

Stockholms Hamn AB

UTREDNING

STRÖM- OCH GRUMLINGSFÖRHÅLLANDEN I NORVIKFJÄRDEN OCH DESS NÄROMRÅDEN

Stockholm - Nynäshamn, Norvikudden

Göteborg 2006-10-19

Uppdragsnummer 1150483300

Mats Ivarsson, SWECO VIAK

SWECO VIAK
Gullbergs Strandgata 3
Box 2203, 403 14 Göteborg
Telefon 031-62 75 00
Telefax 031-62 77 22

Uppdrag 1150483300; MATI
p:\1313\andra grupper\1150483300 -
norviksfjärden\rapport_1019.doc



Innehållsförteckning

1	Sammanfattning	2
2	Bakgrund och syfte	3
3	Metod	4
3.1	Vattenutbyte - strömhastighet	4
3.1.1	Boxmodellen	4
3.1.2	Uppskattade strömmar	4
3.2	Sedimentation och grumling	5
4	Norvikfjärdens hydrografi	6
4.1	Hydraulisk funktion	6
4.1.1	Vattenutbyte mellan Norvikfjärden och omgivande områden	6
4.2	Flödesregimer under en årscykel för sunden kring Norvikfjärden	7
5	Bottenmaterial vid Norvikudden – egenskaper och antaganden	10
5.1	Sammansättning	10
5.2	Resuspension och sedimentation	10
5.3	Sedimentationshastighet	10
6	Tippningsplatserna	11
6.1	Sedimentations- och strömförhållanden	11
7	Resultat	12
7.1	Uppskattade strömmar i Norvikfjärden	12
7.2	Grumling i Norvikfjärden	13
7.2.1	Grumling i samband med muddring	13
7.2.2	Tänkbara sedimentationsområden	14
7.3	Grumling vid tippning av muddermassor	16
7.3.1	Tippning från pråm	17
7.3.2	Pumpning från pråm	18
8	Slutsatser	19
8.1	Uppskattade strömmar i Norvikfjärden	19
8.2	Uppskattning av grumlighet i samband med muddring	19
8.3	Uppskattningar av sedimentationsområden	20
8.4	Grumling i samband med tippning av muddermassor	20
9	Ordlista	21

1 Sammanfattning

Stockholms Hamn AB har för avsikt att utöka sin hamnverksamhet i Stockholm-Nynäshamn, Norvikudden. Vid anläggningen av hamnen vid Norvikudden planeras ca 60 ha hamnplan och 1800 meter kajer att anläggas.

Beräkningsresultat från en hydrografisk modell har använts för att göra uppskattningar över strömförhållandena i den planerade hamnanläggningens närområde. Med utgångspunkt från de uppskattade strömmarna har även uppskattningar över grumlighet och sedimentation i anslutning till muddring och deponering av muddermassor gjorts.

Uppskattningarna visar att strömmarna i sundet mellan Norvikfjärden och Mysingen ligger i storleksordningen 1 cm/s, starkast strömmar har uppskattas för höstperioden. De planerade anläggningsarbetena bedöms inte kunna resultera i någon signifikant förändring av *cirkulationsmönstret* i Norvikfjärden.

Vid muddring är spädningen av det material som sätts i suspension intensiv i inledningsskedet för att sedan avklinga på större avstånd från muddringsplatsen. Beräkningar visar att koncentrationen sjunker från det uppskattade initialvärdet 1000 mg/l till ca 45 mg/l redan på ett avstånd av ca 1000 meter från muddringsplatsen. På ca 4000 meters avstånd har koncentrationen av suspenderat material i vattenmassan hunnit spädas till ca 20 mg/l.

Vid muddring kommer grova kornstorleksfraktioner i det uppgrumlade materialet (silt) att hinna sjunka till 20 meters djup inom ett avstånd av ca 2 – 4 kilometer från muddringsplatsen. Under höst och vinterperioden är strömmarna starkare vilket medför att suspenderat material kan transporteras längre innan det når botten, detta resulterar i den övre gränsen i det angivna intervallet.

Vid deponering av muddrat material uppskattas att mellan 1 – 5 % av muddermassorna förs bort och bidrar till grumling av vattenmassan. Vilken koncentration av suspenderat material detta medför i vattenmassan beror av ett flertal faktorer som *muddringsmetod*, *tipningsmetod* samt *storlek på pråmar*.

2 Bakgrund och syfte

Stockholms Hamn AB har för avsikt att bygga ut nuvarande hamn i Nynäshamn genom utbyggnad av hamn samt drift av hamnverksamhet i Stockholm-Nynäshamn, Norvikudden.

Vid anläggningen av hamnen vid Norvikudden planeras ca 60 ha hamnplan och 1800 meter kajer att anläggas. Erforderlig mängd utfyllnad som krävs för detta ändamål har beräknats till 2,4 miljoner m³. Det berguttag som kommer att göras i samband med anläggningsarbete på land förväntas täcka hela behovet av sprängsten¹. Den totala mängden löst bottenmaterial som skall muddras har beräknats till 850 000 m³. Efter svällning uppskattas mängden komma att uppgå till 1,1 miljoner m³. Deponering av muddermassorna planeras ske på en närbelägen tippningsplats².

Denna rapport syftar dels till att ge en beskrivning av det aktuella områdets hydrografi och strömningsförhållanden, och dels till att belysa vilka områden som kan komma att drabbas av sedimentation från suspenderat bottenmaterial samt grumlighet i vattenmassan i samband med planerade anläggningsarbeten. Anders Engqvist, oceanograf vid Stockholms universitet, Systemekologiska institutionen, har bidragit med material till rapporten när det gäller beskrivningen av hydrografi och strömningsförhållanden i Norvikfjärden och angränsande områden.

En uppskattning av vilka områden som kan tänkas bli drabbade av sedimentation av partiklar och grumlighet har gjorts med utgångspunkt från enkla transportbetraktelser, sedimentegenskaper samt spädningsberäkningar av suspenderat material.

Termer och begrepp som beskrivs i rapporten och som markerats med *, återfinns i ordlistan längst bak i rapporten.

¹ Teknisk beskrivning, SWECO VIAK, 2006.

² Utredning av tippningsplatser för muddermassor, SWECO VIAK, 2006.

3 Metod

3.1 Vattenutbyte - strömhastighet

3.1.1 Boxmodellen

I denna utredning har modellerat vattenutbyte mellan Norvikfjärden och angränsande områden använts³. Den oceanografiska modell som ligger till grund för beräkningsresultatet är en s.k. Box-modell där varje enskilt havsområde (fjärd) beskrivs som en enskild volym. Det beräkningsresultat som genereras av modellen utgörs av vattenutbyte *mellan* "boxarna", samt variationer av salt och temperatur på olika nivåer. Beräkningsresultatet ger emellertid ingen information om cirkulationen *inom* boxarna.

3.1.2 Uppskattade strömmar

Det beräknade vattenutbytet som sker i det ca 20 meter djupa sundet mellan Norvikfjärden och Mysingen har använts för att uppskatta strömhastigheter på olika nivåer i vattenmassan under den för muddring lämpliga perioden från september till april. De uppskattade strömhastigheterna antas gälla även i det närbelägna muddringsområdet vid Norvikudden, emedan strömförhållanden på större djup, > 20 m, är okända. För projektets syfte är det framförallt de grunda områdena som är av intresse eftersom produktionsområden och den största biologiska mångfalden finns där, varför denna avgränsning är rimlig.

Valet av tidsperioder för medelvärdesbildningen har gjorts med utgångspunkt från årstidsvariationer i skiktning och hydrografiska flödesregimer. I de uppskattade strömmarna ingår ej den sydgående bakgrundsström som generellt förekommer utefter den Svenska ostkusten, detta eftersom dess påverkan på de innanför Mysingen liggande bassängerna bedöms vara svag.

³ Engqvist A. Vattenutbytet i Lunda Strömmar (Yxlöområdet) under en årscykel – motsvarande perioden maj 1998 t.o.m. april 1999. 1999.

3.2 Sedimentation och grumling

En översiktlig bedömning av vilka områden som kan komma att beröras av sedimentation och grumlighet i vattenmassan görs med hjälp av:

- Uppskattade strömhastigheter
- Beräknad sjunkhastighet för det suspenderade materialet
- Djupinformation från området
- Modellerings av utspädningen av suspenderat material

I bedömningen beaktas enbart den renodlade advektionen, d.v.s. hur det suspenderade materialet förs bort av strömmen i området. Efter att sediment satts i suspension antas partiklarna sjunka obehindrat med en beräknad sjunkhastighet, ingen hänsyn tas därmed till eventuell turbulens i vattenmassan.

Angreppssättet medför att storleken på sedimentationsområdet underskattas eftersom små partiklar även påverkas av turbulensen i vattenmassan som hindrar eller fördröjer sedimentation.

I ett första steg beräknas den tid det tar för en partikel att nå 20 meters djup, "sjunktiden". *I ett andra steg* beräknas hur långt partiklarna hinner transporteras (advektas) av strömmen under "sjunktiden". Den beräknade sträckan blir ett mått på hur stora områden som kan komma att påverkas av sedimentation från suspenderat material.

För att beräkna hur grumligheten i ett vattenpaket med suspenderat material avtar, p.g.a. spädning med omgivande vatten, har spädningsmodellen Cormix⁴ använts.

På de föreslagna tipplatserna i området utanför Norvikfjärden finns inga beräkningar av vattenutbytet att tillgå för att göra uppskattningar av strömhastigheter. När det gäller de botten nära strömförhållandena på dessa platser kan emellertid antaganden om strömförhållanden göras med utgångspunkt från maringeologiska betraktelser. För att göra generella bedömningar av sedimentations- och grumlighetsförhållanden vid tippning av muddermassor görs jämförelser mellan tidigare studier.

⁴ www.cormix.info

4 Norvikfjärdens hydrografi

4.1 Hydraulisk funktion

4.1.1 Vattenutbyte mellan Norvikfjärden och omgivande områden

Erfarenhetsmässigt från andra delar av kustzonen är intermediär cirkulation den mekanism som bidrar till det kraftigaste utbytet av vatten i kustbassänger. Denna process drivs av täthetsvariationer i utanförliggande kustvatten så att när tätheten tilltar t.ex. vid uppvällningssituationer, fyller en intern våg det inneslutna kustområdet med relativt tyngre vatten underifrån, förutsatt att vågens kam når ovanför trösklarna. Av kontinuitetsskäl trängs då ytvattnet bort. När tätheten för kustvattnet längre fram i tiden avtar, rinner av samma skäl det inneslutna vattnet (i detta skede förhållandevis tätare vattnet) ovanför tröskeldjupet utåt och ersätts av inströmmande ytvatten från kustzonen.

Strömhastigheterna varierar under dygnet pga. vindvariationerna och även möjligen pga. av seicher* (stående vågor). Däremot förstärks dessa utströmningar tydligt vid perioder med kraftiga sydvindar. Den sannolika mekanismen är att de enligt vindstatistiken dominerande SV-vindarna (i nära kustparallell riktning) genom vindstress driver ytvattnet norröver och därigenom snedställer vattenytan så att den lutar i (svag) uppförsbacke från söder till norr. Ett undre skikt blir då snedställt men med avsevärt kraftigare lutning i motsatt riktning. Tyngre vatten kommer då att välla över trösklarna.

Seicher kan sannolikt förekomma t.ex. i det långsmala sundet mellan Mälby- och Norvikfjärdarna, men detta bedöms inte påverka vattenutbytet signifikant. Detta eftersom varaktigheten hos den pulserande strömmen normalt är så kort att vatten inte hinner transporteras genom sundet som skiljer de båda fjärdarna åt. Seicher kan också uppstå i själva fjärdarna, dock med samma betydelse vattenutbytet som seicherna i sundet.

Även en intensifierad fördjupning av de välomblandade övre vattenskikten för de olika bassängerna, kan vid blåsiga perioder (med vindar huvudsakligen de avlånga fjärdarnas längdriktning) ge bidrag till vattenutbytet genom att vatten med olika täthet kommer i kontakt med varandra på samma nivå men på ömse sidor om sundsnitten.

Vattenrörelser förekommer otvetydigt även under islagd tid t.ex. februari 1999 men i avsevärt dämpad form.

Påverkan från kustströmmen på de innanför Mysingen liggande bassängerna bedöms vara svag. Detta eftersom Mysingen utgör den naturliga transportvägen för kustströmmen vilket i hög grad bedöms dämpa kustströmmens påverkan av vattenrörelserna i denna inre cirkulationsslinga.

4.2 Flödesregimer under en årscykel för sunden kring Norvikfjärden

Strömmarna i Norvikfjärden med omgivning har uppskattats utifrån modellresultat omfattandes en period från våren 1998 till våren 1999. Modellens fysiska drivning utgörs av mätdata över vattenståndsfluktuationer, vindomblandning, sötvattentillrinning och täthetsvariationer i Östersjöns kustvatten från den aktuella perioden. Resultatet från beräkningsmodellen bedöms vara generellt representativt för området även om variationer mellan olika år kan förväntas beroende på variationer i meteorologi och hydrologi.

Vattenutbytet mellan Norvikfjärden och omgivande områden har delats upp i fem perioder varav fyra omfattar två månader, medan höstperioden omfattar fyra månader (september t.o.m. december 1998)⁵. Denna indelning grundades på att vattenutbytesregimerna under den studerade årscykeln på ett naturligt sätt verkade sammanfalla med dessa perioder. Vattenutbytet (volymflödet som funktion av djupet) för det sund (S1, se figur 3.1) som förbinder Norvikfjärden med Mysingen finns sammanställt med de uppskattade densitetsvariationerna i den utanförliggande kustzonen i figur 3.2, där de fem olika perioderna har markerats genom avgränsande streck.

Under **senvårsperioden** (maj & juni 1998, se figur 3.2) föreligger ett från Norvikfjärden via S1 utflödande ytvatten ner till c:a 5 m-nivån i sundet. Detta är drivet av tillförd uppdrift i form av tillrinnande sötvatten och uppvärmning. Ett estuarint kompensationsflöde föreligger mellan 5-15 m nivå. Estuarin cirkulation* karaktäriserar

⁵ Engqvist, A (1999), Vattenutbytet i Lunda Strömmar (Yxlöområdet) under en årscykel – motsvarande perioden maj 1998 t.o.m. april 1999.

även utbytet med Vidbyfjärden genom S2, se figur 3.1, men med grundare nivå för den ytnära strömmen.

Under **sommarperioden** (juli & augusti 1998) består i huvudsak den estuarina cirkulationsbilden men i mattad form jämfört med senvåren. Detta framgår av volymflödena i figur 3.2 där sommarperiodens volymflöden karaktäriseras av en mindre tydlig utström i ytvattnet, tillsammans med en mindre tydlig motriktad inström, jämfört med situationen under senvåren. Relativt sett snabbare avtagande densitet i utanförliggande vatten gör att en svag inström även förekommer tidsgenomsnittligt från 10 m-nivån och djupare. Den estuarina cirkulationen upprätthålls även genom sundet mellan Norviks- och Vidbyfjärdarna (S2) under sommarperioden med undantag för det helt ytnära vattenskiktet som uppvisar ett svagt inflöde, drivet av relativa densitetsskillnader över detta sund. För övriga delar av året upprätthålls en estuarin cirkulation genom S2.

Höstperioden (september t.o.m. december 1998) inleds med en uppvällningsperiod för kustzonen som efter avklingande åstadkommer en inström för ytligt vatten i S1. En sådan inströmningsregim förekommer därefter stadigvarande under senhösten genom att avkylningen sker i snabbare takt för de grundare kustnära fjärdarna jämfört med kustzonen⁶.

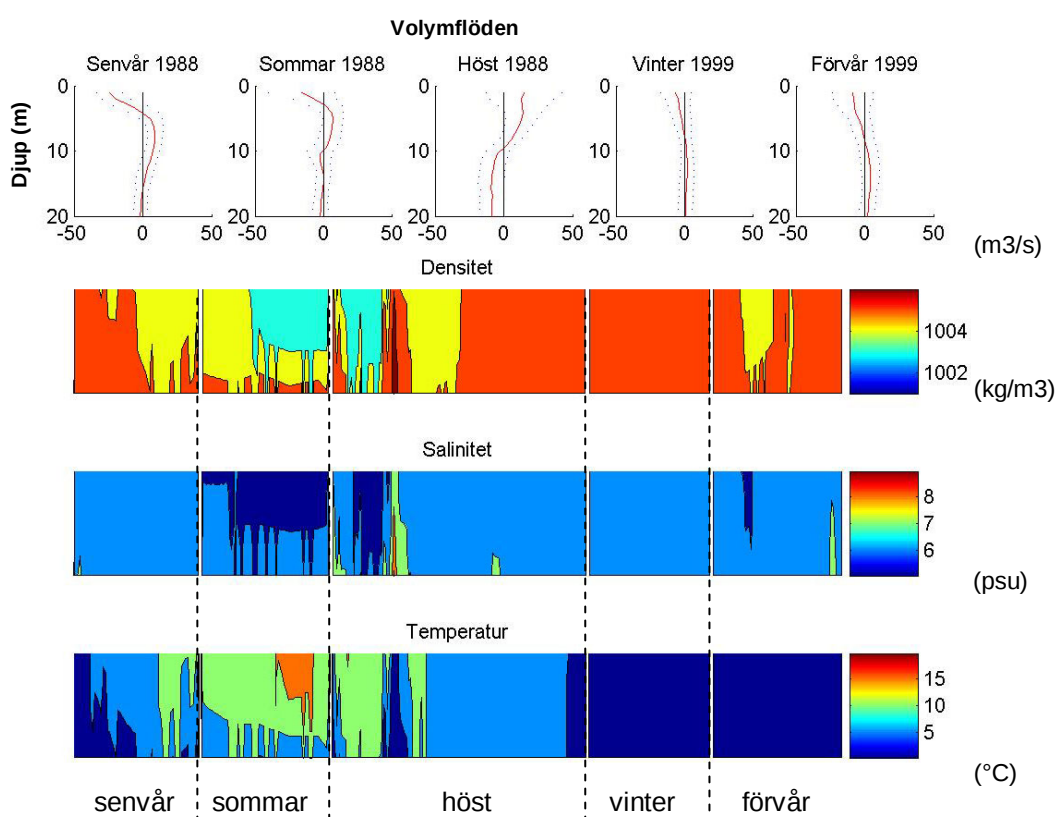


Figur 3.1. De avgränsande sunden S1 och S2 i Norvikfjärden.

⁶ Wåhlin A K & Cenedese C (2006) How entraining density currents influence the stratification in a one-dimensional ocean basin. Deep-Sea Research II, 53, 172-193.

Under **vinterperioden** (januari & februari 1999) mattas framför allt den vindgenererade omblandningen även om en mattad diffus sötvattentillrinning fortfarande driver en svag estuarin cirkulation. Under 1999 uppskattas Norvikfjärden endast ha varit helt istäckt under en dryg vecka i början av februari 1999, medan de omgivande mindre fjärdarna var islagda under de tre första månaderna 1999.

Slutligen under **förårsperioden** (mars & april 1999) återgår cirkulationen till att bli av estuarin karaktär igen men ännu inte lika tydlig som under den inledande senvårsperioden.



Figur 3.2. I figuren sammanställs volymflöde, densitet, salthalt och temperatur i sundet mellan Norvikfjärden och Mysingen (S1) som funktion av djupet. En uppdelning har gjorts mellan fem perioder vilkas avgränsningar har markerats med ljusa streck i de underliggande konturdiagrammen (djup x tid).

I figur 3.2 har höstperioden, med en relativt snabbare avkylning, sammanslagits av fyra månader, medan övriga perioder består av två månader. Under större delen av året föreligger en strömningsbild som kan karaktäriseras som estuarin cirkulation med utström närmare

ytan (negativt tecken i de övre delfigurerna). Undantaget är under höstperioden då strömbilden är den omvända med inåtströmmande ytström. Under framför allt senhösten förklaras detta av den relativt snabbare avkylningen i den grundare Norvikfjärden och innanför liggande fjärdar jämfört med den avsevärt djupare Mysingen.

5 Bottenmaterial vid Norvikudden – egenskaper och antaganden

5.1 Sammansättning

I samband med provtagning av sediment vid Norvikudden har en analys av det finkorniga materialet som skall muddras genomförts². Analysen visar att materialet till övervägande delen (96%) består av varvig glaciallera med tilltagande silt- och sandinnehåll med ökande mäktighet. Halten av metaller i den resterande delen av materialet är normal i förhållande till den regionala belastningen. Glacialleran innehåller mycket små mängder organiskt material och är konsoliderad varför vattenhalten är låg, 50-55%.

5.2 Resuspension och sedimentation

Den glaciala leran är avsatt i färskvattenmiljö med obefintlig bioturbation* varför den initiala sedimentationshastigheten för lerpartiklarna är mycket låg⁷. Om glacialleran muddras med grävmaskin kommer leran sannolikt att skjuvas längs silt- och sandhorisonterna, vilka därmed kan bidra till grumlingen.

Lerpartiklar som avsatts i färskvatten har negativ laddning och drar därför till sig salt då de sätts i suspension i havsvatten (flockulering). Mängden salt som kan bindas vid flockuleringen avgörs av lerpartiklarnas specifika yta. På detta sätt bildas större aggregat av lerpartiklar vars storlek bedöms motsvara silt (0,002 – 0,06 mm)⁷.

5.3 Sedimentationshastighet

Sedimentationshastigheten för siltpartiklar är mycket låg. I tabell 4.1 redovisas beräknade sedimentationshastigheter för partiklar i siltintervallet, beräkningen bygger på antagande om en salthalt på 5,5

⁷ Personlig kommunikation med Melissa Goicoechea Feldtmann, 060628.

psu och en temperatur på 4°C i Norvikfjärden vintertid. Beräkningen görs med Stokes sedimentationsekvation⁸. Under den aktuella muddringsperioden kommer sannolikt vattenmassan periodvis att vara skiktad. Skiktet närmast botten har då högre densitet vilket medför en lägre sjunkhastighet för det suspenderade materialet och därmed större utbredning på sedimentationsområdet.

Tabell 4.1. Sedimentationshastigheter för siltpartiklar (0,002-0,06 mm).

Partikelstorlek (mm)	0,002	0,005	0,01	0,02	0,04	0,06
Sedimentationshastighet (mm/s)	0,0003	0,002	0,07	0,28	1,13	2,54

6 Tippningsplatserna

För deposition av leriga muddermassor från Norvikudden har flera tänkbara alternativa tippplatser i närområdet utretts. Kriterierna för att platserna skall bedömas som lämpliga för tippning är att de skall ligga inom områden med distinkta ackumulationsbottnar utan tecken på erosion, samt att de skall ligga inom 10 kilometers avstånd från muddringsområdet. Det har också varit önskvärt att de botten som identifierats som tänkbara tippplatser ligger på stora djup med dåliga syreförhållanden och därmed erbjuder dåliga biologiska förutsättningar.

För en mer detaljerad beskrivning av tippplatserna samt de maringeologiska och geotekniska undersökningar som genomförts, se "Utredning av tippningsplatser för muddermassor"².

6.1 Sedimentations- och strömförhållanden

De alternativa tippningsplatserna karaktäriseras av mycket svaga strömmar nära botten vilket resulterar i att sedimentation kontinuerligt äger rum på dessa platser. En maximal slutlig överyta för deponerade muddermassor har ansatts på en nivå något djupare än den nivå där de omkringliggande, grundare, bottenarna ändrar karaktär från att vara ackumulationsbottnar, det så kallade erosionsdjupet. De valda djupen är därmed utom räckhåll för både våginducerade och andra förekommande strömmar, med kapacitet att erodera bottenmaterialet. Risken för att muddermassor som deponeras på dessa platser skall eroderas är därmed mycket liten.

⁸ www.filtration-and-separation.com

7 Resultat

7.1 Uppskattade strömmar i Norvikfjärden

I beräkningsresultatet från boxmodellen har medelvärden över vattenutbytet till och från Norvikfjärden beräknats för olika tidsperioder. Utifrån dessa har strömhastigheterna i muddringsområdet under den för muddring intressanta perioden kunnat uppskattas, se tabell 7.1.

Strömmarna omfattar vattenmassan från ytan till ett djup av 20 meter och är baserade på det beräknade vattenutbytet mellan Norvikfjärden och området söder därom (S1, se figur 3.1). Uppskattningarna av möjlig utbredning för sedimentationen har därför avbrutits vid 20 meters djup. Samma strömhastigheter förutsatts gälla i hela det berörda området, även söder och norr om sundet. Resultaten ger information om strömförhållanden i de grunda områden (< 20 m) som framförallt är känsliga för påverkan från muddringsarbetena (grumling av sediment).

Tabell 7.1. Modellerade medelvärden av strömhastighet i sundet söder om Norvikfjärden (S1, se figur 3.1). Alla hastigheter anges i cm/s, negativa värden representerar sydgående ström. STD = standardavvikelse.

Djup	Höst (0901-1231)		Vinter (0101-0228)		Förvår (0301-0430)	
	Medel	STD	Medel	STD	Medel	STD
0 - 5 m	0,6	0,9	-0,2	0,4	-0,3	0,6
5 - 10 m	0,2	0,5	0,0	0,3	0,0	0,4
10 - 15 m	-0,5	0,6	0,1	0,3	0,3	0,4
15 - 20 m	-0,7	0,8	0,1	0,4	0,2	0,5

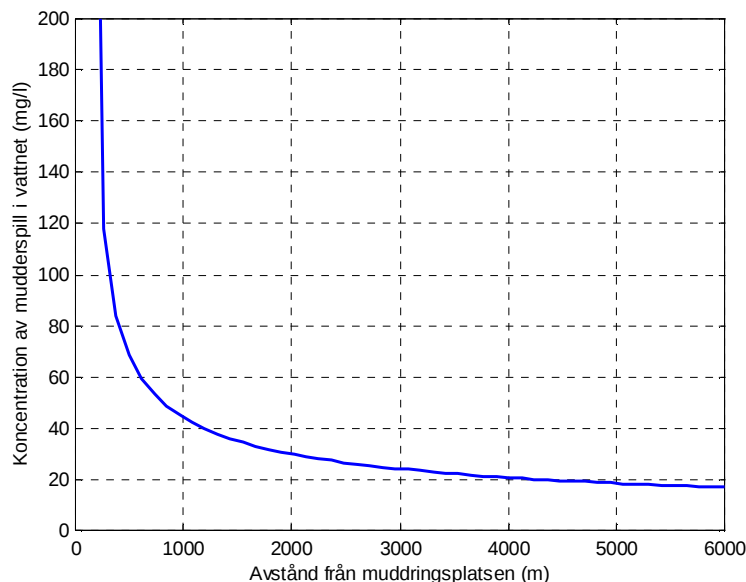
7.2 Grumling i Norvikfjärden

7.2.1 Grumling i samband med muddring

Förutsättningarna för beräkningar av hur det suspenderade materialet späds är följande:

- Lugna vindförhållanden (2 m/s).
- Bakgrundsströmmen är 1 cm/s och förutsätts gälla i hela området.
- Koncentrationen av finkornigt suspenderat material vid muddringsplatsen är 1000 mg/l.
- Grumlingen vid muddringsområdet sker jämt fördelat i hela vattenmassan, från ytan till botten.

I nuläget är det oklart vilken koncentration av suspenderat material som kan förväntas i omedelbar anslutning till muddringsplatsen, från tidigare erfarenheter bedöms generellt 2000 mg/l vara ett rimligt antagande⁹. Om man vidare antar att hälften av det suspenderade materialet är så finkornigt att det kommer att kvarstå i suspension under en längre tid, återstår en koncentration av suspenderat material på 1000 mg/l i vattenmassan.



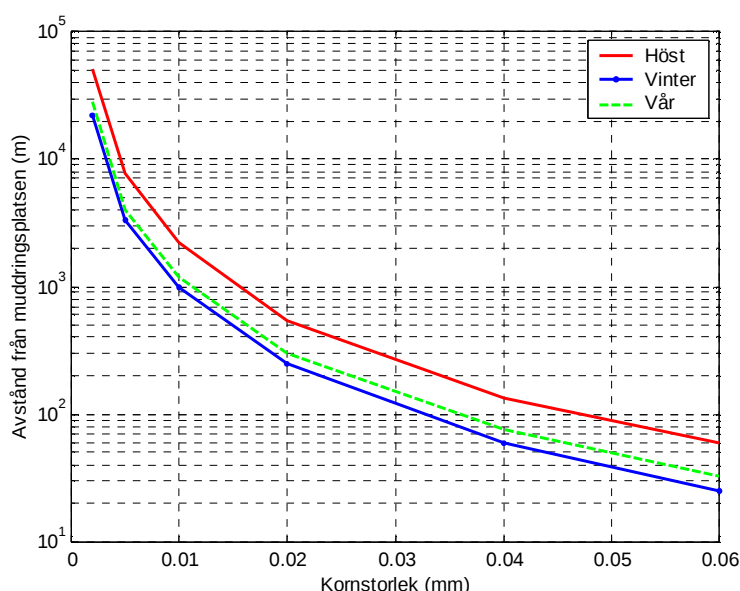
Figur 6.1. Uppskattad koncentrationsutveckling av suspenderat finkornigt material som förs bort av strömmen från muddringsplatsen.

⁹ Boskalis Sweden AB.

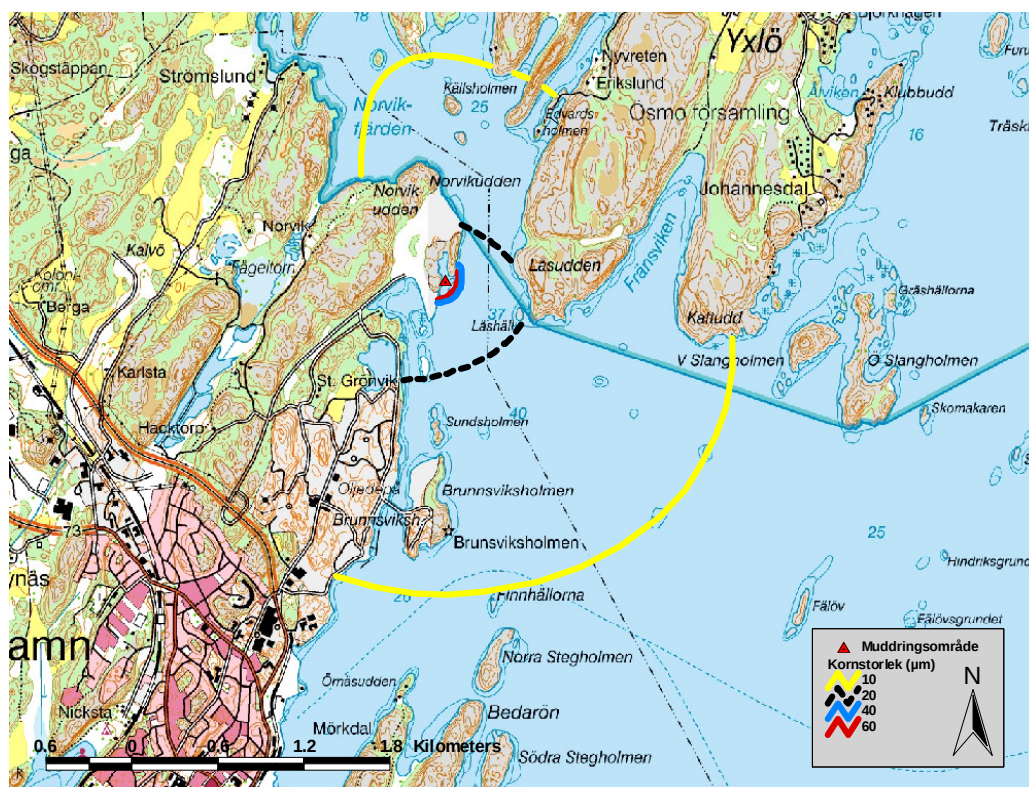
Beräkningen visar att intensiteten i utspädningen av det suspenderade materialet är mest intensiv i det inledande skedet. Efter ca 1000 meters transportsträcka och blandning har koncentrationen sjunkit till 40 mg/l och efter ca 4000 meter till 20 mg/l, se figur 6.1.

7.2.2 Tänkbara sedimentationsområden

Under hösten är de beräknade strömmarna något starkare än under vinter- och vårperioden, detta medför att sedimentation av grumlat sediment i ytvattnet under denna period uppskattas äga rum på ett större avstånd från muddringsplatsen jämfört med under vinter- och vårperioden, se figur 6.2 – 6.4.

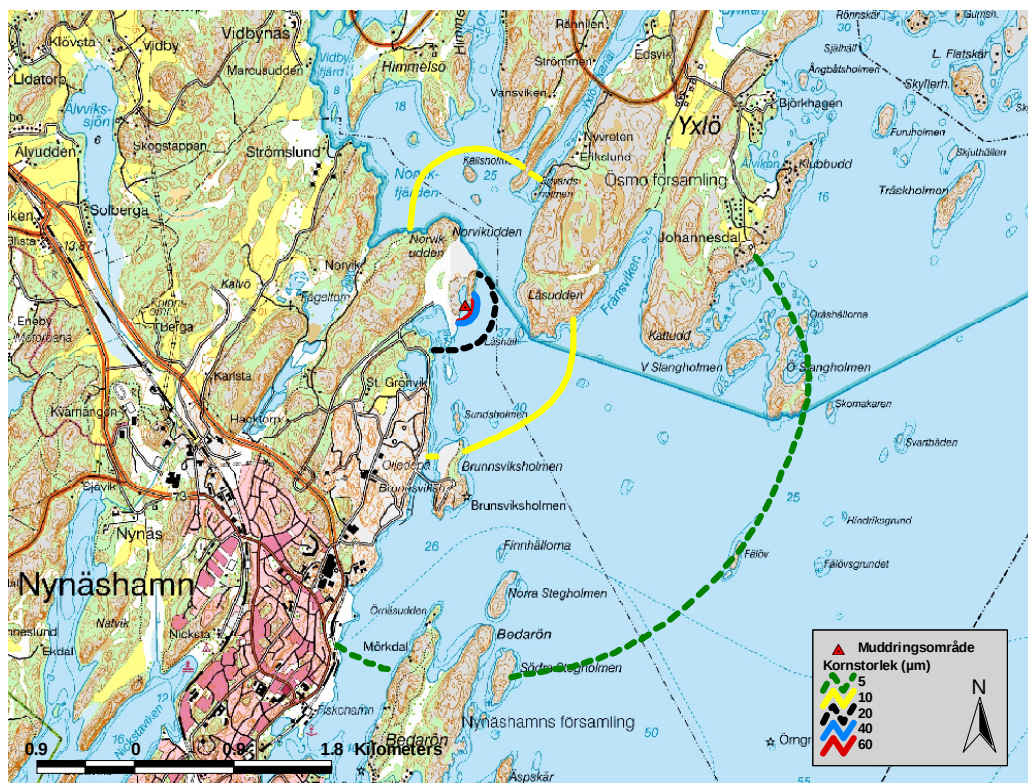


Figur 6.2. Ungefärliga avstånd i sydlig riktning från muddringsplatsen vid vilka suspenderat material uppskattas hunnit sjunka till ca 20 meters djup.



Figur 6.3. Under höstperioden är strömmarna något starkare jämfört med vinter- och vårperioden, de finaste partikelfraktionerna ($\leq 5 \mu\text{m}$) som är i suspension i ytan bedöms inte hinna sjunka till 20 meters djup i närområdet och finns därför ej representerade i figuren. Influensområdet för partiklar $\leq 5 \mu\text{m}$ är alltså större under höstperioden än under vinter- och vårperioderna, se figur 6.4.

Grumlingen vid muddringen antas ske likformigt i hela vattenmassan från ytan till botten. I figur 6.3 och 6.4 markerar varje linje utbredningen av sedimentation för partiklar med en viss kornstorlek som sätts i suspension i ytan. Om man istället antar att grumlingen sker i ett djupintervall från halva vattendjupet och till botten, då kommer den uppskattade utbredningen av sedimentation att flyttas närmare muddringsområdet



Figur 6.4. Beräkningarna för vinter- och vårperioden visar på likartad utbredning av sedimentationsområdena för eventuell grumling i ytan.

Beräkningen har bara kunnat göras till ett djup av 20 meter eftersom strömdata saknas för större djup. Linjerna i figur 6.3 och 6.4 beskriver ett uppskattat avstånd från muddringsplatsen där de finaste partiklarna, som satts i suspension i ytan, kommer att kunna nå 20 meters djup. Material i suspension hinner alltså transporteras en längre sträcka innan det sedimenterar i de områden där djupet överstiger 20 meter.

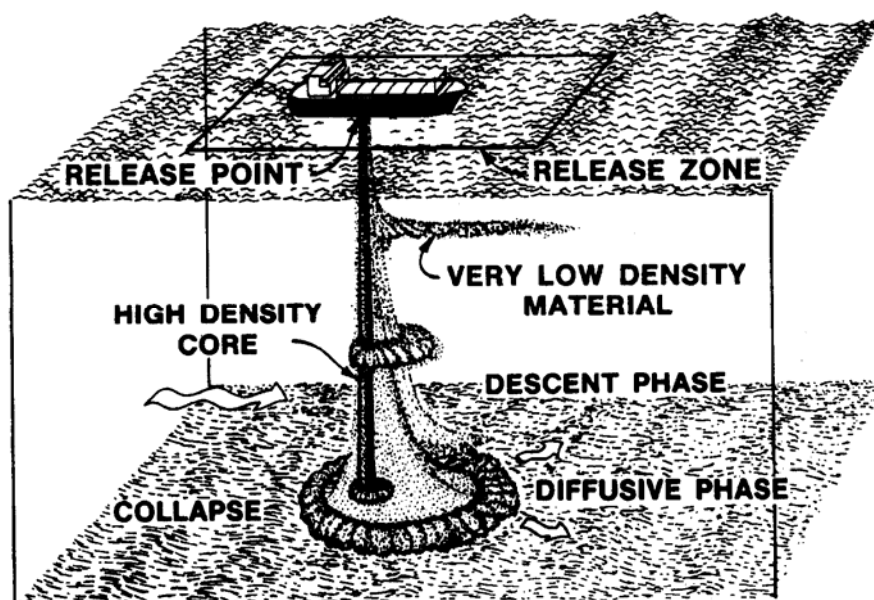
7.3 Grumling vid tippning av muddermassor

Vid tippning av muddermassor används ett flertal olika metoder. Den vanligaste metoden är att muddermassorna släpps från pråm och tillåts sjunka okontrollerat genom den fria vattenmassan direkt ner till deponin på botten.

En annan metod innebär att muddermassor uppblandade med vatten (slurry) pumpas från en pråm, genom pipeline, och släpps vid en position ovanför eller under vattenytan vid tippningsplatsen.

7.3.1 Tippning från pråm

Muddermassans rörelse i vattnet kan delas upp i tre olika faser där sjunkfasen är den första då muddermassan rör sig i en väldefinierad ström mot botten. Under nedfärden sker en kraftig medrivning av omkringliggande vatten och den turbulens som uppstår får till följd att en del sediment avskiljs och förloras till en sedimentplym i den omkringliggande vattenmassan. De faktorer som huvudsakligen styr hur mycket av bottenmaterialet som går förlorat är hur dess mekaniska egenskaper som exempelvis vatteninnehåll och plasticitet* har påverkats av själva muddringen.



Figur 6.5. Schematisk presentation av transportprocesser i samband med mudderdumpning. (bild från Pequegnat et al. 1981)

I den andra fasen når sedimentet botten och den sammanhängande sedimentströmmen kollapsar. I sällsynta fall kan sedimentströmmen slås sönder om en pyknoklin* (täthetssprångskikt) med samma eller större densitet som sedimentströmmen befinner sig i dess väg. En del av det dumpade materialet lägger sig nu direkt tillrätta på botten och en del rör sig radiellt ut från nedslagsplatsen i en slamström* (turbidit). Slamströmmar av denna typ kan röra sig mycket långt beroende på bottenlutning och avgränsningar i topografin. I en studie från Chesapeake Bay, på den amerikanska ostkusten

transporterades bottenmaterial 1500 meter från dumpningsplatsen¹⁰. När tillräckligt mycket av slamströmmens rörelseenergi avklingat, eller ett bottentopografiskt hinder påträffas, avstannar rörelsen och partiklarna i strömmen sedimenterar i snabb takt.

I den tredje och sista fasen har det mesta av materialet i slamströmmen sedimenterat och endast det mest finkorniga materialet i slamströmmen finns kvar i suspension. Sedimentationen sker nu i långsammare takt och spridningen sker diffusivt istället för genom att materialet transporteras av strömmen, som i fas ett och två.

I en sammanställning av fem amerikanska fältstudier av dumpning av muddermaterial i "open-water" förhållanden¹¹ framgår att man förlorar mellan 1 och 5 % av den totala mängden dumpat material (massa) i den övre delen av vattenmassan. Den övre delen av vattenmassan omfattar i detta fall vattenmassan ovanför den slamström som utvecklas vid botten. Studierna visar också att den initiala tjockleken på sagda slamström är beroende av djupet på tipplatsen och uppgår till 15-20% av det totala vattendjupet¹².

För att uppskatta vilken grumling som kan förväntas i samband med tippning av muddermassor krävs ytterligare information om storlek på pråmarna och mängden massor som dumpas vid varje tillfälle, samt det förväntade vatteninnehållet i det muddrade materialet.

7.3.2 Pumpning från pråm

Denna metod innebär att muddermassorna blandas med vatten och pumpas från pråm via pipeline som förs ner i vattenmassan. Utsläppspunkten kan med denna metod placeras nära botten vilket leder till att mellan 95 och 99 % av de pumpade muddermassorna når botten¹³.

¹⁰ Halka et al. 1994. Assessing the Fate of Dredged Sediments Placed in Open-Water Sites, Northern Chesapeake Bay.

¹¹ Truitt, Clifford L. 1986. Environmental Effects of Dredging, Technical Note, Fate of Dredged Material During Open-Water Disposal, Technical Note EEDP-01-2, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.

¹² Sustar, J. Wakeman, T. 1977. Dredge Material Study for Clamshell Dredging and Disposal Activities, US Army Engineer District New York.

¹³ Underflow Spreading from an Open-Water Pipeline Disposal, DOER 2000.

När materialet når botten uppträder det som en slamström vars utbredning på botten styrs av den egna densiteten samt bottenlutningen i området. Sedimentationsförloppet liknar därmed det som beskrivs under fas 2 och 3 vid tippning direkt från pråm.

8 Slutsatser

Bedömningarna om sedimentation i Norvikfjärdens närområde, samt grumlighet på varierande avstånd från muddringsplatsen, bygger på ett flertal antaganden angående hydrografi, sedimentdynamik m.m. Utredningens resultat skall därför betraktas som en översiktlig beskrivning av vilka förhållanden som kan förväntas i närområdet under muddringsarbetet och vid tippning av muddermassor.

8.1 Uppskattade strömmar i Norvikfjärden

Uppskattningarna visar att strömmarna i sundet mellan Norvikfjärden och Mysingen ligger i storleksordningen 1 cm/s, se tabell 7.1. Starkast strömmar har uppskattas för höstperioden då ytvattnet i de grunda fjärdarna kyls av. Vatten sjunker då och rör sig ut mot Östersjön på större djup, samtidigt uppstår en motriktad ytlig inström.

De planerade anläggningsarbetena bedöms inte kunna resultera i någon signifikant förändring av *cirkulationsmönstret* i Norvikfjärden. Detta eftersom planerade kajer och pirar inte medför någon omedelbar blockering för in- och utflödet till Norvikfjärden. Eventuella fördjupningar i närheten till hamnplan kommer däremot att leda till att större tvärsnittsareor blir tillgängliga för vattenutbyte vilket sannolikt leder till förändringar i *strömhastigheten*. Förändringarna skattas som små.

8.2 Uppskattning av grumlighet i samband med muddring

Spädningen av det suspenderade materialet är intensiv i inledningsskedet för att sedan avklinga på större avstånd från muddringsplatsen. Beräkningen visar att koncentrationen har sjunkit från det uppskattade initialvärdet 1000 mg/l till ca 45 mg/l redan på ett avstånd av ca 1000 meter från muddringsplatsen. På ca 4000 meters avstånd har koncentrationen av suspenderat material i vattenmassan hunnit spädas till ca 20 mg/l, se figur 6.1.

8.3 Uppskattningar av sedimentationsområden

Beräkningarna för *höstperioden* tyder på att de grövre kornstorleksfraktionerna inom siltintervallet 60-10 μm som satts i suspension i ytan hinner sjunka till ett djup av 20 meter inom ett avstånd på ca 2000 m från muddringsområdet. Gränsen för sedimentationen av de finaste kornstorleksfraktioner ($<5 \mu\text{m}$) uppskattas ligga på stort avstånd från muddringsplatsen och finns därför ej representerade i figur 6.3.

Sedimentationens utbredning är likartad för *vinter- och vårperioden*. Beräkningarna tyder på att de grova kornstorleksfraktionerna inom siltintervallet (60-10 μm) som satts i suspension i ytan hinner sjunka till ett djup av 20 meter inom ett avstånd på ca 1000 m från muddringsområdet. Finare kornstorleksfraktioner ($<5 \mu\text{m}$) bedöms kunna nå 20 metersnivån på ett avstånd av mellan 3000 – 4000 meter från muddringsområdet.

8.4 Grumling i samband med tippning av muddermassor

Olika utredningar och studier över förluster av muddermassor som kan förväntas i samband med tippning visar samstämmigt ligga i intervallet 1 – 5 % av massan hos det tippade materialet.

Vad detta motsvarar i grumlighet vid de alternativa tipplatserna beror av ett flertal idag okända faktorer. Till dessa hör:

- **Muddringsmetod.** Beroende på vilken muddringsmetod som väljs (sugmuddring, skopmuddring) påverkas sedimentets struktur med resultatet att vatteninnehållet i det dumpade materialet ökar mer eller mindre.
- **Tippningsmetod.** Plymen av suspenderat material kommer att beröra olika delar vattenpelaren beroende på om muddermassorna tippas direkt från pråm eller pumpas via pipeline till deponin.
- **Storlek på pråmar.** Om tippning sker direkt från pråmar kommer mängden muddermassor (pråmarnas lastvolym) som dumpas vid varje tillfälle att ha betydelse för grumlingen.

9 Ordlista

Seich	En stående våg i ett havsområde eller i en sjö. Fenomenet uppstår exempelvis då vatten som pressats upp av vinden mot en kustlinje, eller mot stranden i en sjö, strömmar tillbaka efter att vinden avtagit. Den våg som då uppstår kan liknas vid den som kan uppstå i ett badkar.
Estuarium	Havsområde som karaktäriseras av en skiktad vattenmassa där ett utflödande lättare sötvatten från exempelvis en flod, utvecklar ett skikt ovanför det tyngre havsvattnet vid kusten där floden mynnar.
Estuarin cirkulation	Uppstår då det utflödande flodvattnet i estuariets ytskikt underifrån blandar in vatten från det saltare havsvattnet i djupskiktet. Resultatet blir en motriktad inström av saltvatten i djupskiktet under det utströmmande sötare ytvattnet.
Slamström (turbidit)	En ström av vatten med mycket höga halter av suspenderat material som rör sig längs sluttande botten. Strömmen kan transportera material avsevärda sträckor och upphör först när bottenlutningen upphör, eller då strömmen stöter på ett fysiskt hinder.
Bioturbation	Innebär att det sker en omblandning av det översta skiktet i ett sediment av på grund av biologisk aktivitet.
Plasticitet	Förmågan hos ett material att behålla en formändring som uppstått vid mekanisk belastning efter att belastningen upphört.
Batymetri	Topografiska bottenförhållanden.

Pyknoklin	Ett täthetssprångskikt mellan vattenmassor med skilda densiteter, exempelvis i ett estuarium mellan sötare ytvatten och saltare bottenvatten.
Limnisk miljö	Sötvattensmiljö.