

## PM

### Brunnsviken – Ström- och CTD-mätningar 2006-2007

#### Bakgrund

WSP har på uppdrag av Stockholm Vatten AB genomfört mätningar av ström, konduktivitet, temperatur och tryck (vattenstånd) i och på ömse sidor om Ålkistan, med syftet att studera Brunnsvikens vattenutbyte med Lilla Värtan. Mätningarna har också utgjort underlag för modellering av vattenutbytet, genomförd av Anders Engqvist, A & I Engqvist Konsult HB. Det övergripande syftet med mätningarna och modelleringen har varit att ge underlag för en optimering av åtgärder för att förbättra Brunnsvikens vattenkvalitet.

Mätningarna har pågått under perioden 2006-04-17 till 2007-02-28.

Gunilla Lindgren har varit projektledare hos Stockholm Vatten. Dessutom har Christer Lännergren, Johan Frank och Bo Värnhed, samtliga Stockholm Vatten, medverkat i olika skeden av projektet. Båt och personal har hyrts av Stockholm Hamn vid sjösättning och vid kontroller av mätutrustningen.

Denna PM beskriver det mätprogram som har genomförts. En beskrivning av de datafiler som projektet har resulterat i ges i Bilaga 1. De sammantagna slutsatserna av mätningarna och modelleringen har diskuterats vid möte på Stockholm Vatten 2007-05-22. Slutsatserna och rekommendationer avseende åtgärder (främst pumpningsstrategi) återfinns i Anders Engqvists modelleringsrapport daterad 2007-05-30.

#### Mätprogram

Strömmätningarna har utförts med en högfrekvent profilerande strömmätare (Nortek Aquadopp Profiler 2 MHz) monterad i en ram på botten i Ålkistekanalerna. Strömmätaren monterades liggande för att hamna så nära botten som möjligt. Kabel drogs från instrumentet till Stockholm Vattens pumphus och ansluts där till ett GSM-modem för direktöverföring av data till PC på Stockholm Vatten.

Strömdata har lagrats var tionde minut. Varje lagrat värde är medelvärdet för kontinuerliga mätningar under 1 minut.

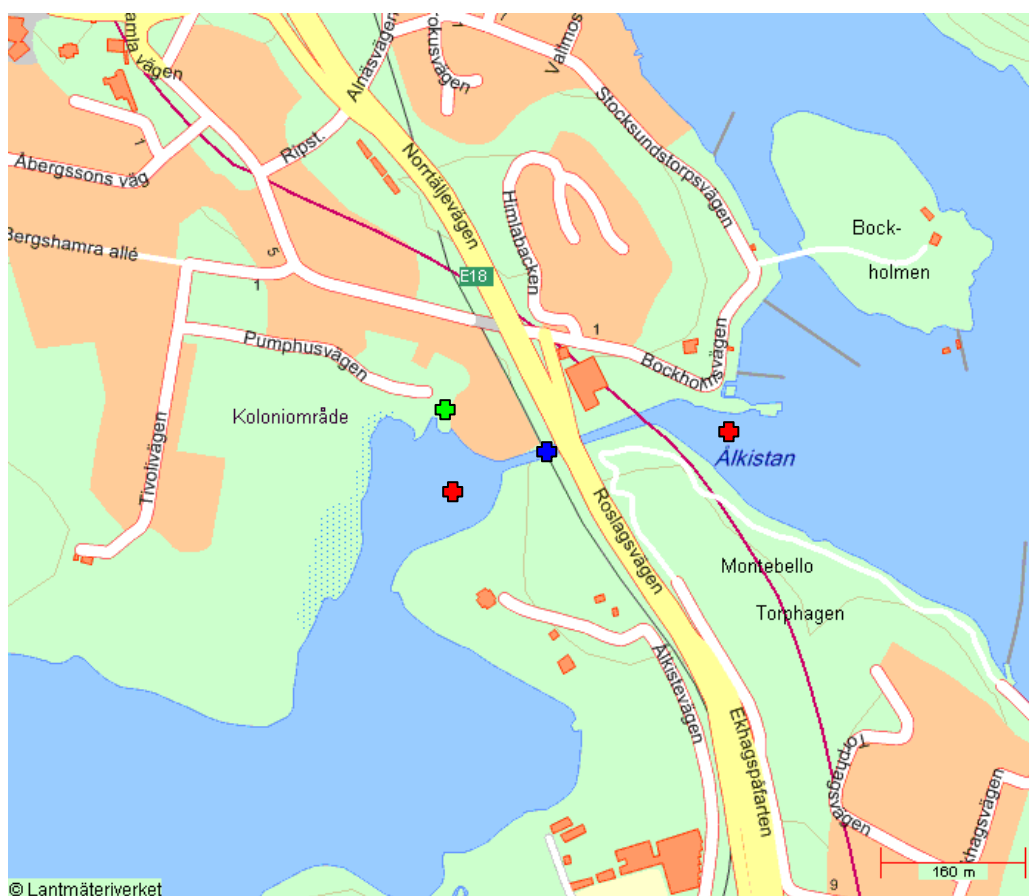
Strömmätaren har mätt vattenhastigheten i 0,1 m tjocka lager från en punkt ca 0,2 m över botten, till ytan. Reflektion vid ytan av instrumentets akustiska signaler gör dock att mätvärdena är otillförlitliga inom ett avstånd från ytan motsvarande ca 10 % av vattendjupet. Medeldjupet under mätperioden var ca 3 m, vilket betyder att instrumentet i genomsnitt mätte från ca 0,2 m över botten till ca 0,3 m under ytan.

Strömmätaren har också mätt temperatur och tryck i en punkt vid botten, med samma mätintervall, 10 min, som för strömmätningarna.

På ömse sidor om Ålkistan har mätningar med CTD-kedjor genomförts. Varje kedja hade fem sensorer för konduktivitet och temperatur (CT) och en sensor för tryck. Samtliga sensorer levererades av Aanderaa Data Instruments.

Kedjorna förankrades vid botten på ca 5 m djup. CT-sensorerna placerades med 1 m avstånd, från ca 0,5 m över botten till ca 0,5 m under ytan. Trycksensorn placerades vid den nedersta CT-sensorn. Kabel drogs från respektive instrumentkedja till pumphuset för anslutning till datalagringsenhet. GSM-modem anslöts för direktöverföring av data till PC på Stockholm Vatten. Datalagringsenheten var inställd för att lagra data var 10e minut.

Placeringen av samtliga instrument visas i Figur 1.



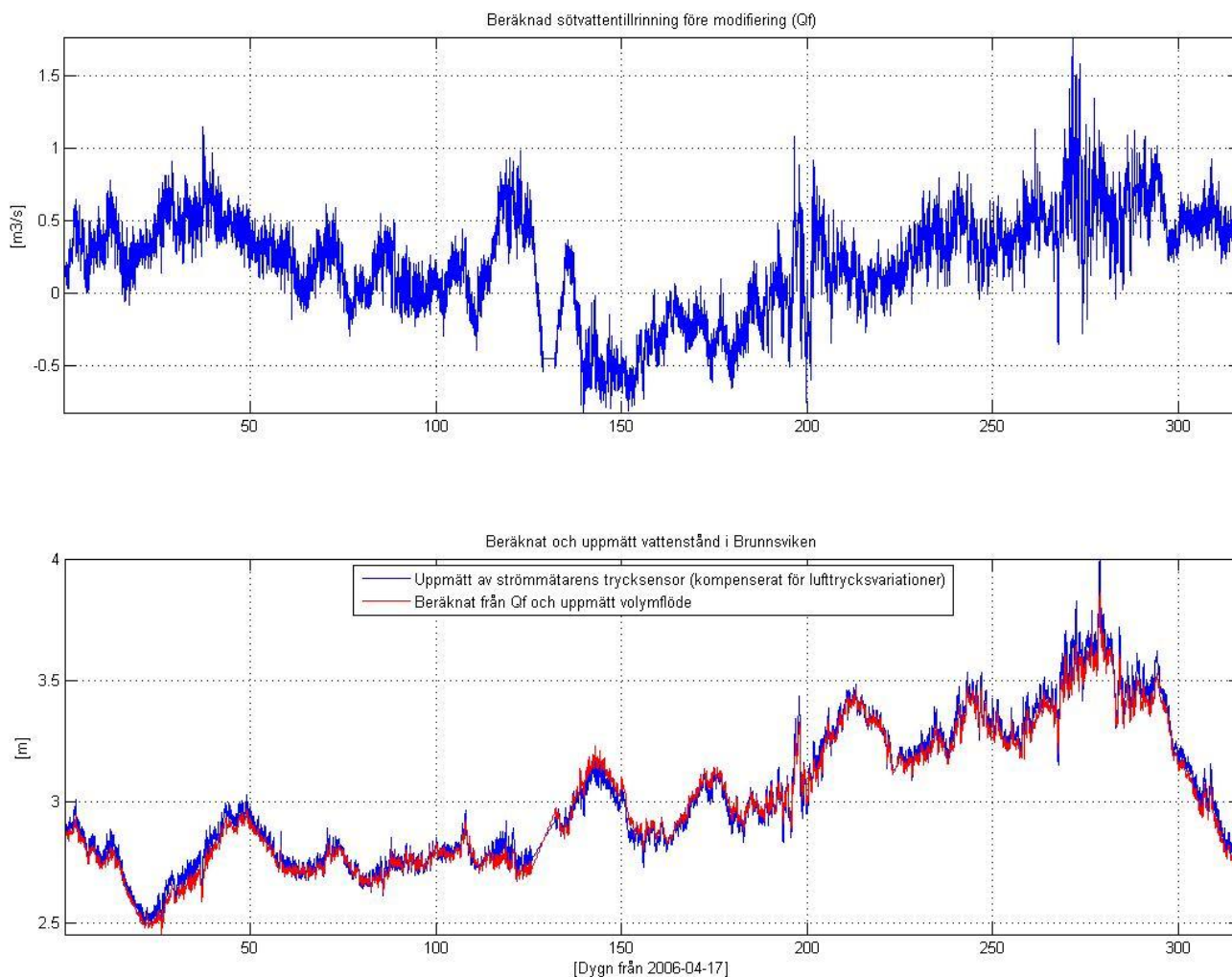
Figur 1. Mätutrustningens placering vid Ålkistan. Röda kryss visar CTD-kedjor, blått kryss strömmätaren och grönt kryss pumphuset. Kablar drogs från CTD-kedjorna och från strömmätaren till pumphuset för vidare GSM-överföring av data till Stockholm Vatten.

## Resultat

Data levereras som Excel-filer och ASCII textfiler. Beskrivning av datafilerna ges i Bilaga 1.

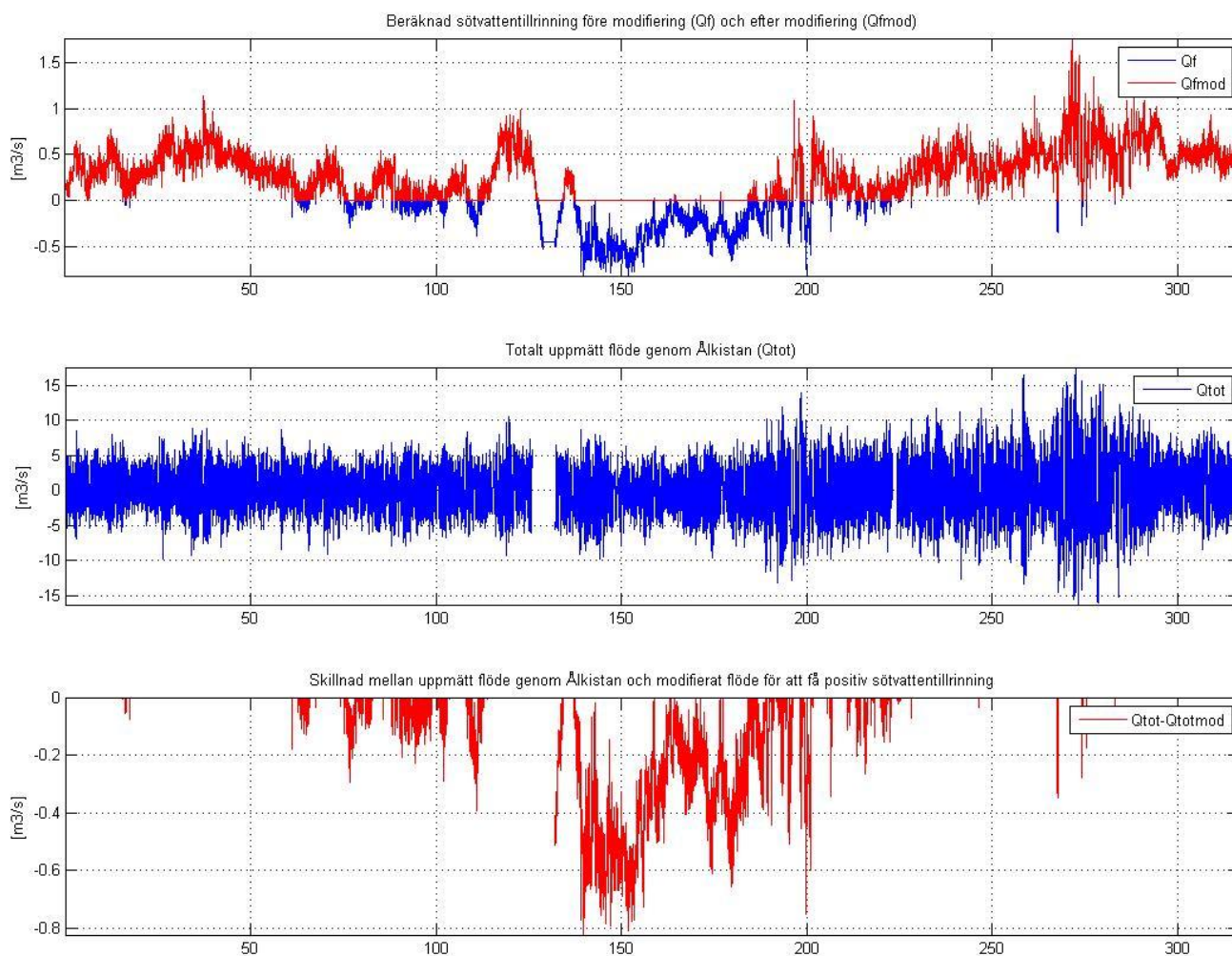
Strömmätaren har fungerat tillfredställande under hela mätperioden. Mätningarna visar på en i stort sett homogen (med avseende på djup) ström som byter riktning ungefär var 6e timme (periodicitet strax över 12 h).

Som underlag till modelleringen har de uppmätta hastighetskomponenterna projicerats i kanalriktningen och volymflödet integrerats för tre lager: ett 1 m tjockt ytlager, ett 1 m tjockt mellanlager, samt ett bottenlager med varierande tjocklek beroende på vattenståndet. Utifrån det uppmätta totala flödet genom Ålkistan och uppmätta vattenståndsvariationer har den sötvattentillrinning som krävs för att få volymbalans beräknats (se Figur 2).



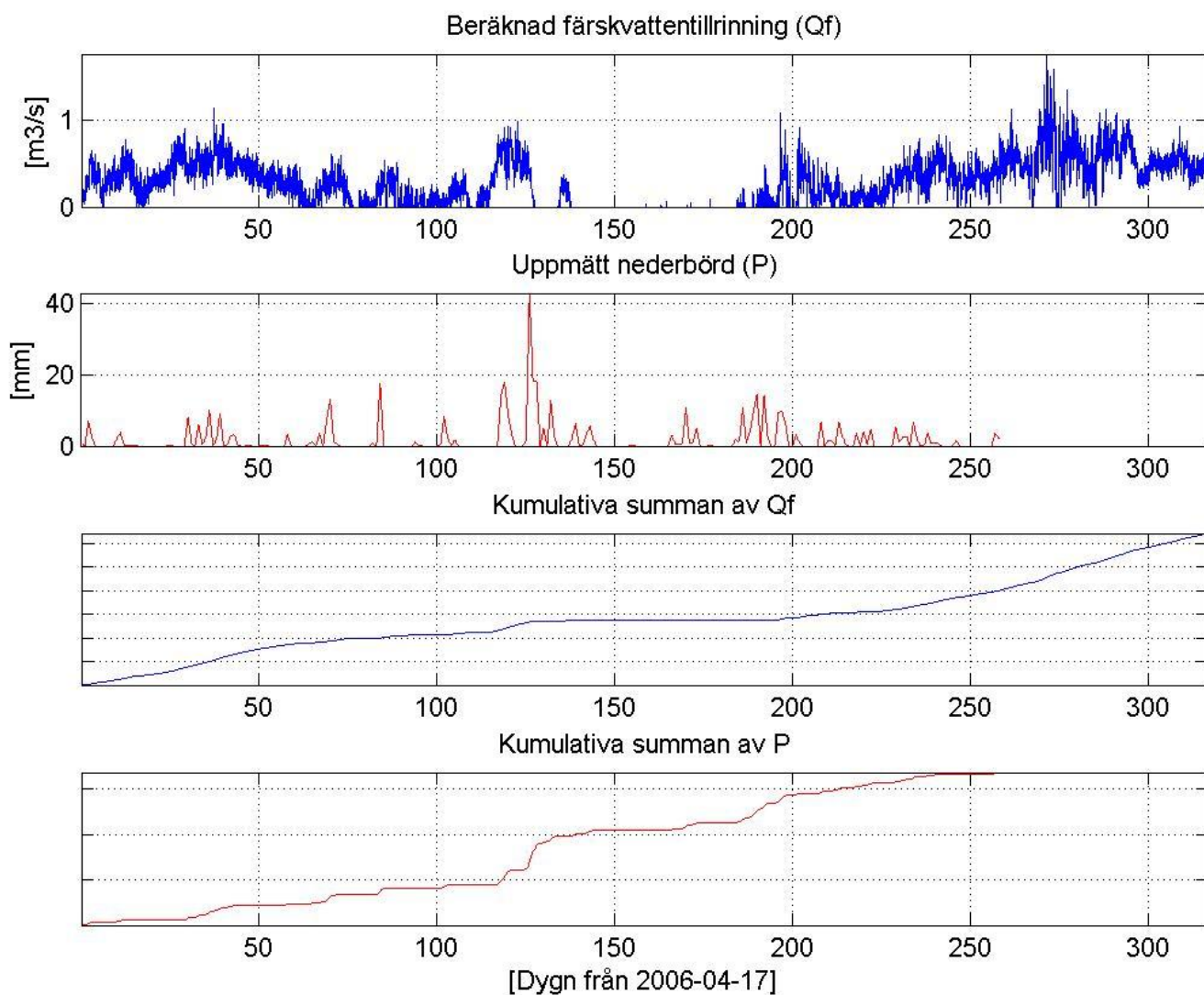
Figur 2. Beräknad sötvattentillrinning utifrån uppmätt totalt volymflöde genom Ålkistan och uppmätta vattenståndsvariationer. Notera att sötvattentillrinningen blir negativ under sommarmånaderna, vilket tyder på fel i antingen uppmätt volymflöde eller uppmätta vattenståndsvariationer.

En strikt volymbalans ger att sötvattentillrinningen skulle vara negativ under sommar-månaderna, vilket skulle svara mot att avdunstningen är större än tillrinningen. Den nödvändiga avdunstningen är dock många gånger större än rimlig avdunstning för Brunnsviken, vilket tyder på fel antingen i det uppmätta volymflödet eller i de uppmätta vattenståndsvariationerna. För modelleringen valdes att modifiera det uppmätta volymflödet genom Ålkistan så att sötvattentillrinningen aldrig blir mindre än 0 (se Figur 3).



Figur 3. *Modifiering av tillflöden till Brunnsviken för att få volymbalans. Sötvattentillrinningen modifierades först så att negativa värden sattes till 0. Nödvändig modifiering av volymflödet genom Ålkistan för att åstadkomma den modifierade sötvattentillrinningen beräknades sedan. De två undre panelerna visar storleksordningen på modifieringen av volymflödet (som mest ca 10-15%).*

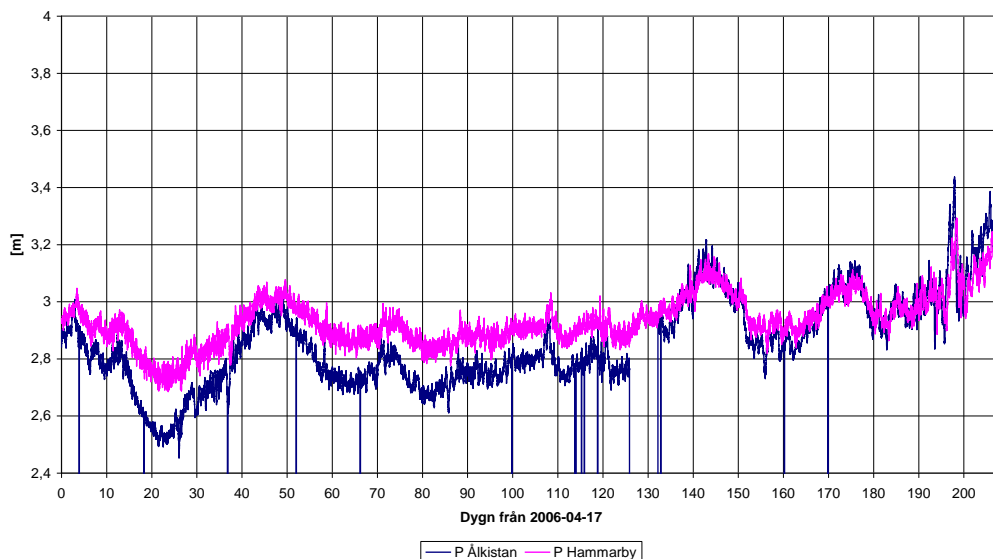
I Figur 4 visas en jämförelse mellan årsvariationen för den beräknade sötvattentillrinningen och nederbördsdata. Topparna i nederbörd sammanfaller i de flesta fall med topparna i sötvattentillrinning. Det kraftigaste regnet, ca dag 130, åtföljs dock inte av en kraftig ökning av tillrinningen. De kumulativa summorna för tillrinning och nederbörd stämmer väl fram till dag 250 som är slutet på dataserien för nederbörd.



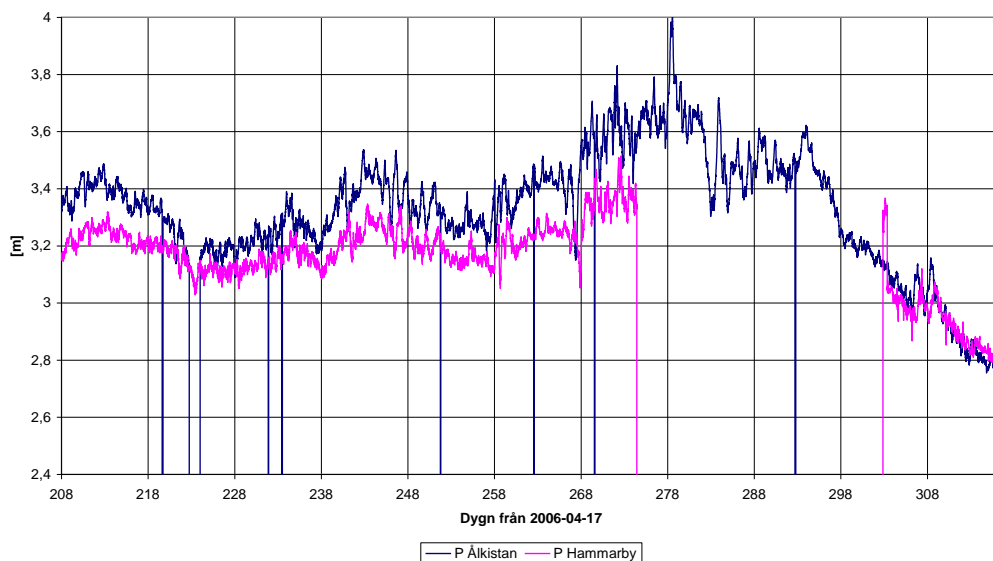
Figur 4. jämförelse mellan årsvariationen för den beräknade sötvattentillrinningen och nederbördsdata.

En viss drift i strömmätarens tryckmätare jämfört med Stockholm Hamns mätningar vid Hammarbyslussen har konstaterats, se Figur 5. Avvikelsen är dock en storleksordning för liten för att räcka till som förklaring på den negativa sötvattentillrinningen.

Vattenstånd 17 april till 11 november 2006



Vattenstånd 11 november 2006 - 28 februari 2007

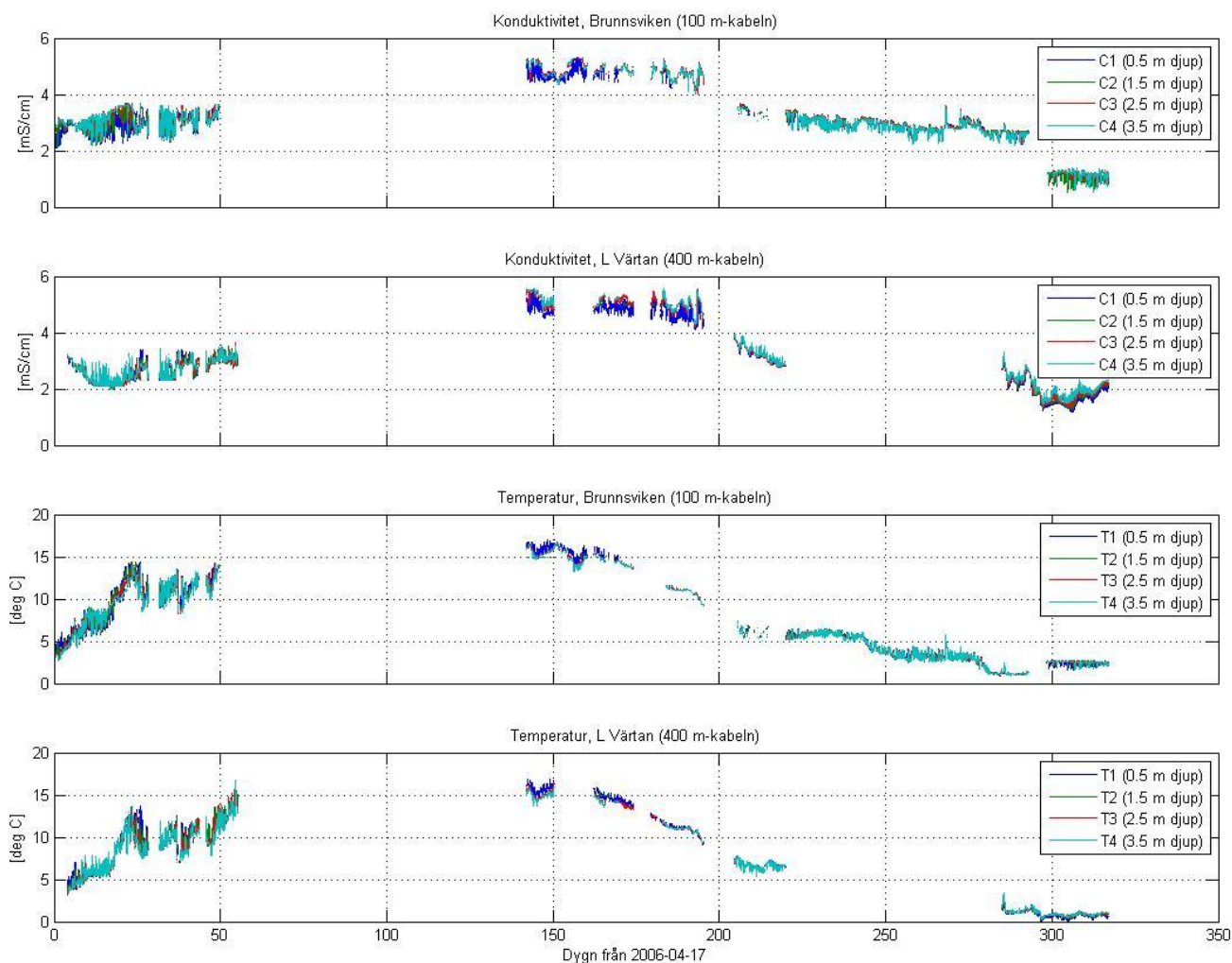


Figur 5. Jämförelse mellan uppmätta vattenstånd i Ålkistan och Stockholm Hamns mätningar av vattenstånd vid Hammarbyslussen.

CTD-mätningarna har under hela perioden varit behäftade med stora problem. Systemet med båda sensorkedjorna kopplade till samma datalagringsenhet via sammanlagt över 500 m signal- och strömförsörjningskabel visade sig vara mycket känsligt och överlag och instabila mätningar konstaterades redan från början (2006-05-10). Problemen anmäldes omgående till Aanderaa. I slutet av maj och början av juni upphörde sensorerna en efter en helt att fungera. I några fall, men inte i alla, kan blixtnedslag vara förklaringen. Felsökning i samråd med Aanderaa och utbyte av trasiga sensorer har pågått under hela mätperioden. Aanderaa har också varit på plats, men inte kunnat hitta någon entydig förklaring till problemen. Sensorerna har fungerat under perioder,

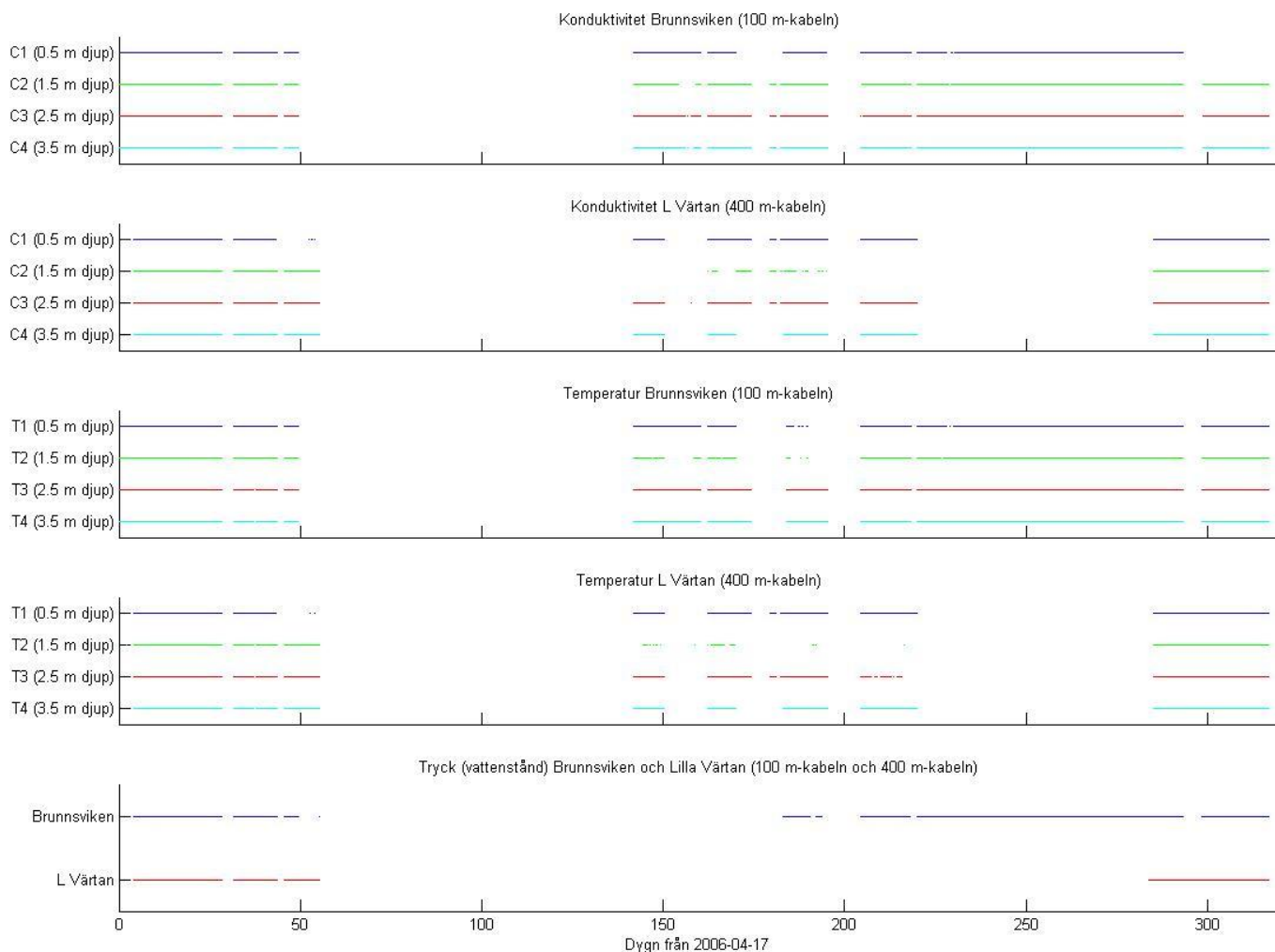
men inte förrän mot slutet av mätperioden (2007-01-27 till 2007-02-28) har samtliga sensorer (utom den översta CT-sensorn i Brunnsviken) kunnat fås att fungera samtidigt med stabila resultat. En utförligare redogörelse för de fel och problem som har uppstått, samt felsökning och åtgärder återfinns i tidigare levererad projektdagbok daterad 2007-01-09.

De ”spikar” som uppträder i dataserierna är dock tillräckligt tydliga för att kunna särskiljas och exkluderas. Genom en stegvis exkludering av uppenbart felaktiga mätvärden har dataserierna i Figur 6 kunnat återskapas.



Figur 6. Dataserier för konduktivitet och temperatur efter exkludering av felaktiga data.

Figur 7 ger en sammanställning över de perioder under vilka de olika sensorerna har fungerat och gett tillförlitliga data.



Figur 7.

Sammanställning över data. Linjerna visar de perioder under vilka de olika sensorerna har fungerat. Tidsupplösningen i dataserierna är generellt sämre än 10 min eftersom dataserierna har "tunnats ur" när felaktiga värden har exkluderats. Tryckmätningarna under de första 50 dygna har dålig noggrannhet eftersom sensorerna var programmerade för ett för brett mätintervall.

## Slutsatser

Strömmätaren har gett stabila och till synes tillförlitliga mätningar under hela perioden. Det volymflöde genom Ålkistan som har beräknats utifrån de uppmätta hastighetskomponenterna har dock måst modifieras (inflödet har måst minskas) för att ge volymbalans med uppmätta vattenståndsvariationer. Det finns flera tänkbara förklaringar till felet (som är i storleksordningen 10-15 %):

- Vattenhastigheterna mäts i diskreta punkter och är inte nödvändigtvis representativa för hela kanalbredden. Om in- och utflöden är sinsemellan symmetriska så ska detta inte kunna ge upphov till en överskattning av inflödet, men störningar från bergsklackar etc. kan ha gett upphov till asymmetri.
- Instrumentet projicerar de uppmätta vattenhastigheterna i öst- och nordriktning med hjälp av en inbyggd kompass. Magnetfält från tunnelbana, Roslagsbanan och kraftledningar kan ha gett upphov till en missvisning som i sin tur har gett en felprojicering.
- Båttrafiken genom Ålkistan kan ge störningar i mätningarna, som möjligen kan tänkas verka asymmetriskt.

Överlag bedöms strömmätningarna dock vara bra och ge en god bild av strömningen genom Ålkistan. Den viktigaste slutsatsen är att strömningen har varit nära homogen med avseende på djup under hela mätperioden, utan någon tendens till tvålagerstruktur. Periodiciteten på strax över 12 timmar är också tydlig (dvs en riktningsändring ungefär var 6:e timme).

CTD-mätningarna har varit behäftade med stora problem under hela perioden. Tillförlitliga data finns för delar av mätperioden. Inte förrän mot slutet av perioden, 2007-01-27 till 2007-02-28, har dock en sammanhängande dataserie med samtida mätningar från alla sensorer kunnat åstadkommas.

De viktigaste slutsatserna från de modelleringar som har följt på mätprogrammet (se Anders Engqvists modelleringsrapport daterad 2007-05-30) är:

- Kontinuerlig pumpning bör ske från mitten av höstens avkylningsperiod och så länge inströmmande vatten från L Värtan är lättare än Brunnsvikens vatten.
- Vinsten av att flytta intaget längre in i Brunnsviken är liten.
- Direkta mätningar av syrehalt bör användas för kompletterande styrning av pumpningen.

Stockholm 2007-06-13, WSP Samhällsbyggnad, Vattenbyggnad Sthlm

Petter Stenström

### Bilagor:

1. Beskrivning av levererade datafiler.
2. Figur 6 uppförstorad.
3. Projektdagbok.

## BILAGA 1 Beskrivning av datafiler

Följande datafiler levereras på CD:

”BV_CTD_mod.xls”	<p>MS Excel-fil med samtliga data från de två CTD-kedjorna, dock med felaktiga mätvärden (”spikes”) exkluderade.</p> <p>Innehållet i de olika kolumnerna beskrivs i första raden. Sist i varje kolumn är min, max, medel och standardavvikelse angivna. Längst till höger i bladet finns en parameterförklaring.</p>
”BV_CTD_mod.txt”	<p>Textfil med samtliga data från de två CTD-kedjorna, dock med felaktiga mätvärden (”spikes”) exkluderade.</p>
”BV_velocities_pressure.xls”	<p>MS Excel-fil med samtliga data från strömmätaren (de tre hastighetskomponenterna, tryck och temperatur). Filen innehåller också vattenståndsdata från Hammarbyslussen samt en jämförelse med strömmätarens tryckmätningar.</p> <p>Innehållet i de olika kolumnerna beskrivs i första raden. Sist i varje kolumn är min, max, medel och standardavvikelse angivna.</p>
”BV_east_velocity.txt”	<p>Textfil med östkomponenten av uppmätt hastighet.</p> <p>Innehållet i de olika kolumnerna beskrivs i första raden.</p>
”BV_north_velocity.txt”	<p>Textfil med nordkomponenten av uppmätt hastighet.</p> <p>Innehållet i de olika kolumnerna beskrivs i första raden.</p>
”BV_vertical_velocity.txt”	<p>Textfil med vertikala (uppåtriktade) komponenten av uppmätt hastighet.</p> <p>Innehållet i de olika kolumnerna beskrivs i första raden.</p>
”BV_Q_mod.txt”	<p>Textfil med volymflöden, modifierade enligt beskrivning i rapporten för att ge volymbalans i Brunnsviken. Flödet genom Ålkistan är uppdelat på 3 lager: ett 1</p>

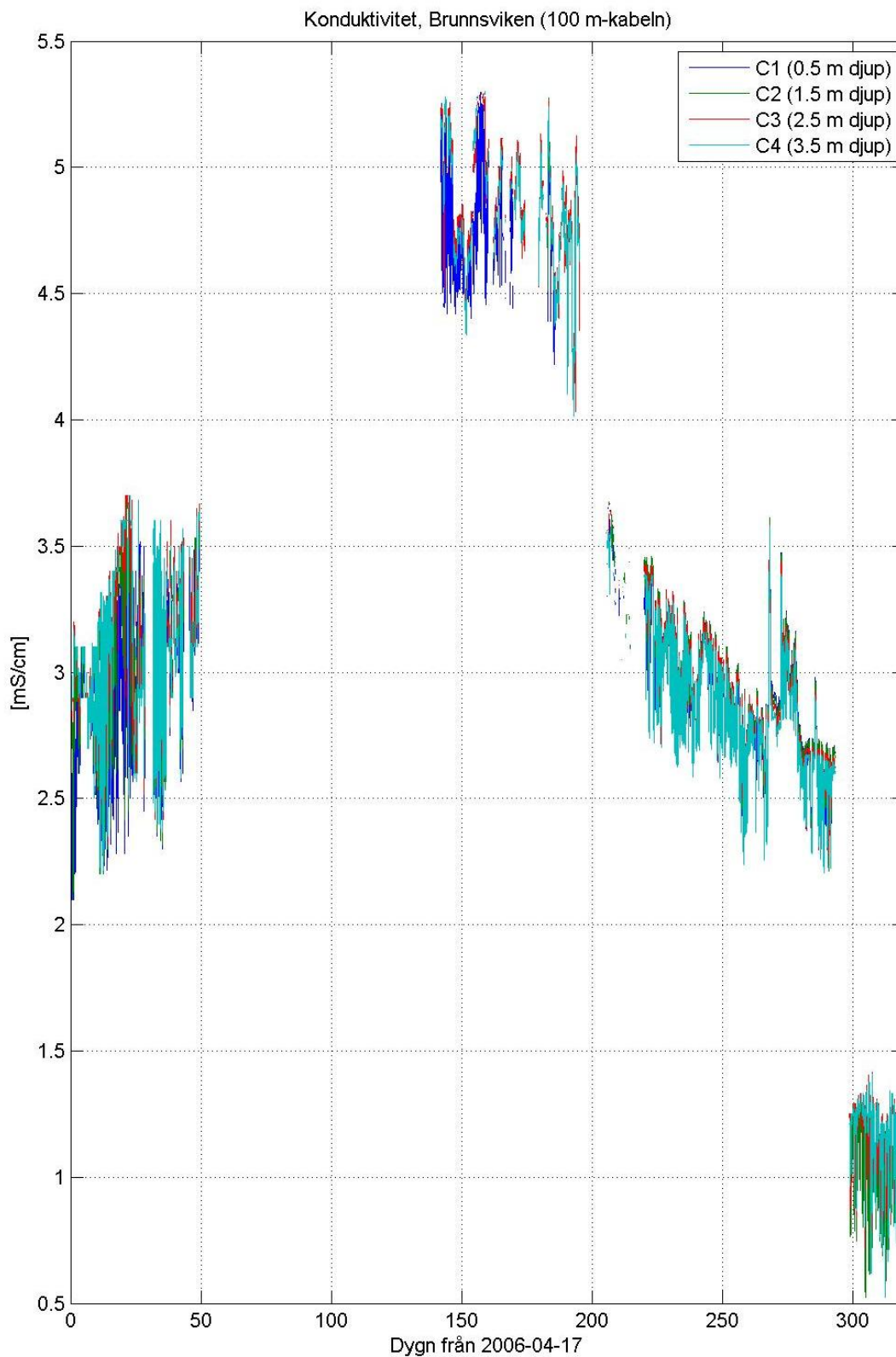
m tjockt ytlager (Qs), ett 1 m tjockt mellanlager (Qm) samt ett bottenlager med varierande tjocklek beroende på vattenståndet (Qb). Den modifierade sötvattentillrinningen är också angiven (Qf), liksom vattenståndet (z).

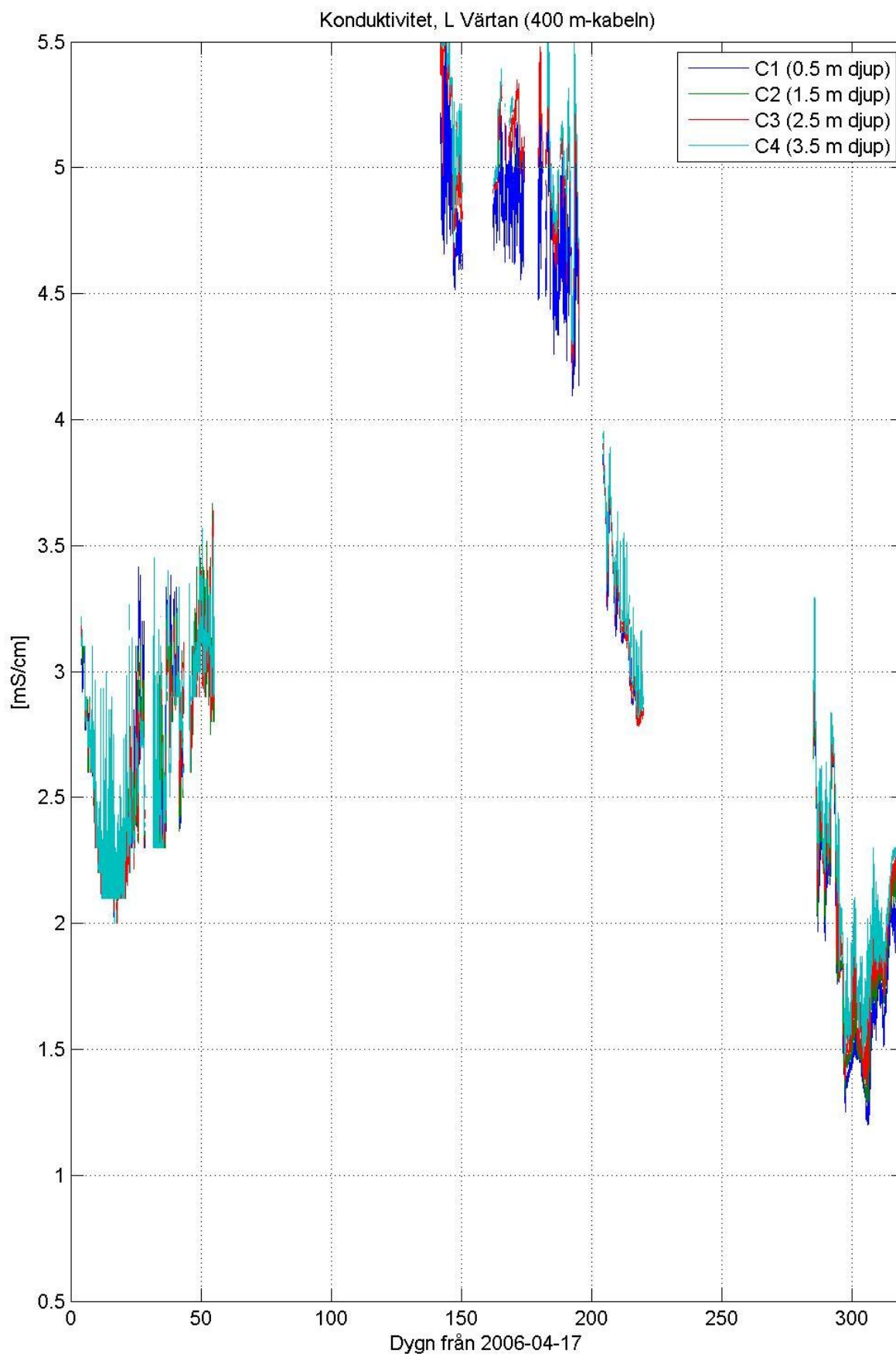
”BV\_depth.txt”

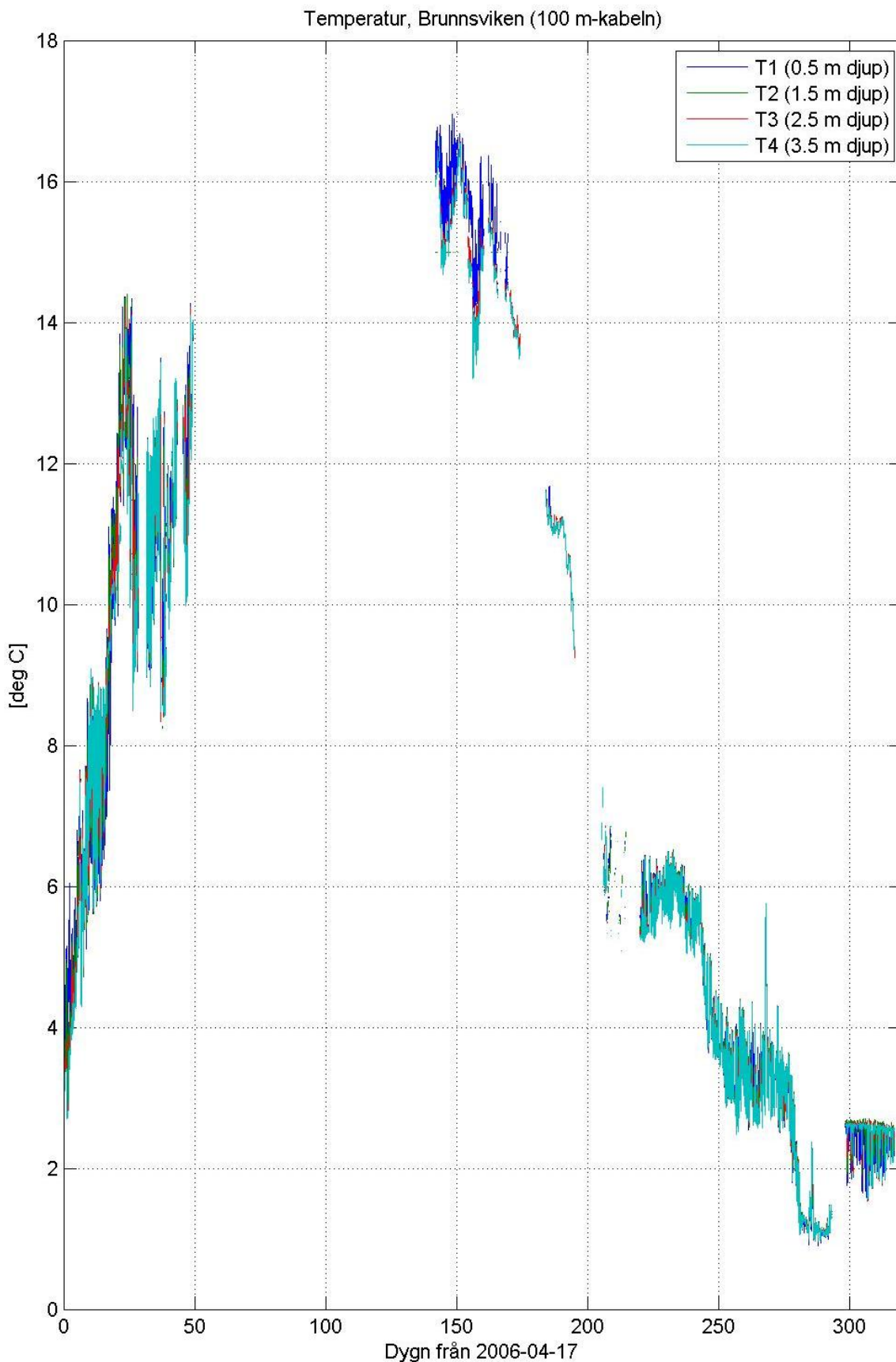
Textfil med strömmätarens tryckmätningar (P), lufttrycket (Pa), tryckmätningarna korregerade med lufttrycket (P-Pa), vattenstånd uppmätt i Mälaren (D\_mäl) samt vattenstånd uppmätt vid Hammarbyslussen (D\_hb).

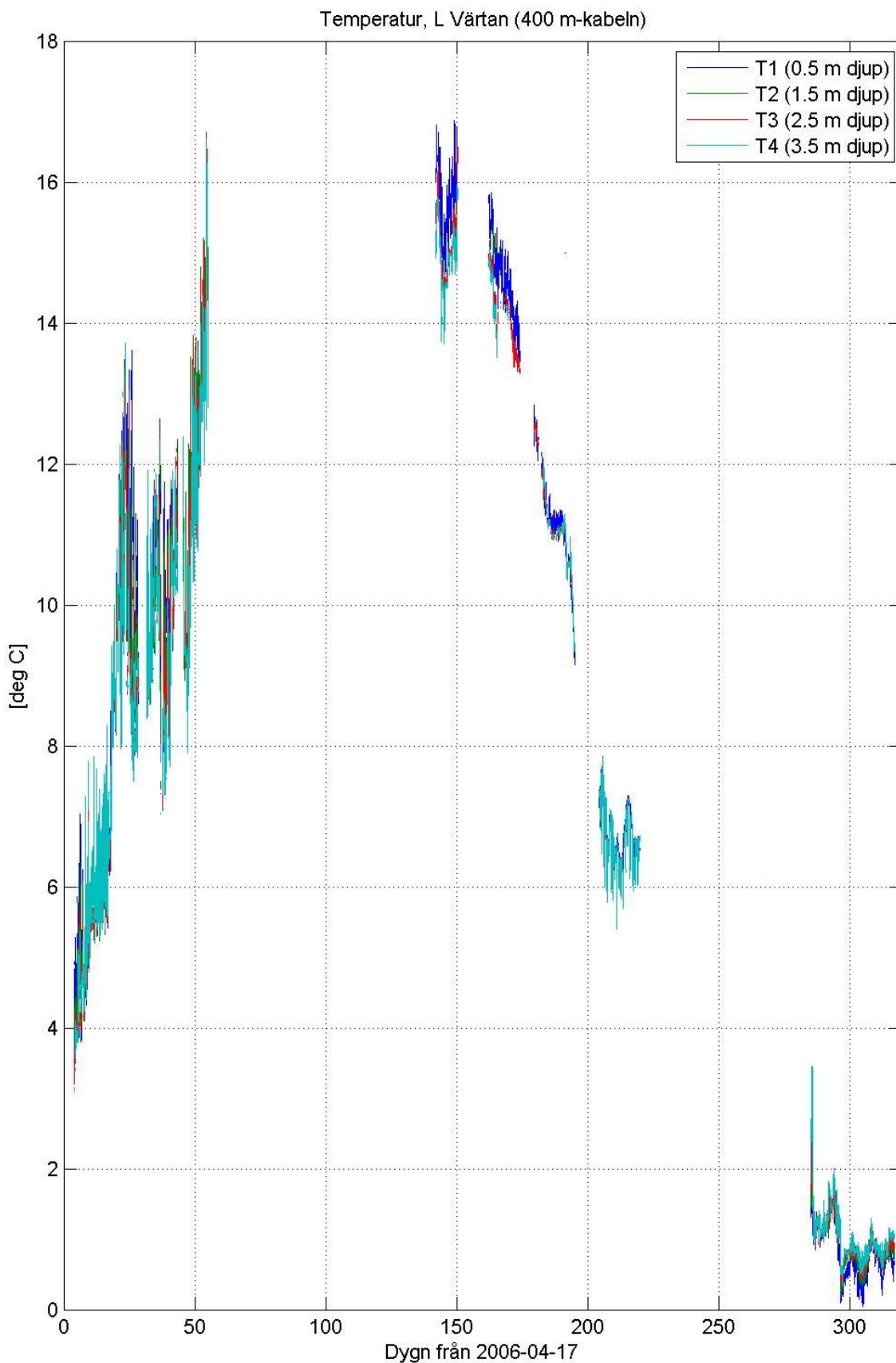
Samtliga dataserier har samma tidsaxel. Saknade värden är ersatta med ”NaN”, vilket är MATLABs term för saknade värden (Not a Number). Dataserierna i MS Excel-filen och i textfilerna är identiska.

## BILAGA 2      Figur 6 uppförstorad









## BILAGA 3      Projektdagbok

### Januari 2006

3 januari. Skriftlig beställning till Trond med precisering att kablarna ska ligga på botten och att systemet måste levereras senast i månadskiftet januari/februari (Trond hade vid preliminär beställning i december bekräftat att leverans under januari skulle vara möjlig). Beställningen gör också klart att minst centimeternoggrannhet krävs för trycksensorerna.

9 januari. Missförstånd om kabeldragning uppdagas.

12 januari. Sista ändringen görs i beställningen (gällande avstånd mellan sensorerna).

27 januari. Slutlig orderbekräftelse med leveransdatum 28 februari (1 månad efter utlovat leveransdatum).

### Mars

17 mars. Leverans från Aanderaa (1 ½ månad efter utlovat leveransdatum).

Utsättning inte möjlig under mars på grund av isläget i L Värtan.

### April

12 april. Utsättning av 100 m-kabeln.

17 april. Inkoppling av 100 m-kabeln.

21 april. Utsättning och inkoppling av 400 m-kabeln efter reparation av skada (sabotage). Reparation och vattentät stöpning gjordes av Bravida.

### Maj

10 maj. Anmäler problem med data ("spikes" och "truncations"). Dessutom visar sig noggrannheten för trycksensorerna vara satt till 1 dm.

### Juni

7 juni. Einar upptäcker efter att ha laddat ner data över modemmet att den översta sensorn på 400 m-kabeln slutade att fungera kl 15:10 den 30 maj och att 100 m-kabeln helt slutade att fungera 6 juni kl 00:00. På eftermiddagen den 30 maj var det åska med 6 registrerade blixtnedslag i Stockholm, vilket kan förklara utslagningen av sensor 1 på 400 m-kabeln. Den 6 juni förekom ingen åska.

12 juni. Einar noterar att även övriga sensorer på 400 m-kabeln har slutat att fungera.

7 juni – 23 juni. Felsökning, jordning och kontroll av kablar.

23 juni. Leverans och installation av ny datalogger. Endast 400 m-kabeln kopplas in eftersom loggern bara har 12 kanaler.

24 juni – 16 juli Semester.

## Juli

17 juli kontroll av data. Ingen skillnad med ny datalogger. Alla sensorer verkar vara utslagna.

21 juli. Leverans av 1 ny (avstörd) sensor.

26 juli. Installation av den nya sensorn på 100 m-kabeln. Sensorn ger inga data (bara maxvärden). Kontroll igen av hela 100 m-kabeln.

31 juli. Första kontakt med Inger M Knudsen.

## Augusti

9 augusti. CTD-kedjorna tas upp på land för komponentvis felsökning.

10 augusti. Resultat av felsökningen rapporteras till Aanderaa: 2 sensorer helt utslagna, ytterligare 2 fungerar inte när de är monterade i kedjorna. Inga sensorer i kedjorna fungerar när de 2 helt utslagna sensorerna är inkopplade.

10-14 augusti ytterligare felsökning, styrd av Aanderaa.

18 augusti. Aanderaa (Inger) föreslår att de 4 trasiga sensorerna skickas till Aanderaa för reparation och att kedjorna under tiden sätts ut med de hela sensorerna. Inger föreslår också att en tekniker från Aanderaa kommer över till Stockholm när de nya sensorerna ska sättas ut.

18-23 augusti tester av systemet utan de trasiga sensorerna. Stabila resultat.

28 augusti. De trasiga sensorerna skickas till Aanderaa för reparation.

## September

1 september. Aanderaa meddelar att någonting på interface-korten på de 4 sensorerna har gått sönder.

6 september. Utsättning av CTD-kedjorna utan de trasiga sensorerna.

12 september. Första kontakt med Hans Hansen. Hans meddelar att referensvärdet på dataloggern är instabilt, vilket kan tyda på läckage.

14 september. Kopplar från 400 m-kabeln och har bara 100 m-kabeln inkopplad. Stabilt referensvärde.

19 september. Kopplar från 100 m-kabeln och kopplar istället in 400 m-kabeln på samma kanaler. Instabilt referensvärde.

23 september. Kopplar från 400 m-kabeln och kopplar in 100 m-kabeln. Stabilt referensvärde.

26 september. Kopplar in 400 m-kabeln så att båda kablarna är inkopplade. Instabilt referensvärde.

27 september. 400 m-kabeln tas upp på land och tester och omstöpning av reparationen utförs av Bravida. Inga fel hittas på 400 m-kabeln. Sätter ut kabeln och kopplar upp systemet igen med båda kablarna inkopplade. Referensen fortfarande instabil.

28 september. WSP föreslår alternativ lösning utan 400 m-kabeln (loggning på plats).

## Oktober

10 oktober. Rapporterar fortsatta problem med ”spikes” och ytterligare 2 sensorer utslagna den 4 oktober.

11 oktober. Kalibreringen av de reparerade sensorerna färdig (1 ½ månad efter att Aanderaa fick de trasiga sensorerna).

17 oktober. Hans kommer till Stockholm med reparerade sensorer. Kablar undersöks. Reparerade sensorer monteras i CTD-kedjorna och de 2 trasiga sensorerna tas bort. 12 V-batteri kopplas in istället för batterieliminators. Referensen blir stabil. Ber ändå Hans skicka resterande delar som behövs för att ersätta 400 m-kabeln med vattentät box med dataloggning på plats.

20 oktober. Hans meddelar att de 2 trasiga sensorerna har samma fel som tidigare (interface-kortet).

23 oktober. Rapporterar fortsatta problem med ”spikes”. Referensen dock stabil. Systemet förefaller bli ”uppladdat” över tid så att ”spikes” kommer tätare och tätare.

## November

2 november. 2 m-kabel till box-systemet samt reparerade sensorer levereras (3 veckor efter Hans besök i Stockholm då kabeln skulle ha tagits med).

23 november. Vattentät box med 2 m-kabeln ingjuten färdig. Box-systemet sätts ut. Samtliga sensorer på 100 m-kabeln förefaller vara utslagna, men visar sig fungera vid kontroll av sensorerna en och en. 400 m-kabeln tas iland och returneras till Aanderaa. 100 m-kabeln kopplas till dataloggern.

## December

4 december. Byter 12 V-batteri mot batterieliminators. Rapporterar problem med ”spikes” som började 30 november, efter 7 dagar med felfria data.

7 december. Kontrollerar data igen och noterar att problemen upphörde efter att systemet slagits av och på igen den 4 december. Det verkar alltså som att systemet ”laddas upp” efter en tid, så att signalerna till slut inte når fram.

7 december - . Slår av och på systemet en gång per vecka, vilket verkar förhindra ”spikes”. Box-systemet är ännu inte kontrollerat.

## Januari 2007

5 januari. Fortfarande stabila resultat från 100 m-kabeln. Box-systemet ännu inte kontrollerat pga isläggning i Lilla Värtan.

## Februari 2007

28 februari Box-systemet tas in från isen. Systemet verkar ha fungerat utan störningar. Data finns dock bara lagrade från 27 januari till 28 februari.