

Esiselvitys

Vedenvaihto Vesijärven Enonselän ja Komonselän välillä

Jonna Kuha ja Timo Huttula



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Akvaattiset tieteet

4.1.2010

SISÄLLYS

1	Tiivistelmä	3
2	Johdanto	4
3	Raportissa käytetyt lyhenteet ja termit.....	6
4	Sää- ja hydrologiset olosuhteet kesän 2009 aikana ja mittausjaksolla	7
4.1	Virtaama- ja vedenkorkeusolosuhteet	7
4.2	Meteorologiset olosuhteet	7
5	Mittaukset Vesijärven Siikasalmessa.....	8
5.1	Mittausaikataulu	8
5.2	Veden laadun mittaukset	9
5.3	Virtausmittaukset	9
5.3.1	<i>Kiinteä ADCP-asema</i>	9
5.3.2	<i>Linjamittaukset ADCP-virtausmittarilla</i>	10
6	Tulokset.....	10
6.1	Lämpötilakerrostuneisuus kesän 2009 aikana.....	10
6.2	Kenttäjakson tulokset	11
6.2.1	<i>Veden lämpötila salmessa</i>	11
6.2.2	<i>Virtaukset ADCP-linjoilla</i>	12
6.2.3	<i>Virtaukset kiinteällä asemalla</i>	14

1 Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Lahden Vesijärven Siikasalmen avovesikauden aikaisia virtauksia. Tutkimus perustui veden lämpötilan ja virtausten kenttämittauksiin, joilla kartoitettiin virtausten vaihtelua Vesijärven Siikasalmissa elo-syyskuussa 2009.

Suurimpia virtausnopeuksia havaittiin lokakuussa. Virtauksen suuntajakaumassa näkyi selkeästi kaksi pääsuuntaa eli salmensuunnassa luoteeseen (26-28 % ajasta kullakin syvyydellä) ja kaakkoon (20-23% ajasta). Pisin yhtäjaksoinen kaakkoon päin suuntautunut virtaustilanne kesti noin 44 tuntia.

Kolmen tunnin aineistolla tehdyissä tilastollisissa analyysissä Siikasalmen virtausten osoitettiin olevan heikosti korreloituneita tuulen pohjoiskomponentin kanssa.

Mittausjakson lyhyiden takia Siikasalmen kaakkoon päin suuntautuvien virtauksien yhteyttä jätevesitunnelin huuhteluun ei voitu tutkia.

Tehdyt mittaukset osoittivat etukäteisolettamuksen Siikasalmen kaakkoon päin suuntautuvasta virtauksesta pitävän paikkansa. Tulokset antavat aineistoa ja valmiuksia Enonselän vedenvaihdon tarkempaan selvittämiseen sekä luovat pohjaa tarkempaan tieteelliseen tutkimiseen myöhemmin. Jatkossa virtausmittauksia tulisi tehdä nyt toteutettua ajallisesti tiheämmällä rekisteröinnillä.

2 Johdanto

Vedenvaihto Lahden Vesijärven Enonselän ja Komonselän välillä -tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Vesijärven Siikasalmen avovesikauden aikaisia virtauksia sekä niihin vaikuttavia tekijöitä, tärkeimpänä pohjoisen puoleinen tuuli. Vesijärven fysiografiset tiedot on esitetty taulukossa 1.

Avovesikaudella järven virtaukset määräytyvät yleensä tuulten, hydrologisen läpivirtaaman ja lämpötilaeroista johtuvien tiheyserojen perusteella. Lisäksi veden pinnan ja harppauskerroksen heilahtelut aiheuttavat lyhytaikaisia virtausheilahteluja. Ominaisheilahtelulla on merkitystä salmissa. Heilahtelu syntyy, kun pitkään samasta suunnasta puhaltanut tuuli tyyntyy ja tuulen aiheuttama vesimassan kallistuma heilahdellen palautuu tasapainoasemaan. Jakson pituus riippuu järvioltaan pituudesta ja keskimääräisestä syvyydestä. Vesijärven Enonselällä (altaan pituus 6,2 km Vesijärven satamasta Häyhtöön ja keskisyvyys 6,8 m) kerrostuneisuustilanteesta riippuvan sisäisen ominaisheilahtelun jakson pituus on n. 1,7 h ja pintaheilahtelun jakson pituus n. 0,4 h. Vesijärven hydrologinen purkautuminen tapahtuu pohjoiseen, mutta veden vaihtumista oletetaan tapahtuvan ajoittain myös kaakkoon päin eli Enonselän suuntaan. Syinä on esitetty voimakasta pohjoisen puoleista tuulta, Lahden kaupungin vedenottoa tai jätevesitunnelin ajoittaisen puhdistuksen vaikutusta. Enonselälle ei tule merkittäviä jokia, joilla olisi vaikutusta veden virtauksiin.

Tässä työssä käytettiin Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteen (JY/BYTL) sekä Helsingin yliopiston ympäristöekologian laitoksen (HY/YEKO) mittalaitteita ja HY/YEKO:n venekalustoa. Alma Mater –veneeseen on asennettu RD Instrumentsin Broadband ADCP –virtausmittari ohjelmistoinen (Version 4.25). JY/BYTL:n RD Instrumentsin Workhorse ADCP –virtausmittari ankkuroitiin jatkuvatoimiseen mittaamiseen Siikasalmen pohjaan väylän ulkopuolelle (Kuva 1). Tutkimus aloitettiin toukokuussa 2009, mutta käytökelpoista virtausaineistoa Siikasalmen jatkuvatoimisesta mittalaitteesta saatiin vasta jaksolta 21.8.- 20.10.2009. Tästä jaksosta käytetään seuraavassa nimeä virtausmittausjakso.

Enonselän syvänteessä lautalla sijaitsevalta automaattiselta veden laadun mittausasemalta saatiin lämpötilatietoja eri vesikerroksista. Tuulen suunta- ja nopeustiedot saatiin Ilmatieteenlaitokselta, Jämsän Hallin meteorologiselta asemalta kolmen tunnin välein. Vesijärven vedenkorkeustiedot saatiin SYKE:n Hertta-tietokannasta tunnin välein. Vedenkorkeusasema sijaitsee Lahden venesatamassa. Samasta lähteestä saatiin myös Päijänteen lähtövirtaama ja vedenkorkeustiedot.

Tässä raportissa julkaistaan mittausjaksojen keskeiset tulokset. Raportin toimitetaan yhteistyökumppaneille.



Kuva 1. Vesijärven Siikasalmi. Karttaan on merkitty salmeen asennetun automaattisen mittausaseman sijainti (Jyväskylän yliopiston ADCP) sekä veneeseen kiinnitetyllä virtausmittarilla (Helsingin yliopiston ADCP) ajetut linjat (punainen väri). Lämpötilamittaukset (CTD –luotain) ovat pohjoisimmalta luotauslinjalta. (Lähde: Merikartta J Vesijärvi-Päijänne).

Taulukko 1. Vesijärven fysiografiset tiedot.

Vesiala	10757,3 ha
Kokonaisrantaviiva	214,074 km
Tilavuus	$709981,8 \times 10^3 \text{ m}^3$
Keskisyvyys	6,6 m (Enonselällä 6,8 m)
Suurin syvyys	40 m (Enonselällä 33 m)
Valuma-alue	515 km^2

3 Raportissa käytetyt lyhenteet ja termit

ADCP

Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) –virtausmittarin toiminta perustuu Doppler-ilmiöön. Laite lähettää ääniaaltoja, jotka heijastuvat takaisin laitteeseen väliaineessa olevista hiukkasista, esimerkiksi eläinplanktonista ja kiintoaineesta. Heijastuneen ääniaallon taajuusmuutoksen perusteella lasketaan vedessä keijuvan hiukkasten nopeus. Kun mittaus tehdään hyvin tiheästi (10-20 kertaa sekunnissa), saadaan veden virtausnopeudelle luotettava arvo. Laitteen avulla voidaan siis mitata veden horisontaalista ja vertikaalista virtausnopeutta eri syvyyksillä.

Veden kerrostuneisuus

Lämpötilalla on suuri vaikutus makean veden tiheyteen. Auringon säteilyn vaikutuksesta syvät järvet kerrostuvat kesäaikaan siten, että erotettavissa on kolme osaa. *Päälyysvesi* (epilimnion) on ylin vesikerros, johon tuulen vertikaalinen sekoittuminen kohdistuu. Keskimäinen vesikerros eli *välivesi* (termokliini) on se osa vesimassasta, jossa lämpötilan muutos syvyyttä kohti on suurin (tavallisesti $> 1 \text{ }^\circ\text{C/m}$). Tätä osaa sanotaan myös lämpötilan harppauskerrokseksi. *Alusvesi* (hypolimnion) on pohjanläheisin vesikerros, johon tuulen aiheuttama vertikaalinen sekoittuminen ei ulotu. Kuitenkin jaksolliset ja jaksottomat koko vesimassan heilahdukset samoin kuin tuulen aiheuttamat paluuvirtaukset aiheuttavat veden liikkeitä koko vesimassassa, myös väli- ja alusvedessä.

CTD-luotain

Conductivity Temperature Depth (CTD) –luotain mittaa veden tiheyteen vaikuttavia parametreja eli lämpötilaa ja johtokykyä syvyyden funktiona. Luotaimen voidaan kiinnittää myös muita mitta-antureita esimerkiksi hapen ja a-klorofyllin mittausta varten.

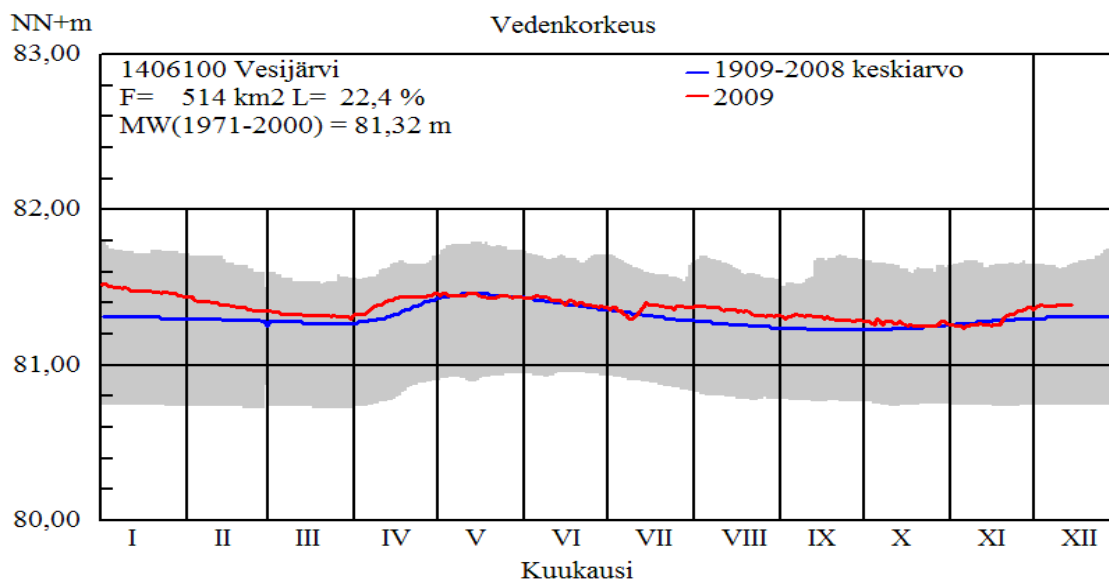
Samanarvonkäyrä

Interpoloinnin avulla muodostettu pinnan kuvaaja eli samanarvonkäyrä yhdistää pisteitä, joissa muuttuja saa saman arvon.

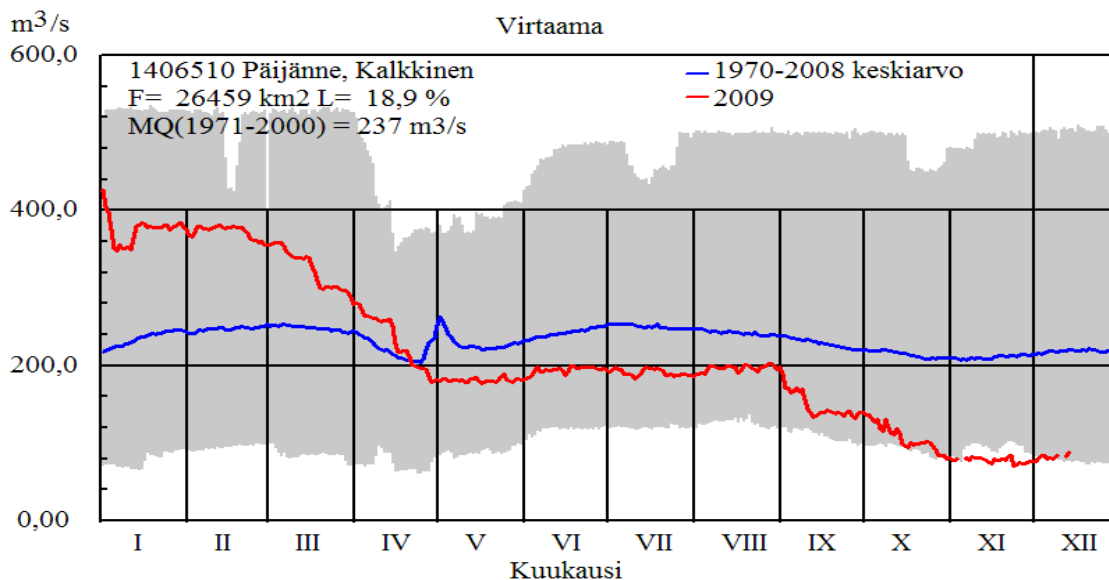
4 Sää- ja hydrologiset olosuhteet kesän 2009 aikana ja mittausjaksolla

4.1 Virtaama- ja vedenkorkeusolosuhteet

Syyskesä ja syksy 2009 oli hyvin vähäsateinen. Veden korkeus Vesijärven mittausasemalla pysytteli silti pitkäaikaisen keskiarvon yläpuolella tai sen tuntumassa (Kuva 2). Veden korkeus laski Vesijärven virtausmittausjakson (elo-lokakuu 2009) aikana noin 81,4 metristä 81,3 metriin. Päijänteen lähtövirtaama Kalkkisten mittausasemalla oli erittäin vähäinen verrattuna normaaliin (Kuva 3).



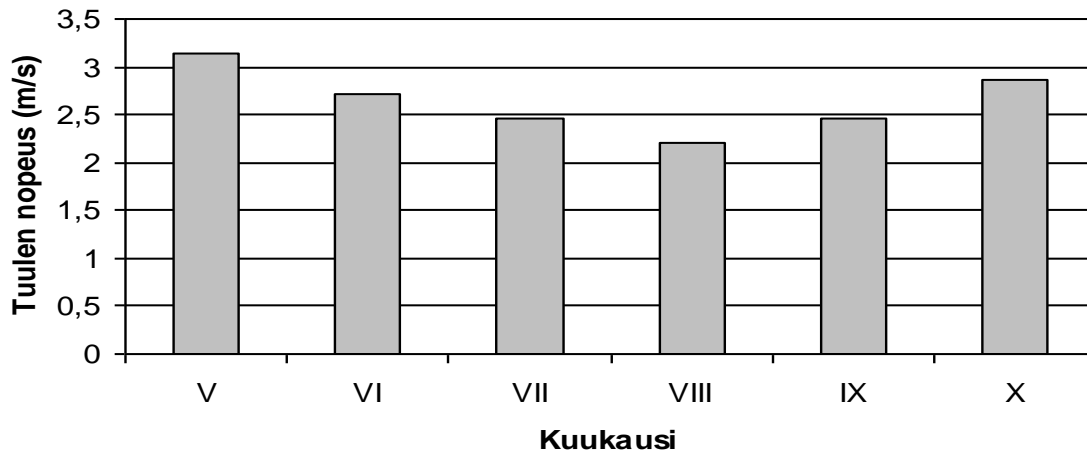
Kuva 2. Vesijärven vedenkorkeustiedot vuodelta 2009 (Lähde: HERTTA-tietokanta).



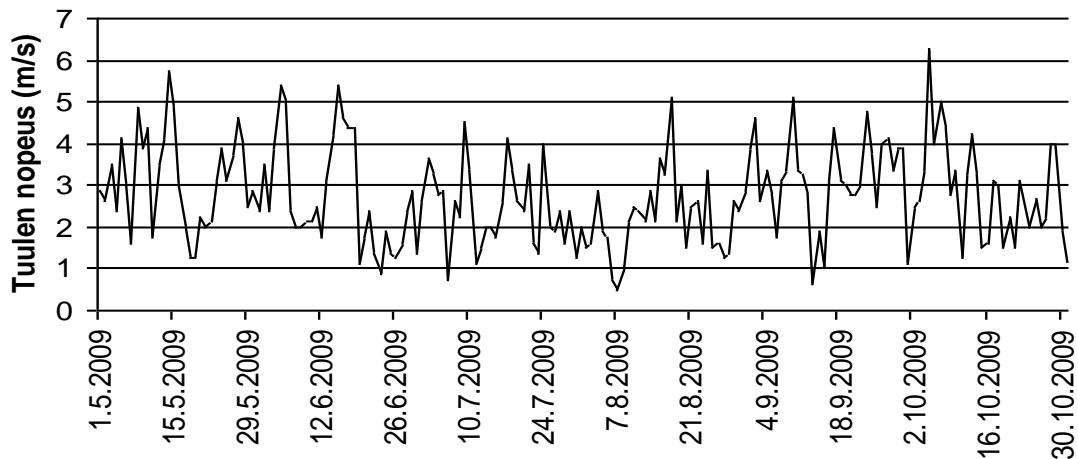
Kuva 3. Päijänteen Kalkkisten virtaamamittauksien tiedot vuodelta 2009 (Lähde: HERTTA-tietokanta).

4.2 Meteorologiset olosuhteet

Virtausmittausjaksolla tuulet olivat suurimpia nopeudeltaan lokakuussa. Tämä näkyy sekä tuulennopeuden kuukausiarvoissa (Kuva 4) että tuulen vuorokausiarvoissa (Kuva 5).



Kuva 4. Jämsän Hallin lentokentällä mitattu keskimääräinen tuulen nopeus (m/s) touko-lokakuussa 2009.



Kuva 5. Tuulen nopeuden (m/s) vuorokausikeskiarvo Jämsän Hallin lentokentällä 1.5. - 31.10.2009

5 Mittaukset Vesijärven Siikasalmessa

5.1 Mittausaikataulu

Taulukossa 2 on esitetty kaikki kesällä 2009 Vesijärven Siikasalmessa tehdyt mittaukset. Mittaukset tehtiin 20.5. – 20.10.2009 välisenä aikana. CTD-luotauksia veden lämpötilan selvittämiseksi tehtiin neljästi ja ADCP-virtausmittauksia alueellista virtauskartoitusta varten HY/YEKO:n Alma Mater -tutkimusveneellä kolmesti. Kiinteä ADCP-asema asennettiin mittauksen yhteydessä mittaamaan virtauksia yhdestä pisteestä ajallisen virtausvaihtelun kuvaamiseksi. Käytössä oli myös Vesijärven automaattisen mittausaseman lämpötilatiedot Enonselän pisteeltä.

Taulukko 2. Kenttämittausten aikataulu

Mittaus	20.5.	29.6.	28.7	21.8.	20.10.
ADCP-linjamittaus	x		x		x
CTD-luotaus	x	x		x	x
ADCP-pohjamittaus (Siikasalmi)				x	x
Syvänteen automaattinen asema		x	x	x	x

5.2 Veden laadun mittaukset

Siikasalmessa virtausmittausten yhteydessä veden lämpötilaa mitattiin luotaamalla kiinteän ADCP –mittarin kohdalta salmen poikki vedetyltä linjalta. Nämä mittaukset tehtiin JY/BYTLn lämpötila- syvyys- ja johtokyky-luotaimella (CTD –luotain, malli Hydrolab Minisonde 4a) (Kuva 6). CTD -luotaimen lämpötila-anturin tarkkuus $\pm 0,1$ °C.

Lämpötilamittauksissa CTD -luotain laskettiin veteen noin puolen metrin syvyydelle. Sen jälkeen luotain laskettiin hitaasti pohjaan ja nostettiin ylös. Havaintopaikat valittiin salmen poikki vedetyltä linjalta (Kuva 1) siten, että ne antavat riittävän kattavan kuvauksen. Luotaukset tehtiin neljä kertaa mittausjakson aikana: 29.6., 28.7., 21.8. ja 20.10.2009. Luotauksesta saatuja tuloksia verrattiin Enonselän syvänteellä sijaitsevan automaattiselta vedenmittausasemalta saatuihin lämpötilatuloksiin.



Kuva 6. CTD-luotain eli johtokyky-, lämpötila- ja syvyysluotain (Hydrolab Minisonde 4a).

5.3 Virtausmittaukset

5.3.1 Kiinteä ADCP-asema

Kiinteillä, jatkuvatoimisella ADCP-asemalla (JY/BYTL) mitattiin virtauksia Siikasalmessa. Tavoitteena oli erityisesti virtauksien ajallisen vaihtelun ja suunta- ja nopeusjakaman määrittäminen (Kuva 7) sekä virtaukseen vaikuttavien tekijöiden osuuden selvittäminen tutkimalla aikasarjoja tilastollisesti. Virtausmittari asennettiin turvallisuuden vuoksi Siikasalmeen väylän ulkopuolelle noin 150 m päähän itärannasta. Asennus tehtiin niin sanottuna piiloasennuksena, jolloin mittarin asennuslevystä johdettiin köysi rantaan. Mittari mittasi virtauksia metrin kerroksissa. Niiden syvyydet olivat pinnalta laskien pinta, 1 m ja 2 m. Mittari asetettiin keilaamaan virtauksia niin, että sen 20 min keskiarvotuloksille saatiin 0,6 cm/s keskihajonta. ADCPn toiminnassa ilmenneiden ongelmien vuoksi virtaustietoa saatiin kuitenkin vain ajalta 21.8. – 20.10.2009.



Kuva 7. ADCP -virtausmittari.

5.3.2 Linjamittaukset ADCP-virtausmittarilla

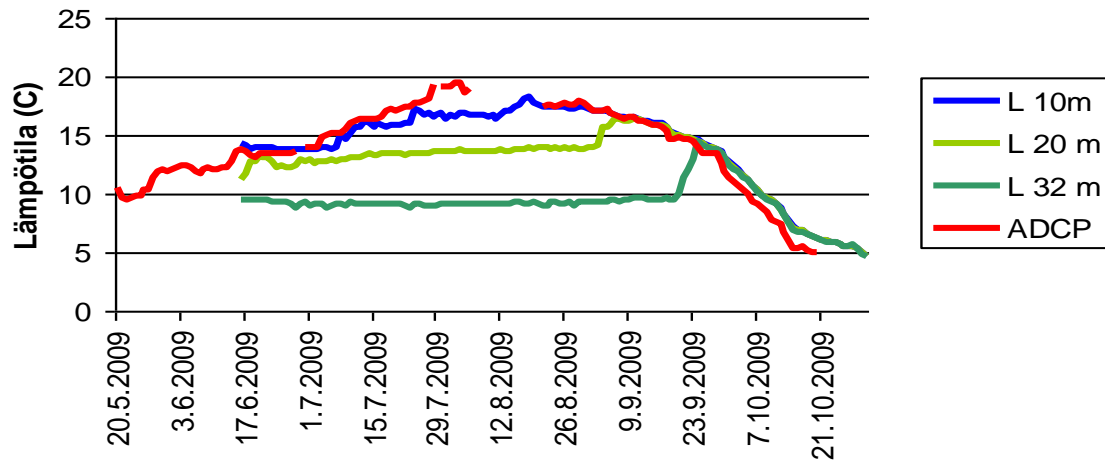
HY/YKOn kiinnitetyllä ADCP -virtausmittarin avulla saadaan selvitettyä nopeasti alueellinen virtauskuva. Virtauskartoitukset tehtiin salmesta kiinteän ADCP -virtausmittarin kohdalta sekä Enonselän puolelta, saarten jakamasta salmen kohdasta. Mittaukset tehtiin kesän alussa, puolessa välissä ja lokakuussa (20.5., 28.7. & 20.10.2009). VeneADCP-mittauksissa käytettiin WinRiver- ja WinSC -ohjelmistoja.

6 Tulokset

6.1 Lämpötilakerrostuneisuus kesän 2009 aikana

Jäät lähtivät Vesijärvestä 29.4. Pohjaan asennettava virtausmittari mittasi lämpötilaa toukokuun lopusta lähtien kun taas Enonselän syvänteen automaattisen mittausaseman tulokset olivat saatavilla kesäkuun lopusta alkaen.

Veden lämpötila Vesijärven Enonselän syvänteen pintaosissa alkoi nousta heinäkuun puolivälin jälkeen (Kuva 8). Heinä- ja elokuun aikana vesimassa oli voimakkaasti kerrostunut harppauskerroksen (välivesi; lämpötila muuttuu $> 1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$) siirtyessä syvemmälle elosyyskuun vaihteessa. Kerrostuneisuuden aikana tuulen sekoittava vaikutus ulottui lähinnä vain päällysveteen harppauskerroksen yläpuolella. Alusveden lämpötila säilyi $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ tuntumassa koko kerrostuneisuusjakson ajan. Täyskierto alkoi syyskuun lopussa. Salmeen 5,5 metrin syvyydelle asennetun ADCP -virtausmittarin mittaama lämpötila oli heinäkuun ajan korkeampi kuin syvänteen mittausaseman 10 metrin syvyydeltä mittaama päällysveden lämpötila. Elokuun lopusta alkaen mitattu lämpötila Siiksalmissa oli lähes sama kuin syvänteen asemalla. Jakson loppua kohden salmessa mitattiin kylmempiä lämpötiloja kuin mittausasemalla.

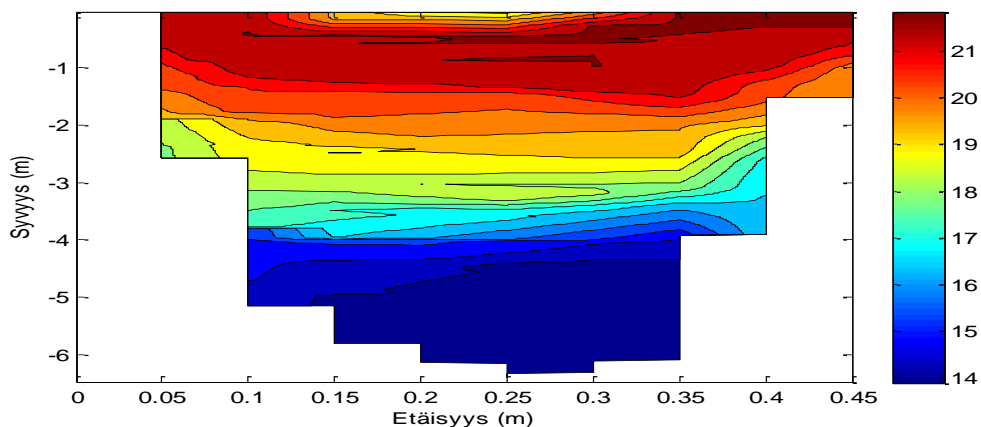


Kuva 8. Enonselän automaattiaseman mittaamat lämpötilat eri vesikerroksissa sekä Siikasalmen kiinteän ADCP -mittarin mittaama lämpötila mittausjaksolla.

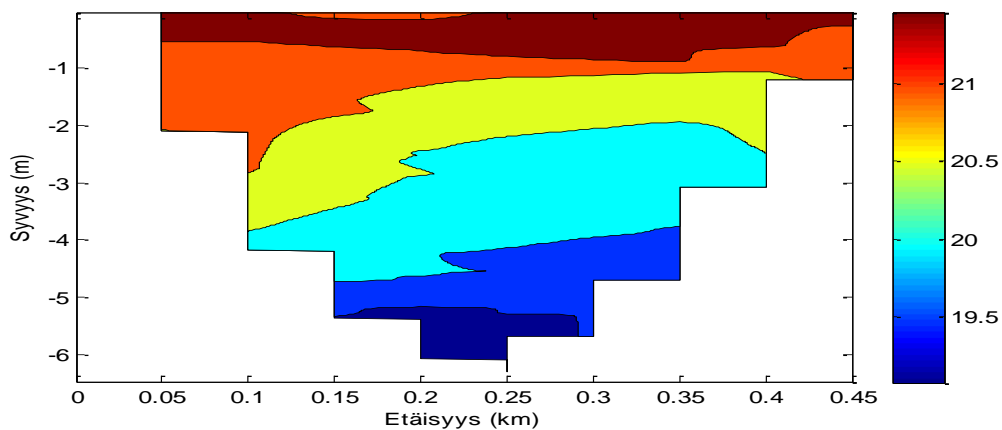
6.2 Kenttäjakson tulokset

6.2.1 Veden lämpötila salmessa

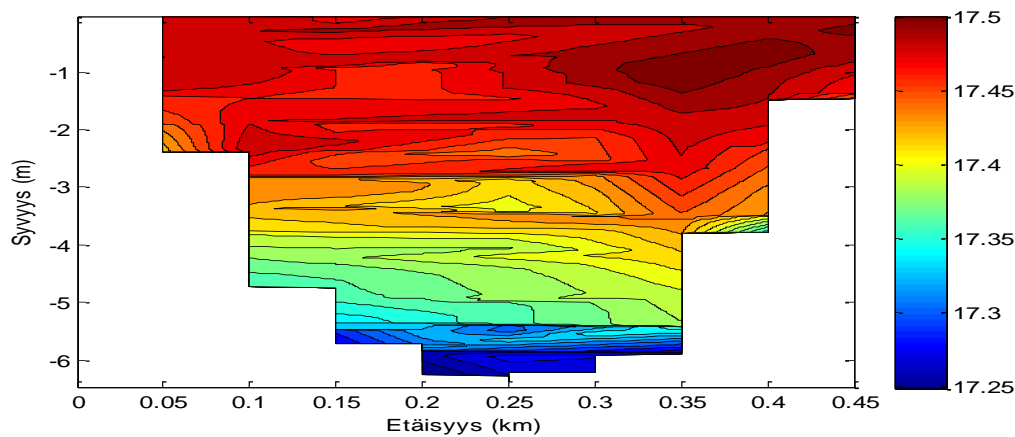
Lämpötilan CTD -luotauksia tehtiin Siikasalmessa neljä kertana. Linjan syvin kohta oli 6,5 metriä. Tulokset ovat esitetty kuvissa 9-12.



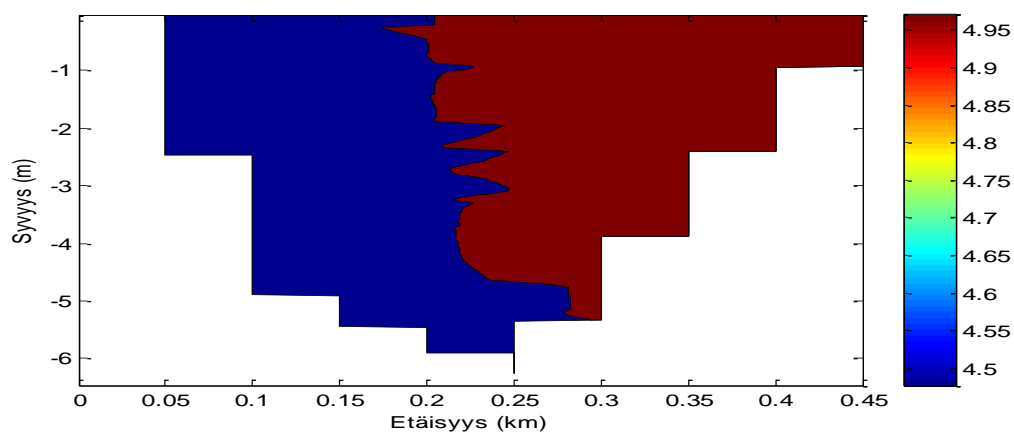
Kuva 9. Lämpötilan samanarvonkäyrät 29.6.2009 linjalla salmen poikki ADCP-virtausmittarin kohdalla.



Kuva 10. Lämpötilan samanarvonkäyrät 28.7.2009 linjalla salmen poikki ADCP-virtausmittarin kohdalla.



Kuva 11. Lämpötilan samanarvonkäyrät 21.8.2009 linjalla salmen poikki ADCP-virtausmittarin kohdalla.

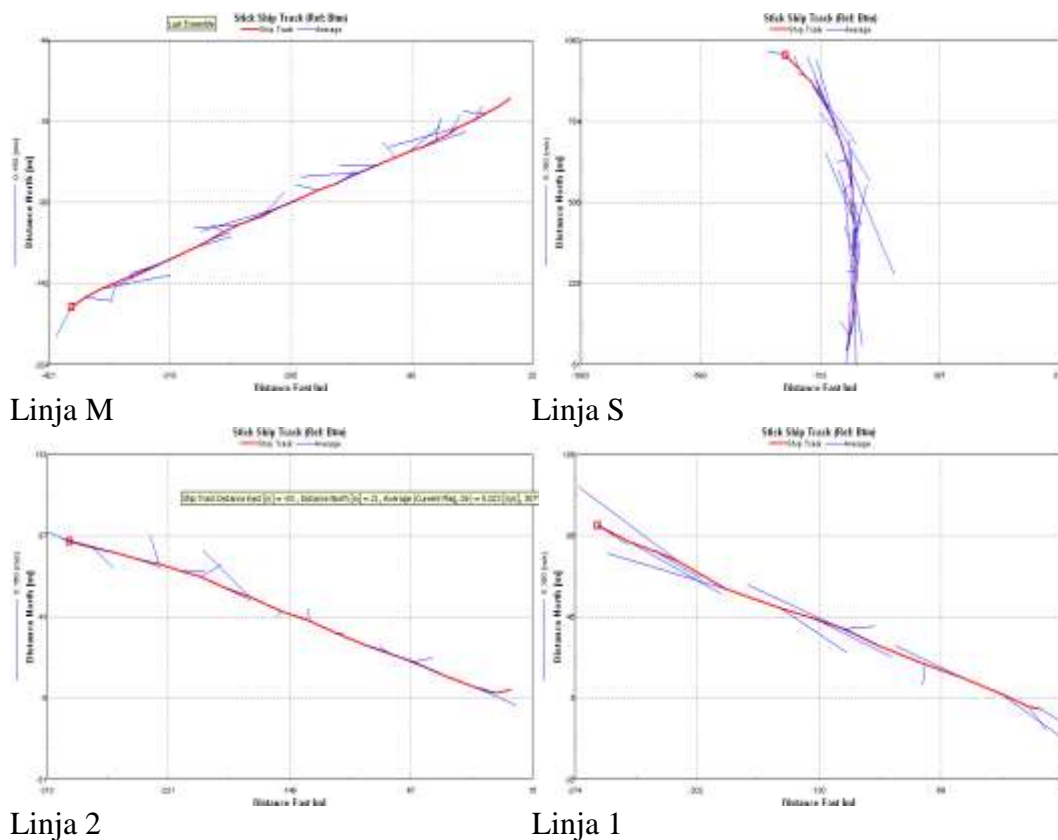


Kuva 12. Lämpötilan samanarvonkäyrät 20.10.2009 linjalla salmen poikki ADCP -virtausmittarin kohdalla.

Tulosten mukaan vesi oli salmessa selkeästi kerrostunutta kesäkuun lopulla. Heinäkuun loppuun mennessä pintaveden ja pohjanläheisen veden lämpötilaero oli jo pienentynyt merkittävästi. Elokuun lopulta alkaen salmen vesi oli lähes saman lämpöistä koko vesipatsaassa. Tulokset osoittivat, että kiinteä virtausmittari sijaitsi paikalla, jonka vesimassa edusti lämpötilaltaan hyvin salmessa liikkuvaa vesimassaa virtausmittausjakson aikana.

6.2.2 Virtaukset ADCP-linjoilla

Kuvassa 13 on esimerkki HY/YEKOn ADCP -virtausmittarilla tehtyjen linjamittausten tuloksista Siikasalmen suulta ja kiinteän mittarin kohdalta. Salmet olivat syvimmältä kohdaltaan n. 4 m (Salmi 1), 5 m (Salmi 2) ja 6,5 m (Salmi M). Taulukossa 3 on esitetty laitteen ilmoittama kokonaisvirtaama mittauksen päättyessä.



Kuva 13. ADCP -mittaustulos 20.5.2009 (iltapäivä). Ajetut linjat on esitetty Vesijärven merikartalla punaisella tai mustalla viivalla. Kullakin linjalta virtaussuuntaa ja -nopeutta esittävässä kuvassa on mittausveneiden kulkema reitti (punainen viiva), virtausten suunnan ja nopeuden keskiarvo lähtöpisteestä viivaan saakka (sininen viiva, mittajana vasemmalla) ja linjan päätepiste (punainen neliö). Kuvissa esiintyvän mittajanan pituus on 0,15 m/s (15 cm/s).

Taulukko 3. Virtaama (m^3/s) veneellä ajettujen linjojen lopussa (keskiarvo) (Win River -ohjelma). Negatiivinen arvo = kokonaisvirtaama pohjoiseen.

Pvm	Salmi 1	Salmi 2	Salmi M
20.5.	-7	-14,8	-25,1
28.7.	-4,4	-19,5	-7,7
20.10.	-10,5	-15,5	-16,5

Näissä lyhytaikaisissa mittauksissa Siikasalmen eri osissa vesi virtasi kokonaisuudessaan pohjoiseen, eli salmen hydrologiseen purkautumissuuntaan.

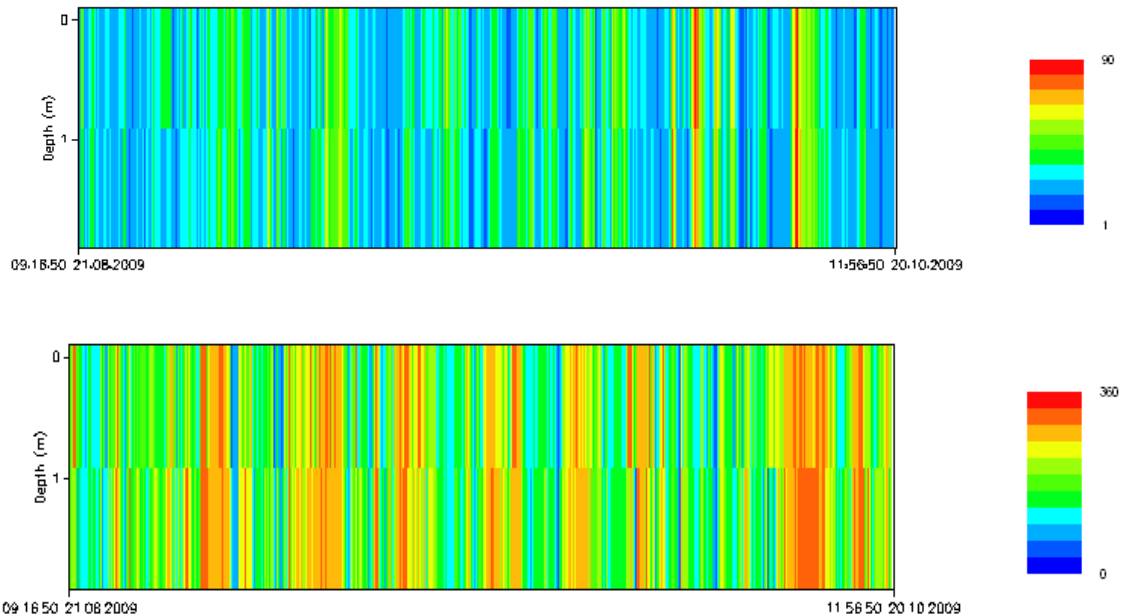
Siikasalmen suulla Vesikiven saarten jakamassa salmen kohdassa virtaama oli aina suurempi lännen puoleisessa salmessa.

Koko salmen yli ulottuvan virtausmittarin linjalta tehdyn virtausmittauksen kokonaisvirtaama ei aina vastannut kahden pienemmän salmen yhteenlaskettua virtaamaa. Liikkuvasta veneestä tehdyt virtausmittausarviot ovatkin osin epävarmoja veneen ajolinjan ja aallokon vaikuttaessa tuloksiin. Tällä linjalla havaittiin usein veneen kulkusuunnan mukaisia virtauksia, suurimpien virtausnopeuksien keskittyessä lähemmäksi itärantaa. Tämä tulos osoittaa, että virtausmittari sijaitsi Siikasalmen virtausten kannalta hyvällä paikalla.

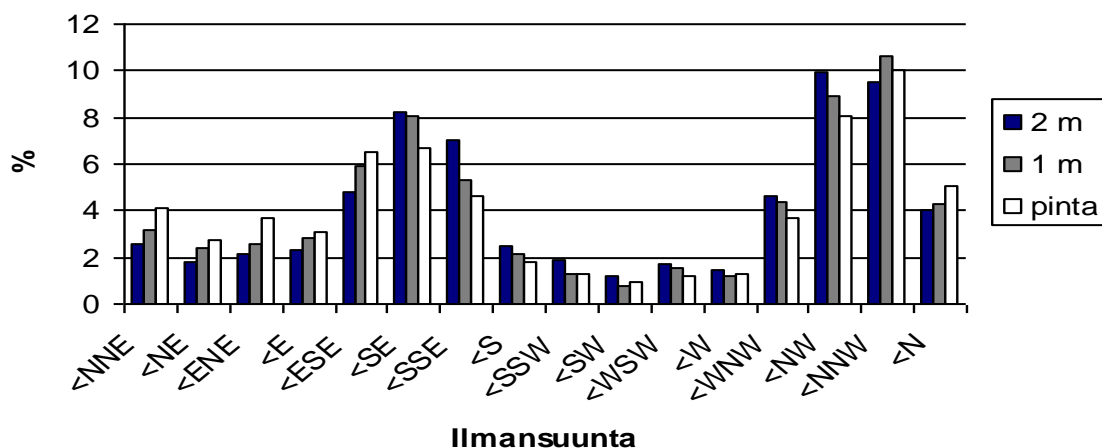
6.2.3 Virtaukset kiinteällä asemalla

Keskimääräinen virtausnopeus Siikasalmessa oli 2,7 cm/s (kaikkien kerrosten keskiarvo).

Raakamittaustulosten antama virtausvektori jaettiin salmensuuntaiseen (suunta 338 astetta pohjoisesta) ja sitä vastaan kohtisuoraan virtauskomponenttiin (suunta 90 astetta oikealle edellisestä). Keskimääräinen virtauksen salmen suuntaisen komponentin suuruus oli 0,3 cm/s ja poikittaisen komponentin suuruus puolestaan 0,003 cm/s. Virtaus suuntautui siis 2 metrin syvyydellä tavallisimmin kohti pohjoisluodetta. Virtaustulokset mittaajaksolta on esitetty kuvassa 14 ja virtauksen suunnan jakautuminen jakson aikana kuvassa 15.



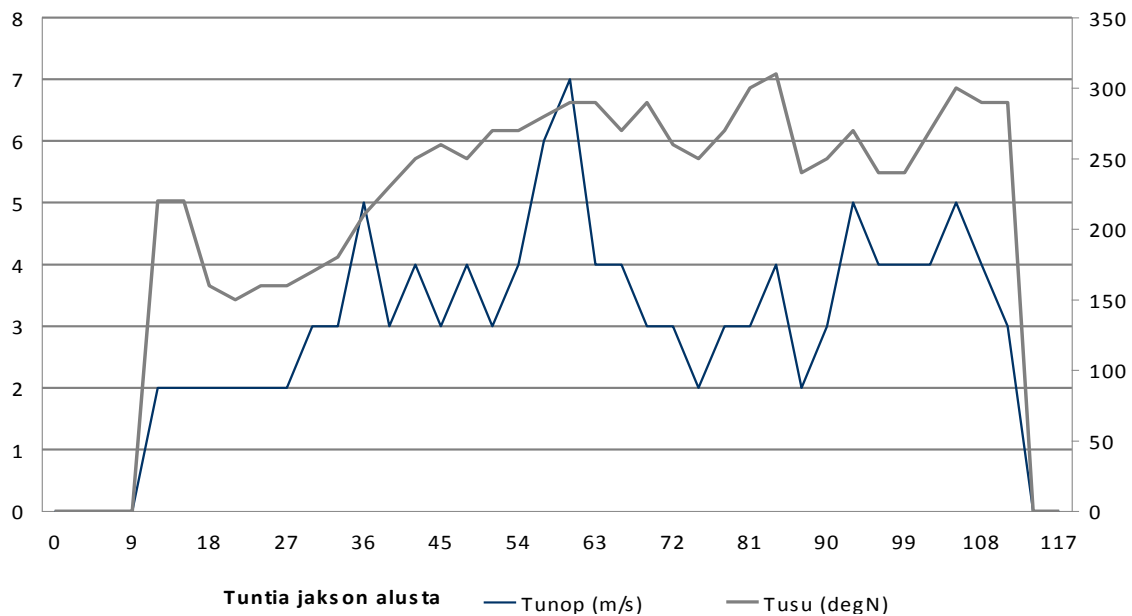
Kuva 14. Veden virtausnopeus (mm/s) ja suunta (°) Siikasalmessa koko jakson ajalta (21.8.-20.10.2009). Yläkuva: virtausnopeuden mittakaava 0-90 mm/s; alakuva: virtauksen suunta 0-360°. Y-akselit molemmissa kuvissa veden syvyys metreinä.



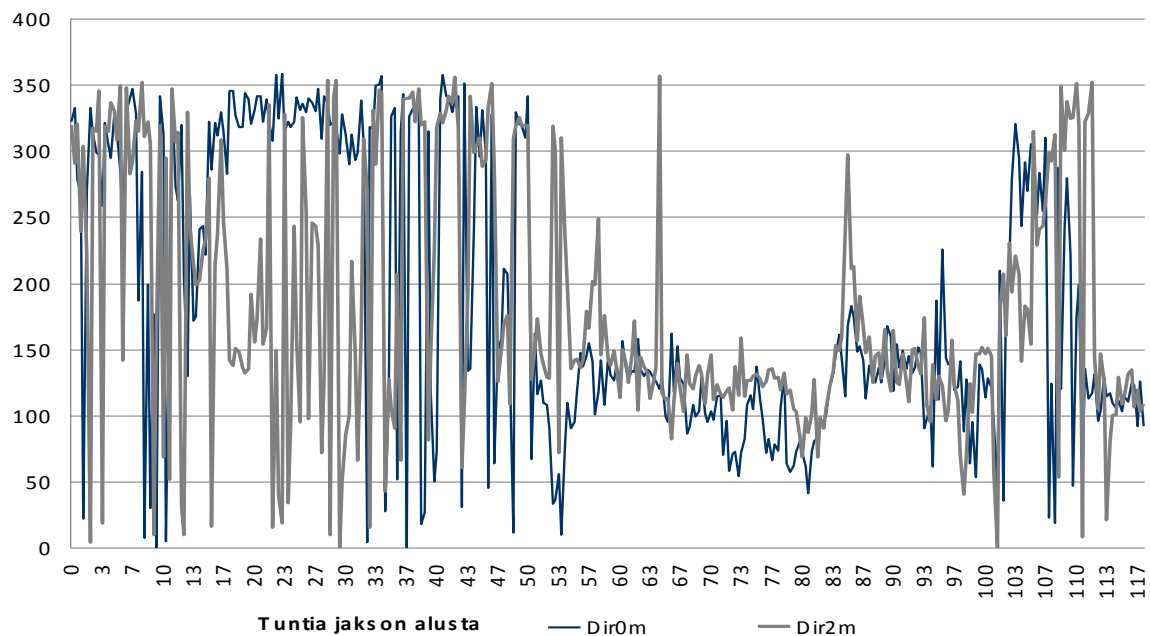
Kuva 15. Veden virtaussuunnan jakautuminen (°) Siikasalmessa koko jakson aikana (21.8.-20.10.2009).

Jaksolla suurimpia virtausnopeuksia havaittiin lokakuussa. Virtauksen suuntajakoumassa näkyi selkeästi kaksi pääsuuntaa eli salmensuunnassa luoteeseen (26-28 % ajasta kullakin syvyydellä) ja kaakkoon (20-23% ajasta).

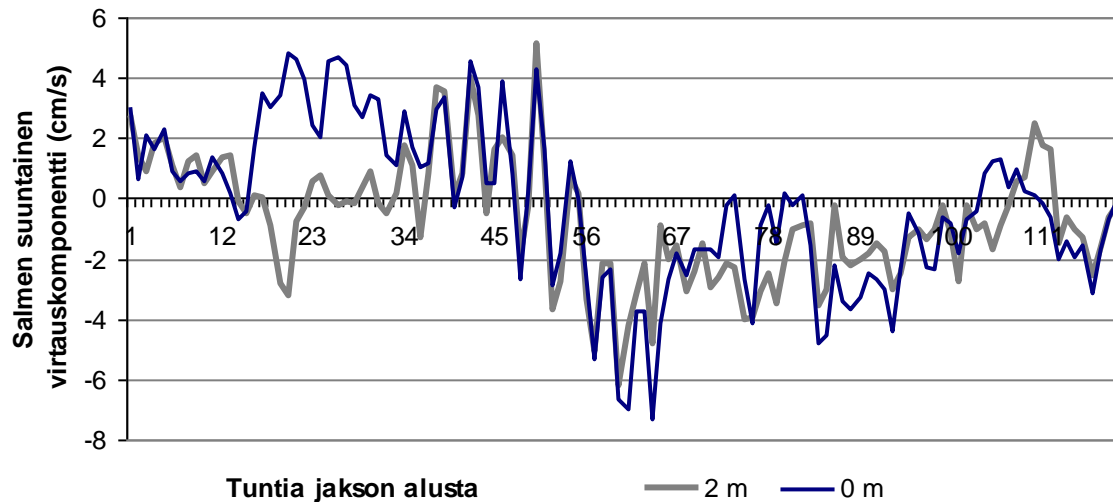
Erityistilanteena seuraavassa käsittelemme jaksoa, jossa tuulen suunta kääntyi etelästä pohjoiseen vastaiseksi useiden vuorokausien ajaksi, kääntyen sitten takaisin etelään. Esimerkkinä jakso ajalta 15.-19.9.2009 (Kuvat 16-18). Tämä oli myös virtausmittausjakson aikana pisin virtauksen kääntymisen jakso.



Kuva 16. Tuulen suunta ja nopeus Jämsän Hallin mittausasemalla 15.-19.9.2009



Kuva 17. Virtauksen suunta Siikasalmessa 15.-19.9.2009 pinnassa ja 2 metrin syvyydessä.



Kuva 18. Virtauksen salmenseuntainen komponentti Siikasalmessa 15.-19.9.2009 pinnassa ja 2 metrin syvyydessä.

Tilanteessa näkyy tuulen kääntyminen puhaltamaan lännen ja luoteen puolelta sekä tuulennopeuden samanaikainen kasvu. Tuulen nopeus oli suurimmillaan tunnin 60 kohdalla (7 m/s 17.9. klo 12). Siikasalmen virtaus kääntyi kaakkoon seuraten tuulen muutoksia. Kaakkoon suuntautuva virtaus sai pinnassa suurimman arvonsa (7 cm/s) samaan aikaan tuulen pohjoisen puoleisen maksimin kanssa. Virtaus suuntautui kaakkoon aina tuntiin 104 saakka (19.9. klo 08). Tuuliaineisto Hallissa osoitti tuulen siellä vaimenneen vasta kymmenen tuntia myöhemmin. Voi olla, että Vesijärvellä vaimeneminen tapahtui jo aiemmin. Pinnan läheisen ja syvempien vesikerrosten välillä ei tässä tilanteessa näyttänyt olevan muuta eroa kuin, että pinnalla nopeudet olivat suurempia.

Siikasalmesta mitattuja virtauksia verrattiin tilastollisesti Vesijärveltä mitattuihin vedenkorkeusmuutoksiin (muutos edellisen tunnin tasoon nähden) sekä tuulen pohjois- ja itäkomponenttien suuruuteen. Korrelaatiomatriisi on esitetty taulukossa 4. Matriisi perustuu kolmen tunnin keskiarvoihin.

Taulukko 4. Eri vesikerrosten virtauksien salmen suuntaisten (V_s)- ja salmen poikkisuuntaisten (V_p) komponenttien suhde Vesijärven vedenkorkeusmuutokseen (D_w) sekä tuulen pohjois(T_n)- ja itä(T_e)komponentteihin. Taulukkoon on merkitty havaitun riippuvuuden tilastollinen merkitsevyys.

		D_w	T_n	T_e	V_{s2m}	V_{p2m}	V_{s1m}	V_{p1m}	V_{spinta}	V_{ppinta}
D_w	R	1	-0,083	,118*	,143**	-0,09	,120**	-,096*	0,08	-0,078
	P	.	0,073	0,011	0,002	0,05	0,009	0,038	0,084	0,091
T_n	R	-0,083	1	-,197**	0,041	-0,038	0,078	0,014	,141**	,113*
	P	0,073	.	0	0,374	0,406	0,089	0,757	0,002	0,014
T_e	R	,118*	-,197**	1	-0,061	-,109*	-,144**	-0,029	-,230**	0,079
	P	0,011	0	.	0,189	0,018	0,002	0,532	0	0,086
V_{s2m}	R	,143**	0,041	-0,061	1	-,777**	,938**	-,793**	,828**	-,744**
	P	0,002	0,374	0,189	.	0	0	0	0	0
V_{p2m}	R	-0,09	-0,038	-,109*	-,777**	1	-,726**	,918**	-,646**	,779**
	P	0,05	0,406	0,018	0	.	0	0	0	0
V_{s1m}	R	,120**	0,078	-,144**	,938**	-,726**	1	-,763**	,948**	-,751**
	P	0,009	0,089	0,002	0	0	.	0	0	0
V_{p1m}	R	-,096*	0,014	-0,029	-,793**	,918**	-,763**	1	-,679**	,914**
	P	0,038	0,757	0,532	0	0	0	.	0	0
V_{spinta}	R	0,08	,141**	-,230**	,828**	-,646**	,948**	-,679**	1	-,687**
	P	0,084	0,002	0	0	0	0	0	.	0
V_{ppinta}	R	-0,078	,113*	0,079	-,744**	,779**	-,751**	,914**	-,687**	1
	P	0,091	0,014	0,086	0	0	0	0	0	.

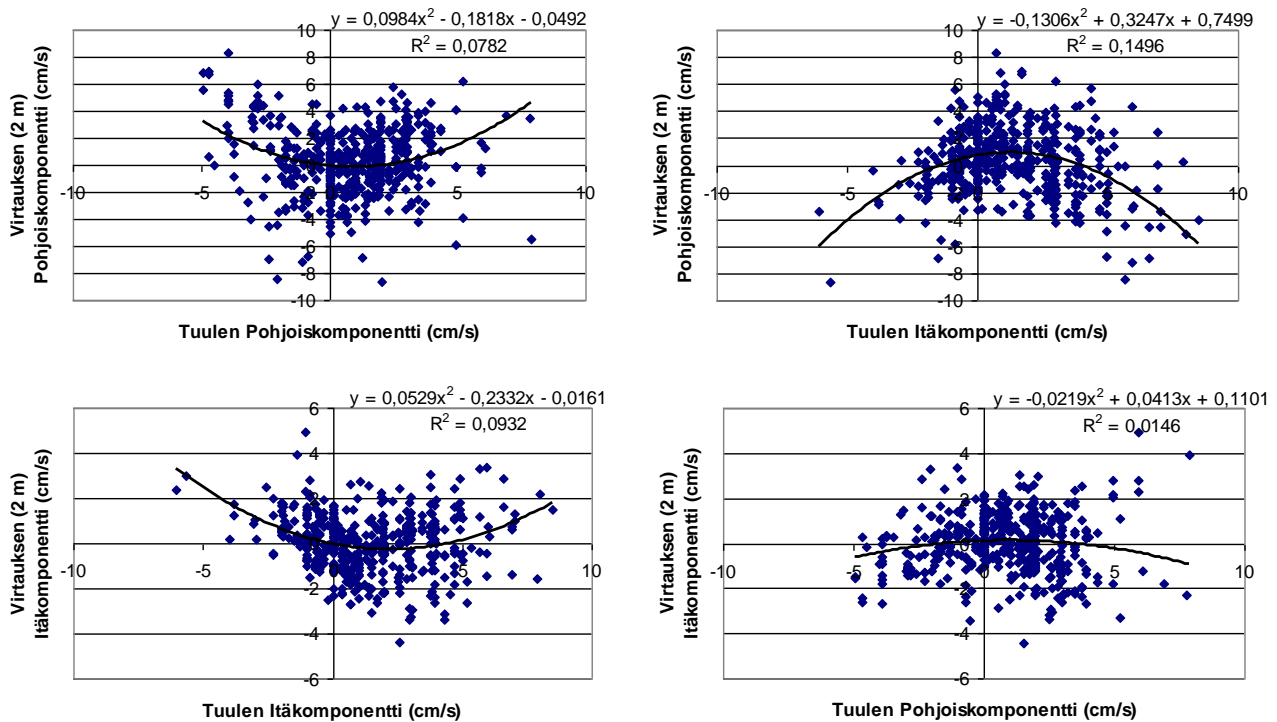
Virtauksen salmen suuntaiset ja salmen poikkisuuntaiset komponentit ovat keskenään korreloituneita kaikilla syvyyksillä ja syvyyksien välisesti. Vedenkorkeusmuutos korreloi 1m ja 2 m virtausten salmen suuntaisten komponenttien kanssa sekä 1m syvyydellä salmen poikkisuuntaisen komponentin kanssa. Tuulikomponentit ovat keskenään korreloituneita. Tuulen pohjoiskomponentti korreloi pintavirtauksen salmen suuntaisten ja salmen poikkisuuntaisten komponenttien kanssa. Tuulen itäkomponentti puolestaan pintavirtauksen ja 1m syvyydellä mitattujen virtausten salmen suuntaisten komponenttien sekä Vesijärven vedenkorkeuden kanssa.

Salmessa ei havaittu lämpötilakerrostuneisuutta virtausmittausjakson (21.8.-20.10.) aikana (Kuvat 11 ja 12). Virtausten salmen suuntaiset ja salmen poikkisuuntaiset komponentit olivat myös kaikissa kerroksissa samankaltaisia. Itätuulella on vaikutusta salmen pintakerrosten virtauksiin. Salmen virtausten suuntautuessa luoteeseen ja tuulen itäkomponentin koostuessa paljolti lounaanpuoleisista tuulista, pintavirtauksen suunta kääntyy vaikuttamaan salmen suuntaiseen komponenttiin. Tuulen pohjoiskomponentti korreloi luonnollisesti pintavirtauksen komponenttien kanssa.

Tuulen itäkomponentin ja Vesijärven pinnankorkeusmuutoksen välinen yhteys selittyy mittausaseman sijainnilla. Pinnakorkeusasema sijaitsee järven itärannalla, jolloin lännen puoleiset tuulet painavat vettä itärannalle. Vedenkorkeuden vaikutus näkyy pohjoiseen suuntautuvassa virtauksessa 1 ja 2 metrin syvyydellä, mutta ei pinnassa.

Regressioanalyysissä kolmen tunnin keskiarvoilla selitysasteet jäivät erittäin pieniksi eikä niillä ole käytännön laskelmien kannalta merkitystä. Tämä selittyy salmen virtauksen

luontaisella käyttäytymisellä Enonselän purkautumisväylänä. Tilanteita, joissa vesi liikkuisi pitkään takaisin järven suuntaan, sattui mittausjaksolle harvoin. Virtauksen salmen suuntaisen komponentin negatiivisia arvoja (virtaus suuntautuu kaakkoon) on siten vähän suhteessa pohjoisesta suuntautuviin tuuliin (negatiivinen pohjoiskomponentin arvo), koska vesi pyrkii liikkumaan salmessa kohti pohjoista Päijännettä hydrologisen valunnan mukaisesti. Tilanteet jäävät siten hetkellisiksi. Myös etelään suuntautuvien tuulien aikana on mitattu suurempia virtauksen salmen suuntaisia komponentin arvoja. Tämä selittyy tuulen yleisellä vaikutuksella virtausnopeuksiin (Kuva 19).



Kuva 19. Virtauksen (2m) pohjois- ja itäkomponenttien suhde tuulen pohjois- ja itäkomponentteihin (positiivinen arvo = vesi virtaa/ tuulee pohjoiseen/itään). Kuvissa trendi toisen asteen polynomifunktiona. Kuvat on tuotettu kolmen tunnin keskiarvoista.