

PM Lövsta

Detaljerad analys av sediment- och ämneskoncentrationer utanför muddringsområdets gräns och inverkan av transportprocesser i Lövstafjärden

Sammanfattning

Föreliggande dokument syftar till att komplettera den tidigare utredningen om förutsättningar för sedimentspridning under muddringsarbeten med detaljerade analyser av:

- Sedimentkoncentrationer utanför muddringsområdets gräns. Denna analys utförs för att förfina resultat vad gäller lokala sedimentkoncentrationer under muddringsarbeten och kan användas som stöd vid definition av både kontrollprogrammet och villkorsförslag.
- Inverkan av transportprocesser på sediment- och ämneskoncentrationer i Lövstafjärden och vid Görvälns och Lovöns råvattenintagen. Denna analys utförs för att redovisa sambandet mellan korttidsvariationer av sedimentkoncentrationer i närheten av muddringsområdet och den geografiska variationen av bottenmaterialets egenskaper och hur dessa utvecklas och fortplantas längre bort från arbetsområdet.

Slutsatser från dessa analyser sammanfattas nedan:

- I området strax utanför muddringsområdets gräns kan större variationer i sediment- och ämneskoncentrationer härröra från kortvariga variationer av muddringstakt, strömmar och sedimentegenskaper (inkl. föroreningshalter).
- Dessa kortvariga variationer av sediment- och ämneskoncentrationer minskar sedan progressivt vid transport mot och i Lövstafjärden samt på längre avstånd mot t.ex. råvattenintagen (Görväln och Lovön) där de största sediment- och ämneskoncentrationerna i princip endast beror av den totala mängden muddrat material samt, i mindre grad, av de lokala strömmarna.
- Transportprocesserna i Lövstafjärden (främst strömmar, turbulens och dispersion) bidrar till att dämpa ut inverkan av den geografiska variationen av bottenmaterialets egenskaper inom muddringsvolymen. Inverkan av denna variation bedöms vara försumbar när föroreningen når råvattenintagen.
- Resultat från den utförda statistiska analysen visar att samma slutsats gäller avseende inverkan av variationen av de andra inputparametrarna som har ansatts i utförda hydrodynamiska simuleringar.

Det kan därmed konstateras att analysens beräkningar och bedömningar är robusta och risken för att något ämne skulle överskrida aktuella riktvärden vid Görvälns eller Lovöns råvattenintag är försumbara.

1. Inledning och syfte

Analys av sedimentspridningen som orsakas av planerade muddringsarbeten i Lövsta hamn har redovisats i rapporten "Spridningsberäkningar vid muddring av bottensediment" (Sweco, 2020-11-02). Denna rapport benämns huvudrapporten och motsvarar Bilaga E18a till tillståndsansökan. I denna rapport redovisas förväntade sediment- och ämneskoncentrationer vid ett antal punkter i närheten av muddringsområdet samt i Lövstafjärden och vid råvattenintagen Görvåln och Lovön. Resultat baseras på tredimensionella hydrodynamiska modellberäkningar som har utförts för 20 st. beräkningsscenarioer. Varje beräkningsscenario har definierats med syfte att analysera inverkan av övriga antaganden och inputparametrar som påverkar strömnings- och spridningsförhållanden.

Syftet med detta PM är att komplettera utredningen med detaljerade analyser av:

- Sedimentkoncentrationer utanför muddringsområdets gräns. Denna analys utförs för att förfina resultat vad gäller lokala sedimentkoncentrationer under muddringsarbeten och kan användas som stöd vid definition av både kontrollprogrammet och villkorsförslag.
- Inverkan av transportprocesser på sediment- och ämneskoncentrationer i Lövstafjärden. Denna analys utförs för att redovisa sambandet mellan korttidsvariationer av sedimentkoncentrationer i närheten av muddringsområdet och den geografiska variationen av bottenmaterialets egenskaper och hur dessa utvecklas och fortplantas längre bort från arbetsområdet.

2. Använt beräkningsscenario

I rapporten "Spridningsberäkningar vid muddring av bottensediment" (Sweco, 2020-11-02) har 20 st. beräkningsscenarioer definierats och simulerats. Beräkningsscenarioerna baseras på variation av följande parametrar:

- Andel spill.
- Sedimentfraktioner.
- Vindförhållanden.
- Temperaturskiktning.
- Bakgrundsströmmar.

Hydrodynamiska simuleringar har utförts dels med en lokal modell, dels med en regional modell. Den lokala modellen, som avgränsas till Lövstafjärden, har generellt en högre upplösning, både i horisontal- och vertikalled, särskilt i närheten av Lövsta. Den regionala modellen har en något lägre upplösning i Lövstafjärden men täcker hela Östra Mälaren vilket möjliggör att analysera modellresultat utanför Lövstafjärden (t.ex. vid råvattenintagen).

För analys av sedimentkoncentrationer strax utanför muddringsområdet är därmed scenarierna som har simulerats med den lokala modellen de mest lämpliga. Vissa scenarier som simulerades i den regionala modellen har dock inte simulerats i den lokala modellen då spridningsförhållanden strax utanför muddringsområdet inte uppvisar stora skillnader för scenarier med olika vind-, strömnings- och skiktningförhållanden. Detta är ett förväntat resultat eftersom det krävs viss spridning över ett visst avstånd för att inverkan av dessa parametrar ska hinna verka.

Analys av sedimentkoncentrationer utanför muddringsområdets gräns baseras på scenario 1 från huvudrapporten, simulerat i den lokala modellen. Detta scenario baseras på följande konservativa antaganden och parametrar:

- Muddringsperiod: 30 dagar (samma för alla undersökta scenarier).
- Andel spill: 5% av muddrad volym.
- Sedimentfraktioner:
 - Lera och organiskt material: 19 % (antas vara viktlös, dvs. sedimenterar ej).
 - Siltig lera: 38 % (scenario fallhastighet 1 enligt huvudrapporten, med långsammare fallhastigheter jämfört med scenario fallhastighet 2 motsvarande "silt", vilket är konservativt).
 - Sand: 43 % (simuleras ej, förväntas sedimentera mycket snabbt).
- Medelvindförhållanden.
- Ingen temperaturskiktning.
- Inga bakgrundsströmmar i Östra Mälaren och Lövstafjärden (konfigurationen liknar därmed en inlandsjö). Detta minskar utspädningen och ökar sedimentkoncentrationen i vattenområdet.

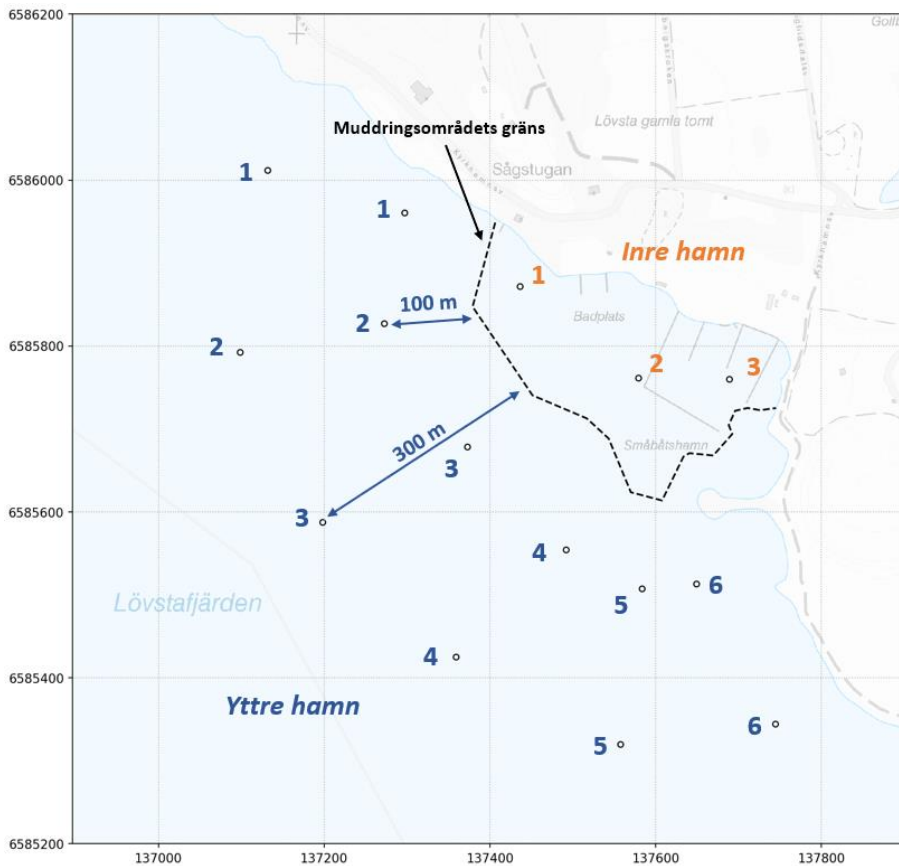
Detta scenario, som anses motsvara utredningens basscenario, grundar sig på konservativa antaganden för andel spill, sedimentfraktioner och bakgrundsströmmar. Det är också det mest relevanta scenariot för att analysera modellresultat i närheten av muddringsområdet (med hjälp av den lokala, hög upplösta, modellen) samt transportprocesser i Lövstafjärden.

3. Sedimentkoncentrationer 100 m och 300 m utanför muddringsområdets gräns

Detta kapitel beskriver förväntade sedimentkoncentrationer i närheten av muddringsområdet och kan således utgöra underlag för kontrollprogram och villkorsförslag för att styra muddringsprocessen.

I rapporten "Spridningsberäkningar vid muddring av bottensediment" (Sweco, 2020-11-02) har sedimentkoncentrationer redovisats dels vid tre punkter inom muddringsområdet ("Inre hamn"), dels vid sex punkter lokaliserade 300 m utanför muddringsområdets gräns ("Yttre hamn"). I detta PM redovisas även sedimentkoncentrationer vid sex nya punkter lokaliserade 100 m utanför muddringsområdets gräns. Lokalisering av punkterna redovisas i Figur 1.

Det bör noteras att alla redovisade resultat avser bidrag som orsakas av muddringsarbeten, bakgrundskoncentrationer inkluderas ej.



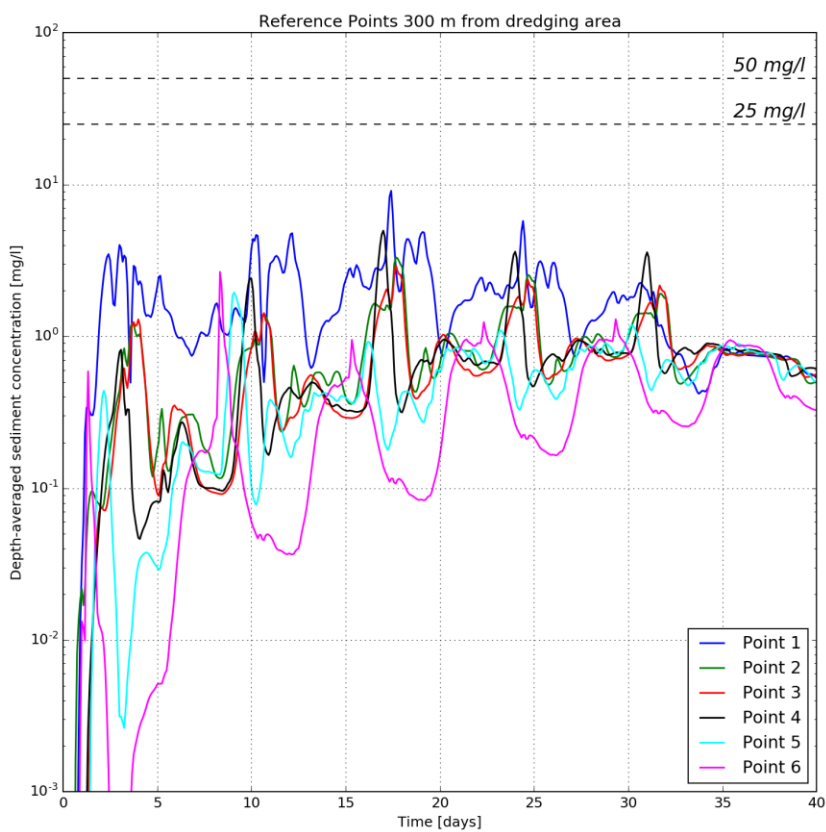
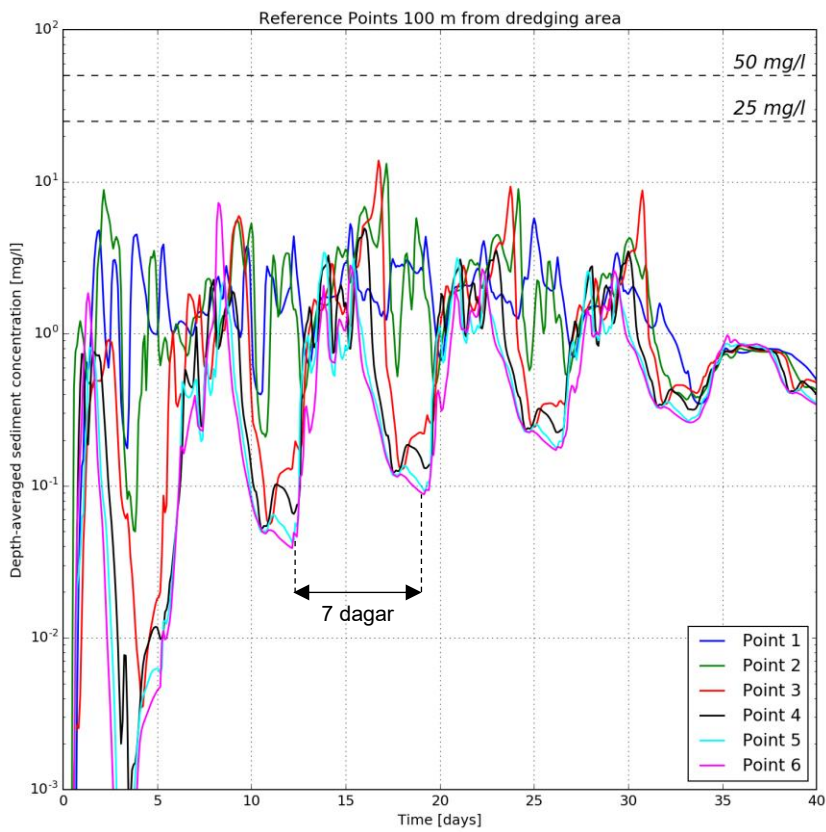
Figur 1. Lokalisering av referenspunkterna för inre och yttre hamn. SWEREF 99 1800.

Resultat innanför muddringsområdet ("Inre hamn") redovisas i huvudrapporten.

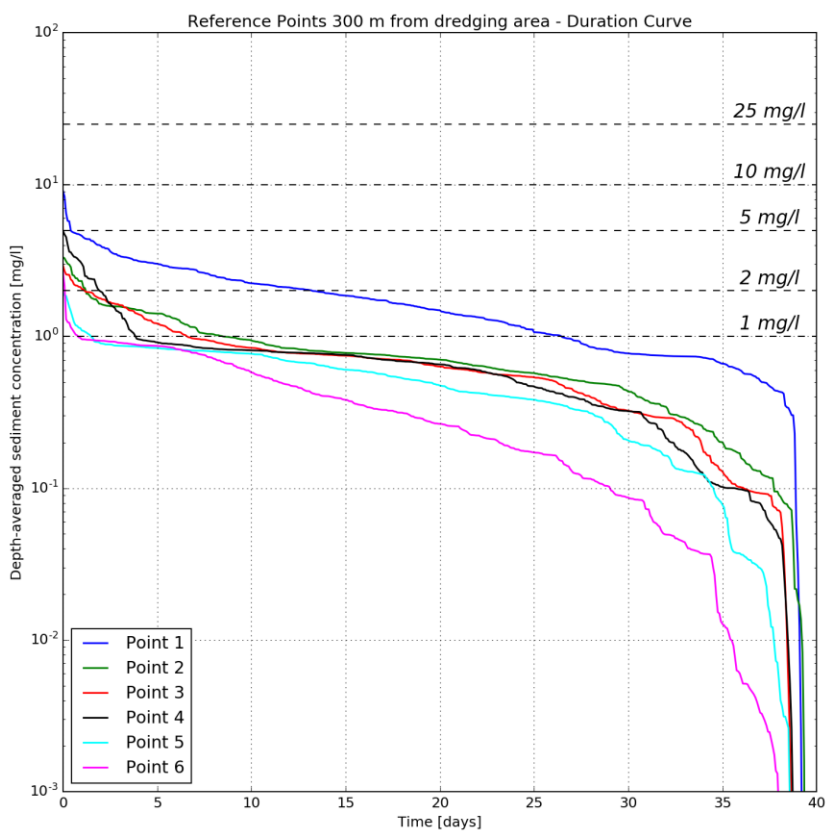
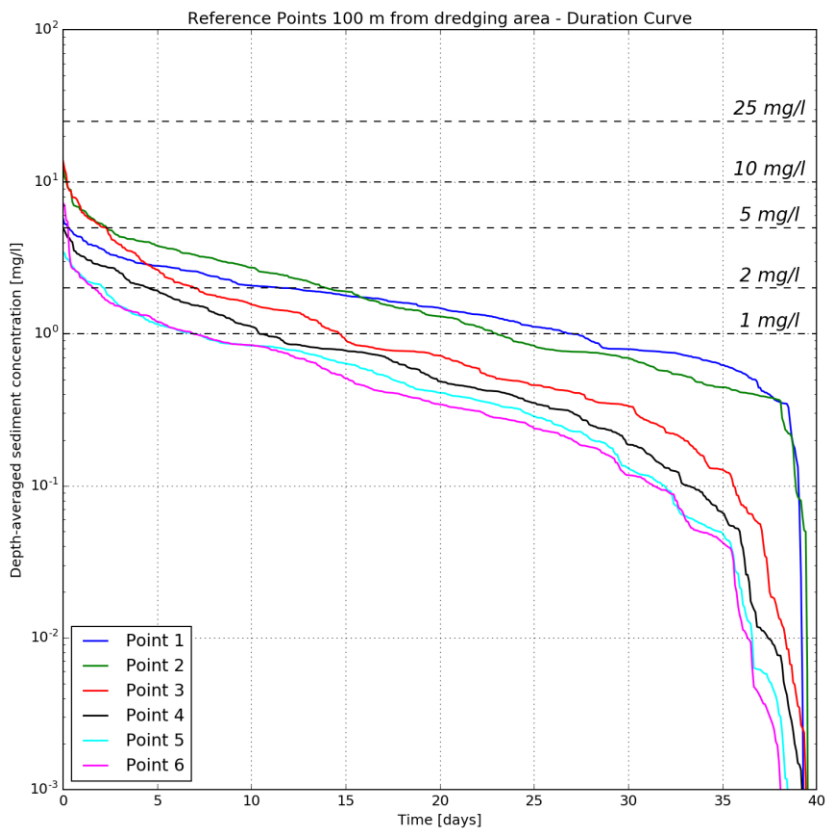
Tidsserier med djupmedelvärden för sedimentkoncentrationer 100 m och 300 m utanför muddringsområdets gräns redovisas i Figur 2. Ett djupmedelvärde av sediment- eller ämneskoncentration är medelvärdet av koncentrationen mellan vattenytan och botten.

Analys av tidsserierna visar att sedimentkoncentrationer uppvisar dels långvariga, dels kortvariga variationer. De långvariga variationerna, tydligast vid punkt 6, har en period på ca 7 dagar och motsvarar perioden av vindsekvensen som används i beräkningarna. De kortvariga variationerna beror främst på lokala strömmar som bildas inom hamnområdet.

För att underlätta tolkningen av dessa figurer har tidsserierna konverterats till varaktighetskurvor, där samtliga värden för sedimentkoncentrationer vid varje punkt har sorterats i fallande ordning, se Figur 3. Dessa varaktighetskurvor ger därmed information om hur länge en viss sedimentkoncentration överskrids vid respektive punkt. Det bör noteras att erhållen varaktighet utgörs av summan av enskilda tidsperioder då sedimentkoncentrationer överskrider ett visst värde och ger därmed inte information om varaktigheten för sammanhållna perioder.



Figur 2. Tidsserier för djupmedelvärden av sedimentkoncentrationer vid sex punkter lokaliserade 100 m (övre figur) och 300 m (nedre figur) utanför muddringsområdets gräns. Scenario 1.



Figur 3. Varaktighetskurvor för djupmedelvärden av sedimentkoncentrationer vid sex punkter lokaliserade 100 m (övre figur) och 300 m (nedre figur) utanför muddringsområdets gräns. Scenario 1.

En sammanställning av resultat vad gäller både maximala (momentana värden) för djupmedelvärden av sedimentkoncentration och varaktighet för sedimentkoncentration redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Sammanställning av simulerade djupmedelvärden för sedimentkoncentrationer 100 m och 300 m utanför muddringsområdets gräns.

Läge	Max. sedimentkoncentration (*)	Total varaktighet för perioder av specifika sedimentkoncentrationer: (**)			
		> 10 mg/l	> 5 mg/l	> 2 mg/l	> 1 mg/l
100 m	~ 15 mg/l	< 1 dygn	1-2,5 dygn	2-15 dygn	7-27 dygn
300 m	~ 10 mg/l	< 1 dygn	< 1 dygn	1-14 dygn	1-27 dygn

*Motsvarar maximal sedimentkoncentration under hela simuleringen och vid alla sex punkter.

**Angivna intervall motsvarar variationen mellan de sex olika referenspunkterna vid 100 m och 300 m (se Figur 1).

Som det framgår av Figur 2 och 3 uppstår de största koncentrationerna i norr, d.v.s. vid punkterna 1-3. Sedimentkoncentrationerna är förhållandevis lägre i söder vid punkterna 4-6, särskilt vid 300 m.

Dessa resultat indikerar att de maximala djupmedelvärdena för sedimentkoncentration ligger i storleksordning 10-15 mg/l mellan 100 och 300 m från muddringsområdet. Dessa värden motsvarar de största värdena som har erhållits i simuleringen där resultat sparas varje 4:e timme. Det kan inte uteslutas att högre koncentrationsvärden inträffar under kortare perioder p.g.a. naturlig variation i sedimentegenskaper, vindförhållanden, turbulens och vid ojämn muddringstakt, se diskussion i kapitel 5. Maximala värden på 10-15 mg/l bedöms dock vara ett rimligt mått för tidsmedelvärde vad gäller förväntade djupmedelvärden av sedimentkoncentration under några timmar.

Sedimentkoncentrationer större än 5 mg/l förväntas uppkomma upp till en total varaktighet motsvarande ett par dagar (2,5) under 30-dagars muddringsperioden. Sedimentkoncentrationer större än 2 mg/l förväntas uppkomma med längre varaktigheter, upp till ca två veckor sammanlagt. Det bör noteras att angivna varaktigheter motsvarar summan av alla perioder under vilka sedimentkoncentrationen överskrider respektive tröskelvärden. Sedimentkoncentrationer större än 1 mg/l förväntas uppkomma upp till fyra veckor sammanlagt vid vissa punkter, d.v.s. under nästan hela muddringsperioden som har antagits i beräkningarna (30 dagar).

4. Inverkan av transportprocesser på sedimentkoncentrationer i Lövstafjärden

Detta kapitel beskriver förväntade sedimentkoncentrationer längre bort från muddringsområdet, i Lövstafjärden och vidare ca 4 km norrut mot Görvälns vattenintag respektive ca 6 km söderut mot Lovöns vattenintag.

De transportprocesser som har störst inverkan på spridningsförhållandena i Lövstafjärden och utanför listas nedan:

- **Strömmar.** Lokala strömmar påverkas av rådande vindförhållanden (vindriktning och vindstyrka), naturliga bakgrundsströmmar inkluderat tillrinning till och tappning av Mälaren (hydrologi) samt av temperaturskiktning. Strömmarna är den dominerande transportprocessen för suspenderat sediment i området. Strömningsriktningen brukar variera i djupled (flerlayersströmning).
- **Turbulens och dispersion.** Turbulens och dispersion förekommer i vattendrag och sjöar och bidrar till att homogenisera vattnets egenskaper inom vattenmassan. Deras omfattning är beroende av strömningshastigheter, friktion mot botten, vindstyrka, vågor mm.

Strömmarna agerar därmed som en transportvektor medan turbulens och dispersion bidrar till omblandning och utspädning av suspenderat material från spill med omgivande vatten, detta i hela systemet från muddringsområdet till Lövstafjärden och utanför. Båda processerna simuleras i de hydrodynamiska simuleringarna som utfördes inom ramen av detta projekt.

Detta innebär att ju längre transportavstånd desto större homogenisering av grumlingens egenskaper sker. Detta innebär i sin tur att de kortvariga variationerna av sedimentkoncentrationer som observeras i närheten av muddringsområdet progressivt kommer att avta vid spridning i Lövstafjärden och utanför.

Med andra ord, i närheten av muddringsområdet kan lokala effekter så som vind, strömmar och muddringstakt generera kortvariga variationer som ger upphov till fluktuationer av sedimentkoncentrationen, med både kortvariga höga och låga toppar, relativt ett tidsmedelvärde. Längre bort från muddringsområdet kommer dock dessa fluktuationer att avta och deras amplitud blir progressivt försumbar i förhållande till sedimentkoncentrationens tidsmedelvärde.

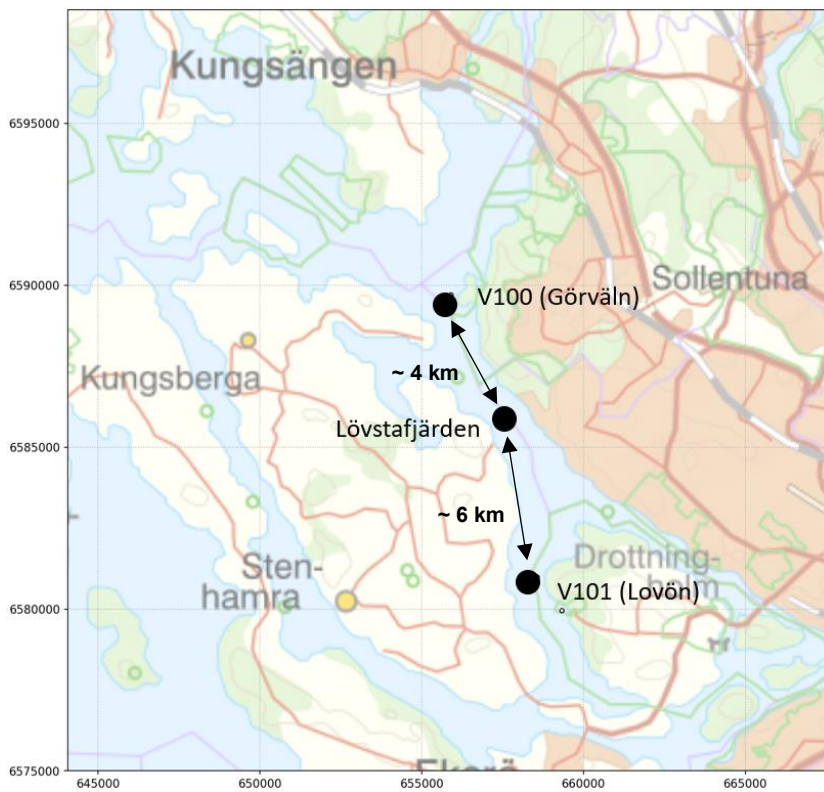
En annan viktig aspekt är att oavsett amplituden för de kortvariga fluktuationer som kan ske lokalt, förändras inte mängd suspenderat material vid transport mellan muddringsområdet och Lövstafjärden samt utanför (bortsett från naturlig sedimentering förstås).

För att illustrera detta kan tidsserier för sedimentkoncentrationer analyseras vid följande lägen (se Figur 4):

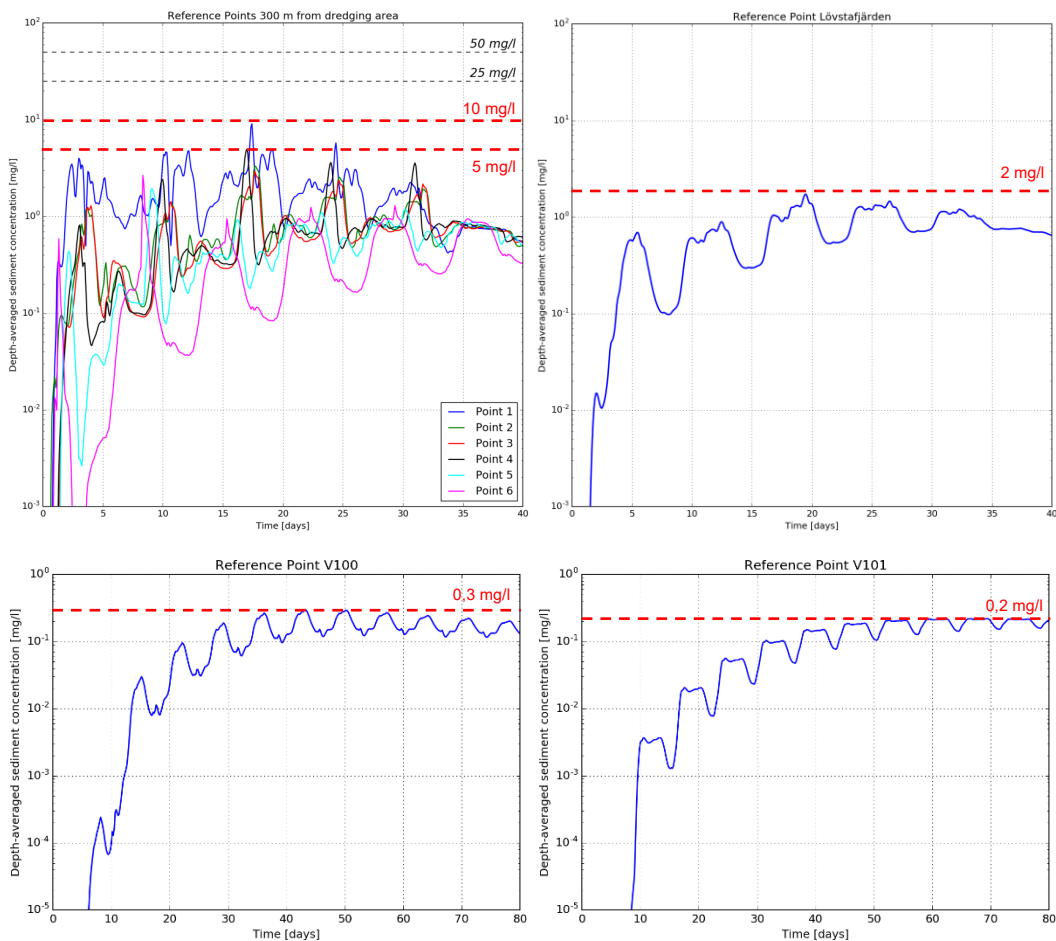
- Referenspunkterna 300 m från muddringsområdets gräns.
- Referenspunkt "Lövstafjärden" som ligger i mitten av fjärden utanför Lövsta.
- Referenspunkt V100 för Görvälns råvattenintag.
- Referenspunkt V101 för Lovöns råvattenintag.

En tidsserie är en graf som visar utvecklingen av en variabel eller parameter (exempelvis sedimentkoncentration) över tid.

Tidsserierna motsvarar scenario 1 och redovisas i Figur 5.



Figur 4. Lägen för redovisning av tidsserierna vid referenspunkter för Löfstafjärden samt Görvälns och Lovöns råvattenintag.



Figur 5. Tidsserierna av djupmedelvärde av sedimentkoncentration vid de sex referenspunkterna lokaliserade 300 m utanför muddringsområdets gräns samt vid referenspunkterna för Lovstafjärden, Görvälns (V100) och Lovöns (V101) råvattenintag. Scenario 1. De röda streckade linjerna indikerar de högsta sedimentkoncentrationerna under hela simuleringen vid respektive läge. Resultat 300 m utanför muddringsområdet och vid referenspunkt för Lovstafjärden är från den lokala modellen (simuleringsperiod 40 dagar) medan resultat vid råvattenintagen är från den regionala modellen (simuleringsperiod 80 dagar).

Analysen visar att de kortvariga variationerna som syns 300 m från muddringsområdet har dämpats ut vid referenspunkterna för Lovstafjärden samt för Görvälns och Lovöns råvattenintag. Vid dessa punkter observeras endast långvariga variationer av de största sedimentkoncentrationerna, vilka är kopplade till vindsekvensens period (7 dagar) som används i simuleringen.

Tidsserierna visar dessutom hur de högsta sedimentkoncentrationerna minskar vid transport och utspädning (samt även sedimentering) i Lovstafjärden. De största koncentrationerna minskar med en faktor 5 mellan 300 m från muddringsområdet (10 mg/l) och referenspunkten för Lovstafjärden (2 mg/l), samt med ytterligare en faktor ca 10 mellan Lovstafjärden och råvattenintagen (0,2-0,3 mg/l). Tidsserierna vid Görväln och Lovön karaktäriseras av en långvarig och flack topp (bortsett från de veckovisa variationerna som genereras av vindsekvensen) vilket innebär att grumlingen från spill kraftigt har homogeniserats vid transport från Lövsta. De största sedimentkoncentrationerna vid bägge råvattenintagen ligger dessutom i samma storleksordning (0,2-0,3 mg/l), vilket visar på att dessa endast beror på total mängd spill från muddring samt vattenvolymen i hela vattensystemet.

I utredningsskedet har en diskussion mellan Sweco, Norrvatten och Stockholm Vatten och Avfall skett kring bland annat risk för olyckor vid t.ex. en tappad skopa i närheten av muddringsområdet. Inom ramen för denna diskussion har Norrvatten utfört en simulering

av ett sådant scenario med hjälp av den s.k. "Mälarmodellen", som är en liknande hydrodynamisk modell som den som använts i Swecos utredning. Resultat från denna beräkning, som baserades på en skopa med kapacitet 10 ton som släpps ut i vattnet momentant, visade att störst sedimentkoncentration vid Görvälns och Lovöns råvattenintag ligger i storleksordning 0,0043 mg/l respektive 0,0015 mg/l (information om simulerad sedimentkoncentration i närheten av muddringsområdet har dock ej redovisats). Dessa sedimentkoncentrationer motsvarar ca 1,4 % (Görväl) och 0,8 % (Lovön) av de största simulerade sedimentkoncentrationerna vid bägge råvattenintag vid scenario 1 (0,3 mg/l respektive 0,2 mg/l, se ovan). En olycka av sådan karaktär, som kan anses motsvara ett mycket extremt fall för kortvariga, oönskade variationer av sedimentkoncentrationen till följd av kraftigt avvikande muddringstakt, har försumbar påverkan på sedimentkoncentrationer vid råvattenintagen. Denna simulering är ett bra exempel på hur transportprocesser i Lövstafjärden bidrar till att dämpa ut kraftiga och kortvariga variationer som kan ske i närheten av muddringsområdet.

Sammanfattningsvis, denna analys visar att potentiellt stora och kortvariga variationer av sedimentkoncentrationer kan förekomma i området strax utanför muddringsområdets gräns. I detta område kan de största koncentrationerna orsakas av kortvariga variationer av muddringstakt, strömmar och sedimentegenskaper. Dessa variationer minskar sedan progressivt vid transport mot och i Lövstafjärden samt utanför mot t.ex. råvattenintagen där de största sedimentkoncentrationerna i princip endast är beroende av den totala mängden muddrat material samt, i mindre grad, av de lokala strömmarna. Kortvariga variationer av sedimentkoncentrationer strax utanför muddringsområdets gräns har därmed försumbar inverkan på sedimentkoncentrationerna vid råvattenintagen.

Slutligen, resultat från denna analys har kompletterats med resultat från de övriga beräkningsscenarierna som har simulerats och redovisats i huvudrapporten för att ta fram en kvalitativ bedömning av inverkan av aktuella processer kopplade till muddringsarbeten och naturliga fenomen på de största sedimentkoncentrationerna i närheten av muddringsområdet samt vid råvattenintagen (se Tabell 2). Syftet med denna tabell är att, på ett enklare sätt, redovisa vilka processer och fenomen har störst inverkan antingen lokalt vid muddringsområdet eller vid råvattenintagen.

Tabell 2. Inverkan av aktuella processer kopplade till muddringsarbeten och naturliga fenomen på de största sedimentkoncentrationerna i närheten av muddringsområdet samt vid råvattenintagen (Görväl och Lovön). Använd bedömningsskala för påverkansfaktorn (ökning eller minskning): Försumbar (< 10%), Begränsad (10%-100%), Måttlig (100%-1000%), Stor (> 1000%). Bedömningen är relativt scenario 1.

Processer / fenomen	Inverkan i närheten av muddringsområdet	Inverkan vid råvattenintagen
Kortvariga variationer av andel spill eller muddringstakt	Måttlig till stor på korttid (< ett dygn), begränsad på längre tid (> ett par dygn)	Försumbar
Variationer av total mängd muddrat material (ex. totalt 10-20% större än planerat)	Försumbar	Begränsad (proportionellt till ökningen av muddringens totala volym*)
Lokala variationer av bottenmaterialets egenskaper	Begränsad till måttlig	Försumbar
Bakgrundsströmmar (vårflod)	Försumbar	Görväl: stor (minskning) Lovön: begränsad (minskning)
Temperatursskiktning	Försumbar	Begränsad
Vindförhållanden ("värsta fall" vindsekvens från 2014, lång varaktighet – flera veckor – med ogynnsam vindriktning)	Försumbar	Måttlig (ökning med faktor ca 2-3)

*Vid liknande föroreningsnivå i övermuddringen som i muddringsvolymen. Provanalys visar dock att halter minskar i djupet inom övermuddringen.

5. Underlag för val av lämpliga gränsvärden för kontrollprogrammet

Strömnings- och spridningsberäkningarna som har utförts och som redovisas i huvudrapporten baseras på vissa antaganden vad gäller bottenmaterialets egenskaper och muddringstakt som kan ha betydelse vid val av lämpliga gränsvärden för kontrollprogrammet. Dessa antaganden och påverkan på kontrollprogrammet diskuteras i avsnitten nedan.

5.1 Bottenmaterialets egenskaper (muddringsvolym)

Som nämnts i kapitel 2 består bottenmaterialet, som utgör den planerade muddringsvolymen, av en fraktion av lera/organiskt, en fraktion av fint material (siltig lera/silt) och en fraktion av grövre material (sand).

De två finaste fraktionerna (lera/organiskt material och siltig lera/silt) motsvarar i medeltal 57 % av den muddrade volymen baserat på en statistisk analys av sedimentprover inom muddringsområdet. Den grövre fraktionen, som inte har inkluderats i simuleringarna, motsvarar därmed 43 % av muddringsvolymen.

I samtliga beräkningsscenarier har mängden spill baserats på en konstant muddringsvolym på 57 % (finare fraktioner) av den totala muddringsvolymen, d.v.s. att ingen tidsvariation av materialets egenskaper har beaktats. Eftersom bottenegenskaper (omfattning av respektive fraktion) varierar geografiskt kommer omfattningen av finfraktionerna fluktuera runt 57 % under muddringsperioden. Detta innebär att faktisk mängd spill också kommer att fluktuera under arbeten. Den totala mängden muddrat och spillt finmaterial kommer dock att vara oförändrad och utgöra 57 % av den totala muddringsvolymen efter arbeten. Analysen om inverkan av transportprocesser i Lövstafjärden som redovisas i kapitel 4 visar att kortvariga variationer av sedimentkoncentrationer som sker vid muddring inom muddringsområdet snabbt dämpas ut i Lövstafjärden. Antagandet om konstant fraktion för finmaterialet bedöms därmed ha försumbar påverkan på sediment- och ämneskoncentrationer vid t.ex. råvattenintagen. Det bör noteras att variationer av omfattningen för finfraktionen (57 %) har analyserats i den statistiska analysen som redovisas i huvudrapporten.

Den grövre fraktionen (43 % av muddringsvolymen), som karaktäriseras av relativt höga fallhastigheter (faller 1 m på i storleksordning 1 minut), kommer att sedimenteras inom muddringsområdet eller i dess direkta närhet. Den har därmed ingen betydelse vad gäller spridningsförhållanden långt bort från Lövsta men kan delvis vara kvar i suspension 100 m och 300 m utanför muddringsområdet. Detta innebär att resultat från simuleringarna eventuellt kan underskatta sedimentkoncentrationerna något strax utanför muddringsområdet.

Det kan vara lämpligt att beakta variationen i bottenmaterialets egenskaper vid val av lämpliga gränsvärden för sedimentkoncentrationer i kontrollprogrammet, särskilt vad gäller gränsvärden under korta varaktigheter. En noggrann kontroll av uppmätta sedimentkoncentrationer under längre varaktigheter är dock ett krav för att säkerställa att mängden spill inte överskrider resultat från simuleringarna.

5.2 Muddringstakt

Simuleringarna baseras på en muddringsperiod på 30 dagar med följande muddringsintensitet:

- Dag 1-10: 1 200 ton/dygn.
- Dag 11-20: 2 000 ton/dygn.
- Dag 21-30: 1 200 ton/dygn.

I beräkningarna antas muddring ske 10 h per dygn med konstant takt (dvs. 120/200 ton/h). I verkligheten kommer dock muddringstakten att fluktuera runt 120/200 ton/h, vilket kommer generera spill med fluktuationer i intensitet.

Det är oklart efter vilket avstånd dessa fluktuationer kommer att dämpas fullt ut och konvergera mot den konstanta intensiteten som har antagits i beräkningarna, men denna effekt kan sannolikt synas vid 100 m och troligen även 300 m.

På liknande sätt som för variationen i bottenmaterialens egenskaper kan det vara lämpligt att beakta fluktuationer av muddringstakten vid val av lämpliga gränsvärden för sedimentkoncentrationer i kontrollprogrammet, särskilt vad gäller gränsvärden under korta varaktigheter. En noggrann kontroll av uppmätta sedimentkoncentrationer under längre varaktigheter är således även med anledning av muddringstakt ett krav för att säkerställa att mängden spill inte överskrider resultatet från simuleringarna.

6. Inverkan av förorenings geografiska variation inom muddringsvolymen

6.1 Inledning och sammanfattning av använd utredningsmetodik

De resultat som har presenterats hittills i detta PM avser sedimentkoncentrationer som genereras av muddringsarbeten och deras variation mellan muddringsområdet och Lövstafjärden samt fram till råvattenintagen vid Görvälh och Lovön.

Detta kapitel avser beskrivning av resultat vad gäller spridning av föroreningshalter som har identifierats inom muddringsvolymen. Utredningsmetodiken som har använts i huvudrapporten sammanfattas nedan:

- Simulering av sedimentspridning i Lövstafjärden och i Mälaren för ett stort antal scenarier (se föregående kapitel samt huvudrapport). Simulerade sedimentkoncentrationer (mg/l) benämns C_{sim} i huvudrapporten.
- Beräkning av total mängd förorening (kg) inom den planerade muddringsvolymen för samtliga aktuella ämnen utifrån sammanställningen av alla utförda provtagningar, både geografiskt mellan provpunkterna samt i djupled beroende på variation av föroreningshalter i vertikalled.
- Framtagande av ett representativt och viktat medelvärde för ämneskoncentrationer av samtliga aktuella ämnen per kg TS bottenmaterial (uttrycks i mg förorening / kg TS bottenmaterial). Dessa ämneskoncentrationer hos bottenmaterialet benämns C_f i huvudrapporten.
- Ämneskoncentrationerna för föroreningsämnen som sprids till följd av muddringsarbeten, som benämns C_i i huvudrapporten (mg/l), beräknas sedan genom att kombinera de simulerade sedimentkoncentrationerna C_{sim} och ämneskoncentrationer hos bottenmaterialet C_f för alla aktuella ämnen¹.
- De framräknade ämneskoncentrationerna C_i i Lövstafjärden och i Mälaren jämförs med Svenskt Vattens branschriktlinjer för råvattenkvalitet² för samtliga aktuella ämnen för de beräkningsscenarioer som genererar de högsta koncentrationerna vid råvattenintagen.

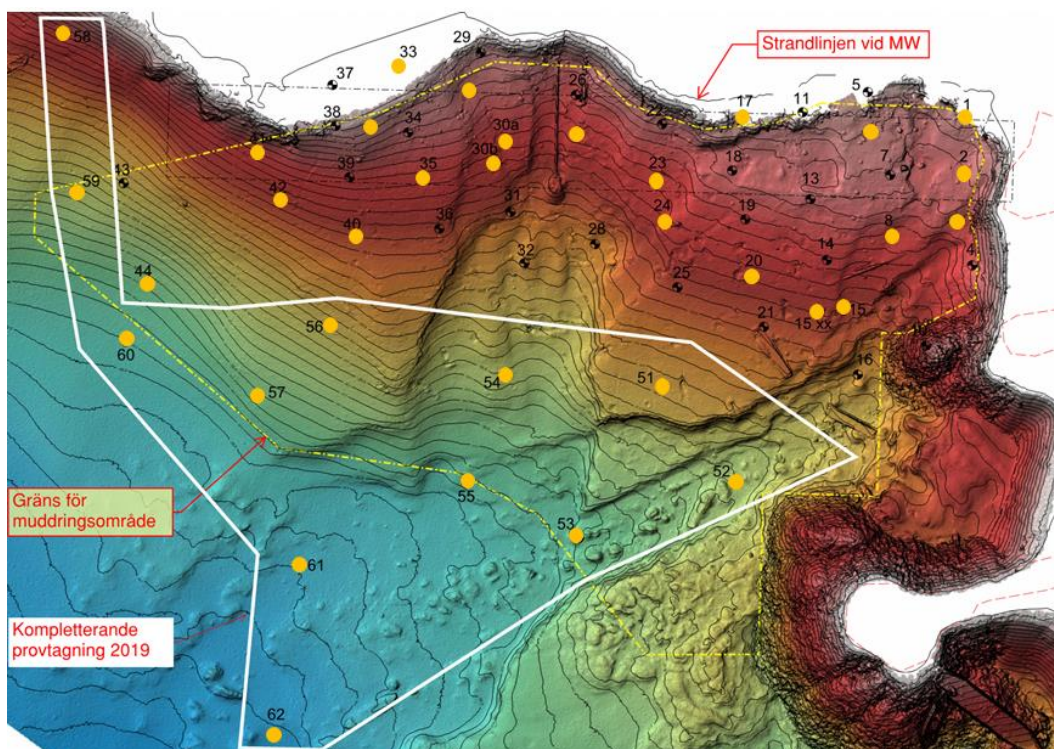
¹ $C_i = 10^{-6} \cdot C_{sim} \cdot C_f$. Faktorn 10^{-6} krävs vid konvertering från kilogram TS (förorenat bottenmaterial, C_f) till mg (suspenderat material, C_{sim}).

² Råvattenkontroll – Krav på råvattenkvalitet, 2008-12-08, Svenskt Vatten
<https://www.svensktvatten.se/globalassets/dricksvatten/ravatten/ravattenkontroll---krav-pa-ravattenkvalitet-20081208.pdf>

- Ämneskoncentrationerna vid råvattenintagen ska med marginal understiga riktvärdena för råvattenkvalitet, se tabellerna 5-2 och 5-3 samt Bilaga 5 i huvudrapporten.
- Resultatet visar att inga riktvärden överskrider för något av de undersökta ämnena. För alla ämnen utom två (bly och bens(a)pyren) är de framräknade ämneskoncentrationerna (maximala värden under simuleringarna vid möjliga intagsdjupen) minst 20 gånger lägre än riktvärdena, vilket motsvarar en hög säkerhetsfaktor. För bly och bens(a)pyren är de maximala framräknade ämneskoncentrationerna mellan 5 och 17 gånger lägre än riktvärdena, beroende på aktuellt spridningsscenario.
- För bly och bens(a)pyren utfördes en statistisk analys för att uppskatta inverkan av förväntad variation av inputparametrar och antaganden som har använts i spridningsberäkningarna på framräknade ämneskoncentrationerna vid råvattenintagen. Analysens syfte är att uppskatta sannolikheten att riktvärden överskrider genom analys av förväntad statistisk variation hos inputparametrarna och antaganden.

6.2 Kvantitativ bedömning av föroreningens geografiska variation inom muddringsvolymen

Sedimentprov har tagits vid totalt 66 st. provpunkter inom muddringsområdet. Kemiska analyser har utförts vid 36 av dessa provpunkter. Prover har tagits vid flera djup i varje provpunkt. Totalt sett har 144 st. kemiska provanalys utförts och över 300 st. ämnen har analyserats. Provpunkternas lokalisering redovisas i Figur 6.



Figur 6. Lokalisering av provpunkterna inom muddringsområdet. Orangea punkter indikerar de provpunkter där kemiska analyser har utförts.

För de två ämnen med lägst säkerhetsfaktor med hänsyn till riktvärden vid råvattenintagen, bly och bens(a)pyren, har total mängd förorening inom den planerade muddringsvolymen samt deras representativa medelvärde för ämneskoncentrationer per

kg TS bottenmaterial C_f beräknats utifrån analys av 139 st. respektive 79 st. prover från provtagningspunkter fördelade inom hela muddringsområdet, både geografiskt och i djupled.

För att kvantifiera inverkan av föroreningens geografiska variation på de framräknade ämneskoncentrationerna per kg TS bottenmaterial C_f har en statistisk analys av samtliga provanalyser utförts. Syftet med denna analys var uppskattning av ett standardfel på medelvärdet för ämneskoncentrationerna per kg TS bottenmaterial C_f . Standardfel är ett mått på hur ett medelvärde uppskattat för ett visst antal observationer avviker från det förväntade riktiga medelvärdet. Det kallas också för standardmätosäkerhet. Erhållna standardfel motsvarar 27 % och 26 % av framräknade medelvärden för bly respektive bens(a)pyren. Resultat av denna analys indikerar därmed att ämneskoncentrationerna per kg TS bottenmaterial kan karaktäriseras med:

- Bly: $C_f = 2613 \text{ mg/kg TS} \pm 27 \%$
- Bens(a)pyren: $C_f = 1,85 \text{ mg/kg TS} \pm 26 \%$

Inverkan av föroreningens geografiska variation på de framräknade ämneskoncentrationerna anses därmed vara begränsad.

Även för det fallet där man utgår från det övre gränsen av respektive intervall (t.ex. för bly: $C_f = 2613 \times 1,27 = 3319 \text{ mg/kg TS}$) blir de maximala ämneskoncentrationerna vid råvattenintagen fortfarande ca 4-13 gånger lägre än riktvärden för bly och bens(a)pyren.

Resultat från provanalyser visar att föroreningens omfattning varierar geografiskt, med bland annat ett område i inre hamnen där halter är betydligt högre (4000-7000 mg/kg TS för bly och 19 mg/kg TS för bens(a)pyren) än de genomsnittliga medelvärdena som gäller för att karaktärisera föroreningsnivån hos hela muddringsvolymen (C_f).

Analys av inverkan av de transportprocesser som sker i Lövstafjärden (se kapitel 4) indikerar att lokala och kortvariga variationer i muddringsarbetet, spill samt bottenmaterialens egenskaper (inkl. föroreningshalter) kan ha viss inverkan på ämneskoncentrationer i närheten av muddringsområdet men att denna inverkan minskar kraftigt i Lövstafjärden. Inverkan är försumbar vid råvattenintagen där sediment- och ämneskoncentrationerna främst beror av total mängd muddrat och spillt material men inte av lokala och kortvariga fluktuationer, inkl. föroreningens geografiska variation inom muddringsområdet.

6.3 Sammanfattning av utförd statistisk analys

I föregående avsnitt har metoden som användes för att uppskatta variation kring ämneskoncentrationer per kg TS bottenmaterial, vilken är kopplad till den geografiska variationen av ämneskoncentrationerna vid provpunkterna, redovisats.

Totalt har nio parametrar identifierats vilka kan ha betydelse vid beräkning av ämneskoncentrationer vid råvattenintagen och därför gått vidare till fördjupad statistisk analys. De nio parametrar som har identifierats listas nedan tillsammans med en kort beskrivning:

1. Den totala muddringsvolymen (med förorenat sediment som överstiger klass 3 enligt NV:s statistiska klassning uppgår teoretiskt till ca 24 400 m³). För att garantera att dessa sediment tas bort måste muddring enligt KFS ske ca 20 cm under måldjupet inom muddringsområdet. I simuleringen har beaktats att höga ämneskoncentrationer påträffas även i 5 600 m³ övermuddrad volym, vilket motsvarar en potentiell ökning med 23 %.
2. Andel torrsediment (torrsustanshalten TS) från den totala muddringsvolymen. En statistisk analys av 88 st. utförda provanalyser visar att variationen i TS-halten kan beskrivas med en standardavvikelse som motsvarar 37 % av medelvärdet för TS.

3. Val av metod för att räkna fram andel torrsediment (torrsbstanshalten TS), vilket kan leda till en ökning med 4 %.
4. Geografisk variation av ämneskoncentrationer i de förorenade bottensedimenten (C_f). Denna parameter har definierats med hjälp av standardfel för ämnena bly (Pb) och bens(a)pyren till 27 % respektive 26 %, se avsnitt 6.2.
5. Andel ämneskoncentration i löst fas i det förorenade bottensedimenten. Denna parameter syftar till att ta hänsyn till att viss andel av uppmätta föroreningsmängder möjligtvis har funnits i lös fas och därmed kan spridas i löst fas och inte bundna till sedimentpartiklar. Enligt kontakt med laboratoriet som har utfört analyserna (ALS) sker provtorkning långsamt och vid låga temperaturer. Detta innebär att andel förorening som eventuellt förelåg i löst fas förväntas ha migrerat till sedimentpartiklar under provtorkning och därmed inkluderas i analysresultat. Det har därmed beaktats att viss förorening i löst fas har förlorats vid provanalys som har uppskattats uppgå till 41 % (se huvudrapport för detaljer).
6. Andel spill från muddringsvolymen. Den statistiska analysen tillämpas på beräkningsscenarioer som motsvarar ett 5 %-spill, som är ett konservativt antagande. Muddringen kommer att utföras med en s.k. miljöskopa som begränsar den förväntade andelen spill till ca 2 %. Denna parameter syftar till att ta hänsyn till mer realistiska spillscenarioer och varierar därmed mellan 0,4 (2 %-spill) och 1,0 (5 %-spill).
7. Andel spill som sprids i löst fas direkt efter muddring. I utförda beräkningar har det antagits att 100 % av materialet som spills sprids direkt i löst fas vilket är ett konservativt antagande då en viss andel av materialet kommer att sedimentera snabbt i närheten av muddringspunkten i form av större klumpar av material. För att ta hänsyn till mer realistiska situationer antas det att andel spill som sker direkt i löst fas varierar mellan 50 % och 100 % av totalt andel spillmaterial.
8. Sedimentfraktioner. Det förorenade bottensedimenten har delats upp i tre fraktioner, se kapitel 2 och avsnitt 5.1, med de två finaste fraktionerna som utgör i medeltal 57 % av bottensedimenten (i viktprocent). Analys av sedimentprov visar att standardavvikelsen för fördelningen av de två finaste fraktionerna är ca 20,3 %, vilket motsvarar 36 % av medelvärdet (57 %).
9. Numerisk modellering. Antagen modellosäkerhet är ± 50 % baserat på jämförelse mellan använd hydrodynamisk modell och beräkningar med "Mälarmodellen" som utfördes av Ekaterina Sokolova, forskare på Chalmers, genom ett samarbete i utredningsskedet.

För en fördjupad genomgång av samtliga parametrar och hur de har definierats hänvisas till avsnitt 3.6.2 i huvudrapporten "Spridningsberäkningar vid muddring av bottensediment" (Bilaga 18a till ansökan).

De nio parametrarna ovan är i princip oberoende av varandra, d.v.s. de är inte korrelerade med varandra. Detta innebär att det är orealistiskt att alla dessa parametrar skulle variera åt samma håll samtidigt utan de kan antas variera slumpmässigt i förhållanden till varandra.

De simulerade sedimentkoncentrationerna och de framräknade ämneskoncentrationerna vid råvattenintagen kan dessutom antas variera proportionellt med varje parameter. Som tidigare beskrivits beror ämneskoncentrationerna vid råvattenintagen främst på total mängd muddrat och spillt material men inte av lokala och kortvariga fluktuationer, inkl. föroreningens geografiska variation inom muddringsområdet.

För att uppskatta inverkan av samtliga inputparametrar på de framräknade ämneskoncentrationerna för bly och bens(a)pyren vid råvattenintagen har därmed en analys utförts med hjälp av Monte Carlo-simuleringar. I varje Monte Carlo-simulering har 1000 st. värden för varje parameter definierats inom respektive intervall och slumpvist

kombinerats i 10 miljoner iterationer. Den statistiska fördelningen för de simulerade ämneskoncentrationerna baserades därmed på totalt 10 miljoner värden.

Utifrån den statistiska fördelningen för ämneskoncentrationerna för bly och bens(a)pyren som har erhållits ur Monte Carlo-simuleringarna kunde sannolikheten att respektive riktvärde överskrids vid råvattenintagen uppskattas. Resultat visade att sannolikheten av riktvärden skulle överskridas var högst 0,0001³. En sådan sannolikhet motsvarar en återkomsttid⁴ på minst 10 000 år. Denna kan jämföras med t.ex. dimensioneringskriteriet för Sveriges största dammar vilka skulle medföra katastrofala konsekvenser vid dammhaveri (s.k. Klass I-dammar) samt dimensioneringskriteriet för översvämningsskydd av samhällsviktiga verksamheter (t.ex. viktiga sjukhus, Sevesoanläggningar mm.). Även där sätts återkomsttiden till 10 000 år.

För andra ämnen än bly och bens(a)pyren är sannolikheten att respektive riktvärde överskrids ännu lägre.

7. Sammanfattande slutsatser

Sammanfattningsvis visar de analyser som har redovisats i detta PM att:

- I området strax utanför muddringsområdets gräns kan större variationer i sediment- och ämneskoncentrationer härröra från kortvariga variationer av muddringstakt, strömmar och sedimentegenskaper (inkl. föroreningshalter).
- Dessa kortvariga variationer av sediment- och ämneskoncentrationer minskar sedan progressivt vid transport mot och i Lövstafjärden samt på längre avstånd mot t.ex. råvattenintagen (Görvål och Lovön) där de största sediment- och ämneskoncentrationerna i princip endast beror av den totala mängden muddrat material samt, i mindre grad, av de lokala strömmarna.
- Transportprocesserna i Lövstafjärden (främst strömmar, turbulens och dispersion) bidrar till att dämpa ut inverkan av den geografiska variationen av bottenmaterialets egenskaper inom muddringsvolymen. Inverkan av denna variation bedöms vara försumbar när föroreningen når råvattenintagen.
- Resultat från den utförda statistiska analysen visar att samma slutsats gäller avseende inverkan av variationen av de andra inputparametrarna som har ansatts i utförda hydrodynamiska simuleringar.

Det kan därmed konstateras att analysens beräkningar och bedömningar är robusta och risken för att något ämne skulle överskrida aktuella riktvärden vid Görvälns eller Lovöns råvattenintag är försumbara.

³ Gäller för scenarier S1 2014A/B (värsta vindfall), sannolikheten blir ännu lägre vid mer vanliga vindscenarier.

⁴ Samband mellan sannolikhet p och återkomsttid T är $p = 1/T$. Till exempel, för $p = 1\%$, $T = 1/0,01 = 100$ år.