



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

NESTEEN VIRTAUSMITTAUSMENETELMÄT PIENISSÄ AVOUOMISSA

TEKIJÄ: Jussi Haapamaa

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Jussi Haapamaa	
Työn nimi Nesteen virtausmittausmenetelmät pienissä avouomissa	
Päiväys 15.11.2013	Sivumäärä/Liitteet 36/1
Ohjaajat Päätoiminen tuntiopettaja Teemu Räsänen, yliopettaja Merja Tolvanen ja projekti-insinööri Arja Ruokojärvi	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Savonia-ammattikorkeakoulu, RAE-projekti / Labkotec Oy	
Tiivistelmä <p>Virtaamalla on suuri merkitys vesianalytiikassa eli tutkittaessa veden ominaisuuksia ja epäpuhtauksia. Jonkin epäpuhtauden kokonaismäärä tiedetään vasta, kun se on suhteutettu näytteenotto paikassa sillä hetkellä vallinneeseen virtaamaan. Sama koskee sekä avouomavirtausta maastossa että putkivirtausta prosessi- ja kemianteollisuudessa. Toisinaan tietoa virtaamasta tarvitaan muihin tarkoituksiin. Siksi virtaamien tutkimiseen on kehitetty erilaisia tekniikoita, joita tässä työssä tutkittiin ja arvioitiin. Toimeksiantajana toiminut Savonia-ammattikorkeakoulun koordinoima RAE-hanke (Ravinnehävikit euroiksi) halusi tietoa eri tekniikoiden käytettävyydestä ja tarkkuudesta pienissä avouomissa.</p> <p>Tässä työssä käytettyjä virtausmittausmenetelmiä olivat siivikkomittaus, akustinen eli ultraääneen perustuva mittaus, mittapato sekä paineanturin ja mittapadon yhdistelmällä toteutettu mittaus. Mittaukset tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun vesilaboratorion tiloissa Kuopion Technopoliksella sijaitsevassa altaassa. Paineanturin käyttöä varten rakennettiin mobiili mittausjärjestelmä, jonka pohjana on Siemensin LOGO!-logiikkamoduuli.</p> <p>Työn tuloksena saatiin vertailu eri tekniikoiden toimivuudesta ja tarkkuudesta pienessä avouomassa sekä kuvaus paineanturin käyttöön tehdyn mobiilin mittausjärjestelmän rakentamisesta. Eri menetelmillä tehtyjen mittausten tulokset olivat hyvin vertailukelpoisia keskenään. Vasta mittauksissa käytetyn altaan maksimivirtaamalla alkoi syntyä eroja eri menetelmien välille.</p>	
Avainsanat Virtaama, avouoma, ultraääni, siivikko, mittapato, paineanturi	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author Jussi Haapamaa			
Title of Thesis Flow Measurement Methods in Small Open Channels			
Date	15 November 2013	Pages/Appendices	33/1
Supervisors Mr Teemu Räsänen, Full-Time Lecturer, Ms Merja Tolvanen, Principal Teacher, Ms Arja Ruokojärvi, Project Engineer			
Client Organisation / Partners Savonia University of Applied Sciences, RAE-project / Labkotec Oy			
<p>Abstract</p> <p>Flow has an important role in water analytics, in other words when studying water attributes and impurities. The total amount of an impurity is not known until it has been proportioned with the flow prevailed at the measurement point at that moment. The same applies to open channel flow in terrain and to pipe flow in process- and chemical industry. Sometimes flow measurement data is needed for other purposes. Therefore different kinds of flow measurement methods have been developed, which were studied and observed in this thesis. The client RAE-project (Turning of Nutrient Losses into Profits) coordinated by Savonia University of Applied Sciences wanted to have knowledge of the usability and accuracy of the different methods in small open channels.</p> <p>The flow measurement methods used in this thesis were propeller-type current meter measuring, acoustic or ultrasonic measuring, measuring weir and a combination of measuring weir and a pressure sensor. The measurements were performed in a tank located in the water laboratory of Savonia University of Applied Sciences in Technopolis, Kuopio. For the pressure sensor a mobile measuring system was built based on Siemens LOGO!-logical module.</p> <p>As an outcome of the thesis a comparison of the functionality and accuracy of different methods in a small open channel was achieved, as well as a description of the construction of the mobile measuring system used with a pressure sensor. The results of measurements done with different methods were very comparable. The differences among the methods were not beginning to show until at the maximum flow rates of the tank used.</p>			
Keywords Flow, open channel, ultrasonic, propeller-type current meter, measuring weir, pressure sensor			
Public			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty osana Pohjois-Savon ELY-keskuksen rahoittamaa ja Savonia-ammattikorkeakoulun koordinoimaa Ravinnehävikit euroiksi (RAE) -hanketta.

Haluan kiittää Teemu Räsästä työn ohjauksesta ja kannustuksesta. Kiitokset myös projekti-insinööri Tero Kuhmoselle sekä tilaajan edustajalle Arja Ruokojärvelle avusta työn toteutuksessa.

Kuopiossa 15.11.2013
Jussi Haapamaa

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	VIRTAUSMITTAUSMENETELMIEN TUTKIMUSPAIKKA	8
3	YLEISTÄ VIRTAUKSESTA.....	10
4	VIRTAUSMITTAUSMENETELMIEN KUVAUS.....	12
4.1	Siivikkomittaus.....	12
4.1.1	Siivikon toimintaperiaate	12
4.1.2	Seba Mini Current Meter M1	13
4.2	Akustiset järjestelmät.....	14
4.2.1	Akustisen järjestelmän toimintaperiaate.....	14
4.2.2	Nivus PCM 4.....	16
4.3	Mittapato.....	17
4.3.1	Mittapadon toimintaperiaate.....	18
4.3.2	V-mittapato.....	18
4.4	Paineanturin ja mittapadon yhdistelmä	19
4.4.1	Paineanturin toimintaperiaate.....	19
4.4.2	Aplisens SGE-25	20
5	MITTAUSTULOKSET.....	21
5.1	Tulosten tarkastelu	22
5.2	Epävarmuudet	22
6	PAINEJÄRJESTELMÄ	23
6.1	Laitteet	23
6.2	Rakentaminen	24
6.3	LOGO!-ohjelma.....	25
6.4	Toiminta.....	26
7	ESIMERKKIKOHDE MTT MAANINKA	27
7.1	Mittauksissa käytetyt menetelmät	27
7.1.1	Sontek FlowTracker	27
7.1.2	Unidata Starflow Ultrasonic Doppler Instrument	28
7.2	Tulokset	28
7.3	Tulosten tarkastelu	29
8	YHTEENVETO.....	30
8.1	Mittaustekniikoiden keskinäinen toimivuus.....	30
8.2	Eri tekniikoiden hyvät ja huonot puolet.....	30

LÄHTEET

LIITTEET Liite 1 Siivikkomittausten tulosten laskenta

1 JOHDANTO

Virtausmittaus on kanavassa tai putkessa tapahtuvaa kaasun tai nesteen liikkeen mittaamista. Kun mitataan virtauksen nopeus ja lisäksi lasketaan virtausta kohtisuoraan oleva poikkipinta-ala, saadaan määritettyä virtaama. Varsinkin teollisuudessa virtausmittauksilla on tärkeä rooli tehtaiden valvonnassa ja ohjauksessa mutta ne vaikuttavat myös tavallisen kansalaisen elämään esimerkiksi puhtaan veden saannissa. Tästä esimerkkinä lähes joka taloudesta löytyvä, käytettyä puhtaan veden määrää mittaava vesimittari.

Tämä opinnäytetyö on osa Savonia-ammattikorkeakoulun koordinoimaa Ravinnehävikit euroiksi – projektia. Sen tavoitteena on tutkia maatalouden ravinteiden kulkeutumista pelloilta vesistöihin ja keksiä tähän ongelmaan ratkaisuja. Tutkittaessa ravinnepitoisuuksia avouomissa on myös uoman virtaamalla suuri merkitys kokonaiskuormituksia tarkasteltaessa.

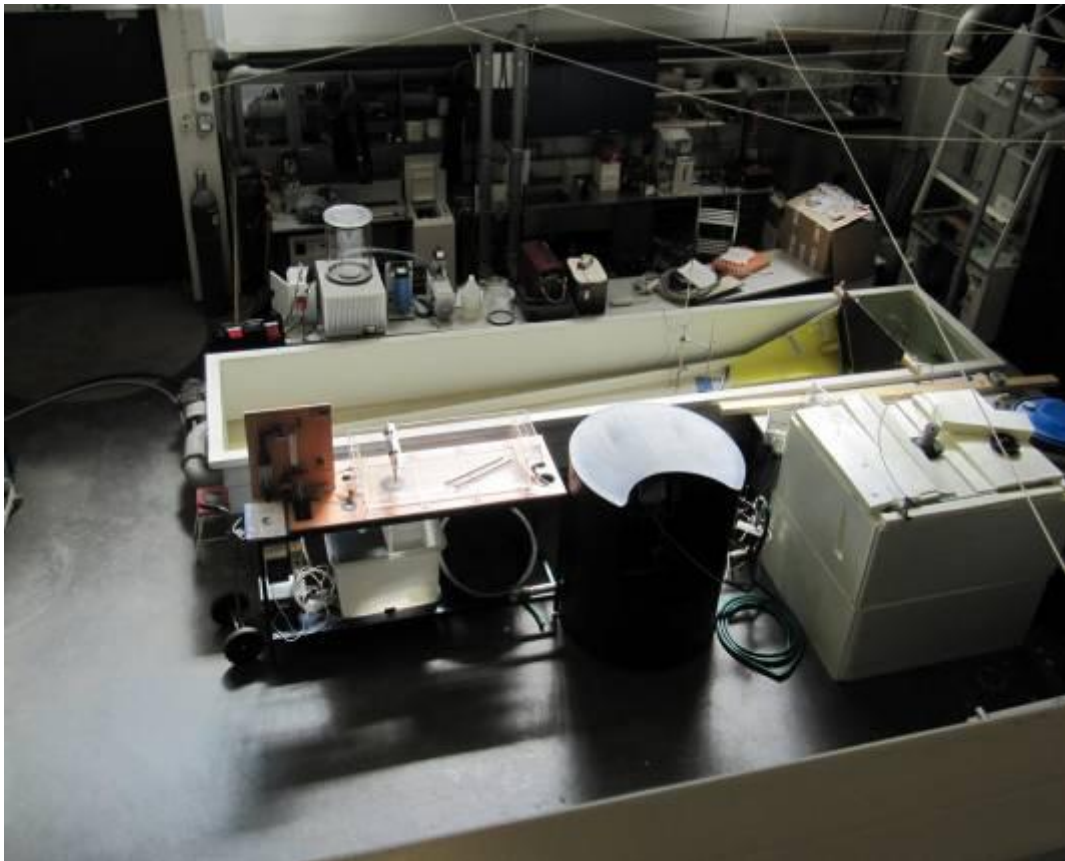
Tämän opinnäytetyön tavoitteena on keskittyä nesteen virtausmittausmenetelmien testaukseen ja keskinäiseen vertailuun avouomassa. Erityistä huomiota kiinnitetään paineanturin ja mittapadon yhdistelmällä tapahtuvaan virtausmittaukseen ja sen soveltuvuuteen hyödynnettäväksi RAE -projektissa.

Työn muut tavoitteet ovat tuottaa opetusmateriaalia Savonia-ammattikorkeakoulun tarpeisiin sekä tutkimustietoa Labkotek Oy:lle heidän tätä työtä varten lainaamastaan akustisesta virtausmittarista.

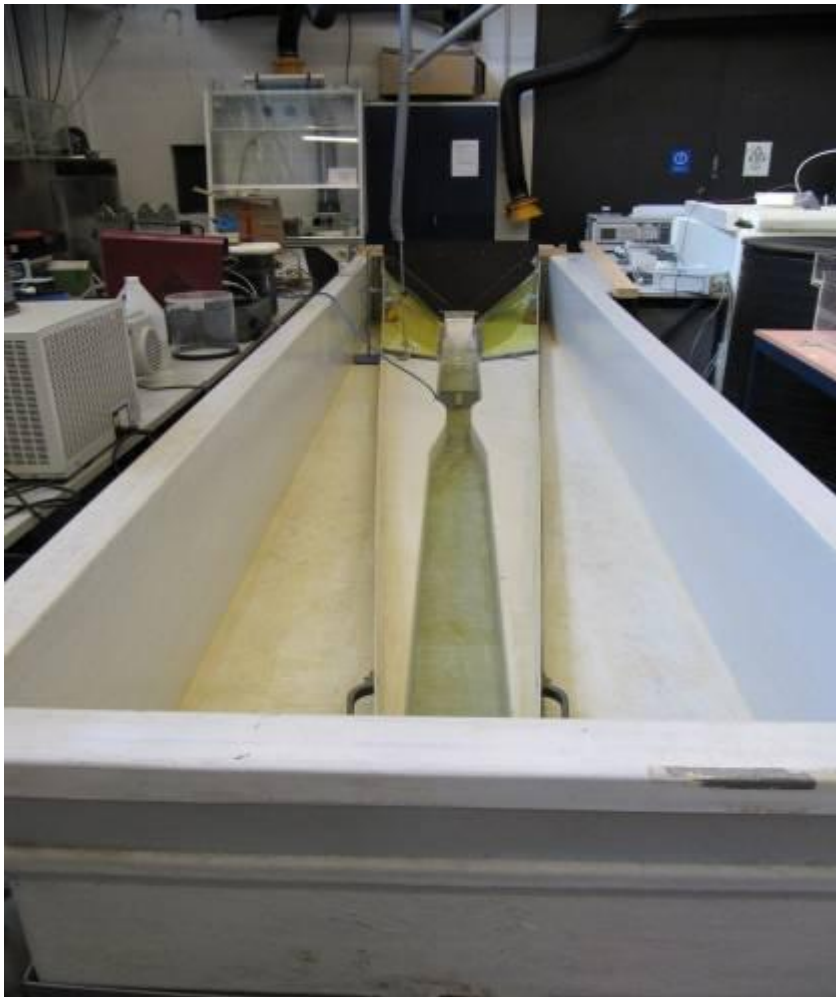
2 VIRTAUSMITTAUSMENETELMIEN TUTKIMUSPAIKKA

Tutkimuksissani mittauspaikkana toimi Savonia-ammattikorkeakoulun vesilaboratorion tiloissa Kuopion Technopoliksella sijaitseva allas (kuva 1). Se on noin seitsemän metriä pitkä ja 1,5 metriä leveä. Altaassa on taajuusmuuntimella toimiva pumppu jolla saa säädeltäviä virtauksen voimakkuutta sekä toisessa päässä allasta v-mittapato. Vesi virtaa päädystä toiseen altaan ulkopuolisen pyöreän putken kautta. Altaan pohjalla on muovista valmistettu avouoma, leveydeltään 25 cm ja korkeudeltaan 27 cm (kuva 2).

Lisäksi tein altaaseen kaksi muutosta vähentääkseni turbulenssia ja näin parantaakseni mittaustarkkuutta. Kuvassa 2 näkyy altaan toisessa päässä levy, joka hieman laminarisoi virtausta. Lisäksi tukin pieniä ohivirtaamia. Tein kaikki tähän työhön liittyvät mittaukset tässä uomassa näillä muutoksilla.



Kuva 1 Vesilaboratorion allas. Altaassa on kuvan ottamisen hetkellä käynnissä siivikkomittaus. Valokuva Jussi Haapamaa 2012.



Kuva 2 Avouoma altaassa. Kuvan ottamisen hetkellä altaassa on käynnissä ultraäänivirtausmittaus. Valokuva Jussi Haapamaa 2012.

3 YLEISTÄ VIRTAUKSESTA

Virtaus on nesteen tai kaasun liikettä. Sen aiheuttaa luonnostaan painovoima mutta se voidaan saada aikaan myös keinotekoisesti, esim. pumpulla. Virtausta on kahdenlaista, laminaarista ja turbulanttista. Virtaus on laminaarista silloin, kun nestepartikkeleiden hetkellinen nopeus on sama, kuin virtauksen keskimääräinen nopeus. Nestekerrosten välillä ei siis tapahdu sekoittumista. Laminaarista virtausta esiintyy vesihuollossa verrattain harvoin mutta on tilanteita, joissa sen huomioon ottaminen on välttämätöntä. Tällaisia tilanteita esiintyy esimerkiksi pohjaveden oton yhteydessä, jolloin veden virtauksen kaivon tulisi olla laminaarista. (Vesihuolto I: RIL 124-1, 2003.)

Turbulanttista virtaus on silloin, kun partikkelin hetkellisen nopeuden suuruus ja suunta poikkeavat sattumanvaraisesti keskimääräisestä arvosta. Nestekerrokset siis sekoittuvat keskenään. Turbulenttinen virtaus on vesihuollossa huomattavasti yleisempää kuin laminaarinen. Kuitenkaan puhdasta turbulanttista virtausta ei esiinny kovin usein, vaan virtaustila on usein ns. siirtymävyöhykkeellä eli laminaarisen ja turbulanttisen alueen välissä. (Vesihuolto I: RIL 124-1, 2003.)

Virtaukseen vaikuttavat ja turbulenssia aiheuttavat erilaiset häiriötekijät. Tärkeimmät näistä ovat

- 1) 30°, 60°, 90° kulmat, suunnan muutokset
- 2) Toinen kulma ensimmäisen jälkeen, S-muoto, U-muoto tai poikkeama tasoissa
- 3) Esteet virtauskentällä – venttiilit, liukukappaleet, liittimet jne.
- 4) Putken halkaisijan laajennus/supistus
- 5) Kaikki virtauskentän esteet, jotka aiheuttavat pyörteitä, esim. kynnykset (Tonteri Petri 2012.)

Ylempänä esitettyjä putkivirtauksessa esiintyviä häiriötekijöitä voidaan soveltaa myös avouomiin. Näistä tekijöistä johtuen virtaus luonnonuomassa on hyvin harvoin laminaarista.

Virtaukseen liittyy vahvasti käsite virtaama. Se on tietyn poikkileikkauksen läpi kulkevan ainemäärän tilavuus aikayksikössä. SI-järjestelmän mukainen yksikkö on m^3/s mutta pienemmille virtaamille käytetään paljon esimerkiksi yksikköä litraa sekunnissa (l/s), joka tarkoittaa samaa kuin dm^3/s .

Virtaama pystytään ideaalissa tapauksessa laskemaan kaavalla

$$Q = v * A \quad (\text{kaava 1})$$

Q = virtaama

v = virtauksen nopeus

A = poikkileikkauksen pinta-ala.

Poikkileikkauksen pinta-alan (A) pystyy määrittämään matemaattisesti mutta virtausnopeuden selvittämiseksi riittävän tarkasti tarvitaan mittalaitteita. Osa niistä osaa laskea virtaaman (Q) suoraan, osalla voidaan selvittää virtausnopeus (v).

4 VIRTAUSMITTAUSMENETELMIEN KUVAUS

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on keskittyä erityisesti nesteen virtausmittausmenetelmien testaukseen ja keskinäiseen vertailuun avouomassa. Työssä käytettyjä virtausmittausmenetelmiä ovat siivikkomittaus, mittapato, akustinen eli ultraääneen perustuva mittaus, sekä paineanturin ja mittapadon yhdistelmällä toteutettu mittaus. Esimerkkikohteen yhteydessä esitellään lisäksi akustiset doppler-ilmiöön perustuvat Sontek Flowtracker sekä Starflow Ultrasonic Doppler Instrument. Siivikkomittaus ja mittapato ovat olleet mittauksissa ja markkinoilla jo pitkään ja ultraääneen perustuvat järjestelmätkin ovat Suomessa ja maailmalla jo yleisiä. Paineanturi ei itsessään ole uutta tekniikkaa mutta sen käyttäminen yhdessä mittapadon kanssa on vielä melko uutta.

4.1 Siivikkomittaus

Siivikkomittaus kehitettiin jo 1800-luvulla ja sillä on yhä suuri merkitys vesistöjen virtaaman mittauksessa. Mittaus toteutetaan määrittelemällä uoman poikkileikkauksen pinta-ala ja keskimääräinen virtausnopeus. Siivikkomittauspaikalla uoman tulisi olla suora, poikkileikkauksen säännöllisen muotoinen ja erityisesti pienehkössä uomassa rannoiltaan selkeä. Virtauksen tulisi olla pyörteetöntä ja virtausnopeuden pääosin välillä 0,1...2 m/s. Vesisyvyyden suositus on 2...3 m, mutta pienissä uomissa se on väistämättä pienempi. Poikkileikkauksessa ei saisi olla kasvillisuutta tai muita mittausta tai virtausta häiritseviä tekijöitä. Myös kova tuuli häiritsee mittausta erityisesti leveissä uomissa. Siivikkoon liittyy suoraan nopeuden näyttävä rekisteröintilaitte tai kierroslaskuri. Tulokset merkitään mittaushetkellä virtaaman havaintokirjaan, ja virtaama lasketaan tietokoneohjelman avulla myöhemmin. (Korhonen 2007, 12.)

4.1.1 Siivikon toimintaperiaate

Virtaaman mittaaminen siivikolla perustuu siihen tietoon, että siivikon potkurimaisen siiven (kuva 3) pyörimisnopeuden perusteella voidaan laskea veden virtausnopeus. (Korhonen 2007.) Siivikkomittaus toteutetaan siten, että kohtisuoraan uomaa vastaan merkitään mitattava poikkileikkaus. Siltä valitaan tasavälein mittauspystysuoria, joiden virtausnopeuksien jakauma määritetään mittaamalla virtausnopeus eri syvyyksillä. Mittauspystysuorien määrä riippuu uoman leveydestä. Mittauspystysuorien suositeltava määrä isommissa uomissa on 5...6 kappaletta, ja matalissa uomissa 2...3 eri syvyyttä. Koska luonnonuomien virtaus on aina jokseenkin pyörteistä, jokaiselta syvyydeltä virtausta mitataan tavallisesti 50 sekunnin ajan. (Korhonen 2007, 12.) Siivikkomittauksen mittauspisteistä on esitetty havainnekuva liitteessä 1.

4.1.2 Seba Mini Current Meter M1

Kyseinen siivikko on saksalaisen Seba Hydrometrie GmbH:n valmistama pienoissiivikko (kuva 4). Se on hyvin monikäyttöinen ja omiaan juuri pienissä avouomissa. Sillä on kuitenkin virtauksen nopeuden suhteen omat rajoitteensa. Riippuen käytettävästä mittapotkurista sillä voidaan mitata virtausnopeuksia väliltä 0,025 – 5,0 m/s, joka riittää moniin kohteisiin. (Seba Hydrometrie GmbH. 2010, 6.)

Mittausten jälkeiseen tulosten laskemiseen kehitin taulukon joka on esitetty liitteessä 1. Samassa liitteessä selitetään myös mittauksen kulku ja esitetään ohjeet taulukon käytölle. Taulukossa esitetty virtausnopeus (m/s) lasketaan kutakin siivikointikohtaa kohden kaavalla

$$V = k \cdot n \cdot D \quad (\text{kaava 2})$$

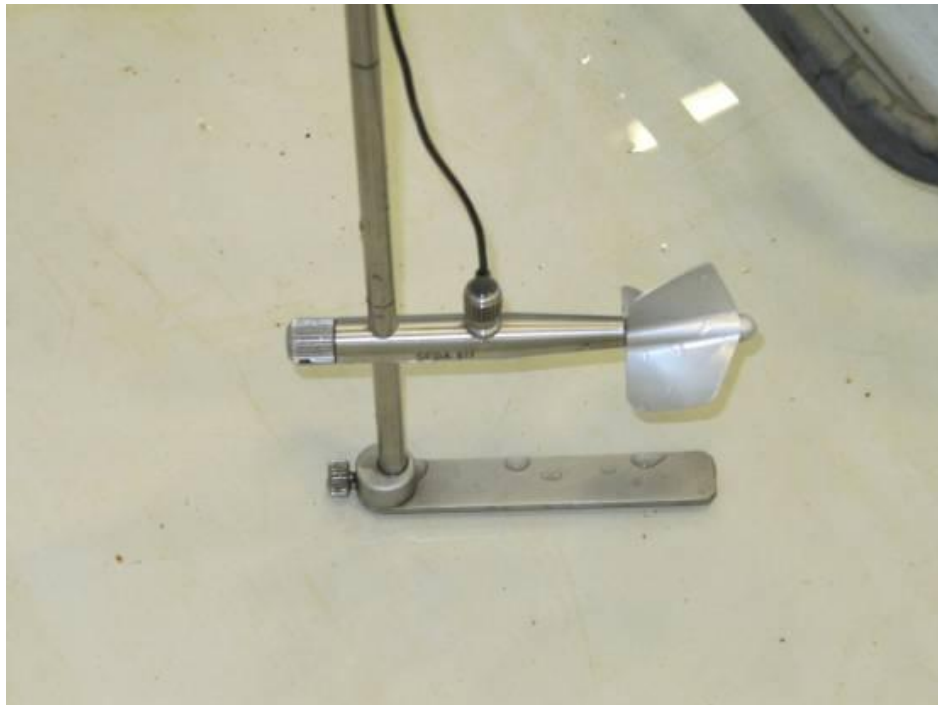
V = virtausnopeus (m/s)

k = siiven hydraulinen nousu (m)

n = siiven kierrosmäärä (krt/s)

D = siivikkovakio

Virtauksen yhtälö on mittalaitokohtainen ja sen kertoimet ($k = 0,2591$) ja ($D = 0.005$) on määritetty siivikon kalibroitikäyrän avulla. (Räsänen Teemu 2013.)



Kuva 3 Seba Mini Current Meter M1-siivikko mittausvarressaan. Kaikkien siivikoiden perusrakenne on sama. Vain koko vaihtelee mitattavan uoman koon mukaan. Valokuva Jussi Haapamaa 2012.



Kuva 4 Seba Mini Current Meter M1 toimitetaan tarvikkeineen ja varaosineen alumiinisessa säänkestävässä kotelossa. Valokuva Seba Hydrometrie GmbH 2010.

4.2 Akustiset järjestelmät

Ultraääntä on käytetty hyväksi vesistöjen virtaaman mittaamisessa jo 1960-luvulta lähtien. Menetelmä yleistyi 1970-luvulta lähtien ja sen jälkeen erilaisten ultraääni tekniikoiden ja sovellusten määrä on kasvanut. Aina 1980-luvulle saakka laitteistot olivat pääasiassa kiinteitä rakenteita. (Korhonen 2007, 12.)

Ultraääntä mittaukseen käytävä laitteisto osaa mm. näyttää virtausnopeudet uoman tai putken eri kerroksissa. Ultraäänianturit voidaan myös asentaa monella tavalla mitattavasta väliaineesta riippuen. Yleisiä ovat putken ulkopinnalle asennettavat anturit ("Clamp on"-tekniikka) jotka eivät joudu kosketuksiin esim. kuuman tai syövyttävän väliaineen kanssa ja jotka voidaan asentaa prosessia pysäyttämättä. Toinen vaihtoehto on sijoittaa anturit uoman pohjalle tai pinnan yläpuolelle, tai putken sisälle, ala- tai yläpinnalle. Lisäksi mittaustekniikoita on monenlaisia. Tässä työssä syvennyttiin Labkotec Oy:n meille lainaamaan Nivus PCM 4 – laitteistoon (kuva 5).

4.2.1 Akustisen järjestelmän toimintaperiaate

Ultraääneen perustuvia mittaustekniikoita on kolmea erilaista: Doppler-ilmiötä hyödyntävä, kulkuaikaeroon perustuva sekä ristikorrelaatiomenetelmä. Kaikissa käytetään hyväksi ultraääntä eri tavoin ja laittein.

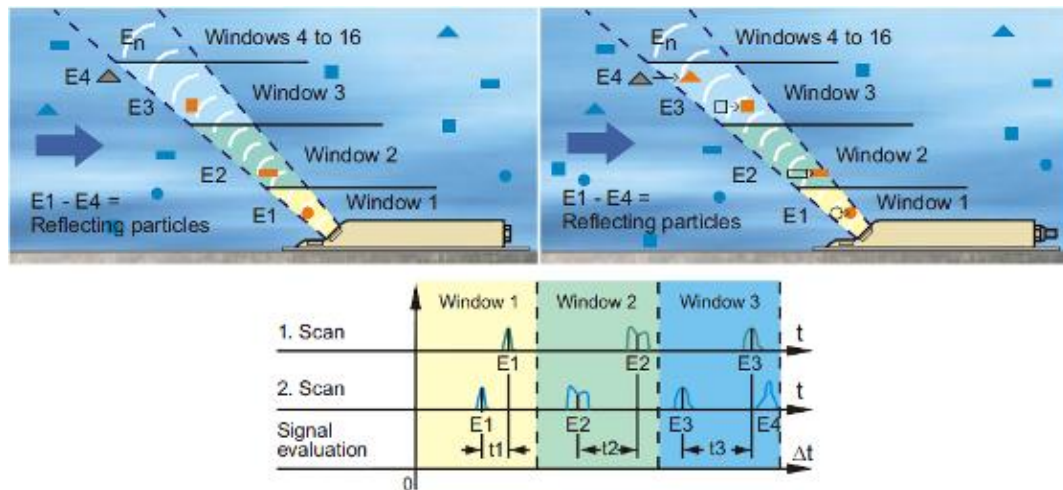
Doppler-ilmiötä hyödyntävä tekniikka on hyvin yleinen akustisissa mittareissa. Se perustuu virtauksessa kulkevista epäpuhtauksista tapahtuvaan ääniaaltojen heijastumiseen, joten mitattavan väliaineen kiinteät epäpuhtaudet ovat sen käytön edellytys. Epäpuhtauksista heijastuneelle ja alkuperäiselle lähetetylle signaaleille saadaan tällöin doppler-ilmiön mukainen taajuusero, joka on verrannollinen virtausnopeuteen. Tulokseen vaikuttaa myös äänen etenemisnopeudesta väliaineessa, jonka vuoksi doppler – virtausmittari on herkkä epähomogeenisuusjakauman ja virtausprofiilin muutoksille. (Asikainen 2000, 21.)

Kulkuaikaeroon perustuva tekniikka on pohjimmiltaan yksinkertainen. Mittari muodostuu kahdesta ultraäänilähtetin-vastaanottimesta. Toinen lähettää ultraääntä virtauksen suuntaan ja toinen virtausta vastaan. Ultraäänen etenemisnopeus nesteessä riippuu voimakkaasti nesteen lämpötilasta ja tietenkin siitä, mikä neste on kyseessä. Lämpötilan vaikutus saadaan eliminoitua lähettämällä ultraäänipaketti myötä- ja vastavirtaan lyhyin aikavälein. Virtausnopeus voidaan laskea kulkuaikaan muodostuvasta erosta, jonka mittaamiseen on monia eri vaihtoehtoja, esim. aaltojen kulkuajan aikaero, lähetettyjen ja vastaanotettujen aaltojen vaihe-ero sekä taajuuden ero. (Ylivainio 2010, 7.)

Kolmas mittausperiaate hyödyntää ristikorrelaatiota. Ensimmäisessä vaiheessa mittari lähettää ultraääni-impulssin ja tallentaa takaisin tulleen, väliaineen epäpuhtauksista heijastuneen kaiun. Toinen vaihe seuraa muutaman millisekunnin kuluttua. Impulssi lähetetään uudestaan ja tästä saatu kaiu tallennetaan. Kolmannessa vaiheessa saatuja kaikuja vertaamalla tunnistetaan kunkin epäpuhtauden paikka virtauksessa (kuva 6). Epäpuhtauksien kulkeman matkan ja ultraääni-impulssien välisen ajan perusteella saadaan laskettua väliaineen virtausnopeus. Tässä oletuksena on se, että epäpuhtaudet liikkuvat samaa vauhtia kuin virtaus. Virtausnopeuden ja mittariin ohjelmoidun uoman tai putken poikkipinta-alan avulla laite laskee ja esittää virtaaman. Tässä työssä käytetty Nivus PCM 4 ultraäänivirtausmittari käyttää mittaukseen juuri tätä menetelmää. (Nivus GmbH 2007, 19.)



Kuva 5 Akustinen virtausmittari Nivus PCM 4. Valokuva Jussi Haapamaa 2012.



Kuva 6 Ristikorrelaatio-menetelmän mittausperiaate. Ylemmissä kuvissa laite lähettää pienin väliajoin kaksi ultraäänipulssia ja tallentaa niistä saadut kaiut. Alemmassa kuvassa laite vertailee kaikuja ja tällä perusteella määrittää virtausnopeuden. Kuva Nivus GmbH 2007.

4.2.2 Nivus PCM 4

Laitteisto on saksalaisen Nivus GmH:n valmistama ja koostuu PCM 4- yksiköstä sekä anturista. PCM 4- Yksikkö painaa noin kaksi kiloa ja on kannettava eli sitä voidaan käyttää verkkovirralla tai akulla. Kotelolla on luokitus IP67 eli se on veden- sekä pölynkestävä. Se pitää sisällään mittaukseen tarvittavat ohjelmistot, liittännät ja muistikorttipaikan mittaustulosten tallentamiseen. (Nivus GmbH 2007, 10.)

Antureita on kahdenlaisia: vesi-ultraääniantureita (kuva 6) kohteisiin, joissa mittaus tapahtuu uoman pohjalta sekä ilma-ultraäänianturi, joilla virtausta voidaan mitata pinnan yläpuolelta. Tässä työssä käytettiin pelkästään vesi-ultraäänianturia. Anturi pystyy ultraäänien avulla mittaamaan pinnankorkeutta 5–200 cm:n välillä tarkkuudella ± 2 mm ja sen sisältämän paineanturin avulla 0–350 cm:n välillä tarkkuudella $\leq 0,5$ % saadusta arvosta. Virtausnopeutta anturilla voi mitata välillä -100 cm/s - +600 cm/s maksimissaan 16:lta eri tasolta. Virtausnopeuden mittauksen virherajat ovat < 1 % mitatusta arvosta kun nopeus on > 1 m/s ja $< 0,5$ % mitatusta arvosta kun nopeus on $+5$ mm/s mutta < 1 m/s. Lämpötilaa anturi mittaa välillä -20 °C - $+60$ °C tarkkuudella $\pm 0,5$ K. (Nivus GmbH 2007, 11-12.)

Virtaaman määrittäminen akustisesti on verrattain helppoa, koska laite suorittaa itse tarvittavat laskutoimitukset. Ensin valitaan käytettävä anturi. Tässä tapauksessa valittiin vesi-ultraäänianturin (kuva 7), koska mittaus oli helpointa ja järkevintä toteuttaa uoman pohjalta. Seuraavaksi itse laitteeseen ohjelmoidaan mitattavan uoman muoto, mitat ja muut halutut parametrit. Sitten anturi asennetaan uomaan sellaiselle kohtaa, jossa siihen vaikuttaa mahdollisimman vähän häiriötekijöitä (mutkia, kavennuksia, venttiilejä). Asennus tulee tehdä tukevasti, ettei anturi pääse liikkumaan. Laitteisto käynnistetään ja mittaus alkaa. Mittaustulosten tallennusta varten laitteessa on muistikorttipaikka.



Kuva 7 Nivus PCM 4:n anturit. Vasemmalla vesi-ultraäänianturi ja oikealla ilma-ultraäänianturi. Valokuva Nivus GmbH 2007.

4.3 Mittapato

Mittapato on käytössä hyvin yksinkertainen tapa mitata nesteen virtaamaa. Se muodostuu yksinkertaisimmillaan levystä jonka yli vesi virtaa. Tarkempaa mittaustietoa saadaan kuitenkin kun levyyn tehdään aukko, jonka lävitse virtaus kulkee. Tämän aukon muodon mukaan padot myös nimetään. Aikojen saatossa mittapatoja on kehitetty hyvin monenmuotoisia mutta toimintaperiaate on kuitenkin kaikissa sama. Yleisesti käytettyjä mittapadon muotoja ovat neliö, nelikulmio, puolisuunnikas sekä v- eli Thompson-mittapato, jota tässä työssä käytettiin (kuva 8).

Mittapadon rakentamiselle on olemassa muutamia vaatimuksia. Rakentaminen edellyttää uomalta riittävää kaltevuutta, joka sallii padotusta. Riittävänä kaltevuutena pidetään yhtä prosenttia eli metrin pudotusta 100 metrin matkalla. Padotuksen suositellaan olevan noin 70–80 cm patoaukon alimpaan kohtaan mutta hyvin pienissä uomissa vähempikin (50-60 cm) riittää. Näin veden vapaa ylisyoxy varmistetaan kaikkina aikoina, ja vältytään alapuoliselta padotukselta jopa kevättulvien aikaan. Vapaan ylisyoxyyn lisäksi tulee kiinnittää erityistä huomiota virtauksen lähestymisnopeuteen, patoseinien riittävään ulottuvuuteen uoman seinämiin sekä alapuoliseen eroosiosuojaan, koska näillä tekijöillä on suuri merkitys padon kestävyuden ja tarkkuuden kannalta. (Kupiainen 2010, 27-28.)

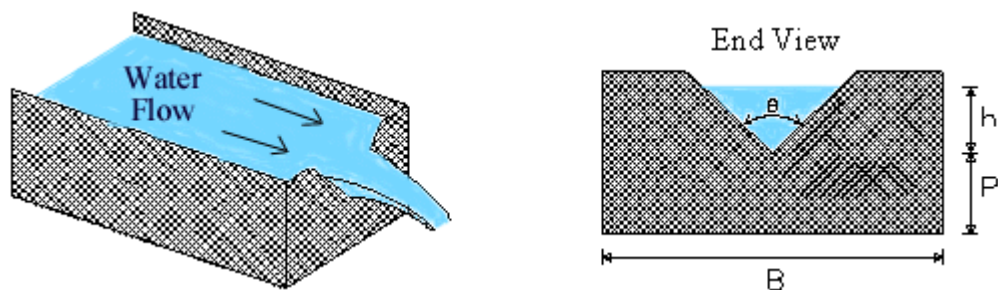
Mittapadon käyttämisessä on kuitenkin joitakin ongelmia, näin myös v-mittapadolla. Suurin ongelma lienee padolle sopivan paikan löytäminen ja padon rakentaminen. Padosta tulee tehdä riittävän tukeva, ettei se suurillakaan virtaamilla lähde virtaavan veden mukaan. Padon yläpuolelle tarvitsee olla myös riittävästi tilaa erityisesti keväisin nousevalle vedenpinnalle. Mittapadolla ei tarkasti pysty mittaamaan kovin suuria virtaamia ja patoa täytyy huoltaa ja ylläpitää säännöllisesti. Myös tulokset täytyy käydä lukemassa paikan päällä, joka saattaa padon maksimivirtaamilla olla haasteellista tai ainakin aikaa vievää.

4.3.1 Mittapadon toimintaperiaate

Virtaaman määrittäminen mittapadon avulla perustuu matemaattiseen kaavaan. Tietyn muotoisesta padosta virtaa aina samalla veden korkeudella yli sama määrä vettä. (*Wet City – veden kiertokulku kaupungissa. Opettajan materiaali 2003, 51.*)

4.3.2 V-mittapato

Virtaama ollessa alle 1 500 m³/d, on V-aukkoinen Thompsonin mittapato (kuvio 1) yleisesti käytössä Suomen puroissa ja ojissa. Maksimivirtaama kolmiopadolle on 4 000 m³/d, mutta suuremmilla virtaamilla käytetään myös siivikkomittausta tai puolisuunnikasaukkoista Cipollet'n mittapatoa. (Kupiainen 2010, 26.)



Kuvio 1 V-mittapadon kaaviokuva sivusta ja alajuoksulta katsottuna. Kuvio LMNO Engineering 2007.

V-mittapadolle virtaama lasketaan seuraavasti:

$$Q = 0,0236 \mu \tan \frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}}, \text{ jossa} \quad (\text{kaava 3})$$

Q = virtaama padon yli [l/s]

μ = purkautumisvakio

θ = purkautumisaukon kulma [90°]

h = veden korkeus patoaukon pohjasta [cm]

Kun lähestymisnopeus aukkoon $\leq 0,3$ m/s, saa purkautumiskerroin μ arvon 0,60. Kun purkautumiskertoimen lisäksi purkautumisaukon kulma θ on määritelty 90° suuruiseksi, sieventyy kaava muotoon jolla tässä työssä laskin kaikki mittapadolta saamani virtaamat:

$$Q = 0,01416 h^{\frac{5}{2}} \quad (\text{kaava 4})$$

(Kupiainen 2010, 31-32.)



Kuva 8 V-mittapato maastossa Kirmanjärvellä. Padon takana näkyy musta muoviputki jonka sisään on asennettu paineanturi. Valokuva Jussi Haapamaa 2012.

4.4 Paineanturin ja mittapadon yhdistelmä

Paineanturilla itsessään ei pystytä mittaamaan virtaamia mutta kun se asennetaan mittapadon yhteyteen, tarkemmin sanottuna ennen mittapatoa virtauksen suunnasta katsottuna, siitä tulee tehokas väline. Paineanturin ja sitä varten rakennetun järjestelmän (kuva 9) mittaamien ja tallentamien vesisyvyyksien perusteella voidaan helposti laskea mittapadon yli virrannut vesi. Lisäksi järjestelmä on halpa ja varmatoiminen.

4.4.1 Paineanturin toimintaperiaate

Tekniikan kehittyessä ovat myös paineanturit kehittyneet entistä paremmiksi ja monipuolisemmiksi. Seuraavaksi esitellään kaksi yleisintä antureiden toimintaperiaatetta, joihin perustuu valtaosa kaikista hydraulisen paineen mittaukseen tarkoitetuista antureista. Ensimmäinen on venymäliuskaan perustuvan paineanturi. Sen runkoon on nimensä mukaisesti kiinnitetty venymäliuska eli ohut metallijohde. Anturin runko on muotoiltu niin, että mitattava paine venyttää liuskaa ja kasvattaa näin sen resistanssia lineaarisesti. Anturin sisään on rakennettu vahvistin, joka vaatii toimiakseen syöttöjännitteen ja muuntaa anturilta saadun resistanssin virta- tai jänniteviestiksi. Toinen suosittu anturityyppi on pietsoresistiivisen paineanturi. Sen toimintaperiaate on samankaltainen kuin venymäliuskillakin. Anturissa on kuitenkin liuskan sijaan pietsoresistiivinen komponentti, jonka resistanssi muuttuu voimakkaasti paineen kohdistuessa siihen. Myös tässä anturityypissä on sisäinen vahvistin, joka vaatii toimiakseen syöttöjännitteen ja muuntaa anturilta saadun resistanssin virta- tai jänniteviestiksi. (Pylkkänen 2009, 15). Tässä työssä käytetty Aplisens SGE-25 toimii tällä periaatteella.

4.4.2 Aplisens SGE-25

Tätä työtä varten sain käyttööni Aplisens SGE-25-paineanturi, joka on puolalaisen Aplisens S.A:n valmistama. Se on ylipaineanturi, jonka pietsoresistiivinen komponentti muuntaa paineen vastukseksi joka vahvistimen kautta kulkiessaan muuttuu 4-20 mA:n virtaviestiksi. Antureita on saatavalla useilla eri mitta-asteikoilla tällä kertaa hankitusta 1 metrin syvyyteen mittaavasta aina 500 m:n syvyyteen mittaavaan. 1 metrin mallin ylipaineraja on 40 m ja sen tarkkuus on 0,6 %. Lämpötilan aiheuttama virhe on tyypillisesti 0,3 %/10 °C mutta maksimissaan 0,4 %/10 °C.

Käytettäessä paineanturia mittapadon yhteydessä ovat ongelmat hyvin samanlaiset kuin pelkällä mittapadolla paria seikkaa lukuun ottamatta. Paineanturi voidaan kytkeä lähettämään mittaamansa tulokset verkkoon, josta ne voi lukea mistä tahansa tietokoneelta ja näin laskea virtaamat ilman maastossa käymistä. Paineanturin antamat arvot ovat myös tarkempia kuin padosta mitatut. Tästä järjestelmästä ja sen rakentamisesta lisää myöhemmin.



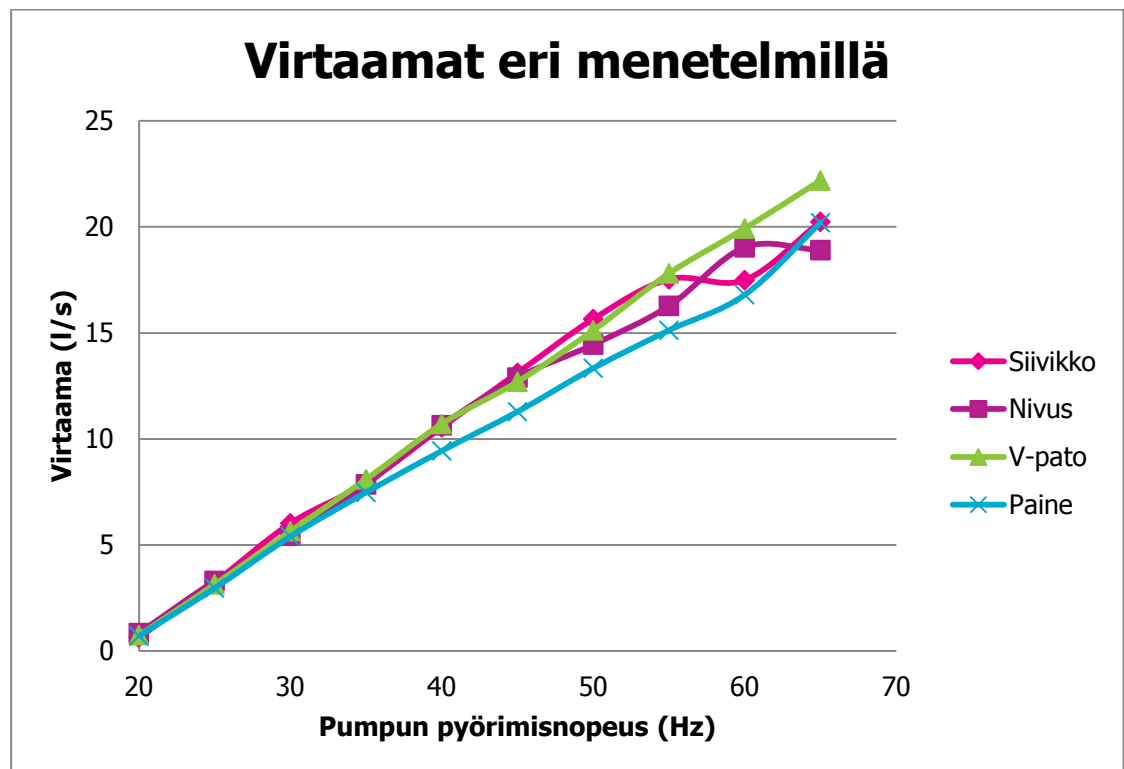
Kuva 9 Mittausjärjestelmä ja paineanturi

5 MITTAUSTULOKSET

Opinnäytetyössä tehdyt mittaukset suoritettiin Savonia-ammattikorkeakoulun vesilaboratorion tiloissa Kuopion Technopoliksella. Mittauspaikkana toimineessa altaassa olleen taajuusmuuntimella toimivan pumpun ansiosta pystyin testaamaan laitteita hyvin monella eri virtaamalla. Taulukoidut mittaustulokset näkyvät taulukossa 1, jossa sarake Hz kertoo pumpun pyörimisnopeuden ja muut sarakkeet eri mittalaitteiden mittaamat virtaamat kyseisellä nopeudella. Tuloksista piirretty kuvaaja on esitetty kuviossa 1.

Taulukko 1 Mittaustulokset

Hz	Siivikko (l/s)	Nivus (l/s)	V-pato (l/s)	Paineanturi (l/s)
20	0.64	0.85	0.75	0.71
25	3.25	3.31	3.15	2.97
30	6.02	5.44	5.66	5.4
35	7.93	7.86	8.1	7.48
40	10.56	10.65	10.71	9.44
45	13.12	12.9	12.7	11.29
50	15.66	14.45	15.12	13.34
55	17.53	16.28	17.81	15.12
60	17.49	19.04	19.92	16.8
65	20.24	18.91	22.19	20.2



Kuvio 2 Mittaustulokset. Eri mittalaitteilla saadut tulokset ovat hyvin vertailukelpoisia keskenään.

5.1 Tulosten tarkastelu

Tässä työssä altaaseen kiinteästi asennetun v-mittapadon mittaustulokset ovat tarkimmat ja muiden laitteiden tuloksia tuleekin verrata niihin. Kaiken kaikkiaan tulokset vaikuttavat hyvin johdonmukaisilta. Varsinkin pienillä virtaamilla kaikkien mittalaitteiden avulla saadut arvot ovat hyvin lähellä toisiaan. Suuremmilla virtaamilla virtaukseen syntyi silmälläkin nähtäviä häiriöitä jotka näkyvät myös tuloksissa. Virtaus ei tosin luonnossa ole koskaan täysin häiriötöntä ja laminaarista, joten tämäkin näkökanta on hyvä todeta.

5.2 Epävarmuudet

Suurimmat epävarmuudet johtuvat mittauksessa käytetyn avouoman muodosta, tarkemmin sanoen sen keskivaiheilla sijaitsevasta venturikanavasta. Suorat osuudet ennen ja jälkeen sen olivat liian lyhyet tarkkoihin mittauksiin suurimmilla virtaamilla. Toinen virhelähde on altaaseen kiinteästi asennettu v-mittapato, jonka yli vesi virratessaan ja pudotessaan aiheutti kuohumista ja turbulenssia. Näillä selittyvät suurimmilla virtaamilla mittaustuloksiin syntyneet erot eri menetelmien välillä.

Akustisen mittauksen suurien virtaamien tuloksiin on luultavasti eniten vaikuttanut virtauksen turbulenssin mukanaan tuoma kuohunta ja ilmakuplat. Kuplien runsauden vuoksi laite on tulkinnut veden pinnankorkeuden laskeneen tai virtauksen hidastuneen.

Siivikkomittauksen tuloksiin lienee eniten vaikuttanut turbulenssin aiheuttama pyörteisyys. Näin pienessä uomassa, jossa virtaaman mittaaminen siivikolla useasta pisteestä on lähes mahdotonta pyörteet vaikuttavat suuresti siivikkomittauksen tuloksiin. Suuremmassa uomassa useammasta pisteestä mitattuna tämä virhe kuitenkin pieneni huomattavasti.

Paineanturin jatkuva pieni virhe taas selittynee sen ongelmallisella sijoittamisella. Anturi tulee asentaa mittaamaan pinnankorkeutta ennen mittapatoa, joka tässä altaassa oli varsin lyhyt matka. Pumpatun veden turbulenssi pääsi näin vaikuttamaan tuloksiin tältä osin.

6 PAINEJÄRJESTELMÄ

Eri virtausmittausmenetelmien lisäksi tämän työn pääpaino oli myös Siemensin LOGO!-logiikkaa käyttävän mobiilin mittausjärjestelmän rakentamisella. Tähän järjestelmään kytkettiin paineanturi, jonka jälkeen järjestelmän ja mittapadon yhdistelmällä voitaisiin mitata virtaamia ja tallentaa tulokset muistikortille josta ne voisi myöhemmin käydä hakemassa. Näin saataisiin tarvittaessa ympärivuorokautista jatkuvaa dataa virtaamasta ilman, että vedenkorkeutta mittapadolla täytyy jatkuvasti käydä manuaalisesti mittaamassa. Yksi mahdollisuus on myös lähettää tulokset langattomasti palvelimelle tarkasteltaviksi mutta tätä ominaisuutta ei nyt tehdyssä järjestelmässä ole.

6.1 Laitteet

Järjestelmän kokoaminen alkoi sopivasta kotelosta, jonka tietenkin piti olla vedenpitävä koska järjestelmä oli tarkoitettu ulkokäyttöön. Lisäksi tarvittiin akku mobiilia käyttöä varten, virtalähde akun lataamiseen sekä laitteen käyttämiseen verkkovirralla silloin kun sellaista on saatavilla, Siemens LOGO!-logiikan osat sekä hälytyksiä varten (esim. ilmoittaa kun virta vähissä) gsm-modeemi sekä rele (kuva 10). Lisäksi tarvittiin DIN-kiskoa, riviliittimiä, sulakepesiä, johtoa, pääteholkkeja ja ruuveja.

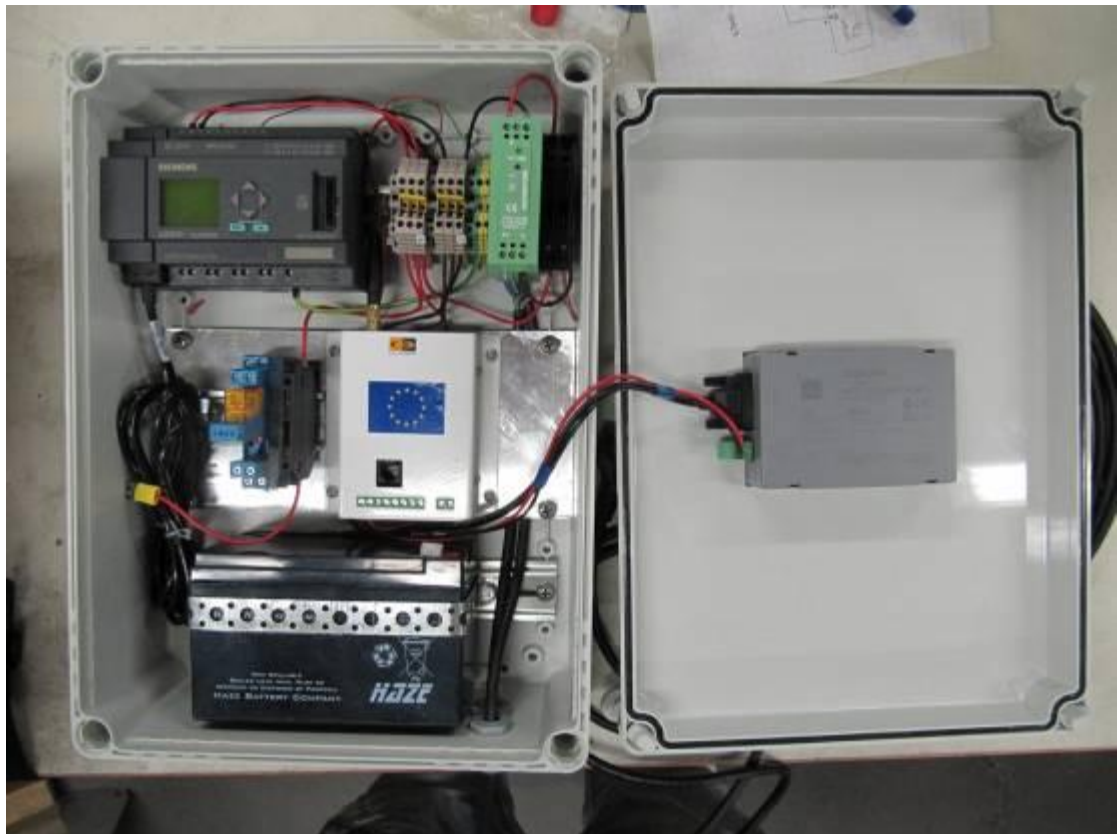


Kuva 10 Järjestelmän rakentamisen alkuvaihe. Valokuva Jussi Haapamaa 2012.

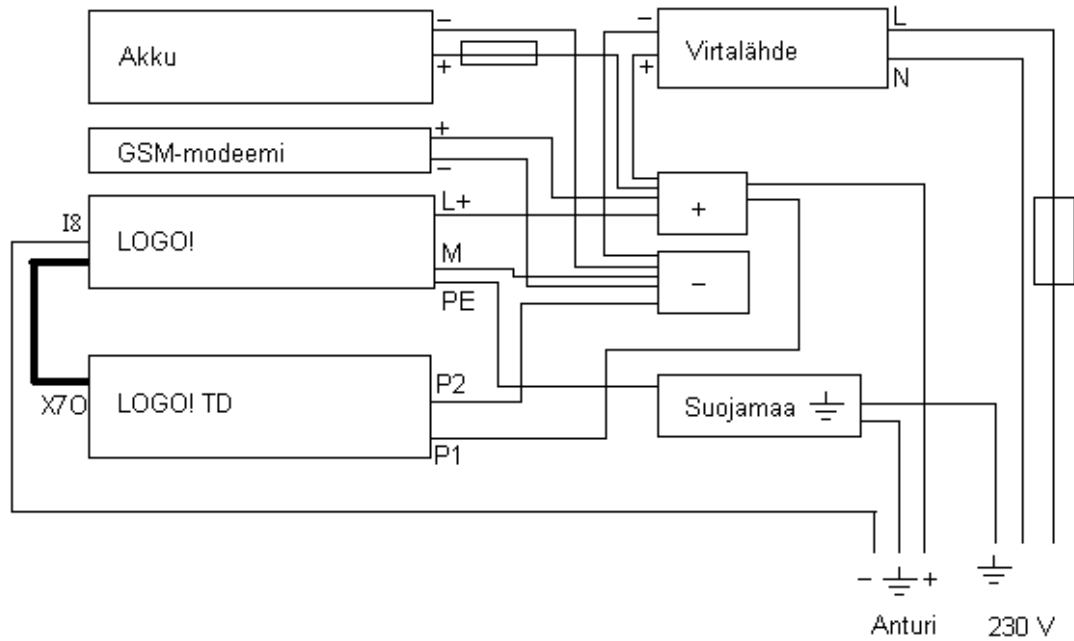
6.2 Rakentaminen

Rakentaminen aloitettiin kiinnittämällä koteloon kolme DIN-kiskoa, joihin kaikki laitteet tulisivat kiinni. Akku kiinnitettiin kotelon alaosaan kiskoon tukevasti metallipannalla. Keskellä koteloa kiinnitin gsm-modeemin, sulakepesän sekä releen ja yläosaan LOGO!-logiikkamoduulin, virtalähteen, toisen sulakepesän sekä riviliittimet vaiheelle, maalle ja suojamaalle. Kotelon kanteen kiinnitin vielä LOGO!-lle näytön, josta laitetta voi myös ohjata. Sitten pääsin johdotukseen, jossa aikaa menikin reilusti. Valmis järjestelmä näkyy kuvassa 11.

Anturin liittäminen LOGO!-moduuliin vaati anturin käyttämän 4..20 mA virtaviestin muuntamista logiikalle ymmärrettävään muotoon eli jänniteviestiksi. Tämä tehtiin vastuksella. Ensinnäkin käytin 500 Ω :n vastusta, jolloin sain aikaan 2..10 V:n jänniteviestin. Tämä oli kuitenkin 12 V:n jännitteellä toimivalle järjestelmälle liikaa ja testeissä tulokset eivät pitäneet ollenkaan paikkaansa. Muutin siis vastukseksi 250 Ω , jolloin viestin voimakkuudeksi tuli 1..5 V. Tämän toimenpiteen jälkeen järjestelmä toimi moitteetta. Järjestelmän kytkentäkaavio näkyy kuviossa 3.



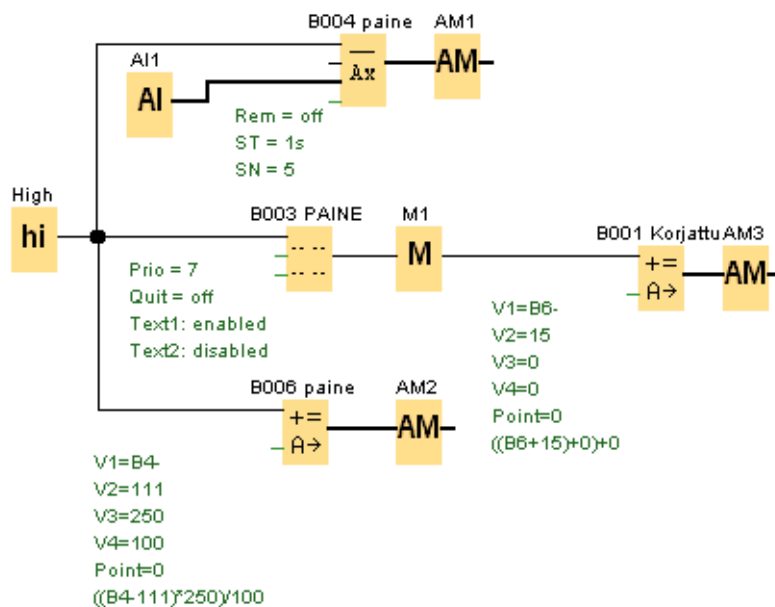
Kuva 11 Järjestelmä koottuna. Valokuva Jussi Haapamaa 2012.



Kuvio 3 Järjestelmän kytkentäkaavio

6.3 LOGO!-ohjelma

Siemens LOGO! ei suoraan osaa käsitellä anturilta tulevaa mittaustietoa oikein, vaan sen käsittelyyn tulee tehdä ohjelma logiikan mukana tulevalla LOGO! Soft Comfort-editorilla. Tähän järjestelmään tehty ohjelma näkyy kuviossa 4.



Kuvio 4 Mittausjärjestelmässä käytetty LOGO!-ohjelma

Ohjelma toimii seuraavalla tavalla. Anturi lähettää mittausdataa analogiseen sisääntuloon, tässä tapauksessa analogiseen sisääntuloon numero 1 (AI1). Tästä data jatkaa toimilohkolle B004, jonka toimintana on ottaa datasta viisi mittausarvoa sekunnissa. Näitä arvoja ei kuitenkaan usein voi käyttää suoraan vaan niitä tulee muokata järjestelmän ja käyttötarkoituksen mukaisesti. Toisin sanoen anturi tulee skaalata järjestelmään sopivaksi. Tähän työhön valittu paineanturi asetti vedenkorkeudelle rajat 0-1 metriä. Ensin tuli siis saada LOGO! näyttämään nolaa vedenkorkeuden ollessa nolla eli jänniteviestin ollessa 1 V. Toisekseen tuli toinen ääripää saada kohdalleen eli vedenkorkeuden ollessa yksi metri ja jänniteviestin siis 5 V tuli LOGO! näyttämään 1000 mm.

Tarvittavat laskutoimitukset tehdään toimilohkoissa B006 ja B001, jotka ovat tarkoitettu tätä toimenpidettä varten. Niissä voidaan suorittaa mittausarvoille peruslaskutoimituksia kokonaisluvuilla. Tässä tapauksessa skaalaus onnistui verrattain helposti neljällä laskutoimituksella. Näiden toimitusten jälkeen skaalatut arvot matkaavat toimilohkolle B003, jossa määritellään kuinka ja mitä arvoja tuodaan näkyviin LOGO! näyttölle. Tällä kertaa päädyin näyttämään vedenpinnan korkeuden lukuarvona välillä 0-1000 mm sekä palkin, joka graafisesti osoittaa millä kohtaa mitta-asteikkoa arvo on. Esimerkiksi vedenpinnan korkeuden ollessa 500 mm palkki on puolessa välissä maksimiarvostaan.

6.4 Toiminta

Aluksi testeissä järjestelmä näytti suuremmilla vedenpinnan korkeuksilla täysin vääriä arvoja mutta hyvin nopeasti tälle löytyi syyksi se, että jännite järjestelmässä oli liian matala. Paineanturin teknisten tietojen mukaan se tarvitsee 10,5 – 36 V:n sisääntulojännitteen jota järjestelmä ei pienen virtalähteen takia pystynyt jatkuvasti tarjoamaan jänniteviestin ollessa 2 – 10 V. Siksi jänniteviesti muutettiin vastuksella arvoon 1 – 5 V jonka jälkeen järjestelmä toimi moitteettomasti aivan mitta-asteikon ylärajallakin verkkovirralla käytettäessä. Varsinkin pidempiaikaisella akkukäytöllä jännite kuitenkin laskenee liiaksi jolloin mittaustulosten tarkkuus alkaa kärsiä.

7 ESIMERKKIKOHDE MTT MAANINKA

Havainnollistamaan eri virtausmittaustekniikoiden toimintaa maastossa tarvitsin kohteen, jossa samoista pisteistä olisi mitattu virtaamia monella eri tekniikalla. Tällainen kohde löytyikin läheltä Pohjois-Savosta. Iisalmessa, tarkemmin Kirmanjärvellä on tehty veden laadun seuranta ja virtaamamittauksia vuodesta 2010 MTT Maaningan Sisävesien ravinnekuormitus (FOKUS II) -hankkeen toimesta ja keväällä 2012 niitä tehtiin kolmella menetelmällä osin samoista pisteistä.

7.1 Mittauksissa käytetyt menetelmät

Sumpilammella on tehty keväällä 2012 mittauksia kolmella menetelmällä, jotka ovat Sontek FlowTracker, Unidata Starflow Ultrasonic Doppler Instrument sekä v-mittapadon ja paineanturin yhdistelmä. Viimeksi mainittua on tässä työssä käsitelty jo aiemmin kohdissa 3.3 ja 3.4, muista lisää seuraavaksi.

7.1.1 Sontek FlowTracker

Flowtracker (kuva 12) on kannettava ja käsikäyttöinen doppler-ilmiöön perustava virtausmittari nesteille. Doppler-ilmiötä on tässä työssä käsitelty jo aiemmin kohdassa 4.2.1. Flowtrackerilla mitataan virtausnopeuksia, joista uoman poikkileikkauksen pinta-alan kanssa saadaan laskettua virtaama. Laitteella voidaan mitata virtausnopeuksia välillä $\pm 0,001 - 4,0$ m/s. Laitteen mittausresoluutio on 0,0001 m/s ja tarkkuus ± 1 % mitatusta virtausnopeudesta. Laitteeseen voidaan tallentaa 150 000 yksittäistä mittaustulosta. (Sontek.) Pääasiallisesti FlowTrackeria käytetään veden virtaaman mittaamiseen kanavissa ja luonnonuomissa. Mittaustapahtuma muistuttaa siivikointia eli virtaaman määrittämiseen pitää tehdä samasta uoman poikkileikkauksesta useita mittauksia. Tästä johtuen FlowTracker on mittausmenetelmänä hidaskin mutta oikein käytettynä hyvin tarkka.



Kuva 12 FlowTracker kuljetuslaatikossa. Valokuva Jussi Haapamaa 2012.

7.1.2 Unidata Starflow Ultrasonic Doppler Instrument

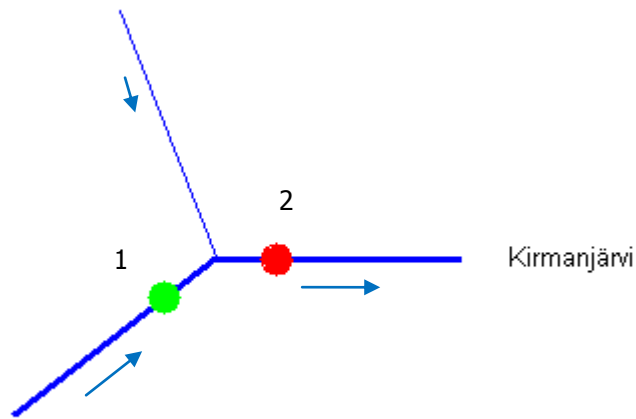
Nimensä mukaisesti myös tämä Unidatan valmistaman virtausmittarin toiminta perustuu doppler-ilmiöön. Doppler-ilmiötä on tässä työssä käsitelty jo aiemmin kohdassa 4.2.1. Starflow eroaa ulkonäön lisäksi FlowTrackerista siinä mielessä, että Starflow on tarkoitettu kiinteisiin asennuksiin. Se mittaa vedestä lämpötilaa, syvyyttä sekä virtausnopeutta. Laite sisältää dataloggerin. Virtausnopeuden ja käyttäjän asettamien uoman mittojen avulla laite osaa laskea ja tallentaa myös virtaamatietoja. Virtausnopeutta laite pystyy mittaamaan välillä 0,021 – 4,5 m/s kaksisuuntaisesti mittausrésoluutiolla 0,001 m/s ja tarkkuudella 2 % mitatusta nopeudesta. Syvyyttä Starflow mittaa hydrostaattisen paineen avulla. Mallista riippuen sitä voidaan mitata joko välillä 0 – 2 m tai 0 – 5 m tarkkuudella $\pm 0,25$ %. (Unidata, 22-23.) Yksi Sumppilammen Starflow-mittareista näkyy kuvassa 13.



Kuva 13 Starflow-virtausmittari avouomassa. Valokuva Jussi Haapamaa 2012.

7.2 Tulokset

Taulukossa 2 on esitetty lähes samanaikaisesti kaikilla kolmella menetelmällä saadut mittaustulokset. Flowtrackerin ja akustisen mittarin tulokset ovat samasta mittauspisteestä. Paineanturin ja v-padon mittauspiste on lähellä samaa paikkaa kuitenkin niin, että siihen yhtyy yksi pieni uoma vähemmän (kuvio 5).



Kosteikko

Kuvio 5 Mittauspisteet Sumppilammella. Vihreä piste näyttää v-padon ja paineanturin sijainnin (1), punainen näyttää Starflown ja FlowTrackerin mittauspaikan (2). Nuolet näyttävän virtauksen suunnan.

Taulukko 2 Sumppilammella mitatut virtaamat

Sumppilampi; Virtaamat			
Pvm	Klo	Laite	l/s
30.4.2012	13:09	FlowTracker	101.3
30.4.2012	13:00	Akustinen virtaamamittari	101
30.4.2012	13:15	Akustinen virtaamamittari	88.7
30.4.2012	13:30	Akustinen virtaamamittari	96.9
30.4.2012	12:53	Paineanturi + V-pato	79.5
30.4.2012	13:53	Paineanturi + V-pato	75.7
30.4.2012	14:53	Paineanturi + V-pato	72.6

7.3 Tulosten tarkastelu

Vaikka vertailukelpoinen data jäikin mittauksessa ilmenneiden ongelmien vuoksi vähäiseksi, näyttää se varsin edustavalta. Ongelmia muodostivat lähinnä keväisin lumen sulamisesta johtuvien tulvien aiheuttama v-padon ylivirtaama sekä akustisen mittarin päälle kertynyt kasvillisuus ja pohjasedimentti. Flowtrackerin ja akustisen virtausmittarin tulokset ovat 30.4.2013 klo 13 paikkeilla olleet hyvin lähellä toisiaan. Paineanturin ja v-padon mittauspisteeseen virtasi yksi uoma vähemmän kun muiden menetelmien pisteeseen joka selittää pienemmän virtaaman.

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli keskittyä nesteen virtausmittausmenetelmien testaukseen ja keskinäiseen vertailuun avouomassa sekä kiinnittää erityistä huomiota paineanturin ja mittapadon yhdistelmällä tapahtuvaan virtausmittaukseen ja sen soveltuvuuteen hyödynnettäväksi RAE -projektissa. Mielestäni näihin päätavoitteisiin päästiin. Lisäksi työtä varten kokoamani mobiili paineen mittausta järjestelmä on Savonia-ammattikorkeakoululla opetuskäytössä.

Kaiken kaikkiaan työ sujui hyvin ja tulokset vaikuttivat varsin lupaavilta. Työtä aloitettaessa oletuksena oli, että vanhat ja yleisesti käytössä olevat tekniikat toimivat hyvin pienissäkin avouomissa ja mittapadon sekä paineanturin yhdistelmän saa toimimaan tarkasti kiinnittäen huomiota sekä rakentamiseen, että erityisesti skaalaukseen. Nämä oletukset osoittautuivat työn aikana tosiasioiksi.

8.1 Mittaustekniikoiden keskinäinen toimivuus

Eri tekniikat toimivat toisiinsa verrattuna tarkasti ja luotettavasti. Tosin jokaista tekniikkaa edusti tässä työssä vain yksi laite mutta voidaan silti sanoa, että oikein käytettynä jokainen tässä työssä käsitelty tekniikka tuottaa pienissäkin avouomissa moniin käyttötarkoituksiin riittävän tarkkaa mittausdataa.

8.2 Eri tekniikoiden hyvät ja huonot puolet

Siivikkomittauksessa hyvät puolet ovat tarkkuus ja soveltuvuus erilaisiin kohteisiin. Siivikoita on monia erilaisia ja erikokoisia, joista löytyy mittalaitteita sekä pienten uomien että jokien virtaaman määrittämiseen. Huonoja puolia taasen ovat ehdottomasti mittauksen hitaus sekä monimutkaisuus. Metrin leveän ja puoli metriä syvän uoman yhden keskivirtaaman määrittämiseen voi hyvinkin kulua puoli tuntia. Lisäksi siivikointia tuskin osaa suorittaa oikein ilman kunnon ohjeistusta tai opastusta ja niiden kanssa ensimmäiset kerrat ovat ongelmallisia. Veden turbulentsisuus ja sen epäpuhtaudet saattavat myös muodostua suuriksi ongelmiksi siivikoidessa.

Akustiset mittalaitteet ovat uusinta ja kehittyneintä tekniikkaa virtausmittauksissa. Siksi on luonnollista, että niiden toiminta on luotettavaa ja ennen kaikkea käyttäminen on helppoa ja nopeaa. Toki laitteiden valikoista voi olla aluksi vaikeaa löytää etsimäänsä mutta niihinkin oppii nopeasti. Mittauksellisesti huonoista puolista mainittakoon turbulenssin ja veden epäpuhtauksien mukanaan tuomat ongelmat, jotka kylläkin koskevat muitakin tekniikoita. Luonnon uomissa anturin päälle kertyvä muta saattaa lamauttaa koko järjestelmän. Suurin hankintaa estävä huono puoli akustisissa laitteissa tällä hetkellä lienee kuitenkin hinta.

Mittapadon hyviä puolia ovat yksinkertaisuus ja hinta, huonoja taas asentamisen työläys ja ylläpidon määrä. Mittapadosta on helppo katsoa vedenkorkeus ja laskea sen perusteella virtaama. Ja mittapadon voi valmistaa itse hyvin vähäisistä tarpeista. Asennuspaikan tulee kuitenkin olla oikeanlainen ja padosta tulee saada riittävän leveä ja tukeva, että se kestää suurimmatkin tulvahuiput. Lisäksi mittapadon tulee säännöllisesti huoltaa tarkkuuden säilyttämiseksi. Purkuaukkoon kertyvät lehdet ja oksat ovat yleisin huollon peruste. Kun mittapadon yhteyteen lisätään paineanturi, padolla käyminen pelkästään tuloksia lukemassa loppuu. Huollon tarve kuitenkin ei ja ilman säännöllisiä käyntejä padolla järjestelmän luotettavuus kärsii huomattavasti.

LÄHTEET

- Asikainen, S. 2000. *Clamp-on ultraäänivirtausmittareilla tehtävät mittaukset pienissä vesiputkissa* [verkkodokumentti]. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu. Mittaus- ja informaatiotekniikka. VESTA loppuraportti. [viitattu 31.8.2013]. Saatavissa: http://www.mit.tut.fi/projektitekstit/Vesta/Vestan_raportti.pdf
- Korhonen, J. 2007. *Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut*. [verkkodokumentti]. Suomen ympäristö 45/2007. Helsinki: Suomen ympäristökeskus [viitattu 1.11.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=79918>
- Kupiainen, V. 2010. *Pohjaveden purkautuminen metsäoajiin Rokuan harjualueella ja ojan kunnostus padottamalla* [verkkodokumentti]. Oulun yliopisto. prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö [viitattu 2.9.2013]. Saatavissa: <http://www.oulu.fi/poves/pages/publ/dipl/virvecupiainen.pdf>
- Nivus GmbH. 2007. Instruction Manual for portable Flow Measurement System PCM 4 incl. accompanying Sensors [viitattu 13.10.2013]. Saatavissa: http://www.nivus.de/ximages/1432616_pc4ba04en.pdf
- Pylkkänen, P. 2009. *Kiertovoitelujärjestelmän mittaaminen ja mittaustulosten käsittely* [verkkodokumentti]. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka [viitattu 21.9.2013]. Saatavissa: <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8661/Pylkk%C3%83%3Fnen.Pekka.pdf>
- Ruth, O. & Vaalgamaa, S. 2003. *Wet City – veden kiertokulku kaupungissa. Opettajan materiaali* [verkkodokumentti]. Helsinki [viitattu 22.10.2013]. Saatavissa: http://www.helsinki.fi/maantiede/labrat/weci_ope.pdf
- Räsänen, T. 2013. *Ympäristönäytteenotto – kenttäharjoitukset*. Savonia-ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö Kuopio. Ympäristötekniikka. Opetusmoniste. Ei saatavissa.
- Seba Hydrometrie GmbH. 2010. Mobile Discharge Measurement Systems [viitattu 1.8.2013]. Saatavissa: http://www.seba-hydrometrie.com/fileadmin/files/05_Hand_MobileGeraete/B08_Mobile_Discharge_Measurement_Systems_e.pdf
- Sontek. Flowtracker handheld ADV. [viitattu 31.10.2013]. Saatavissa: http://www.sontek.com/pdf/brochures/flowtracker_S01-05-0411.pdf

Tonteri, P. 2012. *Virtausmittaus putkissa ja avokanavissa* [verkkodokumentti]. Labkotec Oy. Virtausmittaus [viitattu 20.2.2013]. Ei saatavissa.

Unidata. Manual - Starflow ultrasonic dopper instrument with micrologger model 6526 [viitattu 31.10.2013]. Saatavissa: <http://www.unidata.com.au/wp-content/uploads/2013/08/Unidata-Manual-6526-Starflow-User-Manual-Issue-3.1.pdf>

Vesihuolto I: RIL 124-1. 2003. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto.

Ylivainio, M. 2010. *Virtauksen mittaus* [verkkodokumentti]. Vaasan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan osasto [viitattu 5.10.2013]. Saatavissa: http://www.cc.puv.fi/~ot/ISA0501_Automaatiotekniikan%20perusteet/3-Mittaustekniikka/3f%20Virtausmittaus.pdf

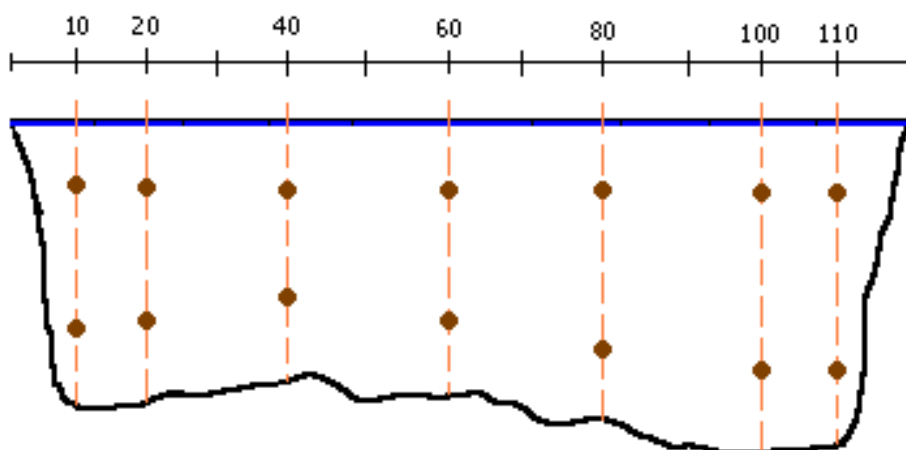
SIIVIKKOMITTAUSTEN TULOSTEN LASKENTA

Taulukko 3 Siivikkomittausten tulosten laskentataulukko

8.5.2012		Uoman leveys			1.20 m		
ES2		Uoman keskisyvyys			0.40 m		
		Uoman poikkileikkauksen pinta-ala			0.48 m ²		
Siivikon etäisyys penkasta (cm)	Uoman Syvyys (cm)	Siivikon syvyys (cm)	Siivikon kierros-luku 50 sekunnissa	Siivikon kierros-luku sekunnissa	Virtausnopeus (m/s)	Virtaama (m ³ /s)	Virtaama (l/s)
10	38	28	6	0.12	0.036092	0.01732416	17.32416
		10	29	0.58	0.155278	0.07453344	74.53344
20	37	27	4	0.08	0.025728	0.01234944	12.34944
		10	29	0.58	0.155278	0.07453344	74.53344
40	36	26	16	0.32	0.087912	0.04219776	42.19776
		10	35	0.7	0.18637	0.0894576	89.4576
60	38	28	7	0.14	0.041274	0.01981152	19.81152
		10	36	0.72	0.191552	0.09194496	91.94496
80	41	31	5	0.1	0.03091	0.0148368	14.8368
		10	36	0.72	0.191552	0.09194496	91.94496
100	45	35	21	0.42	0.113822	0.05463456	54.63456
		10	28	0.56	0.150096	0.07204608	72.04608
110	45	35	25	0.5	0.13455	0.064584	64.584
		10	10	0.2	0.05682	0.0272736	27.2736
						keskivirtaama (l/s)	53.39088

Mittauksen kulku

Aluksi uoman yli laitetaan mittanauha, josta todetaan uoman leveys. Mahdollisuuksien mukaan ensimmäinen mittauspiste tulisi olla 10 cm:ä penkasta (ei ole väliä kummastako), jonka jälkeen jatketaan 20 cm:n välein. Viimeinen mittaus otetaan 10 cm:n etäisyydeltä toisesta penkasta. Tässä tapauksessa todettiin uoman olevan sen verran syvä (36-45 cm:ä), että mittaukset tehtiin kahdelta eri syvyydeltä. Mittaussyvyyksiksi valittiin 10 cm:ä pohjasta sekä 10 cm:ä vedenpinnasta. Syvyydet mitattiin siivikon varteen kiinnitetyllä mitta-asteikolla.



Kuvio 6 Havainnekuva uoman poikkileikkauksesta. Ruskeat täplät ovat mittauspisteitä.

Mittausten jälkeen voidaan laskea uoman keskisyvyys ottamalla keskiarvo mittauksessa saaduista syvyyksistä. Tämän ja uoman leveyden avulla saadaan laskettua uoman poikkileikkauksen pinta-ala mittauskohdassa. Taulukosta 3 saadaan veden virtausnopeudet mittauspisteissä ja kun tiedetään myös poikkileikkauksen pinta-ala, voidaan laskea virtaama. Kaikkien mittauspisteiden virtaamien keskiarvo on uoman keskivirtaama.

