

Vattenomsättning i systemet längs Landsortsfarleden

Förändring av vattenmassans sammansättning efter muddring av sunden

Sammanfattning

En specifik fråga i utredningen om påverkan på vattenmiljön i och med muddring och dumpning i Landsortsfarleden har varit hur fördjupningen av de trånga och grunda sunden vid Brandalsund, Skanssundet och Oaxen påverkar omsättningen och sammansättningen av vattenmassan i Himmerfjärden och Hallsfjärden. För att undersöka detta gjordes två körningar med den hydrodynamiska modell som ställts upp för området, och allting behölls likadant i bägge körningarna förutom djupen. Först modellerades de djupförhållanden som råder i dag, baserat på högupplösta mätdata från Sjöfartsverket. Sedan modifierades beräkningsnätet med de djup som kommer att råda efter muddring och dumpning.

Efter muddring ökar bruttoflödena, dvs totala transporten vatten igenom sunden ökar. Det mesta av detta vatten rör sig dock bara fram och tillbaka genom sunden mer eller mindre dagligen, och nettotransporten är därför betydligt lägre. På grund av att systemet är väldigt dynamiskt är det svårt att ge en rättvisande bild av omsättningstiden genom att enbart titta på flödet genom sunden.

Språngskiktens position i vattenpelaren för salthalt och temperatur under hela det modellerade året beräknades i fem positioner motsvarande befintliga mätstationer, för tillståndet före respektive efter muddring och dumpning. Om språngskikten befinner sig på samma djup, och vatten med samma temperatur och salthalt återfinns på samma djup före som efter muddring tyder det på att muddringen inte bidragit till någon förändring av vattenmassans sammansättning. Sammantaget kan sägas att för stationerna söder om Brandalsund är påverkan på språngskiktet obefintlig eller marginell, men innanför Brandalsund blir det viss skillnad i vattenmassan efter att muddring och dumpning skett.

Vattnet som tar sig genom Brandalsund före och efter muddring undersöktes vid fyra positioner innan och efter sundet. Vattnet som kommer igenom sundet rekryteras på 10–15 m djup utanför sundet, och inget tyder på att vatten från djupa områden i Näslandsfjärden tar sig över tröskeln vare sig före eller efter muddring.

1 Introduktion

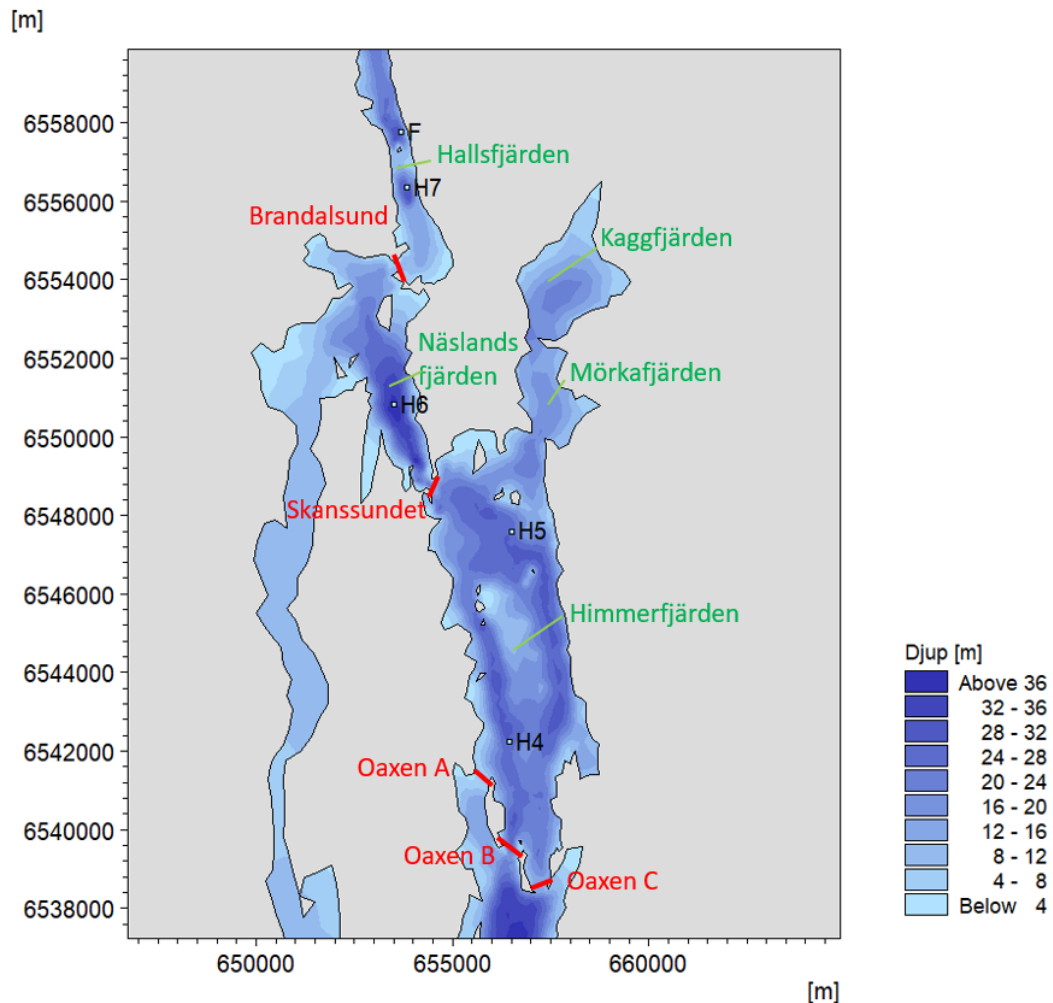
DHI har på uppdrag av Sjöfartsverket utfört en numerisk modelleringsstudie av vattenomsättning, grumling och sedimentation av spill i samband med muddring och dumpning för fördjupning av befintlig farled mellan Södertälje hamn och Landsort. En specifik fråga i utredningen har varit hur fördjupningen av de trånga och grunda sunden längs farleden; Brandalsund, Skansundet och Oaxen, påverkar omsättningen av vatten i Himmerfjärden och Hallsfjärden.

Modellsimuleringarna i studien är gjorda med hjälp av en hydrodynamisk strömningsmodell för området, uppställd i MIKE 3 FM, och omfattar perioden januari – december, med väder och hydrografi från 2015. För en detaljerad beskrivning av modellen och var muddring och dumpning kommer att ske se huvudrapporten för denna studie, /1/.

Systemet från Landsort in till Södertälje består av ett antal sammanhängande bassänger som sinsemellan begränsas av trängre passager och grunda sund. Systemet drivs dels av vattenståndsvariationer i Östersjön, vilket trycker in vatten som sedan rinner ut igen när vinden vänder, dels av en direkt vindpåvekan på ytvattnet samt av en estuarin komponent. Den estuarina cirkulationen styrs av densitetsskillnaden mellan färskvattnet som rinner till systemet genom Södertälje kanal och andra färskvattentillflöden, och det saltare Östersjövattnet. Färskvattnet transporteras i ytan ut mot Östersjön och driver då en motström av saltare vatten längs botten som rinner in i systemet. Bottenvattnet blandas långsamt upp i bassängerna, vilket tillsammans med färskvatten-tillrinningen leder till att den maximala salthalten sjunker ju längre in man kommer.

2 Metod

För att undersöka förändringen av vattenmassans sammansättning analyserades hur flödet genom de trånga passagera Brandalsund, Skansundet och sundet vid Oaxen påverkades av att tröskeldjupen sänktes. Detta gjordes genom att modellen kördes två gånger, och allting behölls likadant i bägge körningarna förutom djupen. Först modellerades de djupförhållanden som råder i dag, baserat på högupplösta mätdata från Sjöfartsverket. Sedan modifierades beräkningsnätet med de djup som kommer att råda efter muddring och dumpning.



Figur 1 Delar av modelldomänen, med de fem transekten markerade. Figuren visar också positionerna för stationerna H4-H7 i Himmerfjärdens övergödningsstudie (<http://www2.ecology.su.se/dbhfj/index.htm>), samt punkten F precis norr om Fläsklösa. Koordinater i SWEREF99 TM.

2.1 Analys av flöden genom sunden

Vid fem transekter beräknades och summerades allt flöde i bägge riktningarna under hela det modellerade året 2015, i Brandalsund, i Skanssundet och på tre platser runt Oaxen, se Figur 1. För att underlätta beskrivningen har de tre sunden runt Oaxen här döpts till Oaxen A, B och C. Muddringen kommer att ske i sundet mellan Oaxen och Regarn (här kallat Oaxen B), men vattnet kan även strömma väster om Oaxen (härefter Oaxen A) och öster om Regarn/Stockholmen (Oaxen C).

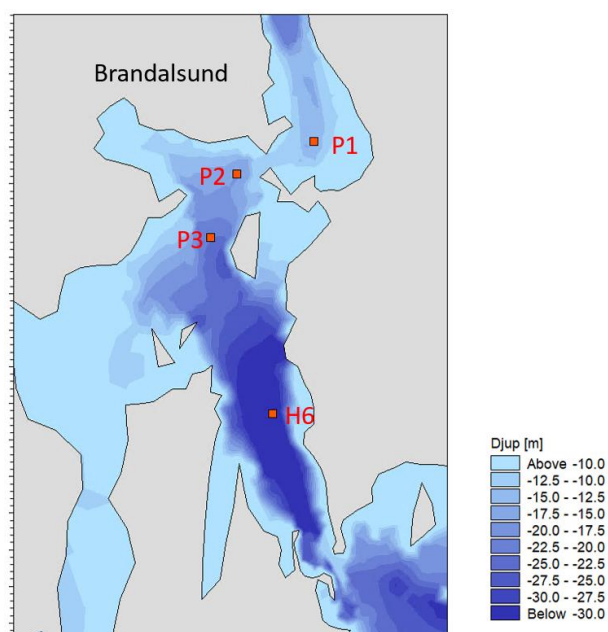
Ur modellen kan man få ut den momentana och den ackumulerade transporten över transektlinjerna i bägge riktningarna, samt nettotransporten. Modellen sparar flödet varje halvtimme. Vattnet rör sig ofta i olika riktningar genom sunden inom loppet av några dagar eller, när vindförhållandena är mycket variabla, även under samma dag. Det summerade flödet över längre tid, nettotransporten, har en bestämd riktning, men det är viktigt att komma ihåg att det inte innebär att det alltid strömmar i den riktningen.

För alla fem transekter undersöktes skillnaden i ackumulerad transport i bägge riktningarna före och efter muddring och dumpning, samt förändringarna i nettotransporten. (Flödet in och ut till Himmerfjärden från Mörkafjärden har försumrats i den här studien.)

2.2 Analys av språngskiktsförändringar

För att kunna undersöka hur de förändrade djupen efter muddring och dumpning påverkar skiktningen i området före och efter muddring extraherades tidsserier för temperatur och salthalt ur de två modellkörningarna vid ett antal punkter:

- Dels vid positionerna för mätstationerna H4-H7 i Himmerfjärdens övergödningstudie (<http://www2.ecology.su.se/dbhfj/index.htm>), samt en punkt i djuphålan precis norr om Fläsklösa, här kallad "F", se Figur 1.
- Vidare i fyra punkter precis kring Brandalsund, där punkt 1 och punkt 2 ligger precis innanför respektive utanför den muddrade delen av sundet, punkt 3 i ett djupare område utanför och sedan station H6 i den djupaste delen av Näslandsfjärden, se Figur 2 nedan.



Figur 2 Positioner för punkterna 1 till 3 runt Brandalsund, och positionen för H6.

Tidsserierna analyserades genom s.k. isopleth-diagram. Det är ett diagram som ger en bild av skiktningen i vattnet över tid med strömlinjer. På x-axeln är tidsskalan, i detta fall året 2015, och på y-axeln är djupet. Linjer i olika färger i diagrammen följer djupet för olika temperaturer eller salthalter över tid. På detta sätt kan man till exempel se på vilket djup vatten med salthalt 4.5 psu befinner sig under året. Genom att analysera isopleth-diagram för förhållandena innan respektive efter muddring och dumpning kan man få en bild av om förhållandena har ändrats.

3 Resultat

3.1 Skillnader i vattenutbyte i Himmerfjärden och vattengenomströmning genom sunden.

Efter muddring ökar bruttoflödena, dvs totala transporten vatten igenom sunden ökar. Det mesta av detta vatten rör sig dock bara fram och tillbaka genom sunden mer eller mindre dagligen, och nettotransporten är därför betydligt lägre än bruttotransporten. På grund av att systemet är väldigt dynamiskt är det svårt att ge en rättvisande bild av omsättnings-tiden genom att enbart titta på flödet genom sunden

I Brandalsund är nettotransporten styrd av flödet i Södertälje kanal och motsvarar detta i storlek. Nettotransporten är riktad söderut. Den ökade tvärsnittsarean efter muddring gör dock att genomströmningen ökar, och bruttoflödet (dvs när man summerar all transport genom sundet oavsett riktning under det modellerade året) ökar med nästan 40%. Det rör sig alltså mer vatten genom sundet efter att det muddrats. I alla sunden är nettoflödet mycket mindre än bruttoflödet eftersom vattnet rör sig in och ut genom sunden beroende på från vilket håll vinden ligger på. I alla sunden som muddras ökar också bruttoflödet efter muddring.

Både i Brandalsund och Skanssundet är flödet tidvis tydligt skiktat så att ytvattnet rinner ut ur bassängen och vattnet närmare botten rinner in (norrut). Dock sker inte flödet alltid på detta sätt utan med jämna mellanrum strömmar allt vatten åt samma håll i sunden, beroende på förhållandena i vind och vattenstånd. Vid Oaxen är detta mönster inte lika tydligt då det finns tre vägar för vattnet att ta samtidigt. Dock är det även vid Oaxen B tidvis skiktat flöde.

I Figur 3 visas totala ackumulerade volymen som transporteras in och ut i Himmerfjärden under det modellerade året, innan muddring. I figuren framgår det tydligt nettoflödena varierar i storlek över året, vilket får den ackumulerade volymen som transporterats över transekten att variera. De röda linjerna (Skanssundet, Oaxen A och Oaxen C) visar på (netto)transport *in* i Himmerfjärden, visat som "positiv" volym på y-axeln. Den blå kurvan (Oaxen B) visar transport *ut* ur fjärden, och är "negativ" volym på y-axeln. Totalflödet, dvs summan av alla linjer (turkos linje) summerar momentant till ungefär 0 hela tiden. De små fluktuationerna runt 0 i totalflödet beror på variationer i vattenståndet.



Figur 3 Tidsserie av ackumulerad volym som transporteras in (röda linjer i diagrammet och pilar i karten) och ut (blå linjer i diagrammet och pilar i karten) ur Himmerfjärden för nuvarande förhållanden, dvs innan muddring, under det modellerade året 2015.

Traditionellt har man gärna velat använda sig av ett områdes omsättningstid för att kunna diskutera näringsbalans och dylikt. Av den anledningen har det efterfrågats information om huruvida omsättningstiden för Himmerfjärden påverkas av muddringen av sunden. Figur 3 illustrerar att flödet in och ut ur Himmerfjärden är mycket variabelt. Det är svårt att utifrån beräkningar enbart av flöden genom sunden komma fram till en rättvisande omsättningstid för Himmerfjärden. Systemet är mycket dynamiskt, och vattnet strömmar fram och tillbaka genom sunden med en liten netto-komponent. Att räkna fram hur lång tid det tar att fylla Himmerfjärds-bassängen utifrån hur mycket som strömmar genom sunden dagligen ger inte ett bra svar eftersom mycket vatten skvalpar fram och tillbaka genom sunden utan att för den sakens skull byta ut så mycket av vattnet i fjärden. Att det ofta är skiktat flöde genom framförallt Skanssundet, dvs både in och ut ur bassängen samtidigt, gör det ytterligare komplicerat att ta fram en omsättningstid.

I en tidigare studie där Himmerfjärden modellerats av DHI som del i ett forskningsprojekt har man har räknat fram omsättningstiden genom att medelvärdesbilda över vattnets ålder, /2/. I modelleringen har man då gett vattnet åldern "0" när det strömmar in i bassängen och sedan låtit åldern för vattnet (dimensionslösa partiklar i vattnet) öka med varje tidssteg i modelleringen. Efter att ha kört modellen i några år kommer man till en form av steady state där medel-åldern för vattnet på olika djup håller sig ungefär

konstant. Vattnets ålder varierade då mellan 100–170 dagar för yttre och inre Himmerfjärden, med högre ålder längre in. Vattnet var också yngre närmare botten, vilket är rimligt i och med att inflödet av vatten från Östersjön är större än inflödet av färskvatten från vattendrag längs systemet. Skulle en motsvarande analys göras för det muddrade scenariot skulle förmodligen åldern på det djupare vattnet minska något men det är oklart hur mycket lägre omsättningstid det skulle bli för bassängen som helhet. Eftersom isopleth-diagrammen för temperatur och salt (se nästa stycke) visar att det inte blir någon nämnvärd skillnad på skiktningen före och efter muddring är det inte troligt att skillnaden i omsättningstid skulle bli särskilt stor.

Sammantaget kan sägas att det är komplicerat att räkna fram en rättvisande omsättningstid för Himmerfjärden, men att frågor om vattenmassans förändring kan besvaras även med analys av hur språngskikten påverkas av muddringen.

3.2 Förändringar av skiktningen före och efter muddring vid positionerna för mätstationerna H4 till H7

Språngskiktets position i vattenpelaren för salthalt och temperatur under hela det modellerade året beräknades i fem punkter, för tillståndet före respektive efter muddring och dumpning. Sammantaget kan sägas att för stationerna söder om Brandalsund är påverkan på språngskiktet obefintlig eller marginell, men innanför Brandalsund blir det viss skillnad i vattenmassan efter att muddring och dumpning skett då en aning saltare vatten tar sig förbi tröskeln. I punkt H7 är den totala förändringen stor eftersom djupet reduceras markant i och med dumpningen på platsen.

I isopleth-diagrammen nedan kan man se hur/om språngskiktets placering i vattenpelaren har förändrats någon gång under året på grund av Om språngskikten befinner sig på samma djup och vatten med samma temperatur och salthalt återfinns på sammans djup före som efter muddring innebär det att muddringen inte bidragit till någon förändring av vattenmassans sammansättning. muddringen av sunden. Resultaten presenteras från söder och norrut. I punkt H4, strax norr om Oaxen, fanns ingen synbar skillnad före och efter muddring över huvud taget, varvid figuren utelämnats ur rapporten.

I figurerna 4 och 5 presenteras hur salthalten och temperaturen varierat över året i punkterna H5 och H6, före och efter muddring. Salthalten visas till vänster, innan muddring överst och efter muddring underst. Temperaturen visas på höger sida. Färgade linjer knyter samman djuppositionen (y-axel) för vatten med samma salthalt eller temperatur längs tidsaxeln (x-axel). För salthalten är steget 0.2 psu mellan linjerna och för temperaturen 1 grad. Notera att färgskalan för salthalten inte är densamma i alla figurer.

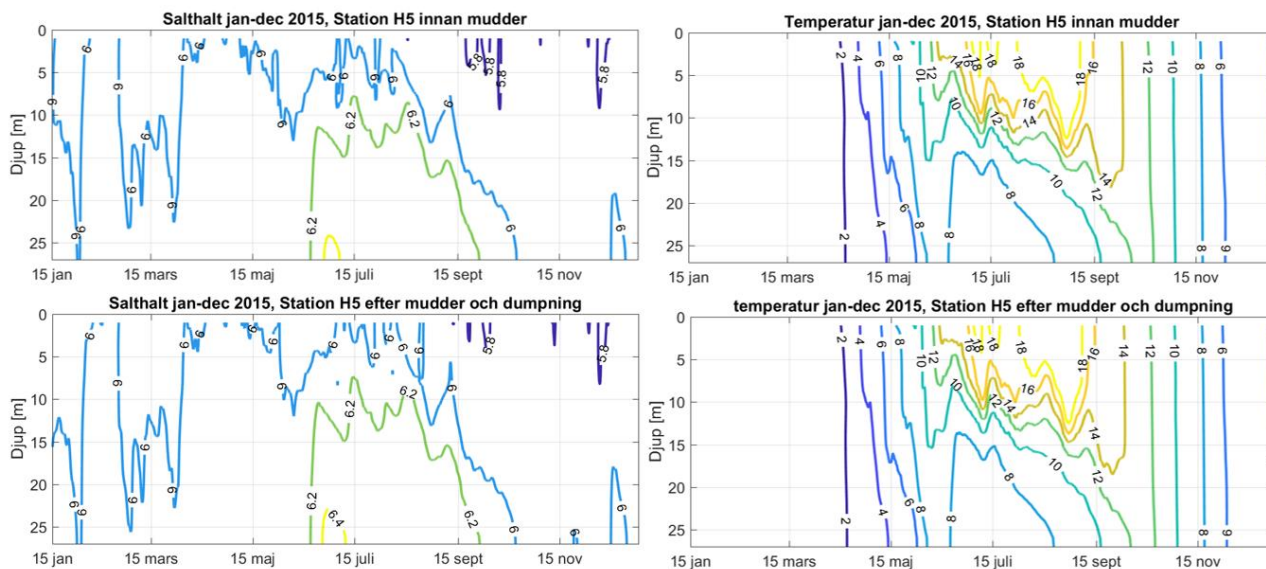
Språngskiktsförhållandena i Himmerfjärden verkar inte påverkas av muddringen. Som synes i Figur 4 ger muddringen ingen direkt synbar förändring av språngskiktets läge vid station H5. Eftersom ingen skillnad fanns vid station H4 kommer alltså inget annat vatten än tidigare in via sunden i Oaxen som kan transporteras norrut i Himmerfjärden. Station H5 verkar inte heller påverkas av förändringar i Skanssundet utan vattenmassan runt punkt H5 är sig lik före och efter muddring. Det finns alltså inget skäl att tro att det blir stora förändringar i mängder näringsrikt djupvatten utifrån Östersjön kommer att komma in i Himmerfjärden före och efter muddring. Mellan oktober och april är vattnet mer eller mindre helt omblandad hela vägen ned på djupet, vilket syns tydligt i temperatur-diagrammen. Språngskikten uppstår främst under sommarhalvåret.

Även station H6 (Figur 5) är till största del mycket lik sig innan och efter muddring. Språngskikten behåller sin position, men under en kort period mitt i juli kommer ett något saltare vatten in på djup under 5 m.

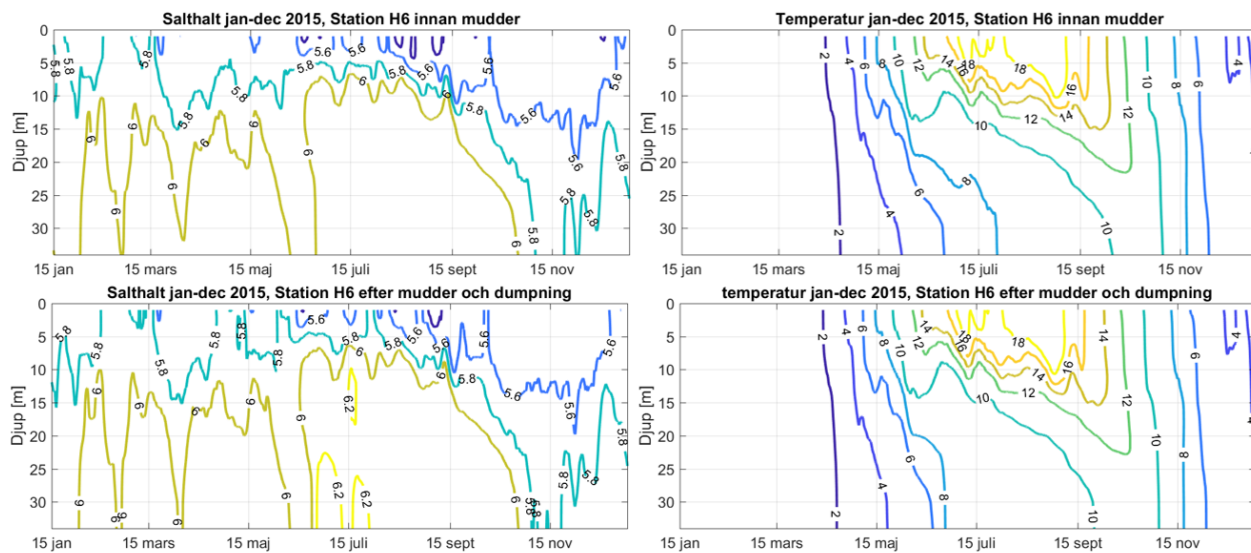
Innanför Branddalssund är förändringarna större. Station H7 (Figur 6), som ligger mitt i det planerade dumpområde 7, kommer efter dumpning vara betydligt grundare. Något saltare vatten än tidigare kommer in under delar av året jämfört med innan muddringen. I temperaturdiagrammet kan man också se att språngskiktet blir aningen starkare efter muddring; ju närmare linjerna i diagrammet ligger varandra horisontellt, desto snabbare förändring av vattnet i djupled, desto starkare språngskikt.

Även i Punkt F (Figur 7), som ligger i djuphålan precis norr om Fläsklösa, kommer något saltare vatten än tidigare in efter muddring under större delen av året, men det saltaste vattnet som tog sig till punkt H7 efter muddring kommer inte hela vägen till punkt F. Språngskiktet förstärks även här efter muddring.

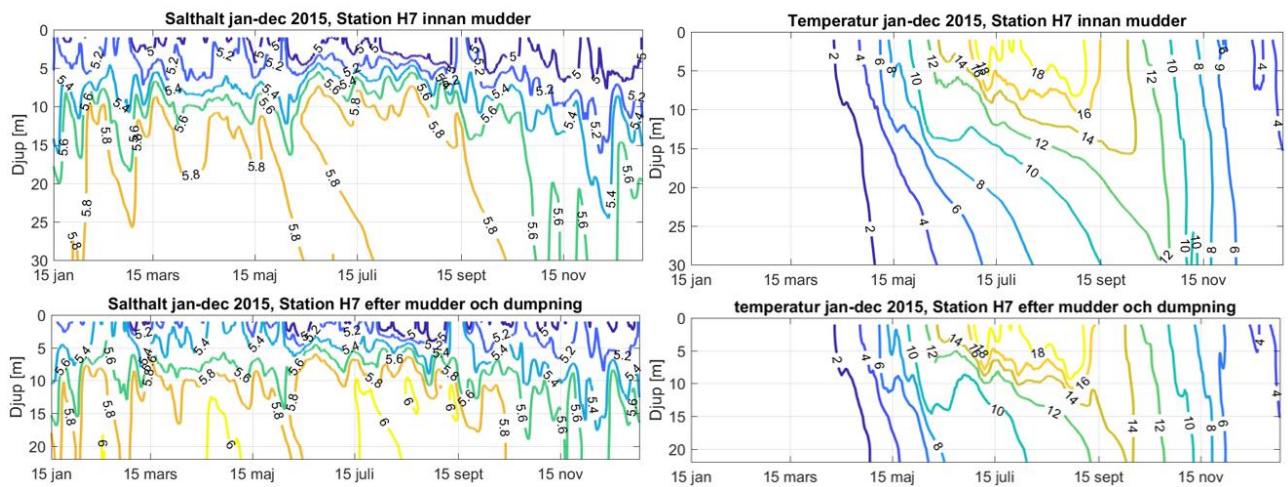
För att mer i detalj undersöka var vattnet som tar sig förbi Brandalsund kommer ifrån före och efter muddring har ett antal punkter precis runt sundet också undersökts. Se nästa stycke.



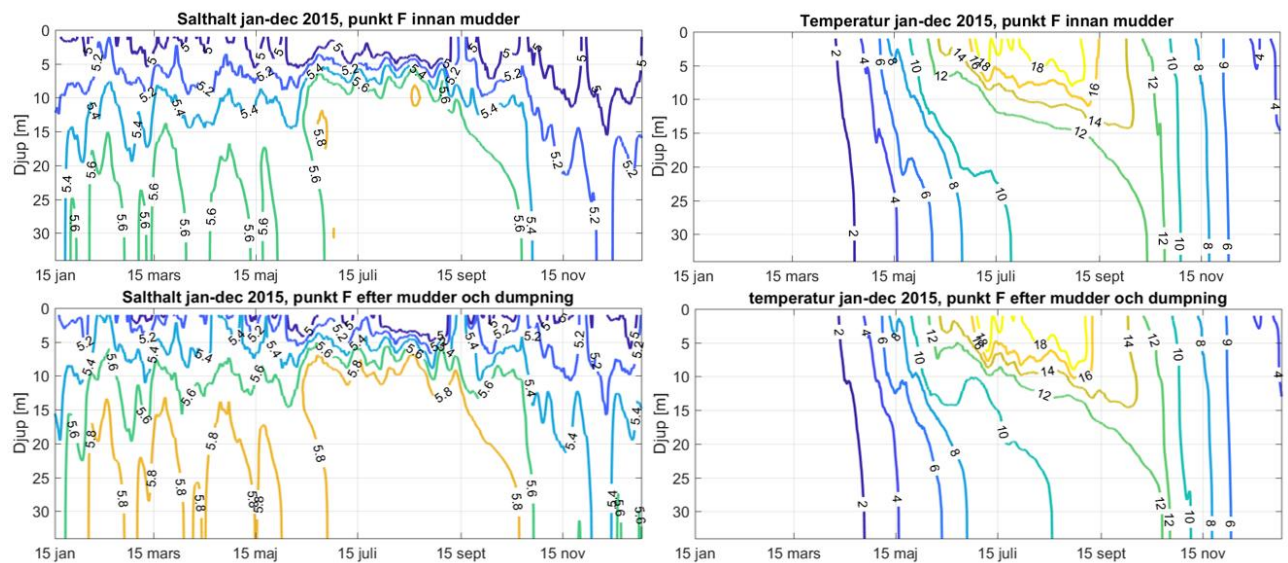
Figur 4 Isopleth-diagram för salt (vänster) och temperatur (höger) före (över) och efter (under) muddring och dumpning vid station H5. Linjerna i figuren följer olika salthalters och temperaturers djup i vattenpelaren under året. Salthalten [psu] och temperaturen [°C] står angiven på respektive linje.



Figur 5 Isopleth-diagram för salt (vänster) och temperatur (höger) före (över) och efter (under) muddring och dumpning vid station H6. Linjerna i figuren följer olika salthalters och temperaturers djup i vattenpelaren under året. Salthalten [psu] och temperaturen [°C] står angiven på respektive linje.



Figur 6 Isopleth-diagram för salt (vänster) och temperatur (höger) före (över) och efter (under) muddring och dumpning vid station H7. Linjerna i figuren följer olika salthalters och temperaturers djup i vattenpelaren under året. Salthalten [psu] och temperaturen [°C] står angiven på respektive linje.



Figur 7 Isopleth-diagram för salt (vänster) och temperatur (höger) före (över) och efter (under) muddring och dumpning vid punkt F. Linjerna i figuren följer olika salthalters och temperaturers djup i vattenpelaren under året. Salthalten [psu] och temperaturen [°C] står angiven på respektive linje.

3.3 Vatten genom Brandalsund före och efter muddring

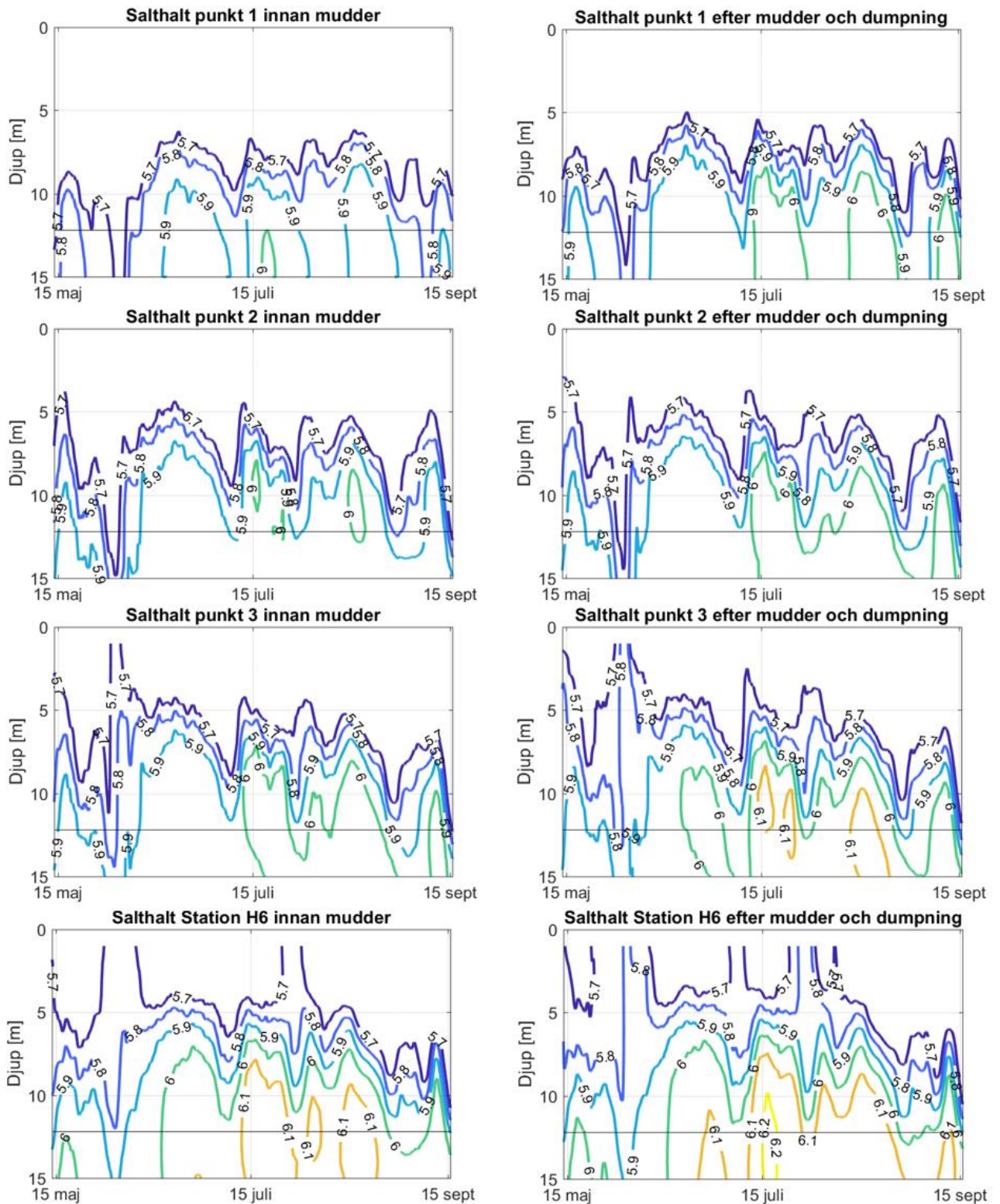
Vattnet som tar sig genom Brandalsund före och efter muddring undersöktes i fyra punkter innan och efter sundet. Vattnet som kommer igenom sundet rekryteras på 10–15 m djup utanför sundet, och inget tyder på att vatten från de djupaste områdena i Näslandsfjärden tar sig över tröskeln varken före eller efter muddring.

I Figur 8 nedan visas isopleht-diagram för salt för punkterna 1 – 3 samt punkt H6 (uppifrån och ned) för situationen innan (vänster) respektive efter (höger) muddring och dumpning. Punkt 1 ligger precis innan det muddrade området i Brandalsund, sett norrifrån, och punkt 2 direkt efter. Punkt 3 ligger på lite större djup och station H6 ligger i djuphålan i Näslandsfjärden, se Figur 2 för kartbild. För att underlätta jämförelsen visas bara perioden mellan 15 maj och 15 september, då det finns ett språngskikt, och bara från ytan till 15 m djup. (Vid punkt 3 och H6 är det djupare än så.) Det är 0.1 psu mellan linjerna (i de tidigare figurerna 4 - 7 är det 0,2 psu mellan linjerna). En svart linje i figurerna indikerar djupet 12,2 m, vilket är djupet i sundet efter muddring.

Genom att se på figurerna uppifrån och ned kan man följa vilket vatten som tar sig förbi tröskeln i Brandalsund. Innan muddring kommer det som saltast in vatten med 6 psu över tröskeln (som innan muddring till största del är grundare än linjen på 12,2 m). Vatten med 6 psu finns något oftare under säsongen utanför tröskeln vid punkt 2, och återfinns på ett djup grundare än 15 m hela sommaren i punkt 3 och vid H6. Vid H6 finns även vatten med 6.1 psu hela vägen upp över 10 m djup. Av detta kan man dra slutsatsen att det saltaste vattnet som kommer över tröskeln kommer från ca 10 - 15 m djup utanför tröskeln och inte från de djupare områdena i djuphålan (H6) eftersom det där är saltare vatten än så.

Efter muddring kommer vatten med 6 psu över tröskeln och finns från botten och upp till ett djup på ca 8 m periodvis under sommaren. Vid punkt 2 finns detta vattnet upp till djup på 8 - 10 m under hela senare delen av sommaren. Vatten med 6.1 psu tar sig till punkt 3 och vid H6 kommer under en kort period vatten med 6.2 psu upp till djup över 15 m. Man kan utifrån detta se att vattnet som kommer till punkt 1 i huvudsak kommer från 10 – 15 m djup i området innan punkt 3, eftersom inget av vattnet med 6.1 psu salt kommer längre än till punkt 3. En farhåga med fördjupningen av sundet har varit att näringsrikt vatten från botten på de djupaste delarna av Näslandsfjärden, tex djuphålan vid H6 ska ta sig in över tröskeln i sundet och påverka näringsstatusen i Hallsfjärden. Ingenting i resultaten indikerar att vattnet som tar sig över tröskeln skulle rekryteras på "stort djup" efter muddring, utan snarare från ungefär samma djup som det hamnar på vid punkt 1 innanför sundet, även om det behöver tryckas upp grundare temporärt för att komma över tröskeln.

(De små cirkelarna med 6 psu vatten vid punkt 2 innan muddring eller 6.1 psu i punkt 3 efter muddring visar inte att det är mindre salt vatten på större djup. Cirkelarna uppstår beroende på att det saltare vatten dök upp under en kortare period och strömlinjefunktionen vill knyta ihop strömlinjen. Vattnet har samma salthalt ned till botten, under dessa cirkelr.)



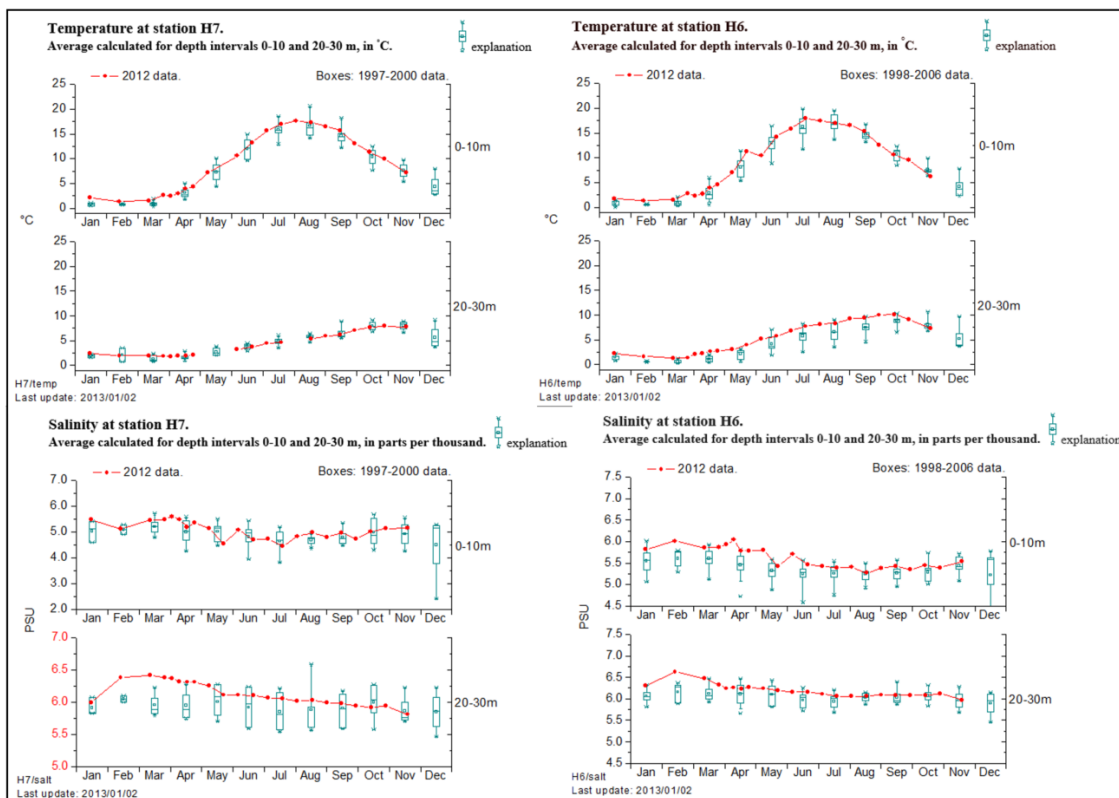
Figur 8 Isopleth-diagram för salt under sommaren (maj-sept) för de översta 15 metrarna, för punkt 1, 2, 3 och H6, innan och efter muddring. Tröskeldjupet vid Brandalsund efter muddring ses som en svart linje.

4 Jämförelse med mätdata

För att bedöma modellens tillförlitlighet i resultaten för temperatur och salt så har dessa jämförts med observationsdata.

Jämfört med mätdata från Himmerfjärdens övergödningsstudie (<http://www2.ecology.su.se/dbhfj/index.htm>) ser modellen ut att återge förhållandena på ett korrekt sätt (Figur 9). Salthalten på 20 m kan tidvis vara något högre i mätdata än vad som modellen ger; strax över 6 psu medan högsta salinitet vid H7 innan muddring i modellen är 5,8 psu. Det modellerade året 2015 är dock inte med i den sammanställning av mätdata som visas i figur 10. I huvudrapporten för modelleringen, DHI rapport 12803195 *Farledsprojekt Landsort-Södertälje, Spridningsmodellering av spill från muddring och dumpning* (2019), visas även jämförelser av salt- och temperaturprofiler för det modellerade året. De har samma resultat, dvs god överensstämmelse med observationsdata, men något låg högsta salthalt längre in i systemet.

Eftersom analysen i den här studien bygger på en jämförelse av två likadana modellkörningar, där endast djupen i beräkningsnätet ändrades, så står sig slutsatserna även om modellen i sig eventuellt har något för låg högsta salthalt.



Figur 9 Observationsdata för 2012 (rött sträck) och 1997–2000 respektive 1998–2006 (blå boxar) för salinitet och temperatur från norr (H7) och söder (H6) om Brandalsund. Figureerna är tagna från Himmerfjärdens övergödningsstudie, <http://www2.ecology.su.se/dbhfj/index.htm>, stationsprofiler tillgängliga för allmänheten på webben. Notera att skalorna för saliniteten varierar mellan bildpanelerna för H6 och H7.

5 Referenser

/1/ DHI rapport 12803195 *Farledsprojekt Landsort-Södertälje, Spridningsmodellering av spill från muddring och dumpning* (2019)

/2/ DHI rapport 12801069 *Hydrodynamisk modellering av cirkulation och utbyte i Himmerfjärden* (2011)