

Sofia Åström, Kristoffer Hallberg

RAPPORT 2013-49

Hydromodellering Mälaren Slutrapport



*Pärmbild.
Bilden kommer från SMHI:s bildarkiv.*

**RAPPORT NR 2013-49**

Författare:

Sofia Åström, Kristoffer Hallberg

Granskningsdatum:

2013-06-26**2104-04-02****2014-04-08**

Uppdragsgivare:

Sjöfartsverket

Granskare:

Sture Lindahl, Signild Nerheim**Kjell Wickström****Signild Nerheim**Dnr: **2011/2210/204**

Version

1.1

Hydromodellering Mälaren - slutrapport

Uppdragstagare

SMHI**601 76 Norrköping**

Projektansvarig

Sofia Åström**031- 751 8903****sofia.astrom@smhi.se**

Uppdragsgivare

Sjöfartsverket**601 78 Norrköping**

Kontaktperson

Thomas Åhsberg**010-4784831****thomas.ahsberg@sjofartsverket.se**

Distribution

Sjöfartsverket, Thomas Åhsberg**Structor Miljbyrå AB, Jenny Lindgren****WSP, John Sternbeck**

Klassificering

() Allmän (x) Affärssekretess

Nyckelord

Mälaren, Södertälje kanal och sluss, muddring, dumpning, spill, spridning, modellering, Delft3D

Övrigt

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	SAMMANFATTNING	2
2	BAKGRUND	3
3	SYFTE	3
4	LÄSANVISNING	4
5	OMRÅDESBESKRIVNING	5
6	METODIK	7
6.1	Hydrodynamisk modellering	7
6.2	Modellbeskrivning.....	9
6.2.1	Uppdelning av Mälarmodellen i delmodeller	9
6.3	Batymetri	12
6.4	Randvillkor	12
6.5	Modellberäkningar	15
6.5.1	Generalisering av muddrings- och dumpningsområden	16
6.5.2	Simulerade källor med mudderspill	19
6.5.3	Simulerade fall	26
6.6	Ström- och vattenståndsmätningar	29
6.7	Kontroll av modellen.....	33
6.7.1	Randvillkor vid kontroll av modellen	33
6.7.2	Kontroll av Mälarmodellen	35
6.7.3	Kontroll av delmodeller	46
6.7.4	Vad betyder resultatet av den genomförda kontrollen?	50
7	RESULTAT	51
7.1	Vattenförekomst Galten	52
7.1.1	Stationär drivning	52
7.1.2	Dynamisk drivning.....	52
7.2	Vattenförekomsterna Blacken, Västerås- och Granfjärden.....	62
7.2.1	Stationär drivning	62
7.2.2	Dynamisk drivning.....	65
7.3	Vattenförekomsterna Oxfjärden och Arnöfjärden.....	70
7.3.1	Stationär drivning	70
7.3.2	Dynamisk drivning.....	78
7.4	Vattenförekomsten Prästfjärden	87
7.4.1	Stationär drivning	87
7.4.2	Dynamisk drivning.....	89

7.5	Södertälje kanal och vattenförekomsterna Igelstaviken och Hallsfjärden	92
7.5.1	Dynamisk drivning.....	92
8	DISKUSSION.....	97
9	SLUTSATSER	100
10	REFERENSER	101
11	BILAGOR	102
11.1	Bilaga 1 Muddrings- och dumpningsområden i beräkningsmodellen	102
11.2	Bilaga 2 Grumling vid muddring och dumpning av muddermassor i Mälaren och Hallsfjärden.....	107
11.3	Bilaga 3 Referensmätningar av grumlighet och närsalter i Mälaren	112
11.3.1	Bakgrund och syfte	112
11.3.2	Genomförande	112
11.3.3	Resultat	112

Ordlista

Teknisk term	Beskrivning
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler, instrument som används för att mäta strömhastighet och strömriktning i vatten
Advektion	Transport med vattnets rörelser
Bottenskjuvspänning	Den kraft som strömmande vatten verkar med mot botten, ökar proportionellt med strömhastigheten
Kompaktdensitet	Den fasta fasens (tex sten, grus, sand och ler) densitet och är kvoten mellan den fasta fasens massa och volym (SGI, 2008).
Kritisk bottenskjuvspänning för sedimentation	Högsta bottenskjuvspänning vid vilken kan sedimentera vid, så länge bottenskjuvspänningen är högre än det kritiska värdet sker ingen sedimentation
Multibeam ekolod	Ekolod som skickar ut multipla ekolodsstrålar vilket ger en mycket detaljerad bild av bottenpografi.
Omvandlingsfaktorer	Omvandlingsfaktorer mellan enheter $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l.}$ $1 \text{ mg/l} = 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ $\text{Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
Sedimentation/deposition	Processen där material i vattenmassan, exempelvis sedimentpartiklar, landar på botten
Sjunkhastighet	Hastigheten med vilken en partikel sjunker genom vattenkolumnen
Torrdensitet	Förhållandet mellan kornens massa och total volym (SGI, 2008)

1 Sammanfattning

Projektet Södertälje kanal och sluss samt Mälarfarterlederna är ett samarbete mellan Trafikverket och Sjöfartsverket. Sjöfartsverket ansöker om bland annat tillstånd för muddring och dumpning. I tillståndsansökans huvudalternativ ingår att genom muddring och viss sprängning fördjupa och bredda delar av farleden från Södertälje kanal till hamnarna i Västerås och Köping. I samband med muddringsarbeten är grumling och spridning av sediment vanligt, och det är av betydelse att få klaggjort spridningen och kvantifiera påverkan. SMHI har fått i uppdrag att sätta upp en tredimensionell hydrodynamisk strömningsmodell över området och beräkna spridning, koncentration samt sedimentation av mudderspillet. Som komplement till beräkningsmodellen har även ström- och vattenståndsmätningar utförts på flertalet platser, och en högupplöst vindmodell har satts upp över området.

Syftet med utredningen är att visa vilka områden som kan bli påverkade av mudderspillet samt koncentrationen av mudderspillet på olika avstånd från muddrings- och dumpningsområdena. Spridningen simuleras under naturligt förekommande förhållanden i området med avseende på vindar och tillflöden.

Arbetet med SMHIs modellberäkningar har till stora delar utförts under den första halvan av Mälärprojektet. Löpande planering av masshantering har inneburit att förutsättningar för muddring och dumpning justerats vid flera tillfällen under projektets gång. Därför har SMHI för vissa områden utfört beräkningar enligt flera olika förutsättningar.

Beräkningsmodellen sätts till att börja med upp för hela Mälaren, men delas efter kontroll mot uppmätta data upp i delmodeller. För detta syfte har SMHI genomfört ström- och vattenståndsmätningar i Mälaren och söder om Södertälje kanal och sluss. Mälaren och Södertälje kanal och sluss består av följande delmodeller:

- Köping – Ängholmen; inkluderar arbetsområden i vattenförekomst Galten
- Kvicksund – St. Långholmen; inkluderar arbetsområden i vattenförekomsterna Blacken, Västerås- och Granfjärden
- Aggarön – östra Stallholmen; inkluderar arbetsområden i vattenförekomsterna Oxfjärden och Arnöfjärden
- Bornhuvud – norra Södertälje kanal; inkluderar arbetsområden i vattenförekomsten Prästfjärden
- Södra Södertälje kanal – Sandviken; inkluderar arbetsområden i Södertälje kanal och vattenförekomsterna Igelstaviken och Hallsfjärden

Jämförelsen mellan beräknat och uppmätt vattenstånd visar att det är god överensstämmelse och skillnaden är cirka ± 4 cm i både Mälarmodellen och söder om Södertälje kanal. Beräknad och uppmätt strömhastighet ligger inom samma storleksordning och de huvudsakliga strömriktningarna överensstämmer då virvlar och andra strömmönster som syns i mätningarna fångas upp i beräkningarna. Sammanfattningsvis kan man säga att resultaten från beräkningsmodellerna bedöms uppfylla de precisionskrav som man kan förvänta sig vid simuleringar med numeriska beräkningsmodeller.

Insatserna där muddring/dumpning planeras är av mycket olika omfattning. Vid somliga områden förväntas arbetstiden uppgå till några timmar medan det vid andra platser fordras aktivitet under flera veckor. Likaså skiljer sig bottenmaterialets karaktär något mellan olika områden. Det är inte beräkningstekniskt rimligt att simulera spill från samtliga muddrings- och dumpningsområden, och inte heller nödvändigt då det vid vissa områden ska muddras små volymer eller grovt bottenmaterial. För att renodla beräkningsmetodiken har därför vissa typer av förenklingar och generaliseringar införts.

Simuleringar med beräkningsmodellerna har gjorts med dynamisk och stationär drivning med avseende på vinden. I denna rapport presenteras ett urval av de mest relevanta resultaten.

Resultaten visar att spridningsbilden skiljer sig åt beroende på omgivande förhållanden så som vindar och skiktning. I områden som är avgränsade av land begränsas påverkansområdet, men koncentrationen av mudderspillet blir högre än för ett område med stort vattenutbyte. Området som blir påverkat av mudderspillet från muddring/dumpning är omkring 3×3 km runt respektive arbetsområde. De högsta koncentrationerna på några hundra meters från muddersplatsen är i medeltal $0,005 \text{ kg/m}^3$ i

områden som är öppna och $0,06 \text{ kg/m}^3$ i områden med mer begränsad tillgång till spädvatten. Omvandlingsfaktorer mellan kg/m^3 och mg/l framgår av ordlista först i denna rapport. Resultaten visar att koncentrationen mudderspill i ytan avtar när muddrings- och dumpningsaktiviteter avslutas. Bottenskjuvspänningen i dumpningsområdena är generellt mellan $0,001 - 0,0005 \text{ N/m}^2$, vilket indikerar goda ackumulationsförhållanden.

2 Bakgrund

Projektet Södertälje kanal och sluss samt Mälarfarterlederna är ett samarbete mellan Trafikverket och Sjöfartsverket. Syftet med projektet är att förbättra sjösäkerheten och tillgängligheten på de allmänna farlederna genom Södertälje kanal till hamnarna i Västerås och Köping. Sjöfartsverket söker tillstånd för bland annat muddring och dumpning. I tillståndsansökans huvudalternativ ingår att genom muddring och viss sprängning fördjupa och bredda delar av farleden genom Södertälje kanal till hamnarna i Västerås och Köping. Huvudalternativet omfattar även uppgradering av befintlig sluss, samt breddning och förstärkning av Södertälje kanal genom muddring och spontning m.m. Muddermassorna kommer till stor del att bestå av leror och gytta. I samband med muddringsarbeten är grumling och spridning av sediment vanligt och det är av betydelse att få klargjort spridningen och kvantifiera påverkan.

SMHI har tillsammans med Structor Miljöbyrå och WSP arbetat med att ta fram underlag till en Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) som sammanställs av Structor. SMHI har fått i uppdrag att sätta upp en tredimensionell hydrodynamisk strömningsmodell över området och beräkna spridningen, koncentrationen samt sedimentationen av mudderspill. Som komplement till beräkningsmodellen har även ström- och vattenståndsmätningar utförts på flertalet platser, och en högupplöst vindmodell har satts upp över området. Arbetet med SMHIs modellberäkningar har till stora delar utförts under den första halvan av Mälarpjektet. Löpande planering av masshantering har inneburit att förutsättningar för muddring och dumpning justerats vid flera tillfällen under projektets gång. Därför har SMHI för vissa områden utfört beräkningar enligt flera olika förutsättningar. Resultat som inte är relevanta för den miljökonsekvensbedömning som utförts inom Mälarpjektet finns tillgängliga på SMHI och har namngetts Appendix 1-5.

Inom projektet har SMHI genomfört referensmätningar av grumlighet samt provtagning och analys av suspenderat material och närsalter. Detta behandlas i sin helhet i Bilaga 11.3.

För arbete i vatten efterfrågas ofta en stor mängd information för att bedöma konsekvenserna av olika alternativ från flera perspektiv. Potentiell miljöpåverkan är av stor vikt. Spridning och utspädning av mudderspill påverkas av de omgivande förhållanden som råder med avseende på vattenstånd, strömmar, vindar etc. Vissa parametrar som vattenstånd är gradvis varierande på kilometerskala medan andra parametrar som strömhastighet och strömriktning är betydligt mer lokalt varierande i tid och rum. Även ambitiösa mätprogram har svårt att erbjuda en full täckning över stora områden vilket gör att man ofta väljer att kombinera mätningar med hydrodynamiska beräkningsmodeller. En hydrodynamisk modell är ett beräkningsprogram som beskriver vattenströmning och som efter kalibrering mot mätningar ofta träffsäkert kan beskriva vattencirkulationen i en sjö, älv eller längs en kuststräcka. Från modellberäkningar kan således information fås för områden där mätningar saknas. Vidare kan t.ex. utsläpp och spridning av ämnen simuleras i beräkningsmodellen.

3 Syfte

Syftet med utredningen är att visa vilka områden som kan bli påverkade av mudderspill samt koncentrationen av mudderspill på olika avstånd från muddrings- och dumpningsområdena. Spridningen simuleras under naturligt förekommande förhållanden i området med avseende på vindar och tillflöden. Dessutom har en känslighetsanalys genomförts med kraftigare vindar som driver i en ogynnsam riktning.

4 Läsanvisning

Under avsnitt 5 finns en områdesbeskrivning som översiktligt beskriver Mälarens tillrinningsområde och generella strömförhållanden i sjön samt Hallsfjärden. I avsnitt 6 beskrivs metodiken för modelluppsättning, vilka delmodeller som har använts och vilka muddrings- och dumpningsområden som ingår i simuleringarna, hur indata har generaliserats, genomförda mätningar etc. I avsnitt 6.1 ges en beskrivning av arbetsprocessen och förutsättningarna för hydrodynamisk modellering, avsnitt 6.2 beskriver den i projektet använda beräkningsmodellen, avsnitt 6.3 och 6.4 beskriver modellens djupdata och vilka randvillkor som använts i simuleringarna.

I avsnitt 6.5 finns information om vilka muddrings- och dumpningsområden som ingår i beräkningarna och hur sedimentegenskaperna har generaliserats. Vid starten av projektet bestämdes det att ett antal typfall skulle simuleras, dessa presenteras under avsnitt 6.5.3.1. Under projektets gång förändrades förutsättningarna gällande till exempel muddringshastighet och några känslighetsanalyser genomfördes. Dessa under projektets gång tillkommande simuleringar presenteras under avsnitt 6.5.3.2.

I avsnitt 6.6 presenteras de ström- och vattenståndsmätningar som använts för att kontrollera modellens resultat och under avsnitt 6.7 presenteras resultatet av kontrollen av modellen.

I avsnitt 7 presenteras resultaten av de genomförda simuleringarna uppdelat per delmodell i avsnitten 7.1-7.5. De mest intressanta resultaten återfinns i denna rapport medan samtliga resultat finns i Appendix 1-5, ett appendix per delmodell. Det finns också ett appendix, Appendix 6, som innehåller beräknade bottenskjuvspänningar.

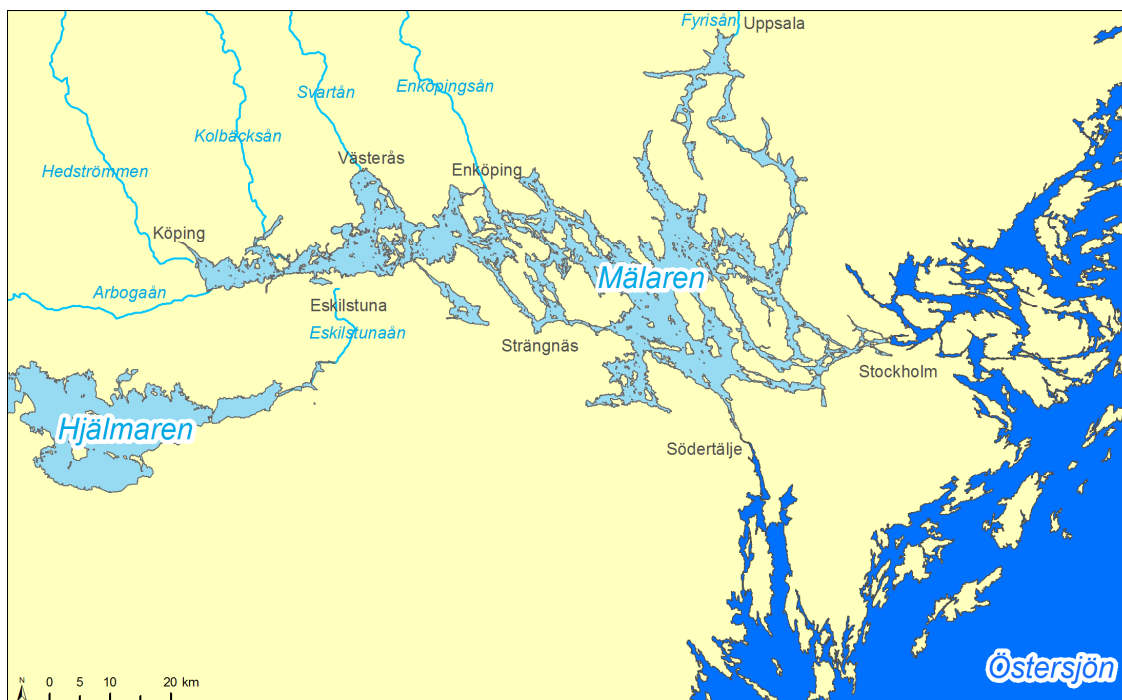
I Bilaga 11.1 finns kartor över vilka muddrings- och dumpningsområden som ingår i de simulerade typfallen. Bilaga 0 beskriver mer ingående de processer som styr grumling och återsedimentation av suspenderade sediment. Efter att denna rapportens första version färdigställts har det gjorts kompletterande beräkningar för spridning av sediment för ytterligare två dumpningsområden som ligger utanför de simulerade typfallen eller i de tillkommande simuleringarna som presenteras i rapporten. Dessa simuleringar presenteras i Appendix 1-6. I Bilaga 11.3 presenteras resultatet av referensmätningar av näringsämnen och suspenderad halt i Mälaren och Hallsfjärden.

5 Områdesbeskrivning

Mälaren är Sveriges tredje största sjö och omfattar 1140 km². Storleken till trots är Mälaren relativt grund och medeldjupet är 12,8 m. Det huvudsakliga utflödena finns i Stockholm och regleras för att balansera en mängd olika intressen, vilket gör att vattennivån över året varierar inom några decimeter. Tillrinningsområdet omfattar 22 600 km² och merparten av tillrinningen är reglerad för odlings- eller vattenkraftsändamål. De största åarna mynnar i den västra delen av Mälaren och Arbogaån, Hedströmmen, Köpingsån och Kolbäcksån står för 46 % av den totala tillrinningen. Mälaren är vattentäkt för ca 2 miljoner människor där alternativa vattentäkter som kan användas under en längre tid saknas.

Morfologiskt karaktäriseras Mälaren av stora öppna fjärdar, djupskurna vikar och områden med öar där vattenutbytet begränsas av smala sund. Sommartid finns normalt en temperaturskiktning och vintertid är större delen av sjöarean istäckt. Vår och höst är vattenmassan väl omblandad. Bottenmaterialet är övervägande fint och av lerkaraktär.

Strömningsmekaniskt kan två viktiga drivkrafter urskiljas, vind och tillrinnande vatten. På tidsskalan timmar och minuter styrs strömningen av vinden som griper tag i vattenytan och driver strömmar. Vind är till sin natur mycket variabel avseende vindstyrka, riktning och varaktighet vilket ger ett strömningsmönster som också är mycket variabelt både tidsmässigt och rumsligt. Strömmarna styrs sedan i stor utsträckning av Mälarens topografi. Den varierande och flikiga formen på Mälaren tillsammans med de många öarna ger strömning som är av mycket lokal karaktär och svår att generalisera. Sett över längre tid såsom veckor och månader är bidragen från tillrinnande vattendrag viktigt då de ger en nettotransport från Mälarens västra delar till utflödena i Stockholm. Under kortare perioder med hög tillrinning eller under perioder med istäcke styrs strömningsmönstret av tillflödenas bidrag.



Figur 1. Översikt över Mälaren och Östersjön söder om Södertälje

Havsområdet mellan Södertälje sluss och Landsort har en fjordliknande karaktär. Djupa och långsträckta fjärdar avgränsas med grundare sund, se Figur 1. I de inre fjärdarna finns endast ett fåtal öar, medan det längre ut finns ett utpräglat skärgårdslandskap.

Kanalsträckan mellan Södertälje sluss och mynningen i Hallsfjärden är ca 700 m lång och ca 80 m bred. Djupet i farleden är minst 8 m. Hallsfjärden är ca 7 km² med medeldjupet 11 m. Lokalt finns

dock mindre områden med djup ner till 40 m. Brandalsund är det första riktiga sundet söder om Södertälje och har bredden 170 m. Djupet i farleden är i detta sund ca 10,5 m.

Salthalten öster ut är ökande med avståndet från Södertälje sluss där sötvatten tappas ur Mälaren. I genomsnitt tappas $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ och normalt ligger flödet i intervallet $3\text{-}5 \text{ m}^3/\text{s}$. Vattenståndet mäts vid E4-bron i Södertälje kanal och vid Landsort. Havsvattenståndet varierar i storlekordningen decimeter på timbasis. Sommartid utvecklas skiktning i fjärdarna utanför Södertälje kanal vilken sedan bryts upp under hösten. Vintertid är perioder med istäcke vanligt.

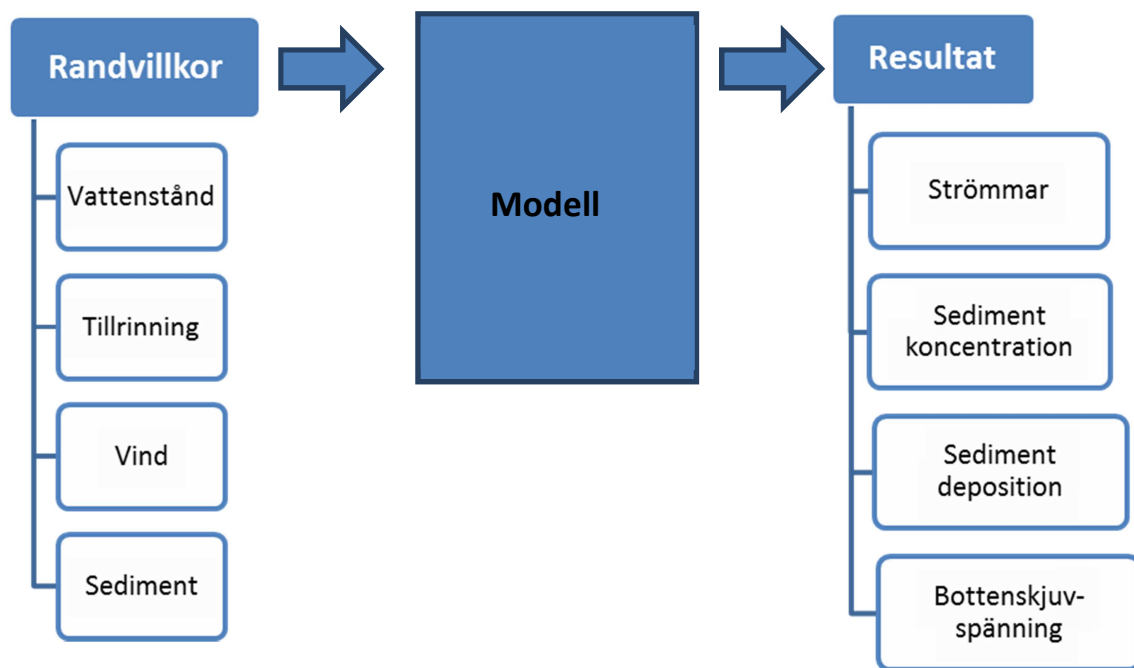
Strömningen i de inre fjärdarna beror av faktorer såsom tappning från Mälaren, tillrinning från land, vindfriktion, densitetsskiktning och vattenstånd i Östersjön. Av dessa är vattenståndet i Östersjön den viktigaste drivkraften följt av vindfriktion. Salt och temperaturdrivna strömmar samt extrem tappning från Mälaren kan ha betydelse under begränsade perioder.

Det är känt att det finns svängningsrörelser, s.k. seicher med olika periodtider i fjärdarna utanför Södertälje (Engqvist & Svensson, 1984). Dessa svängningar ger upphov till periodiska strömmar i bl.a. Brandalsund av storleksordningen $\pm 100 \text{ m}^3/\text{s}$. Den korta periodtiden medför att vattentransporten blir begränsad och vatten snarare rör sig fram och tillbaka. Den huvudsakliga effekten av dessa periodiska strömmar är således ett bidrag till den redan höga turbulensen i områden kring sundet.

6 Metodik

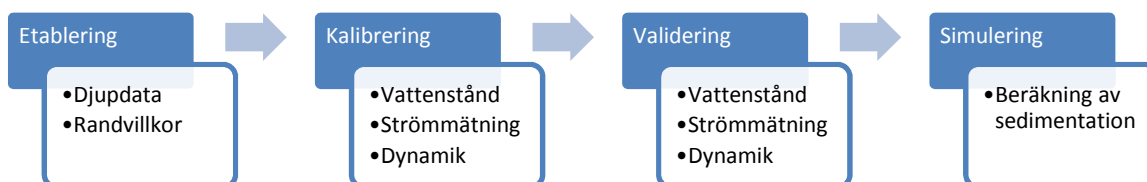
6.1 Hydrodynamisk modellering

I syfte att klarlägga spridning och deposition av sediment från muddrings och dumpningsaktiviteterna i Mälaren och Södertälje kanal används en hydrodynamisk beräkningsmodell som matematiskt beskriver vattenströmningen. Beräkningsmodellen drivs av allmänt tillgänglig data såsom vind och vattenståndsuppgifter, dessutom används uppskattade mängder sediment som frigörs till vattenmassan, s.k. randvillkor. Baserat på randvillkoret beräknas sedan de sökta uppgifterna såsom koncentrationen av mudderspill i vattnet och mängd som sedimenterar.



Figur 2. Principen för en hydrodynamisk modellberäkning.

För att resultaten från en hydrodynamisk modell ska vara tillförlitliga är det nödvändigt att kontrollera de resultat modellen levererar med verkliga uppmätta värden. Detta är ett väl etablerat förfarande som sammanfattningsvis kallas kalibrering och validering. Under kalibreringen jämförs modellresultat och uppmätt data under en tidsperiod och olika parametrar i modellen justeras för att överensstämmelsen ska bli så god som möjligt. Även valideringen går till så att modellresultat jämförts med uppmätta värden men för en annan tidsperiod. Om modellen fortfarande uppvisar goda resultat även för en period för vilken den inte optimerats kan modellresultaten anses trovärdiga.



Figur 3. Principen för arbete med hydrodynamisk modellering.

I ett tidigt skede inventerades dataunderlaget för att driva en hydrodynamisk modell med syfte att beräkna sedimentspridning. Det konstaterades att för Mälaren behövdes mer detaljerad vinddata och att såväl Mälaren som Södertälje kanal saknade fältmätningar att jämföra modellberäkningar med.

För att tillgodose dessa behov genomfördes arbetsinsatser för att;

- Etablera en högupplöst vindmodell för Mälaronrådet
- Mäta strömmar och vattenstånd

En högupplöst vindmodell beskriver vindens rumsliga variation bra och kan återge läeffekter. Detta har stor betydelse i en sjö som Mälaren där skillnader mellan vindeffekter på öppna fjärdar och trånga sund är av stor vikt för att driva strömmar. Data från fältmätningar har flera olika användningsområden. För den hydrodynamiska modellen används mätningar av främst ström och vattenstånd för att kontrollera modellens funktion, s.k. kalibrering och validering. Vidare bidrar mätningarna till ökad kunskap om Mälaren som vattensystem.

Spridning av lösta ämnen i vatten sker i allmänhet via flera olika processer. För suspenderade sediment är i regel advektion d.v.s. transport tillsammans med vatten den dominerande transportformen. Partikelstorleken är av betydelse för spridning och deposition av sediment då denna idealt bestämmer en partikels sjunkhastighet genom vattnet. Större partiklar sjunker snabbare genom vattenmassan än små. Hastighet och riktning hos vattenströmmar är tillsammans med turbulensen av avgörande betydelse för hur sediment sprids och späds, men även av stor vikt för var sediment kan sedimentera. Den kraft som strömmande vatten verkar med mot botten kallas bottenskjuvspänning och är kvadratisk proportionell mot vattenhastigheten. Den största bottenskjuvspänning som en partikel kan sedimentera vid kallas kritisk bottenskjuvspänning för sedimentation. För bottenskjuvspänningar högre än denna (högre vattenhastigheter) är sedimentation inte möjlig. Genom att i en beräkningsmodell beräkna bottenskjuvspänning kan områden där sedimentation är trolig eller mindre trolig identifieras. För tillförlitliga modellresultat är det viktigt att beskriva strömningens karaktäristik väl samt att i beräkningsmodellen ange sedimentegenskaper som överensstämmer med verkligheten i största möjliga mån. I Bilaga 11.2 beskrivs mer ingående de mekanismer som är viktiga vid grumling av mudderspill tillsammans med övergripande sedimentegenskaper för Mälaren och Hallsfjärden.

Högupplösta hydrodynamiska modeller har efter kalibrering och validering goda chanser att belysa komplicerade frågeställningar. Detaljerade resultat fordrar i regel indata av hög kvalitet och som en konsekvens blir resultaten knutna till de indata som användes. Det är i regel lätt att hitta ett antal beräkningsfall som bör undersökas och ett par olika parametrar som kan varieras, vilket snabbt summerar upp till tiotals eller hundratals simuleringar. En utmaning är således att definiera ett mindre antal konservativa typfall som kan förväntas täcka in resultaten från ett stort antal specialfall. Vidare är det ofta värdefullt att generalisera vissa typer av belastningar till exempel storleken på spill av sediment från muddring. Med sådana ansatser kan resultaten ha fortsatt giltighet även om detaljer i projektet förändras. För Mälarens och Södertälje kanals vidkommande är det spridningen av sediment under olika vindscenerier som är viktigt att undersöka. Såväl vindens styrka, riktning som varaktighet påverkar hur långt och med vilka koncentrationer sediment sprids. Metoden som använts är att kombinerar resultat från stationära (konstanta i tiden) och dynamiska (varierande i tiden) vindscenerier, se avsnitt 6.5.3.1.

Syftet med att simulera stationära förhållanden är att visa på hur spridning och koncentration av mudderspill kan se ut under ogynnsamma men realistiska förhållanden. Syftet med att simulera spridning och utspädning under dynamiska förhållanden är att visa på typfall för hur det skulle kunna se ut vid muddring under en längre period med växlande vindar. Benämningarna stationär respektive dynamiska som används för att beskriva olika beräkningar syftar endast på vinddrivningen.

Stationära simuleringar	Dynamiska simuleringar
• Stationärt vindfält i ogynnsam riktning baserat på vindstatistik • Konservativ spridningsberäkning under totalt 4 dygn • 2 dygn med spill följt av 2 dygn utan ytterligare spill	• Dynamiskt vindfält • Realistisk spridningsberäkning under maximalt 9 dygn • 7 dygn med spill följt av 2 dygn utan ytterligare spill

Figur 4. Övergripande skillnader mellan den stationära och dynamiska ansatsen.

Det har även genomförts ett antal känslighetsanalyser för att kvantifiera betydelsen av faktorer som bedöms påverka spridningen av sediment. Känslighetsanalyserna omfattar:

- Temperaturskiktningens betydelse för sedimentkoncentration
- Muddringshastighetens betydelse för sedimentkoncentration
- Kornstorlekens betydelse för sedimentkoncentration
- Muddringens varaktighet och dess betydelse för sedimentkoncentration
- Vindstyrkan betydelse för bottenskjuvspänning

6.2 Modellbeskrivning

För att simulera transport och deposition av mudderspill har en tredimensionell hydrodynamisk strömningsmodell (Delft3D) etablerats för hela Mälaren och området söder om Södertälje kanal.

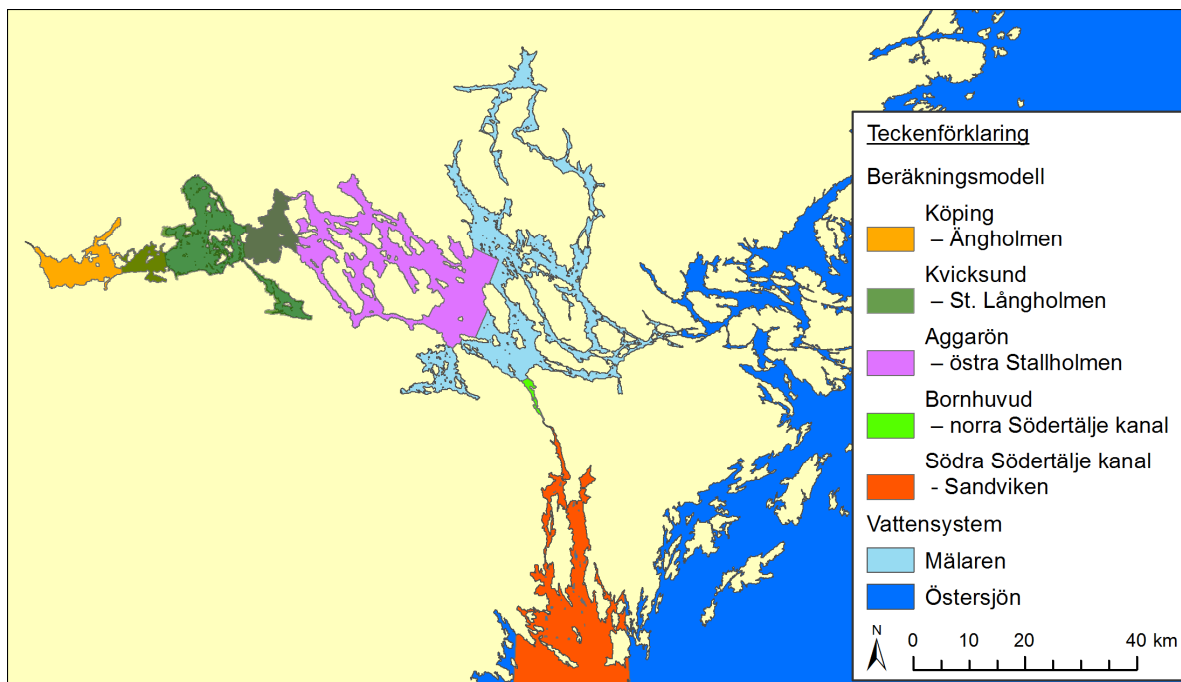
Erfarenheter från tidigare arbeten har bland annat visat att det är mycket viktigt att beräkningsområdet – i detta fall Mälaren i sin helhet och området söder om Södertälje kanal- är väl upplöst av beräkningsnätet, och att speciell vikt läggs vid de smala sund som sammankopplar de olika fjärdarna. Beräkningsnätet görs så väl upplöst som möjligt med hänsyn taget till våra datorers minneskapacitet. För varje cell i beräkningsnätet simuleras strömstyrka och riktning, turbulens och koncentrationen av spillt sediment från muddring och dumpning. Beräkningsnätets horisontella upplösning är ungefär 40 x 40 m och modellen består av 12 celler i vertikalled i Mälaren. Beräkningsmodellen Södertälje kanal – Sandviken beskriver ett område omkring 330 km². Den horisontella upplösningen är i närområdet kring planerade muddrings- och dumpningsområden ca 10 x 20 m. Vertikalt används 15 lager. Speciellt har ansträngningar gjorts för att beskriva de grunda sunden väl vilka till stor del påverkar vattenströmningen i hela systemet.

6.2.1 Uppdelning av Mälarmodellen i delmodeller

Beräkningsmodellen sätts till att börja med upp för hela Mälaren (härefter kallad Mälarmodellen), men efter kalibrering och validering har modellen kapats i ett antal delmodeller, se Figur 5. Anledningen till detta är att datorernas tillgängliga arbetsminne inte är tillräckligt för att simulera både strömmar, turbulens, vattennivåer och koncentration av flertalet olika sedimenttyper i en och samma modell. Att beräkningsmodellen först sätts upp för hela Mälaren har stor betydelse för att kunna kalibrera in strömmar och vattennivåer mot uppmätta data. Först därefter kan Mälarmodellen valideras och sedan delas upp i delmodeller. Området söder om Södertälje kanal består av en fristående beräkningsmodell som etablerats för sig. Beräkningsnätet för Mälarmodellen har delats upp i fyra delmodeller, utöver området söder om Södertälje kanal och sluss:

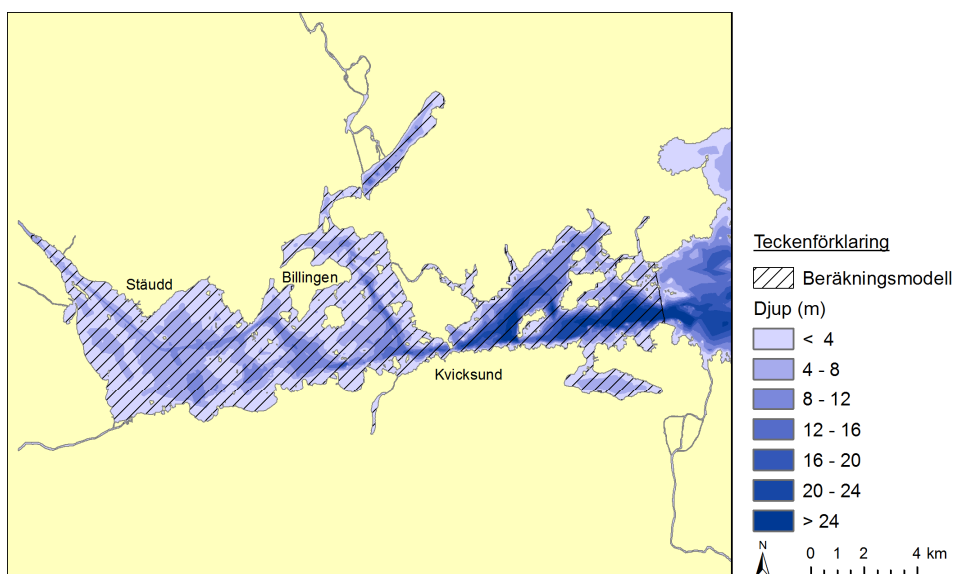
- Köping – Ängholmen; inkluderar arbetsområdena i vattenförekomst Galten
- Kviksund – St. Långholmen; inkluderar arbetsområdena i vattenförekomsterna Blacken, Västerås- och Granfjärden
- Aggarön – östra Stallholmen; inkluderar arbetsområdena i vattenförekomsterna Oxfjärden och Arnöfjärden

- Bornhuvud – norra Södertälje kanal; inkluderar arbetsområden i vattenförekomsten Prästfjärden
- Södra Södertälje kanal – Sandviken; inkluderar arbetsområden i Södertälje kanal och vattenförekomsterna Igelstaviken och Hallsfjärden

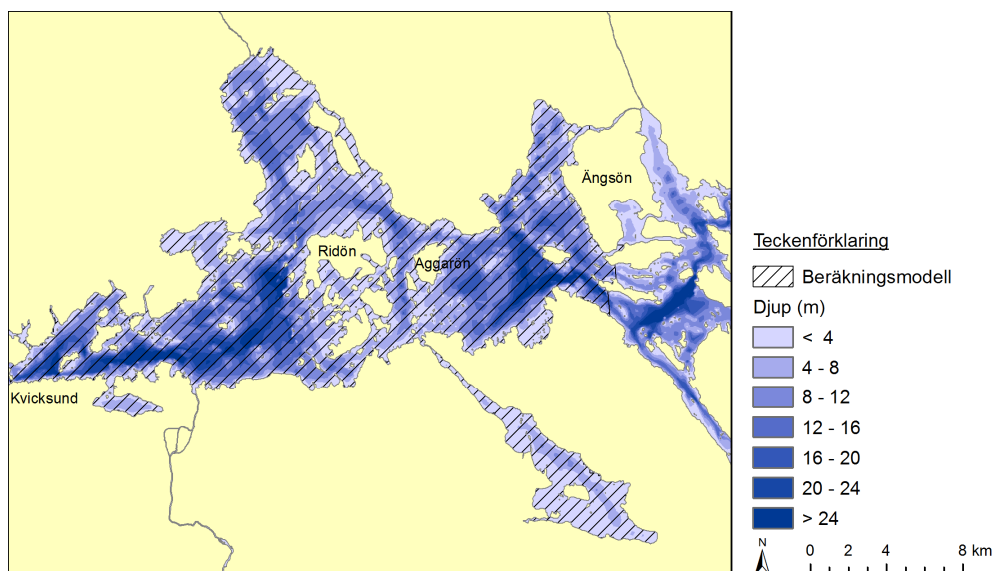


Figur 5. Översiktsskarta över Mälaren och Södertälje kanal och sluss med omgivande land och vattenområden. De olika delmodellernas utsträckning visas i orange, mörkgrön, lila, limegrön, samt röd. Delmodellerna är delvis överlappande.

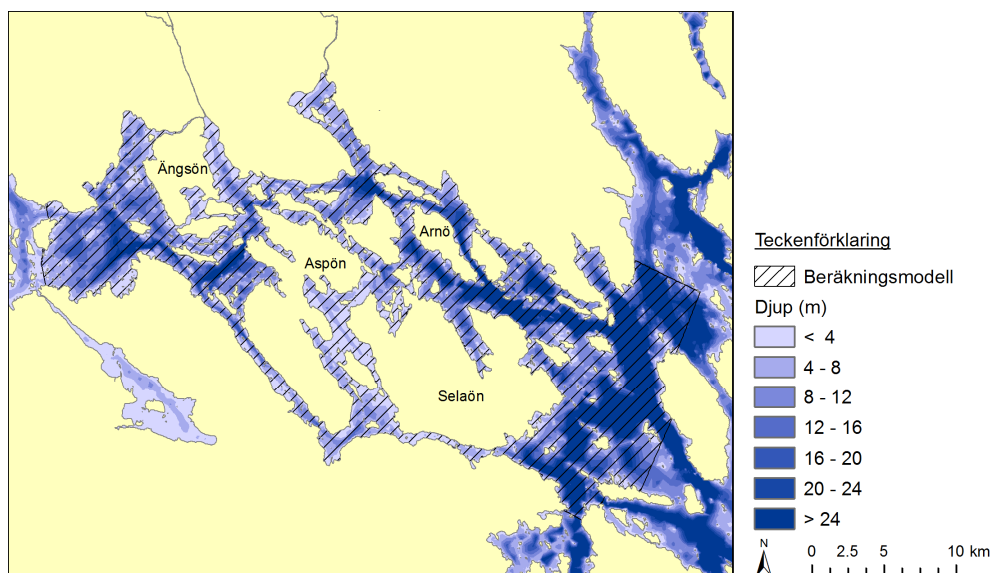
Uppdelningen i delmodeller har gjorts efter de muddrings- och dumpningsområden som ska beskrivas med beräkningarna, så att samtliga områden väl ligger inom en delmodell. Ränderna (modellens yttre gränser) har placerats så långt ifrån de intressanta områdena i respektive delmodell att de inte ska påverka muddrings- och dumpningsområdena inuti modellen, och modellområdet är så stort att plymen av suspenderat sediment väl håller sig inom modellens ränder. Mot denna bakgrund är angränsande delmodeller överlappande. I Figur 6- Figur 10 visas kartor över respektive modell enskilt.



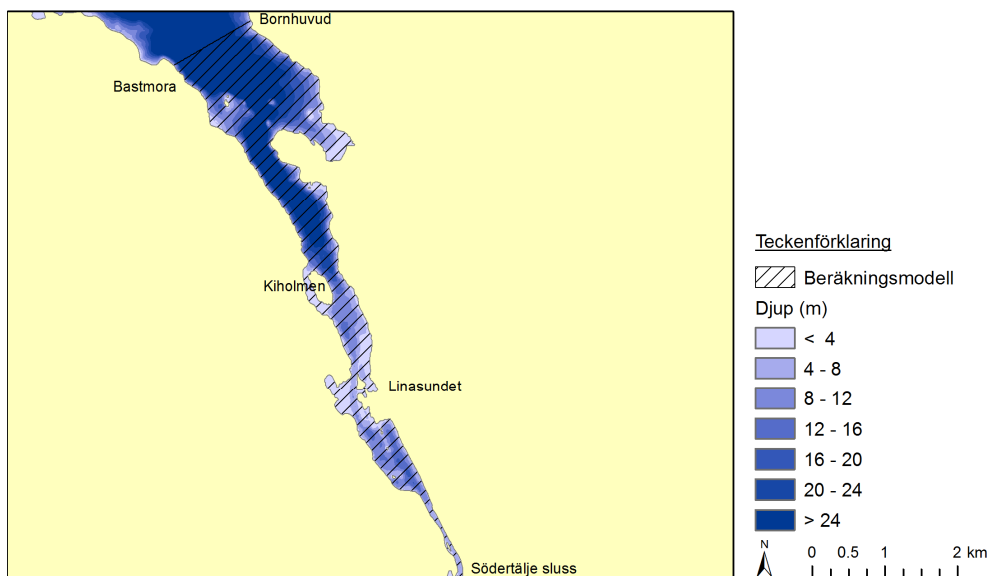
Figur 6. Beräkningsmodellen som avser området Köping – Ångholmen och inkluderar arbetsområdena i vattenförekomst Galten.



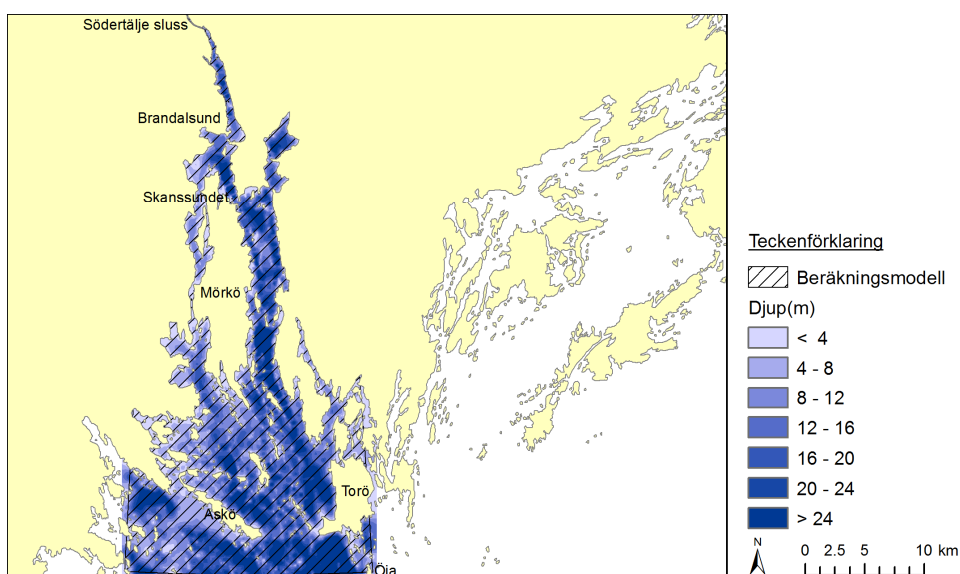
Figur 7. Beräkningsmodellen som avser området Kvicksund – St. Långholmen och inkluderar arbetsområdena i vattenförekomsterna Blacken, Västerås – och Granfjärden.



Figur 8. Beräkningsmodellen som avser området Aggarön – östra Stallholmen och inkluderar arbetsområdena i vattenförekomsterna Oxfjärden och Arnöfjärden.



Figur 9. Beräkningsmodellen som avser området Bornhuvud – norra Södertälje kanal och inkluderar arbetsområden i vattenförekomsten Prästfjärden.



Figur 10. Beräkningsmodellen som avser området södra Södertälje kanal – Sandviken och inkluderar arbetsområden i vattenförekomsterna Södertälje kanal, Igelstaviken och Hallsfjärden.

6.3 Batymetri

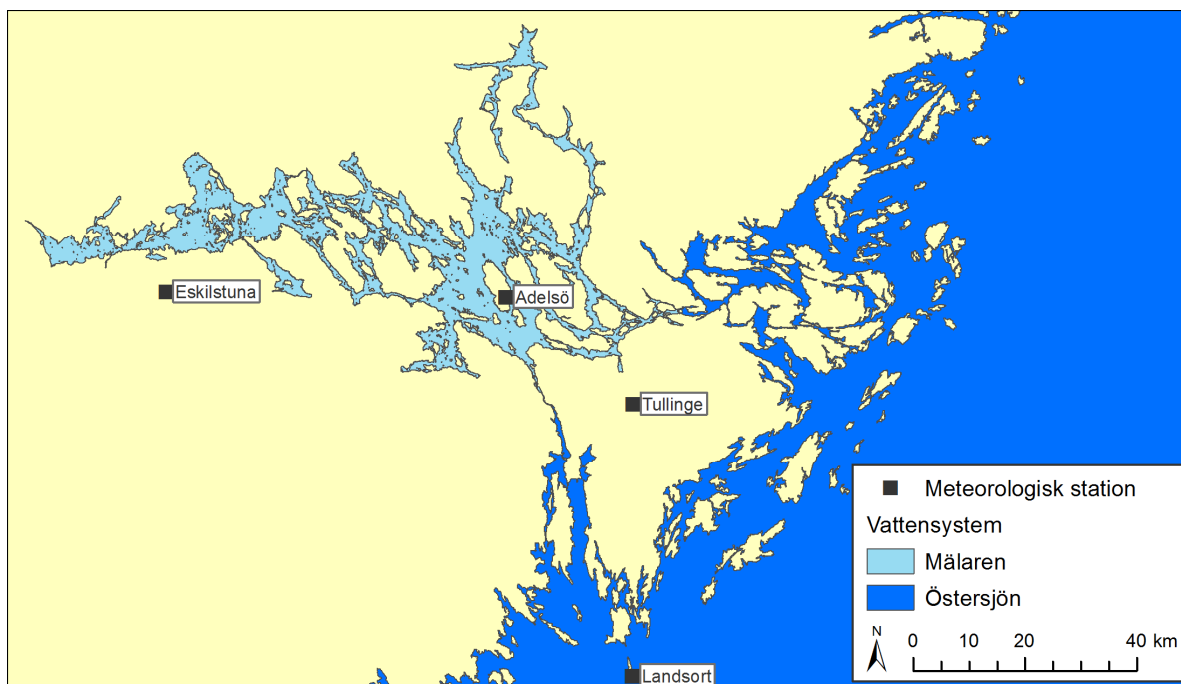
Djupen i modellen är inhämtade från Sjöfartsverkets sjökort nr 113, 112, 111, 1131, 1133, 6141 och 6181. För vissa sund där broar förekommer har detaljerad information från broritningar inhämtats. Stora delar av farledsområdet i Mälaren har kartlagts med detaljerad ekolodningsteknik s.k. *multibeam teknik* eller s.k. krattlodningar. Dessa detaljerade data har använts i alla områden där de varit tillgängliga.

6.4 Randvillkor

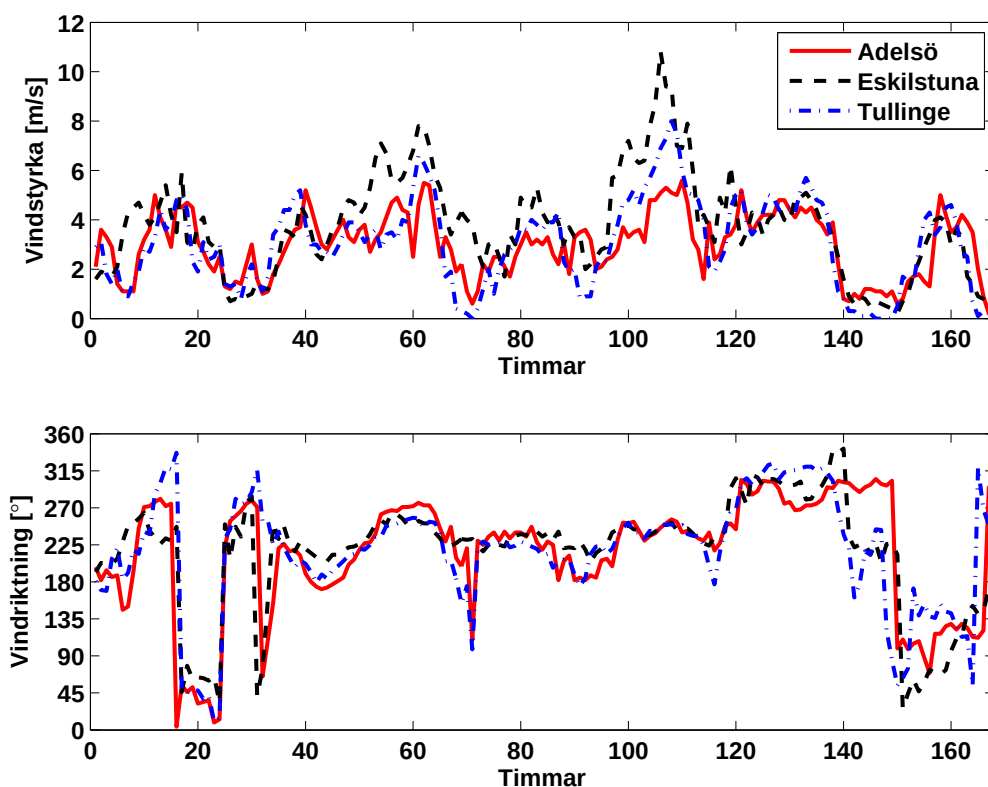
Beräkningsmodellerna för Mälaren drivs av vindhastighet och -riktning och flöden från de fem största tillrinnande vattendragen, och av utflödet vid Södertälje kanal. Beräkningsmodellen Södra Södertälje kanal – Sandviken drivs, förutom av vinden, även av flödet från Södertälje kanal och vattenståndet i havet.

SMHI har tre automatiska väderstationer som är särskilt intressanta för Mälaronrådet, stationerna vid Eskilstuna flygfält, Tullinge flygfält och på Adelsö som är en ö i Mälaren nordväst om Södertälje, se Figur 11. Vid dessa stationer mäts bland annat vindriktning och vindstyrka kontinuerligt och lagras för varje timme. Kvalitetskontrollerade (granskade) data finns dock endast lagrat för var tredje timme. En jämförelse av data visar att det råder ett starkt samband mellan de tre stationerna, både när det gäller vindriktning och vindhastighet, vilket innebär att det inte är orealistiskt att i modellen ansätta en

konstant vindstyrka och generell vindriktning över hela Mälaren i varje tidsögonblick. Figur 12 visar data från de tre stationerna under en vecka mellan 27 april och 3 maj 2010. Adelsö visar lägre vindhastigheter vid sydvästliga vindar vilket möjligen kan förklaras av en skogsbeklädd höjd i den vindriktningen.



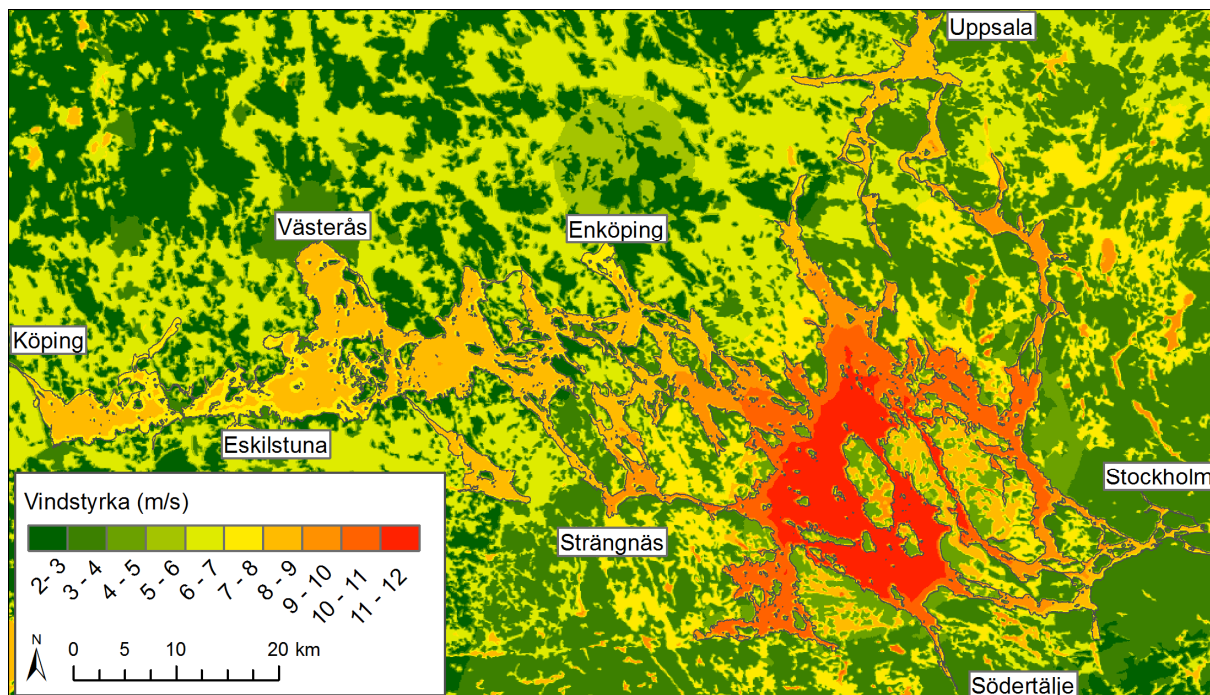
Figur 11. Meteorologiska stationer i SMHI:s stationsnät.



Figur 12. Uppmätta vindhastigheter och vindriktningar vid SMHI:s väderstationer på Adelsö, Eskilstuna flygfält och Tullinge flygfält mellan 27 april och 3 maj 2010 (SMHI 2011-50).

Mälaren karaktäriseras av både flera stora öppna fjärdar där vågbrytning kan ge ett signifikant bidrag till ytströmmarna vid vindstyrkor på omkring 5 m/s, och många trånga sund som kan ligga i lä av land. Detta gör att det är nödvändigt att använda rumsligt varierande vindar i beräkningsmodellen, något

som har visats från tidigare erfarenheter av strömningsmodellering i Mälaren. Det betyder att det är viktigt att vindstyrkan som driver beräkningsmodellen anpassas så att hänsyn tas till eventuella läeffekter från land, och på samma sätt för högre vindhastigheter på öppna fjärdar. Detta för att modellen ska simulera korrekta strömriktningar. Med anledning av detta så har en vindmodell etablerats för hela Mälaren. Vindmodellen är en diagnostisk vindfältmodell (Danard, se Airviro User's Reference) som beräknar tids- och rumsupplöst vindhastighet och riktning varje timme i ett beräkningsnät som har storleken 100 x 100 m. Figur 13 visar ett exempel på hur ett vindfält från den högupplösta vindmodellen kan se ut. Figuren visar vindhastigheter över Mälaren i ett av modellens tidssteg.



Figur 13. Vinddata från den högupplösta vindmodellen vid en tidpunkt.

Förutom vinden så drivs beräkningsmodellen också av flödet från de fem största tillrinnande vattendragen. I beräkningarna har medelflödet från tillrinnande vattendrag och Södertälje kanal ansatts. Dessa presenteras tillsammans med medelvattenföring och medelhögvattenföring i Tabell 1. Delmodellen Södertälje kanal – Sandviken drivs även av vattenståndet vid Landsort för det aktuella tillfället. I Tabell 2 presenteras medelvattenstånd och högsta högvattenstånd för Mälaren och Landsort.

Tabell 1. De fem största tillrinnande vattendragen till Mälaren och Södertälje kanal. Respektive medelvattenföring (MQ) och medelhögvattenföring (MHQ).

Vattendrag	MQ (m ³ /s)	MHQ (m ³ /s)
Arbogaån	44,1	137
Kolbäcksån	28,6	94
Eskilstunaån	24	80
Fyrisån	14,3	62
Hedströmmen	11,9	46
Södertälje kanal	4,5	-

Tabell 2. Medelvattenstånd (MW) och högsta högvattenstånd (HHW) i Mälaren och vid Landsort. Nivåerna anges i cm i RH2000.

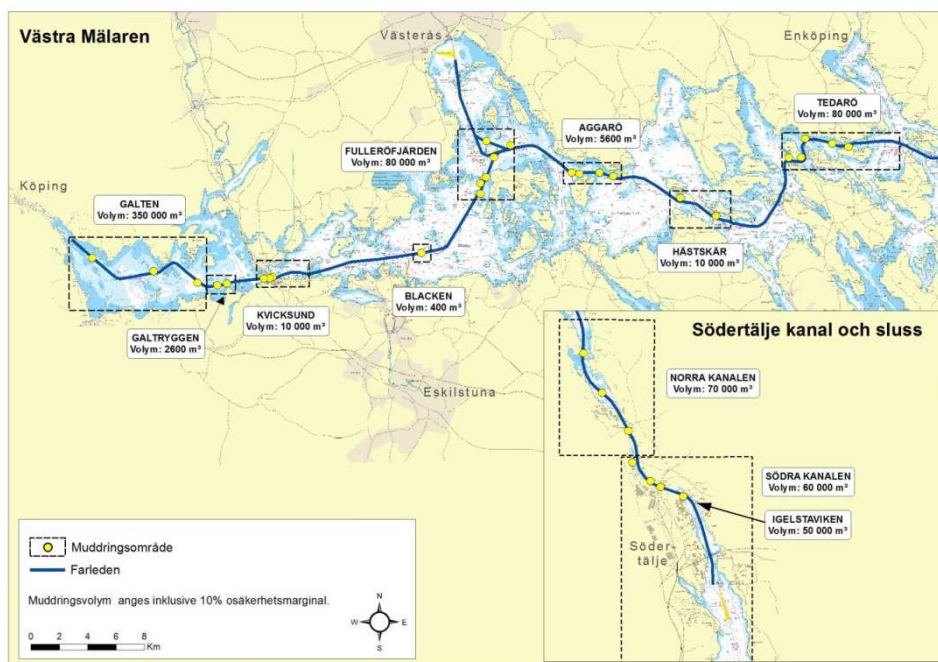
Område	MW RH2000 (cm)	HHW RH2000 (cm)
Mälaren	87 (1976-2005)	142 (under reglerad tid)
Landsort	10 (1886-2012)	106 (1886-2012)

6.5 Modellberäkningar

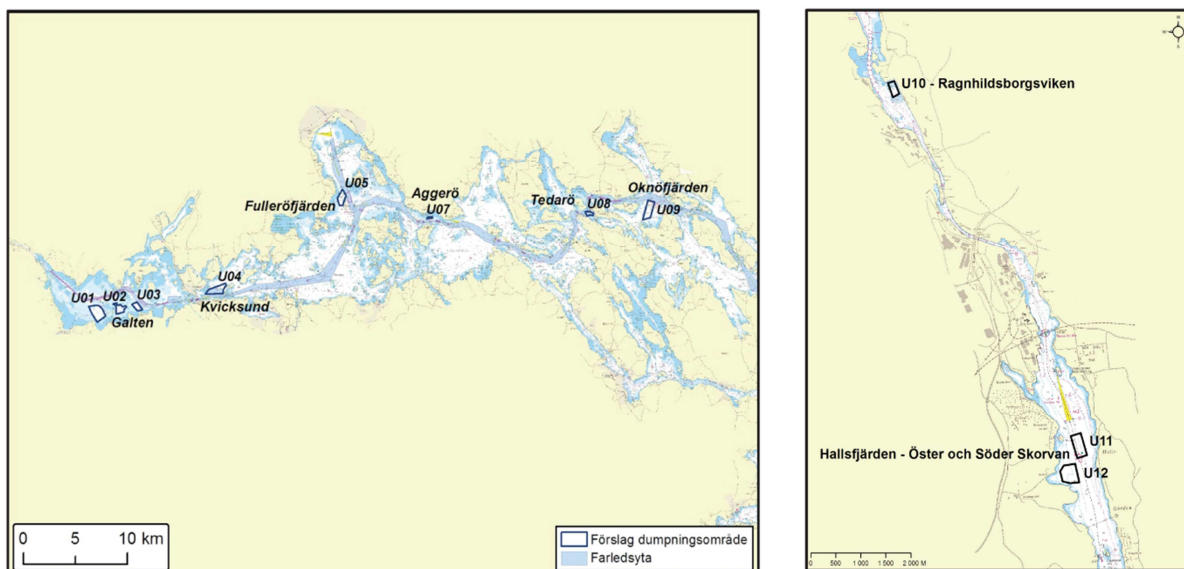
Behoven för muddring utreds för sammanlagt ca 35 st områden i Mälaren och 8st områden kring Södertälje kanal och sluss, vilket visas i Figur 14. Initialt utreddes lämpligheten av 11st dumpningsområden vilka visas i Figur 15. Av de dumpningsområden som utreddes valdes 7st slutligen ut (WSP, 2014a). Beräkningar av spridning från dumpningsområdena ingick i det underlag som användes för prioritering och därför redovisas även de förkastade dumpningsområdena i denna slutrapport. Volymen på de muddermassor som uppkommer vid de planerade muddringarna är uppskattat till ca 720 000 m³, men volymen mellan enskilda muddringsområden varierar stort från ca 20 m³ upptill ca 350 000 m³. En del av det muddrade materialet utgörs av fasta massor och berg men huvuddelen är lösa material med hög vattenhalt, t.ex. lera och gyttja. Vid muddring och dumpning av lösa finkorniga sediment sker spill av muddrat sediment. Det sediment som spills sprids med de strömmar som råder i området, samtidigt som det späds med omgivande vatten. I respektive delmodell har spridning, koncentration och deposition av spill från muddring och dumpning simulerats. Spridning av mudderspill simuleras genom att ansätta ett spill av sediment i en punkt som representerar antingen muddring eller dumpning. I varje punkt spills ett sediment som har vissa sedimentegenskaper knutna till sig; *torrdensitet, kompaktdensitet, kritisk bottenkjuvspänning för sedimentation* och *partikelstorlek*. Erosion beräknas inte i modellen.

Omfattningen av muddring/dumpning är för olika platser av mycket olika omfattning. Vid somliga områden förväntas arbetstiden uppgå till några timmar medan det vid andra platser fordras aktivitet under flera veckor. Likaså skiljer sig bottenmaterialets karaktär något mellan olika områden. Det är inte beräkningstekniskt rimligt att simulera spill från samtliga muddrings- och dumpningsområden, och inte heller nödvändigt då det vid vissa områden ska muddras små volymer eller grovt bottenmaterial. För att renodla beräkningsmetodiken införs därför vissa typer av förenklingar och generaliseringar. I kommande avsnitt presenteras hur dessa förenklingar utförts.

Under uppdragstiden har det skett justeringar av muddringsbehov både sett till volym och muddringshastighet. Tidigt utförda spridningsberäkningar har använts som underlag för diskussioner. Olika muddringstekniker har diskuterats, vilka bland annat skiljs åt av den hastighet med vilken muddring sker. I tillståndsansökan och till MKB har de uppgifter som visas i Figur 14 och Tabell 3 använts. För de flesta platser har muddringshastigheten antagits 6000 m³/dygn, men 14000 m³/dygn såväl som 1500 m³/dygn förekommer.



Figur 14. Föreslagen farledsytan samt muddringsområden, beräknade muddringsvolymer och muddringens varaktighet.



Figur 15. Översikt över utredda dumpningsområden i Mälaren och Södertälje kanal (Sjöfartsverket, 2014)

Tabell 3. Beräknade muddringsvolymen och muddringens varaktighet.

Delområde	Vattenförekomst	Volym	Hastighet (m ³ /dygn)	Effektiv varaktighet, skattad
Galten	Galten	350 000	14 000	1 månad
Galtryggen		2600	6 000	<1 dygn
Kvicksund		10 000	6 000	2 dygn
Blacken	Blacken	400	6 000	<1 dygn
Fulleröfjärden	Blacken / Västeråsfjärden	80 000	6 000	2 veckor
Aggarö	Granfjärden	8000	6 000	1-2 dygn
Hästkär	Gisselfjärden / Granfjärden	10 000	6 000	1-2 dygn
Tedarö	Oxfjärden	80 000	6 000	2 veckor
Totalt Mälaren		540 000		ca 2 månader
Norra kanalen ^A		70 000	1 500	6 veckor
Södra Kanalen		60 000	1 500	6 veckor
Igelstaviken		50 000	5 000	10 dygn
Totalt Södertälje		180 000		ca 3 månader

A. inkl. Linasundet

I avsnitt 6.5.1 presenteras hur planerade muddrings- och dumpningsområdena representeras i simuleringarna och hur bottenmaterialet har kategoriserats. I avsnitt 6.5.1.4 presenteras vilka källor med muddrings- och dumpningsområden som ingår i beräkningarna, och i avsnitt 6.5.2 presenteras vilka beräkningsfall som har simulerats.

6.5.1 Generalisering av muddrings- och dumpningsområden

För att renodla beräkningsmetodiken har närliggande områden generaliserats och grupperats, och några områden har exkluderats (se avsnitt 6.5.1.1). Vidare har mängden sediment som spills vid muddring och dumpning generaliserats utifrån muddringshastighet och antaganden om hur många

procent av den muddrade volymen som spills (se avsnitt 6.5.1.2). I avsnitt 6.5.1.3 presenteras hur sedimentsutsläppens varaktighet har generaliserats vid muddrings – respektive dumpningsområden, och i 6.5.1.4 presenteras egenskaperna för de två sedimenttyperna som ingår i beräkningarna.

6.5.1.1 Generalisering och gruppering av närliggande områden

Generaliseringen av vilka muddrings- och dumpningsområden som beskrivs i simuleringarna och vilka som kan aggregeras till ett område har gjorts utifrån en sammanvägning av vilken typ av sediment som ska muddras/dumpas i respektive område och hur stor volym som ska muddras/dumpas, samt de lokala strömningsförhållandena på platsen. Spridning av mudderspill simuleras för de områden där fina sediment d.v.s. ler och finsilt, exempelvis gyttjelera, lera och lersand. Fina partiklar som lätt går i suspension kan transporteras långa sträckor i vattnet.

- Exkludering av områden har skett om bottenmaterialet är grovt (sand/grus), om arbetsmetoden är sprängning eller om muddringsvolymen är mindre än några tusen m³. Spridning från dessa områden ingår inte i simuleringarna.
- Områden som ligger nära varandra, där små volymer ska muddras och bottenmaterialet är liknande har generaliserats i simuleringarna och representeras med spill från ett och samma område. Undantaget är om de lokala strömförhållanden är komplexa som t.ex. i områden med mycket öar och sund, då simuleras spridning för var och ett av muddringsområdena.
- I Galten där stora delar av farleden muddras sprids spill från muddring snarare från en större arbetsyta än från ett enskilt område. För att efterlikna detta simuleras muddringen i Galten i ett antal områden längs med farleden, så att ett muddringsområde delas upp i flera områden och representeras av flera punktkällor.

6.5.1.2 Mängden spill vid muddring och dumpning

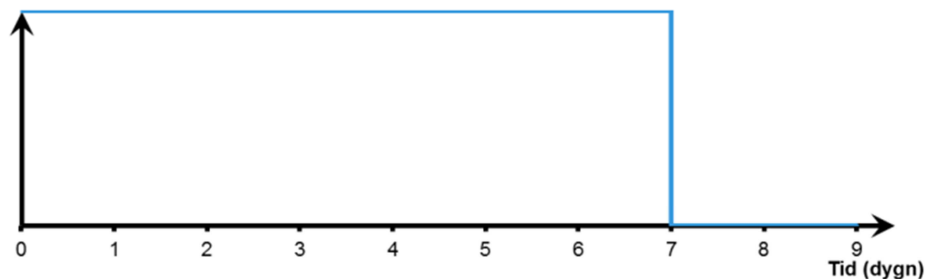
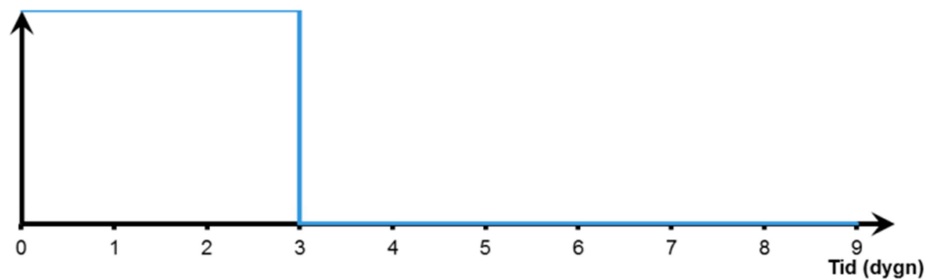
Mängden suspenderat sediment som tillförs modellen i varje muddrings- och dumpningsområde beror på hur stor procent av det muddrade materialet som spills, muddringshastigheten och hur stor volym som ska muddras i respektive område. Utifrån dessa värden beräknas ett flöde och en koncentration av mudderspill som ansätts i en gridcell i beräkningsmodellen vid respektive muddrområde. Vid dumpningsområden antas att 5 % av materialet spills och att spill sker i hela vattenkolumnen. Spillet ansätts i en gridcell i beräkningsmodellen.

Utifrån uppgifter om muddringshastighet beräknas ett flöde och en koncentration av mudderspill som ansätts vid respektive muddrings- och dumpningsområde.

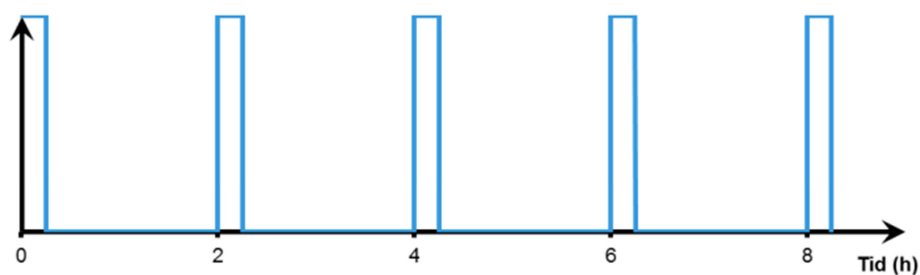
6.5.1.3 Varaktighet av muddring och dumpning

Den tid som spill från muddring pågår varierar med den volym som muddras och muddringshastighet. Generalisering av arbetstiden har skett genom att överslagsmässigt översätta den volym som ska muddras till effektiv tid. Varje simulering av muddring/dumpning avslutats med att även simuleras ytterligare två dygn utan att något ytterligare spill tillförs modellen. Genom att simulera två extra dygn är det möjligt att se hur koncentrationen av mudderspill i vattenmassan avklingar samt att låta suspenderade sediment sedimentera på botten.

- Vid muddring antas i beräkningarna att spill sker kontinuerligt under den period som muddring pågår (se Figur 16). Arbetstiderna är olika långa beroende på hur stor volym som ska muddras.
- Vid dumpning antas i beräkningarna att spill sker som pulsutsläpp eftersom dumpning inte pågår kontinuerligt utan en pråm tömmer bottenmaterialet i intervaller (se Figur 17).
- I beräkningarna har simuleringstiden ansatts som längst till 9 dygn, varav 7 dygn med spill från muddring/dumpning och därefter 2 dygn utan spill.
- För Galten där den planerade muddringsvolymen är av en annan storleksordning har kompletteraden simulering utförs som en känslighetsanalys, se avsnitt 6.5.3.2. Denna behandlar frågeställningar kring varaktighet och muddringshastighet.



Figur 16. Utsläpp av sediment från muddringsområden där aktiviteten har olika längd. Arbetstiden varierar vid olika muddringsområden beroende på vilken volym som ska muddras.



Figur 17. Pulsutsläpp vid dumpningsplatser. Arbetstiden varierar vid olika dumpningsområden beroende på vilken volym som ska dumpas.

6.5.1.4 Kategorisering av bottenmaterial

Två olika typer av sediment används i beräkningarna, en gyttjelera och en lersand, se Tabell 4. Kategoriseringen av sedimenten har gjorts utifrån uppmätta torr- och kompaktdensiteter och partikelstorlekar i muddringsområdena. Ett stort antal mätningar av kornstorleksfördelning har genomförts (WSP, 2014b). Uppgifter om kritisk bottenskjuvspänning för sedimentation finns i PM kritisk bottenskjuvspänning (se Referenslistan), med hjälp av Stokes lag beräknas sjunkhastigheten för en partikel.

Tabell 4. Egenskaper för de två sedimenttyperna som kommer ingå i simuleringarna.

Sedimentparameter	Gyttjelera	Lersand
Torrdensitet (bulkdensitet)	400 kg ts* /m ³	800 kg ts/m ³
Kompaktdensitet	2500 kg ts /m ³	2500 kg ts/m ³
Kritisk bottenskjuvspänning för sedimentation	0,011 Pa	0,011 Pa
Partikelstorlek	8 µm	8 µm

*ts förkortning för torrsubstans.

6.5.2 Simulerade källor med mudderspill

Förenklingsarna som presenterats under avsnitt 6.5.1 har vägts samman och resulterat i ett urval av muddrings- och dumpningsområden som ingår i simuleringarna av spridning av mudderspill. Detaljer presenteras i Tabell 5. I anslutning till tabellerna finns bilder (WSP, 2014a) som visar läget för utredningsområden för dumpning samt för åtgärds punkter, se Figur 18-Figur 25.

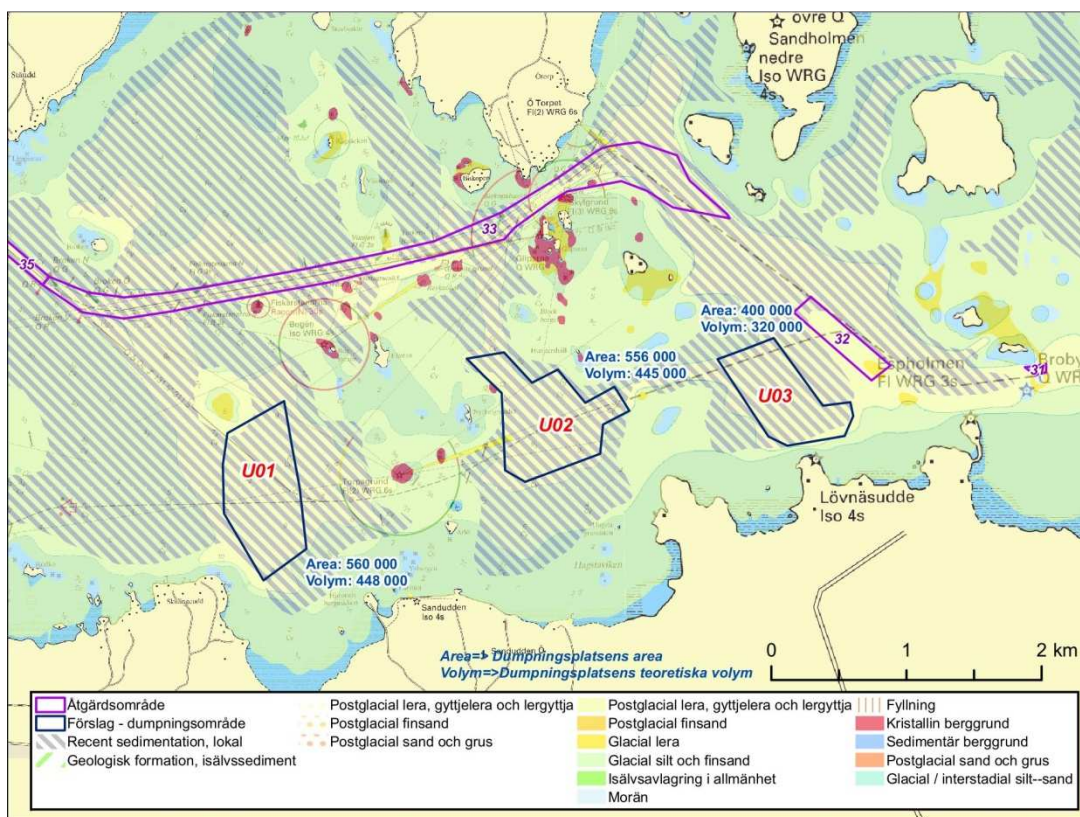
I tabellerna representeras varje simulerad muddrings- och dumpningsområde som en rad. I första kolumn anges vilket områdesnummer i kartor som representeras av vilket område i simuleringarna som anges i andra kolumnen (se Bilaga 11.1). Tredje kolumnen anger den sedimenttyp som simuleras i respektive område (se Tabell 4). Fjärde kolumnen anger den totala muddrings- och dumpningsvolymen för respektive område och i femte kolumnen anges den tid som muddring/dumpning pågår i simuleringarna. Antal dygn med spill skiljer sig mellan olika områden beroende på att volymen som ska muddras/dumpas är olika, dock är muddringshastigheten alltid den samma för alla fall i Mälaren. I de fall då den förväntade arbetstiden för muddring är längre än den tidsperiod som simulerats kommenteras detta.

I vart och ett av de områden som presenteras i kolumnen med rubriken Område i spridningsmodellering kommer ett flöde och en koncentration av mudderspill ansättas i hela vattenkolumnen. Vi tar ett exempel med delmodellen Aggarön- östra Stallholmen (se Tabell 7), där kommer det vara möjligt att i resultaten se spridning och koncentration av mudderspill från vart och ett av områdena 9/10, 11,12, 13 och 14. Område 9 och 10 har i beräkningarna grupperats och spill från dessa områden simuleras som ett område.

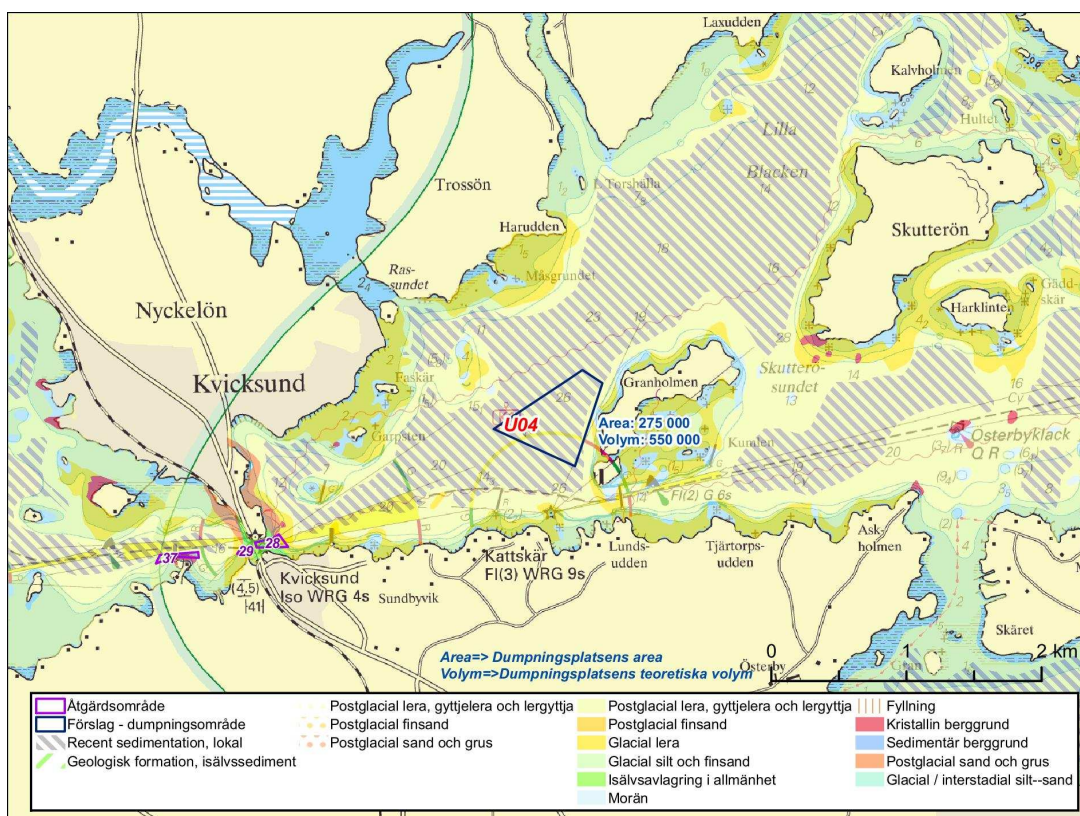
*Tabell 5. Muddrings- och dumpningsområde som ingår i spridningssimuleringar för **delmodellen mellan Köping - Ångholmen**. Delmodellen täcker in arbetsområdet Galten. Antal dygn med spill skiljer sig mellan olika områden beroende på att volymen som muddras/dumpas varierar, dock är muddringshastigheten alltid densamma, 14000 m³/dygn*

Områdesnummer	Område i simuleringar	Sedimenttyp	Total muddringsvolym (m ³)	Antal dygn med spill av sediment
<i>Muddring</i>				
35, 32	35, 35b (S Broken), 35c (S Vässman)	Gyttjelera	60 000	5 dygn
33	33a, 33b ,33c	Gyttjelera	300 000	21 dygn (7 dygn per punkt)
<i>Dumpning</i>				
U02 Galten	U02	Gyttjelera	60 000 + 300 000	26 dygn

Spridningsberäkningarna baseras på hantering av 360 000 m³ sediment, dvs samma som redovisats i tillståndsansökan och MKB, se Tabell 3.



Figur 18. Placering av åtgärdsområden och utredda dumpningsområden i Galtén (från WSP 2014a).



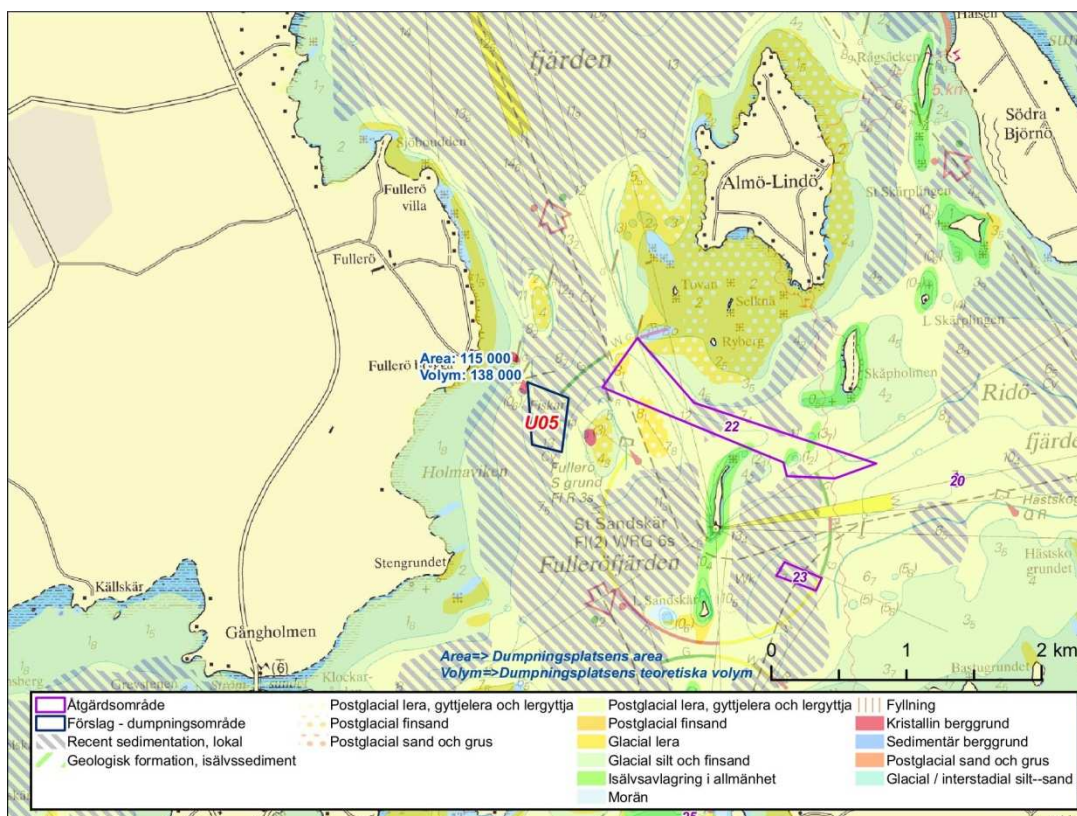
Figur 19. Placering dumpningsområden U04 (från WSP 2014a).

Tabell 6. Muddrings- och dumpningsområde som ingår i spridningssimuleringar för **delmodellen mellan Kvicksund – St. Långholmen**. Delmodellen täcker in arbetsområden Fulleröfjärden och Aggarön. Antal dygn med spill skiljer sig mellan olika områden beroende på att volymen som muddras/dumpas varierar, dock är muddringshastigheten alltid den samma 6000 m³/dygn.

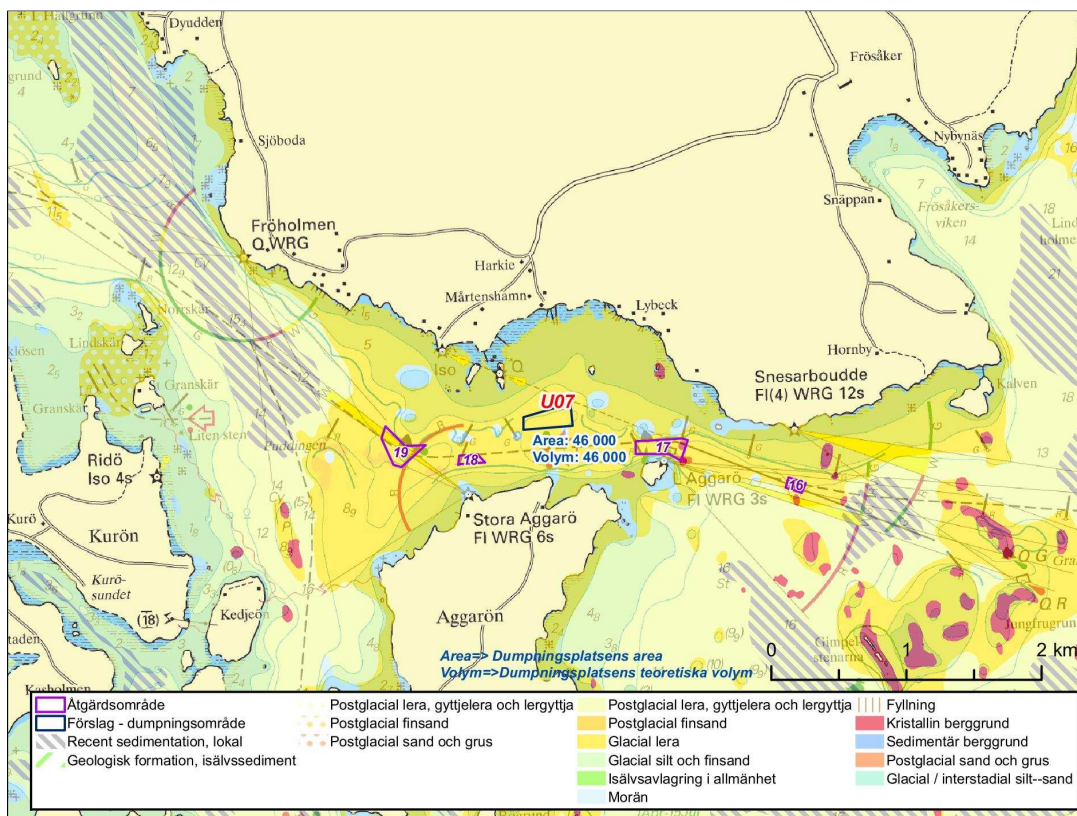
Områdesnummer	Område i simuleringar	Sedimenttyp	Total muddringsvolym (m ³)	Antal dygn med spill av sediment
<i>Muddring</i>				
21, 22	21	Gyttjelera	80 000	7 dygn
24, 25	24	Lersand	4000	1 dygn
16,18,19+19A	18	Lersand	5000	1 dygn
<i>Dumpning</i>				
U05 Fulleröfjärden *	U05	Gyttjelera, lersand	80 000 + 4000	7 dygn
U07 Aggarön	U07	Lersand	5000	1 dygn

*U05 är inte längre aktuellt som dumpningsområde och redovisas inte under Resultat.

Arbetstiden för muddring vid M21/M22 förväntas uppgå till ca två veckor, vilket alltså är längre tid än vad som simulerats. Detta påverkar företrädesvis depositionen i högre grad än koncentrationen suspenderat sediment i vattnet. Spridningsberäkningarna baseras på hantering av ca 89 000 m³ sediment, dvs i samma storleksordning som redovisats i tillståndsansökan och MKB (80 400 m³), se Tabell 3.



Figur 20. Placering av atgärdsområden och utredda dumpningsområden vid Fulleröfjärden (från WSP 2014a).

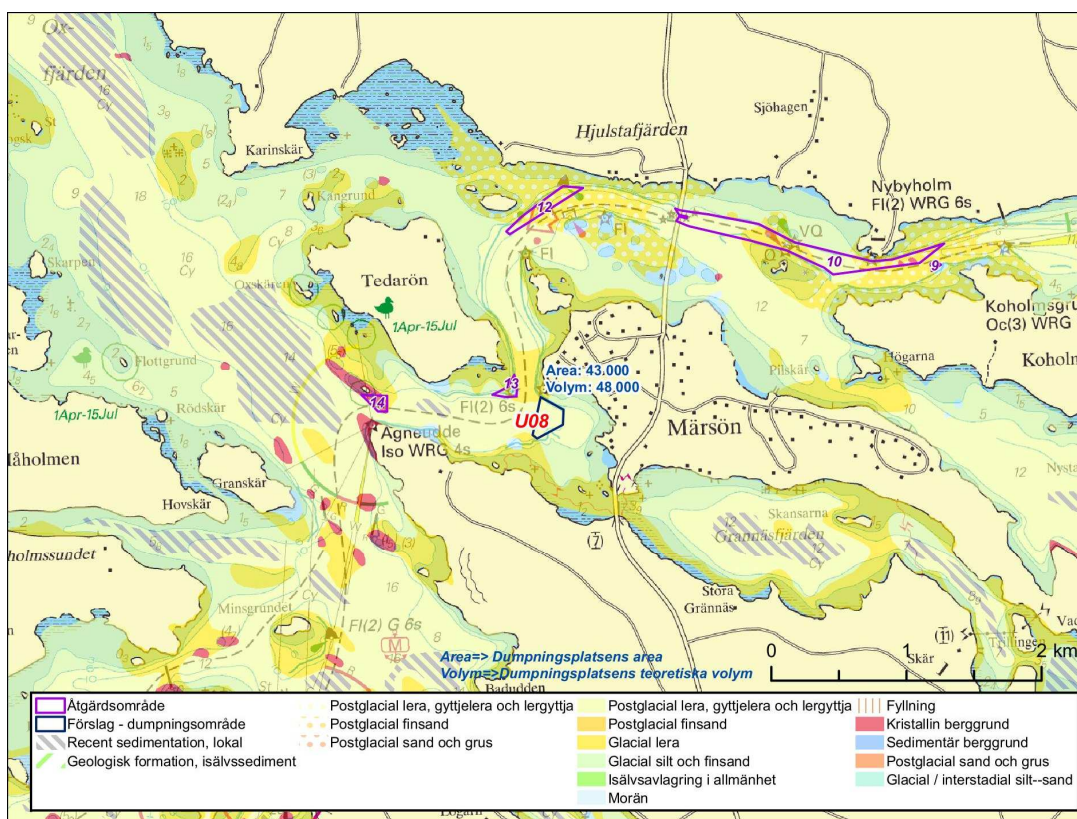


Figur 21. Placering av åtgärdsområden och utredda dumpningsområden vid norra Aggarö (från WSP 2014a).

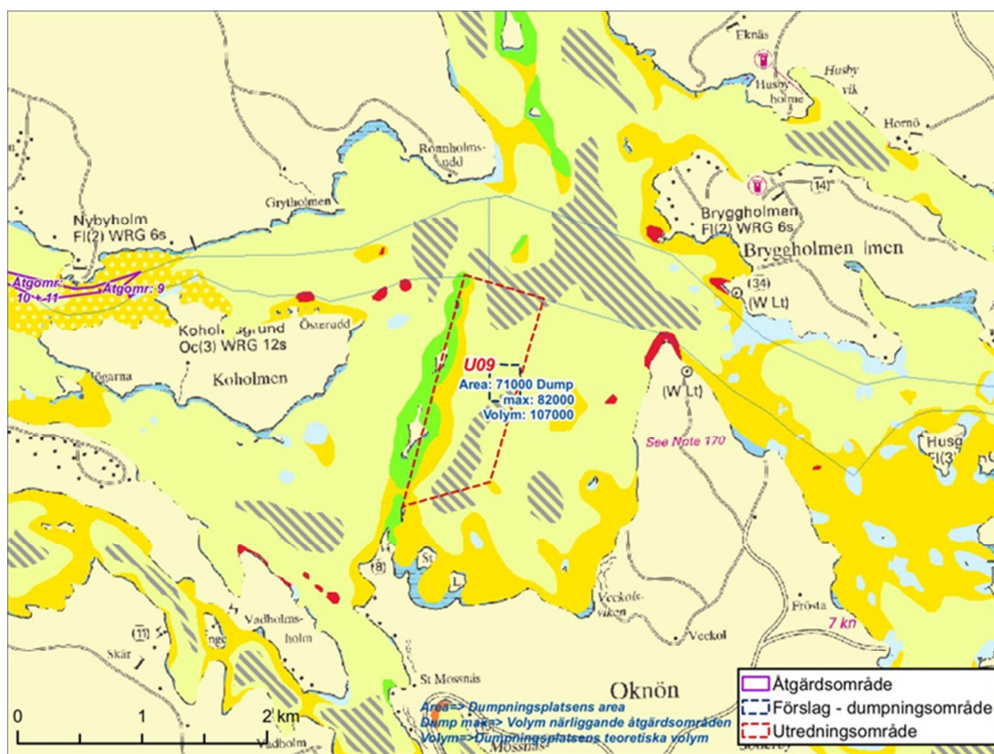
Tabell 7. Muddrings- och dumpningsområden som ingår i spridningssimuleringar för delmodellen mellan Aggarön – östra Stallholmen. Delmodellen täcker in arbetsområden runt Tedarön och Hjulstabron. Antal dygn med spill skiljer sig mellan olika områden beroende på att volymen som muddras/dumpas varierar, dock är muddringshastigheten alltid den samma, 6000 m³/dygn.

Områdesnummer	Område i simuleringar	Sedimenttyp	Total muddringsvolym (m ³)	Antal dygn med spill av sediment
<i>Muddring</i>				
9, 10	9	Lersand	10 000	1,5 dygn
11	11	Gyttjelera	30 000	5 dygn
12	12	Lersand	2000	7 timmar
13	13	Gyttjelera	30 000	5 dygn
14	14	Gyttjelera	2000	7 timmar
<i>Dumpning</i>				
U08 Tedarön	U08	Lersand, gyttjelera	2000 + 30 000 + 2000	6 dygn
U09 Oknöfjärden	U09	Lersand, gyttjelera	10 000 + 30 000	6 dygn

Spridningsberäkningarna baseras på hantering av ca 74 000 m³ sediment, vilket är av samma storleksordning som redovisats i tillståndsansökan och MKB (80 000 m³), se Tabell 3.



Figur 22. Placering av åtgärdsområden och utredda dumpningsområden vid Tedarö (från WSP 2014a).

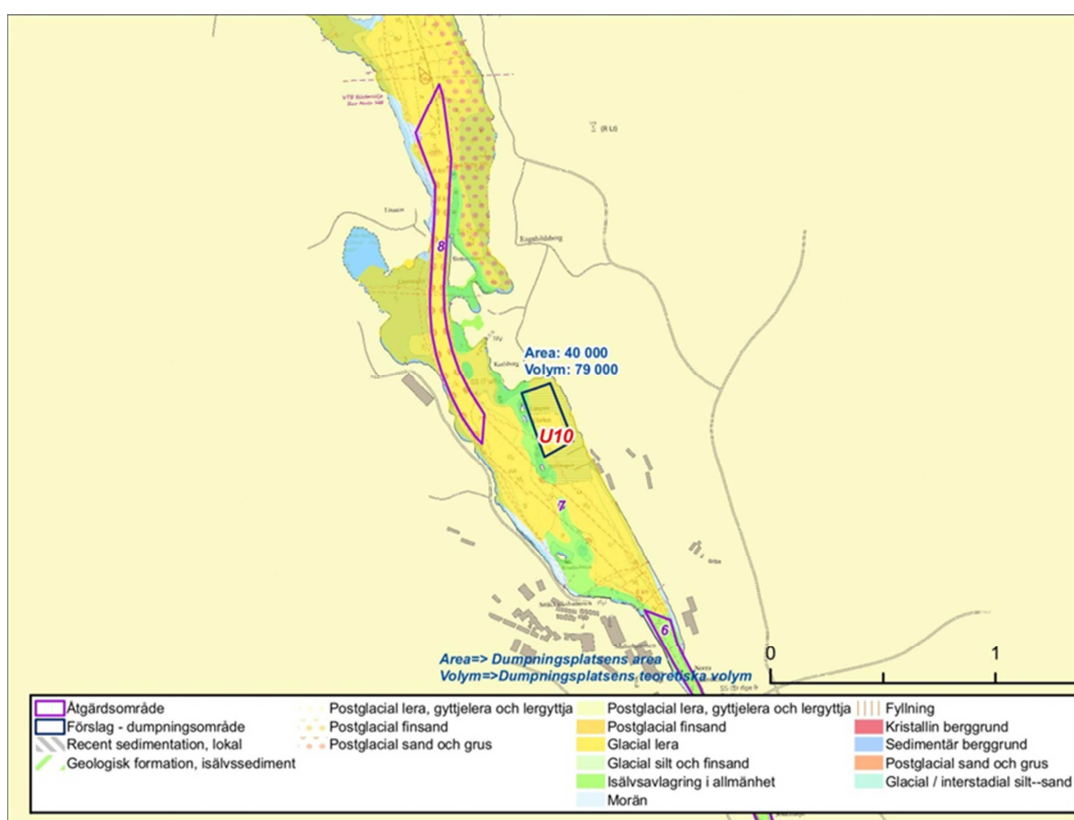


Figur 23. Placering av åtgärdsområden och utredda dumpningsområden vid Oknö (från WSP 2014a).

Tabell 8. Muddrings- och dumpningsområden som ingår i spridningssimuleringar för **delmodellen mellan Adelsön – norra kanalen**. Delmodellen täcker in arbetsområden i Linasundet och Ragnhildsborgsviken. Muddringshastigheten har antagits 6000 m³/dygn.

Områdesnummer	Område i simuleringar	Sedimenttyp	Total muddringsvolym (m ³)	Antal dygn med spill av sediment
<i>Muddring</i>				
8	8	Lersand	8000	1,5 dygn
<i>Dumpning</i>				
U10 Ragnhildsborgsviken	U10	Lersand	8000	1,5 dygn

Spridningsberäkningarna baseras på hantering av ca 8000 m³ sediment, dvs i samma storleksordning som redovisats i tillståndsansökan och MKB (12 000 m³), se Tabell 3 och underlagsrapporten om masshantering (WSP, 2014a). Även grövre material kommer dumpas i dumpningsområde U10 men detta har ej simulerats med avseende på grumling.

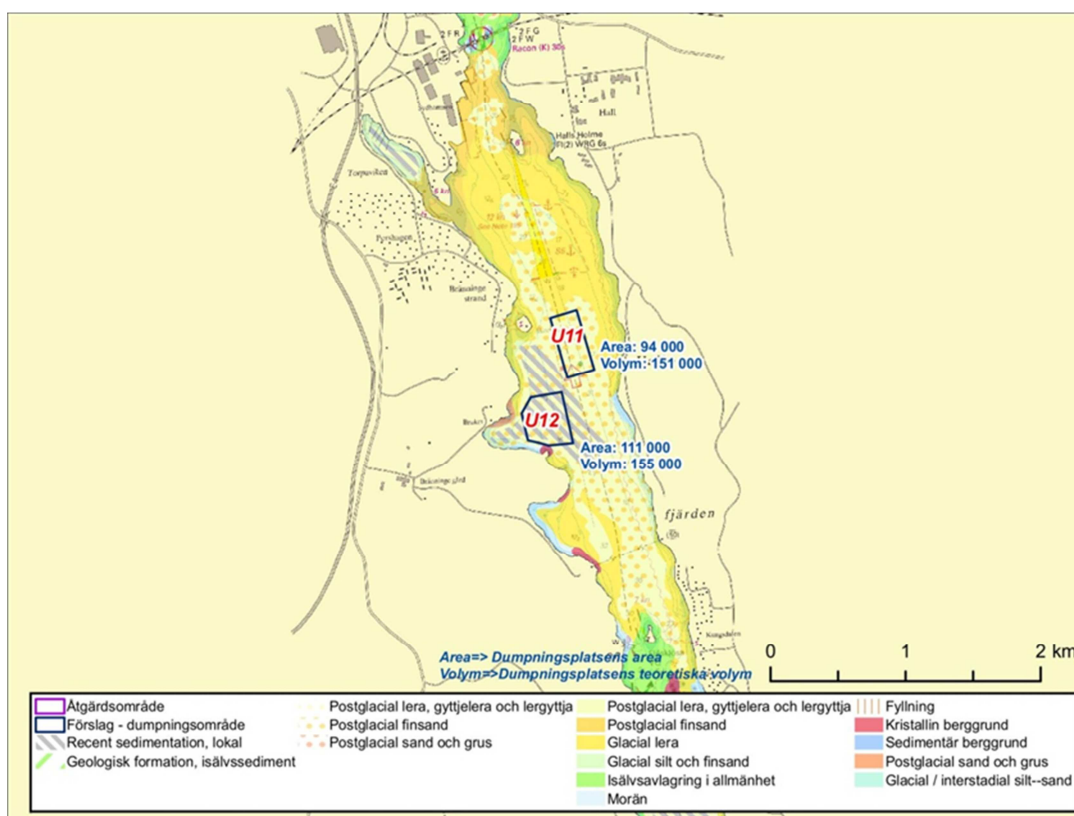


Figur 24. Placering av åtgärdsområden och utredda dumpningsområden vid Linasundet. (från WSP 2014a)

Tabell 9. Muddrings- och dumpningsområden som ingår i spridningssimuleringar för delmodellen mellan södra kanalen - Sandviken. Delmodellen täcker in arbetsområden södra kanalen, Igelstaviken och Hallsfjärden. Antal dygn med spill skiljer sig mellan olika områden

Områdesnummer	Område i simuleringar	Sedimenttyp	Total muddringsvolym (m ³)	Antal dygn med spill av sediment
<i>Muddring</i>				
1	1	Gyttjelera	30 000	5,1 dygn
3	3	Lersand	60 000	7 dygn
<i>Dumpning</i>				
U12 Hallsfjärden	U11/U12	Gyttjelera, lersand	30 000 + 60 000	7 dygn

Spridningsberäkningarna baseras på hantering av ca 90 000 m³ sediment, dvs i samma storleksordning som redovisats i tillståndsansökan och MKB (110 00 m³), se Tabell 3.



Figur 25. Placering av utredda dumpningsområden i Södertälje kanal. Åtgärdspunkterna på sträckan framgår inte av bilden (från WSP 2014a).

6.5.3 Simulerade fall

Avsikten med simuleringarna är att genom ett antal typfall beskriva spridningsvägar och koncentration av mudderspill under naturliga förhållanden. Vid val av beräkningsfall har vi utgått från att resultaten ska visa dels hur spridningsbilden ser ut då arbeten pågår under en period med växlande vindhastighet och vindriktning (dynamiska förhållanden), detta eftersom det vid flera av muddringsområdena kommer pågå arbeten under en tid som är längre än vad man kan förväntas sig att konstanta vindförhållanden råder. Simuleringar har också gjorts för ett s.k. kallat värsta fall då vinden under en period blåser från ett och samma håll och med samma relativt höga styrka (stationära förhållanden). De värsta fallen har tagits fram genom en varaktighetsanalys av vindar i den riktning som bedöms vara särskilt ogynnsam för varje område.

Under avsnitt 6.5.3.1 presenteras förutsättningarna för de beräkningar som kan kallas för typfall. Under projektets gång har det efter hand framkommit mer information i några områden som gjort att muddervolymer justerats och beräkningarna har därför kompletterats med ny information. Till exempel har känslighetsanalyser genomförts av muddringshastighet och temperaturskiktning, och några beräkningar har gjorts med syfte att ta fram bottenskjuvspänningar för kraftiga vindar med kort varaktighet. Dessa simuleringar presenteras i avsnitt 6.5.3.2.

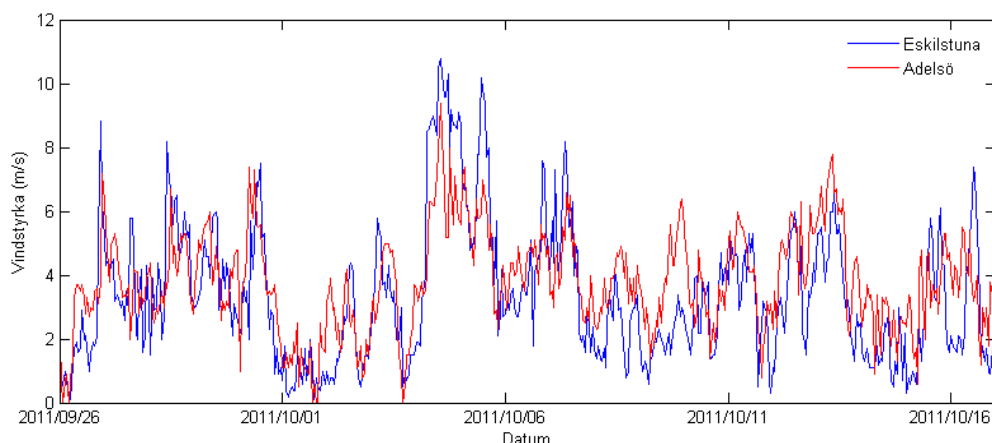
I bilagorna 1-6 presenteras samtliga beräkningar som genomförts inom projektet. I bilaga 1 presenteras resultaten från kompletterande körningar i projektet rörande spill från dumpning av muddermassor vid område U02 i Galten och U04 strax öster om Kvicksund.

6.5.3.1 Simulerade typfall

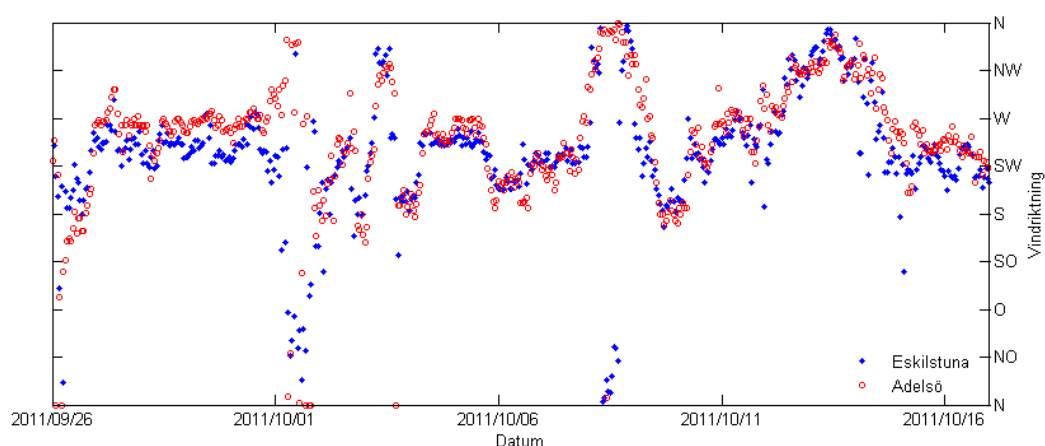
Beräkningsmodellen drivs av vinden över området och tillflöden från de fem största vattendragen. Följande förhållanden har använts för vindar och tillflöden:

- I varje delmodell har spridning, utspädning och deposition av mudderspill simulerats för en dynamisk situation då vindriktning och vindhastighet varierar under en vecka. En sådan simulering ger en bild av hur spridning och utspädning skulle kunna se ut under vanligt förekommande förhållanden.
- För delmodellerna i Mälaren har också en stationär situation simulerats då vindriktning och vindhastighet är konstanta under ett antal dygn. Detta för att simulera ett s.k. värsta fall för respektive delmodell. För varje delmodell har en analys av vilken vindriktning som är mest ogynnsam med avseende på känsliga områden gjorts. Vindhastigheter från den mest ogynnsamma vindriktningen har sedan analyserats med avseende på varaktighet för att hitta en kraftig vind som samtidigt har en viss varaktighet (längre än någon timme).
- Tillflödet från de fem största åarna som mynnar i Mälaren (Arbogaån, Kolbäcksån, Eskilstunaån, Fyrisån och Hedströmmen) sattes till medelflödet. Flödet från Södertälje kanal har i beräkningarna satts till $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$.
- I Mälaren är vattnet oskiktat med avseende på temperatur. I området söder om Södertälje kanal och sluss finns en svag temperatur och saltgradient för de tidsperioder som simulerats.

För de **dynamiska beräkningarna** har en tidsperiod med växlande vindhastighet och vindriktning hämtats från vindmodellen. Det finns variationer i både vindhastighet och vindriktning, men inga extremt låga eller höga vindhastigheter. Den period som valts ut är perioden mellan 26 september 2011 och 16 oktober 2011. Perioden valdes just eftersom det är en period med växlande vindförhållanden, både höga och låga vindhastigheter och växlande vindriktning. Perioden kan ses som någon slags normalperiod. Dynamiska simuleringar med spill från muddring och dumpning har gjorts under som längst 7 dygn. I Tabell 5-Tabell 9 redovisas simuleringstiden med spill för respektive muddrings-/dumpningsområde) under denna period följt av 2 dygn utan spill, dvs. total simuleringstid är maximalt 9 dygn. I Figur 26 och Figur 27 visas de vindar som rådde under perioden. Vindhastigheten varierar mellan cirka 1 och 10 m/s med kraftigast vindar i mitten av perioden. Medelvindhastigheten under perioden är cirka 3,5 m/s. Under den större delen av perioden blåste det vindar från sydväst. Mot slutet av perioden var vindriktningen mer nordnordvästlig under några dagar.



Figur 26. Vindhastighet vid SMHI:s mätstationer Eskilstuna och Adelsö under perioden 110926 - 111016.



Figur 27. Vindriktning vid SMHI:s mätstationer vid Eskilstuna och Adelsö under perioden 110926 - 111016.

Vid val av **stationära vindriktningar** har vi utgått från vilken vindriktning som är den mest ogynnsamma med tanke på känsliga områden i respektive delmodell. De utvalda känsliga områden som tagits hänsyn till i bedömningen är; vattenintagen utanför Västerås och Bastmora, samt Natura2000-områdena vid Strömsholm och Engsö. För att hitta realistiska scenarion med avseende på vindhastigheten har en varaktighetsanalys gjorts för den aktuella vindriktningen. Varaktighetsanalysen visar under hur lång sammanhängande tidsperiod vinden verkar från en viss vindriktning. Vinddata från SMHI:s mätstation vid Eskilstuna mellan åren 2008 – 2011 har använts i analysen.

- För delmodellerna Köping – Ängholmen och Kviksund – St. Långholmen är sydvästliga vindar de som kan anses som mest ogynnsamma. För delmodellen Aggarön – östra Stallholmen är vindar från sektorn nordost-ost-sydost de vindar som kan anses mest ogynnsamma, och vindar från sektorn sydväst-syd-sydost för delmodellen Bornhuvud – norra Södertälje kanal.
- Varaktighetsanalysen visar att vindhastighet för en sydvästlig vind med en varaktighet på 24 timmar är 4,8 m/s. Vindhastigheten för en sydvästlig vind med varaktigheten 48 timmar är 1,8 m/s. Det betyder att den högsta vindhastigheten som under 48 sammanhängande timmar blåser från sydväst är 1,8 m/s. Detta är en mycket svag vind och i simuleringarna ansattes därför den vindhastighet som har en varaktighet på 24 timmar, 4,8 m/s. Detta ger ett något mer konservativt scenario. Vindhastigheten för en nordostlig vind med varaktigheten 24 timmar 5,8 m/s.

- I samtliga stationära beräkningar ansätts tiden med spill till 2 dygn, och därefter simuleras ytterligare 2 dygn utan spill för att se hur koncentrationerna av suspenderat sediment avklingar, dvs. den totala simuleringstiden är 4 dygn. Detta gäller oavsett hur lång muddringstid som anges i. Tabell 5 och Tabell 9

I Tabell 10 presenteras den vindriktning och vindhastighet som använts vid de stationära beräkningarna för delmodellerna i Mälaren. I Tabell 11 visas frekvenser av uppmätta vindar i olika intervall vid SMHI:s mätstation Eskilstuna 2008-2011. Den vanligast förekommande vindriktningen är sydvästlig och därefter västlig. Vanligaste vindstyrkan är 2-3,9 m/s. Starka vindar över 12 m/s är ovanliga.

Tabell 10. Vindriktning och vindhastighet som använts vid de stationära beräkningarna för delmodellerna Köping – Ängholmen, Kvicksund – St. Långholmen, Aggarön – östra Stallholmen och Bornhuvud – norra Södertälje kanal.

Delmodell	Vindriktning	Vindhastighet (m/s)
Köping – Ängholmen	Sydvästlig	4,8 m/s
Kvicksund – St. Långholmen	Sydvästlig	4,8 m/s
Aggarön – östra Stallholmen	Nordostlig	5,8 m/s
Bornhuvud – norra Södertälje kanal	Sydvästlig	4,8 m/s

Tabell 11. Frekvens (%) av uppmätta vindar vid Eskilstuna 2008-2011. Växlande vindar redovisas under riktningen lugnt.

Vindriktning	Vindhastighet (m/s)								Frekvens % av tiden
	0-1,9	2-3,9	4-5,9	6-7,9	8-9,9	10-11,9	12-13,9	14-15,9	
Lugnt	3.35	0.11	0.07		0.01				3.55
N	1.69	3.86	2.22	0.47	0.10				8.33
NE	2.65	6.07	2.48	0.55	0.44	0.01			11.80
E	2.98	4.73	1.71	0.17	0.01				9.6
SE	3.93	2.46	0.11						6.5
S	5.50	5.22	0.43						11.15
SW	8.78	10.72	6.08	2.43	0.82	0.21	0.05		29.08
W	2.01	3.84	3.48	1.97	0.94	0.20	0.06	0.01	12.51
NW	1.70	3.03	1.87	0.73	0.10	0.02	0.01		7.48
Frekvens % av tiden	32.59	40.07	18.44	6.33	2.01	0.44	0.12	0.01	Summa: 100

6.5.3.2 Tillkommande simuleringar

Utöver de typfall av stationära- resp dynamiska situationer som simulerats har några **känslighetsanalyser** utförts.

- **Känslighetsanalys av muddringshastighet i Galten** (delmodell Köping – Ängholmen). Syftet med simuleringen är att jämföra spridning och koncentration för olika muddringshastigheter. Muddringshastigheten 14 000 m³/dygn har jämförts med muddringshastigheten 6000 m³/dygn. Jämförelse har gjorts för muddringsspunkt 33 i Galten under stationära förhållanden.
- **Känslighetsanalys bottenskujuvspänning i Galten** (delmodell Köping – Ängholmen). En stationär simulering med kraftig vind genomfördes för Galten, samma simulering gjordes

sedan med 15 % uppfyllnad av botten i utredningsområdena för dumpningsområdena, U01 och U02. Syftet är att ta fram ett värsta fall (kraftig vind med relativ kort varaktighet) för botten-skjuvspänningar både innan och efter uppfyllnad av dumpningsområdena. Det simuleras inget spill från muddring och dumpning eftersom syftet är att beräkna botten-skjuvspänningar. Varaktighetsanalys visar att vind från väst är den vindriktning som har högst vindhastighet för vindar med en varaktighet på 3 timmar. I simuleringen används västlig vind med hastigheten 13.4 m/s som verkar under 3 timmar.

- **Känslighetsanalys för temperaturskiktning i Blacken, Västerås- och Granfjärden** (delmodell Kvicksund – St. Långholmen). Syftet med simuleringen var att jämföra spridning och koncentration under skiktade respektive oskiktade förhållanden. Simuleringen gjordes för stationära förhållanden och med spill från område 21/22.

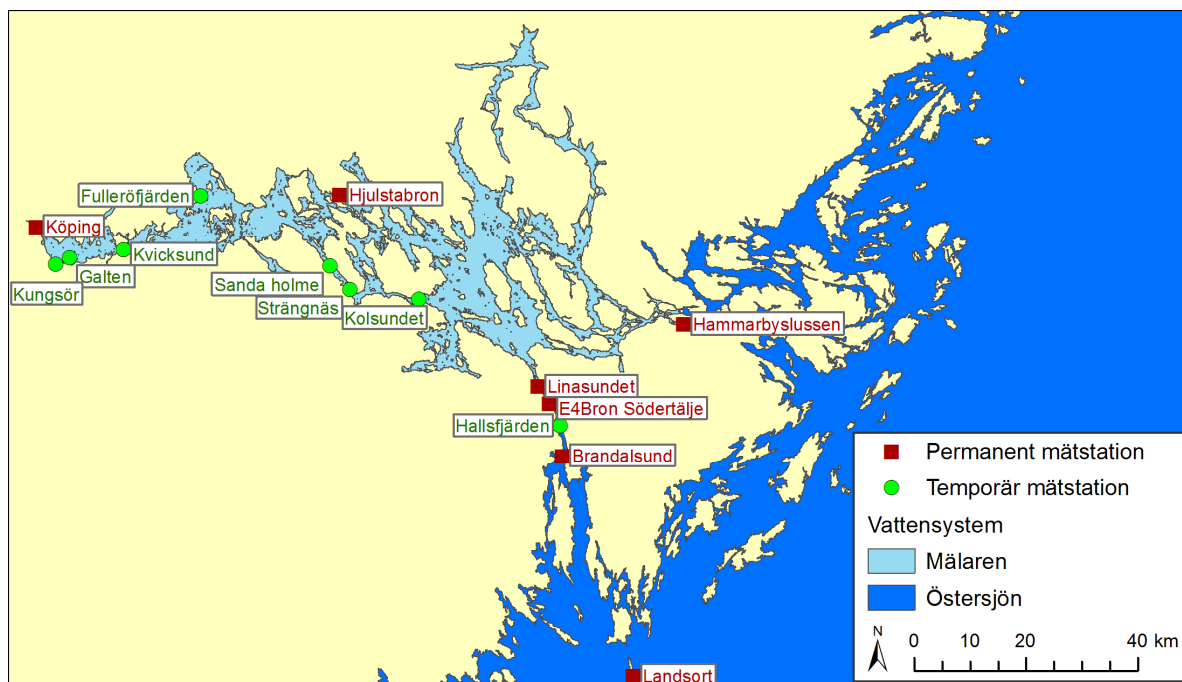
Tabell 12. Sammanställning av de simuleringar som genomförts för respektive delmodell.

Delmodell Simulering	Köping- Ångholmen	Kvicksund- St. Långholmen	Aggarön – Ö. Stallholmen	Bornhuvud – norra kanalen	Södertälje sluss - Sandviken
Dynamisk drivning 7 dygn		x	x	x	x
Stationär drivning	x	x	x	x	
Känslighetsanalys muddringshastighet	x				
Dynamisk drivning 26 dygn	x				
Kraftiga vindar, bef. djup	x				
Kraftiga vindar, 15 % uppfyllnad	x				
Känslighetsanalys skiktning		x			

6.6 Ström- och vattenståndsmätningar

På tre platser i Mälaren placerades ett ströminstrument av typen ADCP (Acoustic Doppler Profiler) ut. Instrumentet mäter strömhastighet och riktning på flera nivåer i vattenmassan från ca 0,5 m över botten och upp till ytan. Ströminstrumenten placerades ut i Kvicksund, Kolsundet och vid Sanda Holme, se Figur 28. Strömhastighet och riktning har också mätts med ADCP i tvärsnitt i tre områden i Mälaren och söder om Södertälje kanal och sluss, se Figur 29-Figur 31. Tre fasta ADCP:er placerades också ut vid dumpningsområdena i Galten, Fulleröfjärden och Halls fjärden med syfte att mäta bottenströmmar vid dumpningsområdena, se Figur 28.

De mätningar som nämnts ovan har tillsammans med vattennivåer från Sjöfartsverkets och Stockholmhamnars pegel använts för att kontrollera modellens funktion mot uppmätta strömmar och vattennivåer. Vattenstånd från Sjöfartsverkets peglar vid Köping, Hjulstabron, Linasunder och E4-bron söder om Södertälje samt från Stockholms hamnars pegel vid Hammarbyslussen och SMHI:s pegel vid Landsort är de som har använts, se Figur 28.



Figur 28. Permanenta och temporära mätstationer för vattenstånd och strömmar.

Tabell 13. Vattenståndsdata från permanenta stationer.

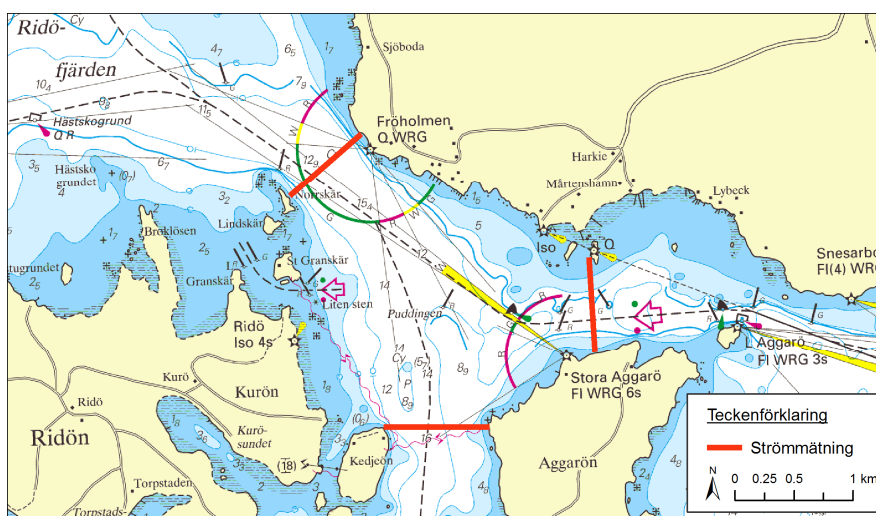
Station	Ägare	Parametrar
E4-bron Södertälje	Sjöfartsverket	Vattenstånd
Hammarbyslussen	Stockholmshamn	Vattenstånd
Hjulstabron	Sjöfartsverket	Vattenstånd
Köping	Sjöfartsverket	Vattenstånd
Landsort	SMHI	Vattenstånd
Linasundet	Sjöfartsverket	Vattenstånd

Tabell 14. Fältmätningar av strömmar och vattenstånd.

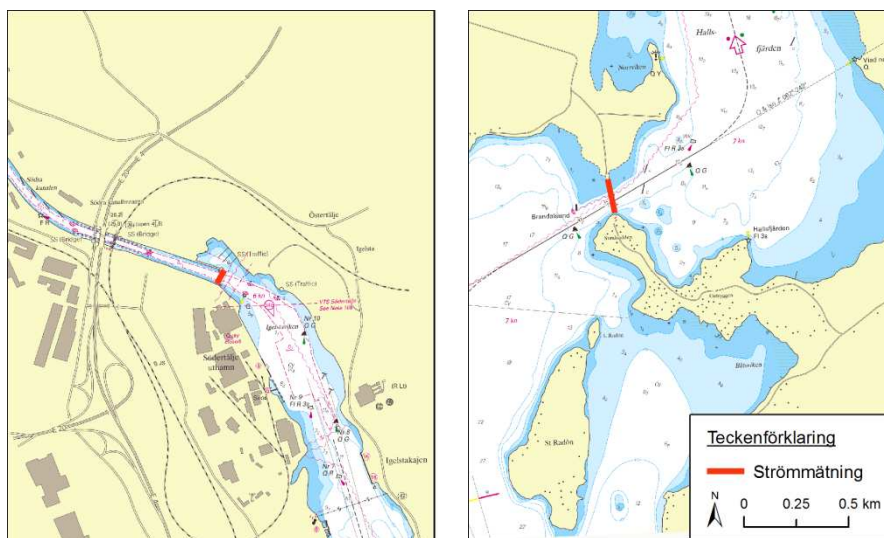
Område	Datum	Mätning
Södra Södertälje kanal – Sandviken	2012-10-18	Strömmätning i transekter -Igelstaviken -Brandalsund
Södra Södertälje kanal – Sandviken	2012-12-04	Strömmätning i transekter -Igelstaviken -Brandalsund
Södra Södertälje kanal – Sandviken	2012-10-18 2012-12-04	Mätning av bottenströmmar med temporär station -Hallsfjärden
Kvicksund – St. Långholmen	2012-10-19 2012-12-06	Mätning av bottenströmmar med temporär station -Fulleröfjärden
Köping - Ängholmen	2012-10-19 2012-12-06	Mätning av bottenströmmar med temporär station -Galten
Kvicksund – St. Långholmen	2009-11-05	Strömmätning i transekter - Granfjärden
Aggarön – Ö. Stallholmen	2012-04-19	Strömmätning i transekter -Hjulstabron
Aggarön – Ö. Stallholmen	2012-06-26 2012-06-27	Strömmätning i transekter -Hjulstabron
Aggarön – Ö. Stallholmen	2012-04-18 2012-06-27	Strömmätning med temporär station -Sanda holme
Köping - Ängholmen	2012-04-18 2012-07-04	Strömmätning med temporär station -Kvicksund
Aggarön – Ö. Stallholmen	2012-04-18 2012-06-27	Strömmätning med temporär station -Kolsundet
Aggarön – Ö. Stallholmen	2012-04-18 2012-06-14	Mätning av vattenstånd -Strängnäs
Köping - Ängholmen	2012-04-18 2012-06-14	Mätning av vattenstånd -Kungsör



Figur 29. Strömmätning vid Hjulstabron april och juni 2012.



Figur 30. Strömmätning vid Aggarön och Ridö i november 2009.

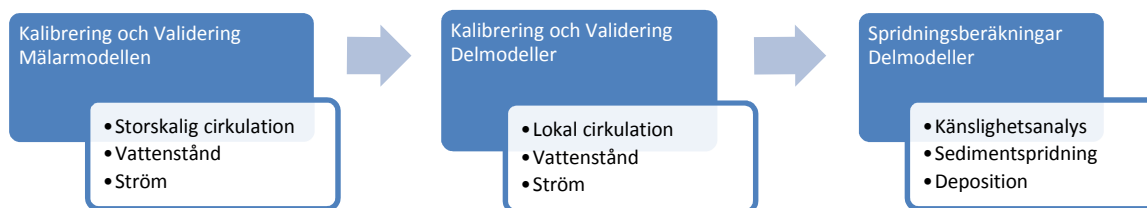


Figur 31. Strömmätning i Hallsfjärden i oktober och december 2012.

Det är fördelaktigt att mäta i sund eftersom strömhastigheterna i regel är högre genom förträngningar, vilket ger tydligare strömriktningar samt att längden på tvärsnittet inte blir så lång att avsevärda förändringar kan hinna inträffa under tiden mätningen över ett tvärsnitt genomförs.

6.7 Kontroll av modellen

När en numerisk beräkningsmodell användas för ett visst område bör alltid en kontroll av funktionen göras mot uppmätta data. Detta görs genom de två stegen kalibrering och validering. Modellen kalibreras och valideras för att återskapa de naturliga vinddrivna svängningarna av Mälarens vattenyta, och därmed även den storkaliga vinddrivna cirkulationen mellan Mälarens fjärdar. I det här fallet har beräkningar och mätningar jämförts både vad gäller strömmar och vattennivåer.



Figur 32. Kalibrerings- och valideringsmetodik för hydrodynamisk modell respektive delmodeller.

Mälarmodellen kontrolleras först mot uppmätta vattenstånd och strömmar från 2009 och 2012. När Mälarmodellen är kalibrerad och validerad genomförs nästa steg. Då valideras de fyra delmodellerna för Mälaren samt delmodellen för området söder om Södertälje kanal och sluss.

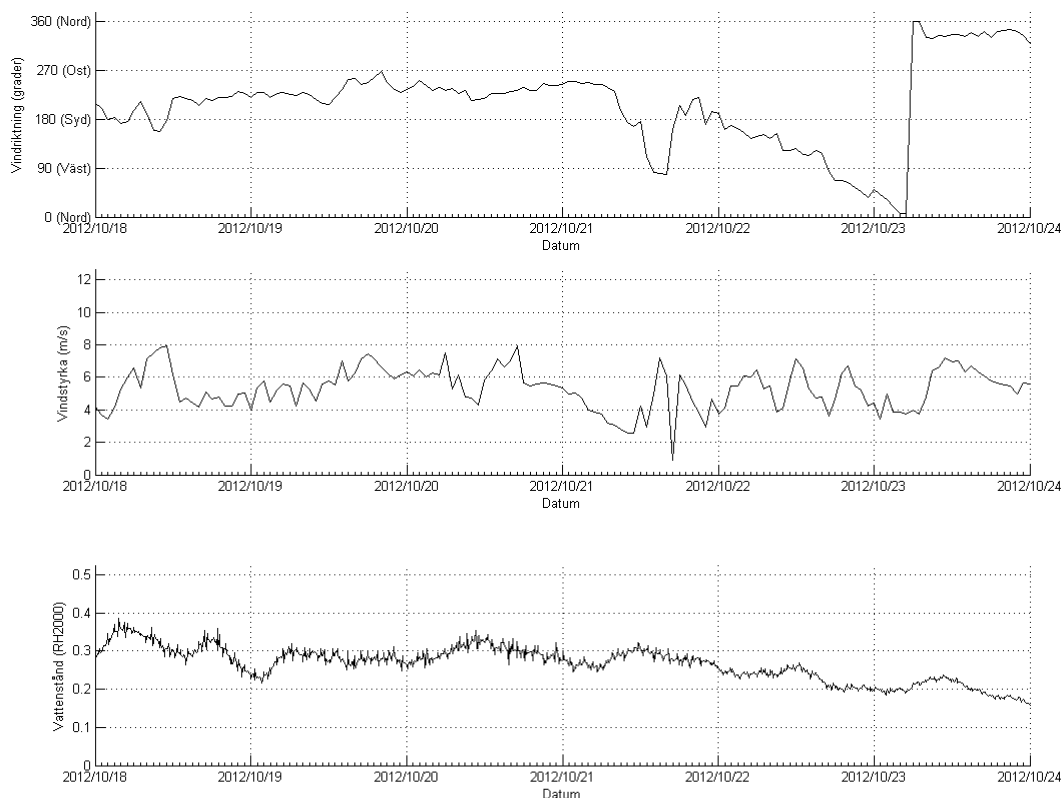
6.7.1 Randvillkor vid kontroll av modellen

Flödet i tillrinnande vattendrag och från Södertälje sluss sattes i kalibreringen och valideringen till medelflödet.

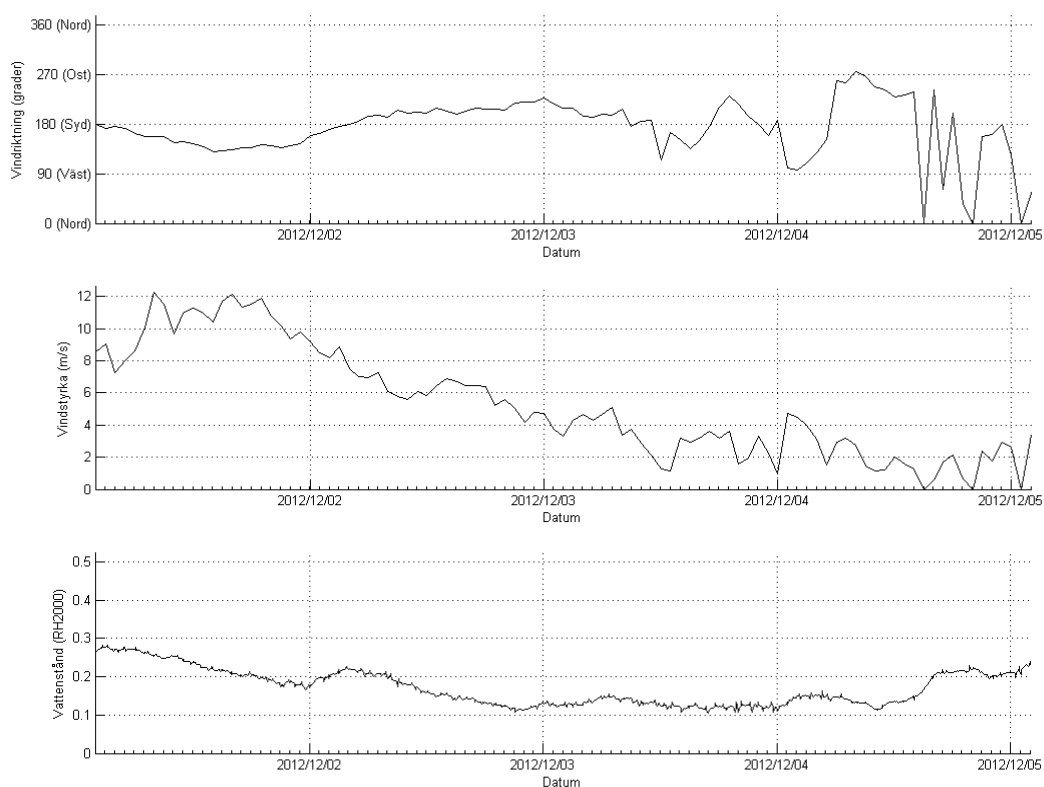
Vindhastighet och vindriktning från vindmodellen ansattes för de aktuella tillfällena. I Figur 35 visas de vindhastigheter och vindriktningar som uppmättes vid SMHI:s mätstation vid Eskilstuna flygfält under de tre tidsperioder som strömmätningarna genomfördes i Mälaren. I Figur 33-Figur 34 visas vindhastigheter, vindriktningar och vattenstånd som uppmättes vid SMHI:s mätstation vid Landsort under de två tidsperioder då mätningar genomfördes i området söder om Södertälje kanal.

Vindförhållandena vid Eskilstuna under 4 och 5 november 2009 karaktäriseras av vindar på omkring 5 m/s. Vindarna var byiga med topphastigheter på över 10 m/s. Vindriktningen vred från i huvudsak östlig vind till nordöstlig vind. Förhållandena var med andra ord inte stationära. Den 18 och 19 april 2012 varierande vindhastigheten vid mellan 2 och 5 m/s. Vindriktningen växlade från västlig till östliga vindar. Med andra ord var det relativt svaga vindar med växlande riktning under mätperioden. Vindhastigheterna mellan den 25 och 27 juni 2012 var svaga och vindriktningen växlade under hela mätperioden.

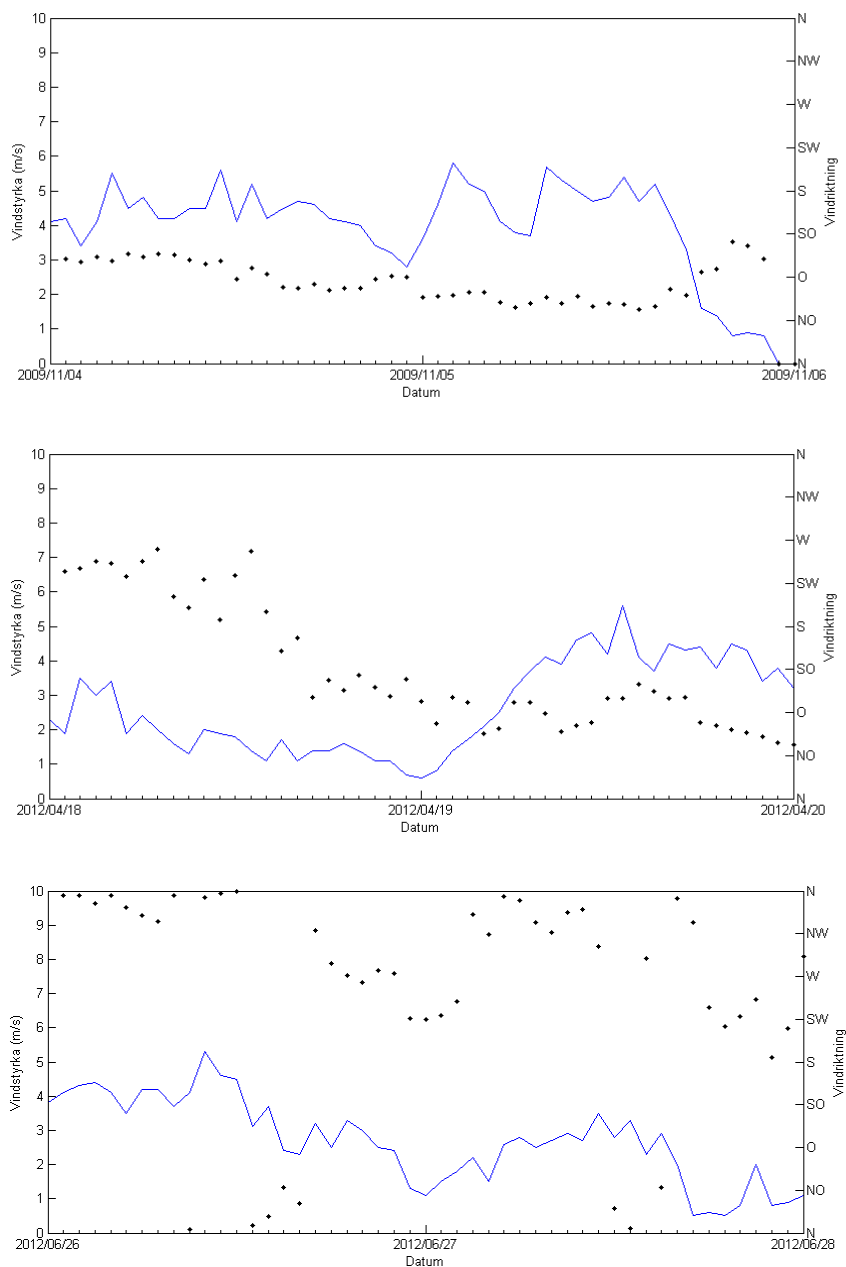
Under mätperioden i oktober 2012 låg vindriktningen vid SMHI:s mätstation vid Landsort i huvudsak inom den sydliga sektorn. Vindhastigheten var runt 5- 6 m/s under större delen av perioden. Vindriktningen var i stort sett den samma under mätperioden i december 2012. Vindhastighet var i början kraftig runt 10 m/s men under senare delen av perioden relativt svag, runt 3-4 m/s.



Figur 33. Vindriktning, vindhastighet och vattenstånd vid Landsort under kalibreringsperioden för delmodellen Södertälje kanal – Sandviken, oktober 2012.



Figur 34. Vindriktning, vindhastighet och vattenstånd vid Landsort under kalibreringsperioden för delmodellen Södertälje kanal – Sandviken, december 2012.



Figur 35. Vindhastighet(blå linje) och vindriktning(punkter) vid SMHI:s mätstation vid Eskilstuna flygfält för de tre perioderna med uppmätta strömmar som använts vid kalibrering och validering av Mälarmodellen, november 2009 samt april och juni 2012.

6.7.2 Kontroll av Mälarmodellen

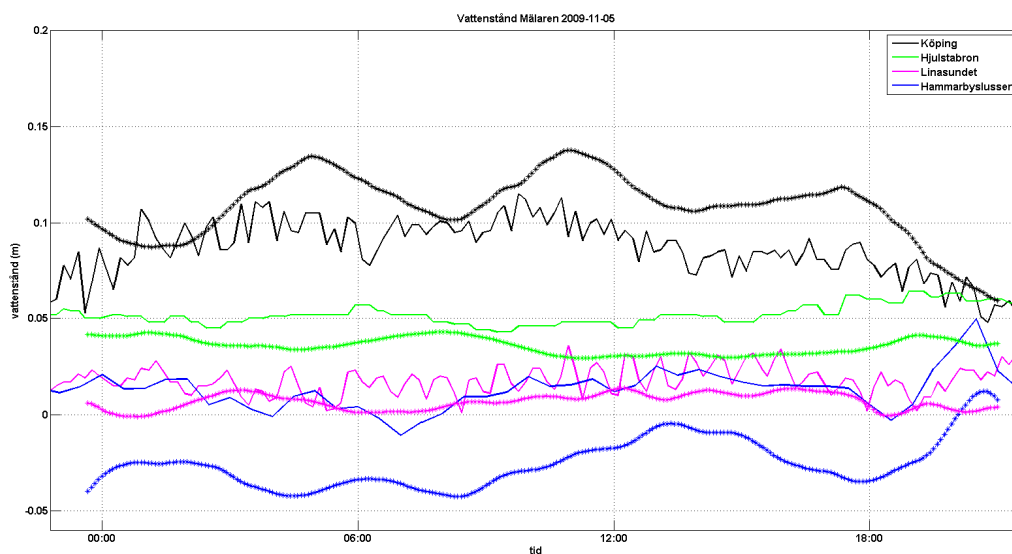
Vid analyserna har beräkningsmodellen körts tidsberoende med start från ett nolläge och beräkningarna har pågått så länge att strömmar och vattennivåer ställer in sig till de rådande vindförhållandena. Kontroll av modellen har gjorts mot uppmätta vattennivåer vid Köping, Hjulstabron, Linasundet och Hammarbyslussen, Kungsör samt Strängnäs. Strömmarna i modellen har kontrollerats mot uppmätta strömmar i tvärsektioner och ett medelvärde av strömmarna över hela djupet har studerats.

6.7.2.1 Kontroll av vattennivåer

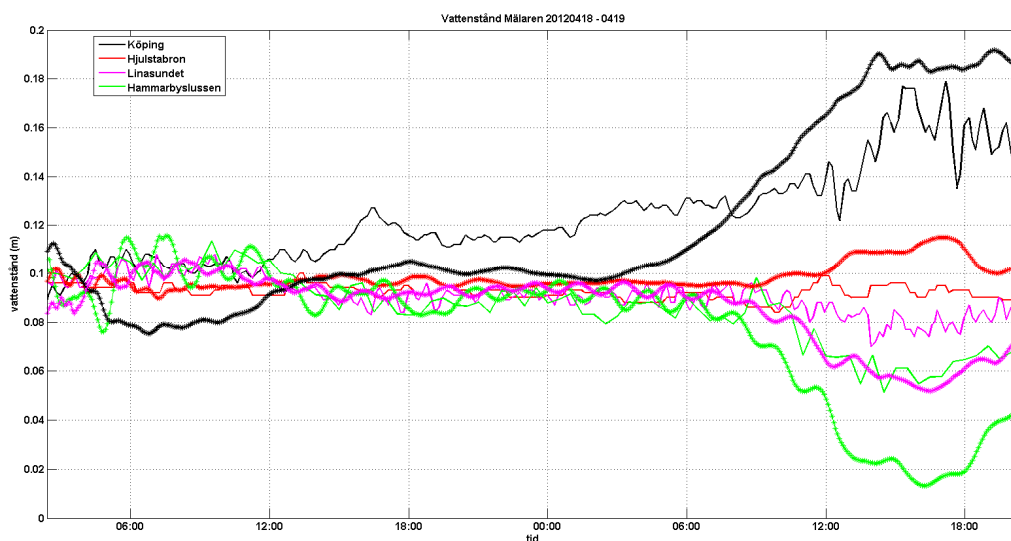
I Figur 36-Figur 39 visas uppmätta och beräknade vattennivåer för Köping, Hjulstabron, Linasundet och Hammarbyslussen för de tre perioderna med mätningar. Beräknade vattenstånd ligger vid alla tre tillfällena i nivå med uppmätta vattenstånd och jämförelsen visar på god överensstämmelse. Skillnaden mellan uppmätta och beräknade vattennivåer är ± 4 cm vid alla fyra peglarna. De största skillnaderna syns då vinden har stuvat upp vattenytan så att den lutar från ena sidan av Mälaren till andra. Detta syns till exempel i kalibreringen i Figur 37 där den östliga vinden höjer vattenytan vid Köping och sänker den vid Hammarbyslussen, den beräknade vattenytan blir då lite för låg vid Hammarbyslussen och lite för hög vid Köping. Under valideringsperioden var vindarna svaga vilket resulterar i jämn vattennivå över hela Mälaren både i uppmätta och beräknade nivåer, se Figur 39.

Tidsupplösningen är inte den samma för beräknade och uppmätta nivåer, inte heller mellan olika pglar. För beräknade nivåer är tidsupplösningen 10 minuter och för uppmätta data varierar tidsupplösningen mellan 20 och 30 minuter.

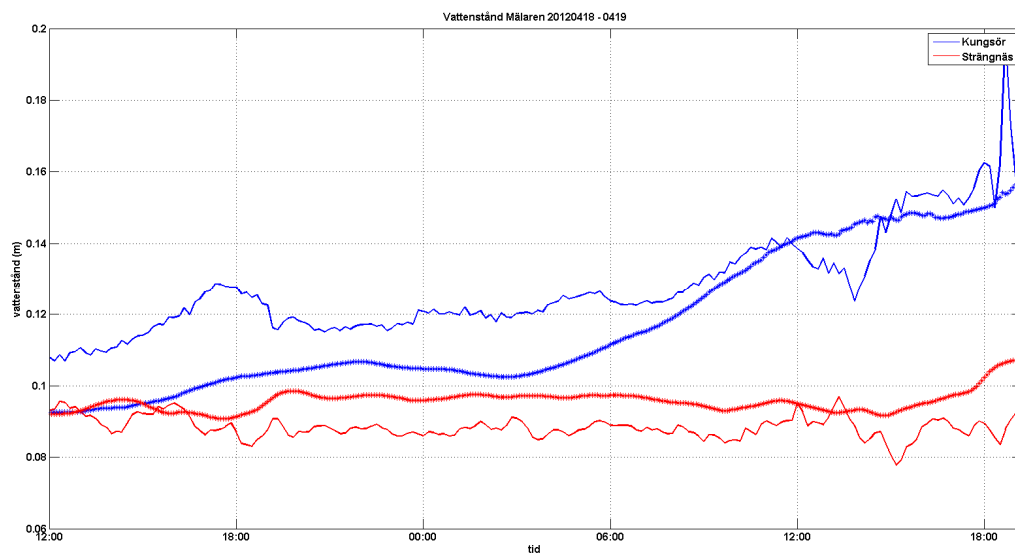
Kalibrering av vattennivåer



Figur 36. Uppmätta (heldragna linjer) och beräknade (prickade linjer) vattennivåer vid Köping, Hjulstabron, Linasundet och Hammarbyslussen vid kalibreringstillfället 2009-11-05. Vattenståndet anges i meter relativt medelvattenytan.

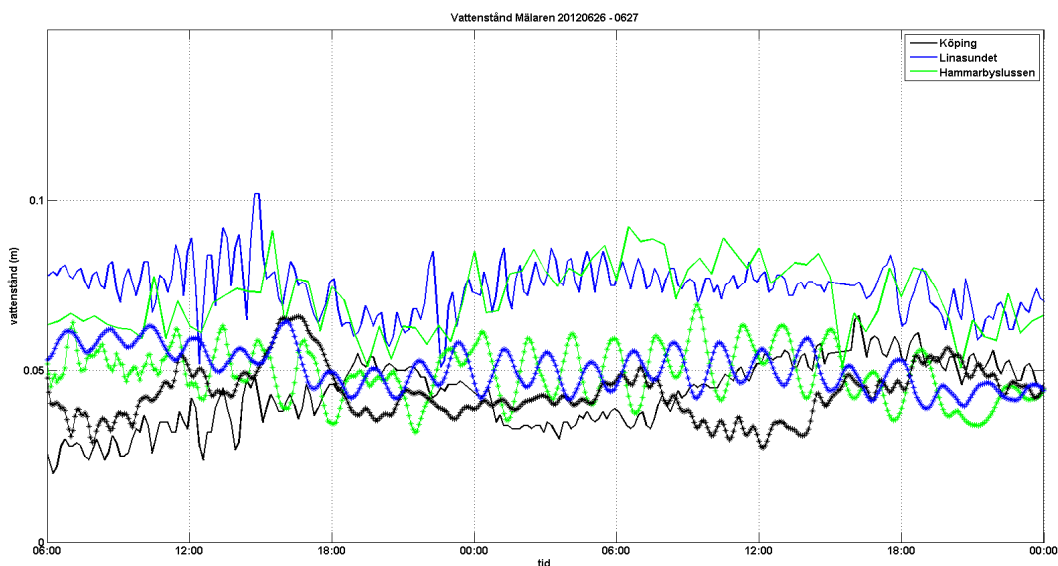


Figur 37. Uppmätta (heldragna linjer) och beräknade (prickade linjer) vattennivåer vid Köping, Hjulstabron, Linasundet och Hammarbyslussen vid kalibreringstillfället 2012-04-18 - 04-19. Vattenståndet anges i meter relativt medelvattenytan.



Figur 38. Uppmätta (heldragna linjer) och beräknade (prickade linjer) vattennivåer vid Kungsör och Strängnäs vid kalibreringstillfället 2012-04-18- 04-19. Vattenståndet anges i meter relativt medelvattenytan.

Validering av vattenstånd



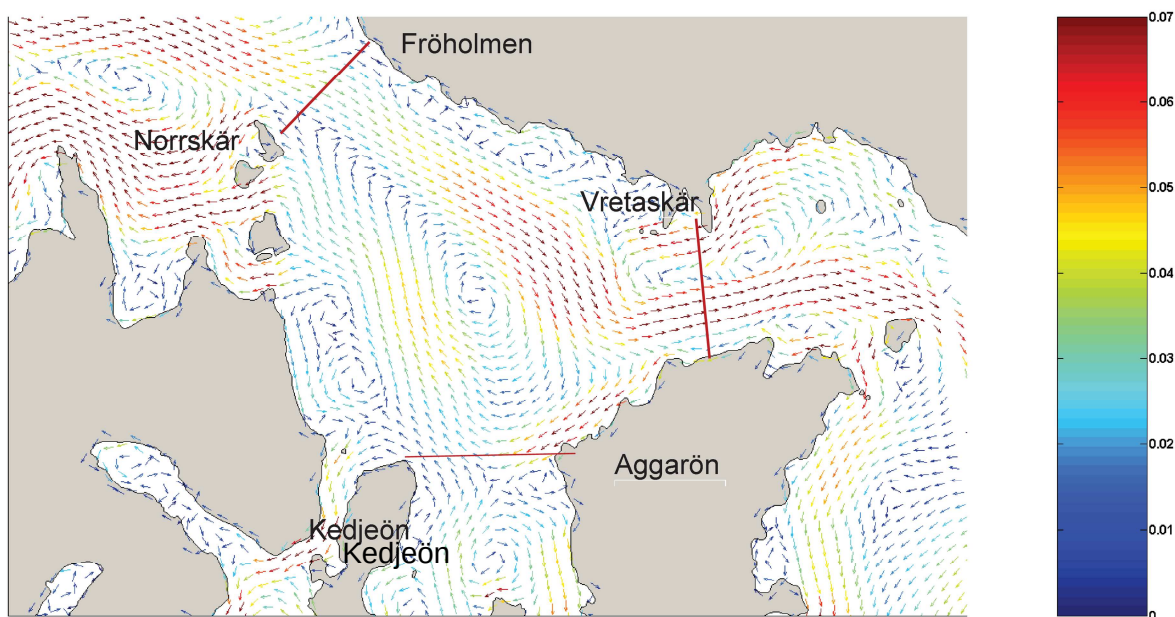
Figur 39. Uppmätta (heldragna linjer) och beräknade (prickade linjer) vattennivåer vid Hjulstabron, Linasundet och Hammarbyslussen vid valideringstillfället 2012-06-26 – 06-27. Pegeln vid Köping var vid tillfället ur funktion. Vattenståndet anges i meter relativt medelvattenytan.

6.7.2.2 Kontroll av strömmar

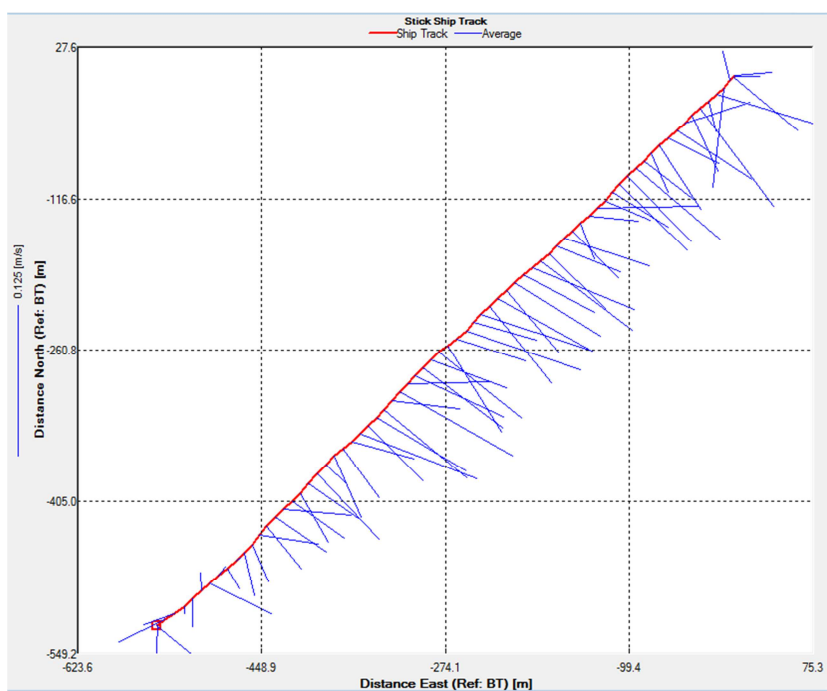
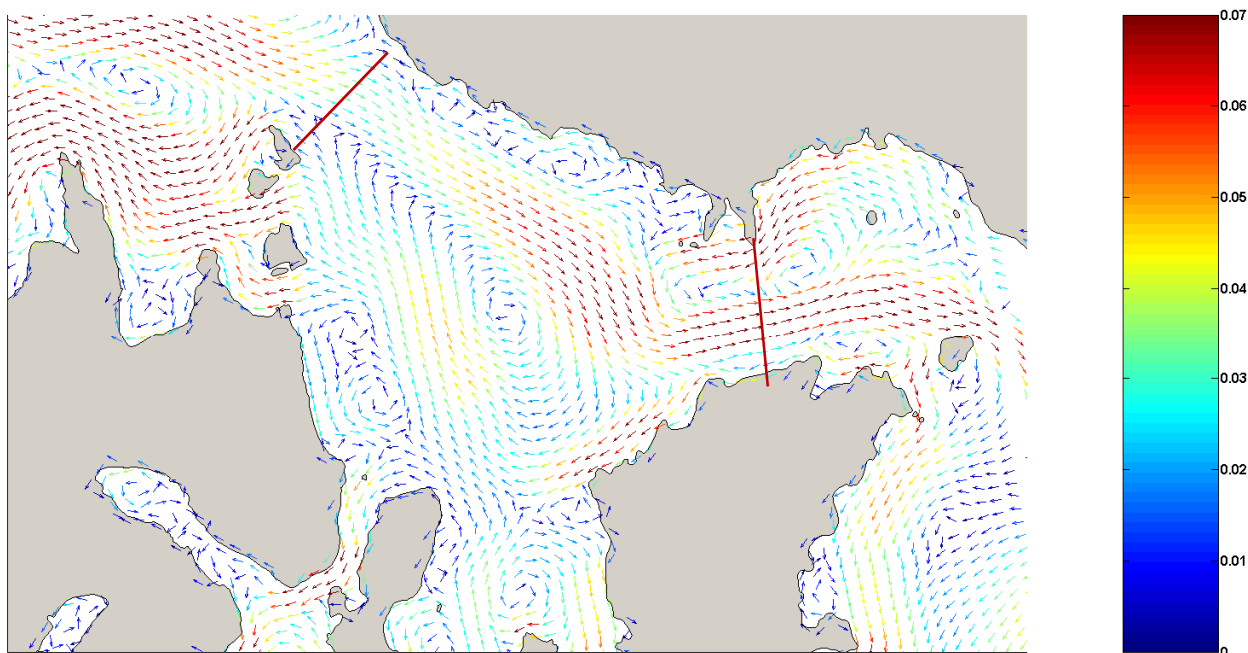
Kalibrering av strömmar

En jämförelse mellan uppmätt och beräknad strömhastighet och riktning har gjorts för tre tvärsektioner runt Ridö i Ridöfjärden (november 2009) och fem i området runt Hjulstabron (april och juni 2012). Jämförelsen är gjord för hastigheter som medelvärdesbildats över djupet.

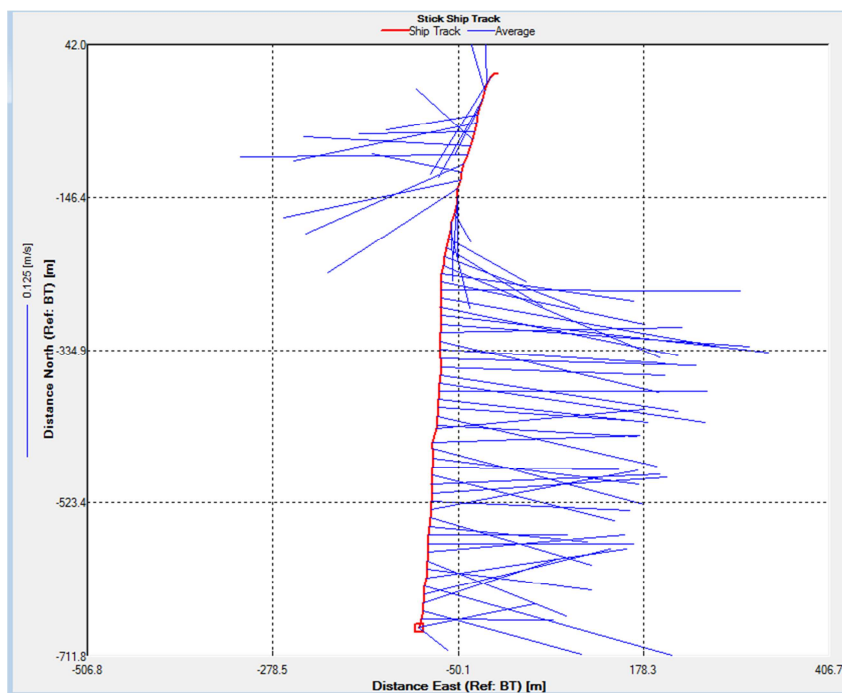
Resultaten från simuleringarna i **Västerås- och Granfjärden november 2009** överensstämmer tillfredställande med uppmätta data. De huvudsakliga strömriktningarna överensstämmer i samtliga sund, och strömhastigheterna är av samma storleksordning. Dock är strömhastigheterna något lägre i simuleringarna. Både mätningarna och simuleringarna visar att den sydostgående strömmen i sundet mellan Fröholmen och Norrskär blandar sig med den något svagare nordgående strömmen mellan Kedjeön och Aggarön, varefter dessa flöden tillsammans bilda en starkare östlig ström i sundet mellan Vretaskär och Aggarön. Därefter bildas en returström längs norra stranden. Figur 40 visar en översikt av de simulerade strömriktningarna och strömhastigheterna i området kring de tre sunden. Strömbilden är mycket komplex. De röda markeringarna visar i grova drag var mätningarna utfördes. I Figur 41-Figur 43 visas mätresultaten i de tre tvärsnitten. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skallstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.



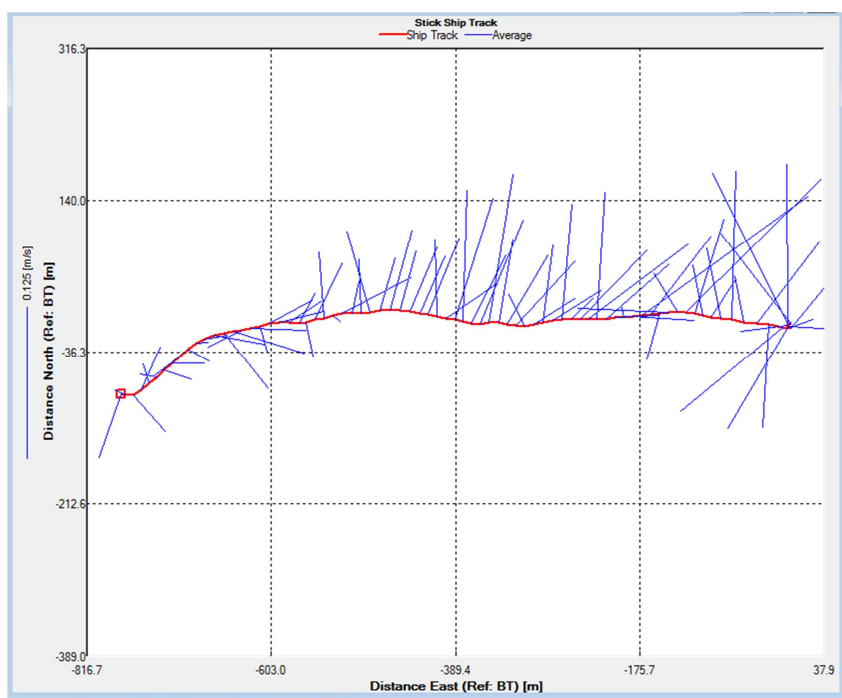
Figur 40. Översikt av den beräknade strömbilden den 5 november 2009. De röda markeringarna visar i grova drag var mätningarna gjordes. Strömhastigheten anges i m/s. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna i området.



Figur 41. Djupmedelvärderade ADCP-mätresultat den 5 november 2009 mellan Fröholmen och Norrskär. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skalstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.



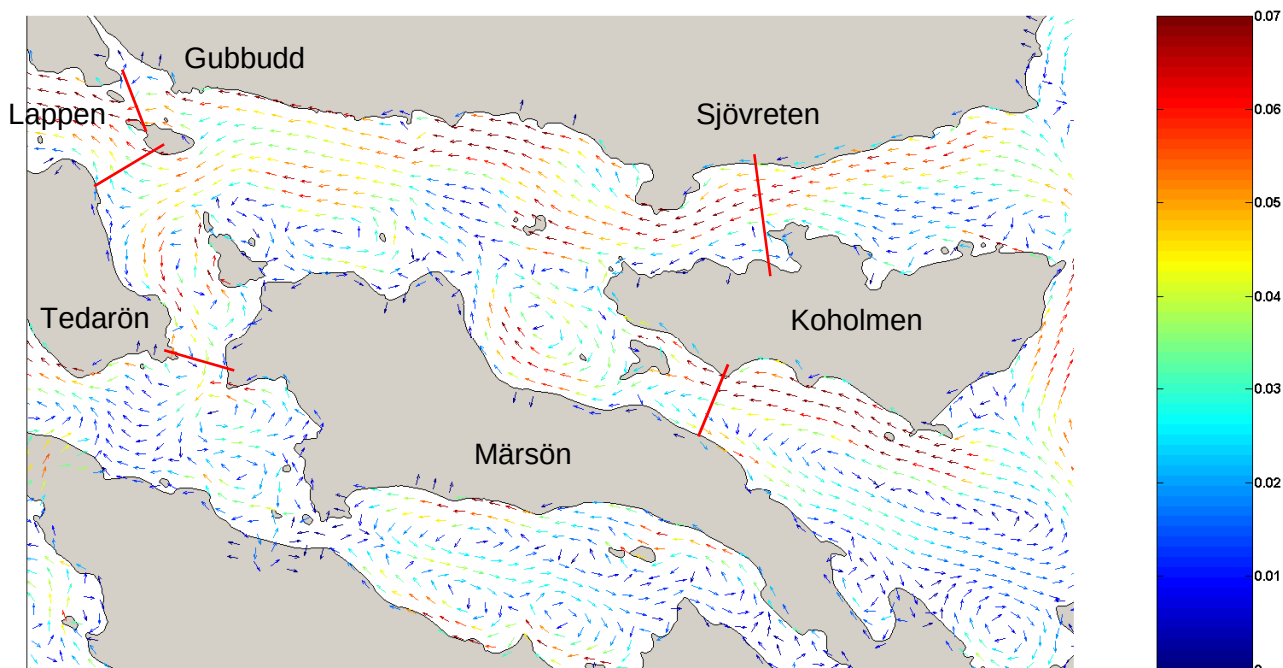
Figur 42. Djupmedelvärderade ADCP-mätresultat den 5 november 2009 mellan Vretaskär och Aggarön. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skallstreck till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.



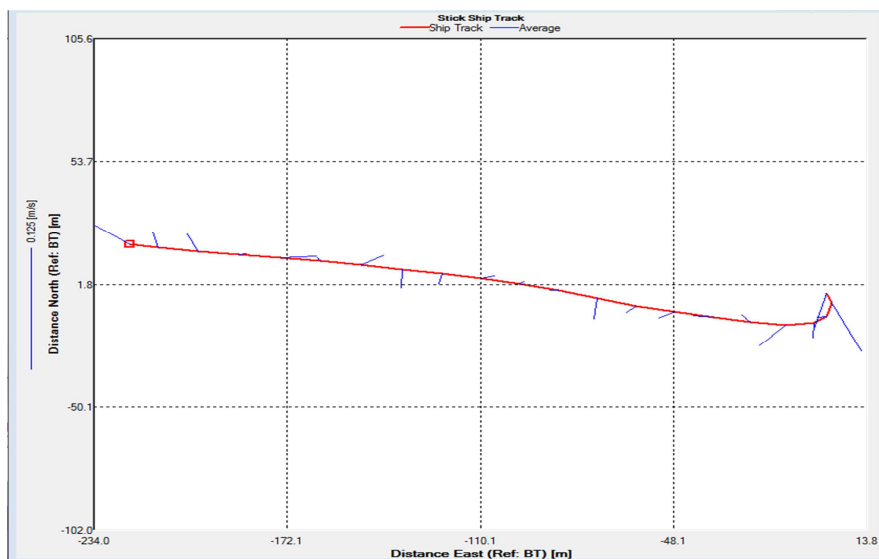
Figur 43. Djupmedelvärderade ADCP-mätresultat den 5 november 2009 mellan Kedjeön och Aggarön. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skallstreck till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.

Resultaten från simuleringarna vid **Hjulstabron i april 2012** överensstämmer tillfredsställande med uppmätta data. De huvudsakliga strömriktningarna överensstämmer i samtliga sund, och strömhastigheterna är av samma storleksordning. Dock är strömhastigheterna något lägre i simuleringarna. Både mätningarna och simuleringarna visar att huvuddelen av strömmen går mellan Sjövreten och Koholmen och Koholmen och Märsön, och sedan vidare genom Lappen och Gubbudd. Mellan Tedarön och Märsön är strömmarna relativt svaga och det finns ingen tydlig strömriktning i sundet, något som syns både i mätningarna och i simuleringarna. Både mätningarna och

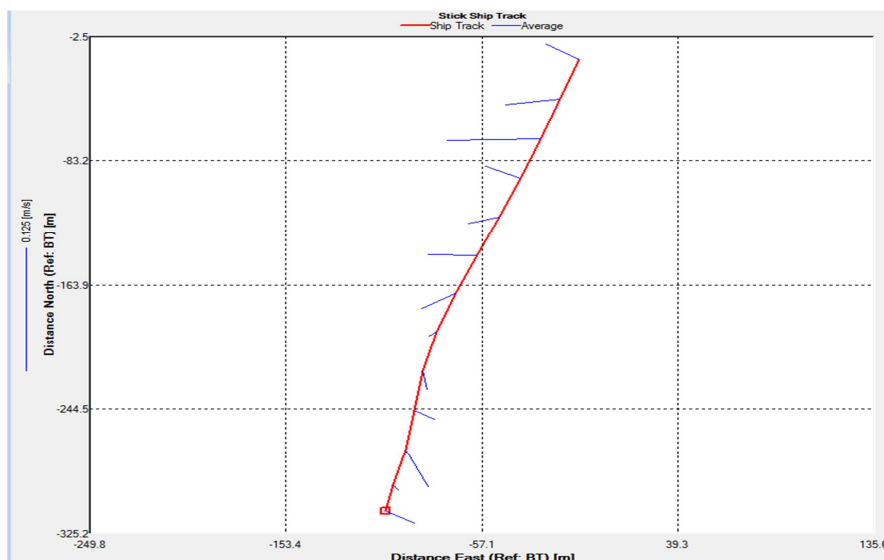
simuleringarna visar också att mellan Koholmen och Märsön bildas en returström längs den södra stranden. Figur 44 visar en översikt av de simulerade strömriktningarna och strömhastigheter i området kring Hjulstabron. Strömbilden i området är mycket komplex och oförutsägbar. I Figur 45-49 visas mätresultat i de fem tvärsnitten.



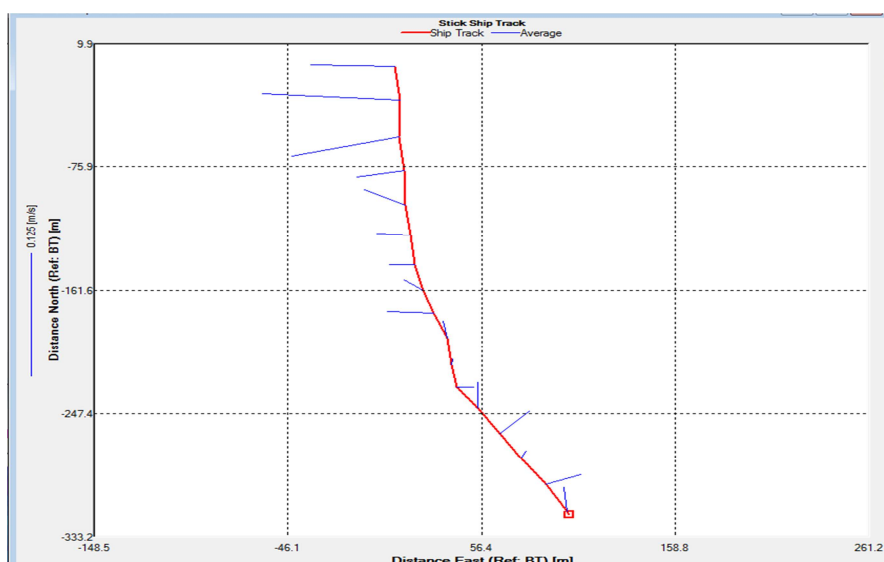
Figur 44. Översikt av den beräknade strömbilden den 19 april 2012. De röda markeringarna visar i grova drag var mätningarna gjordes. Strömhastigheten anges i m/s. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna i området.



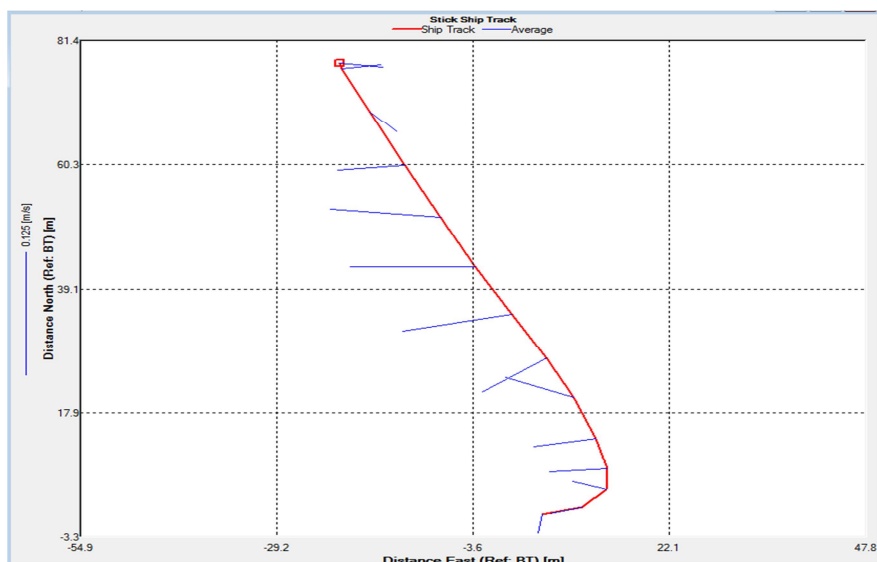
Figur 45. Djupmedelvärderade ADCP-mätresultat den 19 april 2012 mellan Tedarön och Märsön. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skalstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.



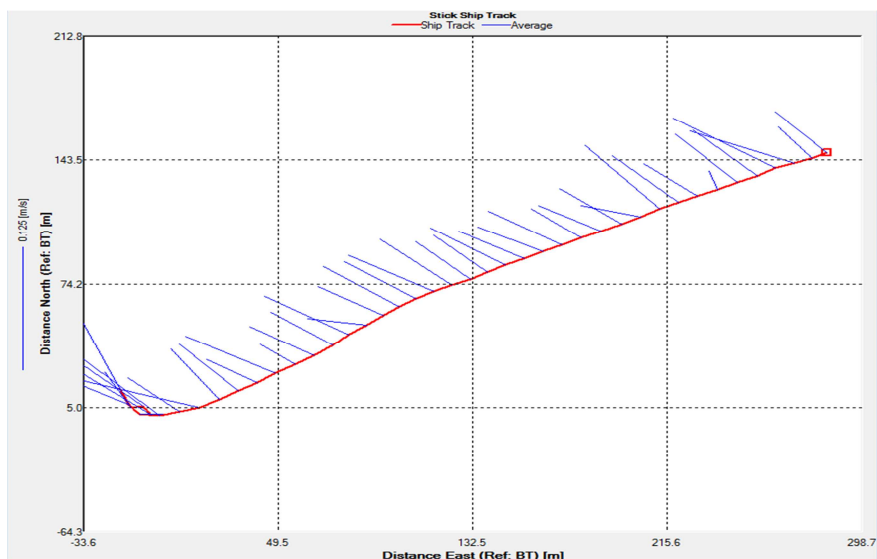
Figur 46. Djupmedelvärderade ADCP-mätresultat den 19 april 2012 mellan Märsön och Koholmen. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skalstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.



Figur 47. Djupmedelvärderade ADCP-mätresultat den 19 april 2012 mellan Koholmen och Sjövreten. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skalstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.



Figur 48. Djupmedelvärderade ADCP-mätresultat den 19 april 2012 mellan Gubbudd och Lappen. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skalstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.



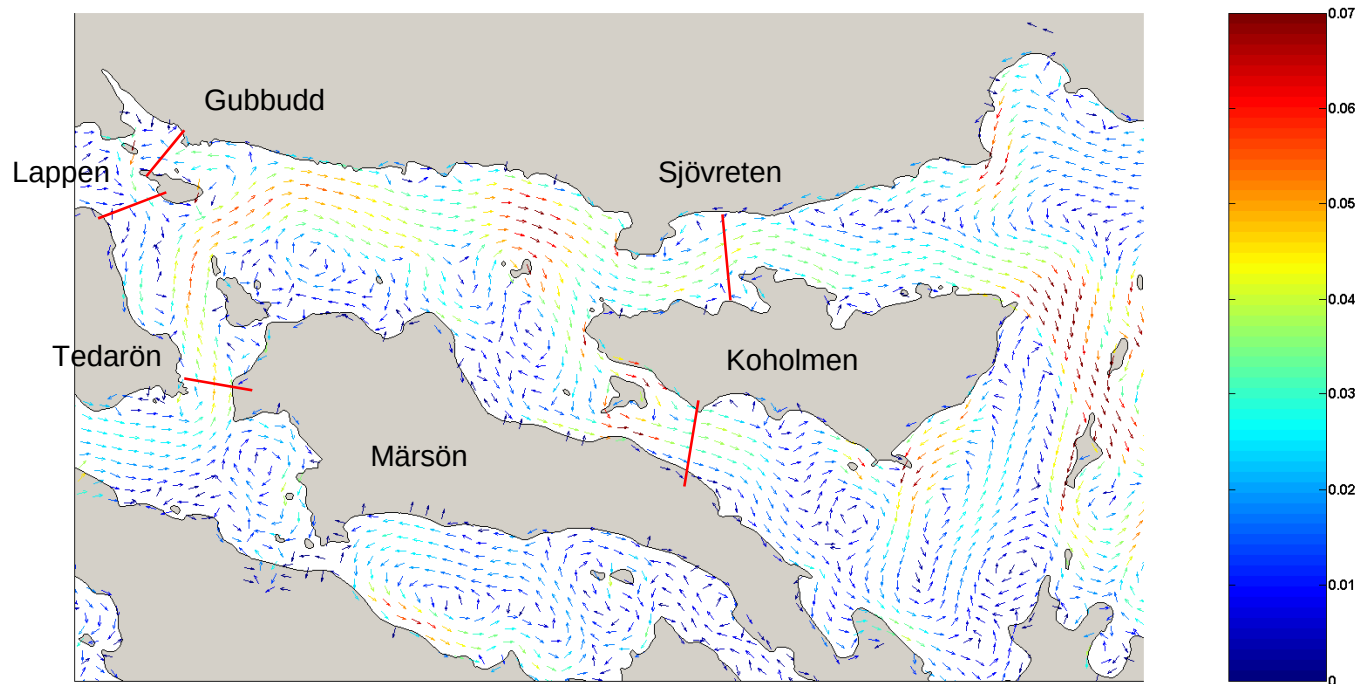
Figur 49. Djupmedelvärderade ADCP-mätresultat den 19 april 2012 mellan Lappen och Tedarön. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skalstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.

Validering av strömmar

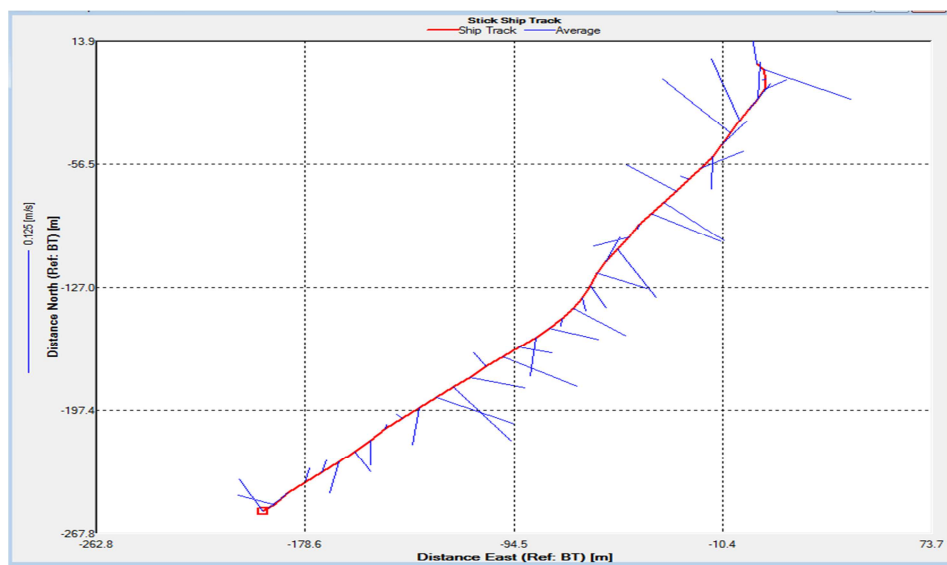
Under mätperioden **26 och 27 juni 2012 vid Hjulstabron** var vindförhållandena mycket varierande med avseende på styrka och riktning, se Figur 35. Under andra dagen var vindhastigheterna mycket låga och riktningen variabel. Strömriktningarna från denna period innehöll inget tydligt strömningsmönster, vilket visades av att strömriktningarna varierade mellan två mätningar som genomfördes med relativt kort tidsintervall. Jämfört med förhållandena under tidigare mätperioder indikerar detta strömningens respons på vindförhållandena är snabb. Resultaten från den 27 juni visas ej nedan.

Resultaten från simuleringarna vid Hjulstabron i juni 2012 överensstämmer överlag med uppmätta data. De huvudsakliga strömriktningarna överensstämmer i samtliga sund, och strömhastigheterna är av samma storleksordning. Dock är strömhastigheterna något lägre i simuleringarna.

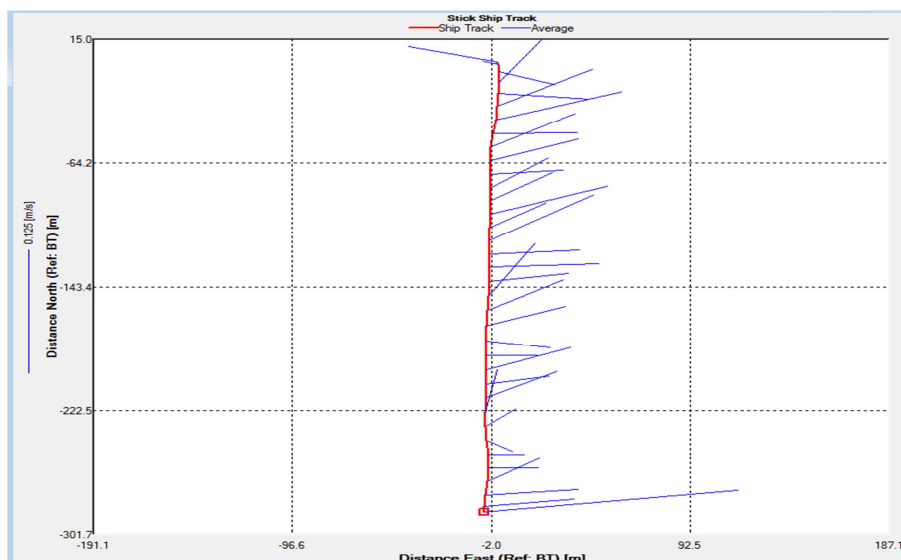
Figur 50 visar en översikt av de simulerade strömriktningarna och strömhastigheterna i området kring de tre sunden. Strömbilden är mycket komplex. De röda markeringarna visar var mätningarna utfördes. I Figur 51-Figur 55 visa mätresultaten i de tre tvärsnitten.



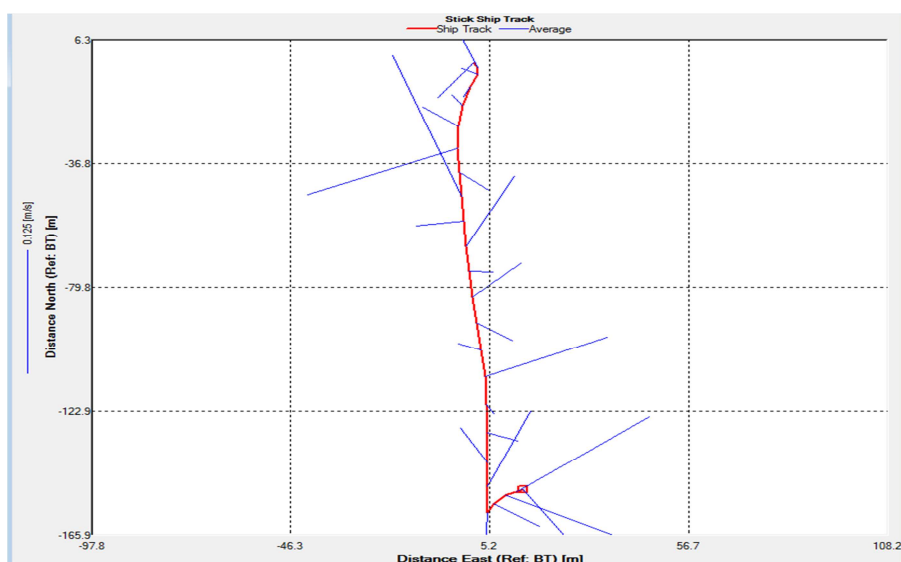
Figur 50. Översikt av den beräknade strömbilden den 26 juni 2012. De röda markeringarna visar i grova drag var mätningarna gjordes. Strömhastigheten anges i m/s. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna i området.



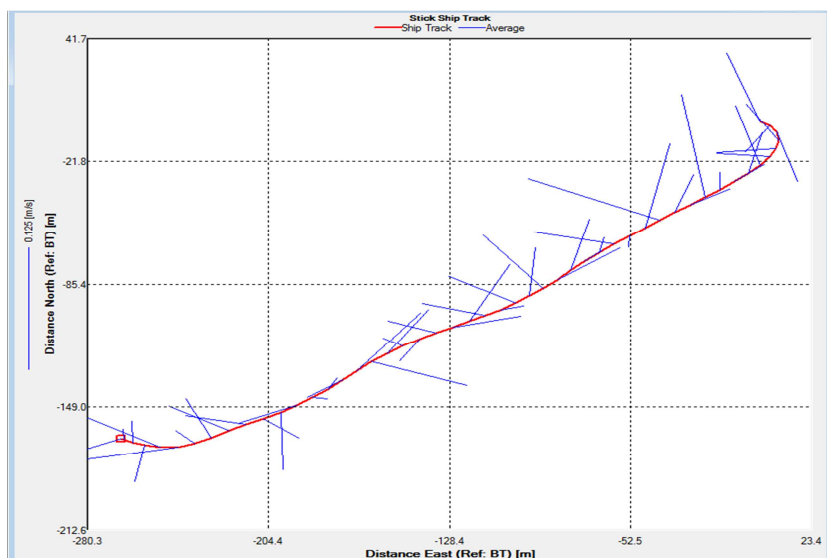
Figur 51. Djupmedelvärdesbildade ADCP-mätresultat den 26 juni 2012 mellan Märsön och Koholmen. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skalstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.



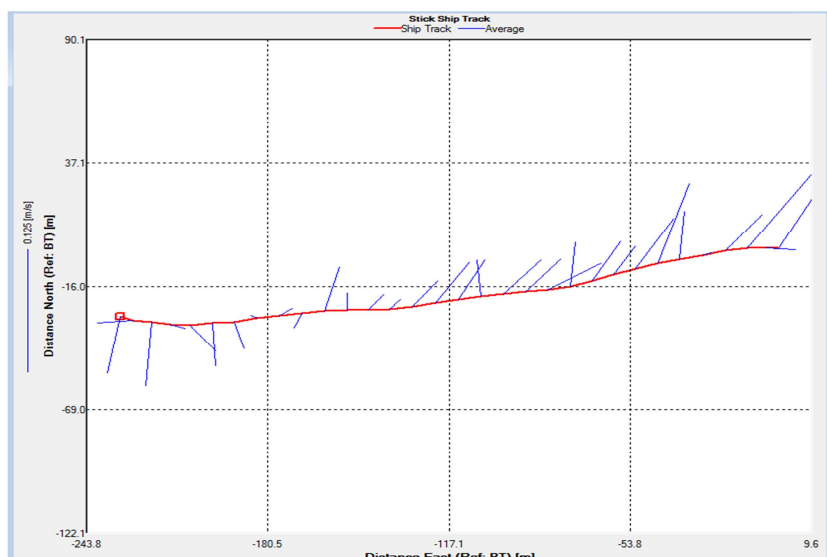
Figur 52. Djupmedelvärdesbildade ADCP-mätresultat den 26 juni 2012 mellan Koholmen och Sjövreten. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skallstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.



Figur 53. Djupmedelvärdesbildade ADCP-mätresultat den 26 juni 2012 mellan Gubbudd och Lappen. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skallstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.



Figur 54. Djupmedelvärdesbildade ADCP-mätresultat den 26 juni 2012 mellan Lappen och Tedarön. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. Skalstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.



Figur 55. Djupmedelvärdesbildade ADCP-mätresultat den 26 juni 2012 mellan Tedarön och Märsön. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skalstrecket till vänster om bilden motsvarar strömhastigheten 0,125 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.

6.7.3 Kontroll av delmodeller

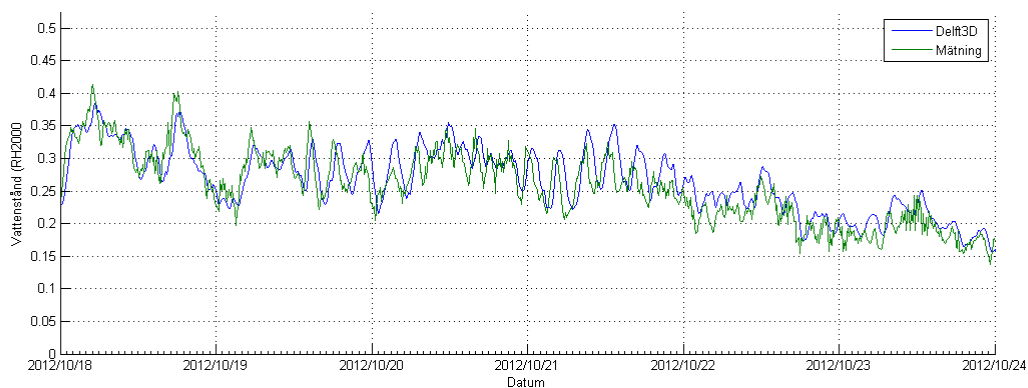
När beräknade strömmar och vattennivåer är kontrollerade för Mälarmodellen delas modellen upp i fyra stycken delmodeller för Mälaren och en för Södertälje kanal. Därefter har de strömmar som beräknas av respektive delmodell i Mälaren kontrollerats mot uppmätta data. Den femte delmodellen som täcker området söder om Södertälje kanal till Sandviken har kontrollerats mot uppmätta strömmar och vattennivåer.

6.7.3.1 Resultat

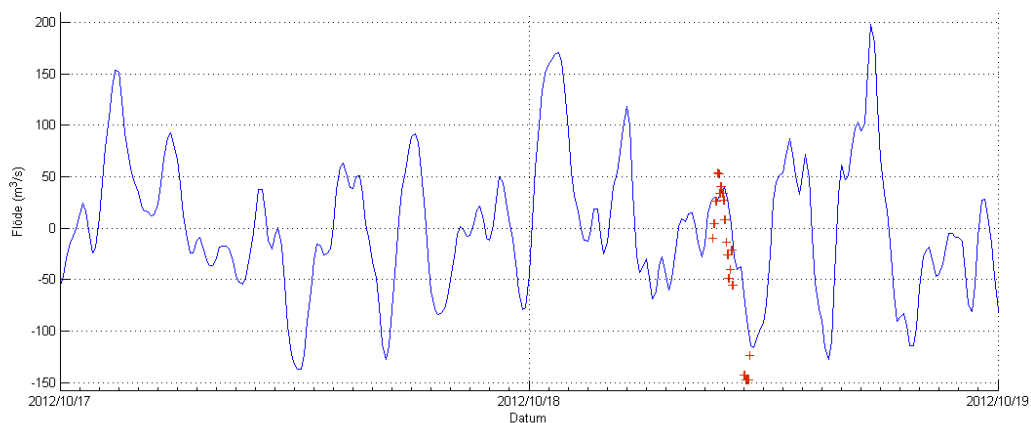
Delmodellen söder om Södertälje kanal - Sandviken har kontrollerats genom att jämföra modellberäknade värden för vattenstånd och ström med mätningar vid E4-bron i Södertälje, Brandalsund samt norra Igelstaviken. Placeringen av valideringspunkterna är gynnsam då E4-bron och norra Igelstaviken ligger inom det område där muddringsaktivitet planeras samt att Brandalsund är det sund som i hög grad styr vattenutbytet med övriga Östersjön. Överensstämmelsen mellan beräknade

och uppmätta vattenstånd är god både i absoluta tal och övergripande trender. Modellen har således goda förutsättningar att beräkna vattenstånd och strömmar.

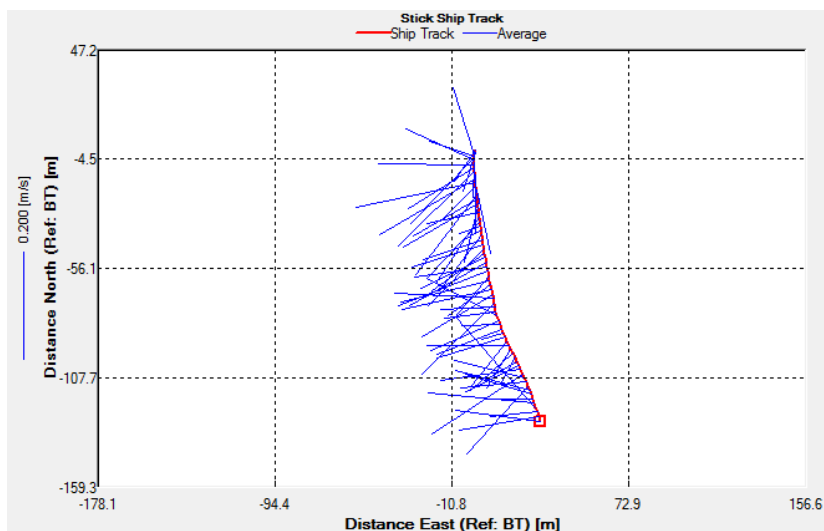
Kalibrering



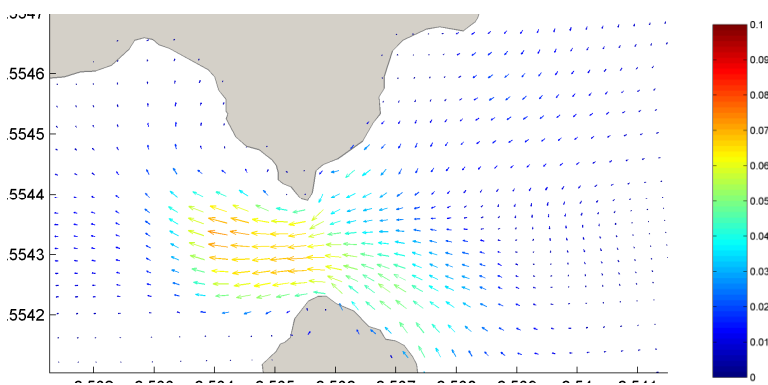
Figur 56. Vattennivåer vid E4-bron i Södertälje kanal under kalibreringsperioden oktober 2012. Modellberäknad nivå (blå linje) samt uppmätt (grön linje).



Figur 57. Uppmätt (blå linje) och beräknat flöde (röda prickar) i Brandalsund under kalibreringsperioden oktober 2012.

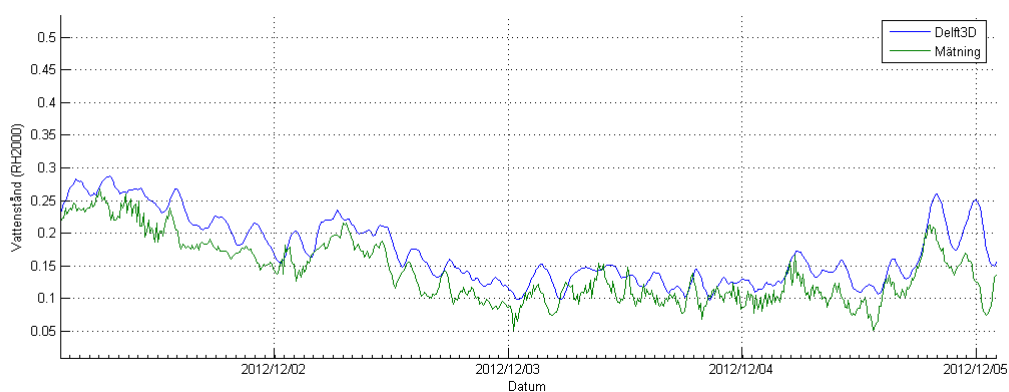


Figur 58. Uppmätt flöde i Brandalsund vid kalibreringstillfället i oktober 2012. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna. De blå vektorerna visar de uppmätta strömmarna. Skalstrecket till vänster om bilden motsvarar strömshastigheten 0,2 m/s. Strömriktningen anges av streckens riktning.

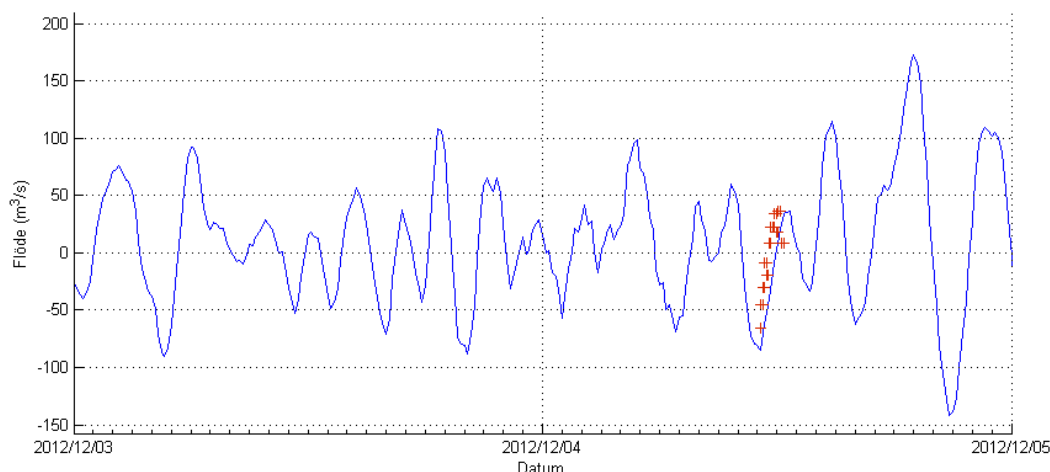


Figur 59. Översikt av den beräknade strömbilden vid Brandalsund vid kalibreringstillfället i oktober 2012. Strömshastigheten anges i m/s. Bilden visar en representativ ögonblicksbild av strömmarna i området.

Validering

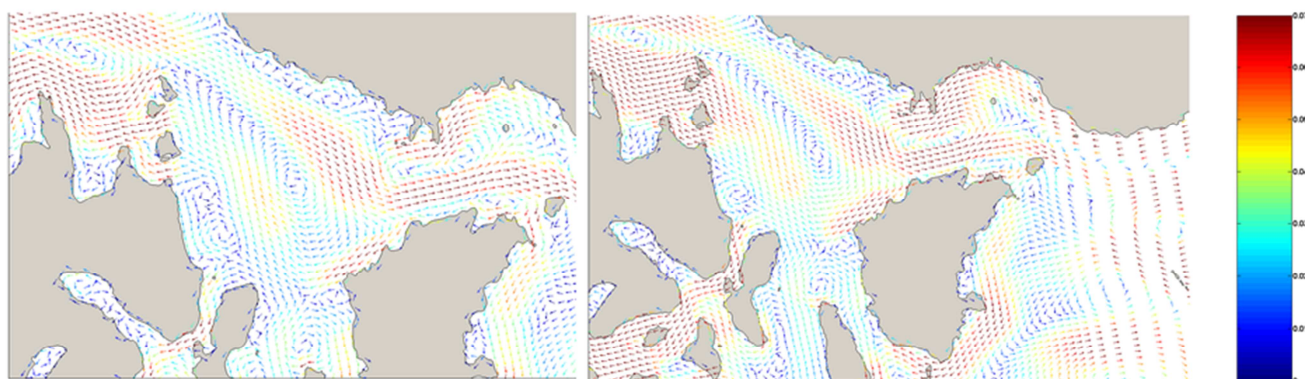


Figur 60. Vattennivåer vid E4-bron i Södertälje kanal under valideringsperioden i december 2012. Modellberäknad nivå (blå linje) samt uppmätt (grön linje).

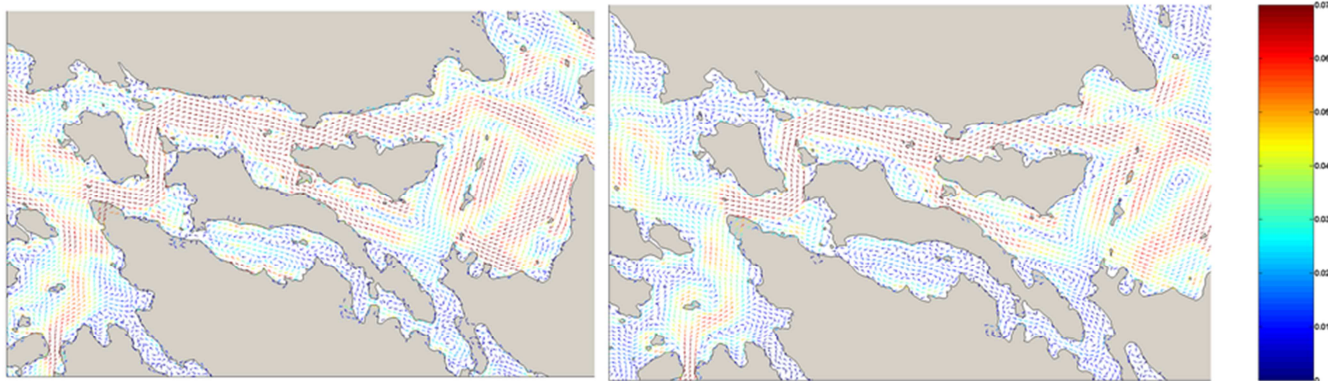


Figur 61. Uppmätt (blå linje) och beräknat flöde (röda prickar) i Brandalsund under valideringsperioden i december 2012.

De fyra **delmodellerna som täcker Mälaren** har validerats mot uppmätta strömmar. De data som använts är de samma som använts i avsnitt 6.7.2 vid kontroll av hela modellen och som beskrivs närmare i avsnitt 6.6. I Figur 62 - Figur 63 visas beräknad strömhastighet och strömriktning från Mälarmodellen och den delmodell som täcker området mellan Kvicksund och St. Långholmen. Jämförelsen visar på tillfredsställande överensstämmelse mellan uppmätta och simulerade strömhastigheter och riktningar. De huvudsakliga strömriktningarna överensstämmer i samtliga sund, och strömhastigheterna är av samma storleksordning.



Figur 62. Översikt av strömhastigheter 5 november 2009 simulerade med Mälarmodellen (till vänster) och med delmodellen som täcker området Kvicksund – St. Långholmen (till höger).



Figur 63. Översikt av strömhastigheter 19 april 2012 simulerade med Mälarmodellen (till vänster) och med delmodellen som täcker området Aggarön – östra Stallholmen (till höger).

6.7.4 Vad betyder resultatet av den genomförda kontrollen?

Jämförelsen mellan beräknat och uppmätt vattenstånd visar att det är god överensstämmelse och skillnaden är cirka ± 4 cm i både Mälarmodellen och söder om Södertälje kanal. Beräknad och uppmätt strömhastighet ligger inom samma storleksordning och de huvudsakliga strömriktningarna överensstämmer då virvlar och andra strömmönster som syns i mätningarna fångas upp i beräkningarna.

Jämförelsen av beräknade och uppmätta strömhastigheter och strömriktningar i delmodellerna visar att strömhastigheten ligger inom samma storleksordning och att de huvudsakliga strömriktningarna överensstämmer. Att Mälarmodellen delas upp i ett antal delmodeller innebär att de absoluta vattennivåerna i respektive delmodell inte kommer att korrelera mot uppmätta vattenstånd, däremot kommer en eventuell lutning av vattenytan från modellens rand till den andra vara korrekt. Det innebär att de av modellen beräknade strömmarna kommer vara korrekta, vilket visas av de genomförda kontrollerna.

Sammanfattningsvis kan man säga att resultaten från beräkningsmodellerna bedöms uppfylla de precisionskrav som man kan förvänta sig vid simuleringar med numeriska beräkningsmodeller.

7 Resultat

Resultaten av simuleringarna av mudderspill i Mälaren och söder om Södertälje kanal och sluss presenteras för var och en av de vattenförekomster som beräkningar har genomförts för. Resultaten av simuleringarna av mudderspill presenteras med bilder som visar spridningen och koncentrationen av mudderspill i ytan om inget annat anges, samt med bilder som visar utbredning och koncentration av mudderspill som deponerat på botten. Resultaten visar den koncentration av suspenderat och deponerat sediment som tillkommer på grund av muddring och dumpning, utöver denna tillkommer den naturligt förekommande bakgrundshalten av suspenderat sediment med denna redovisas alltså inte i bilderna. Bakgrundshalten varierar mellan vattenförekomsterna, se Bilaga 11.2. För dumpningsområdena redovisas bottenskjuvspänningen för beräkningarna med dynamisk drivning för respektive vattenförekomst.

- För beräkningar med **stationär drivning** redovisas resultaten dels efter två dygn med spill och två dygn efter avslutad muddring/dumpning. I ett antal enskilda områden i närheten av muddrings- och dumpningsområdet redovisas tidsutvecklingen av koncentrationen av mudderspill i ytan. Koncentrationen anges i enheten kg/m^3 , $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$.
- För beräkningar med **dynamisk drivning** redovisas resultaten som ett tids integrerat medelvärde över hela den period under vilken muddring/dumpning har pågått och som den maximala koncentration som förekommit under hela muddringsperioden, samt koncentrationen 2 dygn efter avslutad muddring/dumpning. Den högsta koncentrationen visas för alla celler i horisontalld oavsett när i tiden detta har inträffat. Koncentrationen anges i enheten kg/m^3 , $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$.
- **Depositionen** redovisas då muddring/dumpning avslutats och två dygn efter avslutad muddring/dumpning. Enheten är kg/m^2 . 1 kg/m^2 motsvarar ungefär 2,5 mm sedimentpålagring.
- **Bottenskjuvspänningen** visas i enheten N/m^2 . Resultaten visas både som ett tids integrerat medelvärde för hela simuleringsperioden och som den högsta bottenskjuvspänningen som förekommit under simuleringsperioden. Den högsta bottenskjuvspänningen visas för alla celler i horisontalld oavsett när i tiden detta har inträffat.

Områden som påverkas av höga halter suspenderat sediment ligger oftast på läsidan av ett muddrings- eller dumpningsområde då vinddrivna strömmar dominerar transporten. Det är för de flesta områden rimligt att tänka sig ett stråk av förhöjd koncentration som följer vindriktningen från utsläppspunkterna. Genom att vinden och strömmar varierar vrida även riktningen på detta stråk. Det maximala utbredningsområdet som påverkats och de maximala koncentrationerna som inträffat under en simuleringsperiod inträffar således inte överallt samtidigt utan endast i ett mindre sektor eller stråk kring en utsläppspunkt i taget.

I detta avsnitt presenteras ett urval av bilderna över spridning och koncentration av mudderspill från varje vattenförekomst. Samtliga bilder finns i bilagor som levereras tillsammans med rapporten.

7.1 Vattenförekomst Galten

Löpande planering av masshantering i Galten har inneburit att förutsättningar för muddring och dumpning justerats vid flera tillfällen under projektets gång. Därför har SMHI för vissa områden utfört beräkningar enligt flera olika förutsättningar. Speciellt rör detta den tidigare utredningsplatsen för dumpningsområdet U01 som sedemera utgått samt med vilken mudderteknik (eg. mudderhastighet) arbetet utförs. I Galten söks tillstånd för dumpningsområdet U02. Muddring i Skylgrundsleden förväntas över en längre sträcka, men har av beräkningstekniska skäl beskrivits som tre punktkällor, vilket medför att tolkningen avfigurerna bör ske nyanaserat. I beräkningarna för Galten (delmodell Köping – Ängholm) ingår två muddringsområden (M33 och M35), men både M35 och M33 har i olika beräkningar delats upp i tre stycken områden för att simulera spill från farleden vilket betyder att spill sker från totalt fyra områden. Spill från dumpning sker från ett dumpningsområde (U01 eller U02, där resultaten från U02 redovisas i resultaten). En sedimenttyp används i samtliga områden (gyttjelera). Samtliga resultat för vattenförekomsten Galten finns i Appendix 1.

7.1.1 Stationär drivning

Beräkningarna som utfördes under projektets första del beskriver inte längre den muddringshastighet eller dumpningsområde som avses i tillståndsansökan och MKB. De stationära beräkningarna illustrerar spridning baserat på muddringshastigheten 6000 m³/dygn och behandlar dumpningsområdet U01. Den slutgiltiga förslaget i tillståndsansökan och MKB baseras på muddring i Galten med sugmudderteknik vilket motsvarar en muddringshastigheten ca 14000 m³/dygn och nyttjande av dumpningsplats U02.

Resultaten i Appendix I för stationära förhållanden illustrerar således spridning från en källa med ungefär halva insensiteten (utsläppstakten) och ett något annorlunda läge för utsläppspunkten.

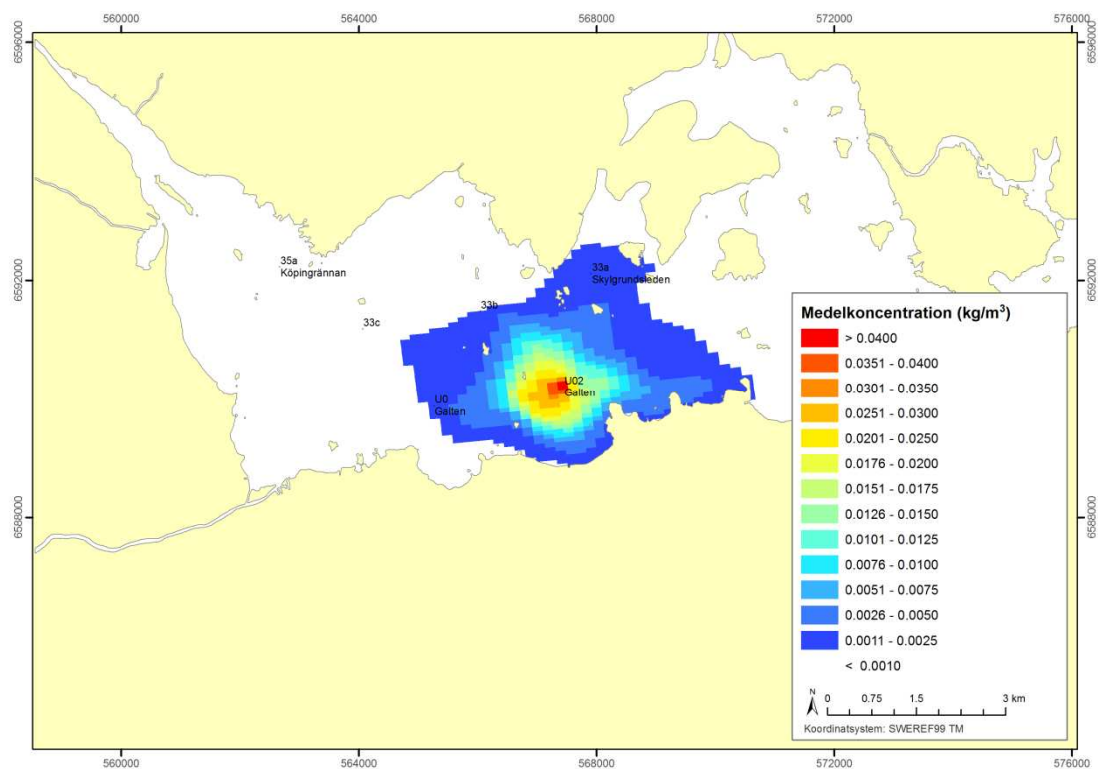
7.1.2 Dynamisk drivning

I Figur 64-73 presenteras ett urval av resultaten för beräkningarna med dynamisk drivning för vattenförekomsten Galten. Figurerna visar spridning och koncentration av suspenderat mudderspill, samt deposition av sediment som spills vid muddring/dumpning.

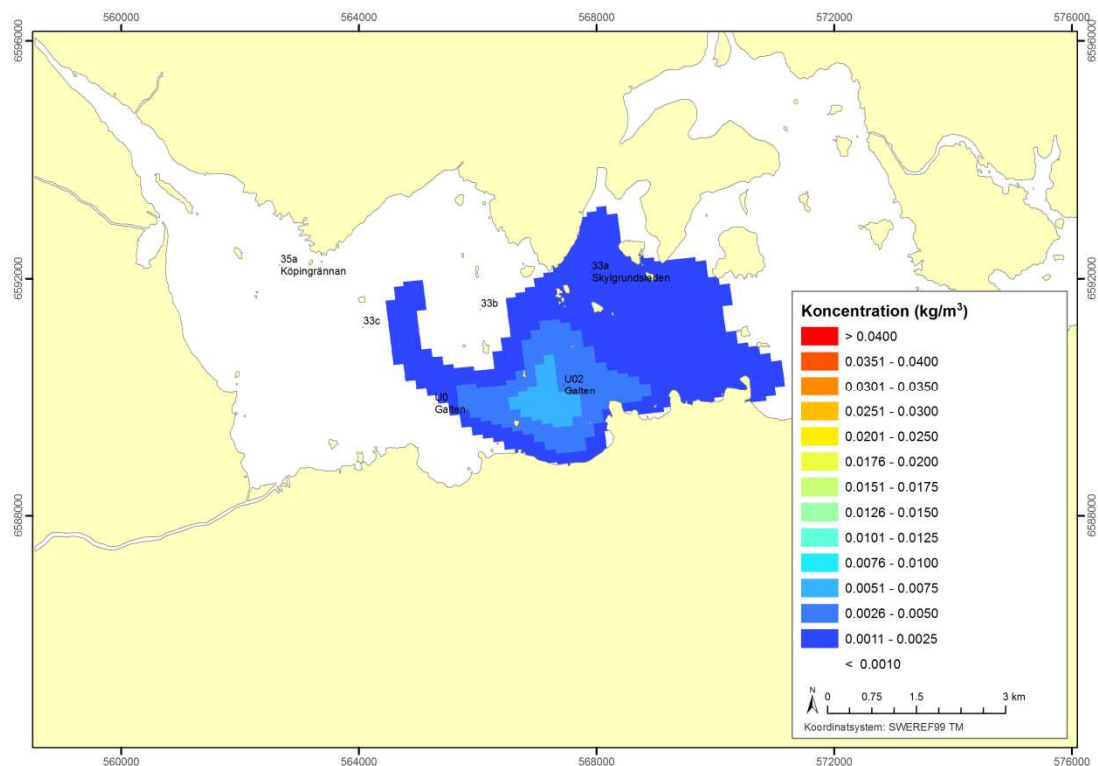
För dumpningsplatsen U02 har kompletterande simuleringar gjorts, dels för den största volym (445 000 m³) miljötillstånd söks för och dels en känslighetsanalys med mindre mängd.

Simuleringen med muddring och dumpning under 26 dygn (där muddringsområde M33 är uppdelat i tre punkter) presenteras i Figur 67-Figur 73. I U02 dumpas muddermassor från område 32,33 och 35 under 26 dygn, volymen i denna simulering uppgår till 364 000 m³.

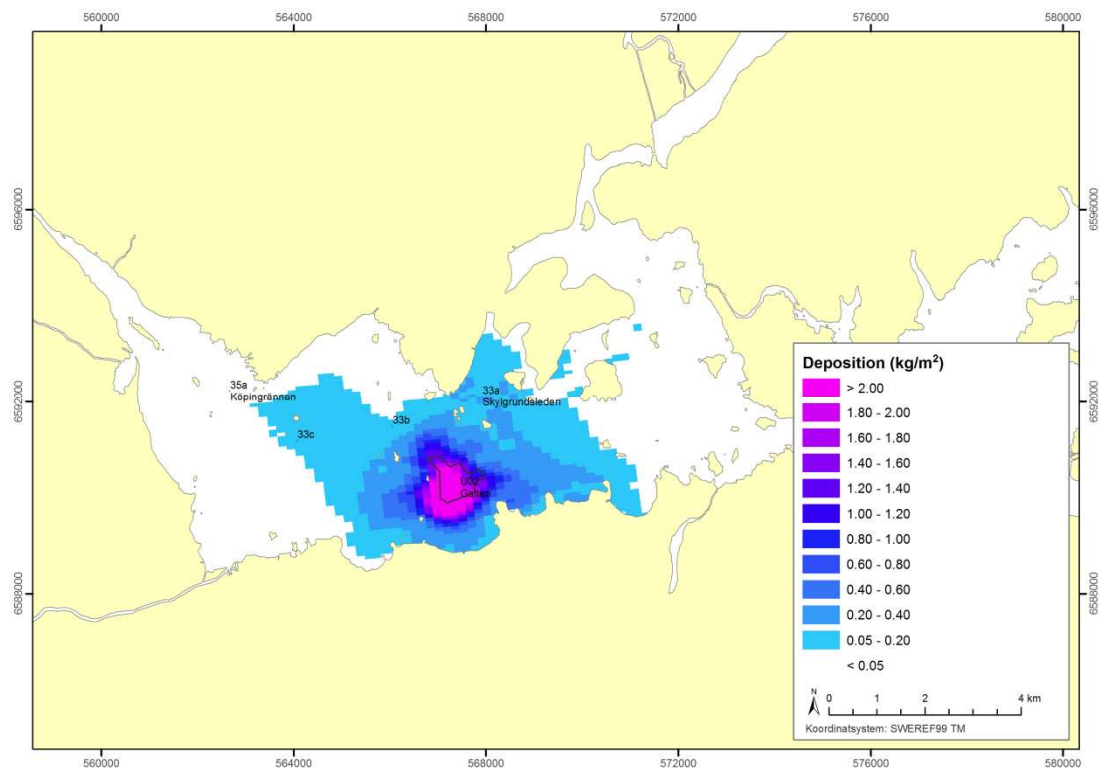
- Vid **muddring och dumpning i totalt 26 dygn** är utbredningen av sedimentmolnet i medeltal 1,5 x 1,5 km vid mudderpunkterna och 2 x 2 km vid dumpningsområdet. Det maximala utbredningsområdet under hela muddringsperioden är upp mot 5 x 5 km vid respektive område. Medelkoncentrationen på avståndet 750 m är högst i närheten av område 33a och dumpningsområdet där koncentrationen är över 0,004 kg/m³. På avståndet 1500 m är koncentrationen mindre än 0,002 kg/m³. Två dygn efter avslutad muddring är koncentrationen av mudderspill som högst 0,0110 kg/m³ i något område i Galten men i största delen av området är koncentrationen mindre än 0,004 kg/m³. Fyra dygn efter avslutad muddring/dumpning är koncentrationen av mängden deponerat sediment störst vid dumpningsområdet, det är också där som aktivitet pågår under alla 26 dygn (eftersom dumpning pågår tills samtliga muddringsområden har muddrats). Närmast dumpningsområdet är depositionen över 3,00 kg/m² och vid muddringsområdena över 1,0 kg/m². Utbredningsområdet med deponerat sediment sträcker sig från Runnskär i väster till Sandholmarna i öster. I ytterkanterna av området är mängden deponerat sediment mindre än 0,20 kg/m².
- **Bottenskjuvspänningen vid de utredda dumpningsområdena** U02 är generellt omkring 0,001 – 0,005 N/m². Den högsta bottenskjuvspänningen är omkring 0,02 N/m².



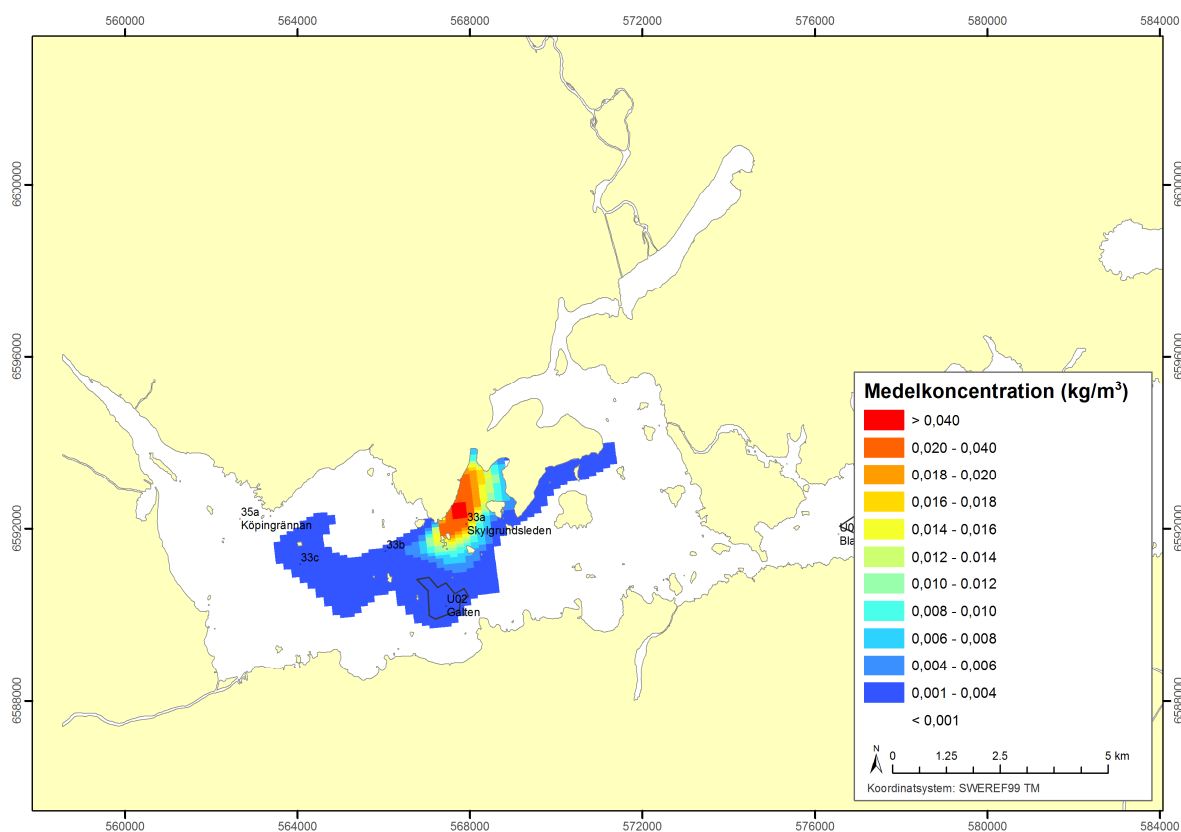
Figur 64. Beräknad spridning av mudderspill från dumpning vid U02 under det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids-integrerat medelvärde under den 7 dagarsperiod då dumpning simulerats.



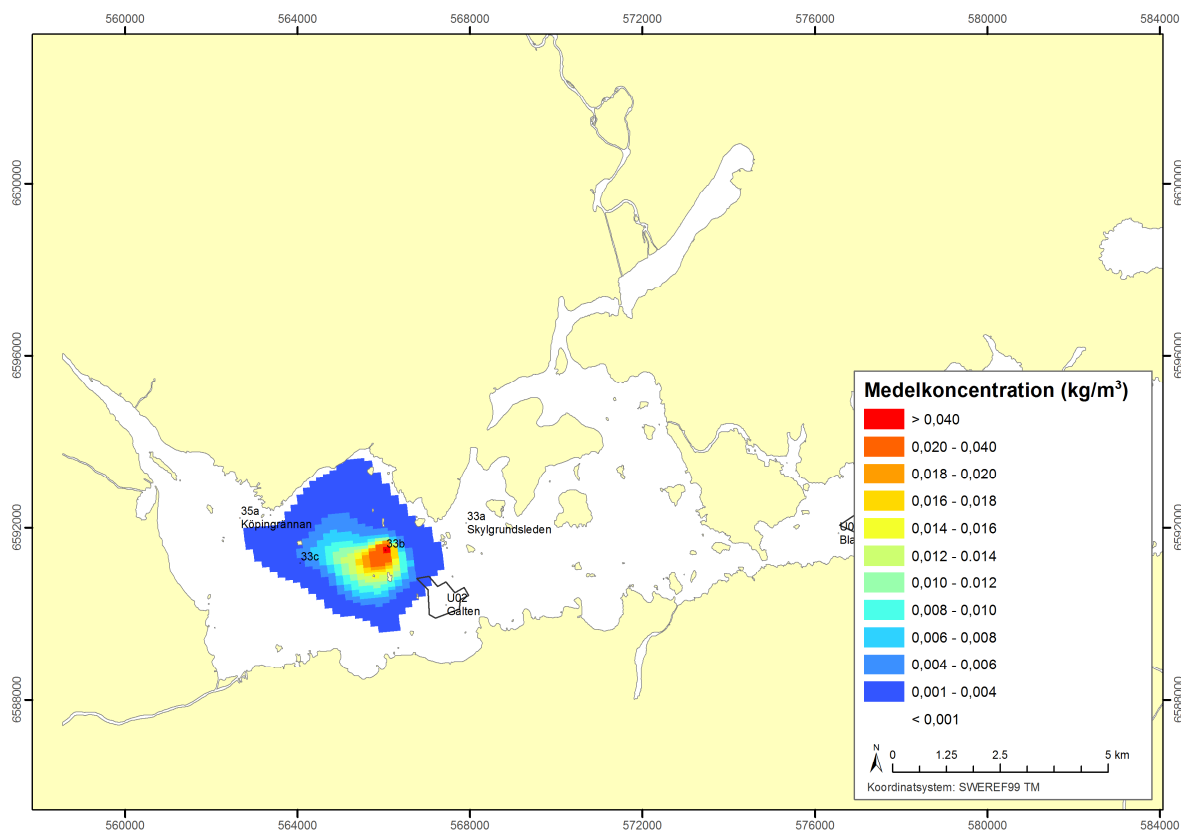
Figur 65. Beräknad spridning av mudderspill från dumpning vid U02 under det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan 2 dygn efter en period av sammanlagt 7 dygns dumpning avslutats.



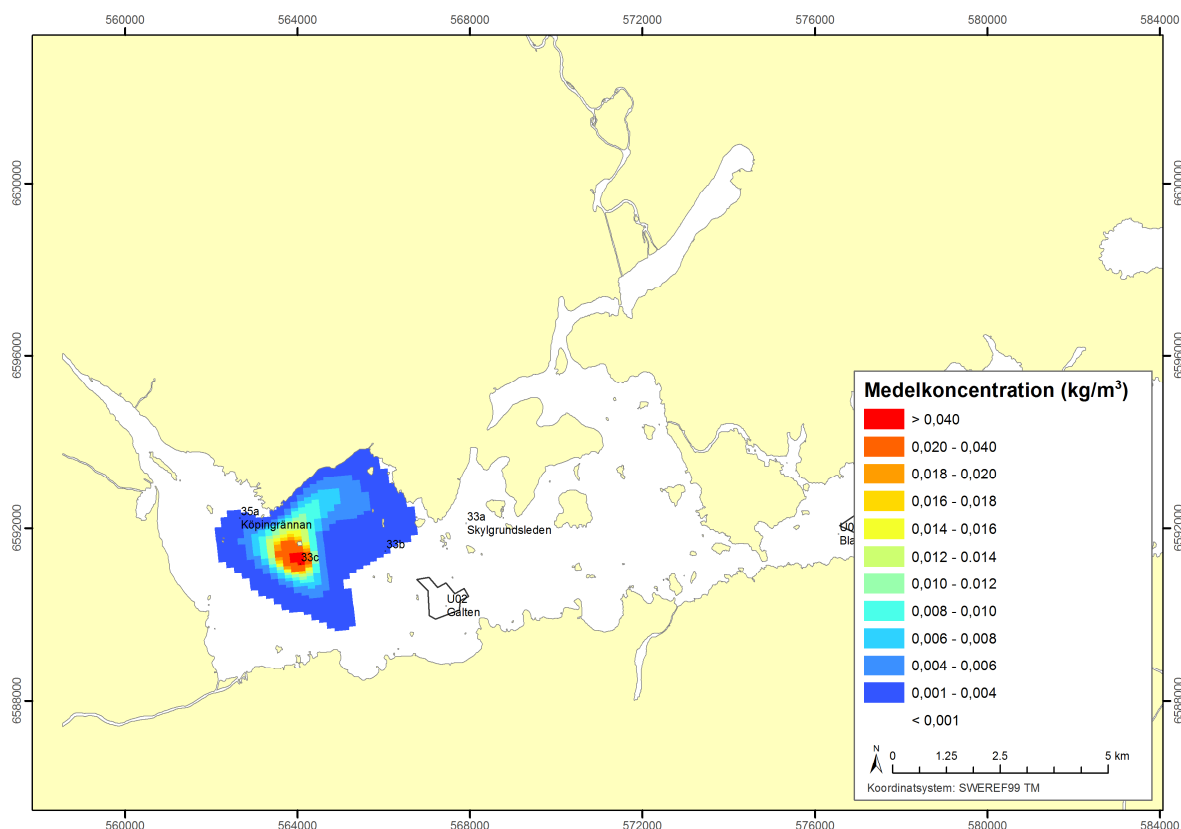
Figur 66. Beräknad (extrapolerad) sedimentation av spill från dumpning vid U02 i samband med hanteringen av 445 000 m³.



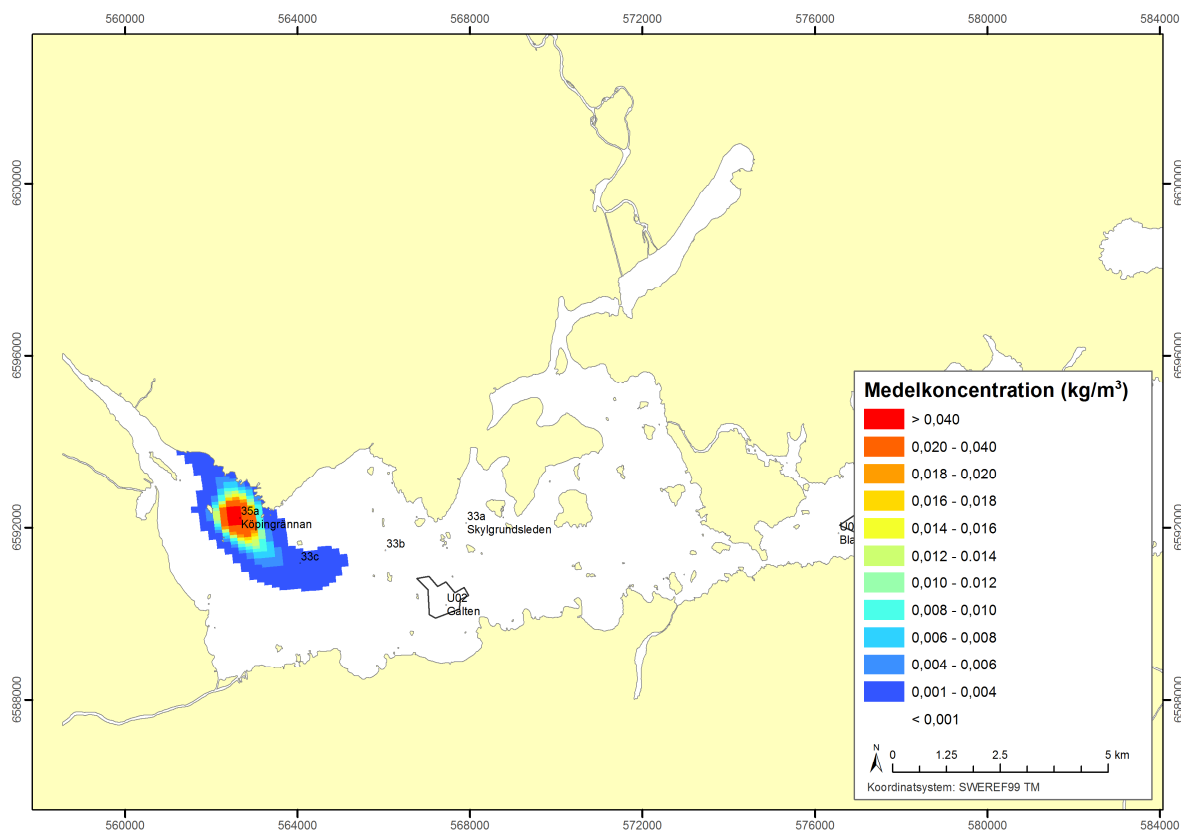
Figur 67. Spridning i ytan av mudderspill från område 33a vid en total muddringstid på 26 dygn (varav 7 dygn i 33a) vid dynamiska förhållanden. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för hela muddringsperioden. Observera att muddringsområde 33 är uppdelat i tre stycken (33a, 33b och 33c) områden längs med farleden för att simulera muddring längs hela farleden. Muddringshastigheten 14 000 m³/dygn har använts. 1 kg/m³ = 10³ mg/l



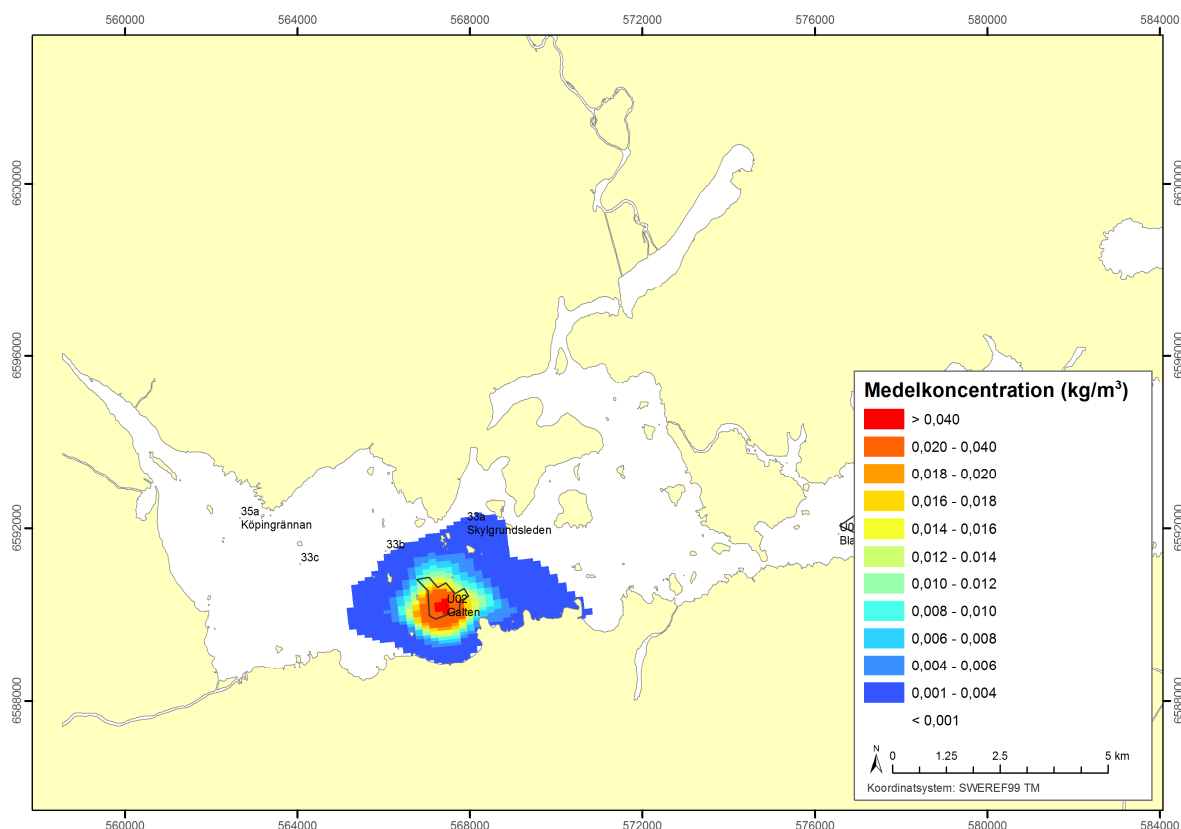
Figur 68. Spridning i ytan av mudderspill från område 33b vid en total muddringstid på 26 dygn (varav 7 dygn i 33b) vid dynamiska förhållanden. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för hela muddringsperioden. Observera att muddringsområde 33 är uppdelat i tre stycken (33a, 33b och 33c) områden längs med farleden för att simulera muddring längs hela farleden. Muddringshastigheten 14 000 m³/dygn har använts. 1 kg/m³ = 10³ mg/l



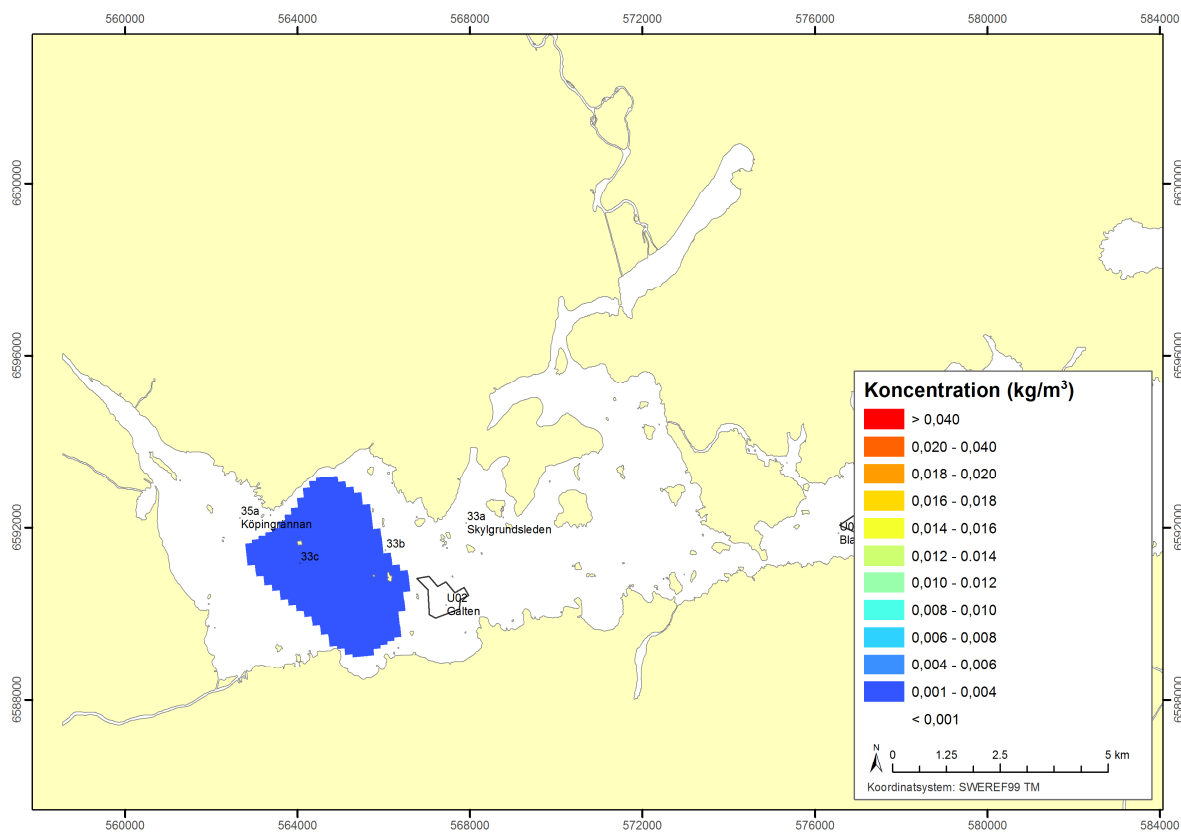
Figur 69. Spridning i ytan av mudderspill från område 33c vid en total muddringstid på 26 dygn (varav 7 dygn i 33c) vid dynamiska förhållanden. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för hela muddringsperioden. Observera att muddringsområde 33 är uppdelat i tre stycken (33a, 33b och 33c) områden längs med farleden för att simulera muddring längs hela farleden. Muddringshastigheten 14 000 m³/dygn har använts. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



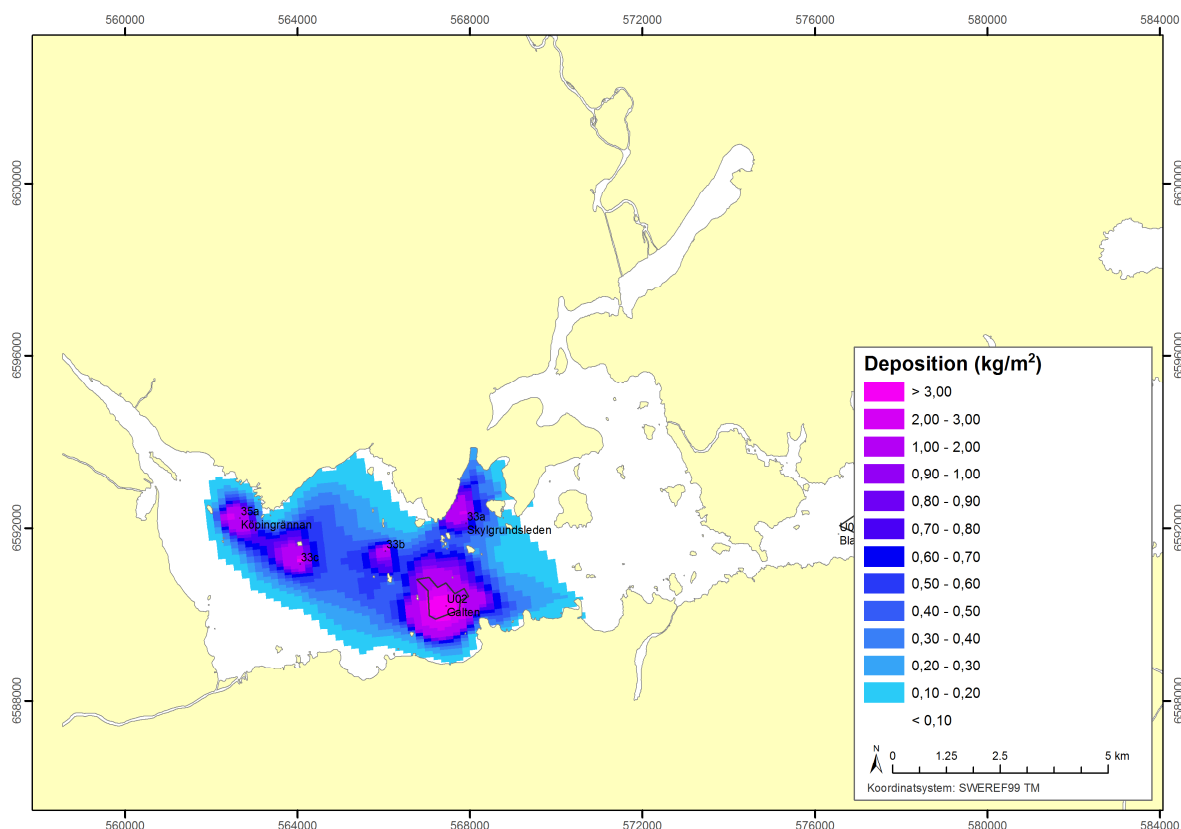
Figur 70. Spridning i ytan av mudderspill från område 35 vid en total muddringstid på 26 dygn (varav 5 dygn i 35a) vid dynamiska förhållanden. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids-integrerat medelvärde för hela muddringsperioden. Muddringshastigheten 14 000 m³/dygn har använts. 1 kg/m³ = 10³ mg/l



Figur 71. Spridning i ytan av mudderspill från område U02 vid en total muddringstid på 26 dygn vid dynamiska förhållanden. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för hela muddringsperioden. Muddringshastigheten $14\,000\text{ m}^3/\text{dygn}$ har använts. $1\text{ kg/m}^3 = 10^3\text{ mg/l}$



Figur 72. Spridning av mudderspill från punkt 33b två dygn efter avslutad muddring vid en total muddringstid på 26 vid dynamiska förhållanden. Bilden visar koncentrationen av mudderspill. Muddringshastigheten 14 000 m³/dygn har använts. 1 kg/m³ = 10³ mg/l



Figur 73. Utbredning av deponerat sediment från muddring och dumpning vid en total muddringstid på 26 dygn följt av 4 dygn utan spill, dvs hantering av 360 000 m³ sediment. Bilden visar koncentrationen av deponerat sediment efter ca 4 dygn utan något spill från muddring/dumpning. Det är den totala mängden deponerat sediment från samtliga muddrings- och dumpningsområden som visas. Muddringshastigheten 14 000 m³/dygn har använts.

7.2 Vattenförekomsterna Blacken, Västerås- och Granfjärden

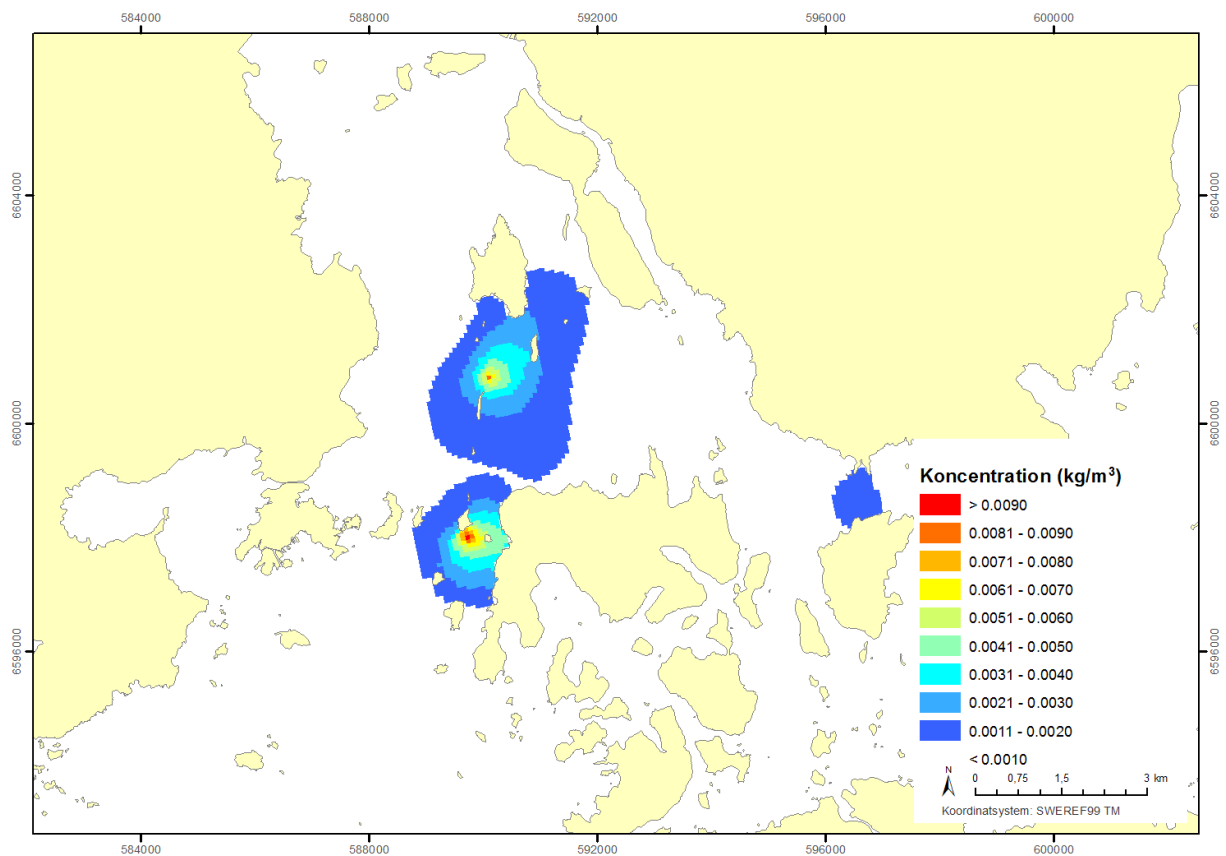
Löpande planering av masshantering i Blacken, Västerås- och Granfjärden har inneburit att förutsättningar för muddring och dumpning justerats vid flera tillfällen under projektets gång. Därför har SMHI för vissa områden utfört beräkningar enligt flera olika förutsättningar. Speciellt rör detta de tidigare utredningsplatser för dumpning. Tidigare utredningsplatser U03 och U05 har sedermera utgått.

I området vid Blacken, Västerås- och Granfjärden (delmodellen Kvicksund – St. Långholmen) har spill från tre muddringsområden (M21/M21, M24, M18) och två utredningsområden för dumpningsområdena (U05 och U07) med de två olika sedimenttyperna modellerats. Båda sedimenttyperna (lersand och gyttjelera) muddras och dumpas. Samtliga resultat för vattenförekomsterna Blacken, Västerås- och Granfjärden finns i Appendix 2.

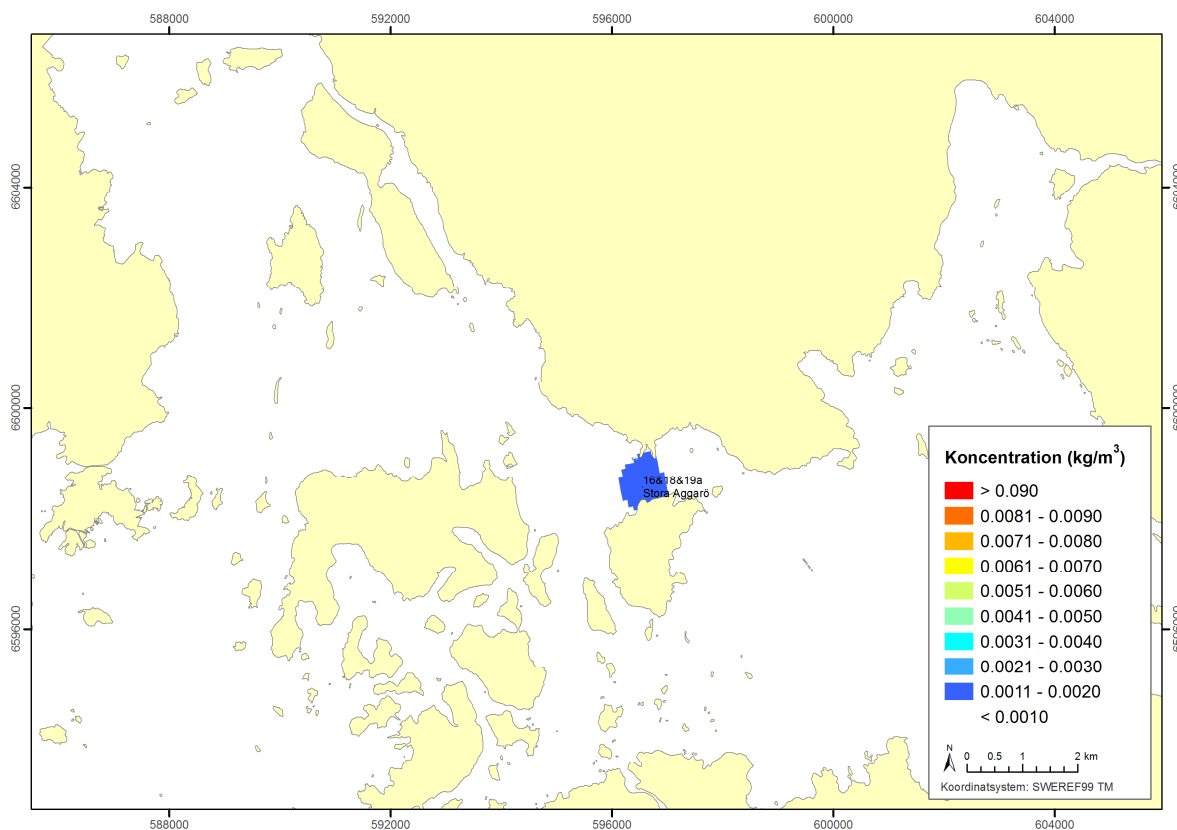
7.2.1 Stationär drivning

I Figur 74 -Figur 77 presenteras ett urval resultaten för beräkningarna med stationär drivning för vattenförekomsterna Blacken, Västerås- och Granfjärden. Figurerna visar spridning och koncentration av suspenderat mudderspill, samt deposition av sediment som spills vid muddring/dumpning. I område U07 dumpas massor från muddringsområde 16,18, och 19 under ca 1 dygn, volymen uppgår till 5000 m³. Resultaten för känslighetsanalysen för temperaturskiktning presenteras i Figur 77

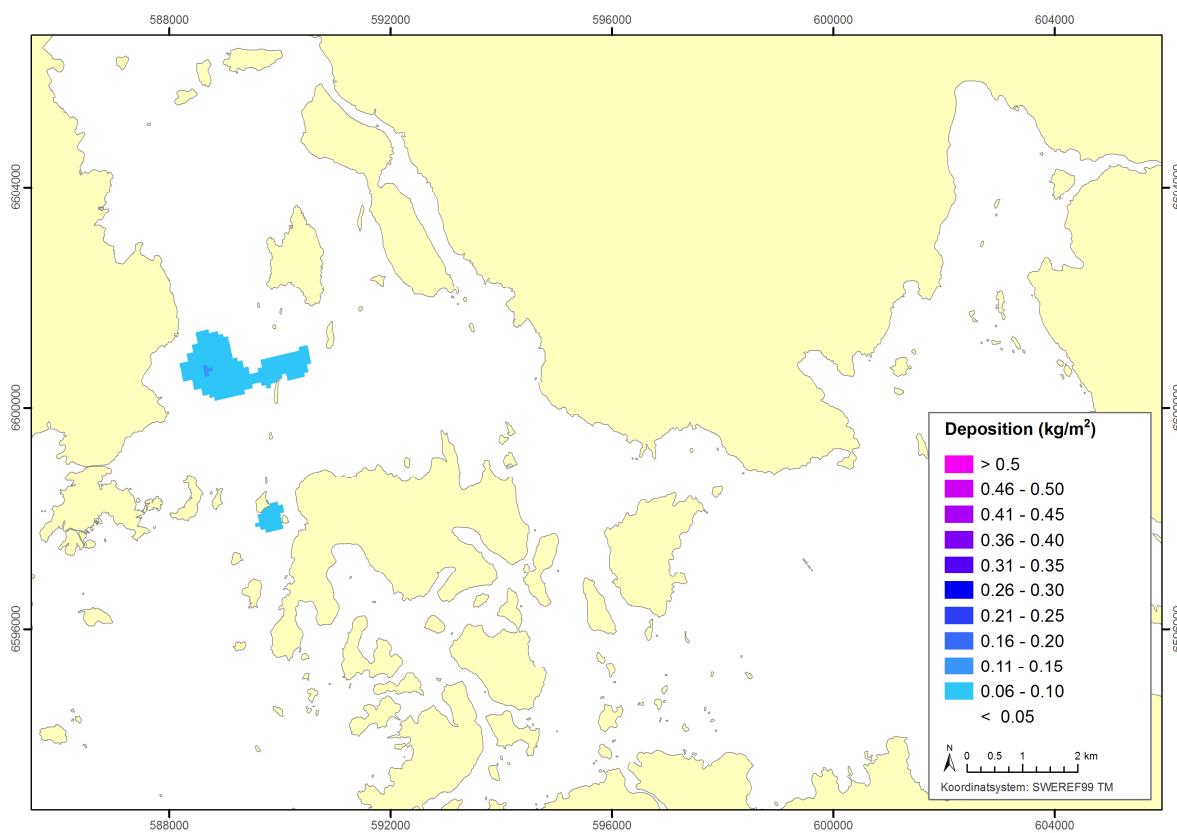
- Vid **muddringsområdet** sprids mudderspill som mest på ett område om ca 2 x 2 km runt muddringsområdet. Störst blir plymen vid muddring i område 21/22. Koncentrationen av mudderspill är högst i ett område runt muddringsområde 21/22 och 24/25. På avståndet 750 m från muddringsområde 21/22 och 24/25 är koncentrationen högre än 0,004 kg/m³ och 1500 m från muddringsområdet är koncentrationen mindre än 0,003 kg/m³. Två dygn efter avslutad muddring är koncentrationen av mudderspill i hela området mindre än 0,0010 kg/m³.
- **Depositionen** av sediment som spillts vid muddring och dumpning är högst i området nära muddringsområde 21/22. Två dygn efter avslutad muddring/dumpning är området ca 1 x 2 km och koncentrationen av deponerat mudderspill är mindre än 0,10 kg/m².
- **Känslighetsanalysen för temperaturskiktning** visar att skiktningen leder till att spridningsbilden och koncentrationen ser något olika ut vid ytan och botten. Bottenströmmarna är generellt sett lägre i en skiktad vattenmassa än i en oskiktad. Det medför att koncentrationerna blir något högre vid botten än i ytan vid skiktade förhållanden. Vid oskiktade förhållanden ser spridningsbilden i stort sett likadan ut vid ytan och botten. På grund av att det är högre koncentration av sediment vid botten närmast muddringsområdet vid skiktade förhållanden blir också mängden deponera sediment nära muddringsområdet något högre. I ytan fås de högsta koncentrationerna av mudderspill nordost om muddringsområdet, inom 750 m från området överstiger koncentrationen 0,006 kg/m³ och på 1500 m från området är koncentrationen mindre än 0,005 kg/m³. Vid botten sker spridningen både i nordostlig och sydvästlig riktning och på avståndet 750 m är koncentrationen högre än 0,007 kg/m³. Två dygn efter avslutad muddring är koncentrationen av mudderspill mindre än 0,001 kg/m³ i hela området., omkring 0,15 kg/m² nära området och mindre än 0,04 kg/m² längre bort.



Figur 74. Spridning av mudderspill från U07 och 21, 22 och 24, 25 vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan efter 2 dygn med spill och konstant vind från SV. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$

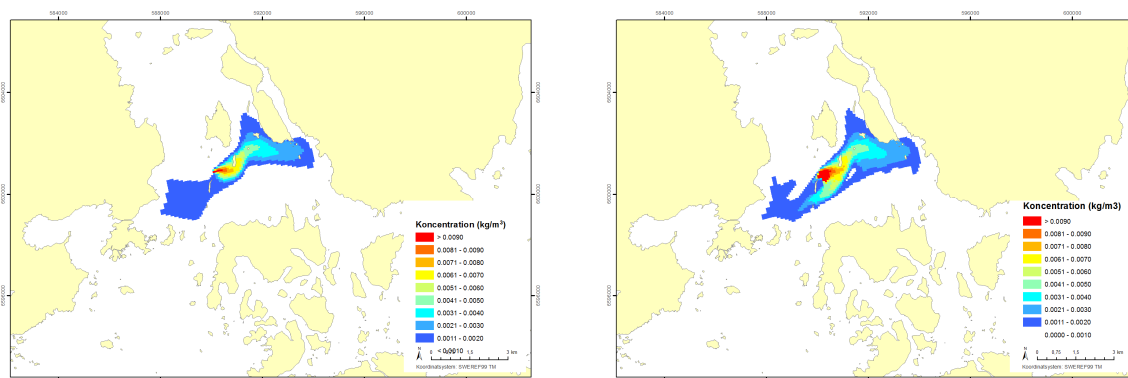


Figur 75. Spridning av mudderspill från 16,18,19 vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan efter 2 dygn med spill och konstant vind från SV. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 76. Utbredning av deponerat mudderspill från muddring och dumpning (gyttjelera och lersand). Bilden visar koncentrationen av deponerat mudderspill 2 dygn efter avslutad muddring/dumpning. Det är den totala mängden deponerat mudderspill från samtliga

muddrings- och dumpningsområden som visas. Bilden motsvarar hantering av 12000 m³ i M21/M22 samt 12000 m³ i U05.



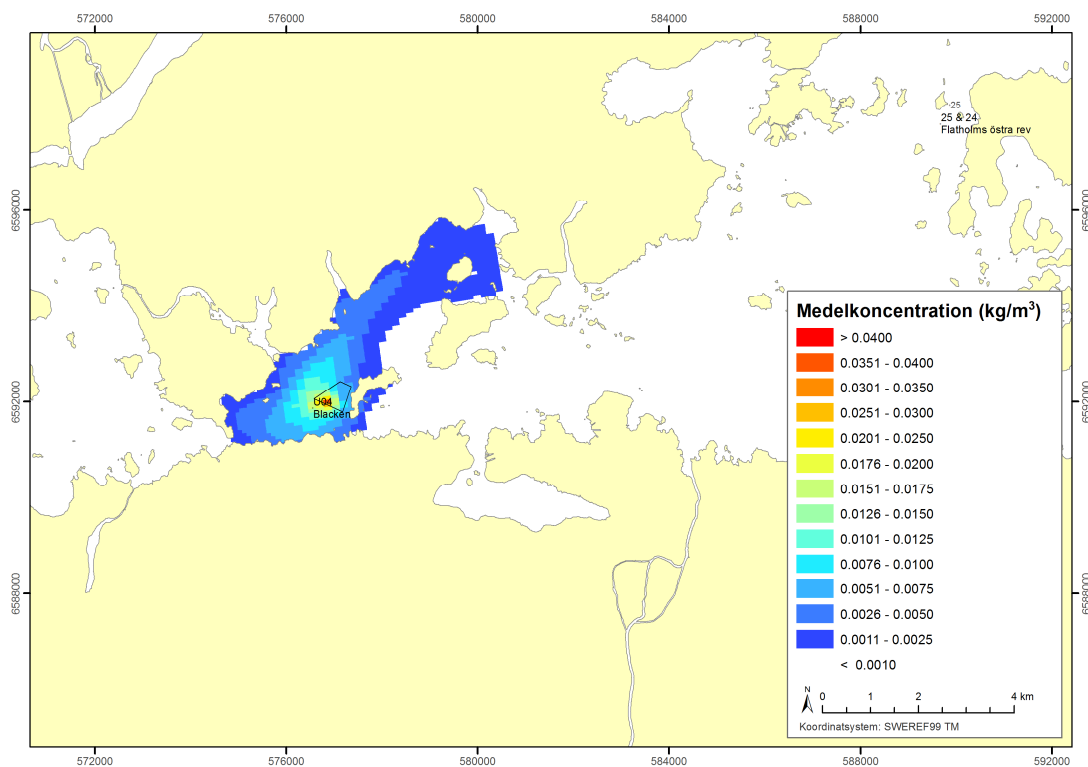
Figur 77. Spridning av mudderspill från 21, 22 vid det stationära fallet under oskiktade(vänster) samt skiktad(höger) vattenmassa. Bilden visar koncentrationen av suspenderat mudderspill i ytan efter 2 dygn med spill och konstant vind från SV. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$

7.2.2 Dynamisk drivning

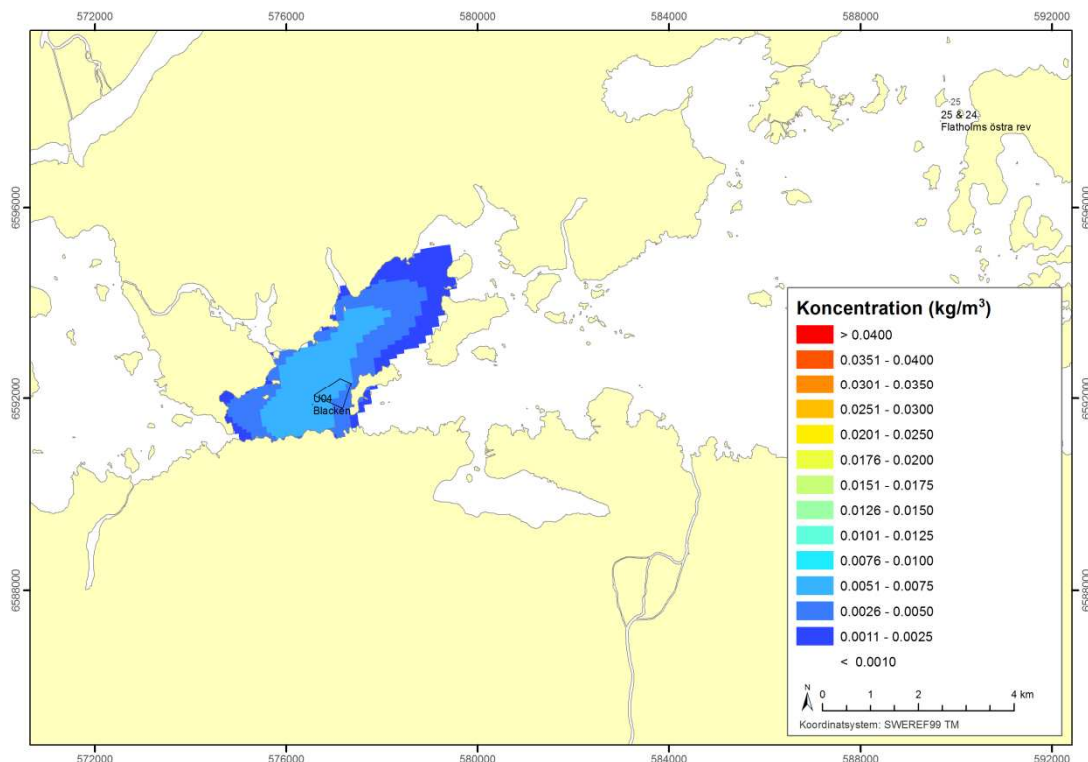
I Figur 78-85 presenteras ett urval av resultaten för beräkningarna med dynamisk drivning för vattenförekomsterna Blacken, Västerås- och Granfjärden (delmodellen Kvicksund – St. Långholmen). Figuren visar spridning och koncentration av suspenderat mudderspill, samt deposition av sediment som spills vid muddring/dumpning. Arbetstiden för muddring vid M21/M22 förväntas uppgå till ca två veckor, vilket alltså är längre tid än de 7 dygn som simulerats. Detta påverkar företrädesvis depositionen i högre grad än koncentrationen suspenderat sediment i vattnet. I område U07 dumpas massor från muddringsområde 16, 18 och 19 under ca 1 dygn, volymen uppgår till 5000 m³.

För dumpningsområdet U04 har kompletterande simuleringar gjorts för 510 000 m³ och en känslighetsanalys med mindre mängd.

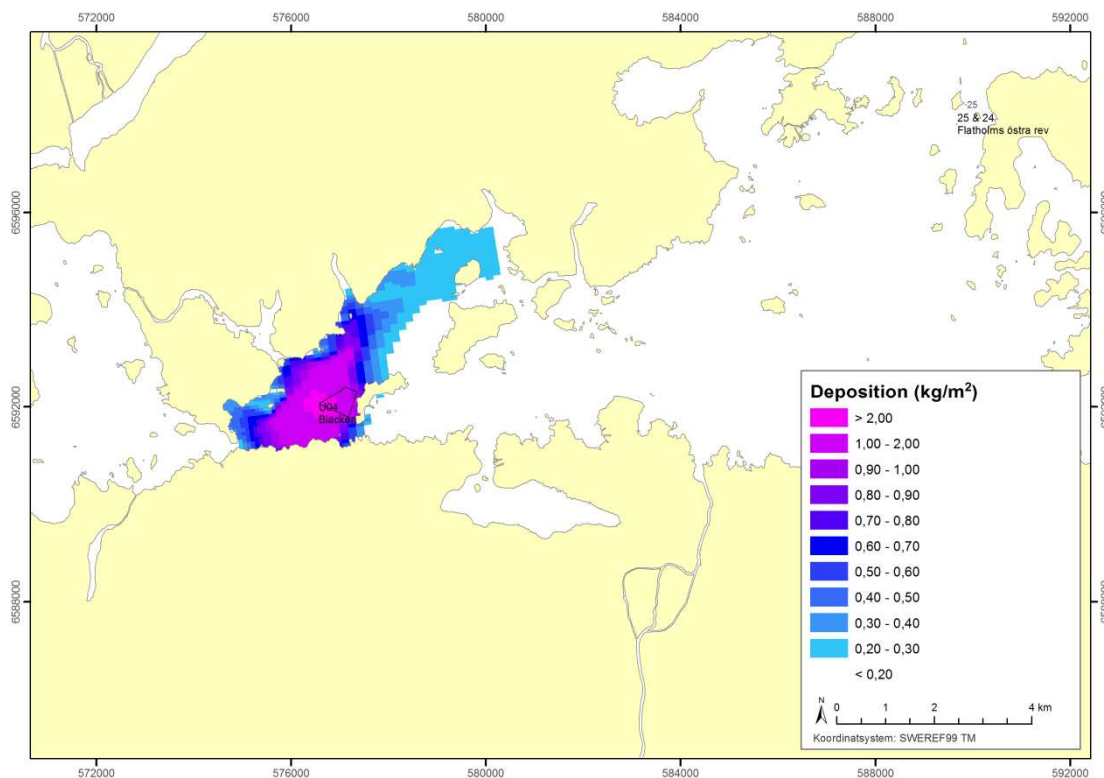
- Vid **muddringsområdena** sprids mudderspill i medeltal som mest på ett område om ca 2 x 2 km runt muddringsområdet. Störst utbredning får plymen från område 21/22 eftersom det är störst volym som muddras där. Vid område 24/25 sker spridning av spill främst åt söder ca 2 km. Vid område 21/22 fås högst koncentration i ett område runt arbetsområde, på avståndet 750 m är koncentrationen i medeltal högre än 0,004 kg/m³ och på 1500 m från området är koncentrationen mindre än 0,002 kg/m³. Vid område 24/25 fås högst koncentrationer i ett stråk söder ut, i medeltal är koncentrationen på avståndet 750 m högre än 0,006 kg/m³ och på avståndet 1500 m lägre än 0,004 kg/m³. Två dygn efter avslutad muddring av koncentrationen av mudderspill från mindre än 0,002 kg/m³ i hela området.
- **Depositionen** av sediment som spills vid muddring och dumpning är högst runt muddringsområde 21/22 och tidigare utredningsområde U05, samt i ett stråk där emellan. Koncentrationen där är högre än 0,16 kg/m². Längre bort mot depositionsområdets ytterkanter är koncentrationen lägre än 0,10 kg/m².
- **Bottenskjuvspänningen vid dumpningsområdet U07** är generellt omkring 0,001 – 0,005 N/m². Den högsta bottenkjuvspänningen är omkring 0,01 N/m².



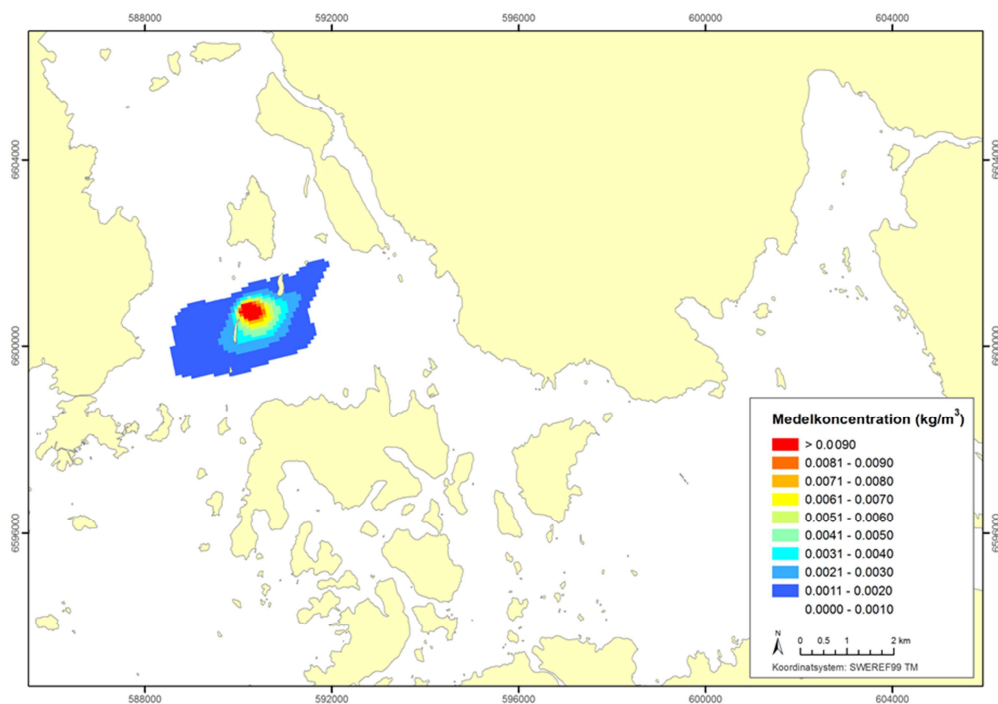
Figur 78. Beräknad spridning av mudderspill från dumpning vid U04 under det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde under den 7 dagarsperiod då dumpning simulerats. Dumpningstakten är 14000 m³/dygn.



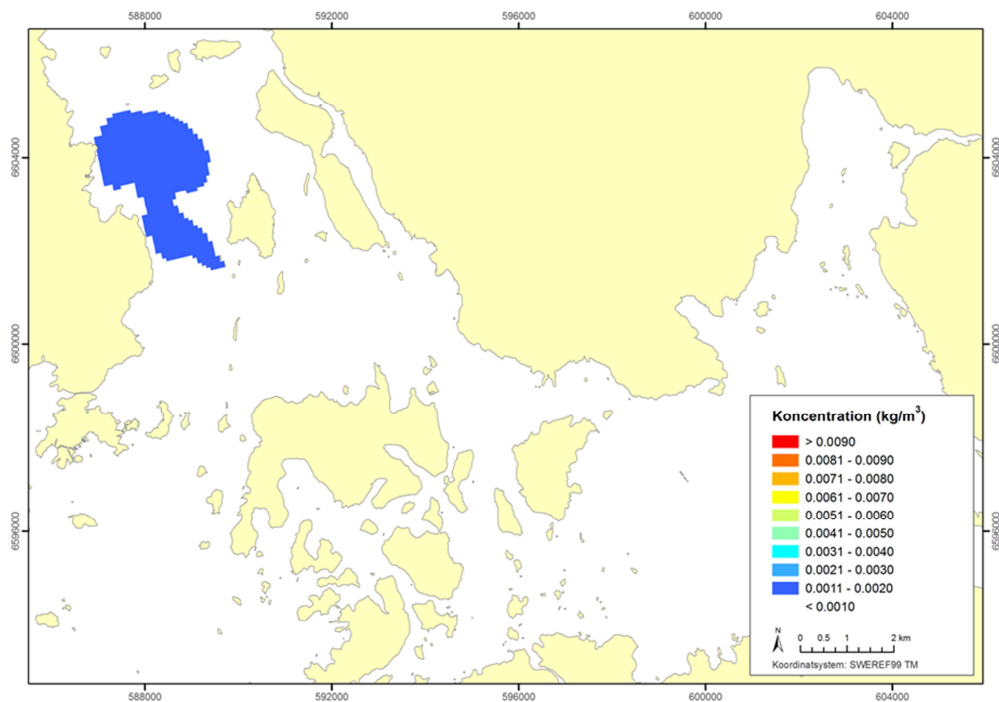
Figur 79. Beräknad spridning av mudderspill från dumpning vid U04 under det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan 2 dygn efter en period av sammanlagt 7 dygns dumpning avslutats. Dumpningstakten under simuleringen var 14000 m³/dygn.



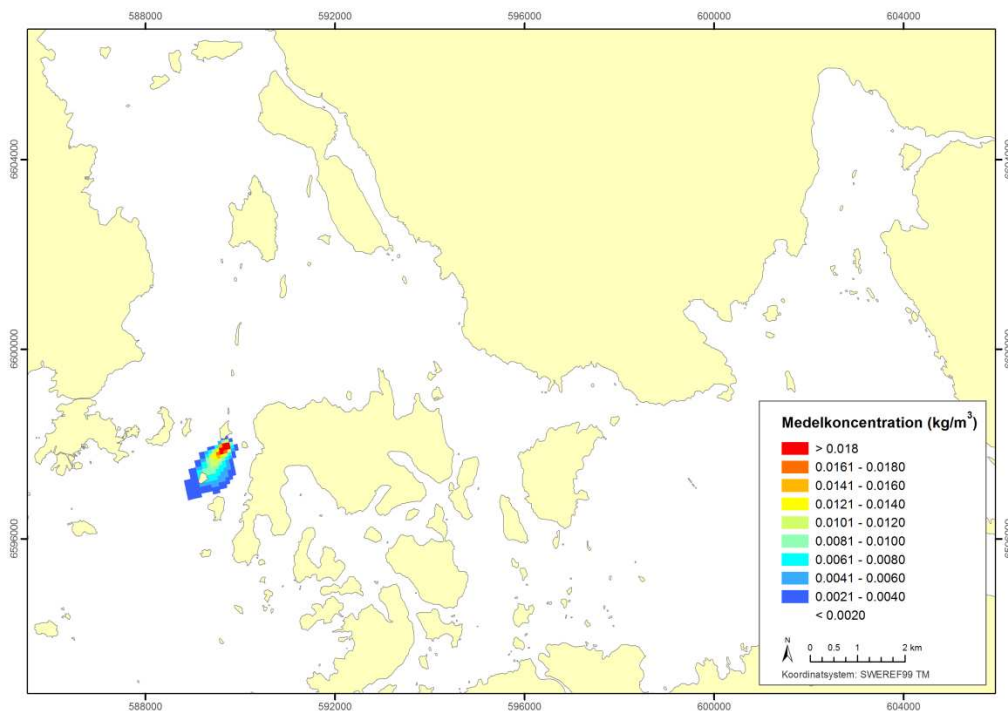
Figur 80. Beräknad (extrapolerad) sedimentation av spill från dumpning vid U04 i samband med hanteringen av 510 000 m³. Tillståndsansökan avser 550 000 m³ vilket alltså motsvarar hanteringen av en något större volym.



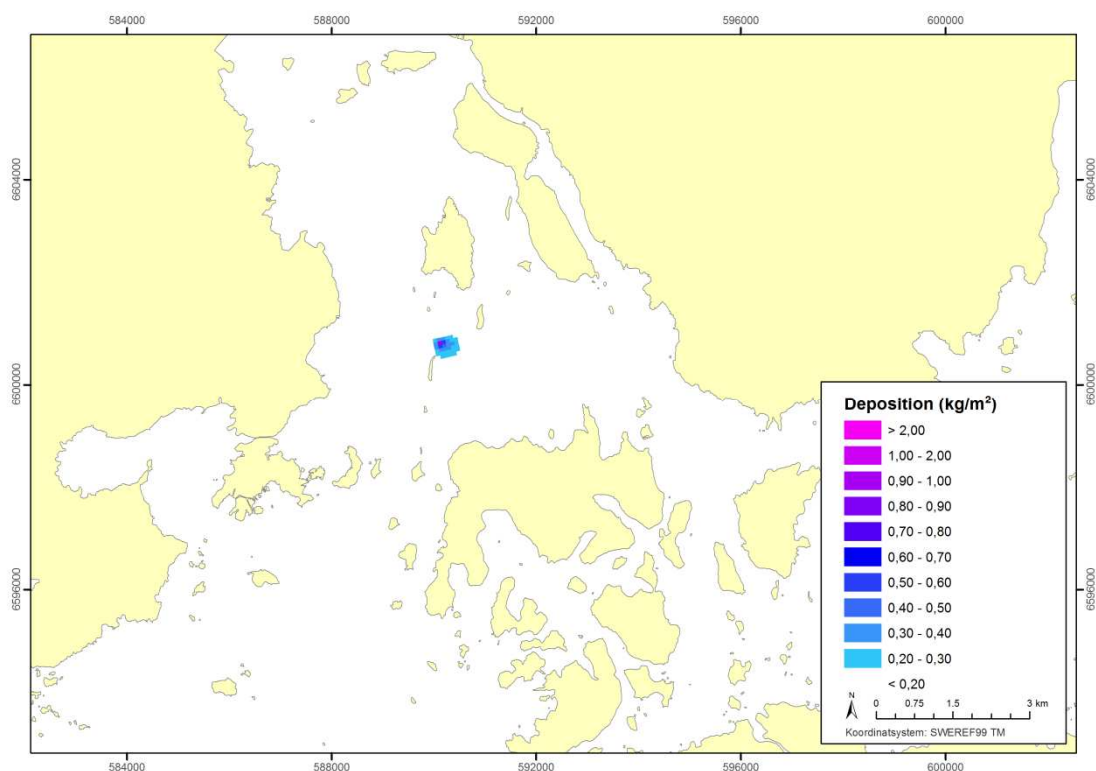
Figur 81. Spridning av mudderspill från område 21,22 vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för simulerad period. Muddring av 42000 m³ under 7 dygn. 1 kg/m³ = 10³ mg/l



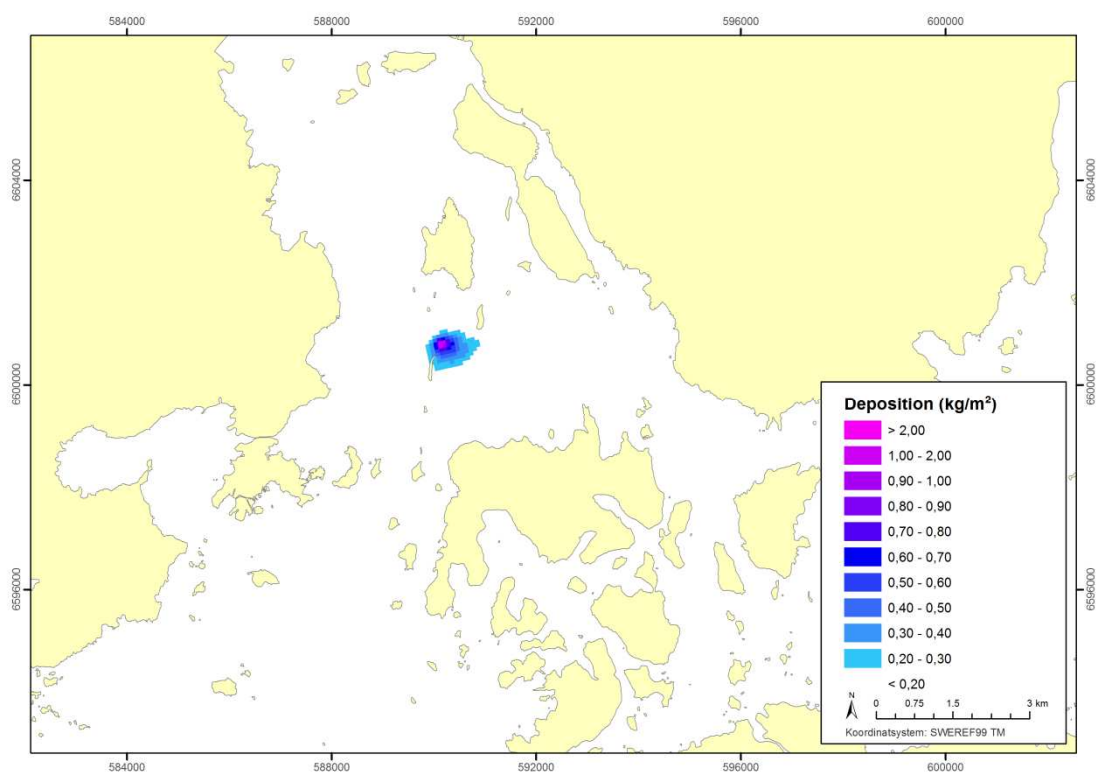
Figur 82. Spridning av mudderspill från muddring vid 21, 22 vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan 2 dygn efter en period av sammanlagt 7 dygns muddring avslutats. Under 7dygnsperioden simulerades muddring av 42000 m^3 . $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$.



Figur 83. Spridning av mudderspill från område 24, 25 vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för en period av sammanlagt 7 dygns muddring, vilket svarar mot muddring av 42000 m^3 . $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 84. Utbredning av deponerat sediment från muddring och dumpning. Bilden visar mudderspill 2 dygn efter att en period av sammanlagt 7 dygns dumpning avslutats. Dumpningstakten under simuleringen var muddrings- och dumpningsområden 6000 m³/dygn dvs. bilden illustrerar hantering av 42 000 m³.



Figur 85. Utbredning av deponerat sediment från muddring och dumpning (gyttjelera och lersand). Bilden visar extrapolering av resultat för att motsvara hantering av 80 000 m³ vid M21/M22.

Arbetstiden för muddring vid M21/M22 förväntas uppgå till ca två veckor och omfatta ca 80 000 m³, vilket alltså är längre tid och större volym än vad som simulerats. Detta påverkar företrädesvis depositionen varför sedimentdepositionen kring M21/M22.

7.3 Vattenförekomsterna Oxfjärden och Arnöfjärden

I vattenförekomsterna Oxfjärden och Arnöfjärden (delmodell Aggarön – östra Stallholmen) sker spill från fem muddringsområden (M9/10, M11, M12, M13 och M14) och tre dumpningsområden (U08 och U09) med de två olika sedimenttyperna. Området runt Hjulstabron, liksom i hela centrala Mälaren, omges av öar och sund vilket gör att tillgången på spädvatten är begränsad och plymen med mudderspill kan därmed få ett större utbredningsområde. Eftersom strömningsmönstret i området varierar så skiljer sig också plymens utseende beroende var i området man muddrar. Samtliga resultat för vattenförekomsterna Oxfjärden och Arnöfjärden finns i Appendix 3.

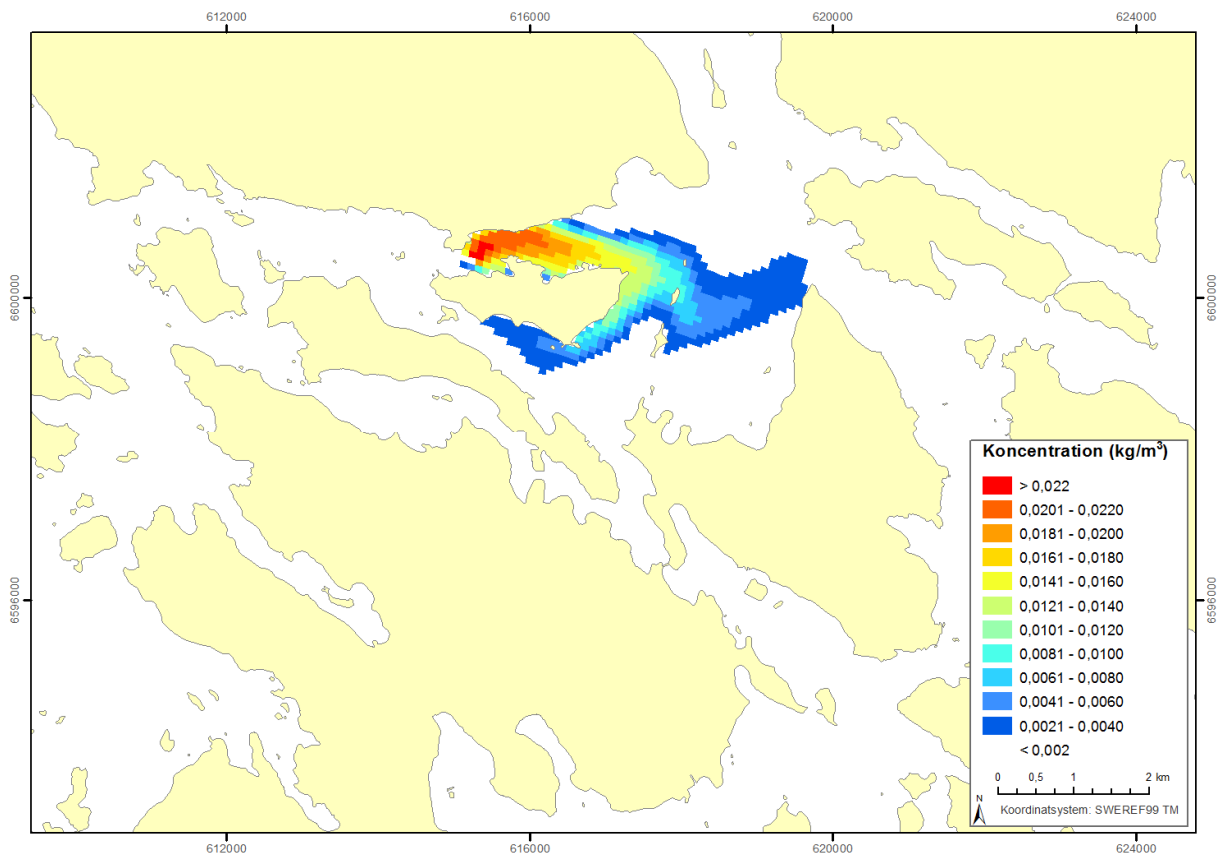
7.3.1 Stationär drivning

I Figur 86-Figur 96 presenteras ett urval av resultaten för beräkningarna med stationär drivning för vattenförekomsterna Oxfjärden och Arnöfjärden. Figurerna visar spridning och koncentration av suspenderat mudderspill, samt deposition av sediment som spills vid muddring/dumpning.

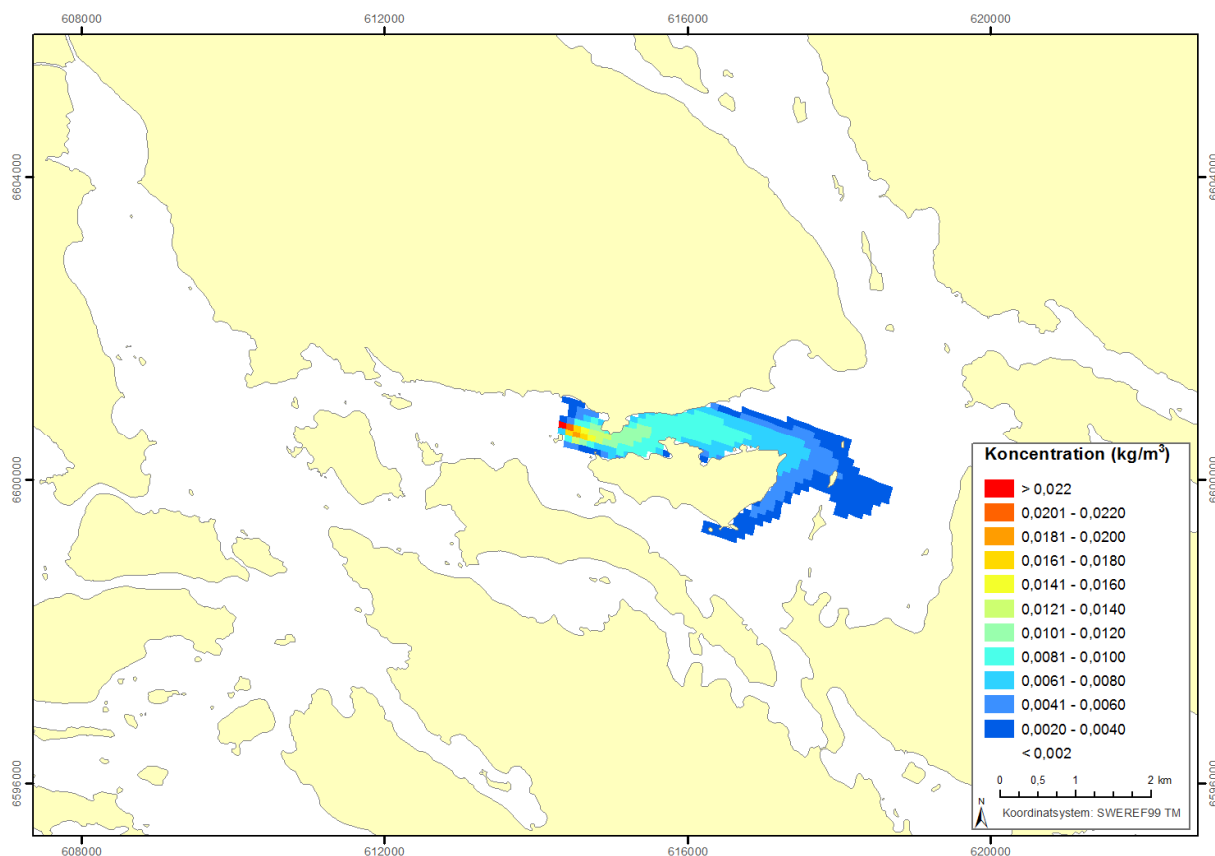
- Vid **muddringsområdena** sprids mudderspill som mest på ett område om 5 x 2 km. Vid **muddringsområde 14 och 12** är de muddrade volymerna mycket små (muddring pågår under 7 timmar) och påverkansområdet blir därför relativt litet, ca 1 km under några timmar. Koncentrationen är som högst 0,009 kg/m³ vid muddringsområde 12 och som högst 0,007 kg/m³ vid muddringsområde M14.
Från **muddringsområde 9/10 och 11**, som båda ligger norr om Koholmen, sprids mudderspillet österut. Det betyder att strömmarna norr om Koholmen under dessa förhållanden går österut dvs. mot vindriktningen. Plymen följer Koholmens strandlinje och vid den östra änden av ön vrider plymen av så att en del av mudderspillet transporteras väster ut på södra sidan av Koholmen, medan en del fortsätter öster ut. De högst koncentrationerna fås längs Koholmens norra strandlinje. Vid muddringsområde 9/10 är koncentrationen inom avståndet 750 m från muddringsområdet högre än 0,022 kg/m³ och på avståndet 1500 m är koncentrationen mindre än 0,016 kg/m³. Plymen med spill från muddringsområde 11 har liknande spridningsmönster som beskrivits ovan. Inom avståndet 750 m från muddringsområdet är koncentrationen högre än 0,014 kg/m³ och på avståndet 1500 m är koncentrationen mindre än 0,01 kg/m³. Det blir högre koncentration av mudderspill vid 9/10 än vid 11 trots att muddring pågår något längre vid 11. Detta beror på att det är två olika sedimenttyper som muddras vid de två områdena, lersand vid 9/10 och gyttjelera vid 11. Från **muddringsområde 13**, som ligger i sundet mellan Tedarön och Märsön, sprids plymen med mudderspill i huvudsak först norr ut och delar sig sedan så att huvuddelen går öster ut både norr och söder om Koholmen, och en mindre del går väster ut norr om Tedarön. De högsta koncentrationerna fås precis norr om muddringsområdet. Inom avståndet 750 m från muddringsområdet är koncentrationen högre än 0,006 kg/m³ och på avståndet 1500 m är koncentrationen mindre än 0,006 kg/m³. När muddringen avslutas börjar koncentrationen av mudderspill att avklinga och två dygn efter avslutad muddring är koncentrationen som högst 0,004 kg/m³ i någon del av området.
- Vid **dumpningsområdena** U08 och U09 sprids mudderspill som mest i ett område om 5 x 2 km. Vid **dumpningsområde U08** dumpas både lersand och gyttjelera, men mängden lersand är relativt liten vilket ger litet påverkansområde. Vid dumpning av gyttjelera är koncentrationen högre än 0,005 kg/m³ inom avståndet 750 m från området och på avståndet 1500 m är koncentrationen lägre än 0,004 kg/m³. Dumpningsområdet ligger i anslutning till muddringsområde M13 och spridningsmönstret är därför liknande. Även vid **dumpningsområde U09** dumpas båda sedimentarterna. Spridning sker främst österut från dumpningsområdet och utbredningsområdet är liknande för dumpning av båda sedimentarterna. Högst koncentration fås vid dumpning av lersand, inom 750 m från dumpningsområdet är koncentrationen högre än 0,008 kg/m³ och på avståndet 1500 m är koncentrationen mindre än 0,006 kg/m³. När dumpning avslutas börjar koncentrationen av

mudderspill i området att avklinga och två dygn efter avslutad dumpning är koncentrationen mindre än $0,003 \text{ kg/m}^3$ i hela området.

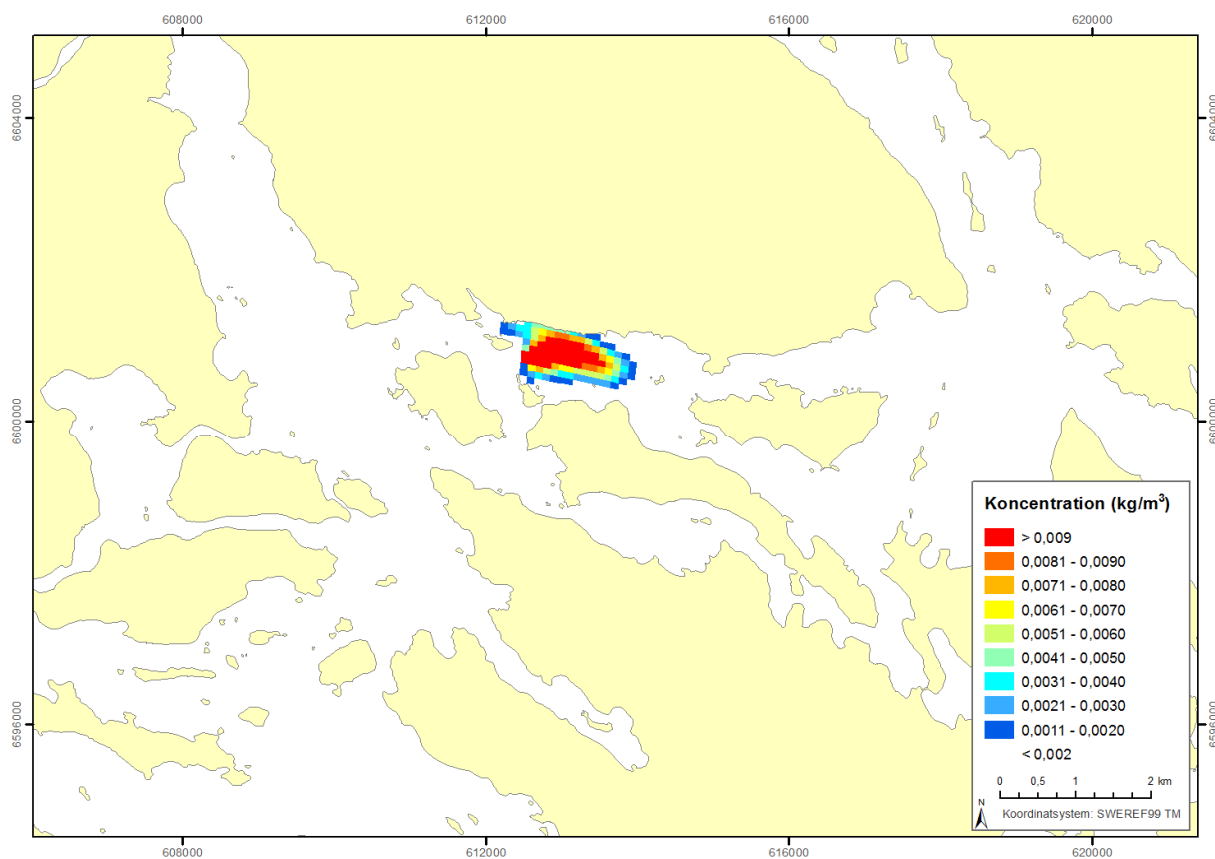
- **Depositionen** av sediment som spillts vid muddring och dumpning är högst i området nära dumpningsområdena. Två dygn efter avslutad muddring/dumpning är koncentrationen av deponerat mudderspill som högst $0,25 \text{ kg/m}^2$ precis utan för dumpningsområdena. I farleden norr om Märsön och Kolholmen, där det är smalt och därmed högre strömhastighet, är depositionen mindre än $0,2 \text{ kg/m}^2$. I Oknöfjärden är depositionen som högst $0,12 \text{ kg/m}^2$ utanför dumpningsområdet.



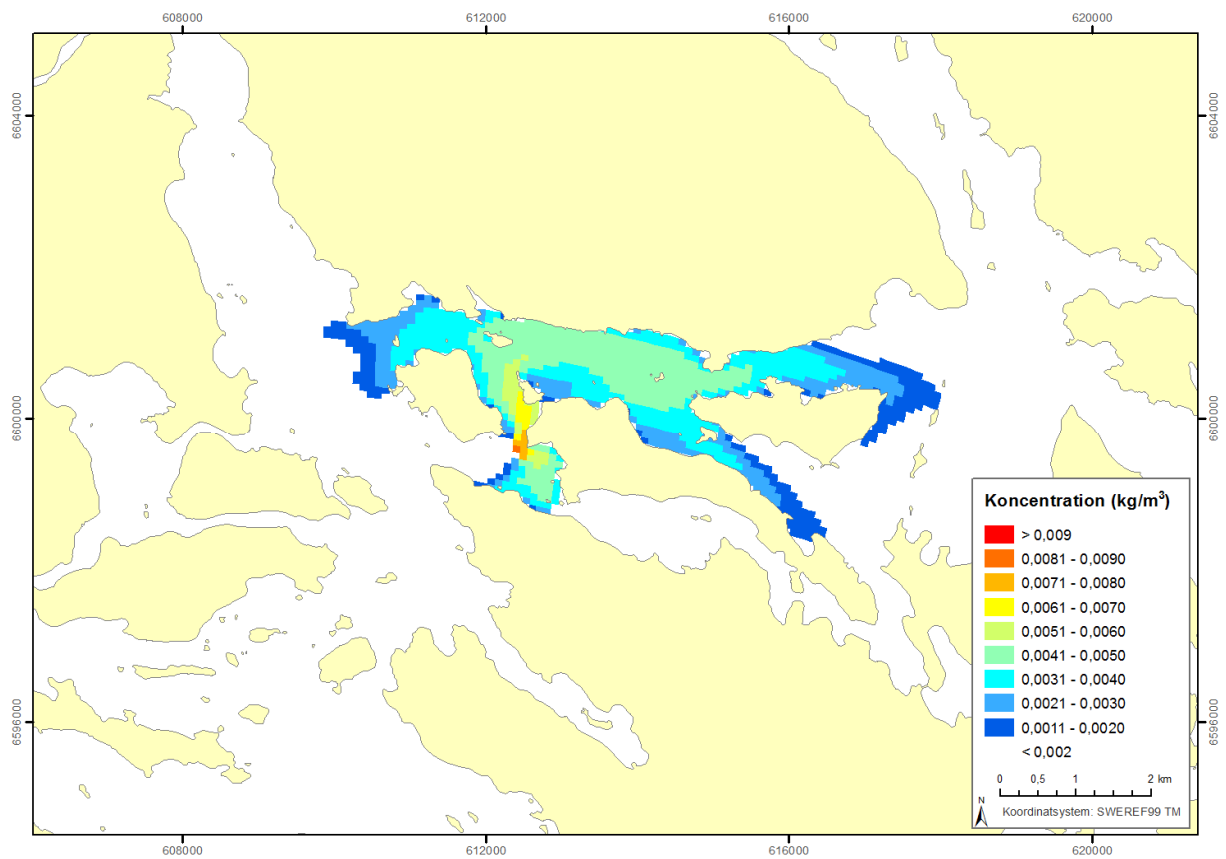
Figur 86. Spridning av mudderspill muddring vid 9,10 (lersand) vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av suspenderat sediment i ytan efter 2 dygn med spill. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



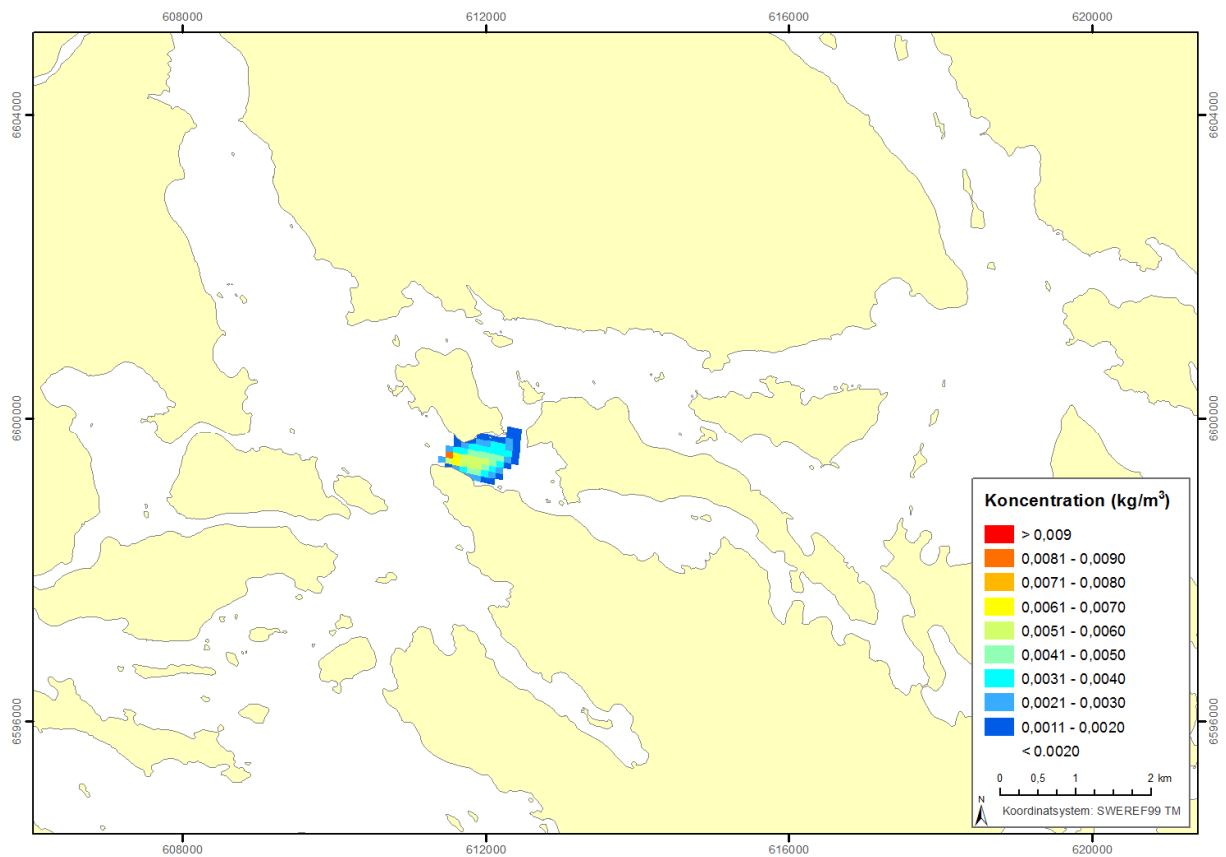
Figur 87. Spridning av mudderspill från 11(gyttjelera) vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av suspenderat sediment i ytan efter 2 dygn med spill. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



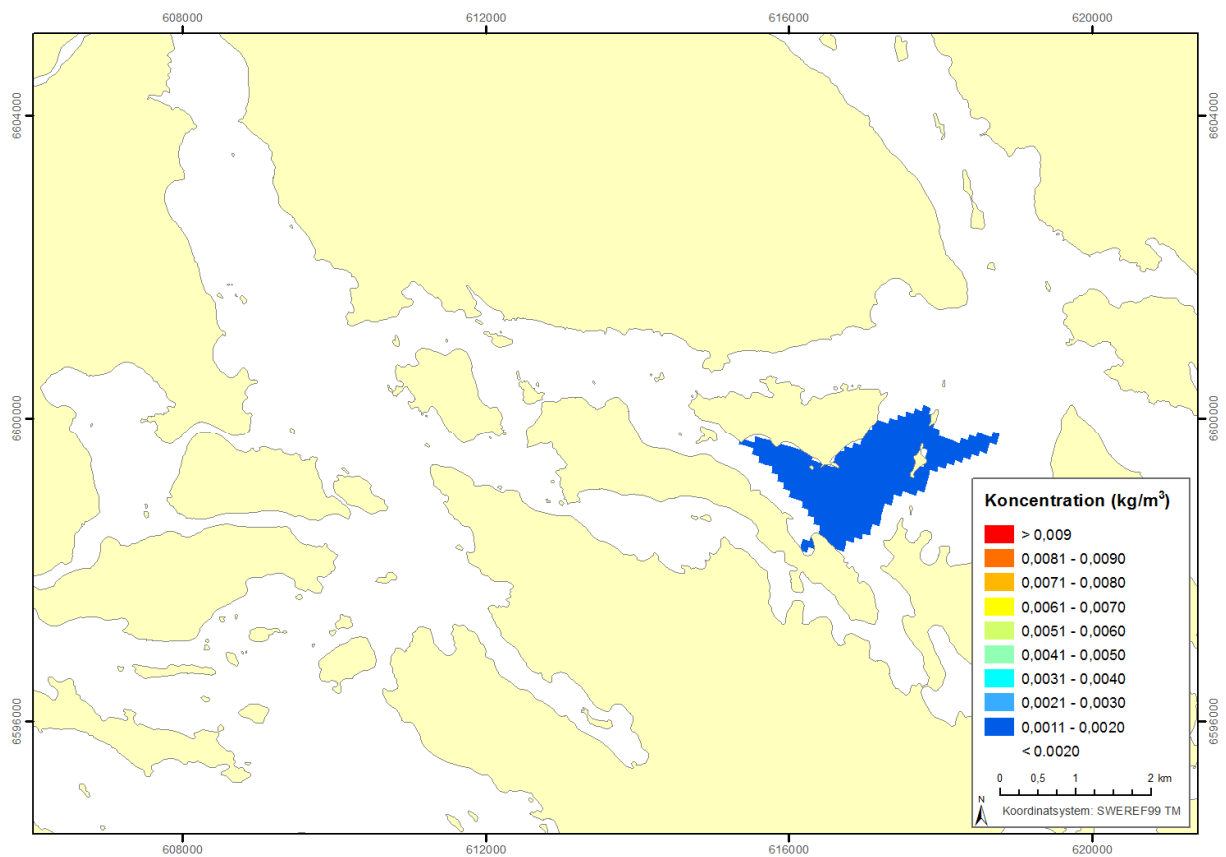
Figur 88. Spridning av mudderspill från 12 (lersand) vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av suspenderat sediment i ytan då hela volymen i område 12 muddrats (ca 7 timmar). $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



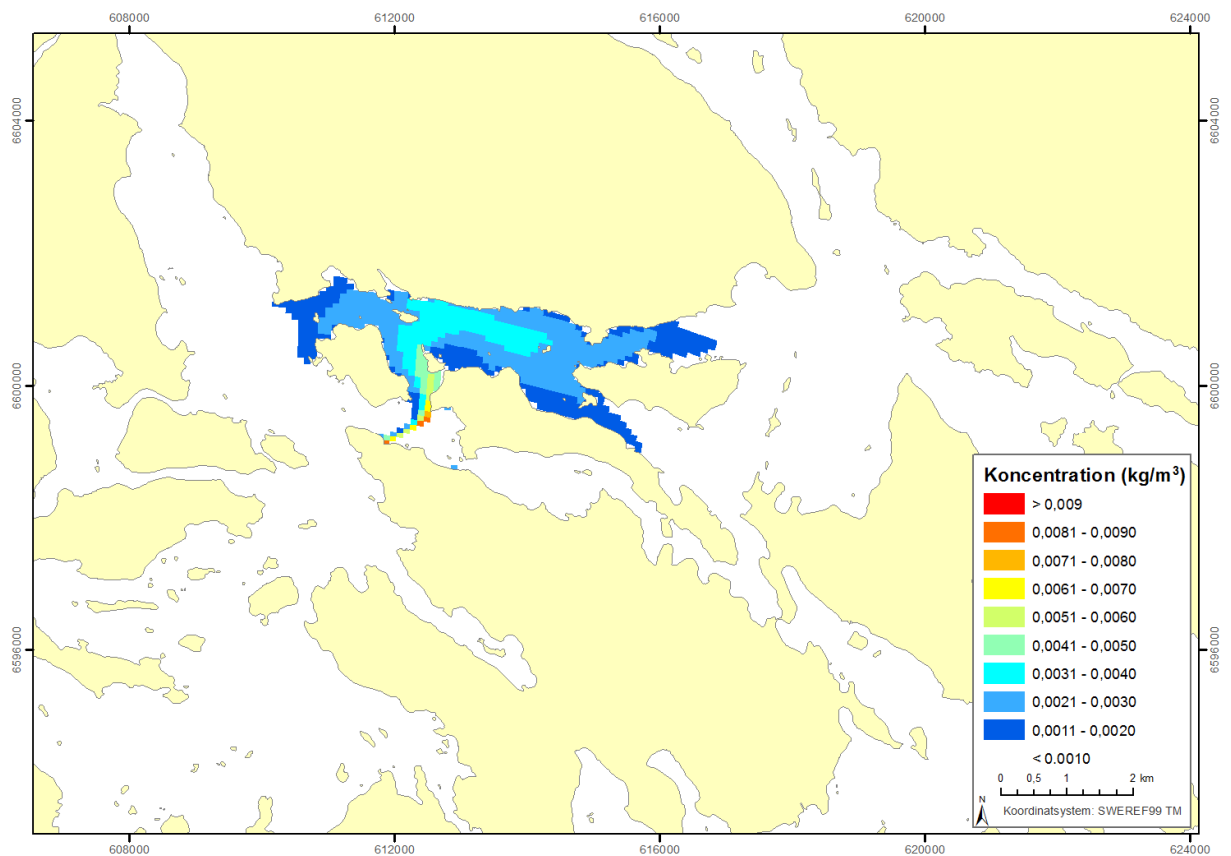
Figur 89. Spridning av mudderspill från 13 (gyttjelera) vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av suspenderat sediment i ytan efter 2 dygn med spill. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



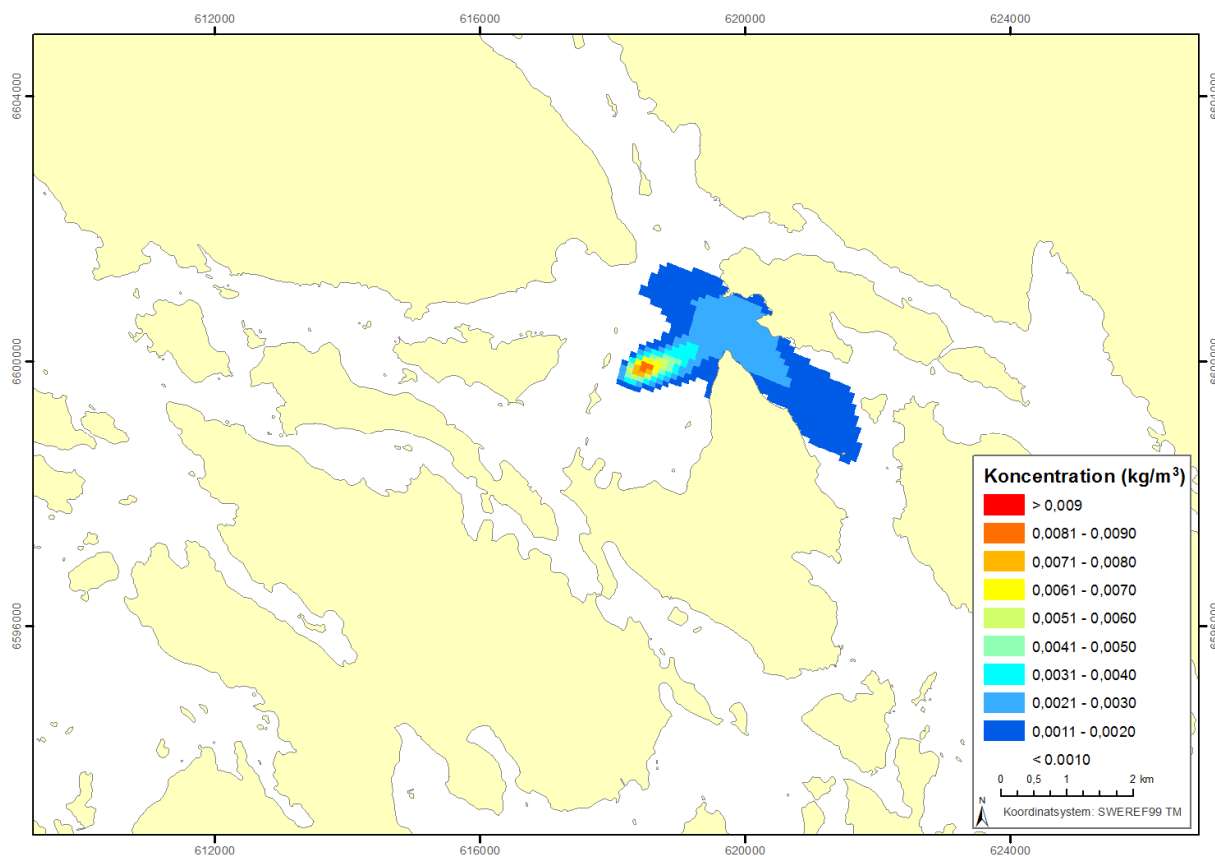
Figur 90. Spridning av mudderspill från 14 (gyttjelera) vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av suspenderat sediment i ytan efter några timmars spill (då hela volymen i området är muddrad). $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



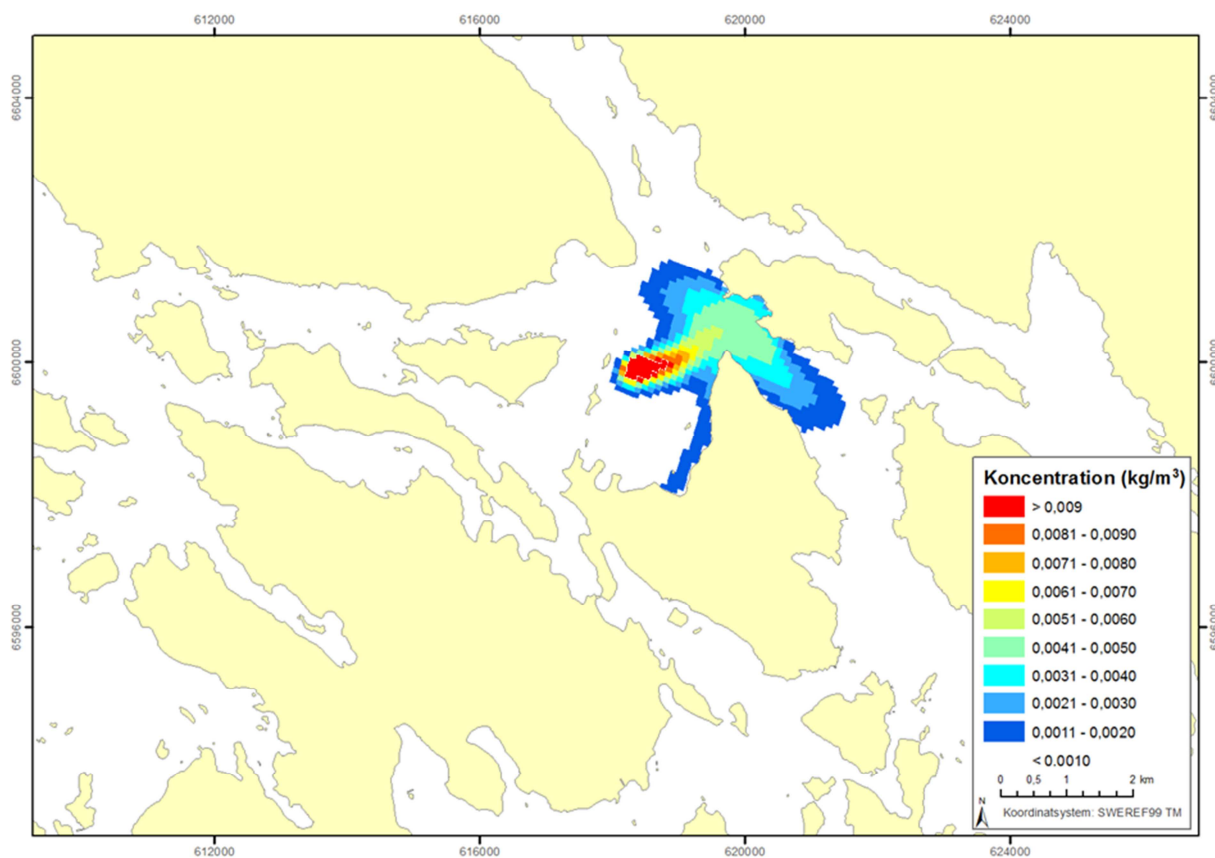
Figur 91. Spridning av mudderspill vid 13 (gyttjelera) vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av suspenderat sediment i ytan 2 dygn efter avslutad muddring. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



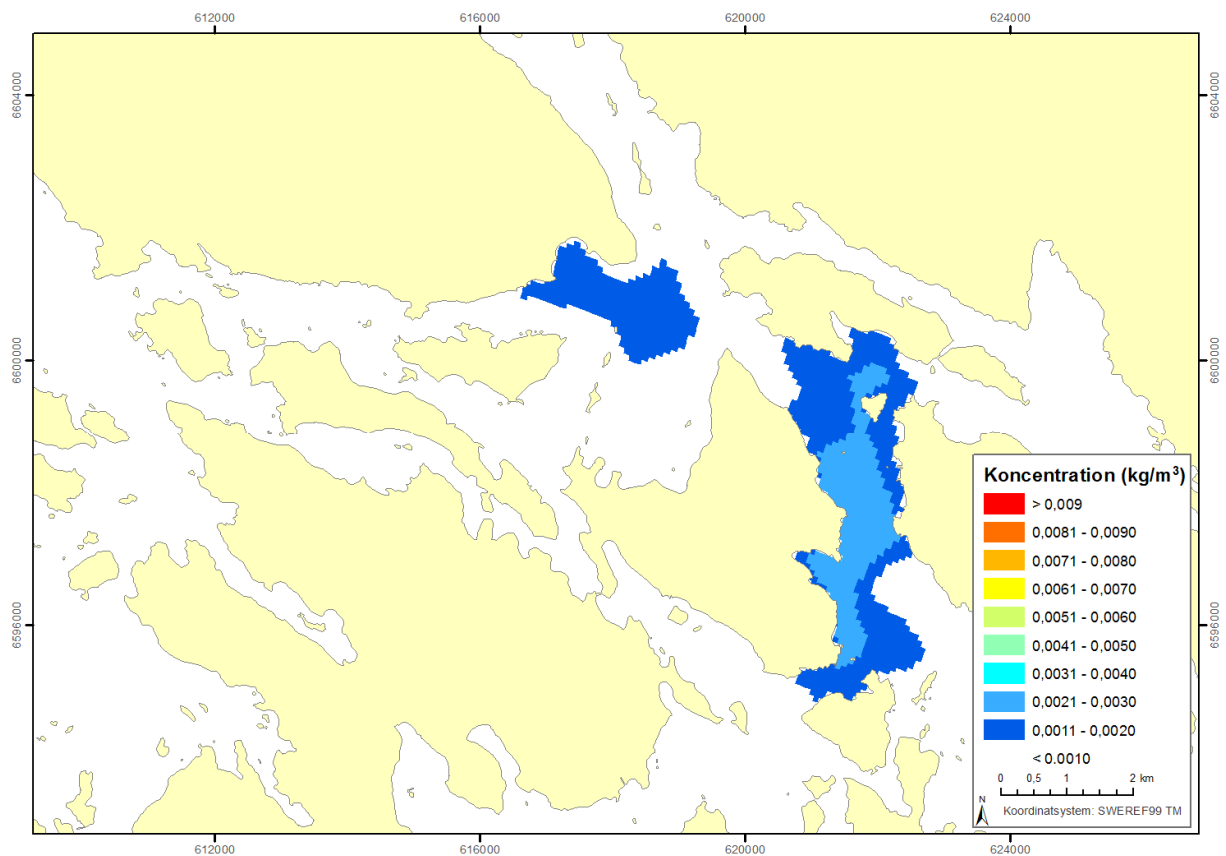
Figur 92. Spridning av mudderspill vid U08 (gyttjelera) vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av suspenderat sediment i ytan efter 2 dygn med dumpning. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



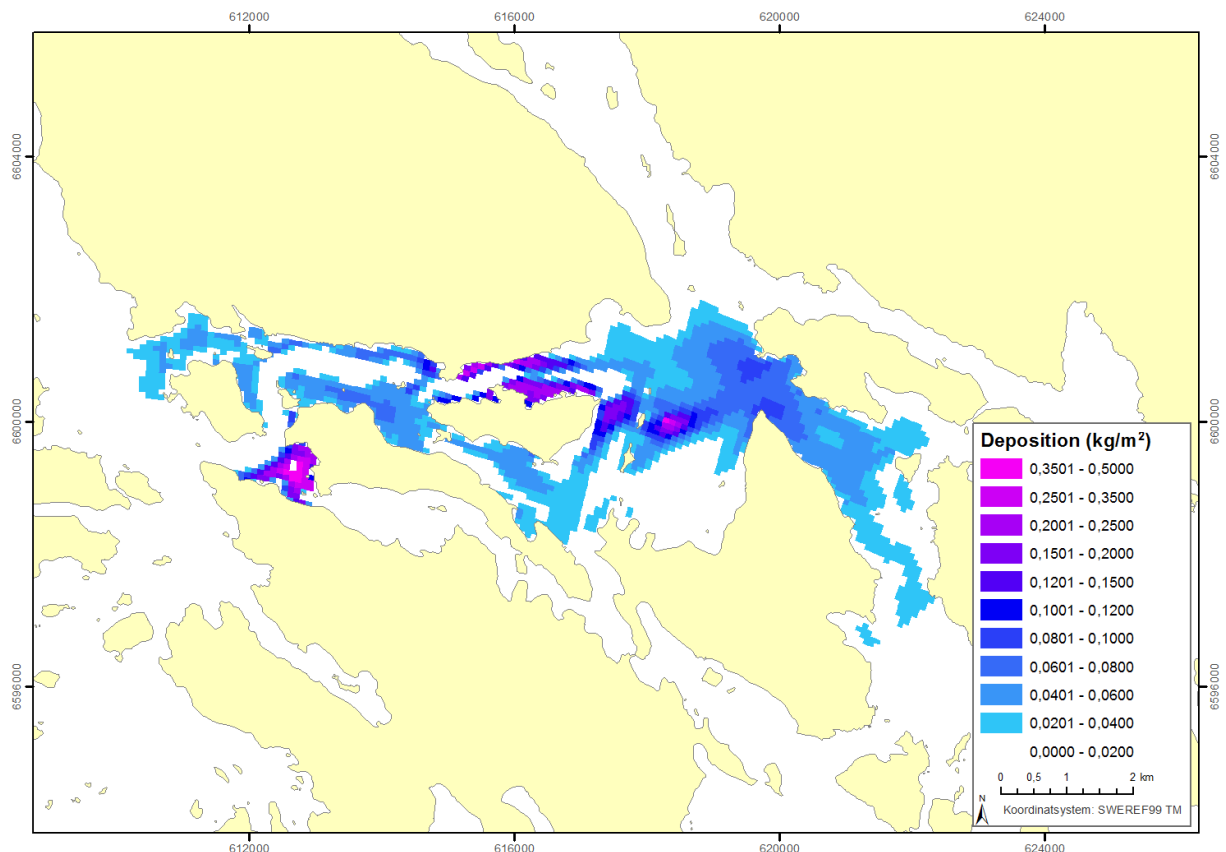
Figur 93. Spridning av mudderspill vid U09 (gyttjelera) vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av suspenderat sediment i ytan efter 2 dygn med dumpning. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 94. Spridning av mudderspill vid U09 (lersand) vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av suspenderat sediment i ytan efter 2 dygn med dumpning. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 95. Spridning av mudderspill vid U09 (lersand) vid det stationära fallet. Bilden visar koncentrationen av suspenderat sediment i ytan 2 dygn efter avslutad dumpning. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 96. Utbredning av deponerat mudderspill (både lersand och gyttjelera) från muddring och dumpning. Bilden visar koncentration av deponerat sediment 2 dygn efter avslutad muddring/dumpningsperiod om 2 dygn. Det är den totala mängden deponerat sediment från samtliga muddrings- och dumpningsområden som visas. Under simuleringen 2 dygn har 12000 m³/dygn hanterats vid respektive muddringsområde och vid respektive dumpningsområde.

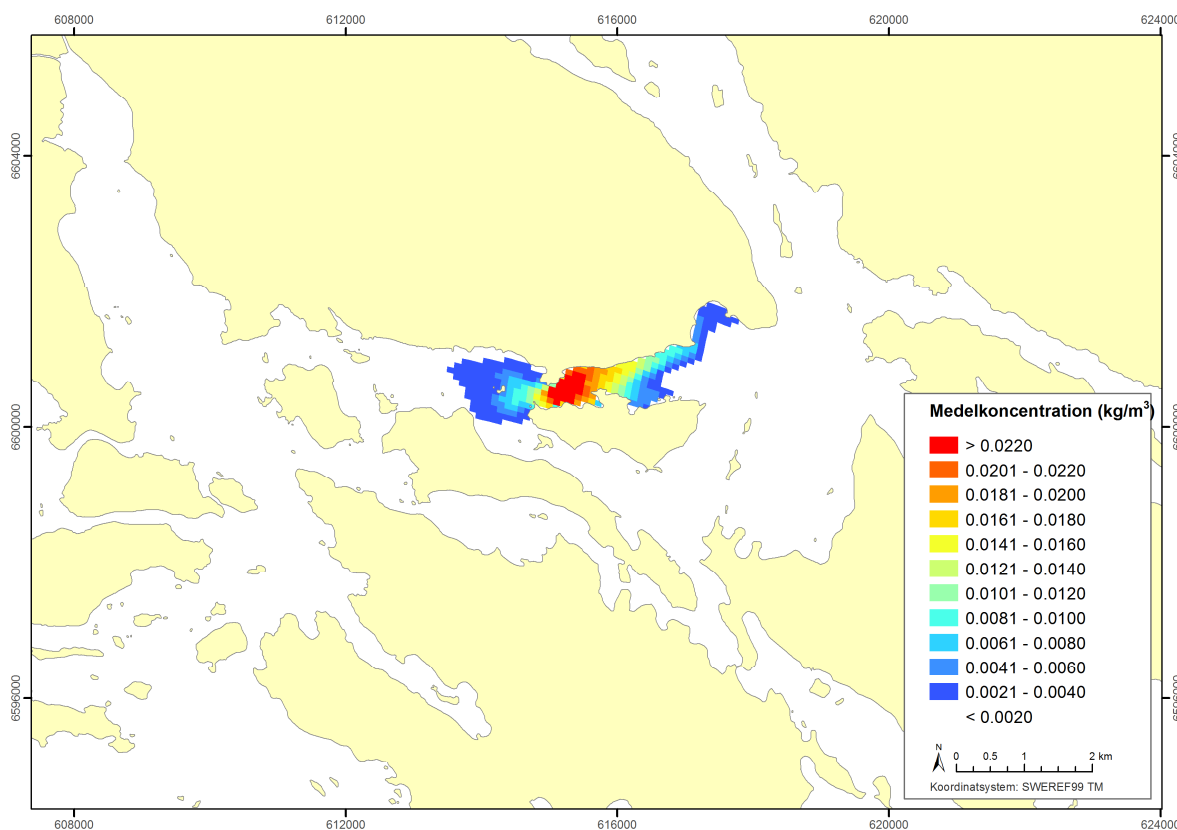
7.3.2 Dynamisk drivning

I Figur 97-Figur 107 presenteras ett urval av resultaten för beräkningarna med dynamisk drivning för vattenförekomsterna Oxvfjärden och Arnöfjärden. Figurerna visar spridning och koncentration av suspenderat mudderspill, samt deposition av sediment som spills vid muddring/dumpning.

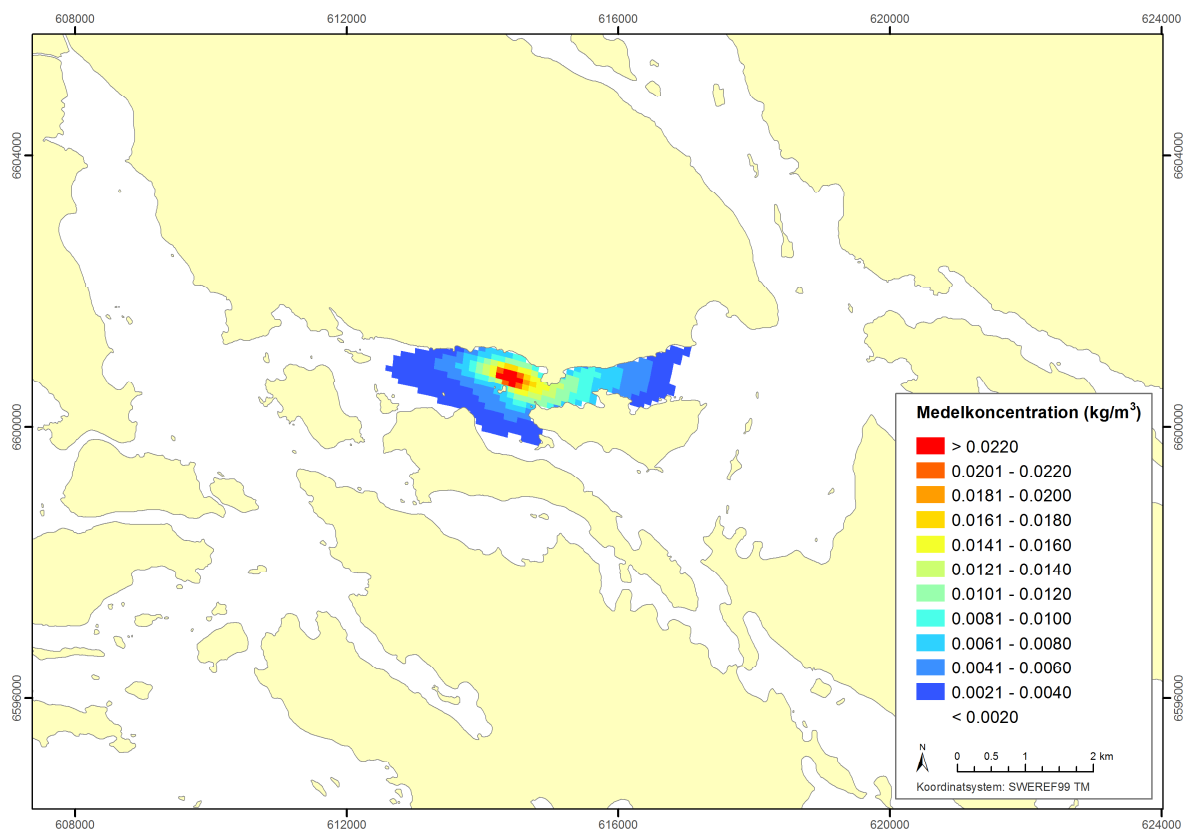
Fokus i analysen har lagts på koncentrationen av mudderspill sett som ett tidsintegrerat medelvärde för hela perioden. Det maximala utbredningsområdet och koncentrationen som förekommit under perioden är betydligt högre än medelvärdena.

- Vid muddringsområdena sprids mudderspill som mest på ett område om 2 x 2 km. Vid **muddringsområde 14 och 12** är de muddrade volymerna mycket små (muddring pågår under 7 timmar) och påverkansområdet blir därför relativt litet, med utbredning ca 1,5 km söder om muddringsområdena. Koncentrationen är som högst 0,006 kg/m³ på några hundra meters avstånd. Från **muddringsområde 9/10 och 11**, som båda ligger norr om Koholmen, sprids mudderspillet både åt väster och öster med något högre koncentrationer österut. Österut följer plymen den norra strandlinjen, mot Rönnholmsviken. Koncentrationerna allra närmast muddringsområdet är något högre vid 9/10 där det muddras lersand än vid 11 där det muddras gyttjelera. Inom 750 m från muddringsområdena är koncentrationen som högst 0,016 kg/m³ och på avståndet 1500 m lägre än 0,01 kg/m³. Från muddringsområde 13, som ligger i sundet mellan Tedarön och Märsön, sprids plymen med mudderspill både åt norr och väster. De högsta koncentrationerna fås i ett område runt muddringsområdet, inom 750 m från området är koncentrationen högre än 0,006 kg/m³ och på avståndet 1500 m är koncentrationen lägre än 0,004 kg/m³. När muddringen avslutas börjar koncentrationen av mudderspill att avklinga och två dygn efter avslutad muddring är koncentrationen som högst 0,006 kg/m³ i någon del av området.

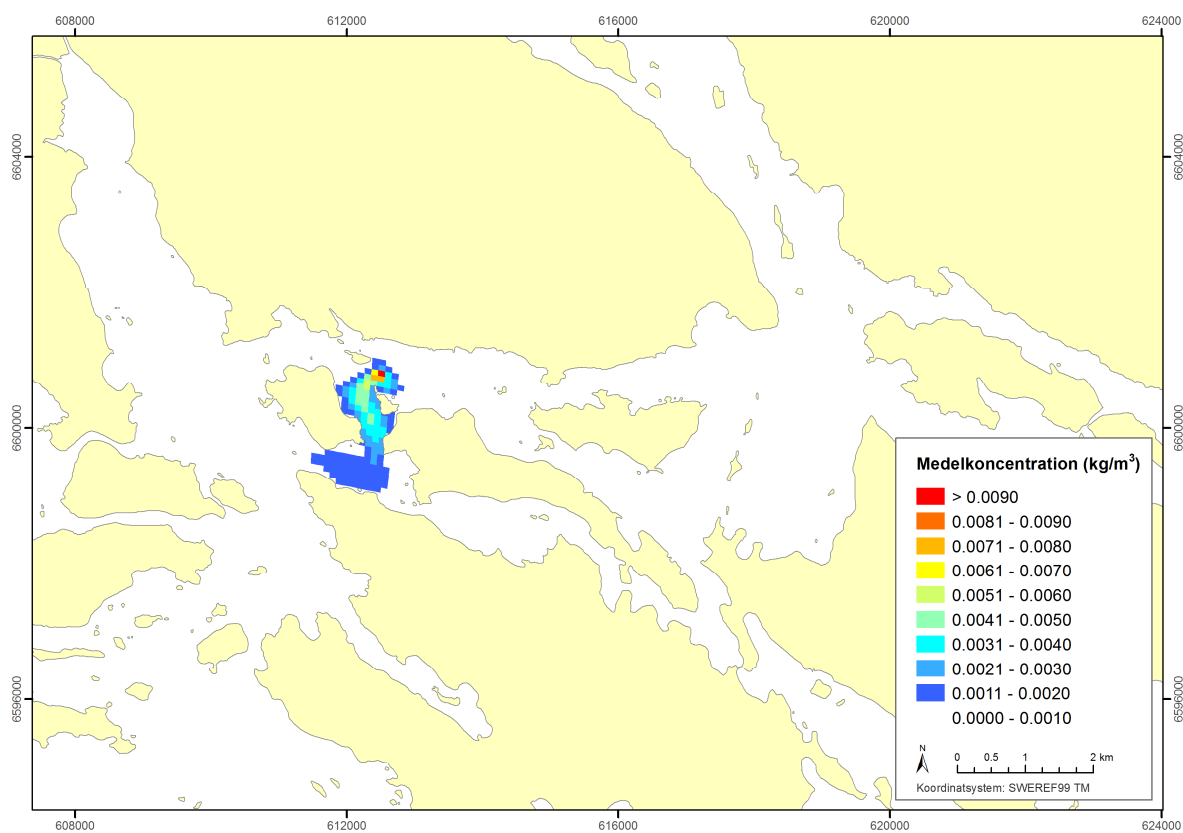
- Vid **dumpningsområdena U08 och U09** sprids mudderspill som mest på ett område om 2 x 1 km runt området.
Vid **dumpningsområde U08** dumpas både lersand och gyttjelera, men mängden lersand är relativt liten vilket ger litet påverkansområde från lersanden. Vid dumpning av gyttjelera är koncentrationen som högst 0,006 kg/m³ inom avståndet 750 m från området och på avståndet 1500 m är koncentrationen lägre än 0,004 kg/m³.
Även vid **dumpningsområde U09** dumpas båda sedimentsorterna. Spridning sker främst söder ut från dumpningsområdet och utbredningsområdet är likande för dumpning av båda sedimentsorterna. Koncentrationen blir något högre vid dumpning av lersand jämfört med gyttjelera. Vid dumpning av lersand är koncentrationen högre än 0,008 kg/m³ inom 750 m från området och lägre än 0,006 kg/m³ på avståndet 1500 m. Motsvarande koncentration för gyttjelera är lägre än 0,004 kg/m³ för båda avstånden. När dumpningen avslutats börjar koncentrationen av mudderspill i området avklinga och två dygn efter avslutad dumpning är koncentrationen 0,004kg/m³ i hela området.
- **Depositionen** av sediment som spillts vid muddring och dumpning är högst i området nära muddrings- och dumpningsområdena. Två dygn efter avslutad muddring/dumpning är koncentrationen av deponerat mudderspill som högst 0, 5 kg/m² precis utanför dumpningsområdena. i farleden norr om Märsön och Koholmen är depositionen som högst 0,5 kg/m² och i Oknöfjärden mindre än 0,15kg/m².
- **Bottenskjuvspänningen vid dumpningsområdena U08 och U09** är generellt omkring 0,001 – 0,0005 N/m². Den högst bottenskjuvspänningen vid U08 är omkring 0,015- 0,025 N/m² och vid U09 omkring 0,01 N/m².



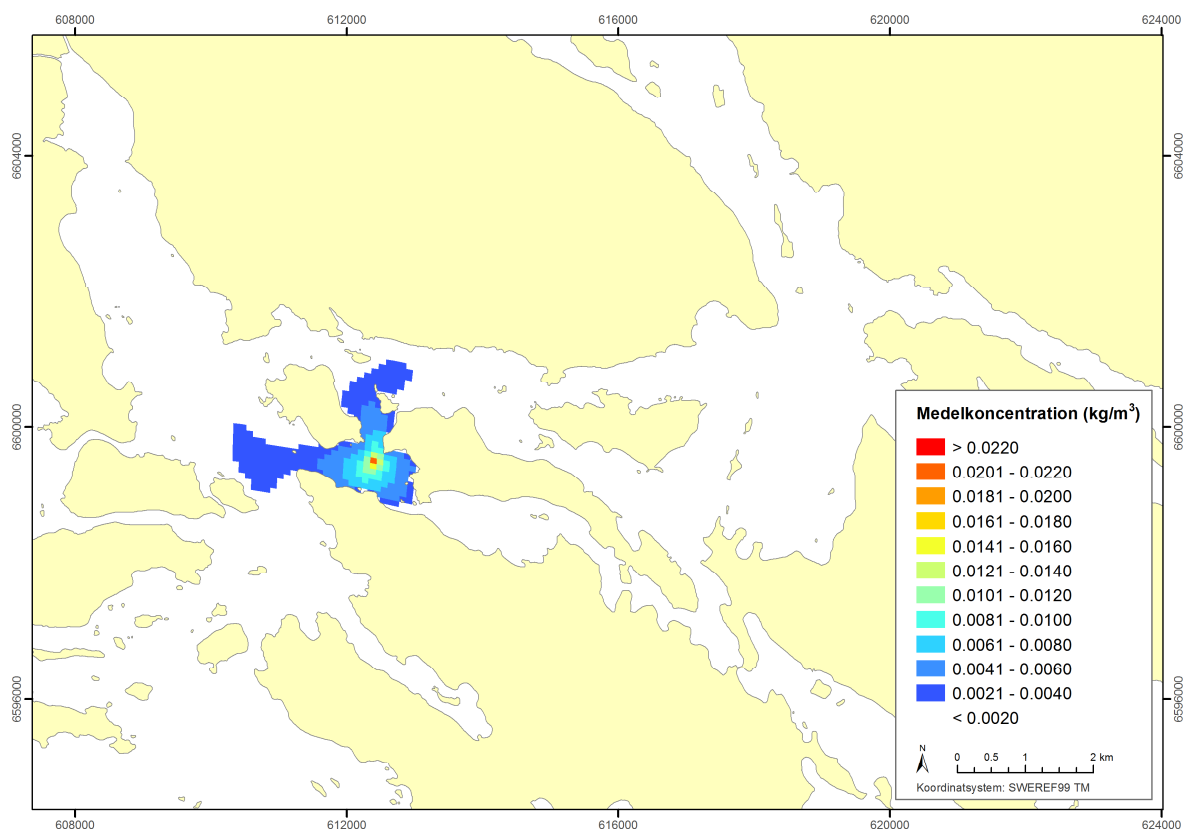
Figur 97. Spridning av mudderspill från 9,10 vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för hela muddringsperioden. 1 kg/m³ = 10³ mg/l



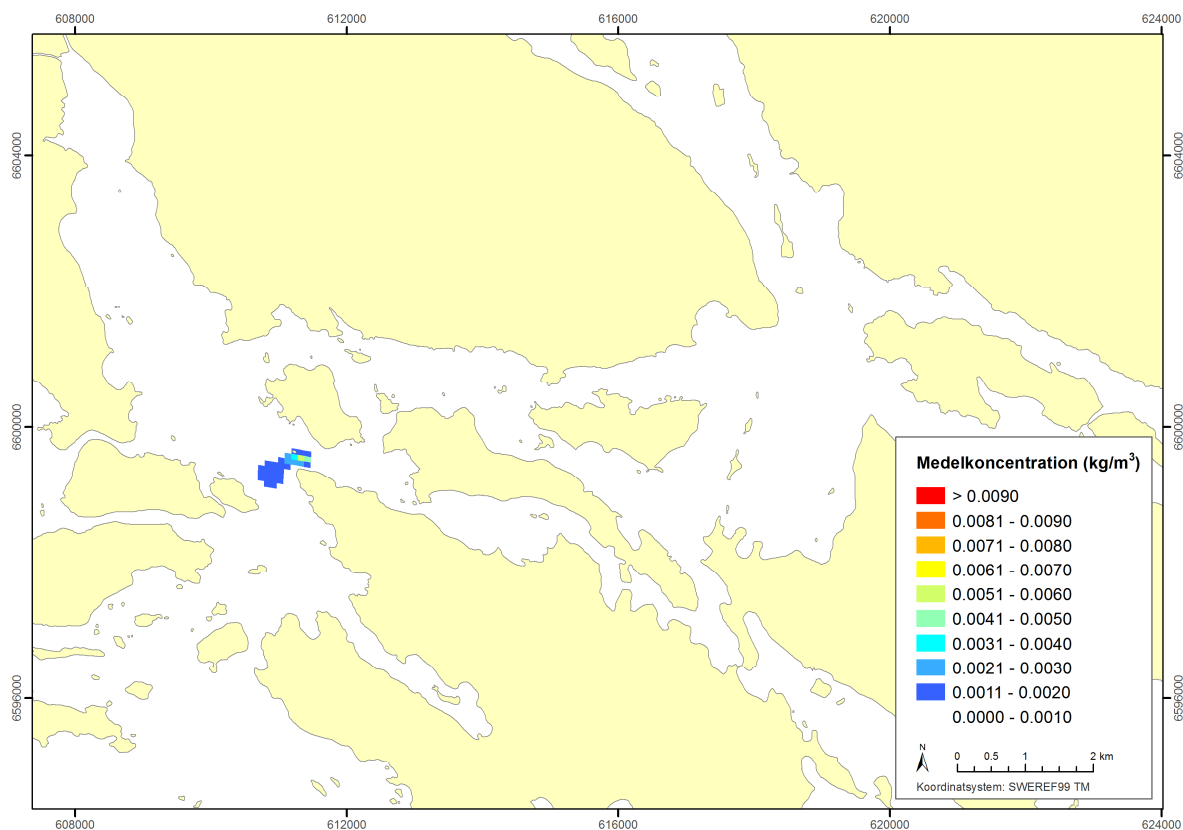
Figur 98. Spridning av mudderspill från 11 vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för hela muddringsperioden. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



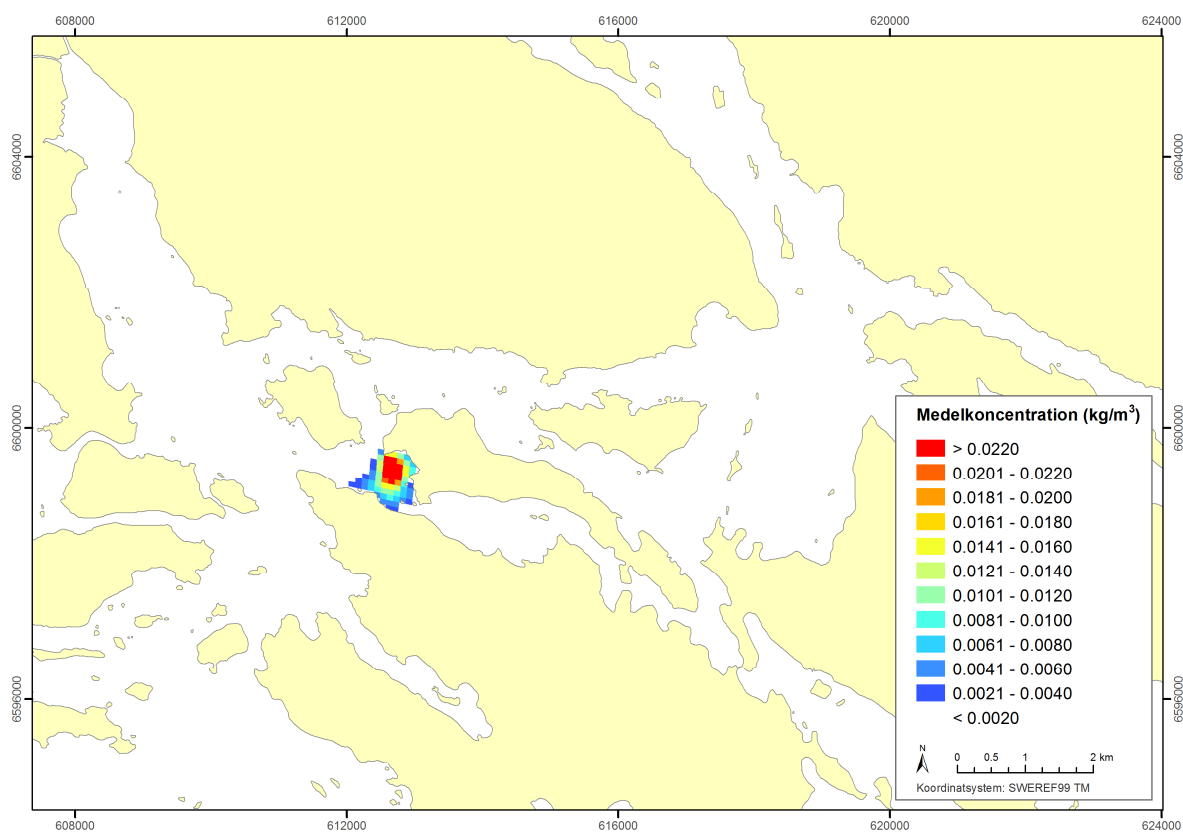
Figur 99. Spridning av mudderspill från punkt 12 vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för hela muddringsperioden. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



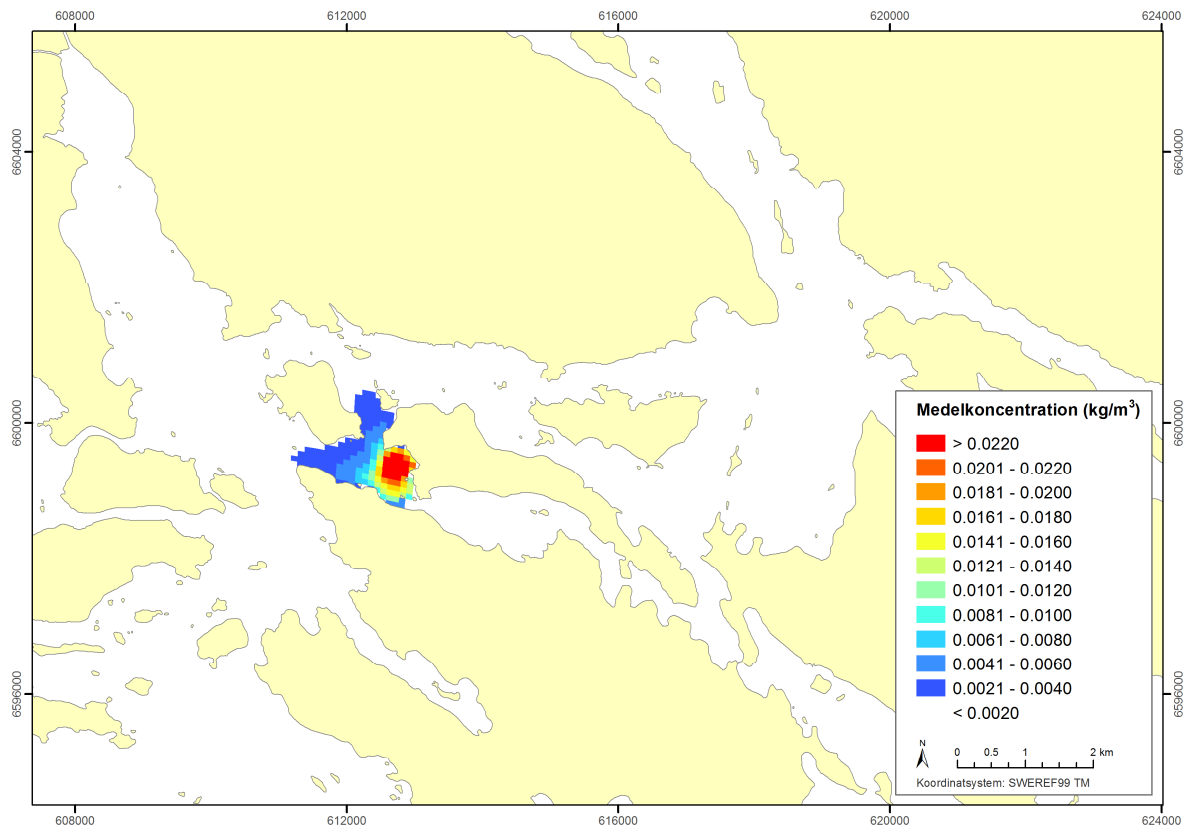
Figur 100. Spridning av mudderspill från punkt 13 vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för hela muddringsperioden. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



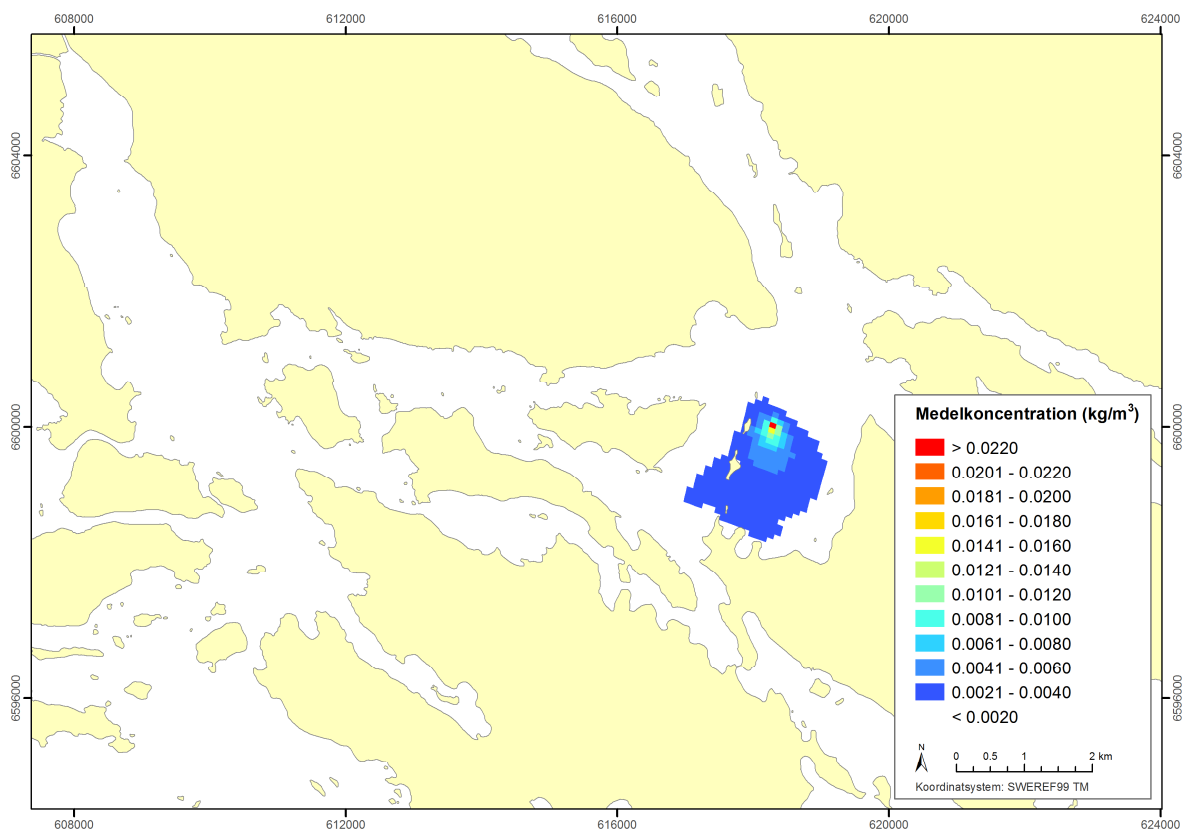
Figur 101. Spridning av mudderspill från punkt 14 vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för hela muddringsperioden. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



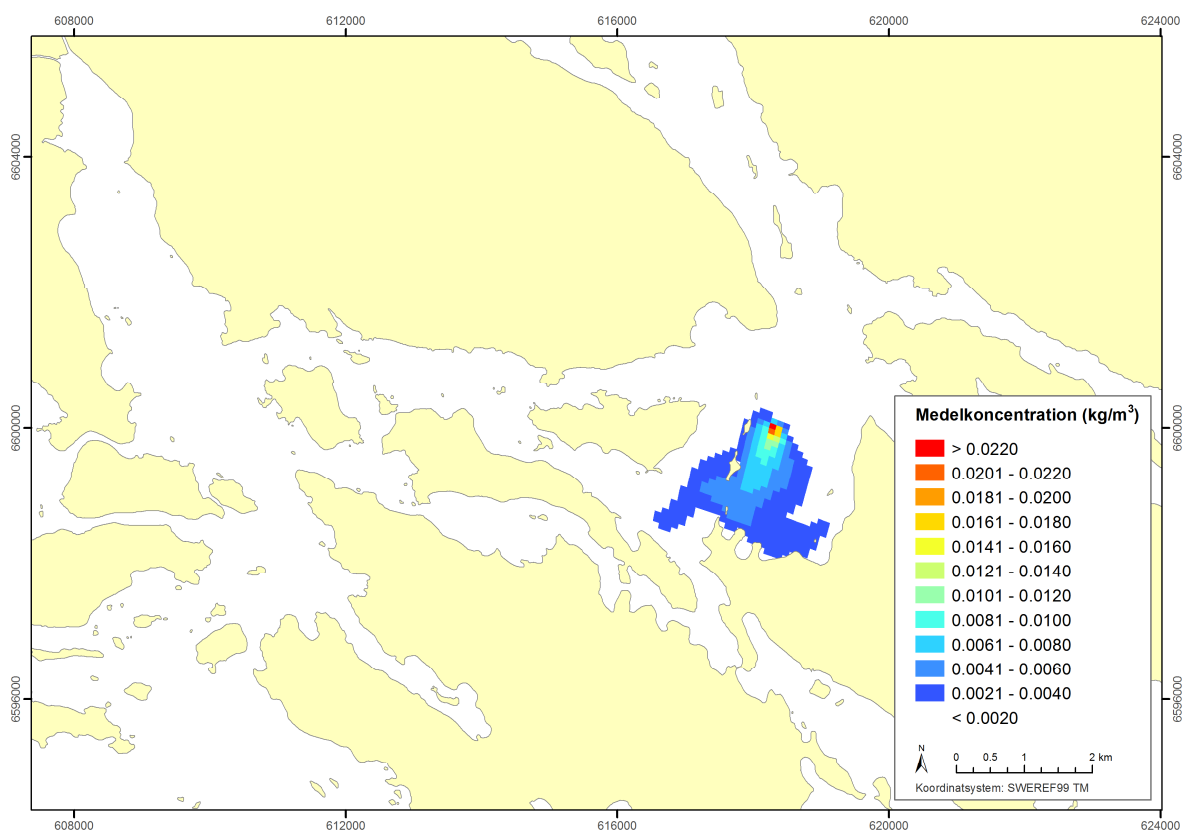
Figur 102. Spridning av mudderspill vid dumpning vid U08 (sediment lersand) vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids integrerat medelvärde för hela dumpningsperioden. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



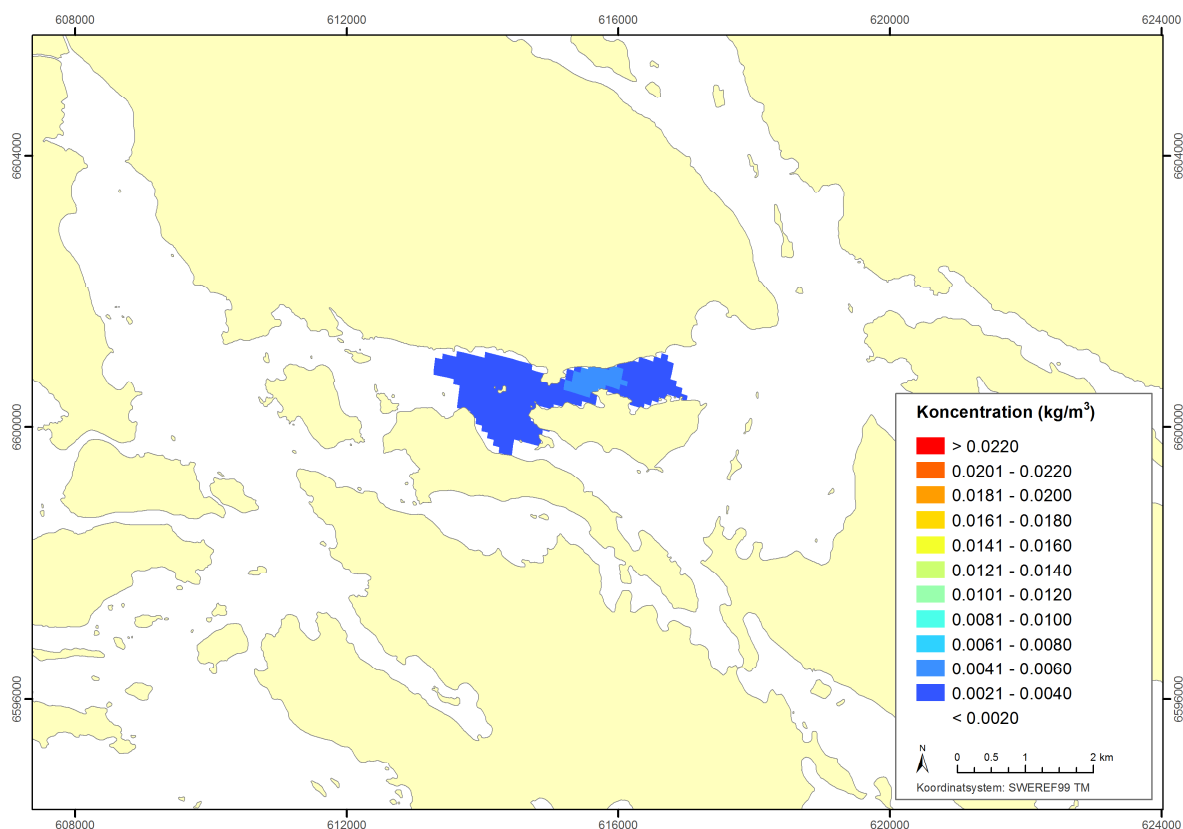
Figur 103. Spridning av mudderspill vid dumpning vid U08 (sediment gyttjelera) vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids-integrerat medelvärde för hela dumpningsperioden. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



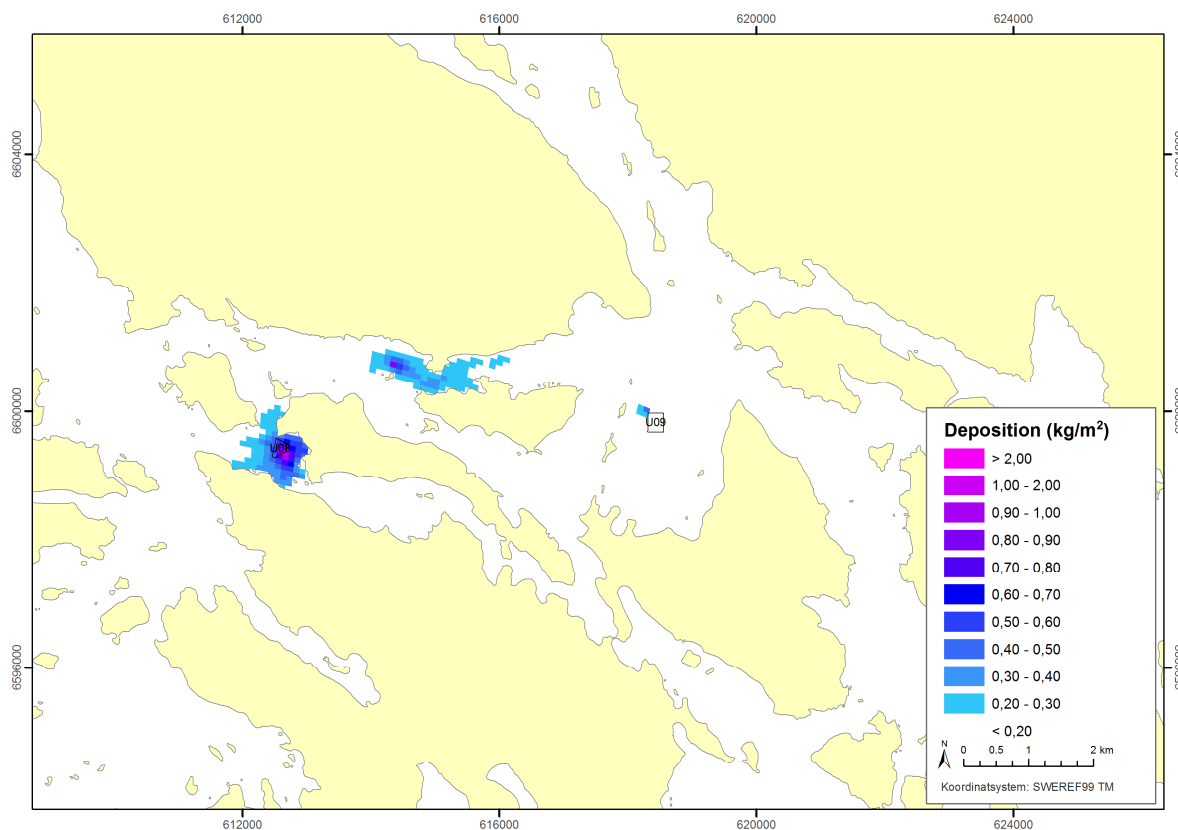
Figur 104. Spridning av mudderspill vid dumpning vid U09 (sediment gyttjelera) vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids-integrerat medelvärde för hela dumpningsperioden. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 105. Spridning av mudderspill vid dumpning vid U09 (sediment lersand) vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan som ett tids-integrerat medelvärde för hela dumpningsperioden. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 106. Spridning av mudderspill från muddring vid 11 vid det dynamiska fallet. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan 2 dygn efter avslutad muddring. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 107. Utbredning av deponerat sediment från muddring och dumpning (lersand och gyttjelera). Bilden visar mudderspill 2 dygn efter att en period av sammanlagt 7 dygns dumpning avslutats. Dumpningstakten under simuleringen var muddrings- och dumpningsområden 6000 m³/dygn dvs bilden illustrerar hantering av 42 000 m³ vid respektive dumpningsplats.

7.4 Vattenförekomsten Prästfjärden

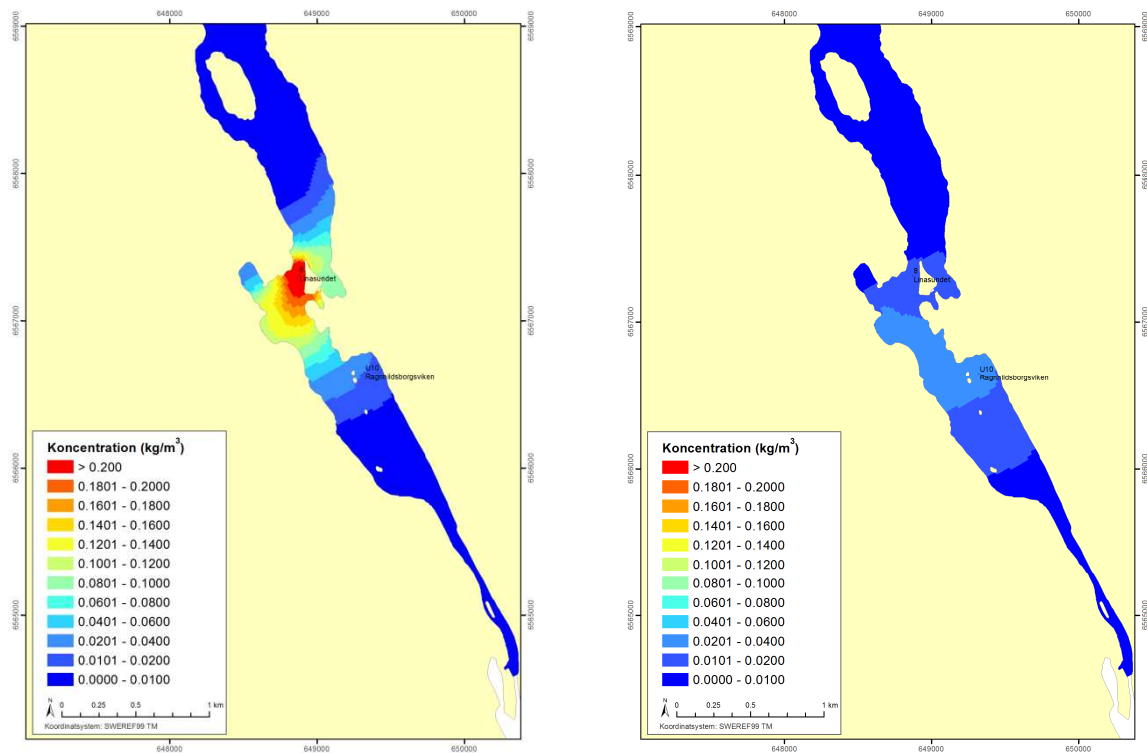
I området runt Linasundet (delmodell Bornhuvud – norra Södertälje kanal) sker spill från ett muddringsområde (8) och ett dumpningsområde (U10). Den sedimenttyp som muddras och dumpas är lersand. Området är relativt instängt dvs. land begränsar spridningsriktningen åt flera håll både vid muddrings- och dumpningsområdet. Detta är fördelaktigt ut spridningssynpunkt och medför ett litet påverkansområde. Instängda förhållanden begränsar också utspädningseffekten vilket leder till att koncentrationen sediment i vattnet är högre än för ett område med stort vattenutbyte. Samtliga resultat för vattenförekomsten Prästfjärden finns i Appendix 4.

Det kan noteras att resultaten från det stationära fallet och dynamiska fallet skiljer sig åt. Det stationära fallet drivs av vindar med lägre vindstyrka vilket ger lägre vattenhastighet och omblandning än dynamiska fallet. De lägre hastigheterna medför även lägre bottenkjuvspänning vilket möjliggör sedimentation över stora områden. I det dynamiska fallet växlar även vindens riktning vilket leder till ökad omblandning och utspädning.

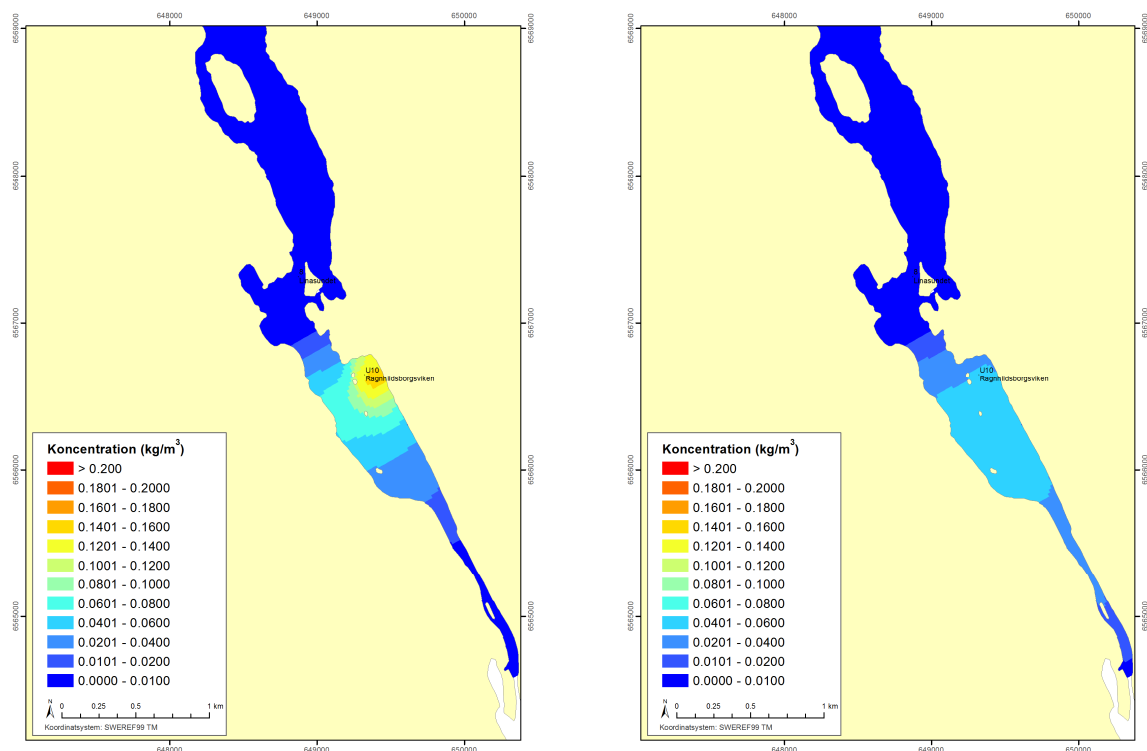
7.4.1 Stationär drivning

I Figur 108-Figur 110 presenteras ett urval av resultaten för beräkningarna med stationär drivning för vattenförekomsten Prästfjärden. Figurerna visar spridning och koncentration av suspenderat mudderspill, samt deposition av sediment som spills vid muddring/dumpning. I område U10 dumpas massor från muddringsområde 8 under 1,5 dygn, volymen uppgår till 8000 m³.

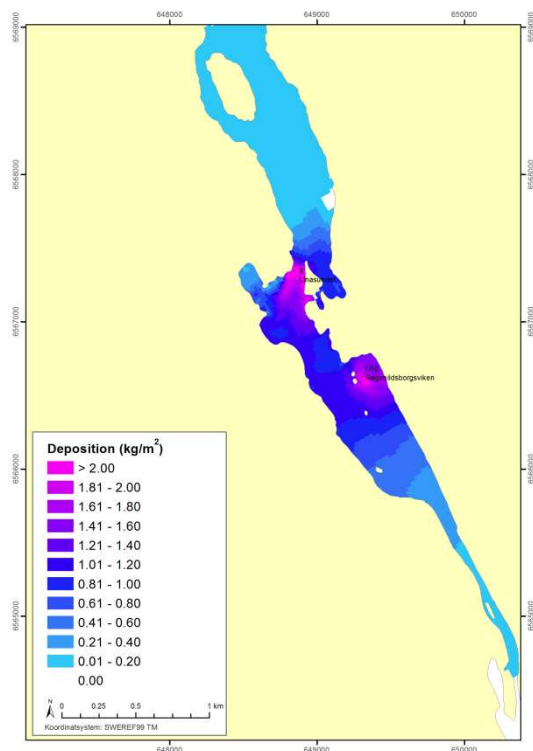
- Sediment från **muddringsområdet** sprids ca 2 km. Koncentrationen av mudderspill är högst i ett område runt muddringsområde centralt i Linasundet där halten överstiger 0,200 kg/m³. På avståndet 750 m från muddringsområde är koncentrationen högre än 0,060 kg/m³. Två dygn efter avslutad muddring är koncentrationen av mudderspill i hela området mindre än 0,030 kg/m³.
- Vid **dumpningsområdet** U10 sprids mudderspillet i ett område om 2 km runt området. Koncentrationen av mudderspill är högre än 0,030 kg/m³ inom 750 m från området. När dumpning avslutats börjar koncentrationen av mudderspill i området avklinga och två dygn efter avslutad dumpning är koncentrationen mindre än 0,050 kg/m³ i hela området.
- **Depositionen** av sediment som spillts vid muddring och dumpning sker främst inom ca 1-2 km är högst i området nära muddringsområde M8 och dumpningsområde U10. Två dygn efter avslutad muddring/dumpning är mängden deponerat mudderspill är mindre än 2,0 kg/m².



Figur 108. Koncentration av mudderspill från muddring i Linasundet (8). Medelvärdet under muddringen (vänster) samt 2 dygn efter avslutad muddring (höger). $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 109. Koncentration mudderspill från dumpning i Ragnhildborgsviken (U10). Medelvärdet under muddringen (vänster) samt 2 dygn efter avslutad dumpning (höger). $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$

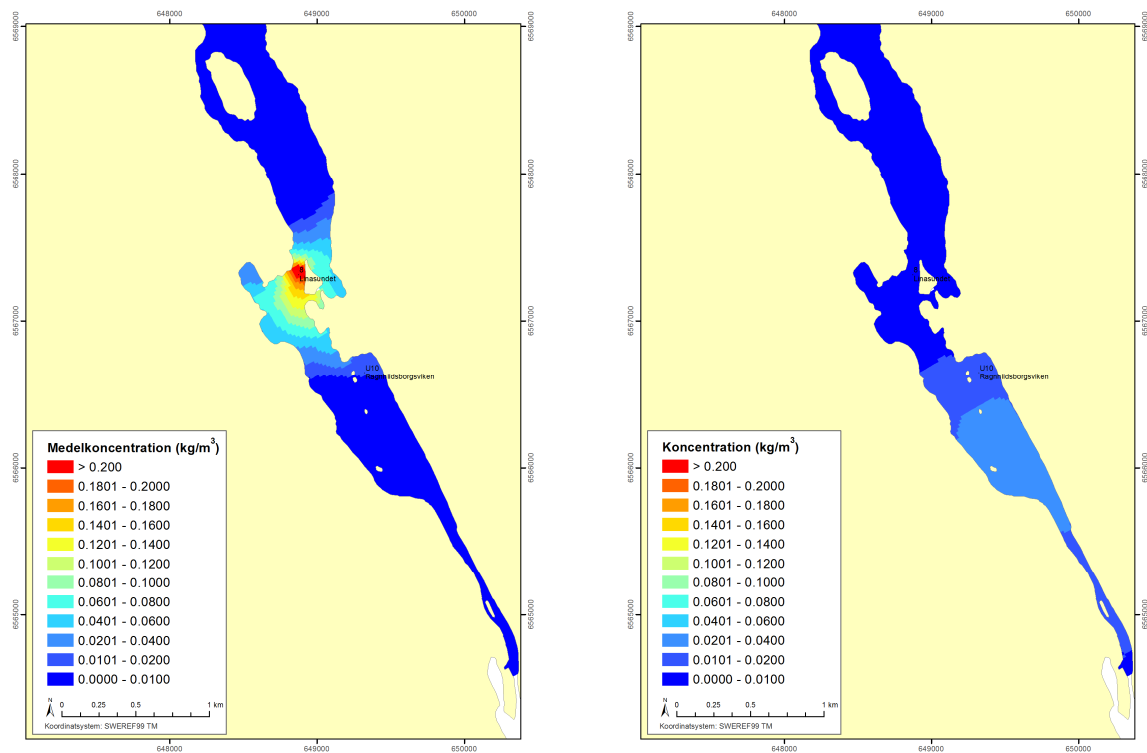


Figur 110. Deposition av sediment från både muddring i Linasundet (8) och dumpning i Ragnhildborgsviken (U10) 2dygn efter avslutade aktiviteter. Simuleringen motsvarar hantering av 8000 m³ sediment både vid muddringsområdet och dumpningsområdet. 1 kg/m³ = 10³ mg/l

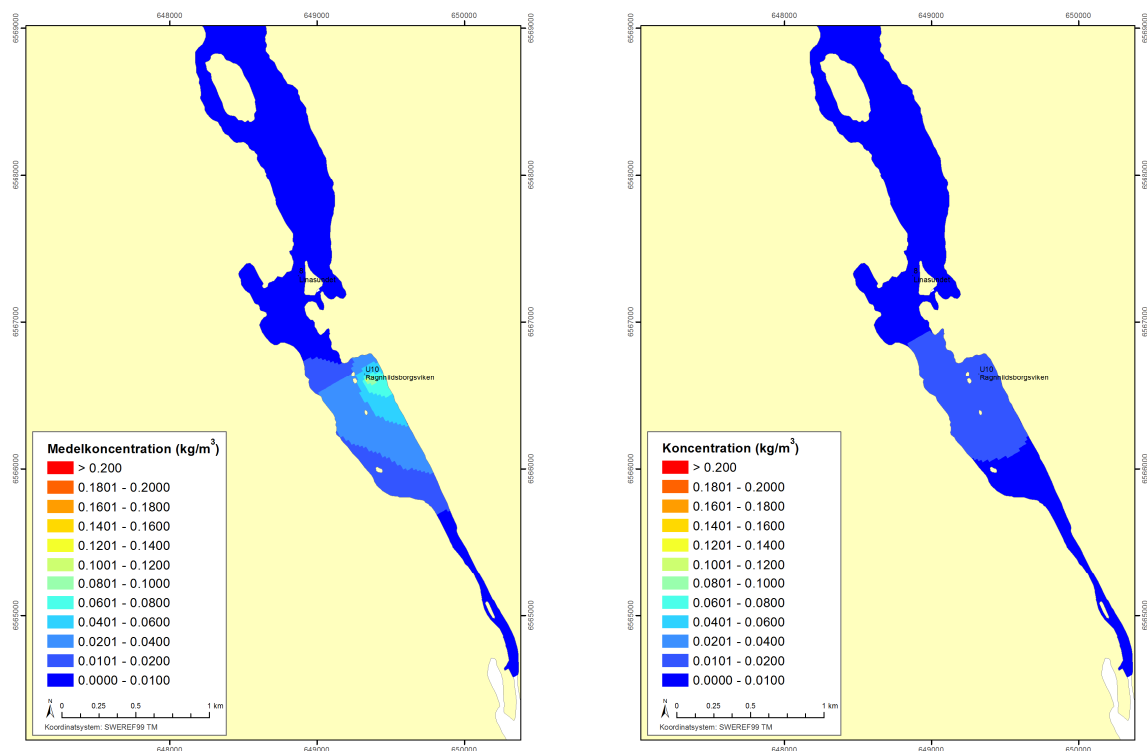
7.4.2 Dynamisk drivning

I Figur 111-Figur 113 presenteras ett urval av resultaten för beräkningarna med dynamisk drivning för vattenförekomsten Prästfjärden. Figuren visar spridning och koncentration av suspenderat mudderspill, samt deposition av sediment som spills vid muddring/dumpning. I område U10 dumpas massor från område 8 under 1,5 dygn, volymen uppgår till 8000 m³.

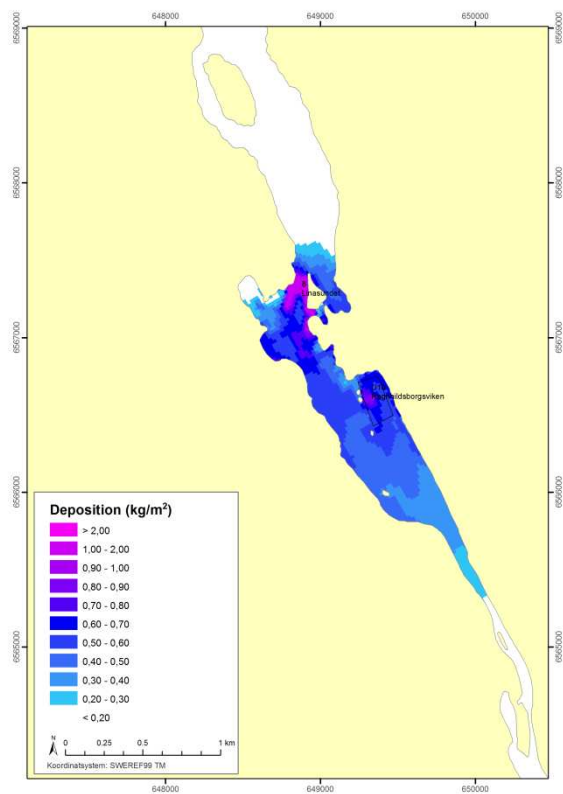
- Sediment från **muddringsområdet** sprids ca 2 km. Koncentrationen av mudderspill är högst i ett område runt muddringsområde centralt i Linasundet där halten överstiger 0,200 kg/m³. På avståndet 750 m från muddringsområde är koncentrationen högre än 0,030 kg/m³. Två dygn efter avslutad muddring är koncentrationen av mudderspill i hela området mindre än 0,020 kg/m³.
- Vid **dumpningsområdet** U10 sprids mudderspillet i ett område om 2 km runt området. Koncentrationen av mudderspill är högre än 0,015 kg/m³ inom 750 m från området. När dumpning avslutats börjar koncentrationen av mudderspill i området avklinga och två dygn efter avslutad dumpning är koncentrationen mindre än 0,050 kg/m³ i hela området.
- **Deposition** av sediment som spillts vid muddring och dumpning sker främst inom ca 1-2 km är högst i området nära muddringsområde M8 och dumpningsområde U10. Två dygn efter avslutad muddring/dumpning är mängden deponerat mudderspill är mindre än 2,0 kg/m².
- **Bottenskjuvspänningen vid dumpningsområdet** U10 är generellt omkring 0,001- 0,0005 N/m². Den högst bottenskjuvspänningen är omkring 0,08-0,01 N/m².



Figur 111. Koncentration sediment från muddring i Linasundet (8). Medelvärdet under muddringen (vänster) samt 2 dygn efter avslutad muddring (höger). $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 112. Koncentration sediment från dumpning i Ragnhildborgsviken (U10). Medelvärdet under muddringen (vänster) samt 2 dygn efter avslutad dumpning (höger). $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 113. Deposition av sediment från både muddring i Linasundet (8) och dumpning i Ragnhildborgsviken(U10) 2 dygn efter avslutade aktiviteter. Simuleringen motsvarar hantering av 8000 m³ sediment både vid muddringsområdet och dumpningsområdet.

7.5 Södertälje kanal och vattenförekomsterna Igelstaviken och Hallsfjärden

I Södertälje kanal och vattenförekomsterna Igelstaviken och Hallsfjärden (delmodell södra Södertälje kanal – Sandviken) sker spill från två muddringsområden (1 och 3) och ett dumpningsområde (U12) med de två olika sedimenttyperna (lersand och gyttjelera). Löpande planering av masshantering i Hallsfjärden har inneburit att förutsättningar för muddring och dumpning justerats under projektets gång. Speciellt rör detta den tidigare utredningsplatsen för dumpningsområdet U11 som sedermera utgått och ersatts med U12, se Figur 114. Område U12 föreslås som huvudalternativ för muddermassor söder om slussen i Södertälje kanal. U11 utgår på grund av sämre placering samt sämre bottenförhållanden jämfört med U12. För dumpningsområde U12 har inga nya beräkningar gjorts utan resultatet baseras på körningar vid närbelägna U11. Detta är möjligt eftersom de förhållandena ur spridningssynpunkt är mycket lika för de båda områdena med avseende på strömriktning, och botten-skjuvspänning.

Figur 114. Placering av dumpningsområde U12 och tidigare utredningsområde U11 i Hallsfjärden (efter WSP 2014a)

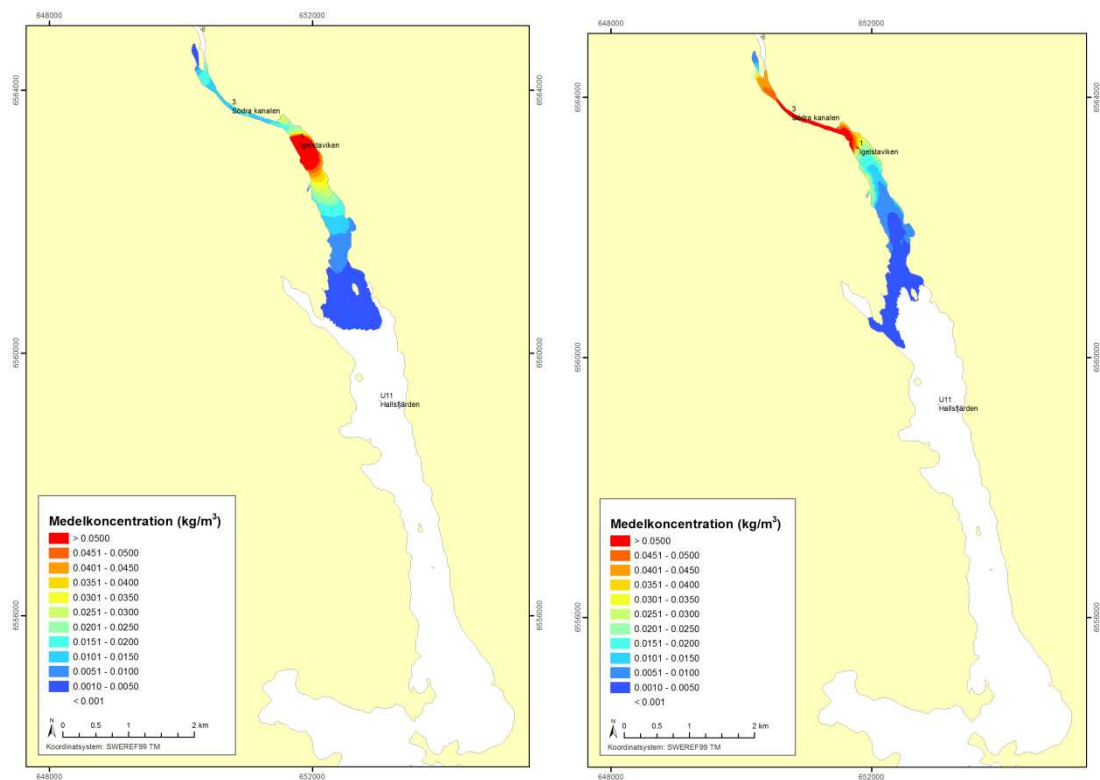
I område U12 dumpas massor från muddringsområde 1 och 3 under ca 5 respektive 7 dygn, volymen uppgår till ca 50 000 m³. I denna rapport presenteras resultaten då muddringshastigheten i kanalen är 1500 m³/dygn och 6000 m³/dygn i Igelstaviken. Samtliga resultat för Södertälje kanal och vattenförekomsterna Igelstaviken och Hallsfjärden finns i Appendix 5.

7.5.1 Dynamisk drivning

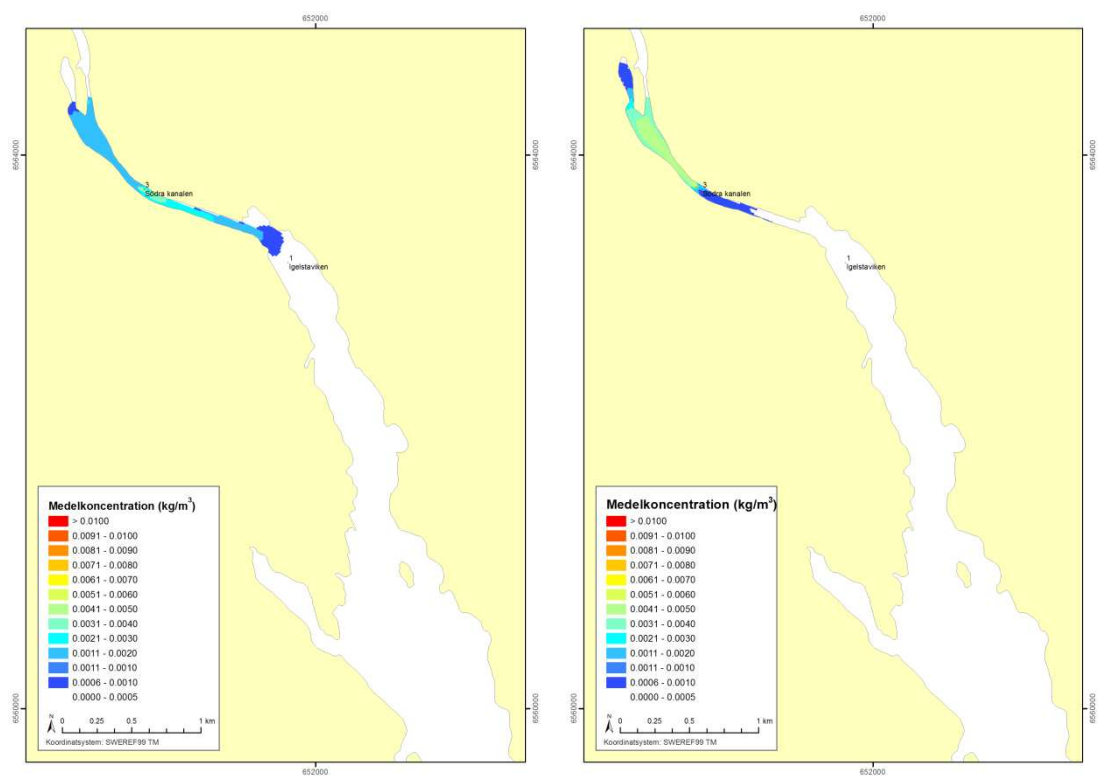
I Figur 115-Figur 119 presenteras ett urval av resultaten från beräkningen med dynamisk drivning över vattenförekomsterna Hallsfjärden och Igelstaviken. Generellt kan sägs att spridningen från muddringsområden 1 och 3 beror av både vindförhållandet och vattenföringen genom Södertälje kanal. Starkare vind medför kraftigare ytströmmar och ökad spridningsavstånd, men även att ökad turbulens och därmed utspädning. På samma sätt medför större vattenföring i kanalen ökad turbulens och utspädning samtidigt som suspenderat sediment kan bäras längre ut i Hallsfjärden. I detta område är skiktning p.g.a. gradienter i temperatur och/eller salthalt mindre viktiga. För dumpningsområdet U12 är vindsituationen i princip styrande. Sommartid kan skiktning förekomma, vilket i viss mån påverkar spridningen genom att begränsa den vertikala omblandningen.

Sedimentprovtagning i Södertälje kanal (3) har visat på en mindre fraktion finmaterial som kan gå i suspension. Detta medför att en liten mängd sediment med ursprung i 3 sprids från såväl muddringsplatsen och dumpningsplatsen. Detta leder till ett mindre påverkansområde än det relaterat till muddringsaktivitet vid 1 och dumpning av material från muddringsplatsen 1. Vidare är det finmaterial som sprids i vattnet något grövre vid 3 jämfört med 1, men det utslagsgivande i frågan om påverkansområdets karaktär är alltså volymen finmaterial som kan förväntas att spillas.

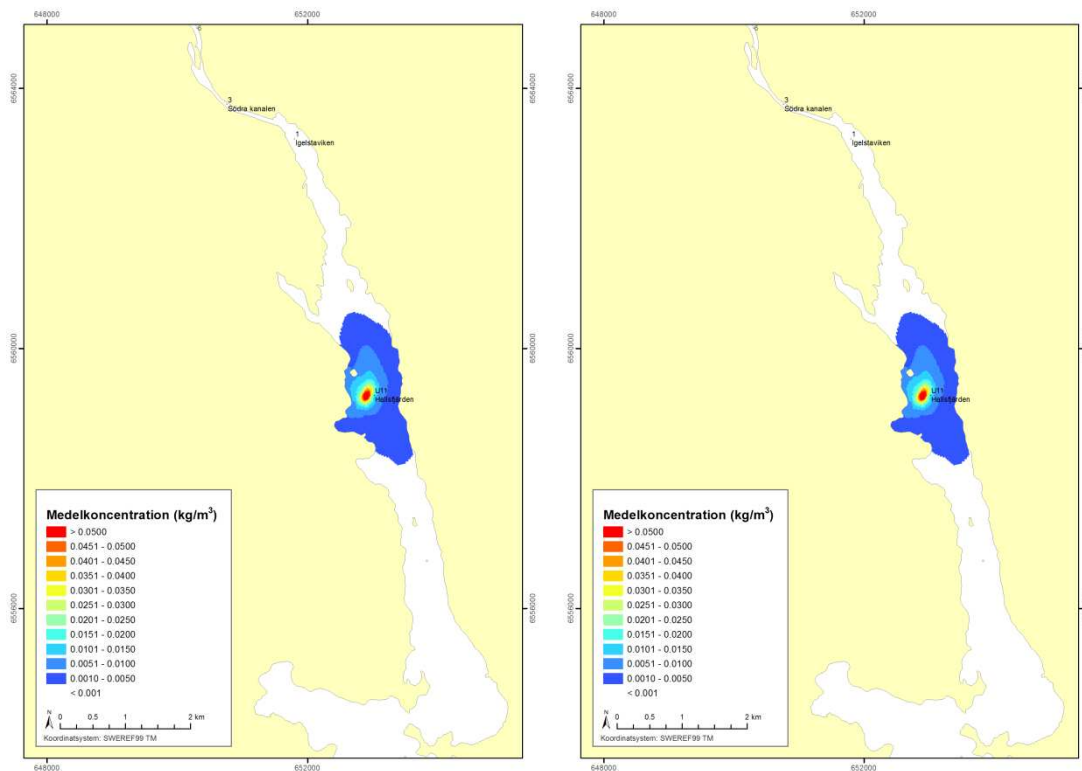
- För **muddring i område 1** som ligger där Södertälje kanal mynnar i Igelstaviken visar resultaten på koncentrationer över 50 kg/m^3 inom ett par hundra meter från muddringsområdet, Figur 115. Det finns skillnader i ytströmmens respektive bottenströmmens riktning vilket återspeglas i spridningsmönstret. I ytskiktet sker spridningen främst söderut i Hallsfjärden medan det i bottenkiktet finns en norrgående bottenström som transporterar sediment norrut i Södertälje kanal.
- **Muddring i område 3** som ligger centralt i Södertälje kanal medför generellt jämförbara eller lägre koncentrationer med de från område M1, vilket till stor del beror på stora skillnader i andel finkornigt bottenmaterial. I ytskiktet sker spridningen främst sydväst medan det i bottenkiktet sker en transport nordöst inåt i Södertälje kanal.
- Vid **dumpningsområdet** U12 visar beräkningarna på olika spridning för sediment muddrade vid M1 respektive M3, se Figur 117 och Figur 118. Sediment muddrade vid område 1 har en större spridning vilket beror på den större volym finmaterial som muddras och senare dumpas vid U12. Koncentrationer och påverkansområdet är relativt likartat i yt- och bottenvattnet. Under perioden med skarp skiktning kan det uppstå skillnader mellan yt- och bottenvattnet.
- **Depositionen** av sediment som spillts vid muddring och dumpning är högst i området nära slussen, Södertälje kanals mynning i Igelstaviken samt kring dumpningsplatsen U12
- **Bottenskjuvspänningen vid tippområdet** U12 är generellt omkring $0,001\text{--}0,0005 \text{ N/m}^2$. Den högst bottenskjuvspänningen är omkring $0,002\text{--}0,003 \text{ N/m}^2$.



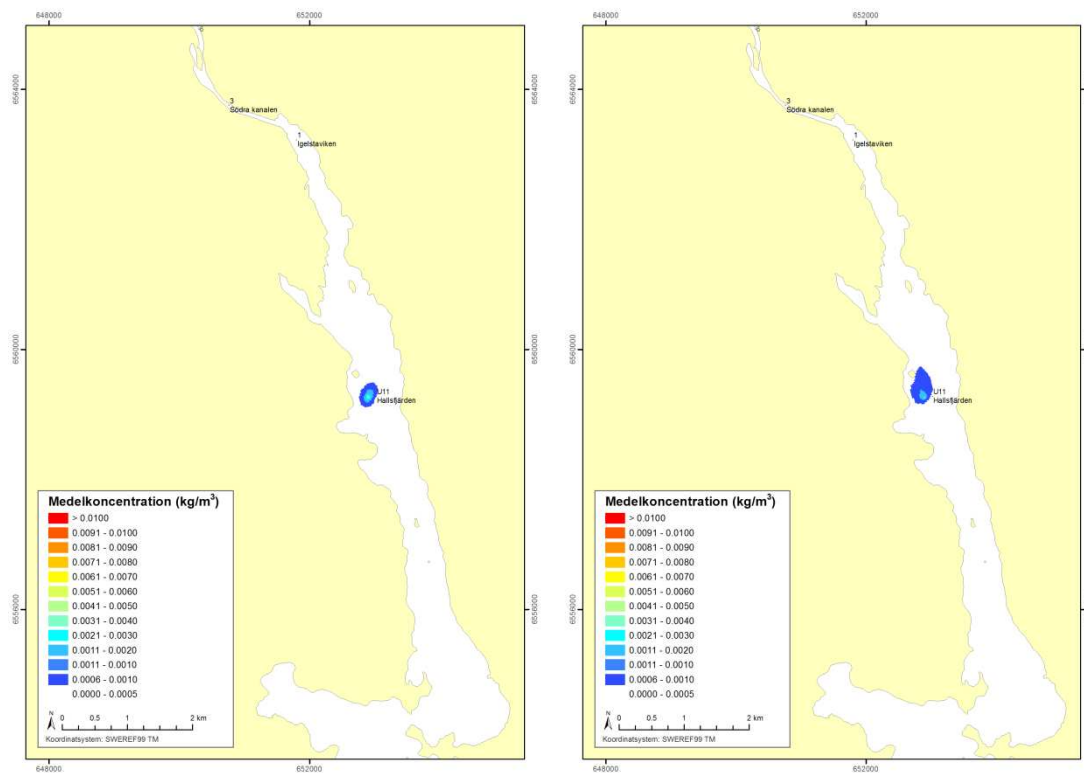
Figur 115. Spridning av mudderspill från 1 under dynamisk simulering. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan (vänster) samt vid botten (höger) som ett tids integrerat medelvärde under hela perioden som muddring pågår. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



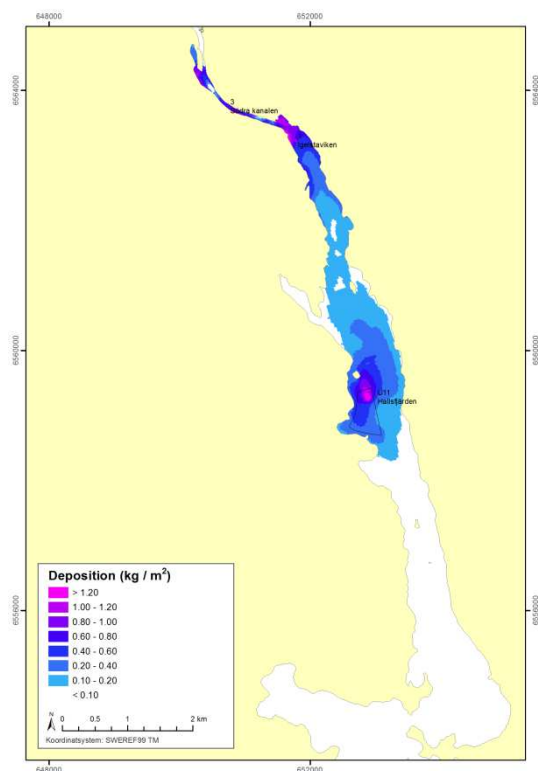
Figur 116. Spridning av mudderspill från 3 under dynamisk simulering. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan (vänster) samt vid botten (höger) som ett tids integrerat medelvärde under hela perioden som muddring pågår. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$



Figur 117. Spridning av mudderspill som dumpas vid U11/U12. Sedimenten är muddrade från 1 under dynamisk simulering. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan(vänster) samt vid botten (höger) som ett tids integrerat medelvärde under hela perioden som dumpning pågår. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$. Bilden baseras på modellsimuleringar för närbelägna U11 men kan även anses representera U12.



Figur 118. Spridning av mudderspill som dumpas vid U12. Sedimenten är muddrade från 3 under dynamisk simulering. Bilden visar koncentrationen av mudderspill i ytan (vänster) samt vid botten (höger) som ett tids integrerat medelvärde under hela perioden som dumpning pågår. $1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ mg/l}$. Bilden baseras på modellsimuleringar för närbelägna U11 men kan även anses representera U12.



Figur 119. Sedimentation av mudderspill från samtliga muddrings- och dumpningsområden under dynamisk simulering. Bilden visar mudderspill 2 dygn efter att en period av sammanlagt 7 dygns dumpning avslutats. Dumpningstakten under simuleringen var för dumpningsområden och Igelstaviken $6000 \text{ m}^3/\text{dygn}$, vilket motsvarar hantering av 42000 m^3 i respektive punkt. För dumpningsområdet baseras bilden på modellsimuleringar för närbelägna U11 men kan även anses representera U12.

Kompletterande kommentar för U12

- Inom ett område närmare än ca 70 m från utsläppet uppträder medelhalter av suspenderat sediment som är högre än $0,050 \text{ kg/m}^3$.
- Inom ett område närmare än 150 m från utsläppet uppträder medelhalter av suspenderat sediment som är högre än $0,020 \text{ kg/m}^3$.
- Inom ett område närmare än 250 m från utsläppet uppträder medelhalter av suspenderat sediment som är högre än $0,010 \text{ kg/m}^3$.
- Det kan kortvarigt förekomma halter suspenderat sediment högre än $0,050 \text{ kg/m}^3$ inom ett område ca 450 m från en dumpningsplats.

U12 är beläget ca 50-300 m från stranden, vilket medför att ovanstående koncentrationer kan nå strandzonen. Bränningeåns mynning ligger ca 100-500 m från möjliga dumpningsplatser inom U12 och förhöjda halter suspenderat sediment vid mynningen kan således ej uteslutas.

8 Diskussion

Högupplösta hydrodynamiska modeller kan i många sammanhang vara goda verktyg för att värdera effekter av olika aktiviteter i inom vattenbyggnadssektorn. Ofta fordrar frågeställningarnas karaktär komplexa modeller som kan beskriva strömning och transport i flera dimensioner. De beräkningsmodeller som finns på marknaden har i regel goda förutsättningar att beräkna t.ex. flödesdynamik, sedimentspridning och deposition. Det är dock viktigt att komma ihåg att resultaten speglar precis de förhållanden med avseende på vind, tillrinning, temperatur och muddringstid och sedimentegenskaper som angetts. Då det i allmänhet inte är praktiskt eller lämpligt att utföra

hundratals simuleringar över olika väder- eller driftssituationer är det önskvärt att skapa s.k. typfall d.v.s. ett fåtal beräkningsfall som kan tänkas omfatta ett större antal vanligt förekommande situationer. I föreliggande rapport har detta gjorts genom att använda vindstatistik för att beskriva situationer som ger transport i ogynnsamma riktningar. Vidare har beräkningar gjorts för en period med dynamisk vind för att visa på hur spridning kan se ut under vanligt förekommande förhållanden. Resultaten visar framförallt på storleksordningen av påverkansområden och att koncentrationer i vattnet är starkt kopplade till strömmars styrka och riktning. Spridningsbilder beräknade med Delft3D kan ses som en ungefärlig beskrivning av den grumlighet som kan förväntas i samband med muddring och dumpning.

Det har gjorts stora ansträngningar för att förse projektet med indata av hög kvalitet. Djupdata och randvillkor såsom tillrinning och vind bedöms vara av tillräcklig noggrannhet. Den enskilda faktorn som bedöms vara mest osäker är hur stor del av den volym som muddras som också spills och orsakar grumling i vattnet. I detta projekt har det generellt ansatts att 5 procent av muddervolymen förloras som spill och i utredningar från andra områden, Norrköpings hamn och Göteborgs insegling, visar på liknande storleksordningar. Hur stor mängd sediment som spills har i praktiken stor effekt på grumlingen och så även i modellberäkningarna.

Flera faktorer som är av stor vikt för det sätt som sedimentspridningen beräknas på är ofta okända eller grovt uppskattade. Det kan bero på att de är svåra, kostsamma eller omöjliga att fastställa genom t.ex. mätningar. Ett exempel är kritisk bottenkjuvspänning som varierar med sedimenttyp och som är svår att mäta eller uppskatta. För att visa på hur resultaten beror av sådana osäkerheter kan man genomföra s.k. känslighetsanalyser. I detta projekt utfördes känslighetsanalyser för de parametrar som bedömdes ha stor påverkan och som har en tydlig motsvarighet i verkligheten.

Gemensamt för de resultat som rör koncentrationer i denna rapport är att de redovisar marginaleffekten d.v.s. tillskottet av muddring och dumpning. Det finns för alla områden en bakgrundshalt som normalt ligger i intervallet 7-12 kg/m³ men det finns också naturlig variation betydligt utanför detta spann (WSP 2014). Koncentrationen är högst i Galten och avtar västerut. För tillämpningar där absolutkoncentrationer är av intresse bör marginaleffekten och respektive bakgrundshalt adderas.

I jämförelsen mellan beräknade och uppmätta strömmar och vattenstånd visar analysen att de beräknade strömmarna är något för låga i modellen. Det kan innebära att påverkansområdet kan bli något mindre i modellen då mudderspill inte sprids lika långt, medan koncentrationerna riskerar att blir något höga eftersom det inte blir lika bra utspädnings effekt med svagare strömmar.

På grund av friktion mot vattenytan skapar vinden ytströmmar, som på öppna fjärdar och hav går i vindens riktning. I områden med mer komplicerad topografi kan dock de ytliga vinddrivna strömmarna gå även i andra riktningar. Det vatten som förs bort med de vinddrivna strömmarna måste ersättas med annat vatten, och det skapas då även strömmar under ytan och längs med botten vilket kan ge relativt komplicerade strömningsmönster. I en skiktad vattenmassa tillkommer en ytterligare komplexitet då skiktningen motverkar fördelningen av rörelseenergi. Bland annat fördelas inte vindens energi över hela vattendjupet i en skiktad vätska, vilket gör att bottenströmmarna i en skiktad vattenmassa generellt sett är lägre än bottenströmmarna i en oskiktad vattenmassa. Strömmönstret i en skiktad och en oskiktad vattenmassa kan därför se mycket olika ut för samma drivning. Simuleringarna i Mälaren har gjorts för oskiktad vattenmassa och koncentrationen av mudderspill är i stort sett den samma genom hela vattenkolumnen. En känslighetsanalys med skiktade förhållanden visar att spridningsbilden och koncentrationerna blir något annorlunda p.g.a. de ändrade strömförhållanden. Koncentrationen av mudderspill blir högre både i ytan och vid botten, men variationerna ligger inom samma storleksordning, se till exempel Figur 77. Mälaren är ombladad under vår och höst så det finns förutsättningar för att styra muddringen till perioder utan skiktning.

Analysen av simuleringarna med dynamisk drivning fokuserar kring koncentrationen av mudderspill sett som ett tidsintegrerat medelvärde för hela perioden. Att medelvärdet bedöms som representativt för konsekvensbedömningen är utförligt motiverat i rapporten om konsekvenser för vattenmiljön (WSP, 2014a). I korthet beror det på att vid de grumlighetsnivåer som kan förväntas så bedöms det inte föreligga risk för akuta effekter på växter och djur. Att maxhalterna kortvarigt kan vara betydligt högre än medelhalterna är därmed inte så relevant som den genomsnittliga grumlingen över längre tid. Varaktighetsdiagram presenteras också i vattenmiljörapporten (WSP, 2014a).

I denna rapport behandlas inte områden där volymerna är små eller materialet är av sådan kornstorlek att grumling bedömts som marginellt. Lokalt kan möjligtvis grumling förekomma, men det bedöms osannolikt att aktiviteter i dessa områden medför varaktigt höga koncentrationer eller stora påverkansområden.

Tänkbara framtida användningsområden för strömningsmodellerna är att beräkna t.ex. spridning av olika ämnen, effekter av olika typer av konstruktioner, bottenskjuvspänningar, vattennivåer vid olika vindförhållanden m.m.

9 Slutsatser

De viktigaste slutsatserna sammanfattas nedan. Följande slutsatser gäller generellt för samtliga vattenförekomster:

- Resultaten i avsnitt 7 ger en god bild av storleksordningen av påverkansområden och vilka koncentrationer som kan uppnås vid arbete i de olika vattenförekomsterna.
- Spridningsbilden skiljer sig beroende på omgivande förhållanden så som vindhastighet, vindriktning och skiktning. Påverkansområdet och koncentrationen av mudderspill skiljer sig också beroende på områdets topografi.
- I områden som är avgränsade av land begränsas påverkansområdet, men koncentrationen av mudderspill blir högre än för ett område med stort vattenutbyte. Det samma gäller mängden deponerat mudderspill där koncentrationen blir högre i ett mindre område.
- De oskiktade fallen har likartad spridningsbild i hela vattenmassan, från ytan till botten, medan skiktade förhållanden gör att spridningsbilden ser olika ut vid ytan och botten. Koncentrationerna blir något högre såväl vid ytan som vid botten i närheten av arbetsområdet.
- Muddring och dumpning av gyttjelera (som har lägre torrdensitet) ger generellt lägre koncentration av mudderspill än lersand. Även då arbete i området med lersand pågår under något längre tid än arbete i området med gyttjelera. Däremot är påverkansområdet ungefär lika stort för de båda sedimenttyperna.
- Ökad muddringshastigheten innebär att påverkansområdet blir något större och att koncentrationen av mudderspill i området ökar. Utbredningen av områden med deponerat mudderspill är i princip oförändrat.
- Mängden deponerat sediment är som högst ca $0,4 \text{ kg/m}^2$ vid den längsta arbetstiden som har simulerats. Generellt är mängden ca $0,15 \text{ kg/m}^2$ strax utanför arbetsområdet. Inne i själva arbetsområdet är koncentrationen högre.
- Bottenskjuvspänningen i dumpningsområdena är generellt mellan $0,001 - 0,0005 \text{ N/m}^2$ och maxvärdena omkring $0,01-0,02 \text{ N/m}^2$.

Följande slutsatser kan dras gällande påverkansområden och koncentrationen av mudderspill för respektive vattenförekomst:

- Resultaten visar att påverkansområdet i Galten är som störst är ca $3 \times 3 \text{ km}$ runt arbetsområdet, och de högsta koncentrationerna på avståndet 750 m från området är i medeltal $0,005 \text{ kg/m}^3$.
- Resultaten visar att påverkansområdet i Blacken, Västerås- och Granfjärden som störst är $2 \times 3 \text{ km}$ runt arbetsområdet, och de högsta koncentrationerna på avståndet 750 m är i medeltal $0,004 \text{ kg/m}^3$.
- Resultaten visar att påverkansområdet i Prästfjärden som längst sträcker sig 2 km från arbetsområdet, och de högsta koncentrationerna på avståndet 750 m från området är i medeltal $0,06 \text{ kg/m}^3$.
- Resultaten visar att påverkansområdet i Södertälje kanal, Hallsfjärden och Igelstaviken som längst sträcker sig 4 km från arbetsområdet, och de högsta koncentrationerna på avståndet 750 m från området är i medeltal $0,05 \text{ kg/m}^3$.
- Två dygn efter avslutad muddring är koncentrationen av mudderspill i ytan som högst $0,011 \text{ kg/m}^3$ i områden som har begränsad tillgång till spädvatten, annars lägre.

10 Referenser

Airviro User's Reference. <http://www.smhi.se/airviro/2.867/documentation/dispersion-1.9230>

Chao, X, Jia, Y, Shields, FD Jr, Wang SSY & Cooper, CM (2008). Three-dimensional numerical modeling of cohesive sediment transport and wind wave impact in a shallow oxbow lake. *Advances in Water Resources*, vol 31, pp 1004–1014.

Delft hydraulics software. <http://delftsoftware.wldelft.nl/>

Engqvist A., Svensson J., (1984). Water turnover in Himmerfjärden 1977 –a simulation study. SMHI RHO 38.

Erosion and sediment control manual, Appendix G. Government of Alberta, transportation

Gyllenram W, Hallberg, K(2011). Modellerings av vinduppstuvning i Mälaren, SMHI rapport nr 2011-50.

PM kritisk bottenskjuvspänning, 2012-11-16, John Sternbeck och Mats Allmyr WSP. Kallas i rapporten för PM kritisk bottenskjuvspänning.

Sjöfartsverket (2014). Miljökonsekvensbeskrivning för Mälarpjektet -Fördjupning och breddning av de allmänna farlederna till Västerås och Köping samt uppgradering av Södertälje kanal och sluss.

SGU (2012) PM Muddring och deponering av muddermassor i havet.

SGI 2008. Jords egenskaper. Rolf Larrson.

White, FM (2003). Fluid Mechanics. McGraw-Hill, 5 ed, New York, USA.

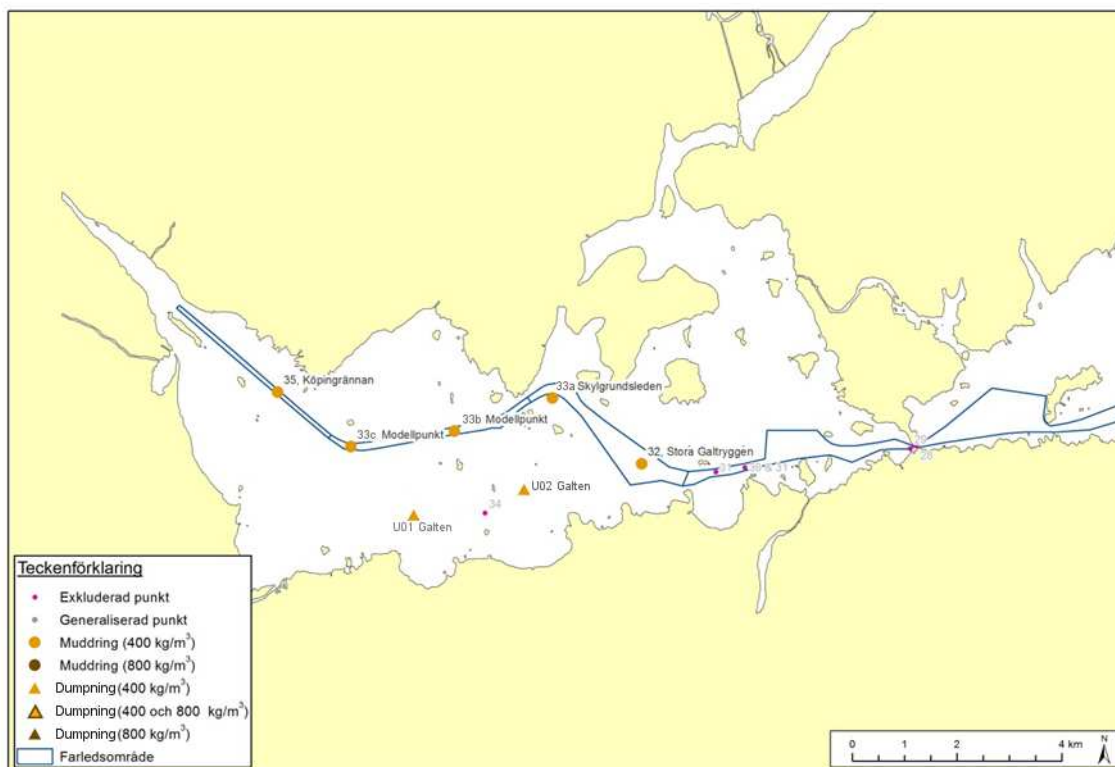
WSP, 2014. Mälarpjektet – Alternativredovisning för hantering av muddermassor.

WSP 2014. Mälarpjektet, Sedimentrapport.

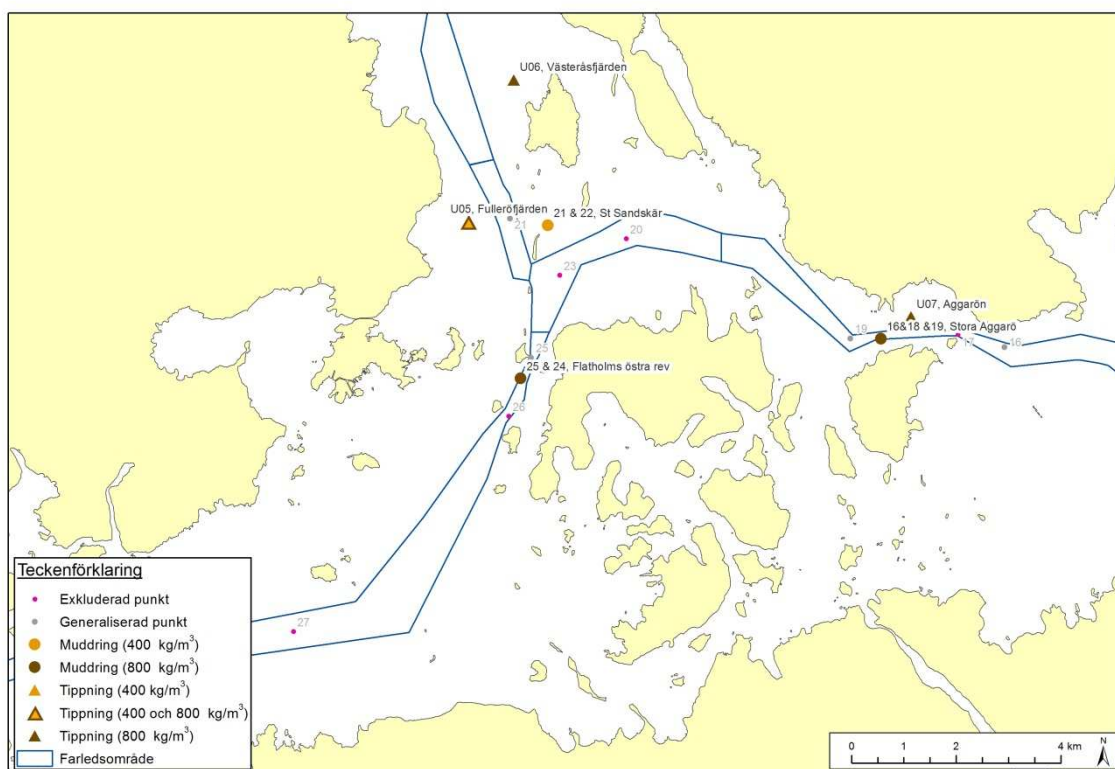
11 Bilagor

11.1 Bilaga 1 Muddrings- och dumpningsområden i beräkningsmodellen

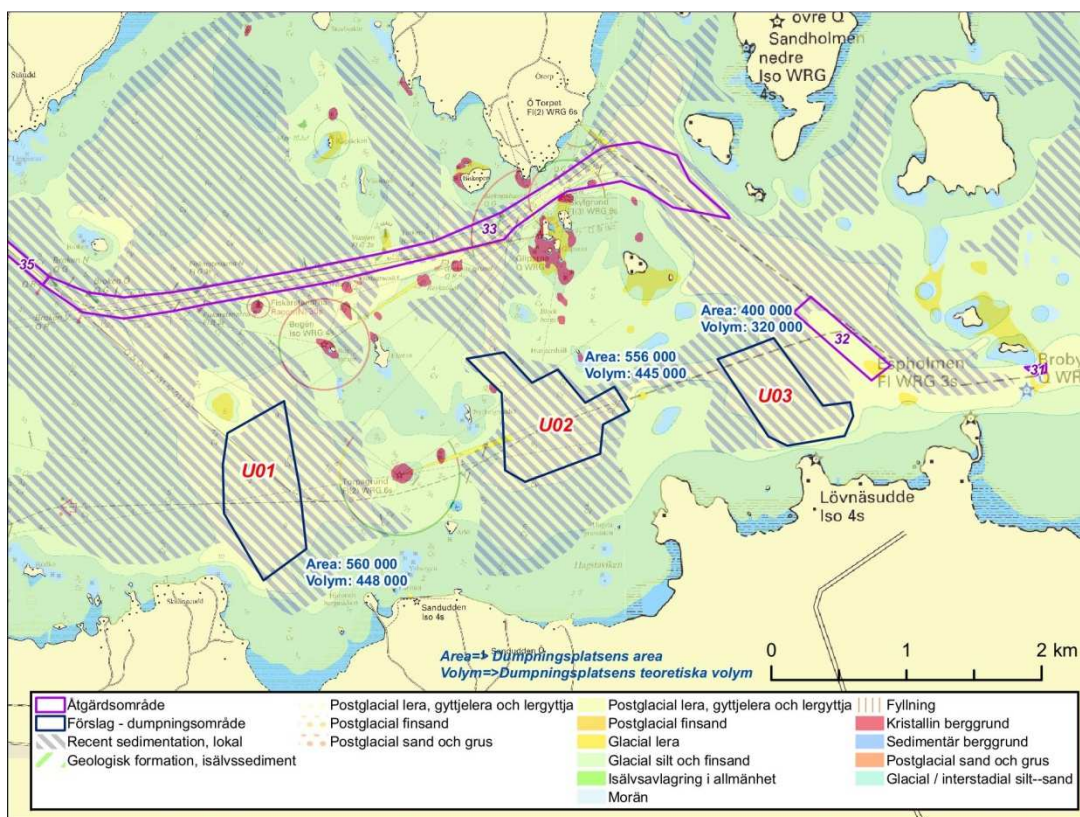
Nedan presenteras kartor som visar spridningsberäkningar av de muddringsområden och de dumpningsområden som utretts inom projektet. Det syns även vilka av dessa som generaliserats och slagits ihop med andra punkter och vilka som exkluderats. I legenden framgår de volymer som ingått i respektive beräkning.



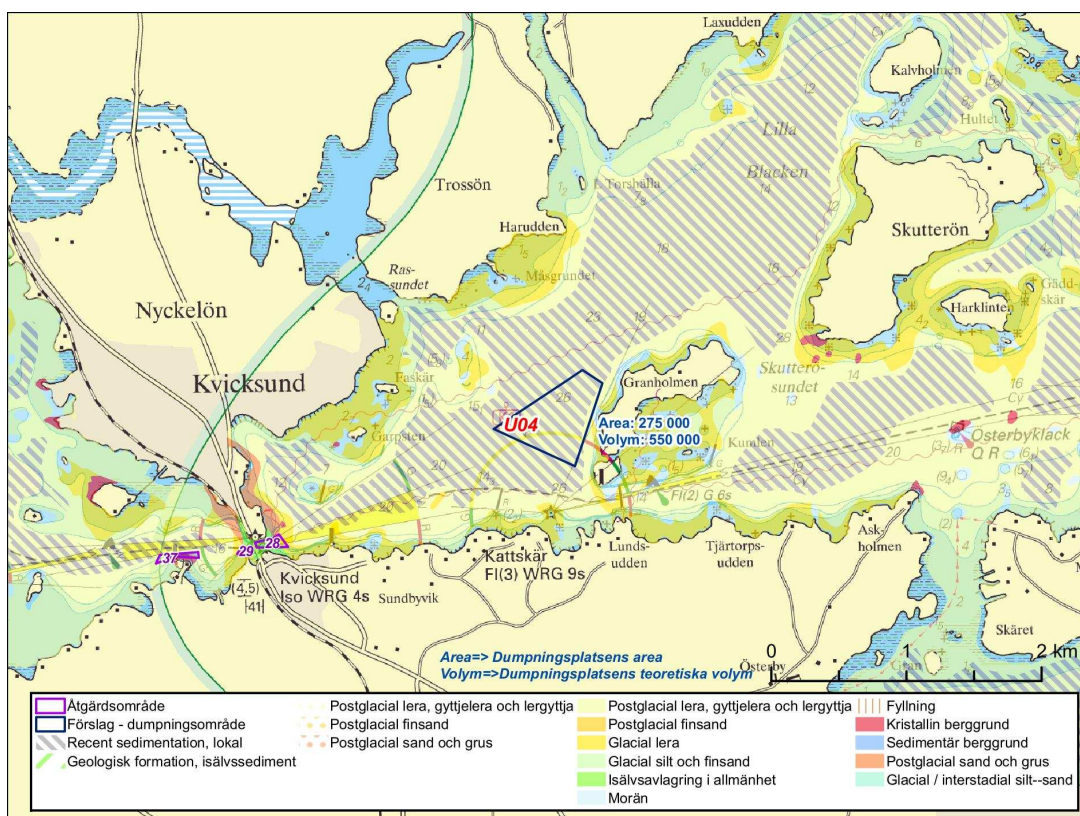
Figur 120. Muddrings- och dumpningsområden i delmodellen Köping – Ängholmen (se Tabell 5).



Figur 121. Muddrings- och dumpningsområden i delmodellen Kvicksund – St Långholmen (se Spridningsberäkningarna baseras på hantering av 360 000 m³ sediment, dvs samma som redovisats i tillståndsansökan och MKB, se Tabell 3.

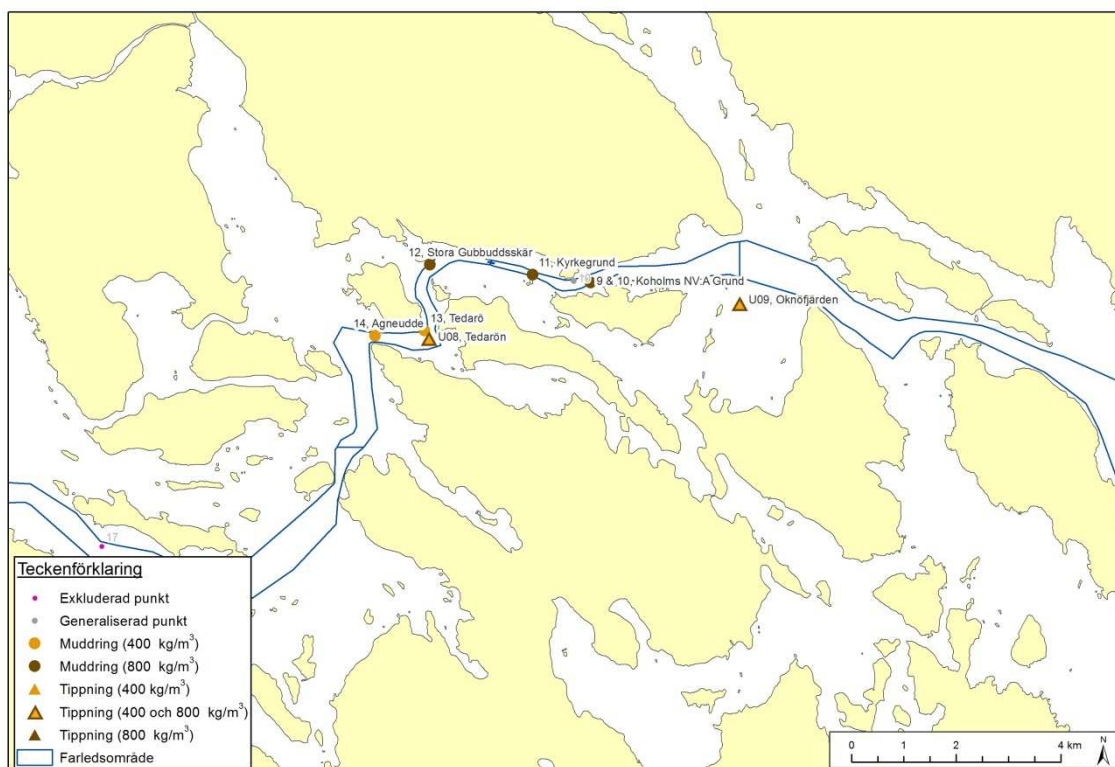


Figur 18. Placering av åtgärdsområden och utredda dumpningsområden i Galtén (från WSP 2014a).



Figur 19. Placering dumpningsområden U04 (från WSP 2014a).

Tabell 6). I punkt 19 vid Aggarön ingår även 19A.



Figur 122. Muddrings- och dumpningsområden i delmodellen Aggarön – östra Stallholmen (se Tabell 7).

Figur 123. Muddrings- och dumpningsområden i delmodellerna Bornhuvud – norra kanalen (se Tabell 6) och södra kanalen- Sandviken (se Tabell 7).

11.2 Bilaga 2 Grumling vid muddring och dumpning av muddermassor i Mälaren och Hallsfjärden

I samband med muddringsarbeten sker spridning av partiklar med de strömmar som förekommer i muddrings- och dumpningsområdet. Allra längst kan partiklarna nå om det muddrade materialet är mycket finkornigt och näst intill går i suspension i vattenmassan, dvs. när sjunkhastigheten hos partiklarna är mycket liten. Muddermassorna i Mälaren kommer bestå av bland annat lera och gyttja vars partiklar är mycket små. För att beräkna spridning, koncentration och deposition av suspenderat sediment som spills vid muddring och dumpning har en tredimensionell beräkningsmodell satts upp för Mälaren och området söder om Södertälje kanal.

I modellen ansätts ett flöde och en initialkoncentration av suspenderat sediment i respektive muddrings- och dumpningsområde. Det suspenderade sedimentet sprids från respektive område med de strömmar som råder, och under tiden späds det med omgivande vatten så att koncentrationen av suspenderat sediment minskar allteftersom plymen rör sig bort från området. Om man inte tar hänsyn till deposition/sedimentation av sediment så är utspädning den process som gör att koncentrationen avtar. I beräkningsmodellen för Mälaren beräknas även depositionen av sediment som spills vid muddring och dumpning. Dock beräknas ingen erosion så när sedimentpartiklarna väl har sedimenterat så kommer de ligga kvar och inte återgå i suspension. Koncentrationen av suspenderat sediment avklingar alltså både beroende på den utspädning som sker då blandning sker med omgivande vatten, och dels genom deposition av sediment.

Bottenskjuvspänning

En av de avgörande parametrarna i sedimentationssammanhang är den så kallade bottenskjuvspänningen, som definieras som friktionskraften mot botten räknat per ytenhet. Bottenskjuvspänningen brukar betecknas med den grekiska symbolen τ_w , där nedsänkt w står för *wall*, och definieras matematiskt som

$$\tau_w(x,y,t) \equiv \mu \partial U / \partial z|_{z=0},$$

där μ är vattnets viskositet, U är strömhastigheten, z är avståndet från botten och $\partial U / \partial z|_{z=0}$ är strömhastighetens gradient precis intill botten (White, 2003). Funktionen τ_w varierar generellt sett både i tiden (t) och över botten (i definitionen ovan har det antagits att botten ligger i xy -planet och att z -axeln är riktad i bottenens normalriktning).

Att det strömmande vattnet är turbulent påverkar i allra högsta grad bottenskjuvspänningen, eftersom hydrodynamiska krafter generellt sett ökar kvadratisk med strömhastigheterna. Detta innebär att, ifall hastigheterna ökar med en faktor två, ökar krafterna mot botten (och därmed även bottenskjuvspänningen) med en faktor fyra. Ifall de turbulenta fluktuationerna varierar i tiden med exempelvis $\pm 50\%$ relativt medelflödet, varierar de temporära bottenskjuvspänningarna följaktligen mellan $0,5^2 = 0,25$ och $1,5^2 = 2,25$ gånger sitt tidsmedelvärde. Observera att vid en given konstant medelströmhastighet kan bottenskjuvspänningen stundtals uppgå till mer än sitt dubbla tidsmedelvärde. Graden av turbulens har därigenom en påtaglig inverkan på sedimentationen.

Sedimentationen beror också på den kritiska bottenskjuvspänningen för sedimentation och partiklarnas sjunkhastighet.

Kritisk bottenskjuvspänning för kohesiva material

Den kritiska bottenskjuvspänning som måste underskridas för att sedimentation ska inträffa är nödvändigtvis lägre än den kritiska bottenskjuvspänningen för erosion (τ_c). En vanlig modell för att beskriva detta matematiskt är

$$D' = w_s c_b (1 - \tau / \tau_{c,s}) \text{ om } \tau < \tau_{c,s}, \quad D' = 0 \text{ om } \tau > \tau_{c,s},$$

där D' är depositionshastigheten med enheten [$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$], och c_b är sedimentkoncentrationen nära botten [kg/m^3] (Chao et al., 2008).

Om bottenskjuvspänningen ligger i intervallet $\tau_{c,s} < \tau < \tau_{c,e}$, där $\tau_{c,e}$ är den kritiska bottenskjuvspänningen för erosion och $\tau_{c,s}$ är den kritiska bottenskjuvspänningen för sedimentation,

händer följaktligen ingenting med det upplösta och liggande kohesiva bottenmaterialet – det vare sig eroderar eller sedimenterar.

Sjunkhastigheten

Sedimentpartiklarnas sjunkhastigheter beräknas med hjälp av partikelstorleken ifrån Stokes lag (Erosion and sediment control manual):

$$V_s = \frac{g(S - 1)d^2}{18 - \mu} \quad (1)$$

Där V_s är sjunkhastigheten i (cm s^{-1}), g är tyngdaccelerationen (cm s^{-2}), μ är kinematisk viskositet hos vattnet ($\text{cm}^2 \text{s}^{-2}$), S är specifik densitet och d är partikelstorleken (cm). Sedimentationshastigheten minskar snabbt med minskande partikelstorlek. En partikel med diameten 0,01 mm (fin silt) har vid vattentemperaturen 15°C sjunkhastigheten 0,008 cm/s, medan en partikel med storleken 0,05 mm (grov silt) har sjunkhastigheten 0,191 cm/s.

Modellering av sedimentation av kohesiva sediment

Som en direkt följa av komplexiteten i egenskaperna hos kohesiva material så tvingas man förlita sig till en högre grad av empiri. Främst måste den kritiska bottenskjuvspänningen för sedimentation bestämmas för varje typ av material som muddras. Vidare måste sjunkhastigheter bestämmas för varje typ av material som muddras.

Trots, eller på grund av, att den fysikaliska komplexiteten och osäkerheterna i bestämmandet av nödvändiga parametrar är stora, brukar en enkel linjär modell användas för att modellera sedimentation av kohesiva sediment, nämligen *Partheniades – Krone's formel* (Delft hydraulics software) :

$$D^{(l)} = w_s^{(l)} c_b^{(l)} S(\tau_{cw}, \tau_{cr,d}^{(l)}) \quad (2)$$

Där $D^{(l)}$ är depositions fluxen ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$), $w_s^{(l)}$ är sjunkhastigheten (m s^{-1}), $c_b^{(l)}$ är koncentrationen av sediment på botten och $S(\tau_{cw}, \tau_{cr,d}^{(l)})$ är funktionen som beräknar om deposition sker eller inte:

$$S(\tau_{cw}, \tau_{cr,d}^{(l)}) = \begin{cases} \left(1 - \frac{\tau_{cw}}{\tau_{cr,d}^{(l)}}\right) & \text{när } \tau_{cw} < \tau_{cr,d}^{(l)} \\ 0 & \text{när } \tau_{cw} \geq \tau_{cr,d}^{(l)} \end{cases} \quad (3)$$

Där τ_{cw} är bottenskjuvspänningen som beräknas av modellen och $\tau_{cr,d}^{(l)}$ är den kritiska bottenskjuvspänningen för deposition. Ekvation (3) betyder att så länge den beräknade bottenskjuvspänningen är högre än den kritiska bottenskjuvspänningen för deposition så sker ingen deposition. Ekvation (3) får då värdet 0 vilket innebär att också ekvation (2) som beräknar depositions fluxen får värdet 0. Om den beräknade bottenskjuvspänningen är lägre än den kritiska bottenskjuvspänningen för deposition sker deposition. Då får ekvation (3) värdet 1, och depositions fluxen beräknas utifrån ekvation (2) i enheten $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Indata till beräkningsmodellen är kritisk bottenskjuvspänning för deposition för respektive sediment ($\tau_{cr,d}^{(l)}$) och partiklarnas sjunkhastighet ($w_s^{(l)}$). I de beräkningar som genomförts Mälarprojektet har kritiska bottenskjuvspänning för deposition ansatts till 0,011 Pa och utifrån partikelstorleken 8 μm har sjunkhastigheten beräknats med Stokes lag till 0,044 mm s^{-1} . Dessa indata har levererats av WSP. Bottenskjuvspänningen (τ_{cw}) beräknas i modellen utifrån strömhastigheten. Bottenskjuvspänningen påverkas av både strömmar och vågor men i modellen som är uppsatt för Mälarprojektet ingår inte att beräkna vågor och därför finns inte heller vågornas eventuella effekt på bottenskjuvspänningen med.

I varje cell i beräkningsnätet beräknas med hjälp av ekvation (2) och (3) och de indata som krävs ett värde på depositions fluxen i enheten $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Resultaten av beräkningarna av deposition presenteras som kg/m^2 .

Partikelstorlekar

De sedimenttyper som förekommer i muddringsområdena i Mälaren samt kring Södertälje beskrivs mer utförligt av Sternbeck (2013). Muddringsområdena i Mälaren domineras av gyttjelera och liknande sediment. Dessa sediment kännetecknas av hög vattenhalt och låg konsolideringsgrad. I vissa områden förekommer den mer konsoliderade glaciala lera, som också underlagrar gyttjelera på många platser. Sporadiskt förekommer också friktionsmaterial bestående av sand, grus och sten, främst i grundare områden eller i sund. I Södertälje kanal består bottenarna huvudsakligen av grövre isälvsmaterial med små inslag av lera.

Kornstorleksfördelning har mätts på ca 100 prov från olika områden. Exempel på kurvor över kornstorleksfördelning ges i figur 1. Mediandiameter i gyttjeleran är ca 8 μm . Mediandiametern i den mer konsoliderade lera är något mindre, men denna typ av lera är pga sin högre konsolideringsgrad ändå mindre grumlande (SGU, 2012).

Figur 124. Kornstorleksfördelning i prov från två muddringspunkter i Mälaren. De röda linjerna representerar mer konsoliderad djupare liggande lera och de blå linjerna representerar ytlig gyttjelera.

Utspädning och grumling

Resultaten från beräkningarna visar den koncentration som tillkommer på grund av muddring och dumpning, dvs. den naturligt förekommande bakgrundshalten finns inte med i resultaten utan måste adderas för att få den totala koncentrationen. Det samma gäller deposition, det är endast depositionen av spillt sediment från muddring och dumpning som visas.

I beräkningarna har två typer av sediment använts, en gyttjelera och en lersand. Det skulle vara extremt beräkningstekniskt krävande att simulera koncentration och spridning av varje enskild sedimentsort som förekommer i Mälaren. Därför har man klassificerat sedimenten i dessa två typer. De egenskaper som använts för de två sedimenttyperna presenteras i Tabell 15. Samtliga indata kommer från WSP och indelningen i dessa två sedimenttyper har gjorts efter resultat från mätningar i respektive muddrområde.

Grova partiklar avsätts genom sedimentation i närheten av muddrings- och dumpningsområdet medan det fina materialet kan röra sig längre sträckor. I modellen beräknas inte koncentration och deposition av grova material som sand och beräkningar görs inte heller för de allra finaste sedimenten. I Galten består botten av fina sediment med mycket hög vattenhalt. Mycket fina sediment går lätt i suspension och har sådan låg sjunkhastighet att de kan hållas i vattenmassan under längre perioder. Galten är dessutom relativt grund vilket gör att den vinddrivna strömmen i området kan verka närmare botten och grumlingen blir mer känslig för påverkan från vinden än i bassänger med större djup. Sammantaget gör detta att Galten kan upplevas som naturligt grumlig vilket också visar sig i att

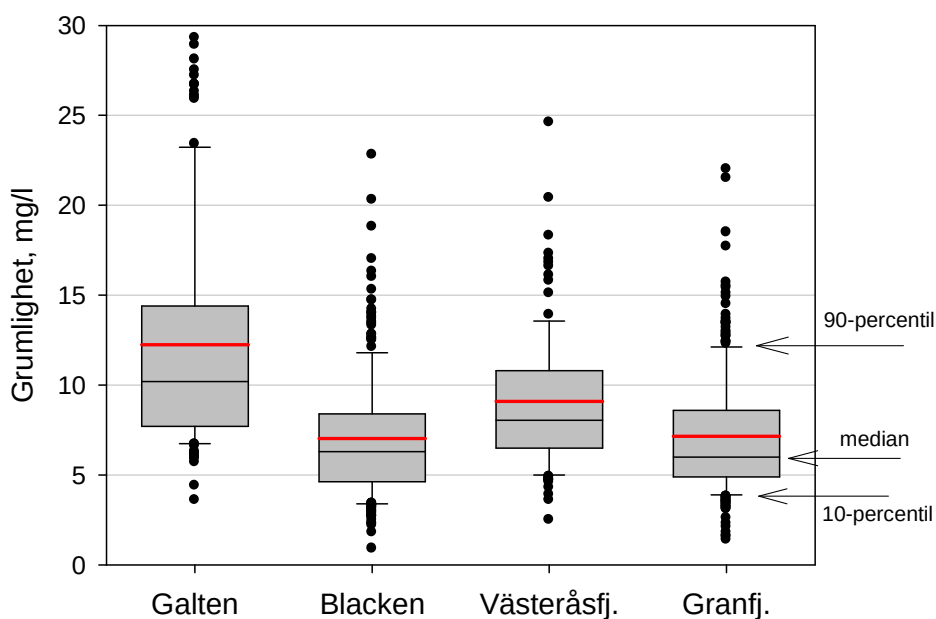
bakgrundsvärdet för grumling i Galten är högre än i övriga Mälaren. Denna naturliga grumling finns alltså inte med i beräkningarna.

Tabell 15. Egenskaper för de två sedimenttyperna som ingår i simuleringarna.

Sedimentparameter	Gyttjelera	Lersand
Torrdensitet (bulkdensitet)	400 kg/m ³	800 kg/m ³
Kompaktdensitet	2500 kg/m ³	2500 kg/m ³
Kritisk bottenskjuvspänning för sedimentation	0,011 Pa	0,011 Pa
Partikelstorlek	8 µm	8 µm

Bakgrundshalter

Grumlighet är högst och siktdjup är lägst i Mälarens västra delar. Gradvis avtar grumligheten österut, varmed siktdjupet ökar. Grumlighet uppmättes inom Mälarens miljöövervakningsprogram vid flera områden under perioden 1990-1995. Sex prov per år provtogs och den storskaliga trenden illustreras i figur 2. Totalt är det ca 130-250 mätvärden per lokal. Resultaten är samstämmiga med mätningar som SMHI genomfört inom detta projekt under 2012.



Figur 125. Grumlighet vid fyra olika fjärdar i Mälaren enligt SLUs mätningar 1990-1995. Den röda tjocka linjen representerar medelvärdet. Boxens övre och undre gräns representerar 75- och 25-percentilerna. Punkterna representerar de värden som är högre än 90-percentilen.

11.3 Bilaga 3 Referensmätningar av grumlighet och närsalter i Mälaren

11.3.1 Bakgrund och syfte

Inför tillståndsprovningen av projektet Södertälje kanal och sluss samt Mälarfarterlederna har SMHI genomfört referensmätningar av grumlighet samt provtagning och analys av suspenderat material samt närsalter. Syftet med mätningarna är att få en uppfattning av de naturliga variationerna både rumsligt och över året.

11.3.2 Genomförande

Mätningarna startade i april 2012 strax efter islossningen och avslutades första veckan i december samma år då delar av Mälaren redan var istäckt. Provtagningen skedde från SMHI:s aluminiumbåt Sensorita, en 7 meter lång trailerbåt utrustad för provtagning. Vattenprover togs med en hämtare model Ruttner och turbiditeten mättes med en backscatter givare monterad på en CTD-sond. Mätningar under de senaste åren har visat att turbiditetsgivare som använder backscatter teknik ger tillförlitliga resultat. Vattenprover för bestämmandet av sambandet mellan turbiditet mätt som FTU (Formazine Turbidity Unit) och halten suspenderat material har tagits så att spridningen på värdena skulle bli så stor som möjligt.

Samtliga vatten prover har tagits på nivåerna 0,5 m från ytan, i mitten och 1 meter ovan botten i vattenpelaren.

I valet av provtagningsstationer har man utgått från Mälarens vattenvårdsförbund provtagningsprogram i Mälaren. Där ingår Galten, Kvicksundsbron, Blacken, Västeråsfjärden, Granfjärden, Hjulstabron, Svinnegarnsviken, Prästfjärden, och S. Björkfjärden. Utöver detta har två stationer Igelstaviken och Hallsholme som båda ligger nedströms Södertälje kanal i saltsjön provtagits. De provtagningsstationer som ingått i mätprogrammet visas i Figur 126.



Figur 126. Karta över Mälaren och området söder om Södertälje kanal. Blåa markörer visar de provtagningsstationer som ingått i mätprogrammet.

11.3.3 Resultat

I avsnitten nedan presenteras resultatet av referensmätningarna. För grumlighet presenteras resultaten som sambandet mellan turbiditet och suspenderat material. För närsalter presenteras resultatet för följande närsalter; fosfat, nitrit-nitrat, silikat, nitrit, ammonium, total fosfor och total kväve.

11.3.3.1 Grumlighet

Mätningarna av turbiditet och analyserna av suspenderat material visar att grumligheten i de östra delarna av Mälaren i Björkfjärden ligger på ca 4 FTU ca 2 mg/l för att i Galten kunna uppgå till så

höga värden som 40 FTU ca 16 mg/l. Normalvärdet för Galten ligger runt 20 FTU ca 10 mg/l. Det förklaras av att det största tillflödet sker i östra Mälaren där tillrinningen från odlingslandskapen för med sig stora mängder sediment och organiskt material. Mätningarna i Mälaren med backscatter tekniken ger upphov till stor spridning av turbiditetsvärdena då stora partiklar, oftast organiskt material, ger upphov till stor reflektion och höga värden. Det oorganiska materialet ger lägre värden vilket förklaras av det suspenderade materialet i det fallet endast består av finkornigt material. Sambandet mellan turbiditet och suspenderat material brukar vara ca 1,2 då grumligheten uppstår i samband med muddring i sediment bestående av finkorniga leror. I Figur 127 - Figur 129 visas sambandet mellan turbiditet och suspenderat material för referensmätningarna. Mätningarna visar ett samband motsvarande 1,6 - 2,5. Det högsta värdet 2,5 under perioden juni till augusti. Under hela mätperioden var medelvärdet på sambandet ca 2,0.

Figur 127. Sambandet turbiditet FTU och halten suspenderat material mg/l under hela provtagningsperioden. Blåa markörer visar mätningar och den svarta linjen visar trendlinjen.

Figur 128. Sambandet turbiditet FTU och halten suspenderat material mg/l april-maj. Blåa markörer visar mätningar och den svarta linjen visar trendlinjen.

Figur 129. Sambandet mellan turbiditet FTU och halten suspenderat material mg/l sept.-dec. Blåa markörer visar mätningar och den svarta linjen visar trendlinjen.

11.3.3.2 Närsalter

Fosfor, kväve och kisel är nödvändiga näringsämnen för växtplankton i Mälaren. Dessa ämnen tillförs sjön i stora mängder med tillflödena, speciellt under vårflo den då produktionen i sjön inte har satt fart ännu. Det innebär att dessa näringsämnen ackumuleras i vattenmassan under vintern/våren för att sedan tas upp av växtplankton och vattenväxter.

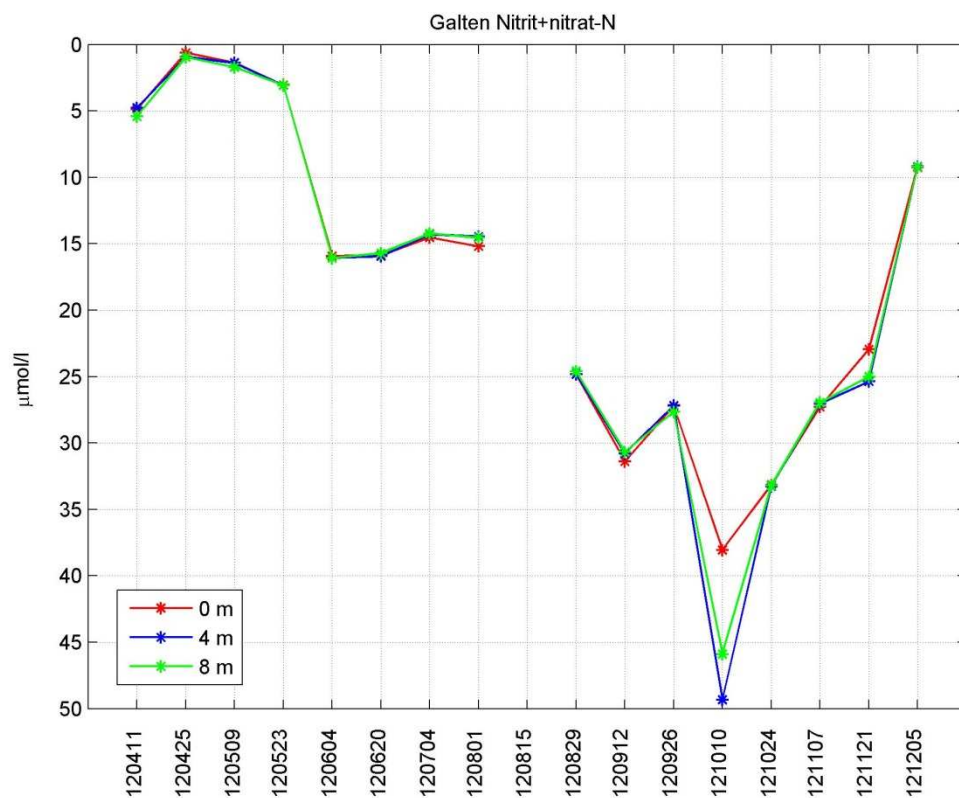
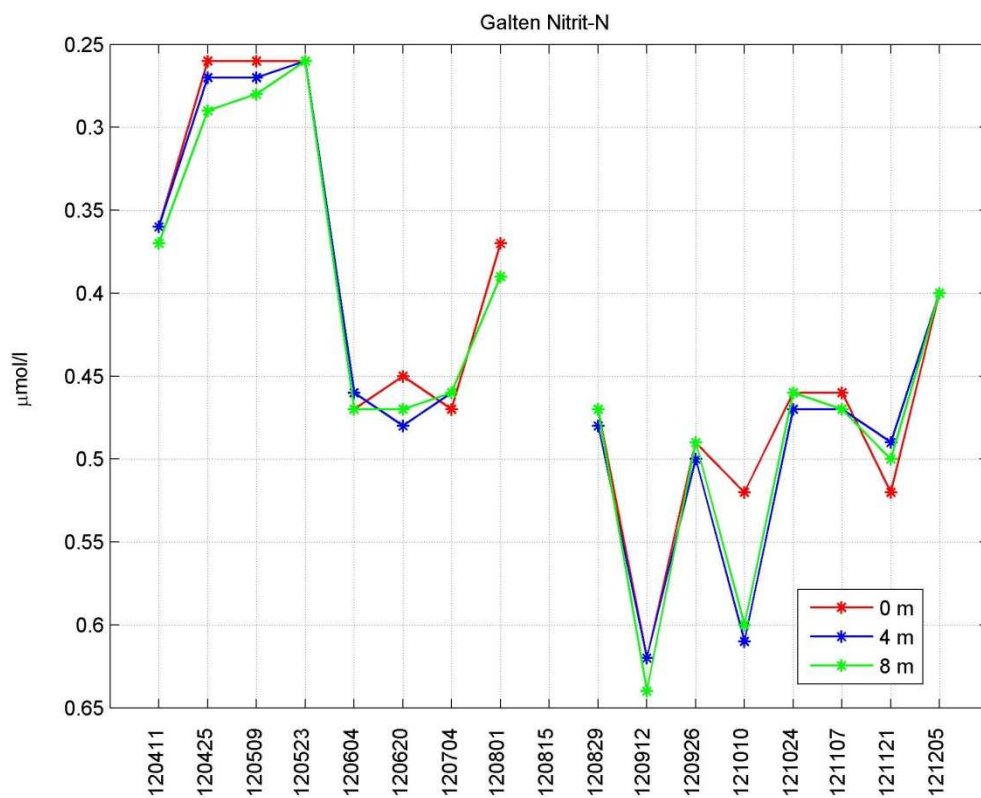
Under provtagningsperioden har vädret varit växlande med en nederbördsrik sommar vilket också har inneburit stora variationer i tillrinningen av närsalter till Mälaren. Juli månad uppvisade mycket tillrinning. Vattenmassan är temperaturskiktad under sommaren men under vår och höst sker en total vertikal omblandning. Den normala variationen av närsalter är att man startar med relativt höga värden under vintern, den så kallade vinterpolen, för att i samband med vårflo den få en kraftig uppgång. Närsalter förbrukas sedan under sommaren för att återigen under hösten stiga i samband med ökad nederbörd och tillrinning.

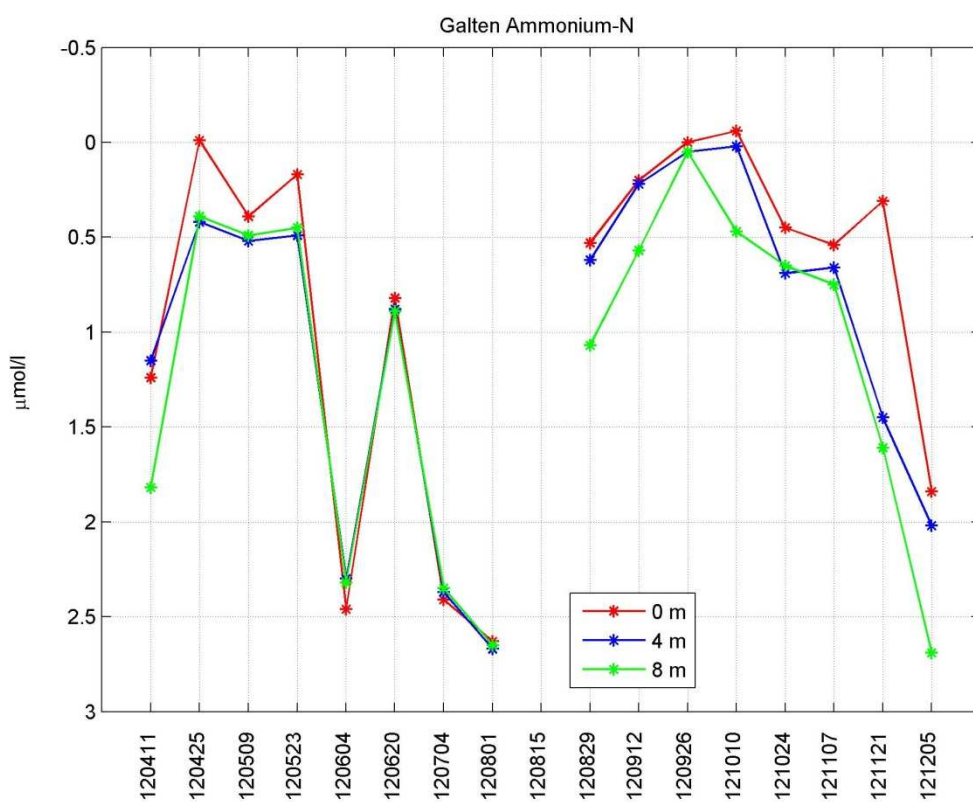
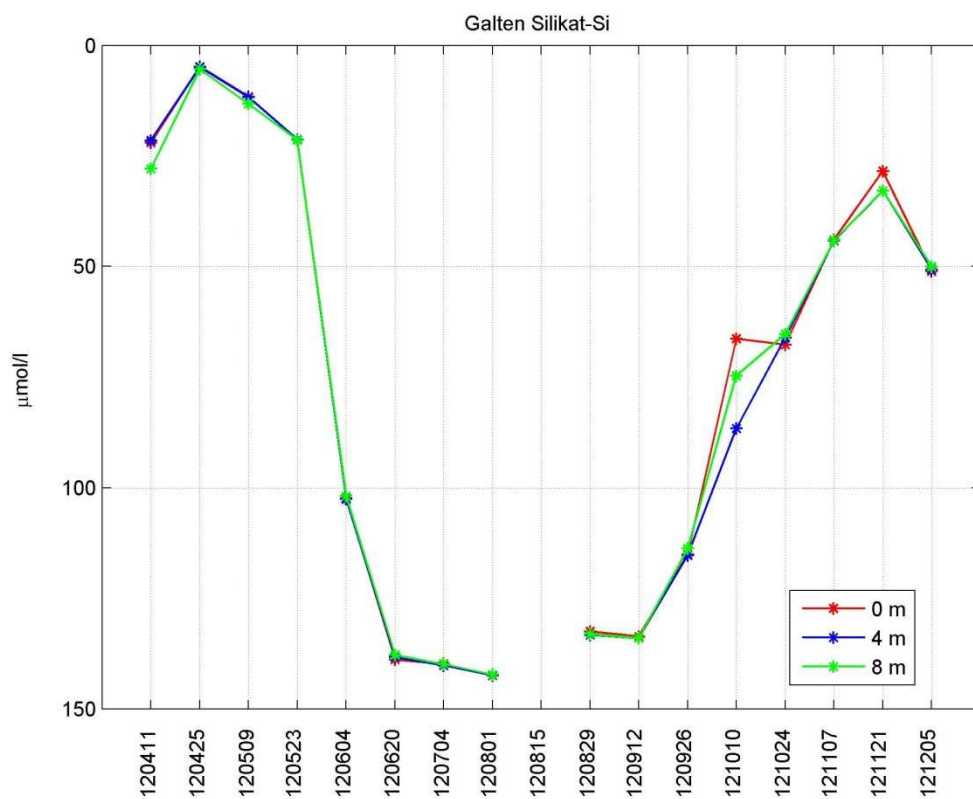
De naturliga svängningarna under året kan sedan störas mer eller mindre på grund av kraftiga sommarregn och periodvis ökad tillrinning

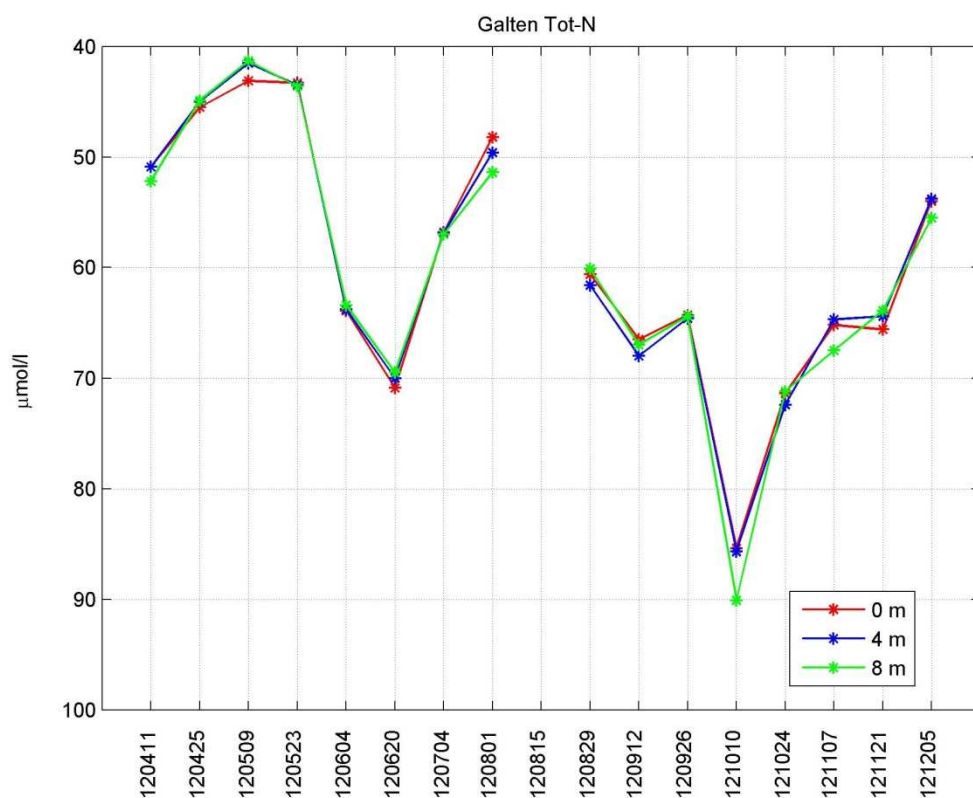
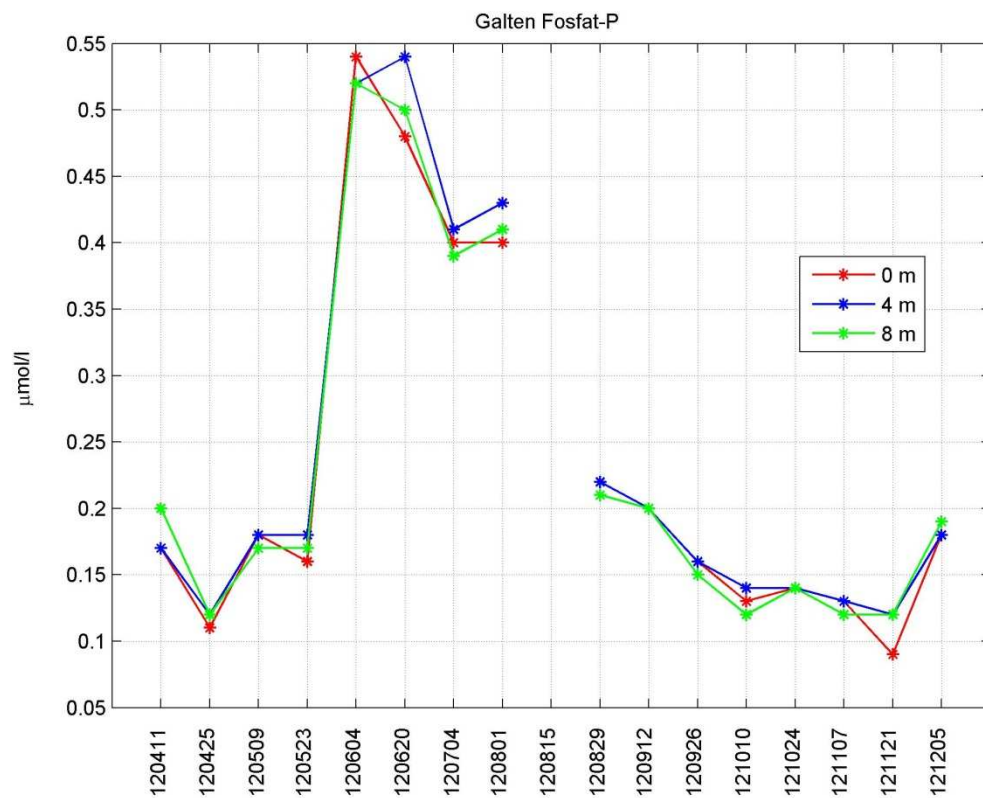
Under sommaren sker en ackumulation av näringsämnen i djupvattnet under språngskiktet (hypolimnion) på grund av sedimenterande växtplankton och döda växtdelar. Detta organiska material förbrukar syrgas och kan därmed bidra till syrgasbrist. Förutom att syrgasbristen påverkar fisk och bottenfauna negativt så kan det också leda till läckage av fosfor från sedimentet. Syrgasbrist kan således förstärka ackumulationen av näringsämnen under språngskiktet.

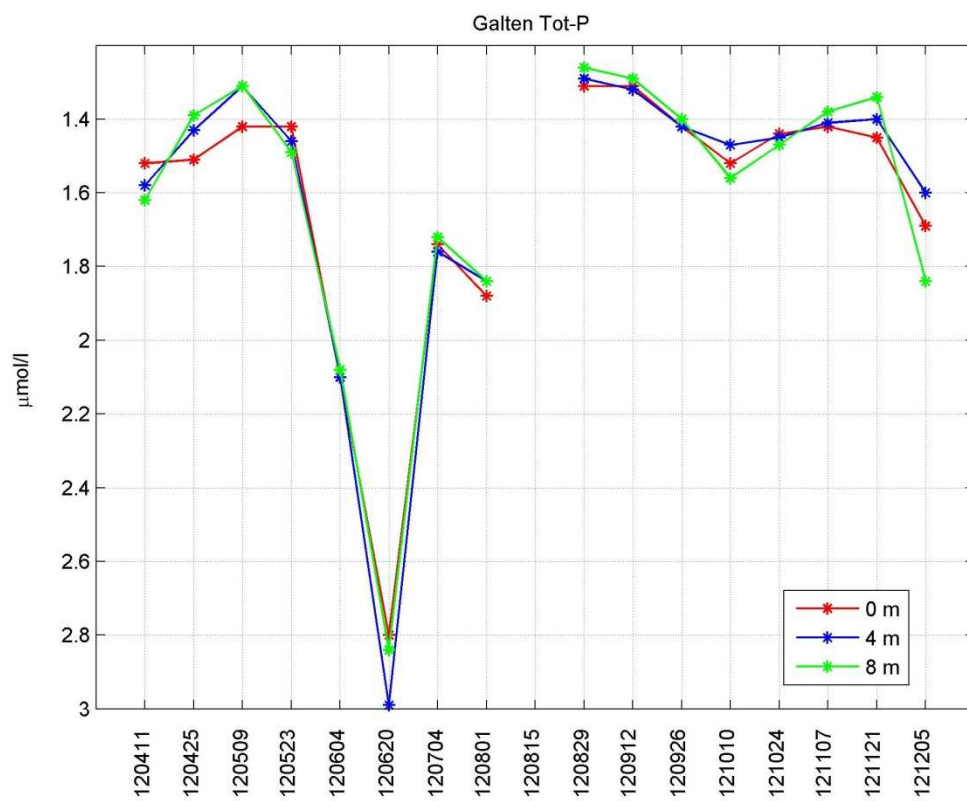
I följande figurer redovisas resultaten av närsalter från referensmätningarna under 2012.

Galten

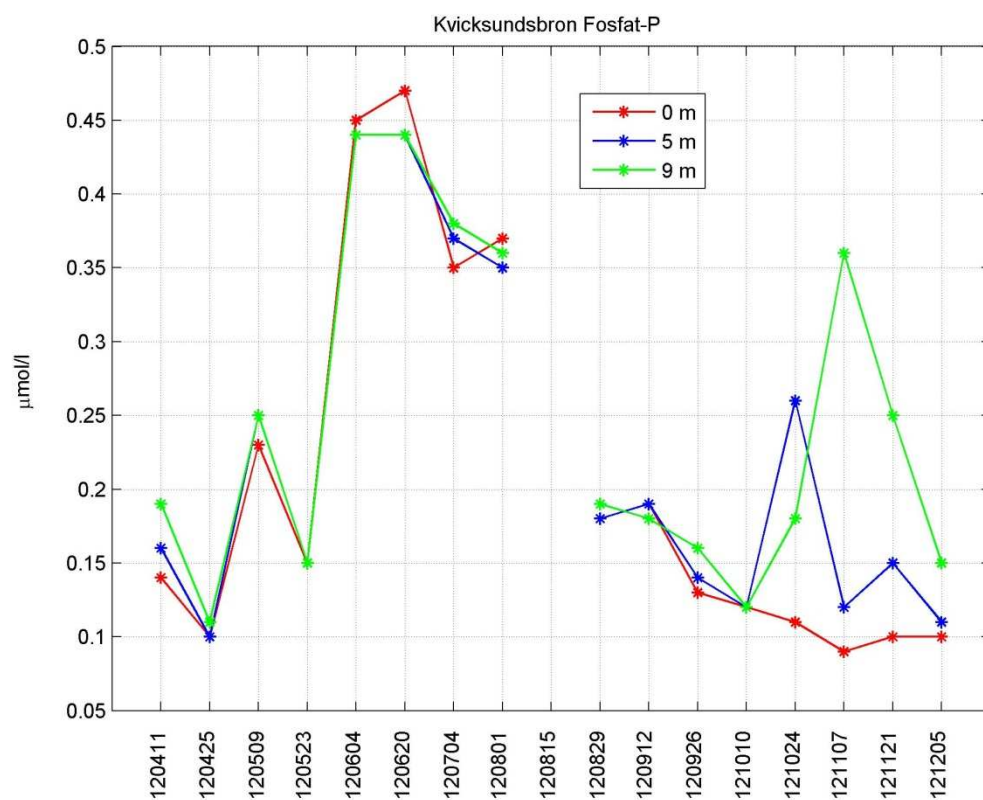
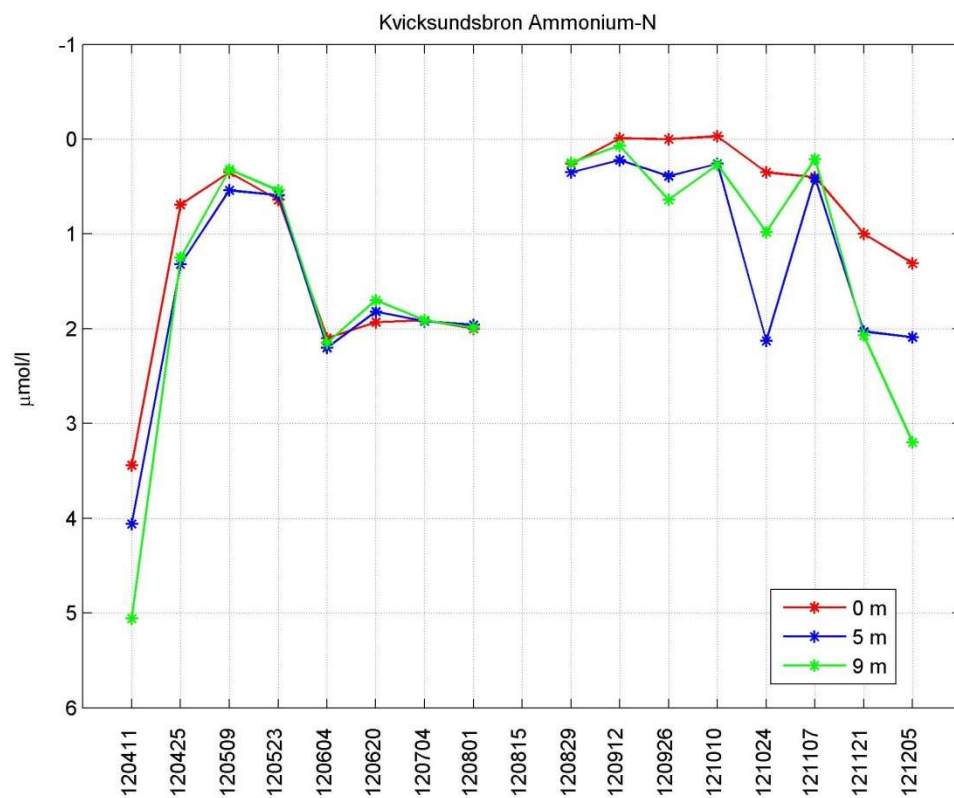


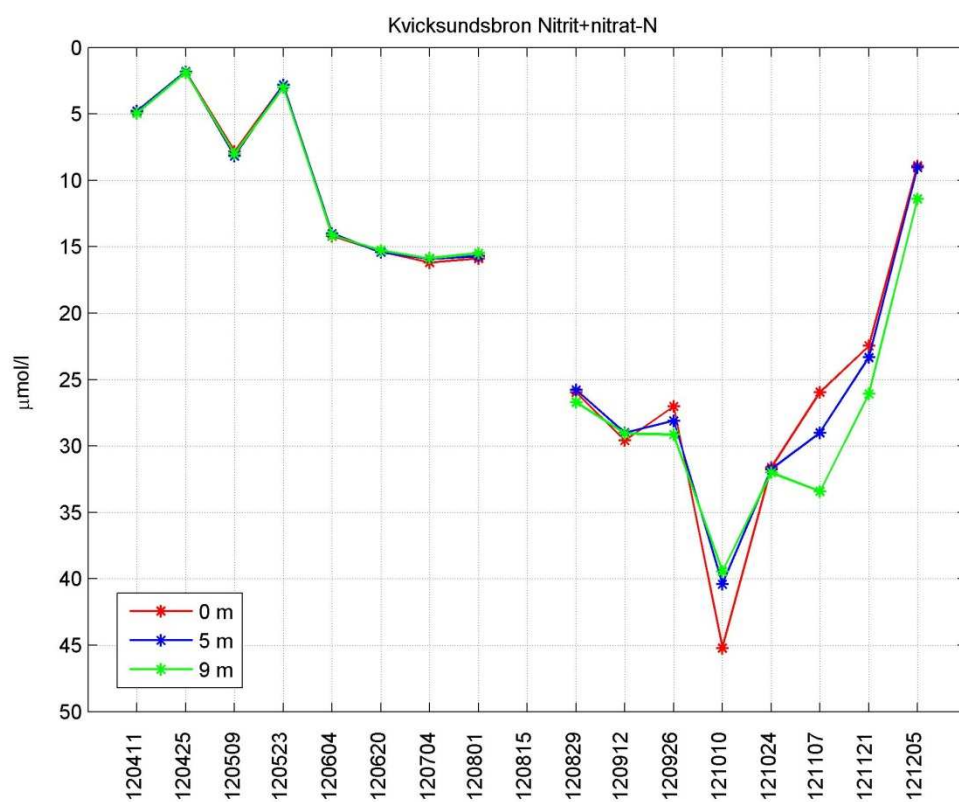
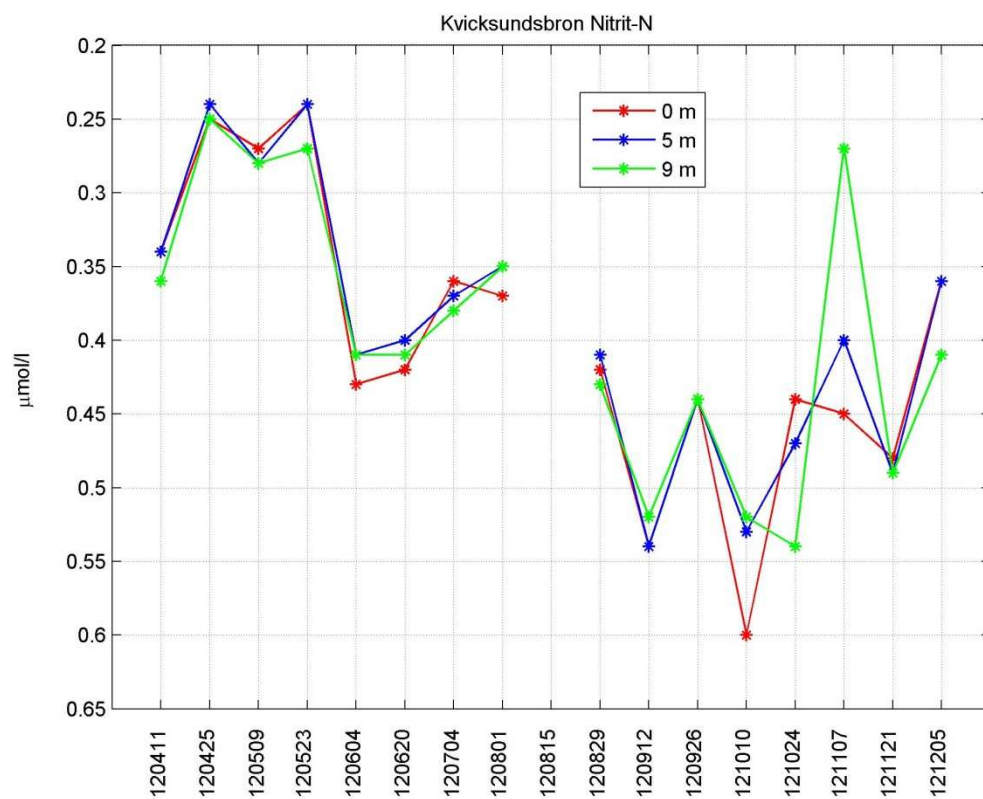


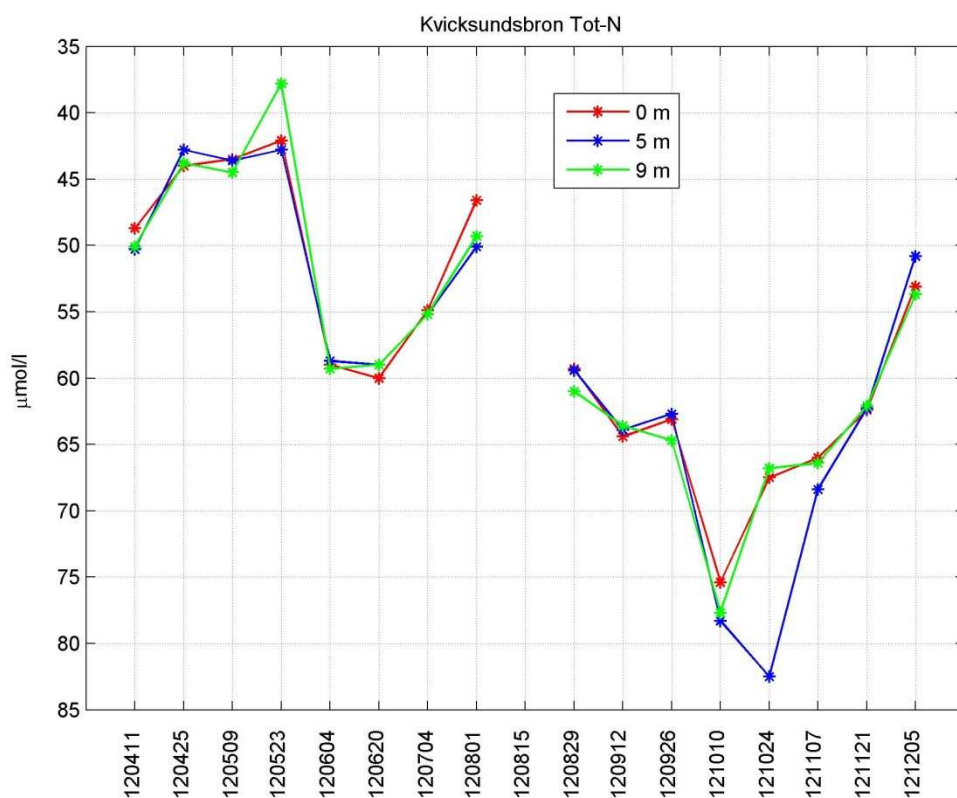
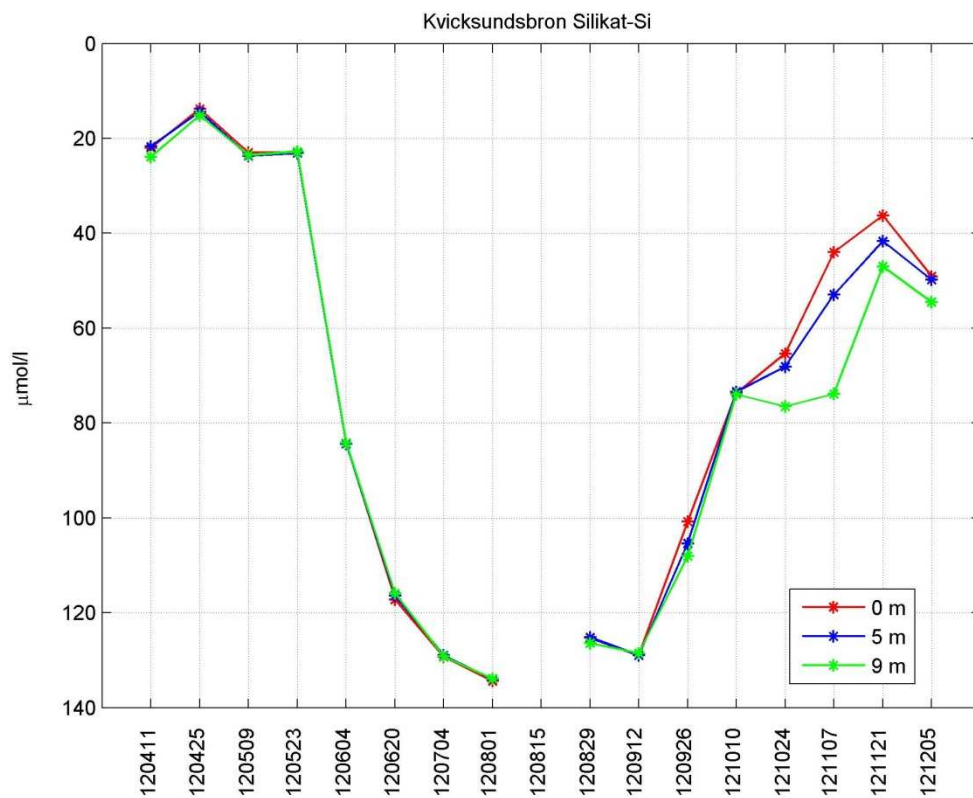


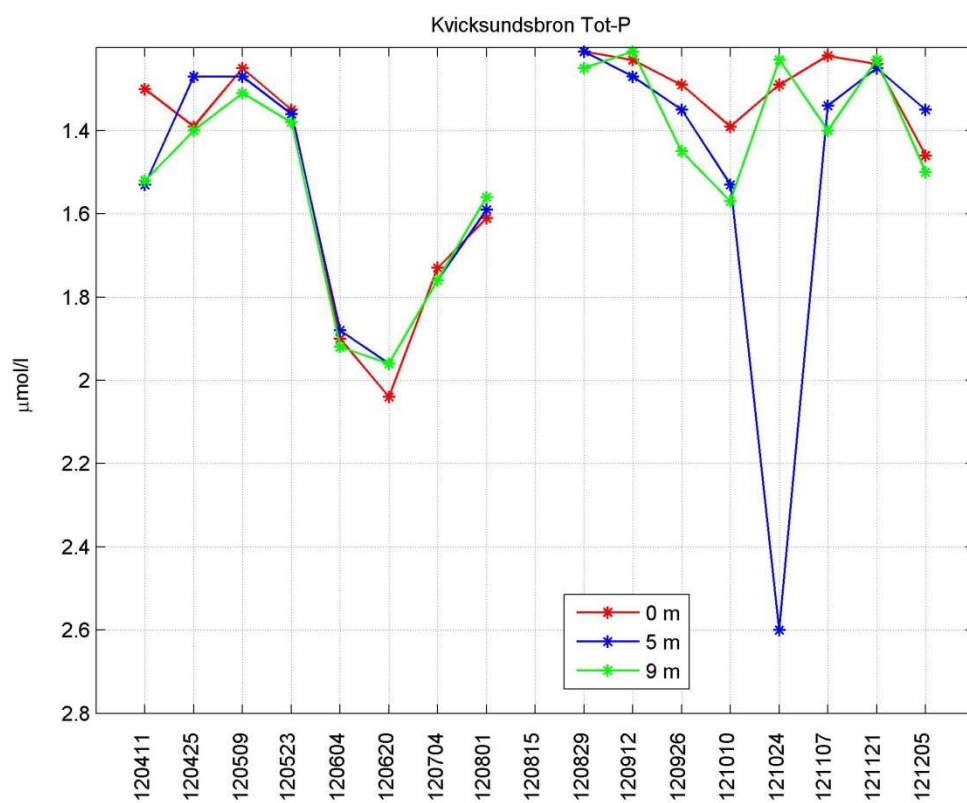


Kvicksundsbron

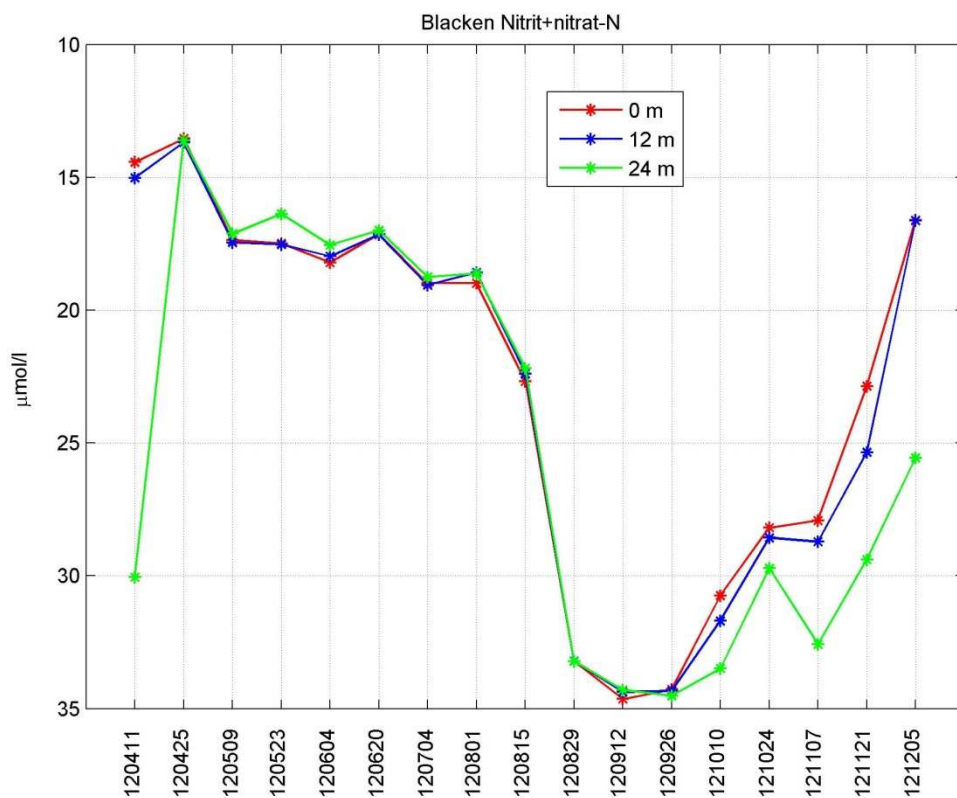
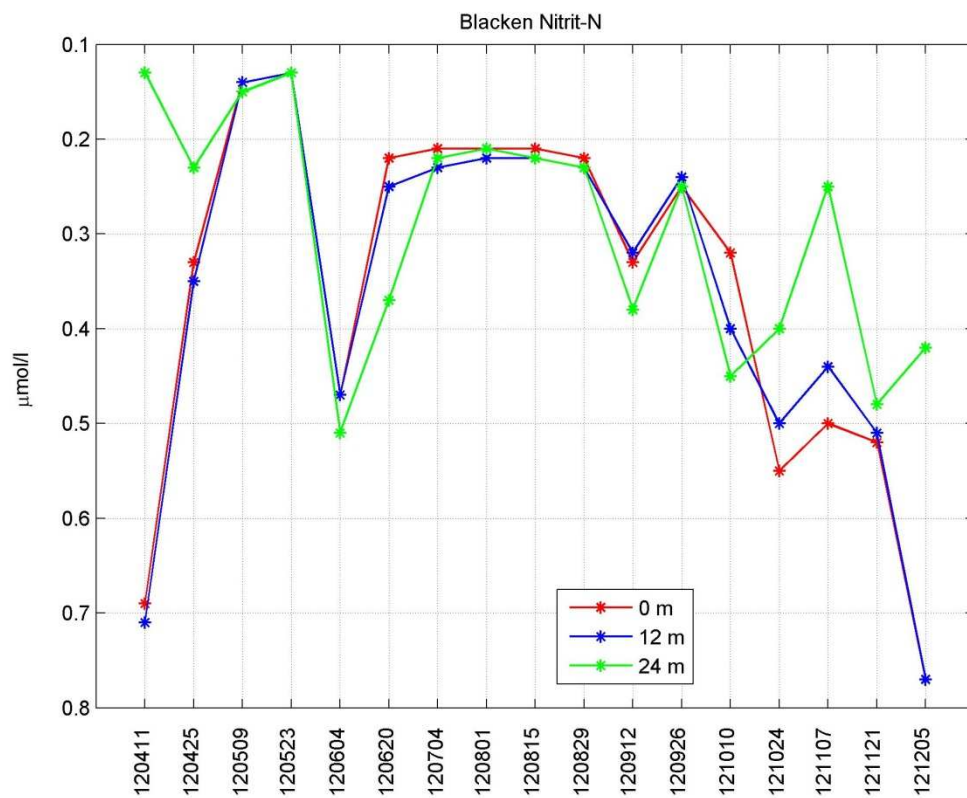


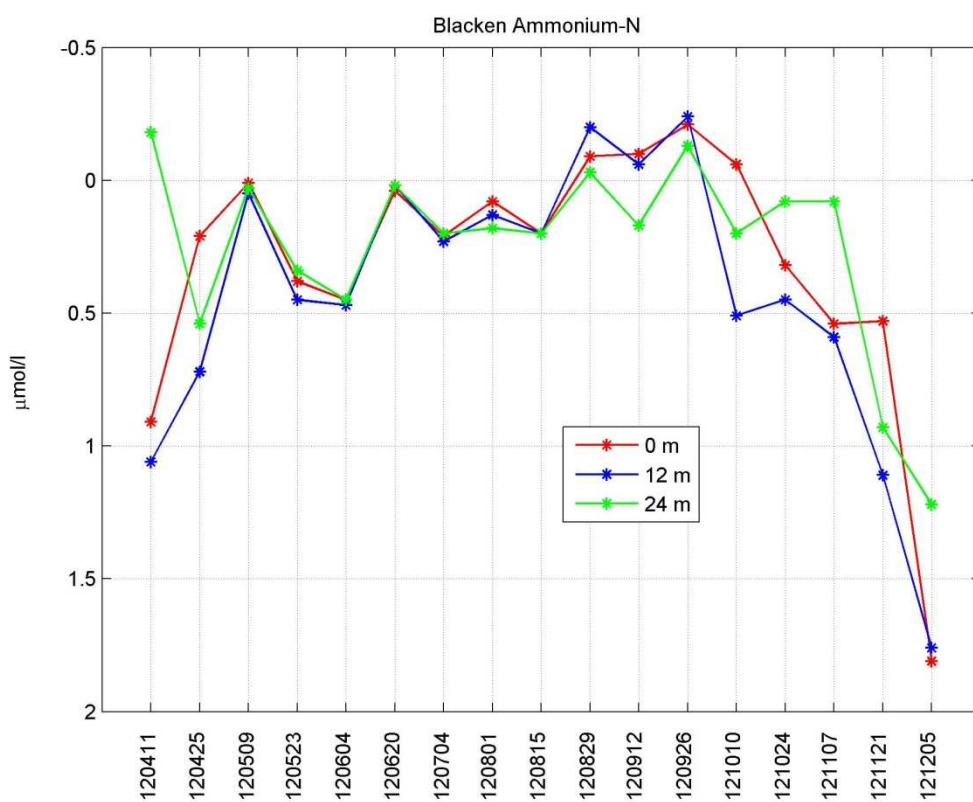
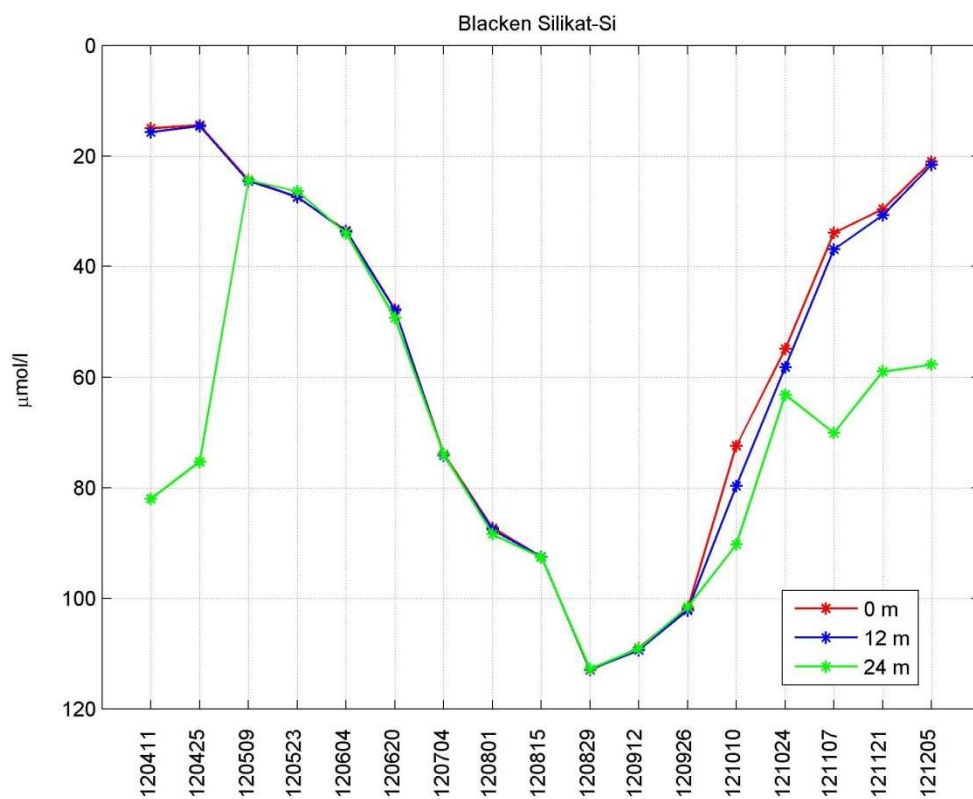


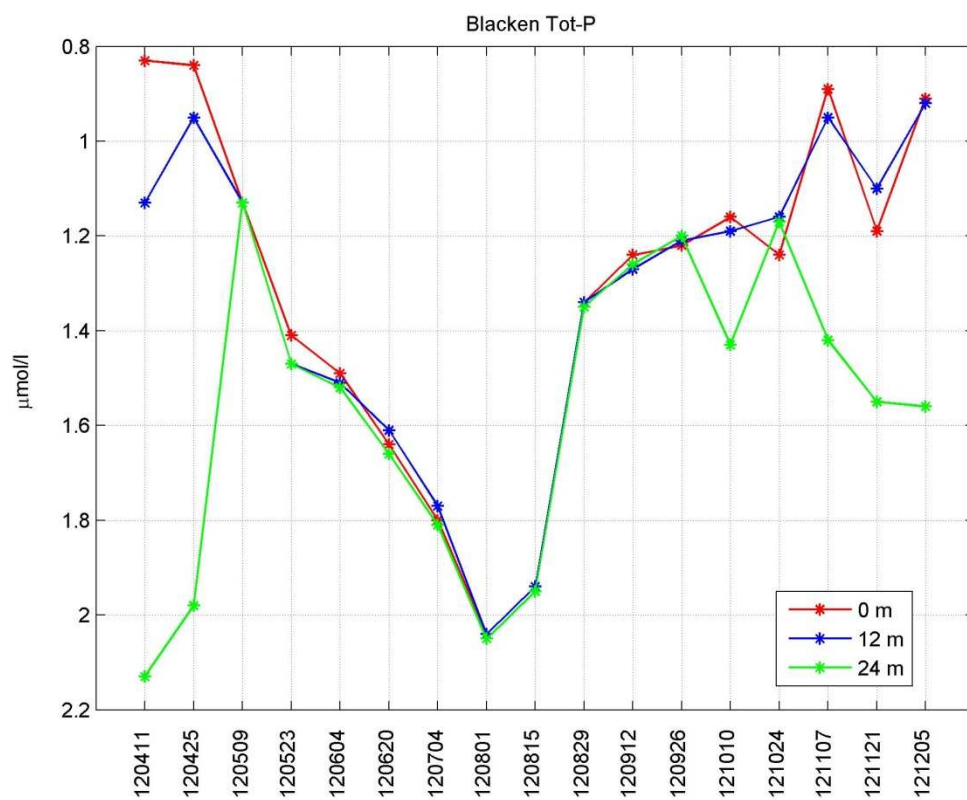
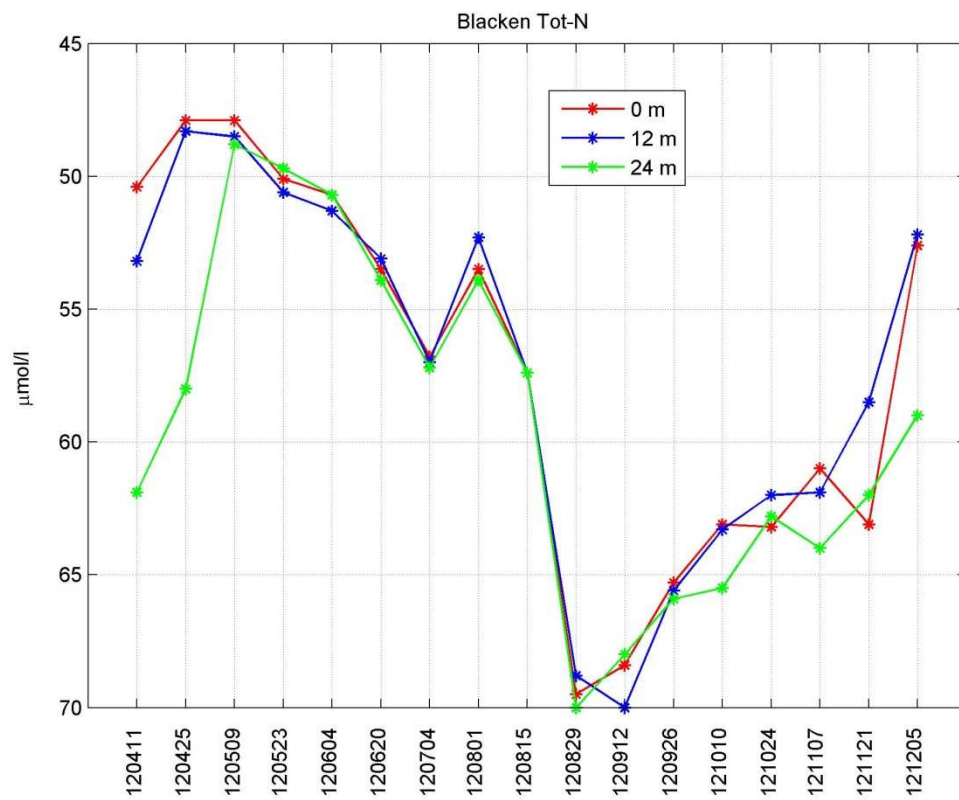


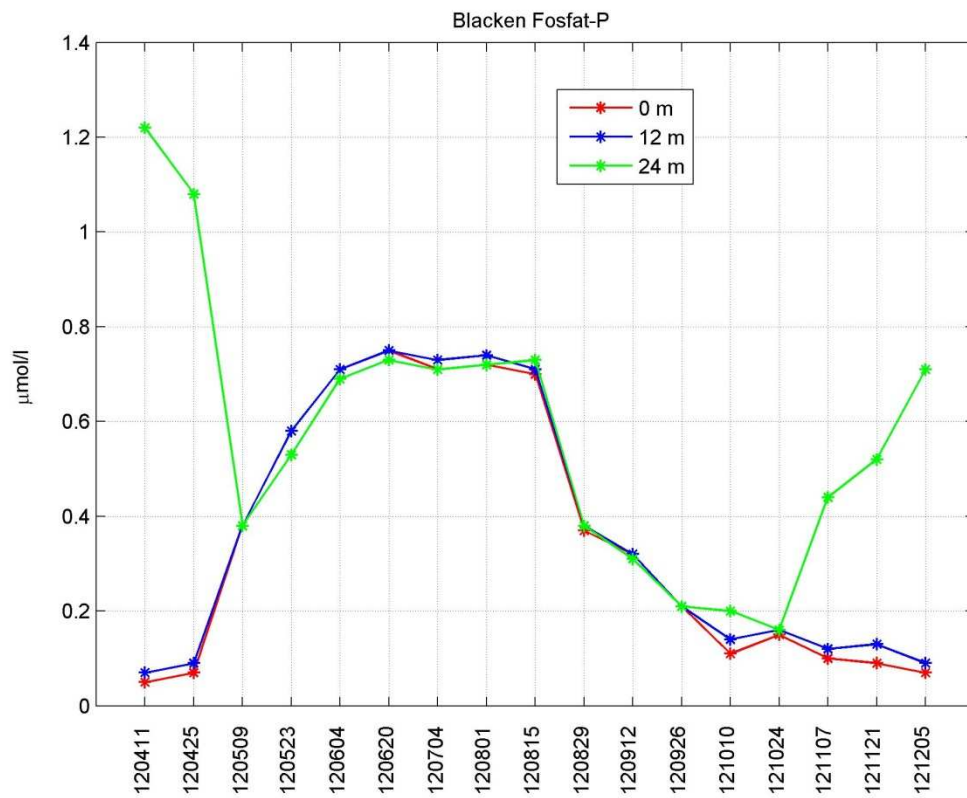


Blacken

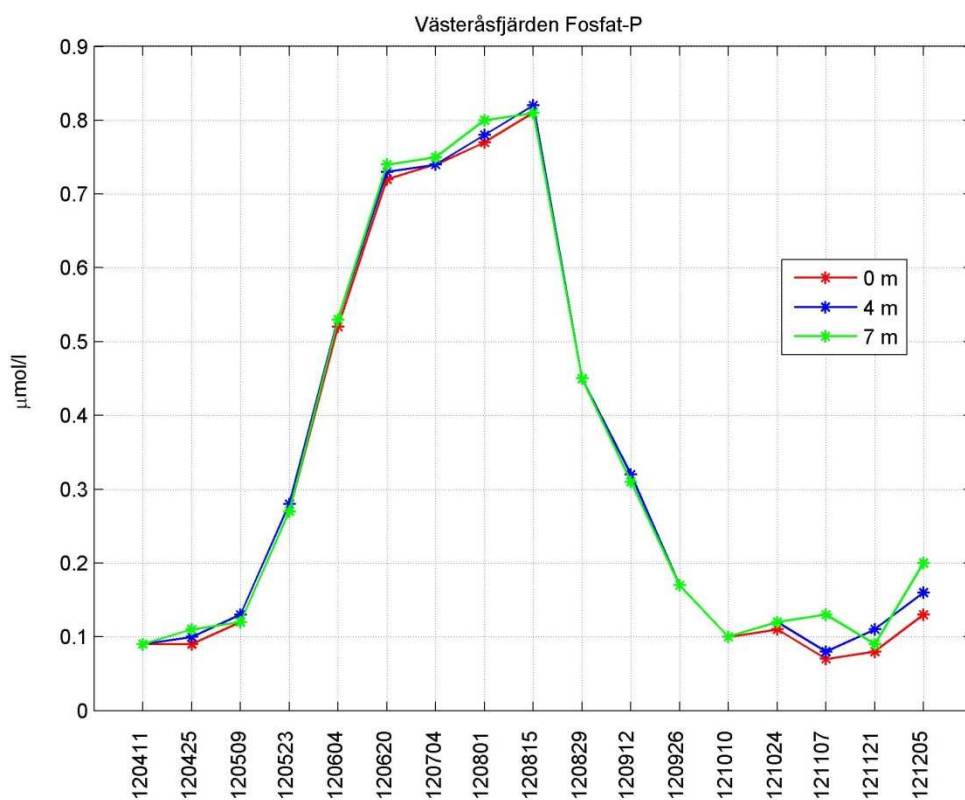
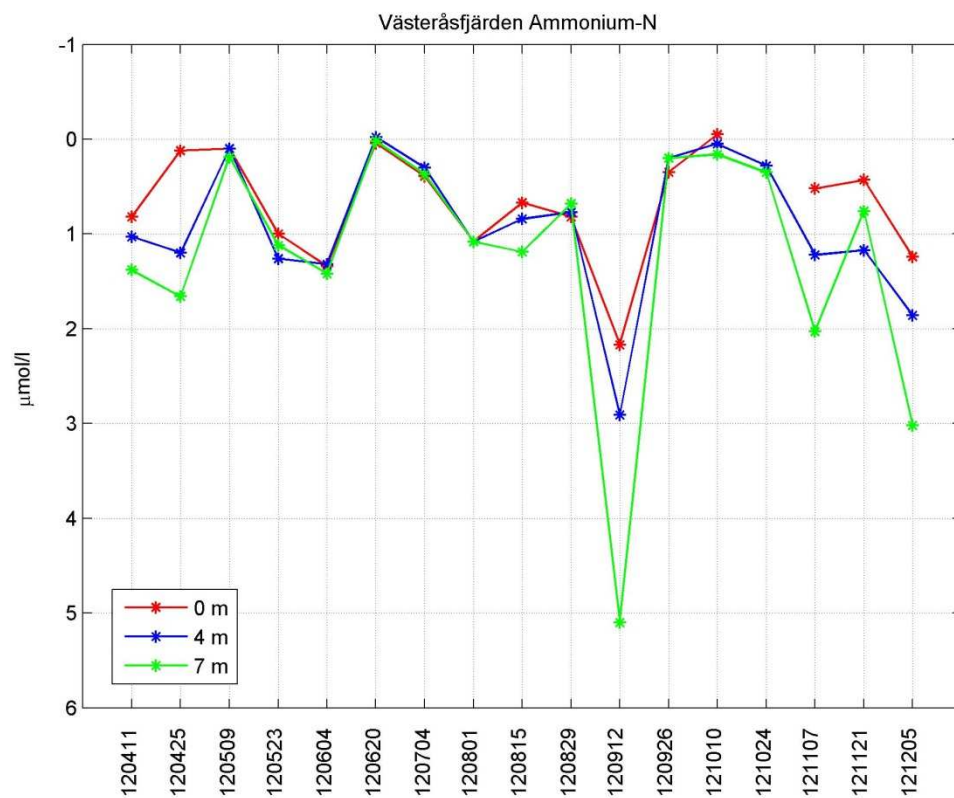


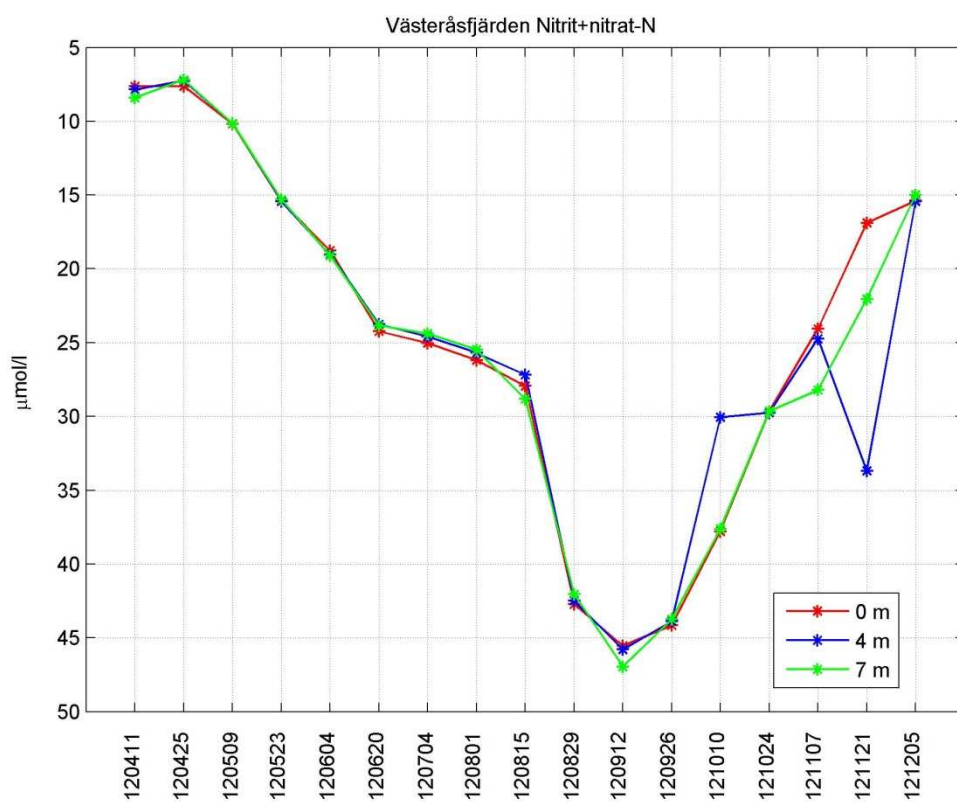
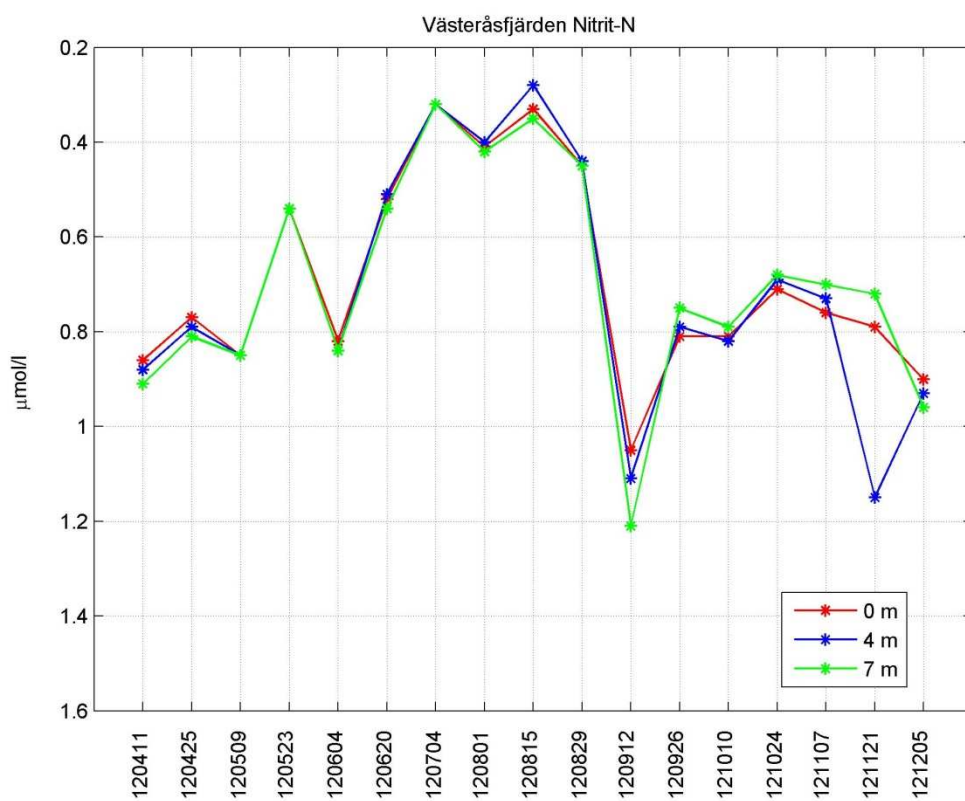


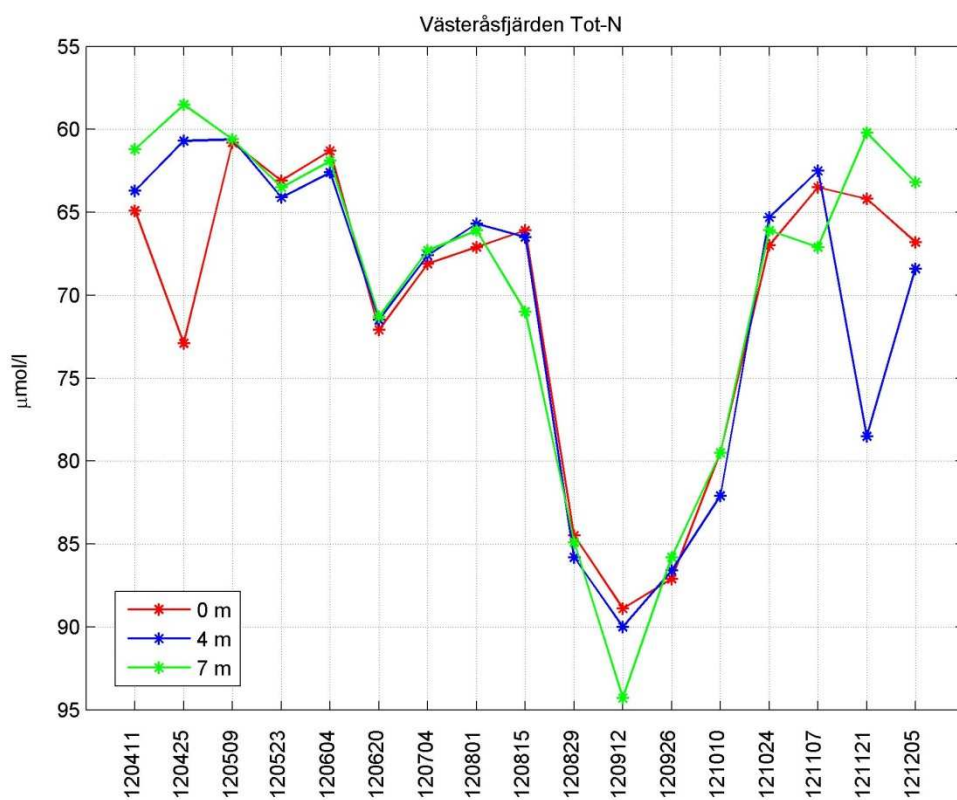
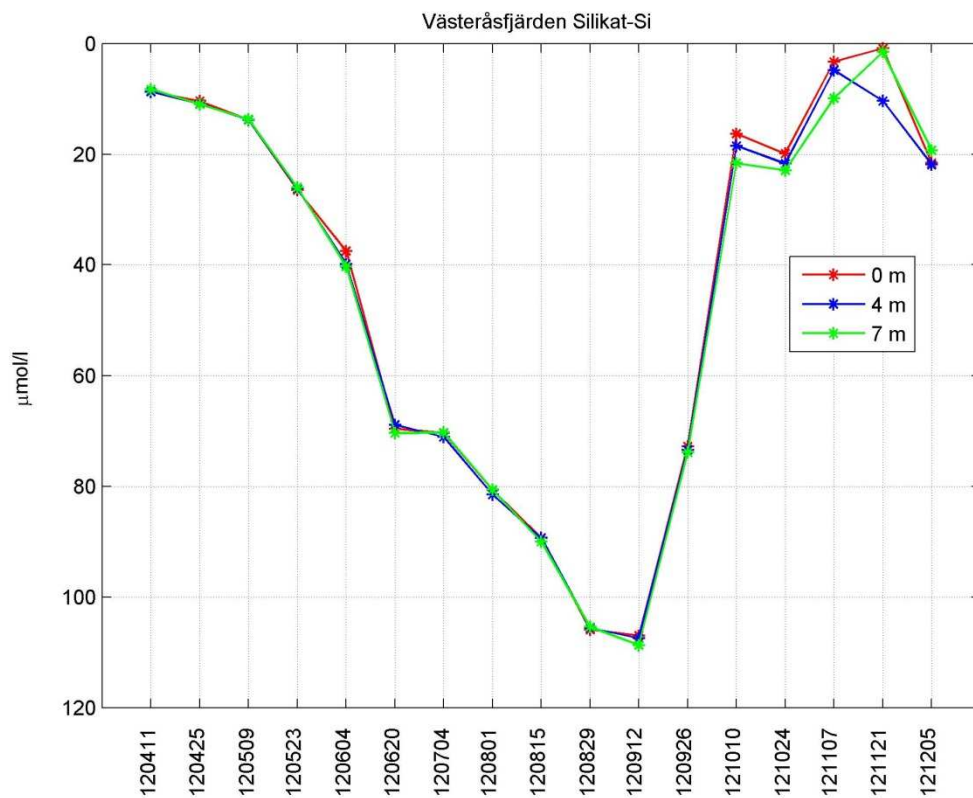


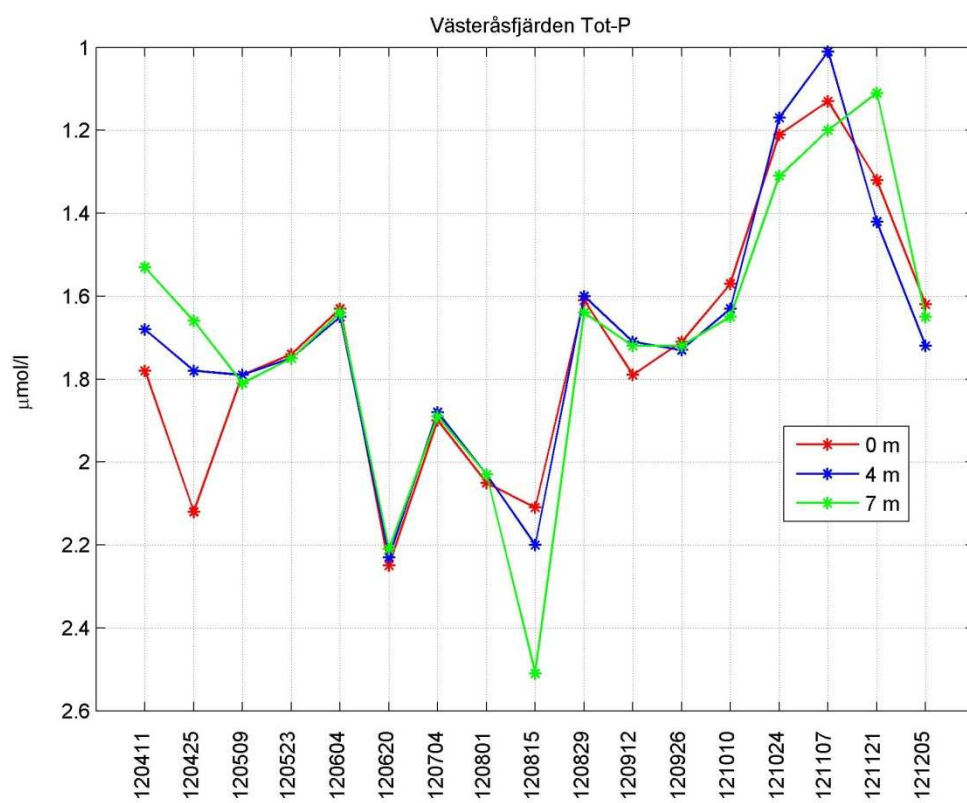


Västeråsfjärden

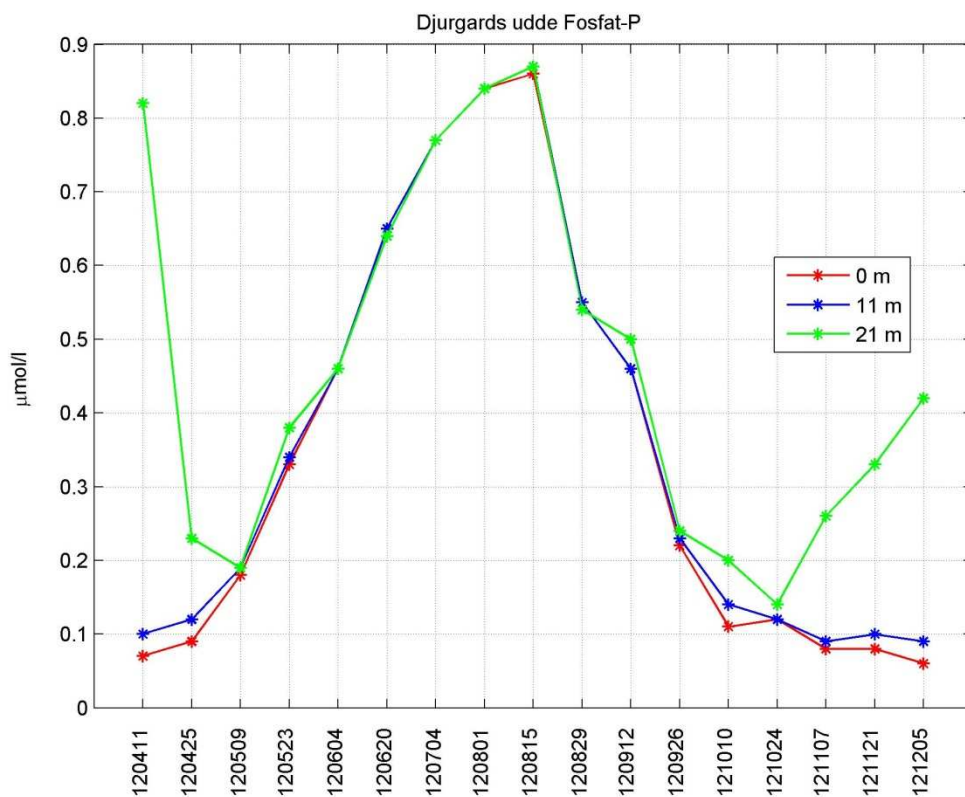
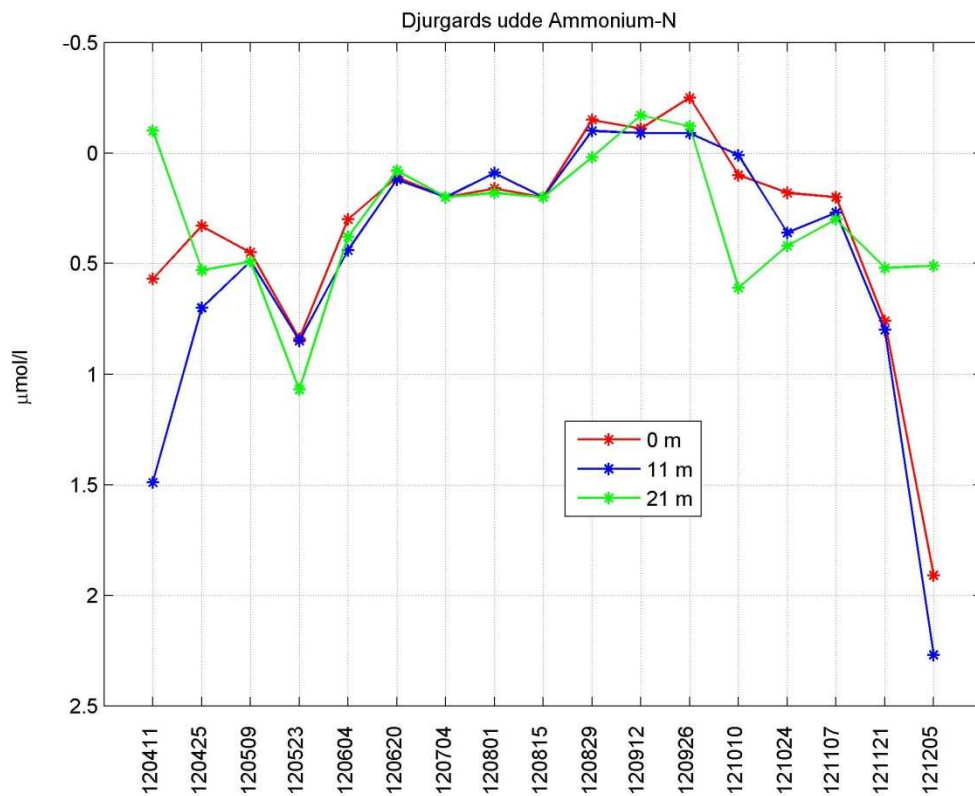


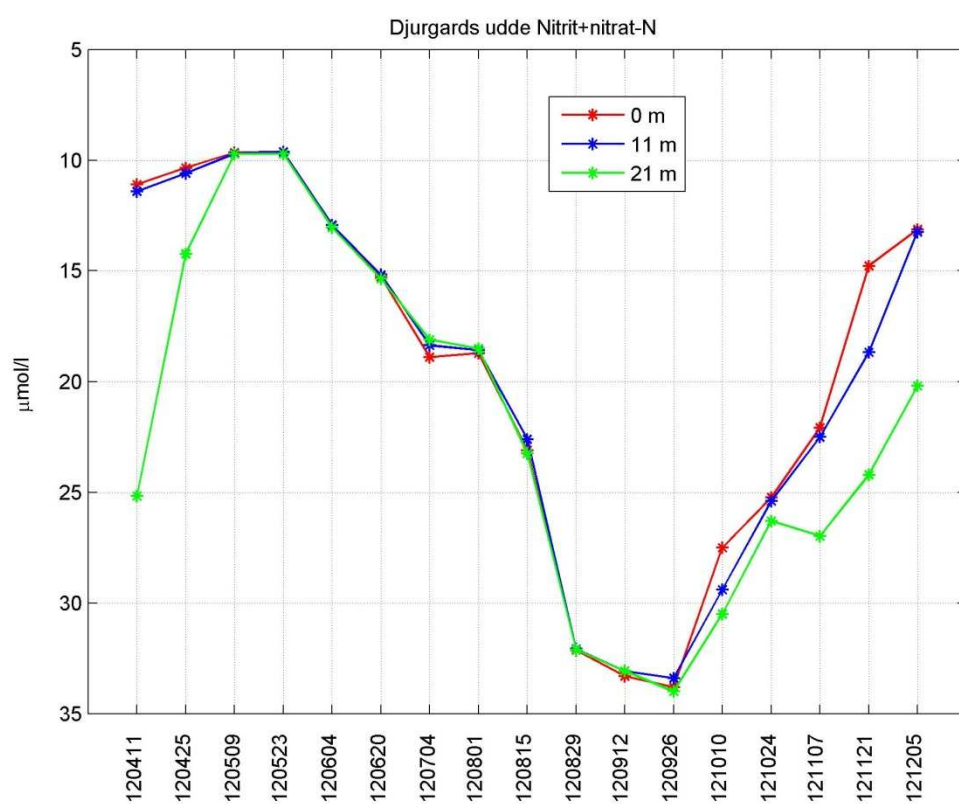
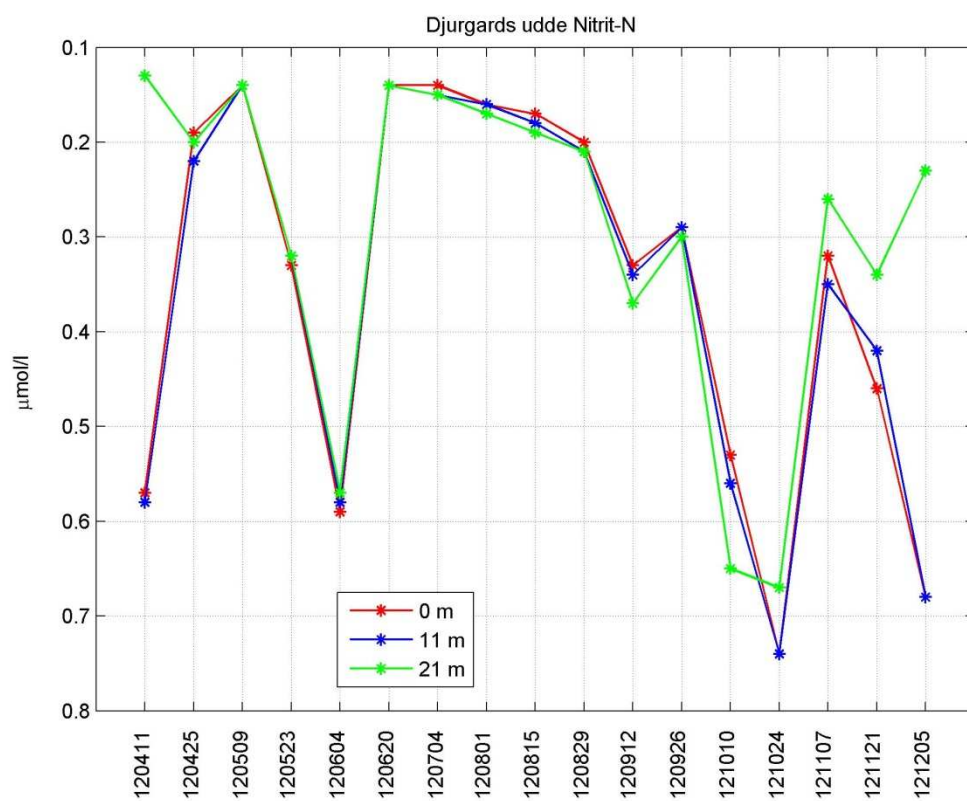


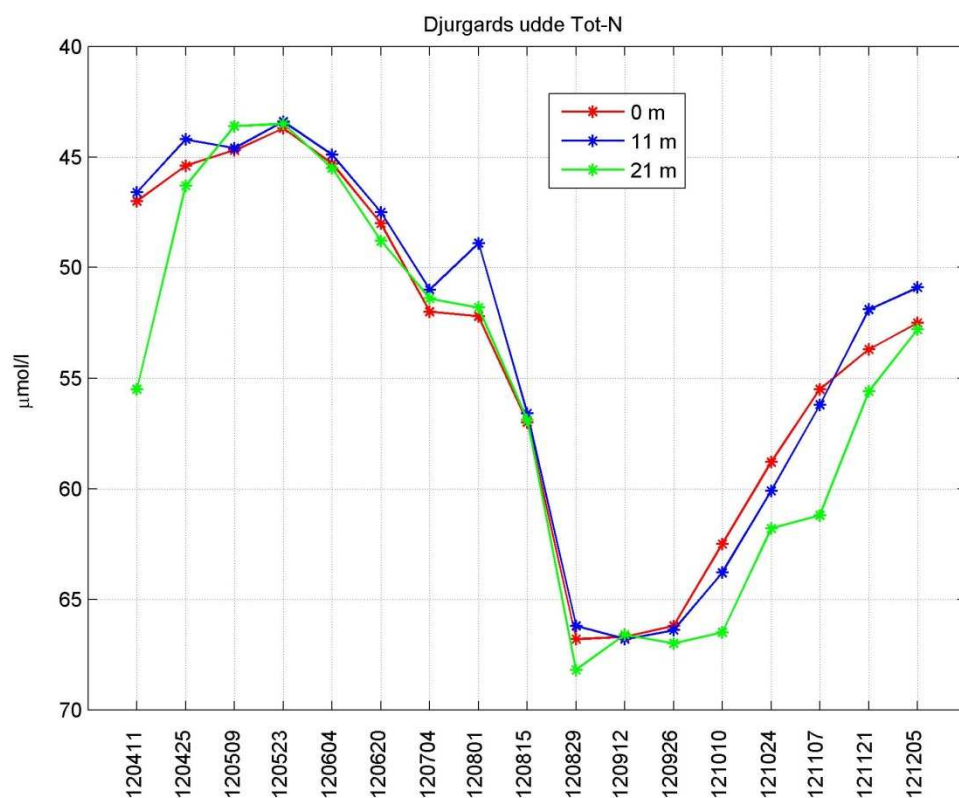
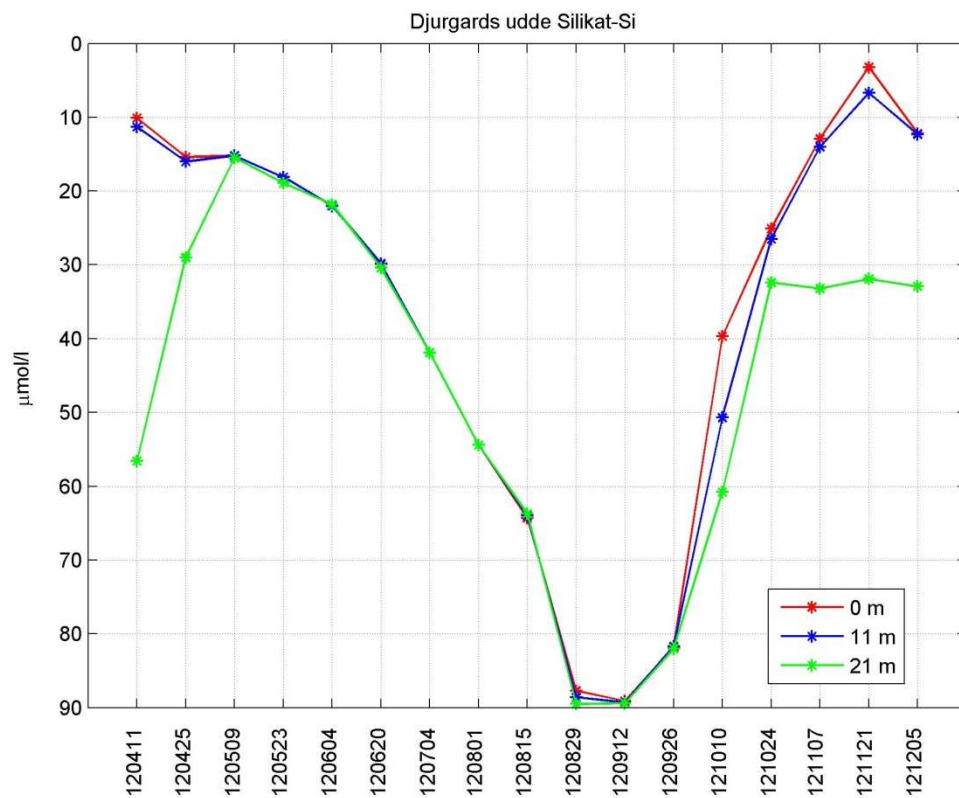


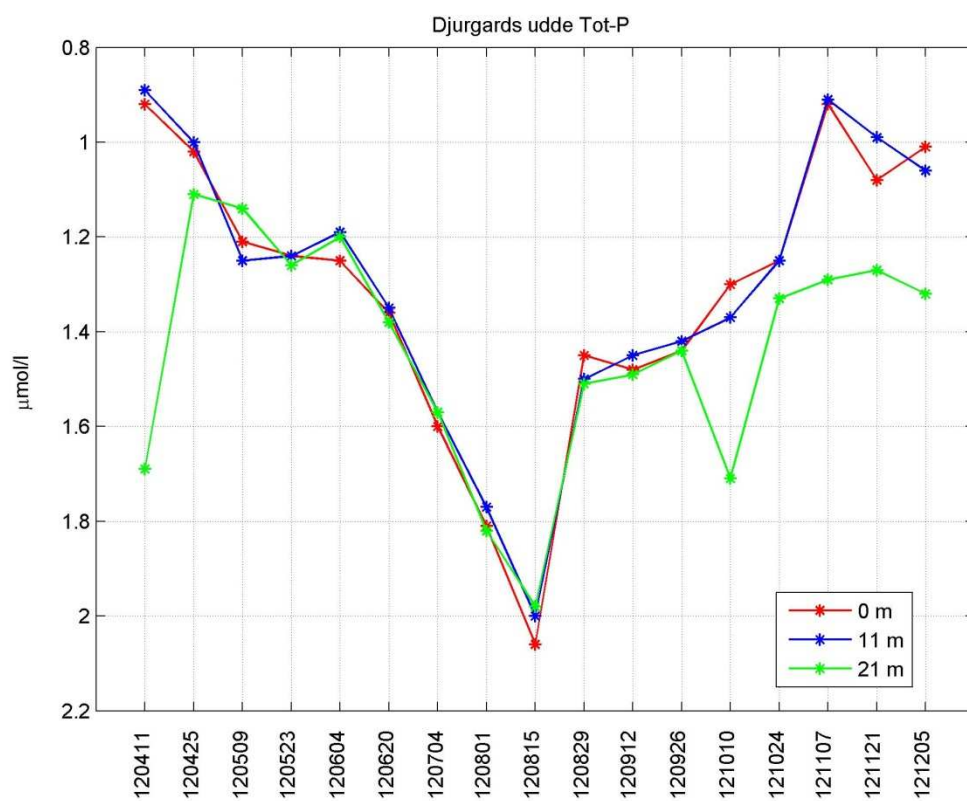


Djurgårds udde/Granfjärden

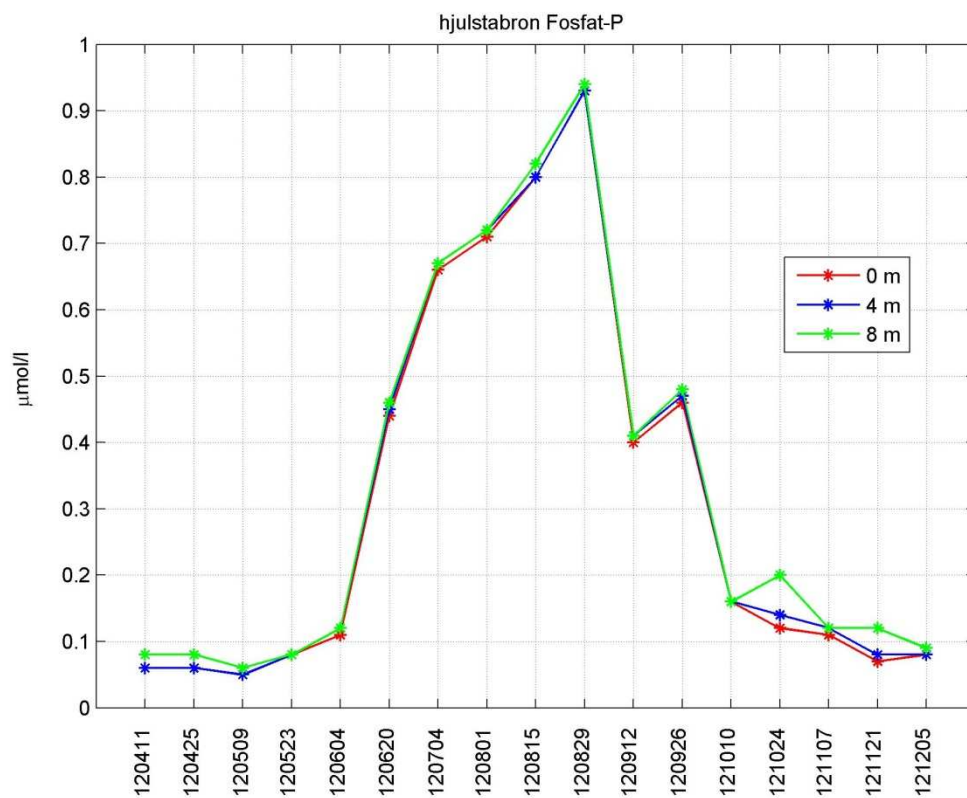
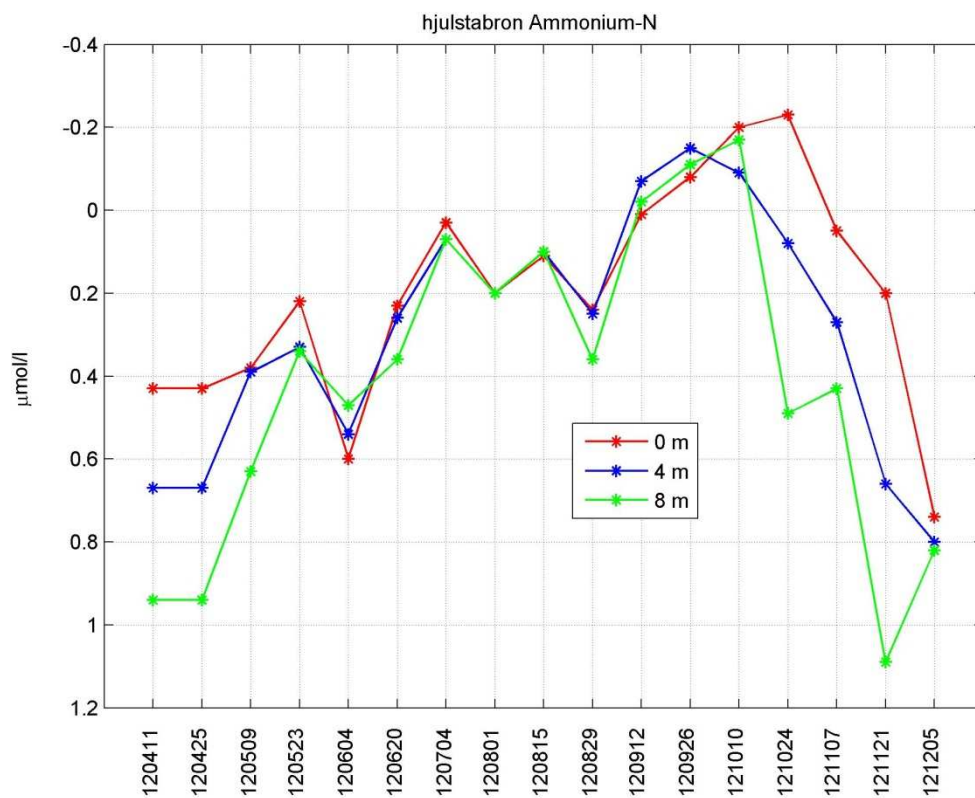


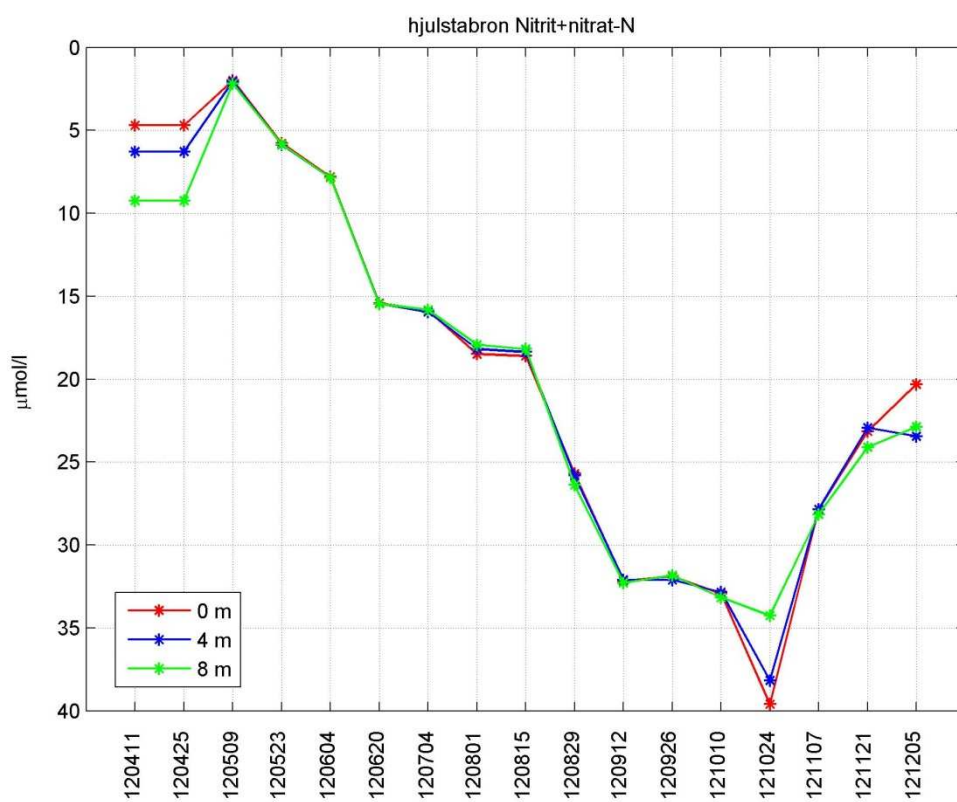
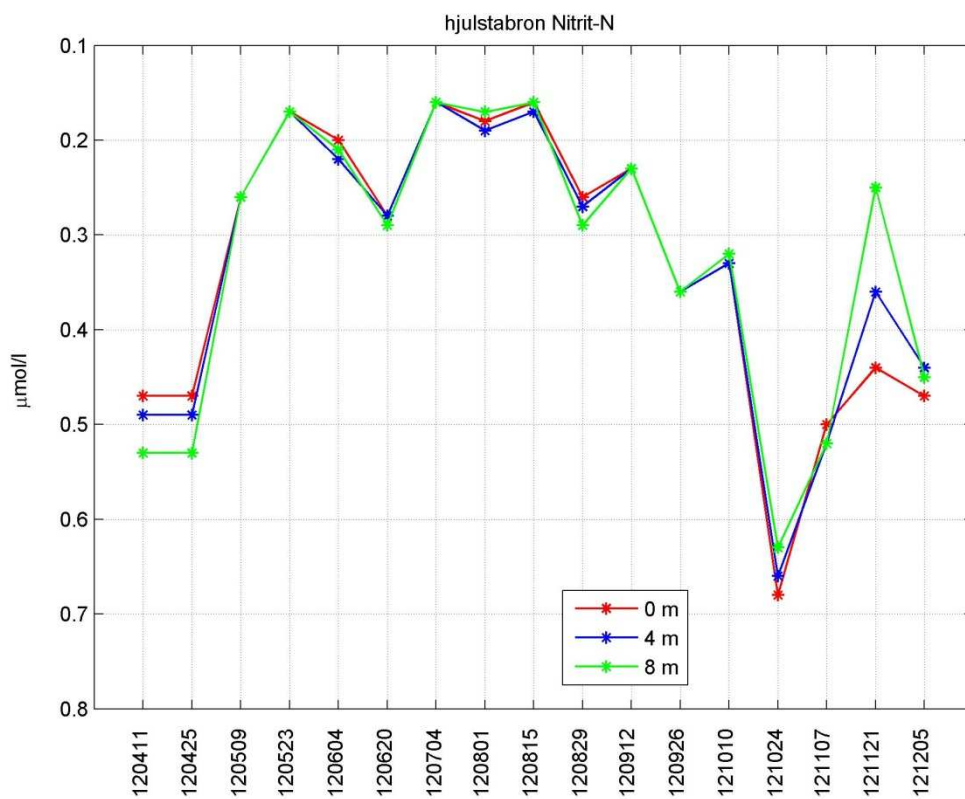


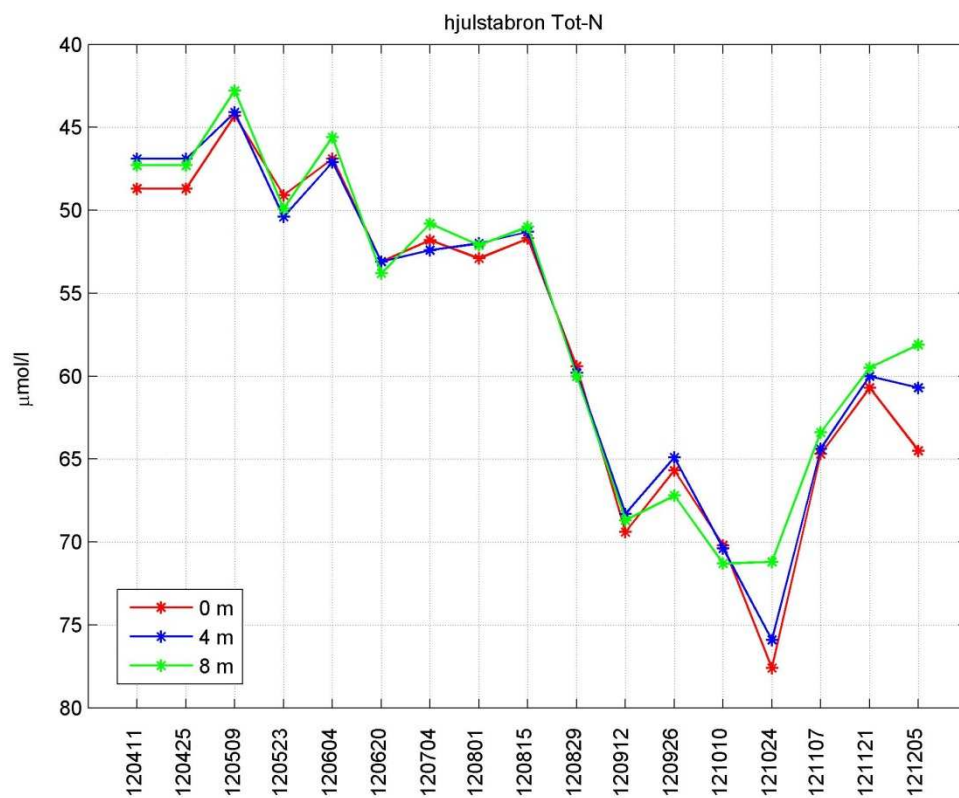
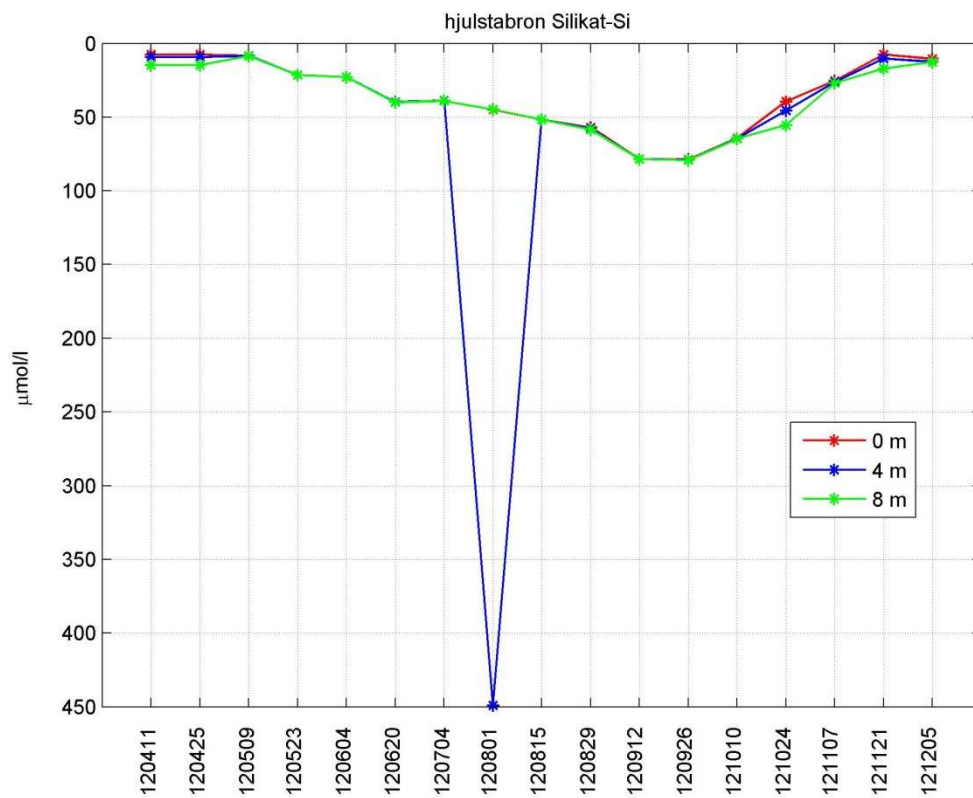


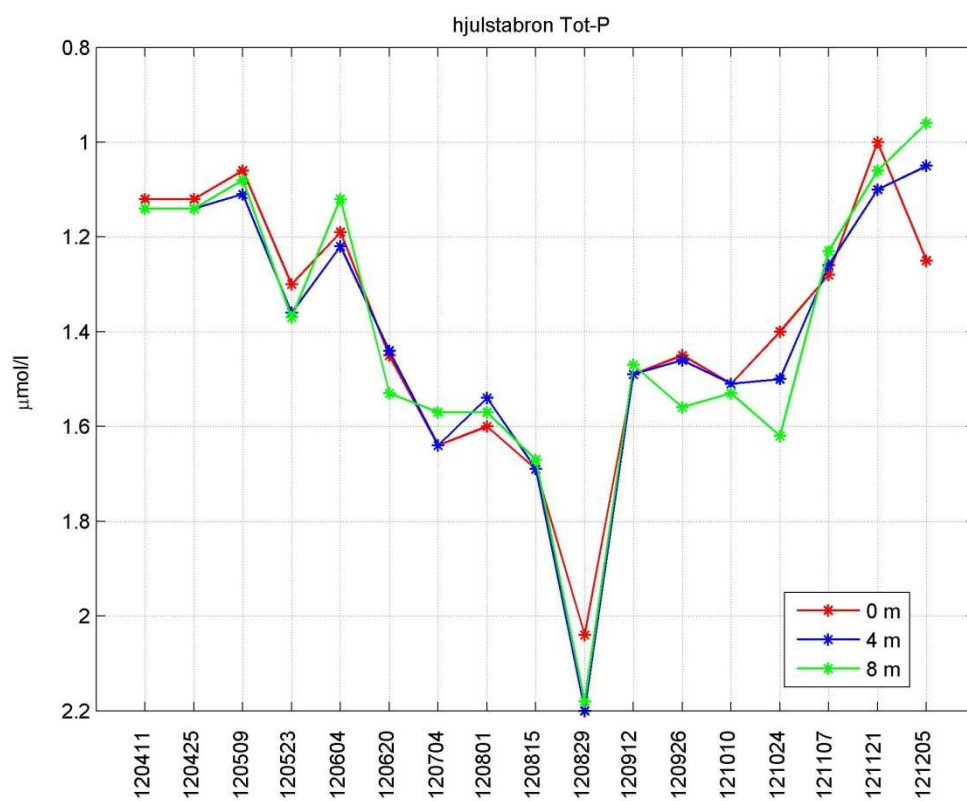


Hjulstabron

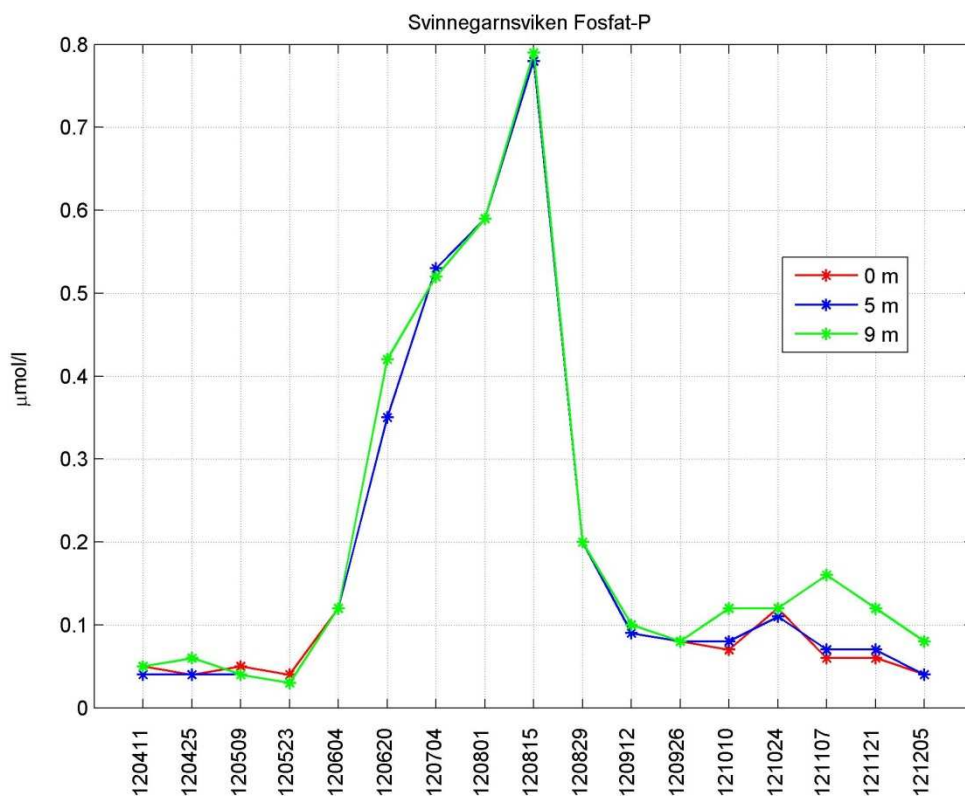
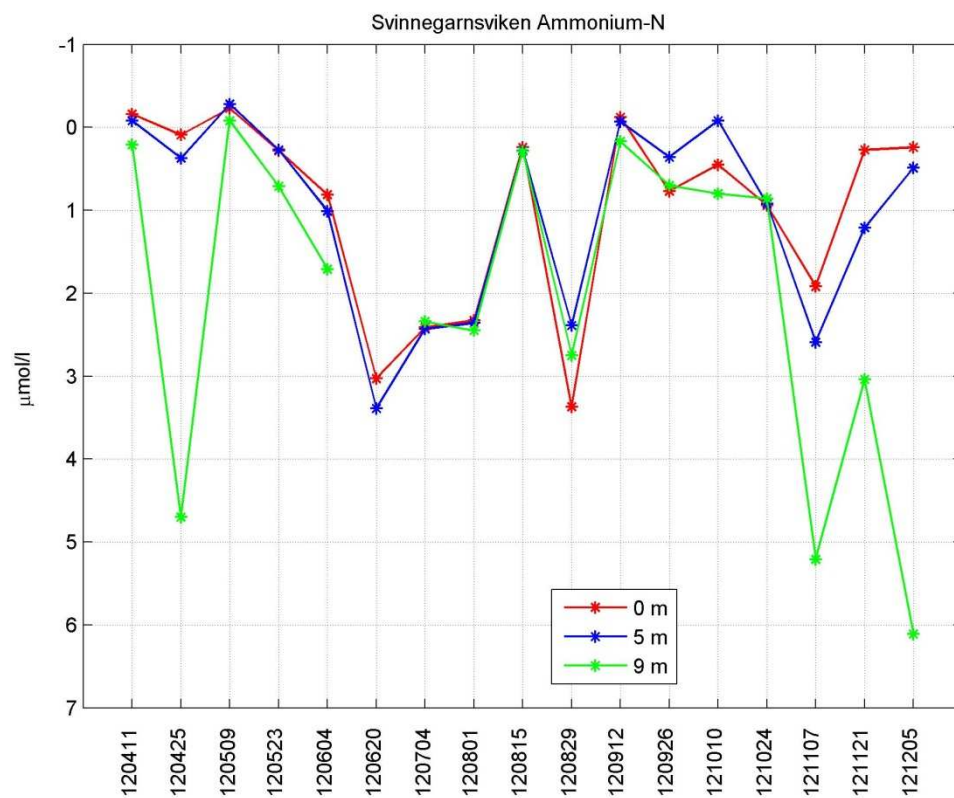


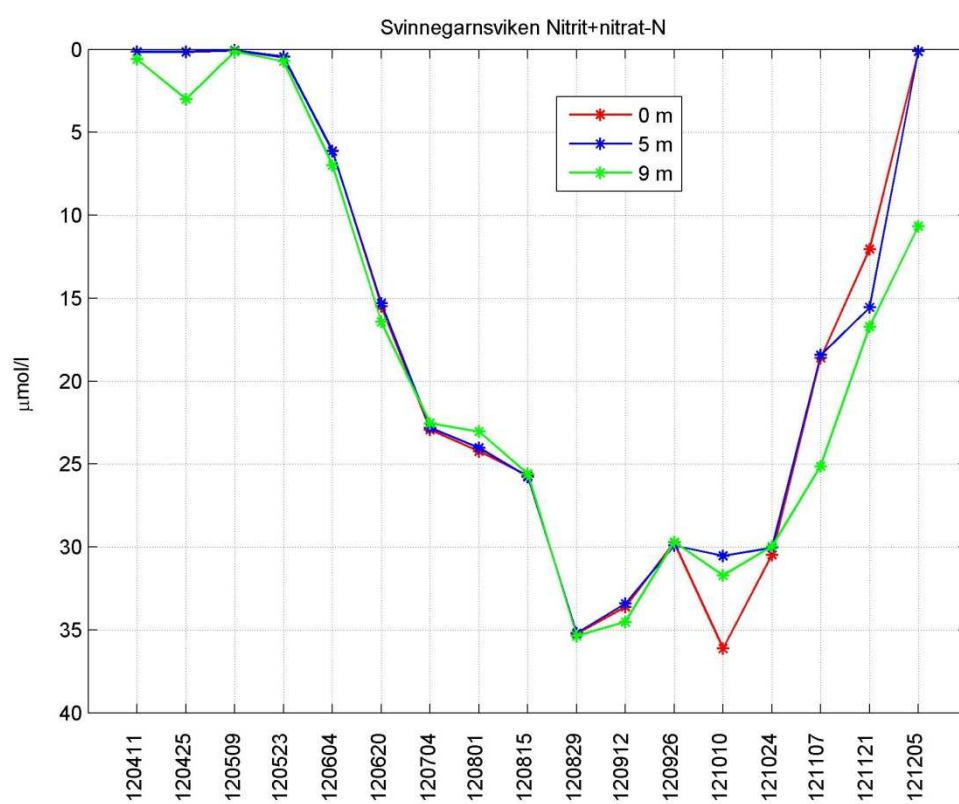
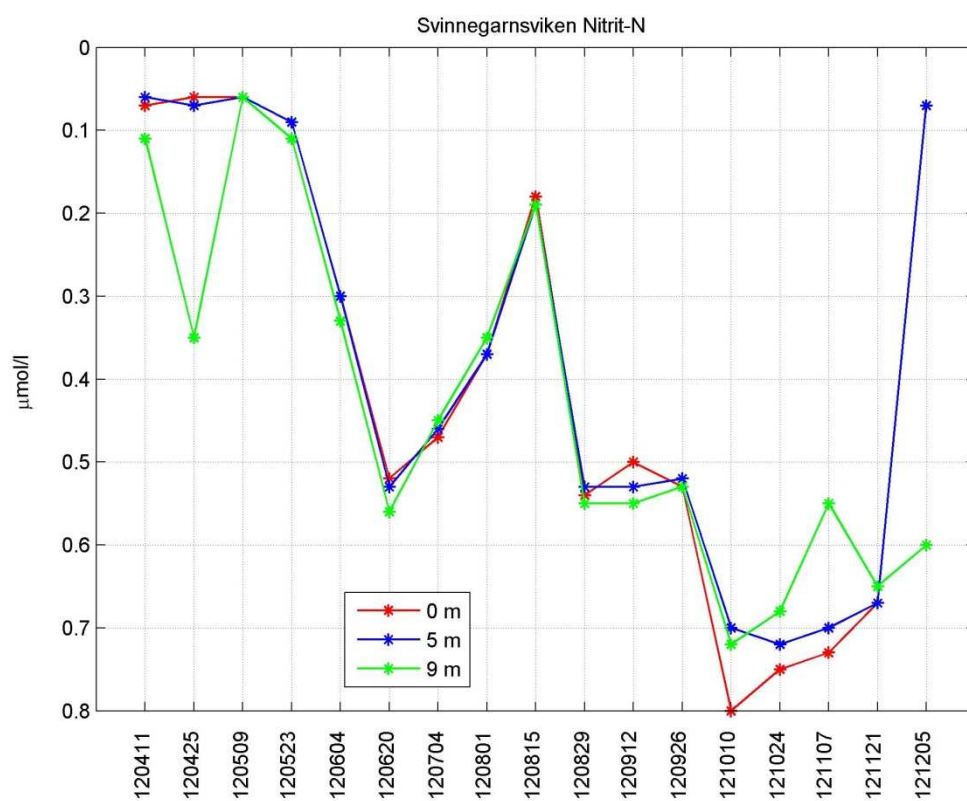


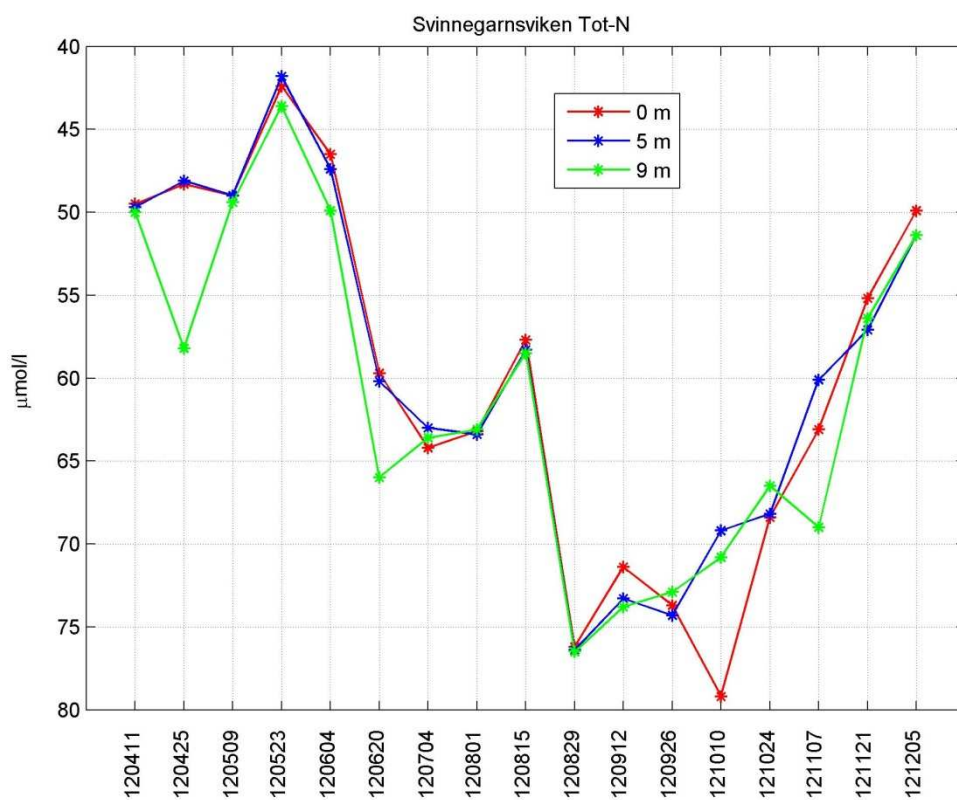
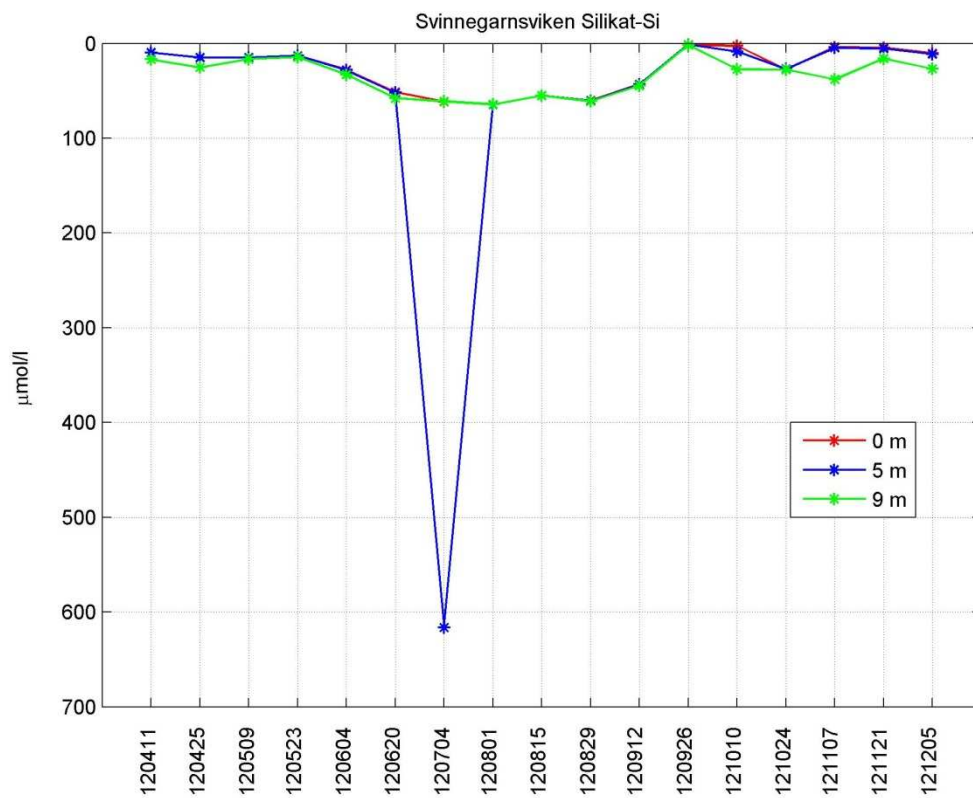


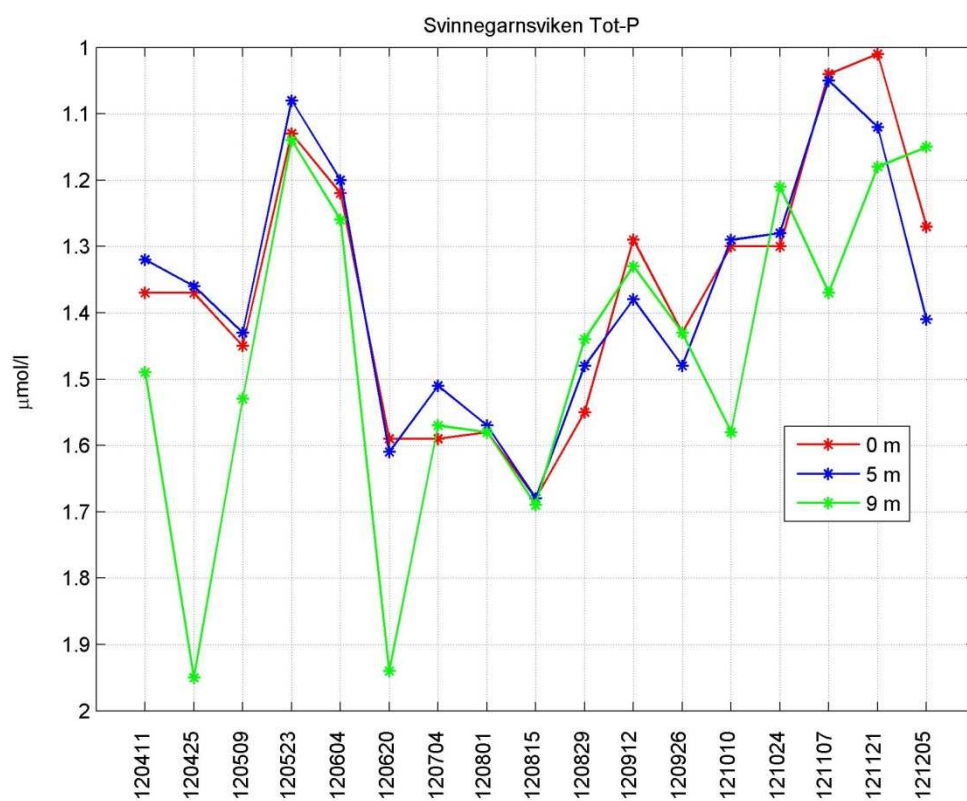


Svinnegarnsviken

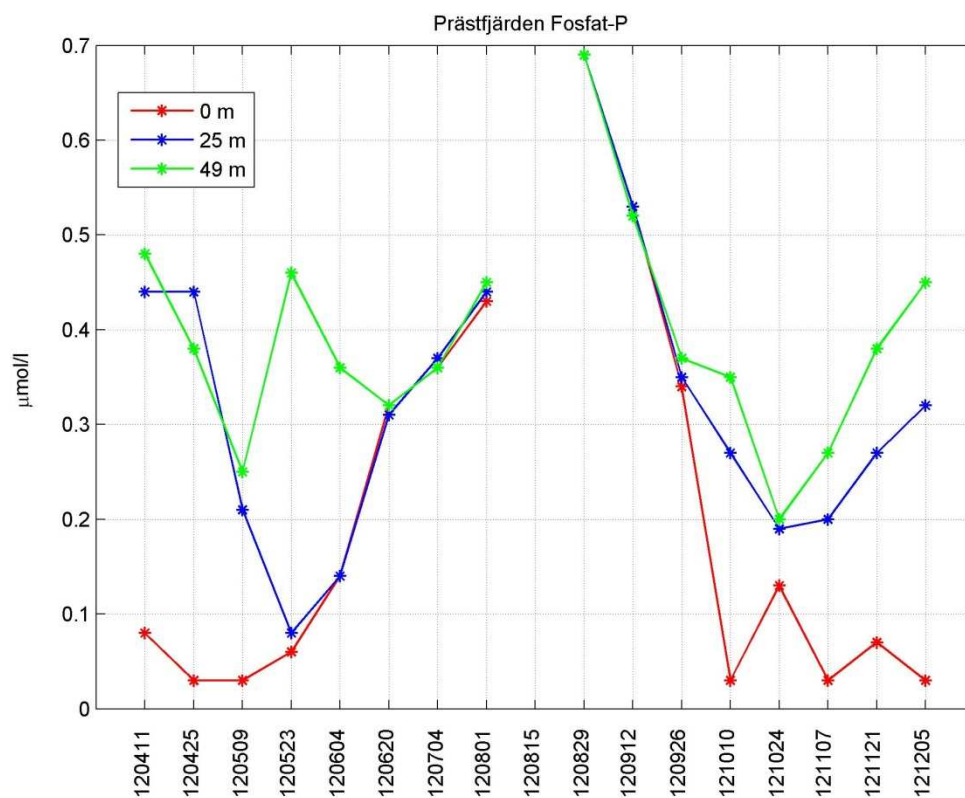
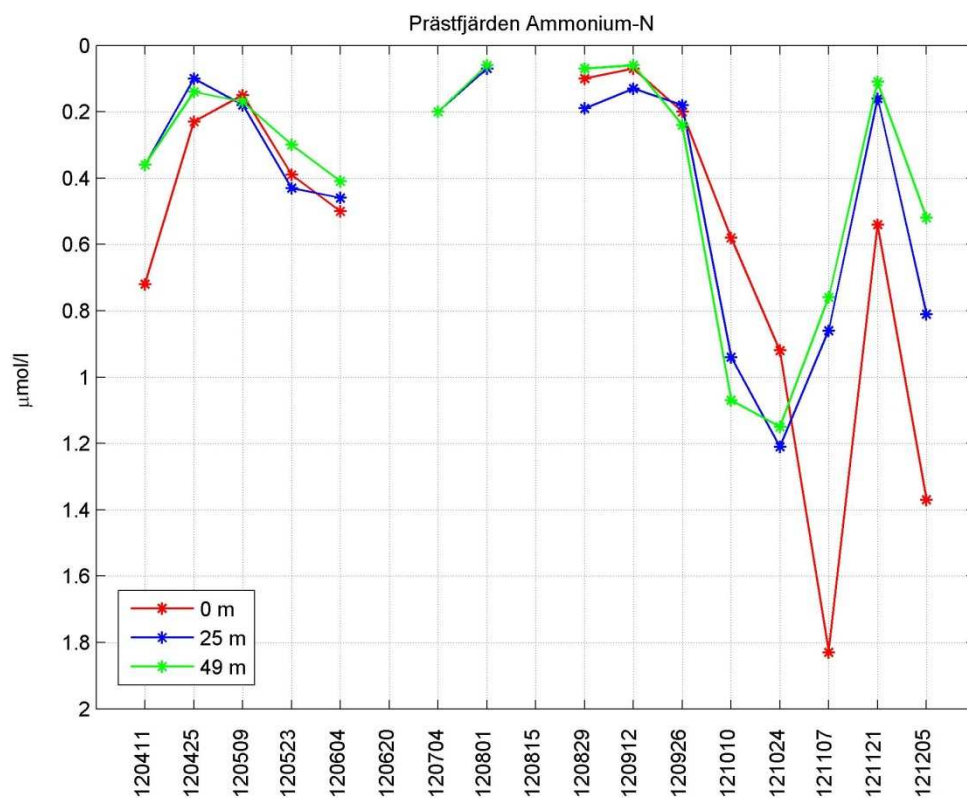


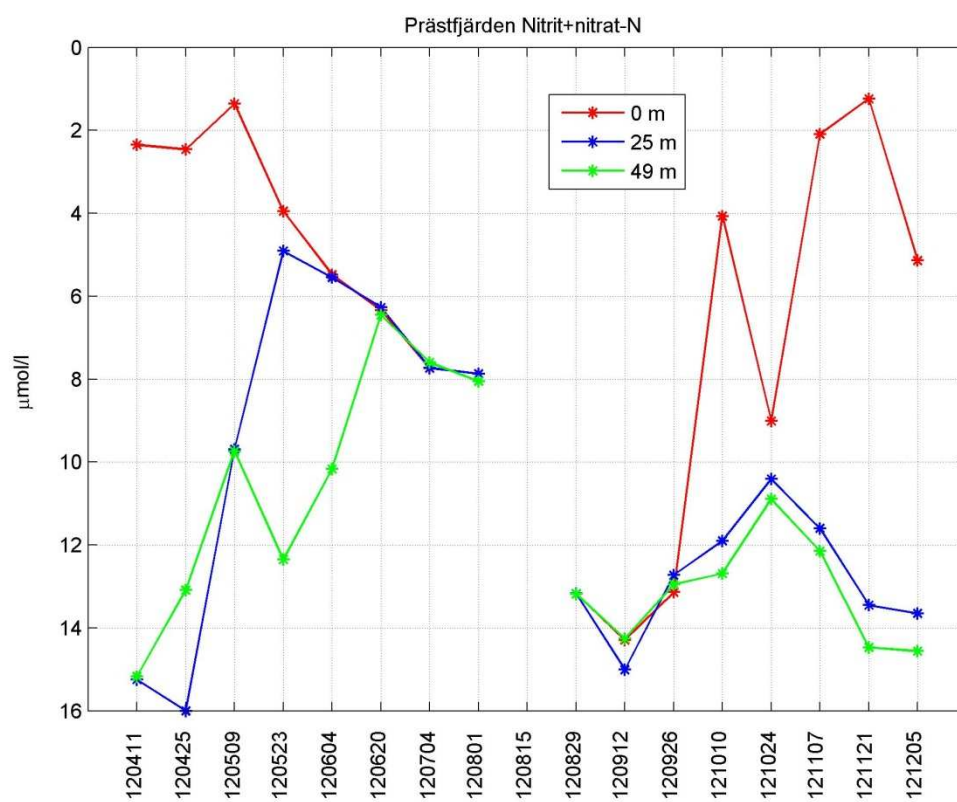
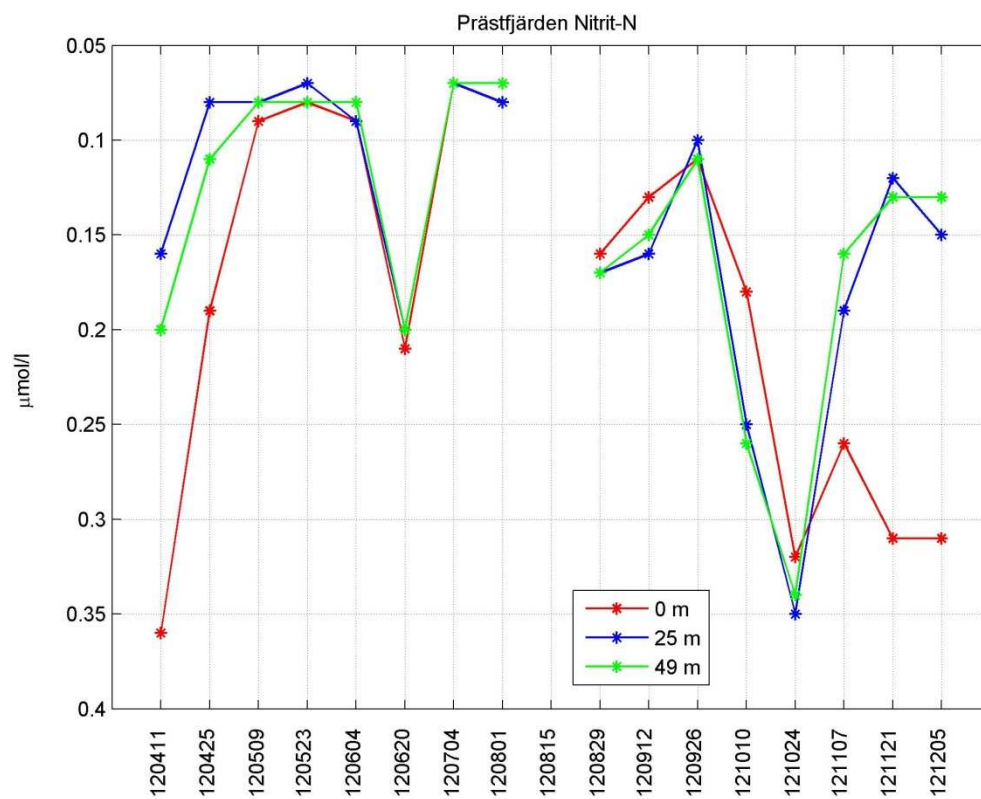


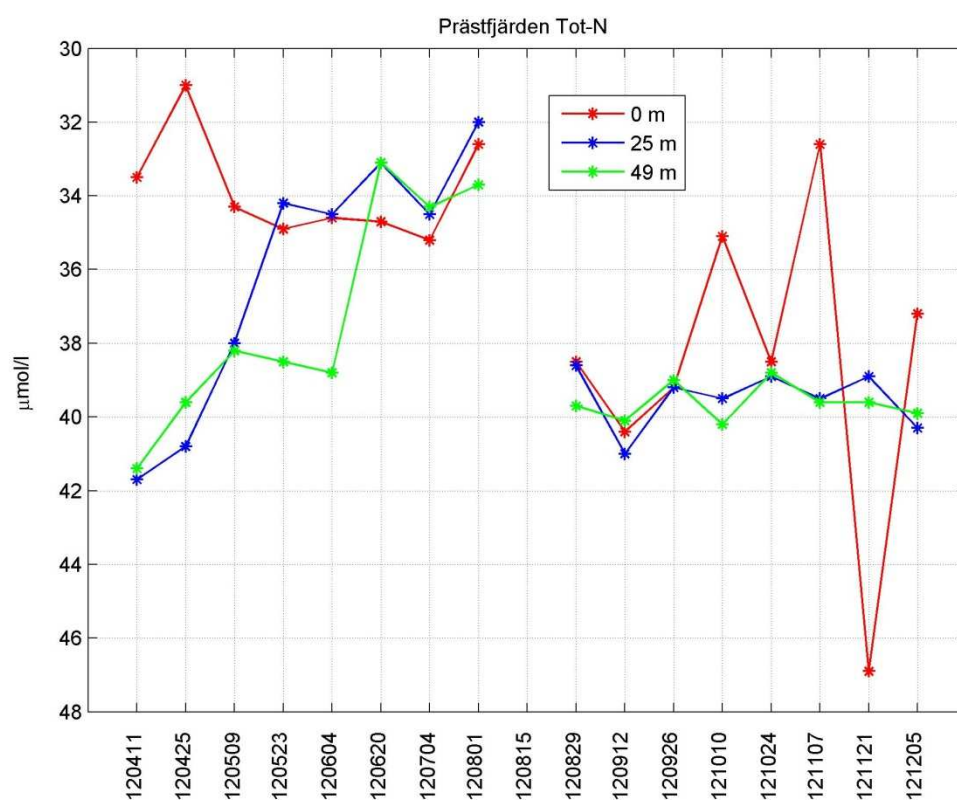
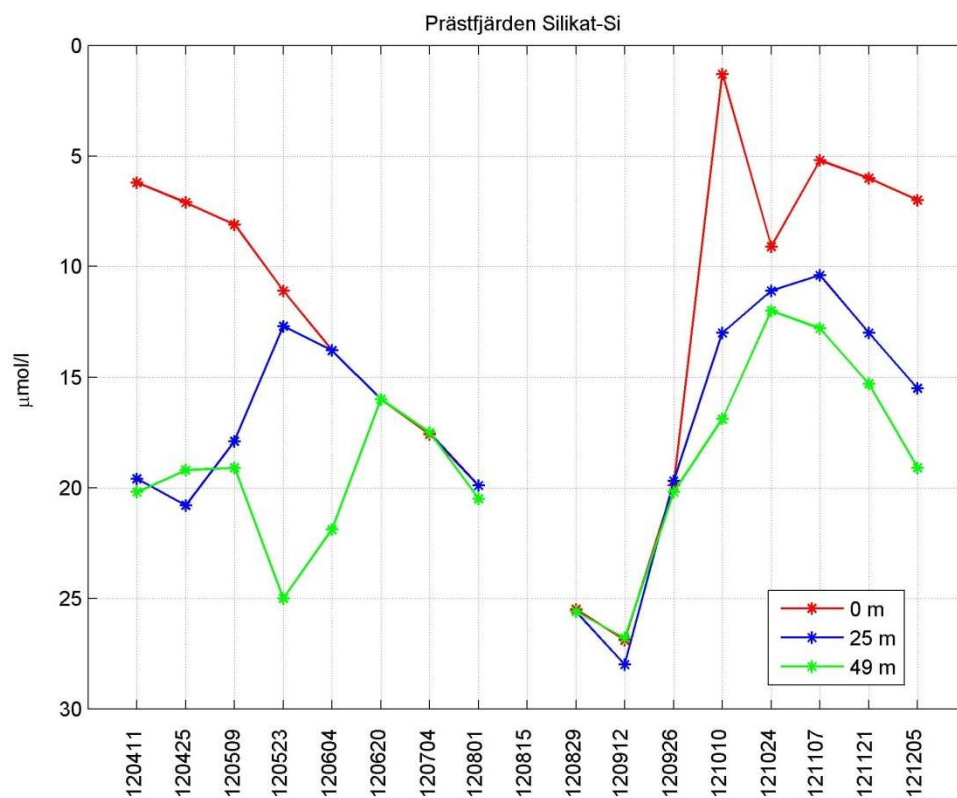


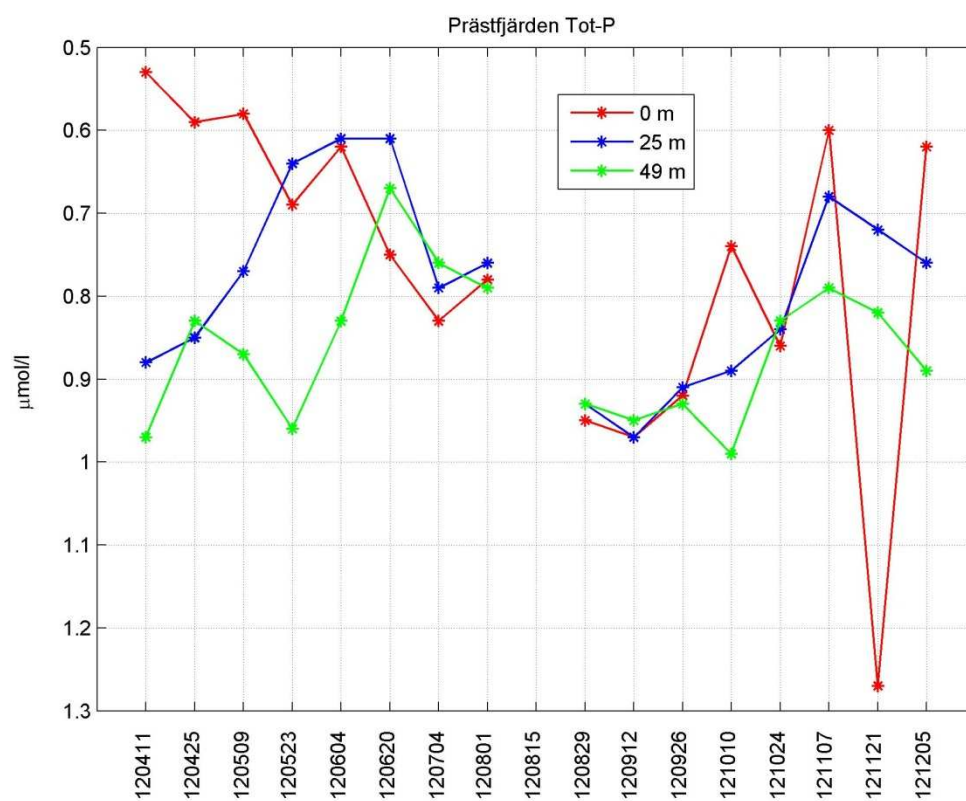


Prästfjärden

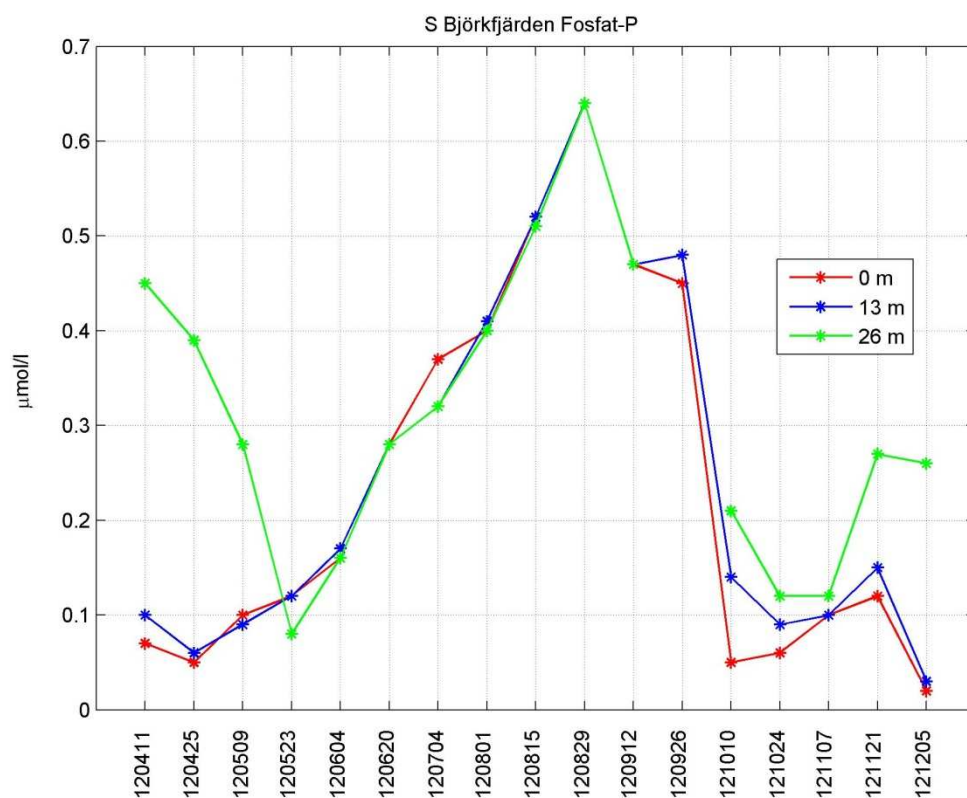
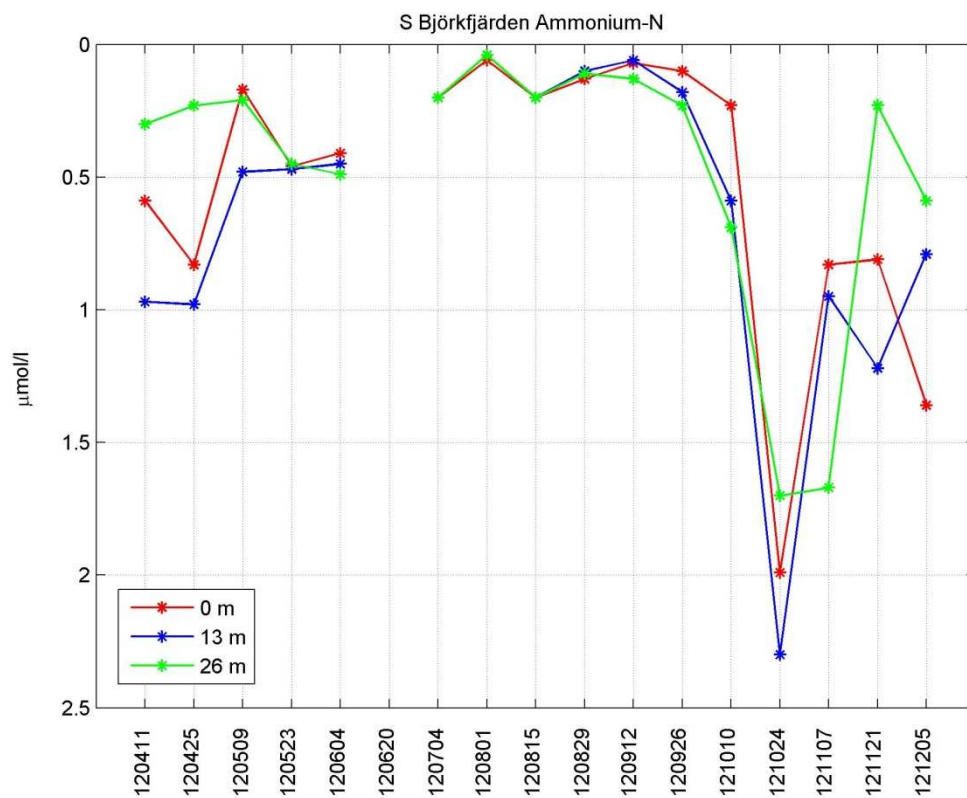


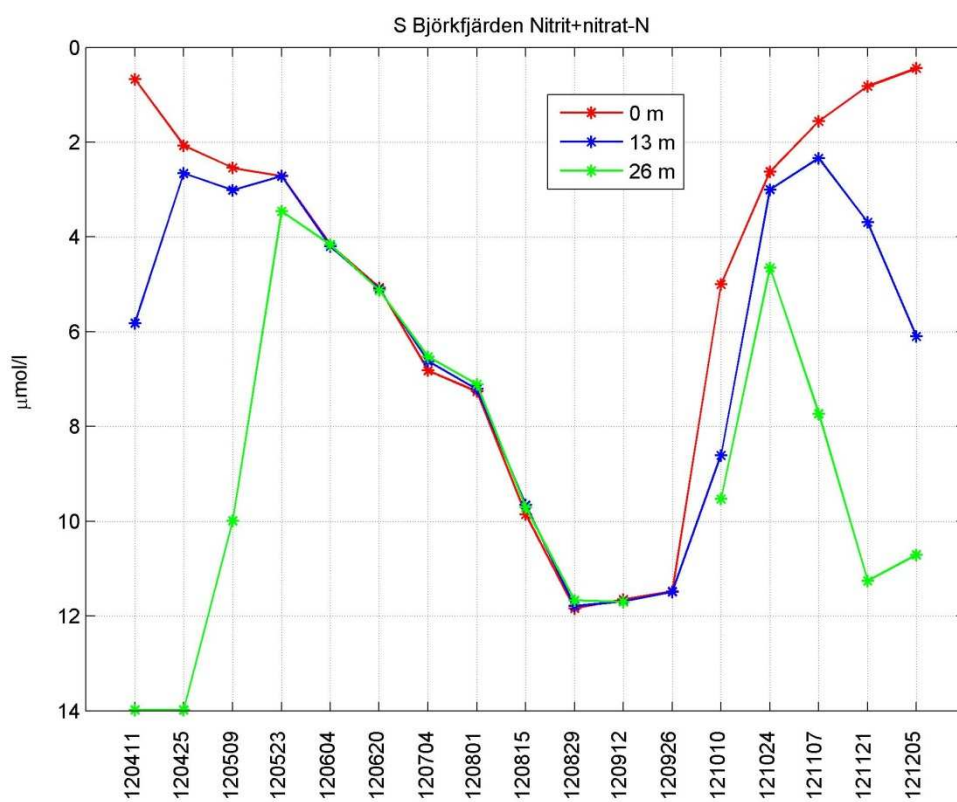
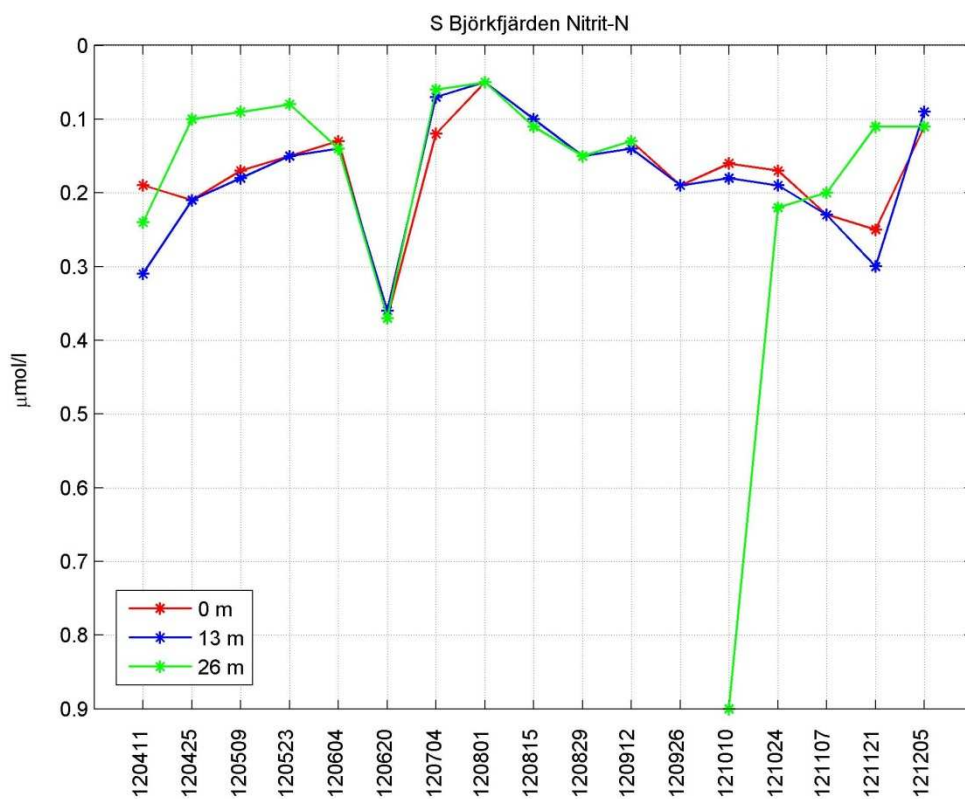


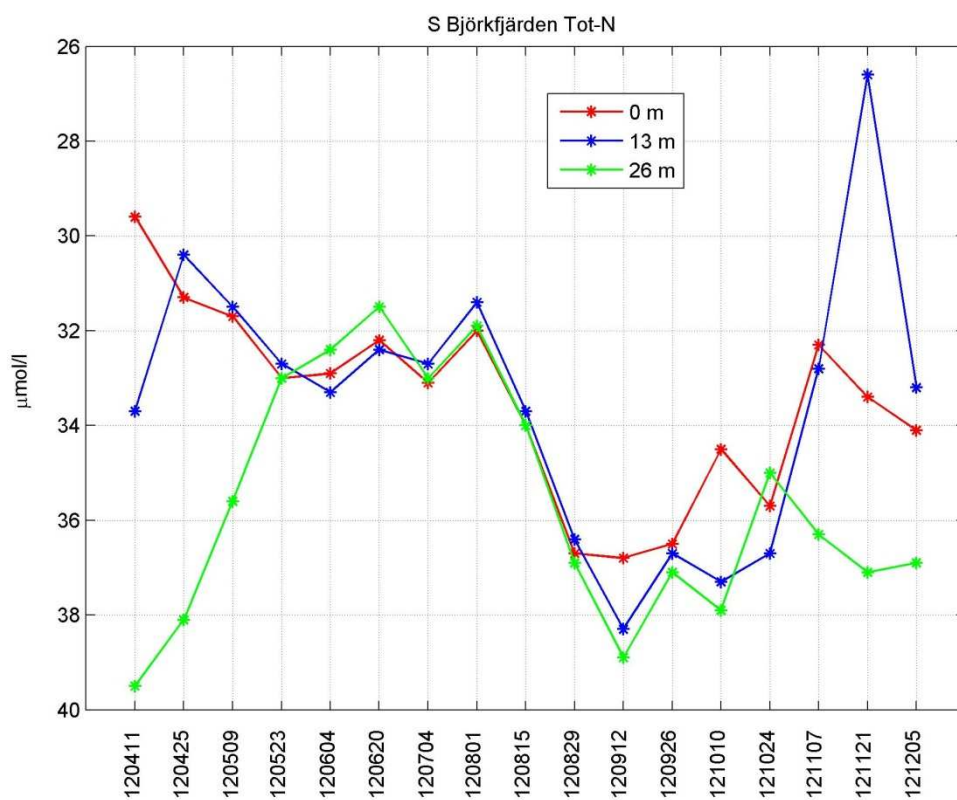
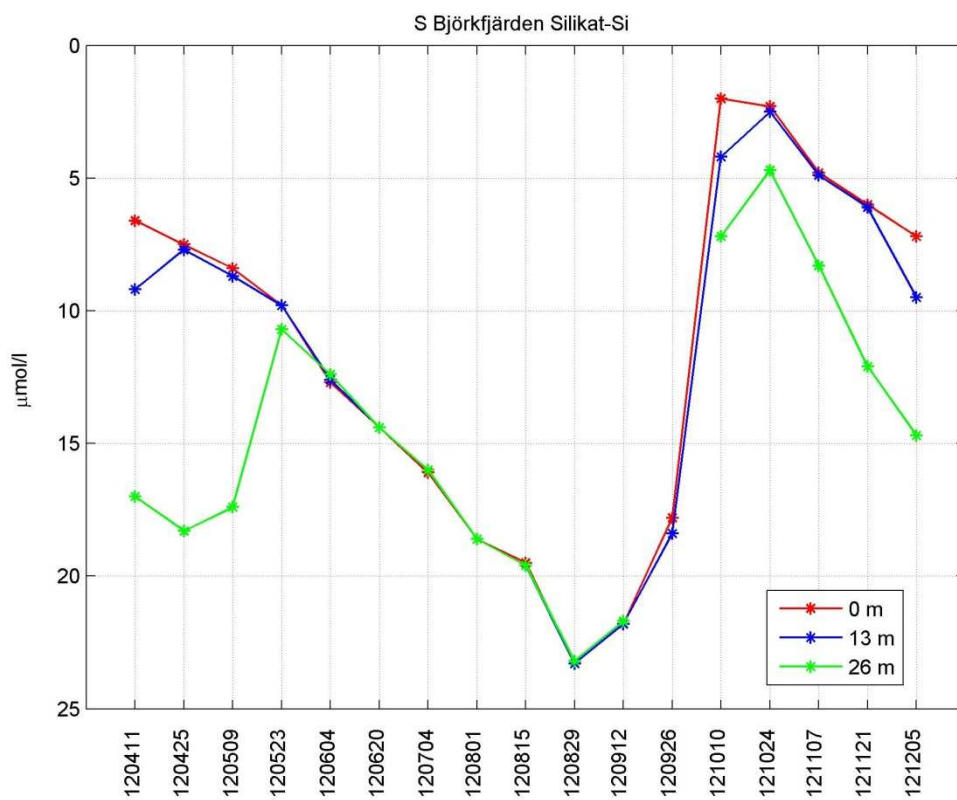


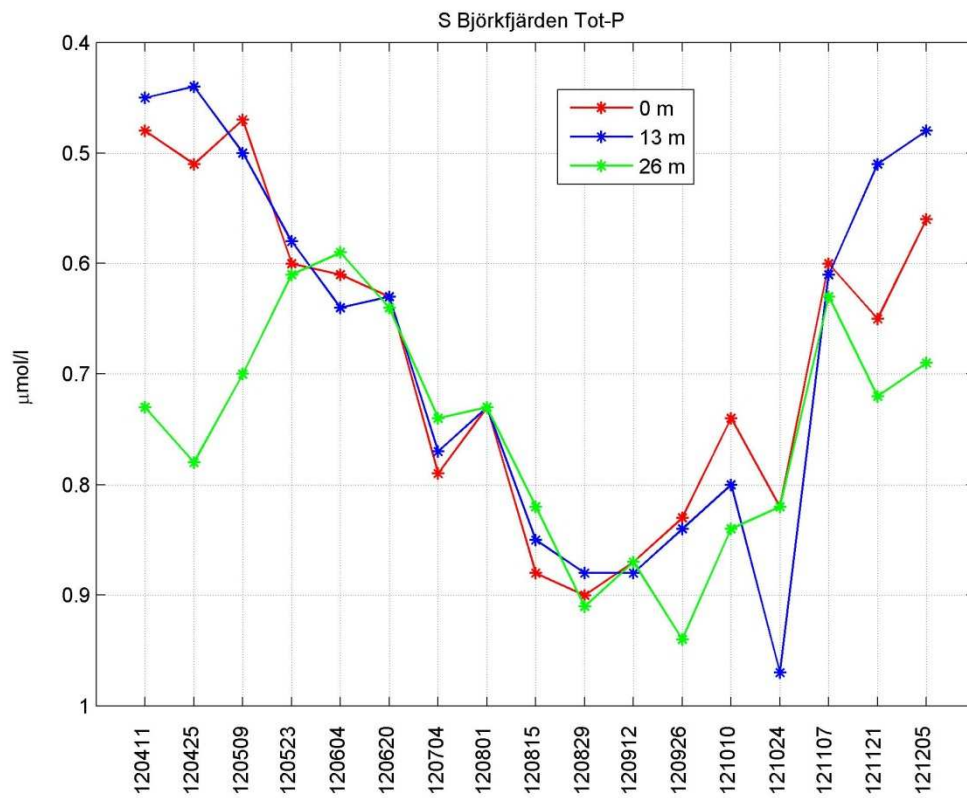


S. Björkfjärden

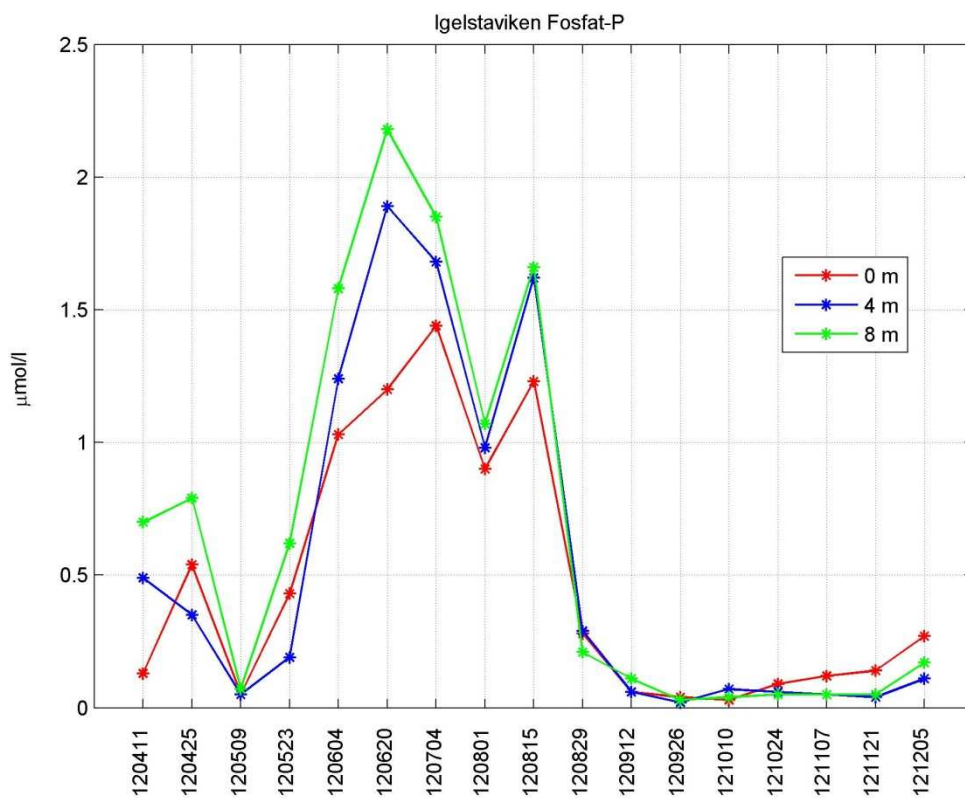
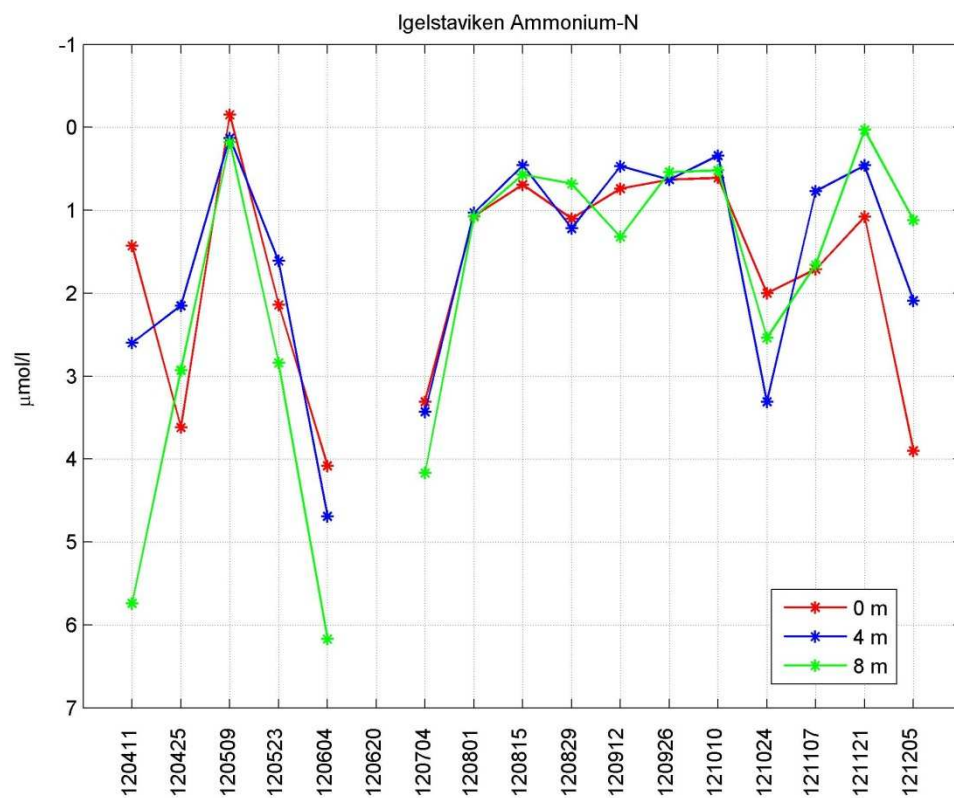


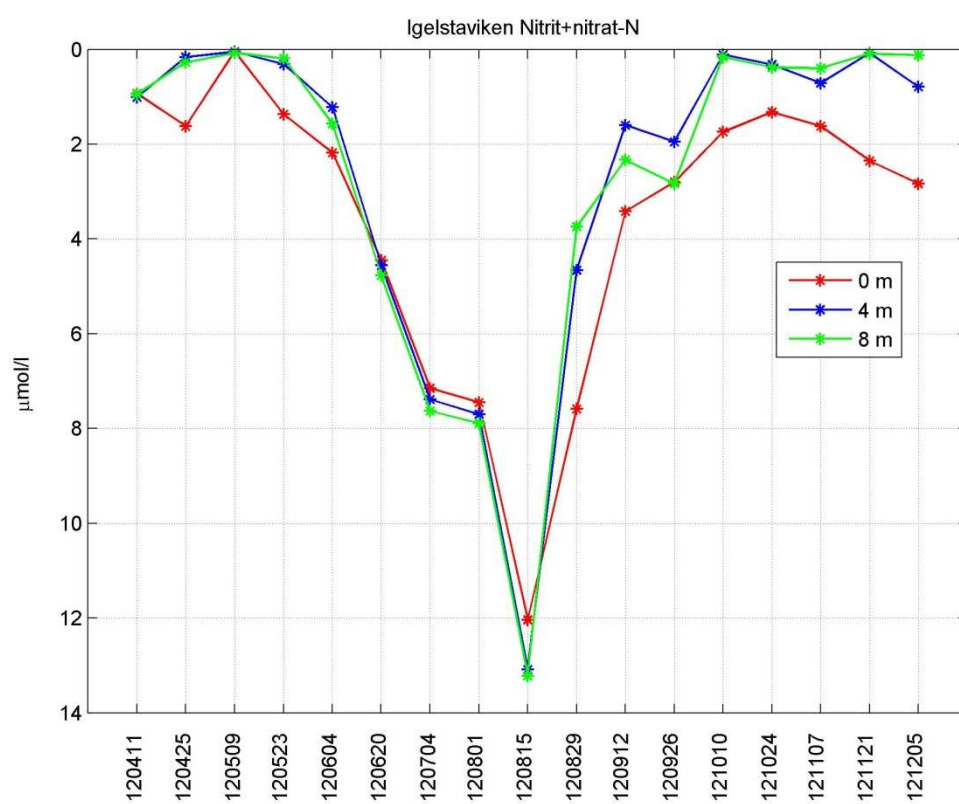
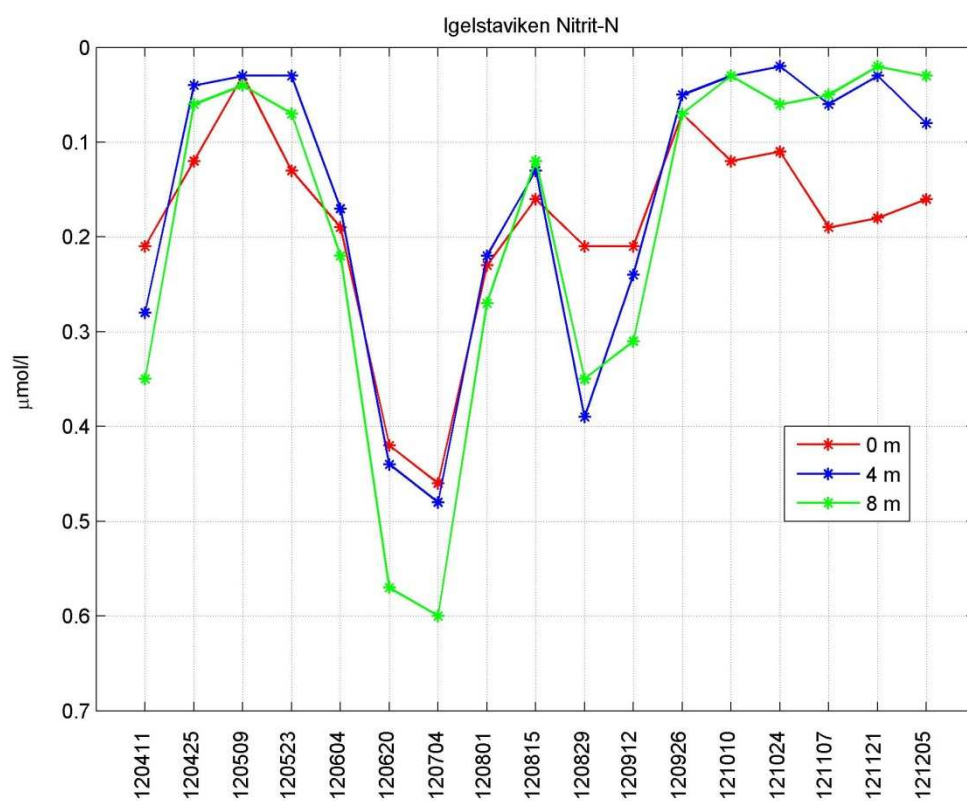


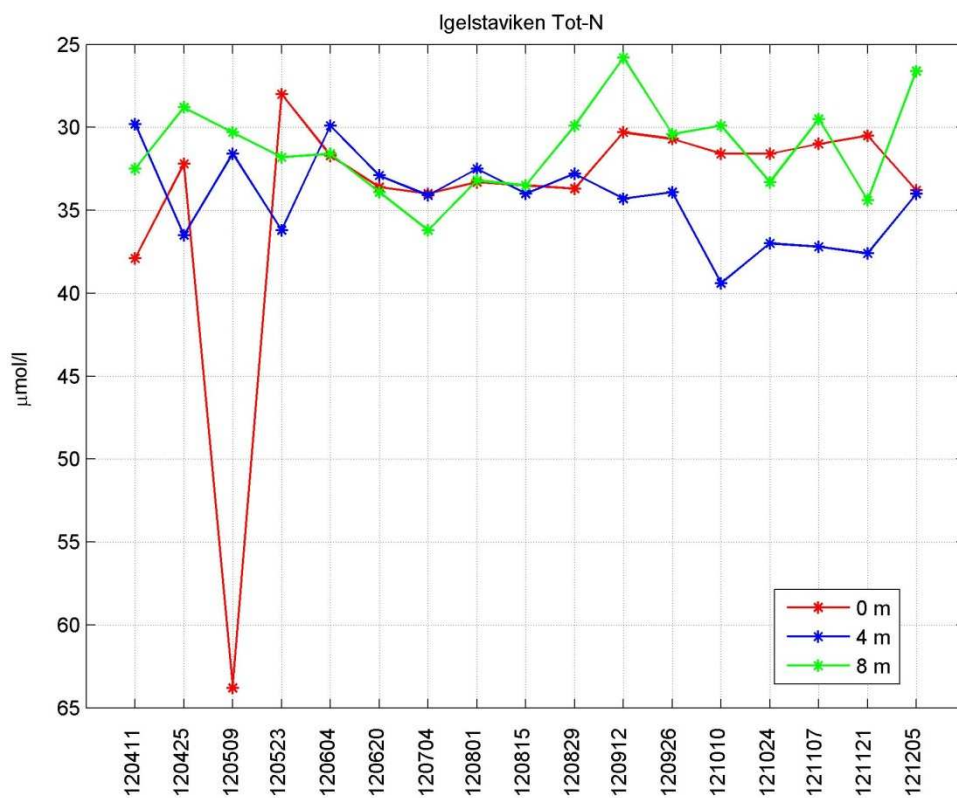
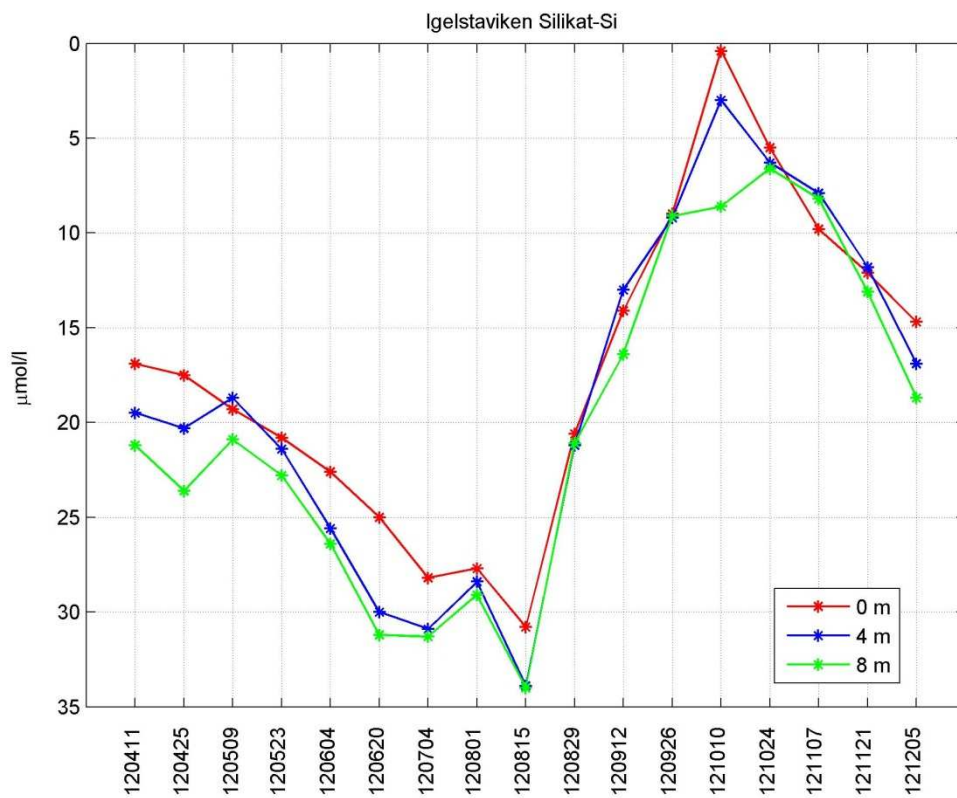


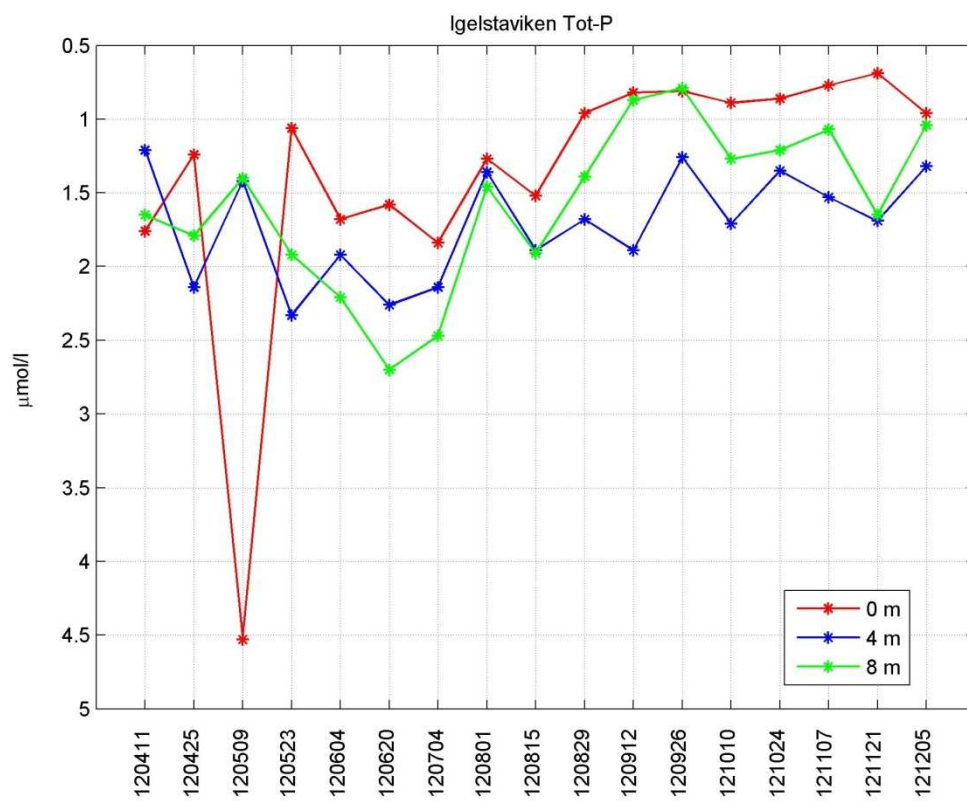


Igelstaviken









Halls Holme

