s ISBN 952-11-0006-0

Tiehallinto, 2004. Pohjavedensuojelus tien kohdalla [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100028-v-04pohjavsuojtienkohd.pd.pdf> [viitattu 11.12.2015]

# LIITTEET

Liite 1. Altaan poikki- ja pituusleikkaus

(1)

