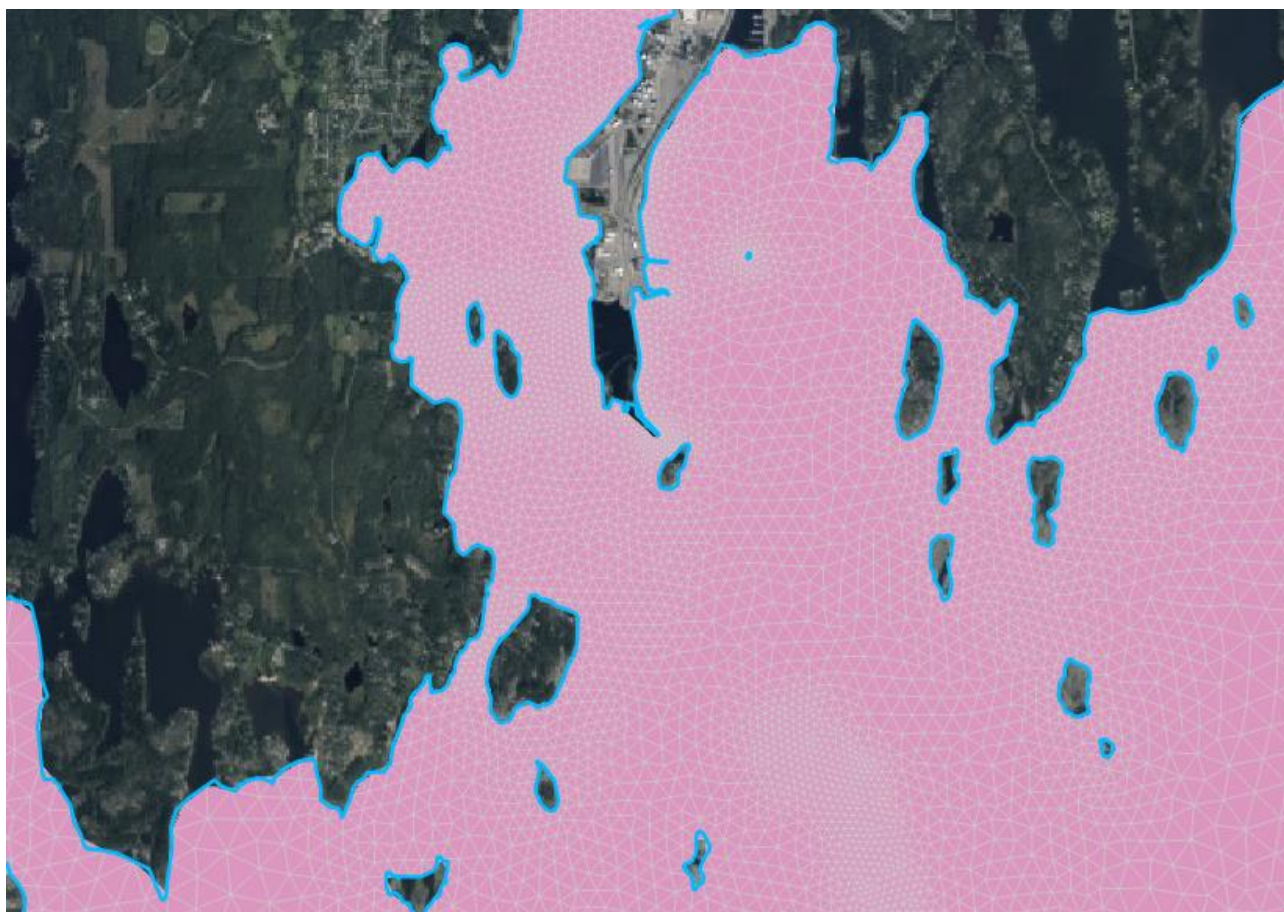


Sedimenttransport Umeå Farleden

Hydrauliska modellberäkningar av spridning av
spill vid muddring och dumpning samt
erosionsrisk vid dumpningsplatsen



Sweco Sverige AB	RegNo 556767-9849
Uppdrag	Umeå farled muddring dumpning
Uppdragsnummer	30084929
Kund	Sjöfartsverket
Upprättad av	Gunnar Österlund, Jurjen de Jong, Emmy Sukchaiwan
Granskad av	Carsten Staub
Godkänd av	Joakim Holmbom Tisell
Datum	2025-06-23
Ver	1.0
Dokumentreferens	Sedimenttransport Umeå Farleden_20250623.docx

1	Bakgrund	4
1.1	Introduktion	4
1.2	Syfte	4
1.3	Underlag	4
2	Områdesbeskrivning och indata	5
2.1	Områdesbeskrivning	5
2.2	Muddrings- och dumpningsförfarande	5
2.3	Meteorologiska och oceanografiska indata till modellen	9
2.3.1	Vattenföring	10
2.3.2	Vind	11
2.3.3	Vattenstånd	12
2.3.4	Salinitet och temperatur	12
2.3.5	Suspenderat sediment	14
3	Metodik	14
3.1	Programvara hydraulisk modellering	14
3.2	Modellkonfiguration	15
3.3	Modellering av sedimentspridning	16
3.4	Modellering av erosionsrisk dumpningsområde	19
3.5	Rimlighet och validering	20
4	Resultat – Sedimentspridning från muddring och dumpning	22
4.1	Strömningsmönster	22
4.2	Suspenderat sediment	23
4.3	Sedimentation	32
5	Resultat – Erosionsrisk dumpningsområde	33
6	Sammanfattning och slutsatser	37
6.1	Sedimentspridning	37
6.2	Erosionsrisk i dumpningsområdet	38
7	Referenser	39
A.1	Representativ kornstorleksfördelning av muddringsmaterial	40
A.2	Kornstorleksfördelning i dumpningsområdet	41

Bakgrund

1.1 Introduktion

Sjöfartsverket genomför tillsammans med Umeå Hamn AB en farledsutredning i syfte att öka säkerhet, kapacitet och tillgänglighet i farleden till Umeå hamn. Åtgärderna omfattar bland annat muddring och dumpning av muddermassor.

Föreliggande rapport utreder sedimentspridning vid både muddring och dumpning samt risken för erosion av dumpade muddermassor med hjälp av en hydraulisk modell.

1.2 Syfte

I denna rapport studeras dumpningens effekter ur två aspekter:

- Spridning av suspenderade sediment och sedimentation av sedimentspill ifrån muddringen och dumpningen.
- Risk för bottenerosion i dumpningsområde Klinten efter dumpning

1.3 Underlag

Följande underlag används i denna rapport.

Typ	Beskrivning	Källa
Batymetri	EMODnet 2024 (gitterupplösning på 1/16 * 1/16 bågminuter)	EMODnet
	Högupplöst djupdata inom farled och dumpningsområdet	Sjöfartsverket
Mätningar	Vattenföring Umeälven	SMHI
	Vind vid Revet	Sjöfartsverket
	Vattennivå vid Holmsund och Ratan	SMHI
	Temperatur och salinitet	SMHI (Sharkweb)
	Temperatur och salinitet (UKV-stationer)	Umeälvens vattenvårdsförbund
Modellresultat	Temperatur i Umeälven från SMHI S-HYPE	SMHI
Projektdata	Kornstorleksdiagram (bilaga A)	Sjöfartsverket
	Muddringsvolym per område och muddringsordning	Sjöfartsverket

2 Områdesbeskrivning och indata

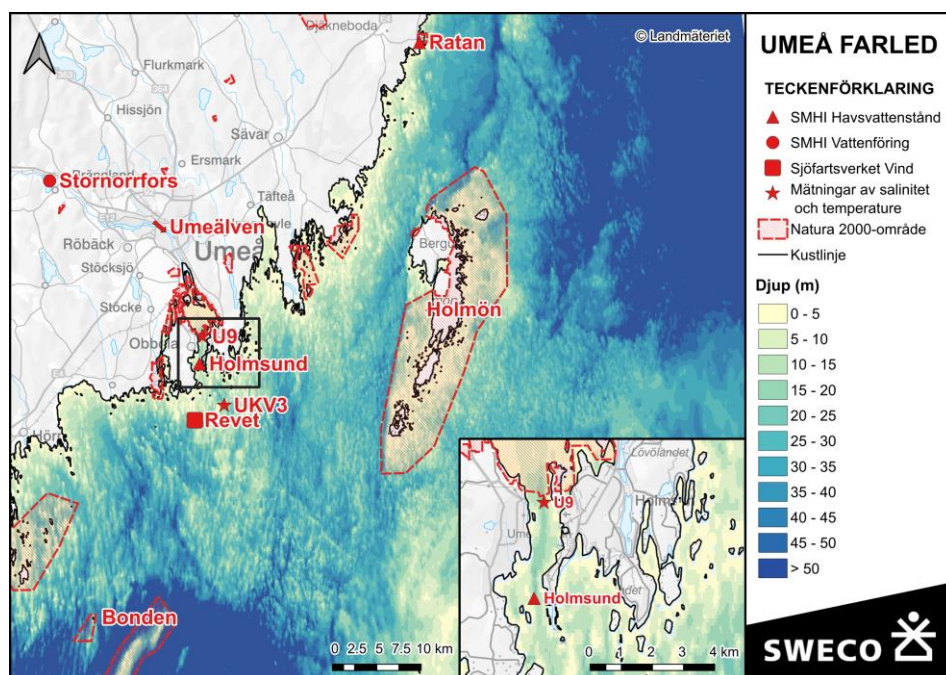
2.1 Områdesbeskrivning

Umeå hamn ligger i området Norra kvarken, ett relativt grunt havsområde som utgör en tröskel som skiljer Bottenhavet och Bottenviken. Vattenutbytet genom Norra Kvarken sker huvudsakligen genom två sund, Västra Kvarken mellan Holmöarna och svenska fastlandet samt Östra Kvarken öster om Holmöarna.

I Figur 2-1 visas batymetrin i området kring Umeå farled. Djupfåran mellan fastlandet och Holmöarna (Västra Kvarken) som bidrar till det strömningsmönster som präglar området syns tydligt.

Meteorologiska och oceanografiska mätningar har analyserats för att förstå de processer i området som påverkar vattenströmningen. En sammanställning av alla relevanta mätstationer presenteras i Figur 2-1.

I närheten av Umeå hamn finns även Natura 2000-området *Umeälvens delta*. Området ligger cirka 2 km uppströms det nordligaste av de planerade muddringsområdena.

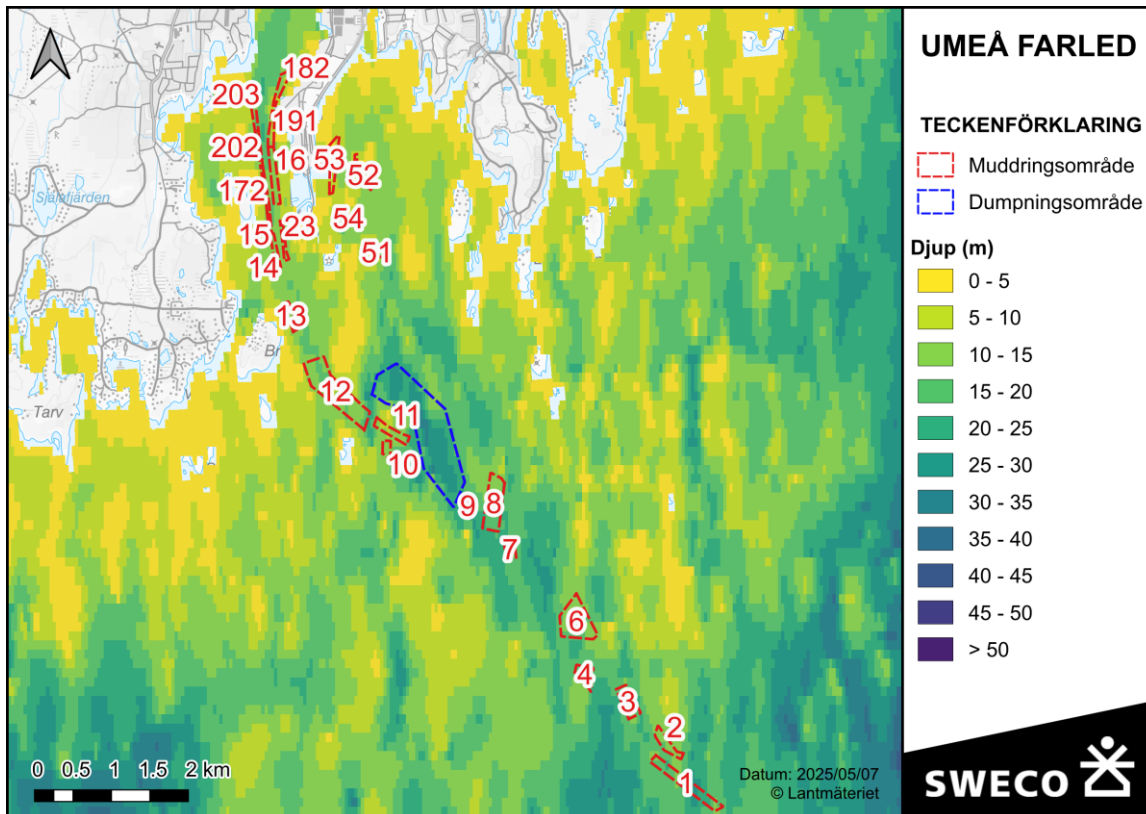


Figur 2-1. Karta över batymetriska förutsättningar samt mätningar i området kring Umeå. Redovisad djupdata är hämtad från (European Marine Observation and Data Network, u.d.)

2.2 Muddrings- och dumpningsförfarande

Detta avsnitt beskriver förutsättningar för muddring och dumpning enligt muddringsplanen. Ytterligare antaganden om muddringen och hur spridningen av muddringsspill modelleras redovisas i avsnitt 3.3 och 3.4.

Totalt planeras en volym om 442 540 tfm³ (teoretiska fasta kubikmeter) muddras från 26 olika muddringsområden. En översikt över alla muddringsområden visas i Figur 2-2, och volymen i varje delområde redovisas i Tabell 2-1. Enligt projektplanen delas totalvolymen upp i finkorniga sediment, friktionsmaterial och berg. Dessutom delas friktionsmaterial upp i morän, sand och grus. En del av de finkorniga sedimenten är förorenade och behöver muddras med en miljöskopa för att minska miljöpåverkan. Sjöfartsverket har tillhandahållit representativa siktcurvor för siltiga sediment, morän, sand och grus som redovisas i Bilaga A.1.



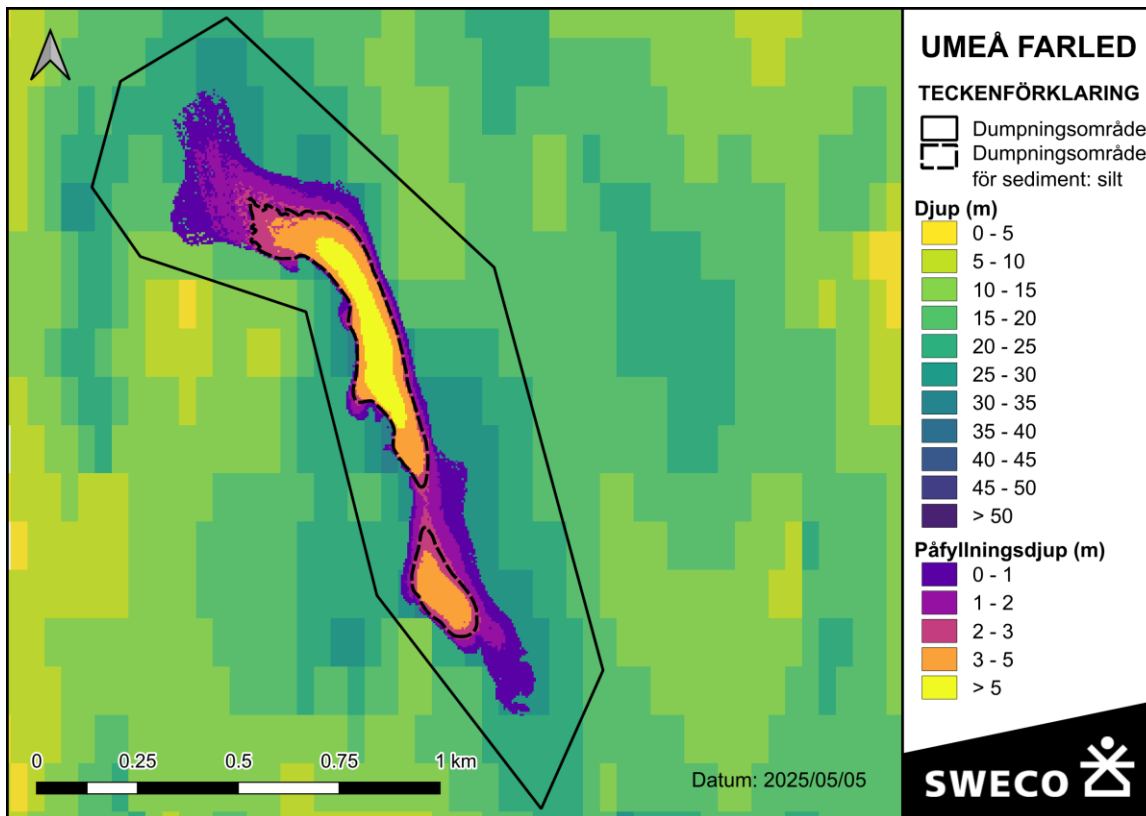
Figur 2-2: Muddrings och dumpningsområden. I kartan är även muddringsområdenas ID-nummer markerade.

Tabell 2-1: Muddringsvolym (t_{fm}³) per muddringsområde (ID). Volymer och sedimentklasser har tillhandahållits av Sjöfartsverket.

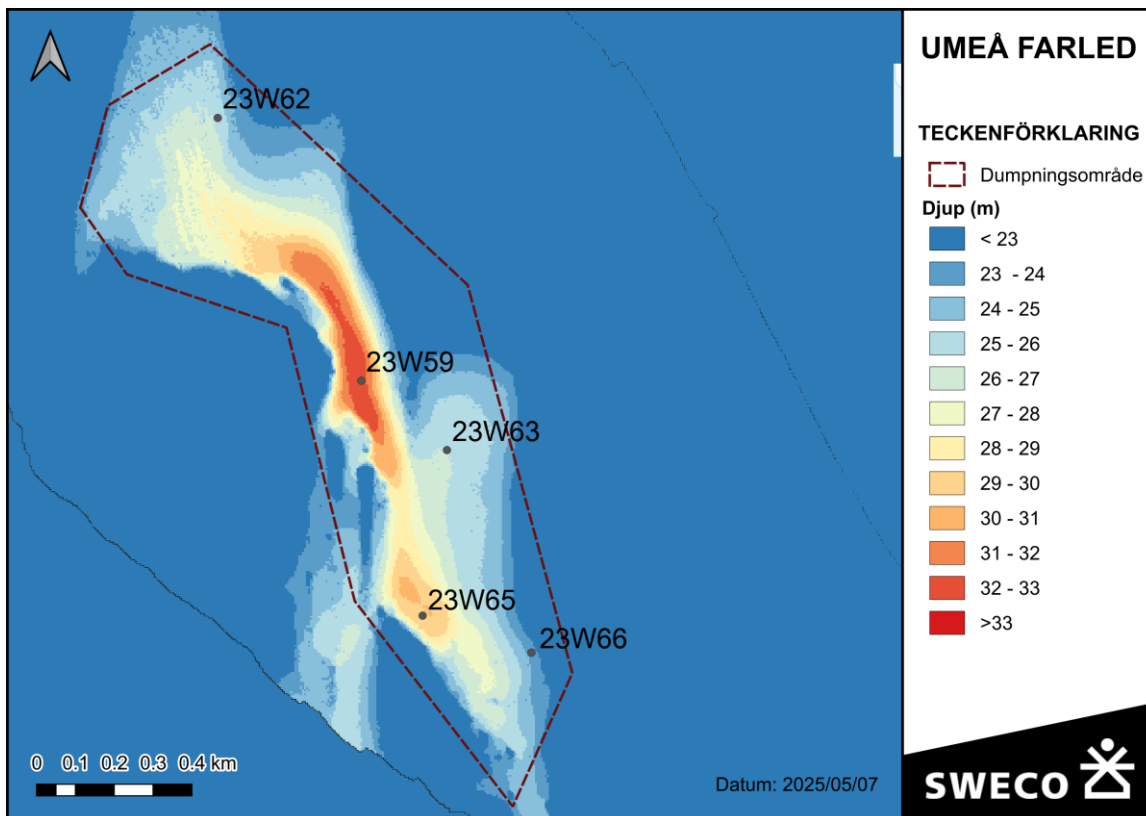
ID	Finkorniga sediment		Friktionsmaterial			Berg
	Förorenade siltiga sediment	Siltiga sediment	Morän	Sand	Grus	-
1					150	
2					4 280	
3					280	
4					600	
6					4 890	
7						1 020
8					16 100	
9					20	
10					230	2 040
11				500		
12			115 880			
13			8800			
14		3 470				
15	2 015	2 675				
23		580				
51			1 020			
16		16 400	22 120			
172	7 500	3 300	13 910			
191	7 500	13 300	21 210			
192					720	
202		17 700	23 610			
203	6 250	21 850	15 570			
182		35 600				
52			26 010			
53	5 000		20 420			
54					20	
TOTALT	28 265	114 875	268 550	500	27 290	3 060
SUMMA						442 540

Dumpning sker i området Klinten, som också visas i Figur 2-2. Området har ett maximalt djup på 32 m (RH2000). På grund av ökad porositet som följd av muddringsarbete har de dumpade massorna större volym än de som muddras. I muddringsplanen beskrivs ökningen som en svällfaktor. Baserat på en konservativt antagen svällfaktor om 1,3 beräknas den totala volymen dumpat sediment till 575 000 m³, vilket avrundas uppåt till 600 000 m³. Antagande om att hela denna volym dumpas i Klinten leder till en upphöjning av havsbotten till -26,3 m (RH2000). Påfyllningsdjupet visas i Figur 2-3

Mätningar av sediment i dumpningsområdet visar en stor skillnad i genomsnittliga sedimentstorlek (D_{50}) baserat på platsen och djupet (Figur 2-4 och Tabell 2-2). Generellt visar de djupare delarna en mindre sedimentstorlek vilket indikera sedimentation på grund av låga strömningshastigheter. I den djupare södra delen av området visas dock en D_{50} på 4 mm och indikera att hastigheterna kan vara högre i detta område.



Figur 2-3 Påfyllningsdjup (m) i dumpningsområde Klinten, baserat på en påfyllningsnivå på -26,3 m (RH2000). Kartan visar påfyllningsdjup inom dumpningsområdet; utanför detta visas vattendjupet.



Figur 2-4: Placering av tillgängliga sedimentprover med tillhörande siktcurvor i dumpningsområdet.

Tabell 2-2 Sedimentprover inom dumpningsområdet Klinten. Siktcurvorna inkluderas i Bilaga A.2.

No	Djup (m)	D50	Material finare än 4 µm
23W62	26	20 µm	32%
23W59	32	10 µm	22%
23W63	26	50 µm	10%
23W65	30	4 mm	4%
23W66	25	0,2 mm	4%

2.3 Meteorologiska och oceanografiska indata till modellen

För att driva vattenrörelserna i en strömningsmodell krävs meteorologiska, hydrologiska och oceanografiska data. Detta kan vara till exempel vindhastigheter och -riktningar, vattenföring och vattenståndsvariation. Följande avsnitt beskriver tillgängliga data i området och motiverar valet av simuleringsperiod.

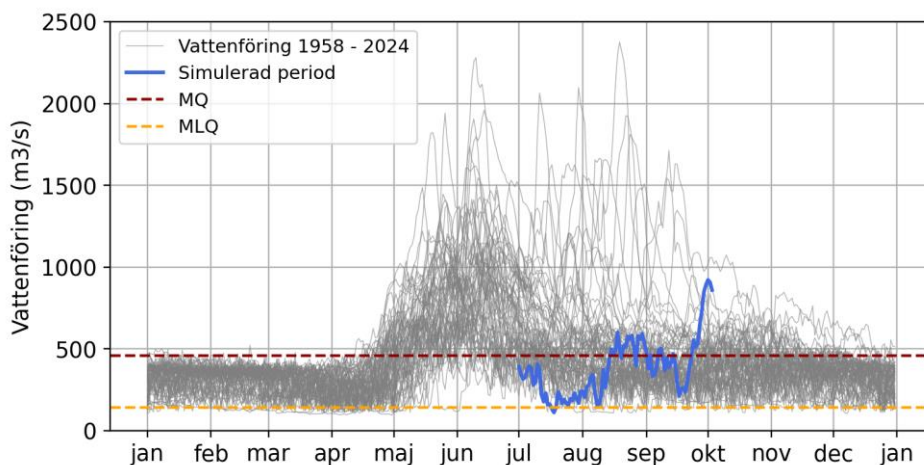
Simulerad period är den 1 juli till och med den 3 oktober 2023. Perioden har valts utifrån en sammanvägd bedömning av olika indata och muddringsförutsättningar. Ingen muddring eller dumpning kommer att ske under islagd period. Enligt (SMHI, 2023) var mediandatum för första isdagen under normalperioden 1961-1990 i området cirka 11 december och sista isdagen cirka 12 april. Detta exkluderar cirka 120 dagar av året från urvalet av modellerad period. Vid planering av muddring antas dock att en ännu längre period exkluderas för att försäkras om att isfria förhållanden råder vid muddringen.

Lugnare strömförhållanden vid muddring eller dumpning ger generellt högre sedimentkoncentrationer eftersom kraftigare strömmar leder till mer spädning av spillt sediment. Samtidigt sker spridningen av spillt sediment över ett mindre geografiskt område. Dessutom ger de norrgående strömmarna under låga flöden i Umeälven störst risk för förhöjd koncentration av suspenderat sediment Natura 2000-området *Umeälvens delta*, norr om muddringsområdet.

Den aktuella perioden bedöms även vara representativ för bedömningen av erosionsrisk. En känslighetsanalys (Bilaga C) har visat att ett kompensationsflöde uppstår vid genomsnittliga flöden i Umeälven, vilket resulterar i motriktade strömmar vid botten i dumpningsområdet. En mer detaljerad redogörelse för detta kompensationsflöde finns i avsnitt 4.1. Modellperioden omfattar en tre månader lång tidsperiod (juli-september 2023) med förhållandevis kraftig variation i Umeälvens vattenföring samt representativa vindförhållanden.

2.3.1 Vattenföring

I Figur 2-5 visas Umeälvens vattenföring för perioden 1958–2024, hämtad från flödesmätningar utförda vid Stornorrforss vattenkraftverk. Figuren visar även medelflöde (MQ), medellågföde (MLQ) samt vattenföring som använts i simuleringen. Vattenföringen under sommarmånaderna är högre än under vintermånaderna. Detta beror på att snösmältning under våren och sommaren leder till ökad vattenföring i älven. Den högsta vattenföringen under den simulerade perioden är 921 m³/s.



Figur 2-5. Mätningar av vattenföringen i Umeälven. Simulerad period (2023) visas som blå linje, övriga perioder visas som grå linjer. MQ och MLQ enligt SMHI.

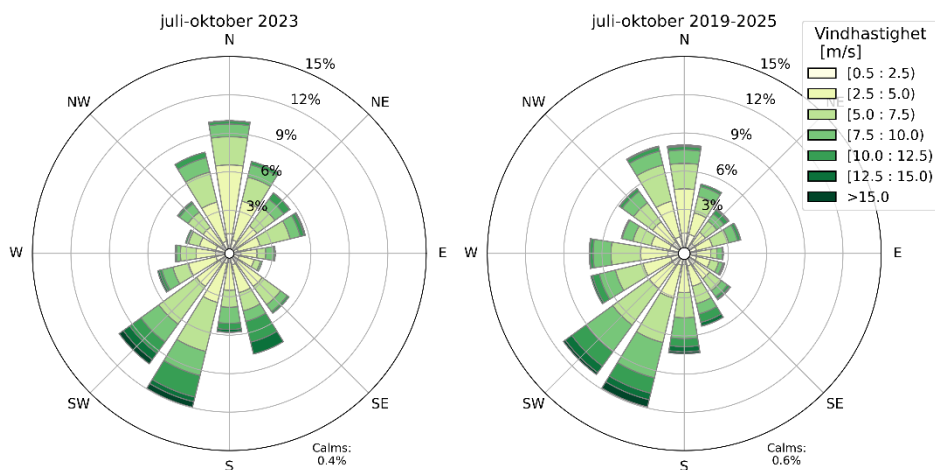
Snösmältningen (under maj och juni) genererar generellt högre vattenföring än vad som har inkluderats i modellscenariot. Det har dock begränsad påverkan på flödes hastigheter vid dumpningsområdet Klinten (Figur 2-10). Tidiga modelltester visade att det uppstår ett skiktat strömningsmönster med en kompensationsström längs med botten som alltid är motriktad huvudströmmen. Det är ett förväntat strömningsmönster för områden som är delvist skiktade på grund av inflöde från vattendrag. Modelltesterna visar att bottenhastigheterna är relativt konstanta för högre flöden (900 – 1400 m³/s) och minskar för mer extrema flöden (1400 – 1900 m³/s), se Bilaga C. Modellperioden omfattar därmed högre flödes hastigheter. Det är således

konserverativt ur erosionsrisksynpunkt att inte inkludera en snösmältningsperiod med hög vattenföring i modellscenariot.

Låg vattenföring i Umeälven leder även till ett mer skiktat strömningsmönster längre in i hamnen, vilket kan innebära sedimentspridning åt två håll samtidigt. Låg vattenföring innebär även låga strömhastigheter vid muddring, vilket generellt leder till högre koncentrationer av suspenderat sediment än höga strömhastigheter. Höga strömhastigheter medför spridning av sediment till ett större område, men med lägre koncentrationer. Därför bedöms det som konservativt ur sedimentspridningssynpunkt att simulera en period med låg vattenföring i Umeälven och därmed den högsta koncentrationen.

2.3.2 Vind

I Figur 2-6 visas vindrosor från mätningar vid Revet, hämtade från Sjöfartsverket. Dessa vindrosor ger information om fördelningen av vindhastigheter och vindriktning under en viss period, där staplarnas färg visar vindhastigheten och staplarnas längd visar hur stor andel under perioden vinden kommer från given riktning. Figur 2-6 visar att den dominerande vindriktningen är syd till sydväst. Den starkaste vindhastigheten under den perioden 2019–2025 uppmättes till 23 m/s den 2 november 2020.



Figur 2-6. Vindrosor från mätningar vid Revet, för den simulerade perioden (vänster) och perioden 2019–2025 (höger).

2.3.3 Vattenstånd

I Figur 2-7 visas vattenståndets variation vid Ratan och Holmsund under den simulerade perioden. Ratan ligger cirka 20 km norr om Holmön och Holmsund ligger i Umeälvens mynning. Under denna period observerades stora variationer i havsvattenstånd med flera snabba omslag vilket karaktäriserar Norra Kvarken. Perioden juli till början av augusti visade lugna vattenståndsförhållanden med relativt liten variation. I senare delen av augusti och september observerades större variation. Under hela den simulerade perioden ses små skillnader och en viss tidsförskjutning mellan stationerna, dessa skillnader driver storskaliga vattenrörelser i modellen.

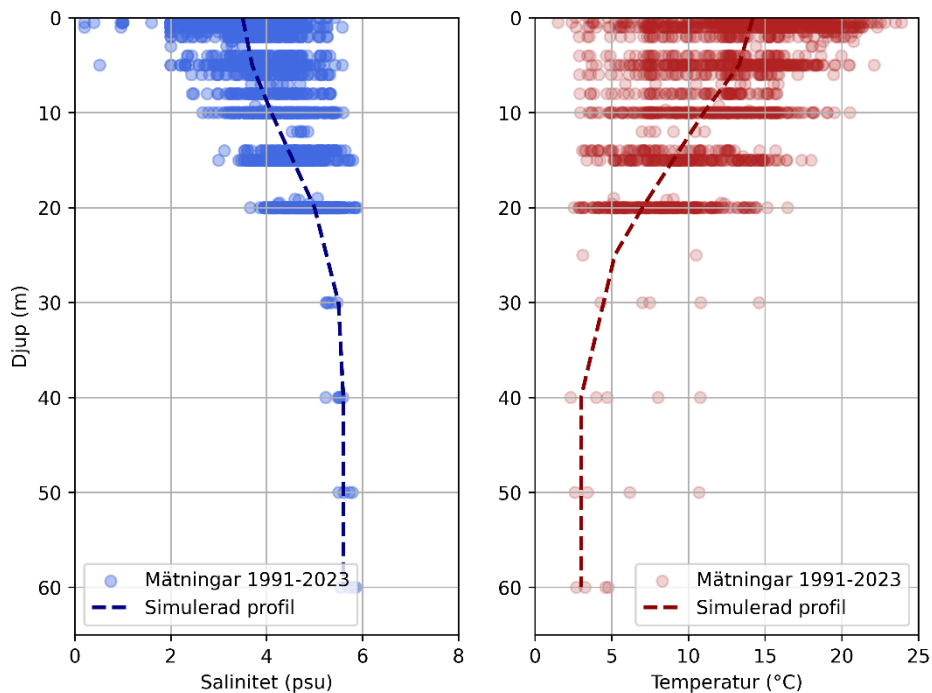


Figur 2-7: Vattenståndsvariation i Ratan och Holmsund under den simulerade perioden.

2.3.4 Salinitet och temperatur

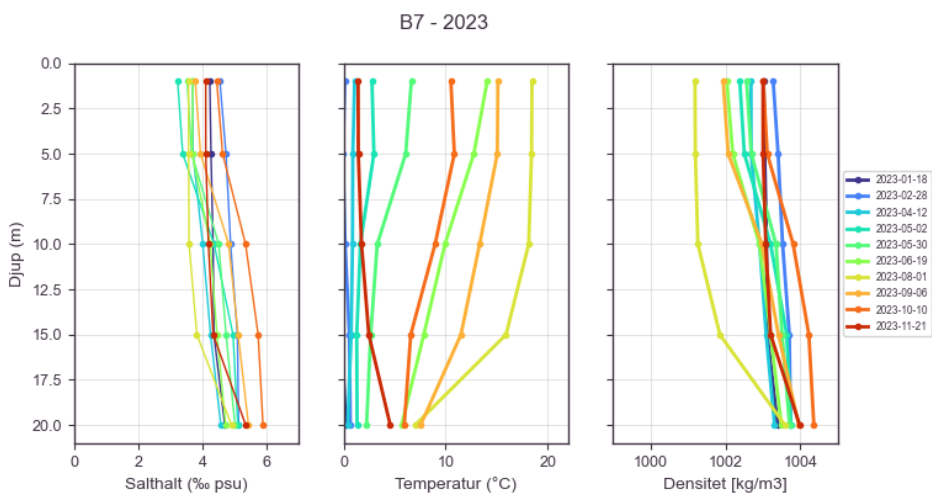
I Figur 2-8 visas uppmätta och simulerade salinitets- och temperaturprofiler runt Umeå för perioden juli-oktober 1991–2023 samt profiler som har använts i simuleringen. För de översta 30 m av vattenkolumnen varierar saliniteten mellan 0 och 6 psu. Ju närmare mätningen ligger Umeälven, desto lägre är saliniteten, på grund av Umeälvens sötvattentillskott. På större djup (djupare än 30 meter) är saliniteten konstant.

Vattentemperaturen varierar också både över året och djupet. Vid ytan varierar temperaturen från 1 till 24 °C, medan temperaturen vid botten är mer konstant. En tydlig termoklin, där vattentemperaturen ändras snabbt med djupet, börjar utvecklas vid cirka 5 meters djup och sträcker sig till cirka 30 meters djup. Därefter är temperaturprofilen konstant över djupet. Temperatur och salinitet tillsammans ger en djupvariation i densitet som styr skiktningen i området.



Figur 2-8. Salinitet och temperaturprofiler under perioden juli-oktober 1991–2023. Simulerad profil avser indata till modellen och är representativa för simulerad period.

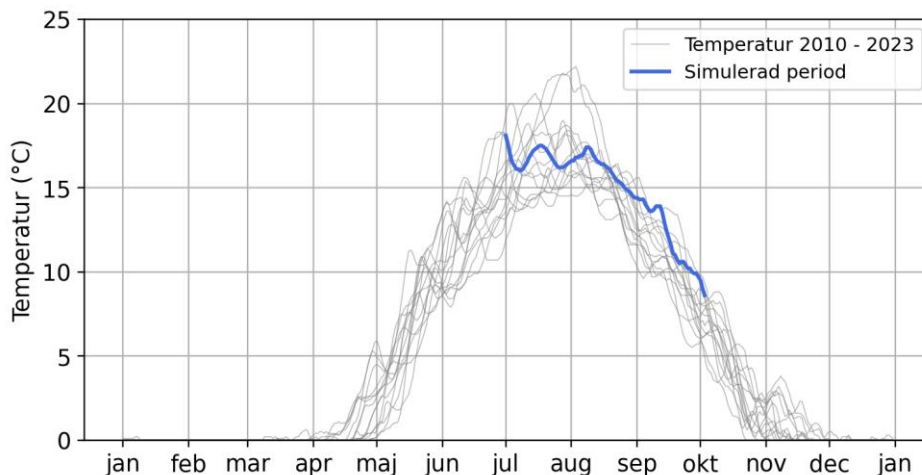
Det finns ingen mätstation inom modellområdet som kan visa skiktningen året runt. Istället används station B7, som ligger 30 km sydväst om muddringsområdet, för att analysera månadsvariationer. Data från denna station visar att skiktningen under perioden augusti till oktober påverkas starkast av temperatur. En genomsnittlig profil bedöms därför fungera bra som randvillkor för att beskriva Östersjön under modellperioden.



Figur 2-9: Skiktningen per månad baserat på mätningar vid punkt B7, som ligger 30 km sydväst om projektområdet.

Ytterligare mätningar av salinitet och temperatur finns från Ume- och Vindelälvens vattenvårdsförbund. Dessa mätningar används som valideringsdata för modellen och presenteras i mer detalj i avsnitt 3.5.

Temperaturdata i Umeälven har hämtats från SMHI:s hydrologiska modell S-HYPE. Figur 2-10 visar vattentemperaturen i Umeälven för perioden 2010-2023, som varierar mellan 22 °C på sommaren och 0 °C på vintern. Under den simulerade perioden varierar vattentemperaturen i Umeälven mellan 18 °C och 9 °C.



Figur 2-10. Temperatur i Umeälven för perioden 2010–2023 samt simulerade perioden.

2.3.5 Suspenderat sediment

Mätningar av naturlig bakgrundshalt av suspenderat sediment har inte funnits tillgängliga i området kring Umeå. Inom projektet Malmporten i Luleå har mätningar gjorts och de geomorfologiska förutsättningarna i de två älvmyningarna bedöms likna varandra. Därför bedöms även att bakgrundshalterna av suspenderat sediment i de två älvmyningarna är i samma storleksordning. Uppmätt bakgrundskoncentration av suspenderat sediment i Luleå är cirka 3 mg/l (MDC, 2025).

3 Metodik

3.1 Programvara hydraulisk modellering

För spridningsberäkningarna har den numeriska modellen TELEMAC 3D använts (open TELEMAC-MASCARET, u.å.). Modellen löser de så kallade Navier-Stokes ekvationerna över ett tredimensionellt beräkningsnät som representerar vattenvolymen i modellområdet. Beräkningsnätet består av ett antal celler och för varje cell i beräkningsnätet simuleras vattennivå, strömningshastighet, strömriktning, turbulens, salthalt, vattentemperatur samt koncentration av fördefinierade ämnen utifrån meteorologiska, hydrologiska och oceanografiska drivdata (indata). En tredimensionell modell kan, till skillnad från en tvådimensionell, ta hänsyn till skiktning i vattenkolumnen samt vertikala strömmar, vilka är av stor betydelse kring Umeälvens mynning men även för sedimentspridning generellt då sedimentet ger upphov till densitetsdrivna strömmar, framför allt vid dumpning av muddrade massor.

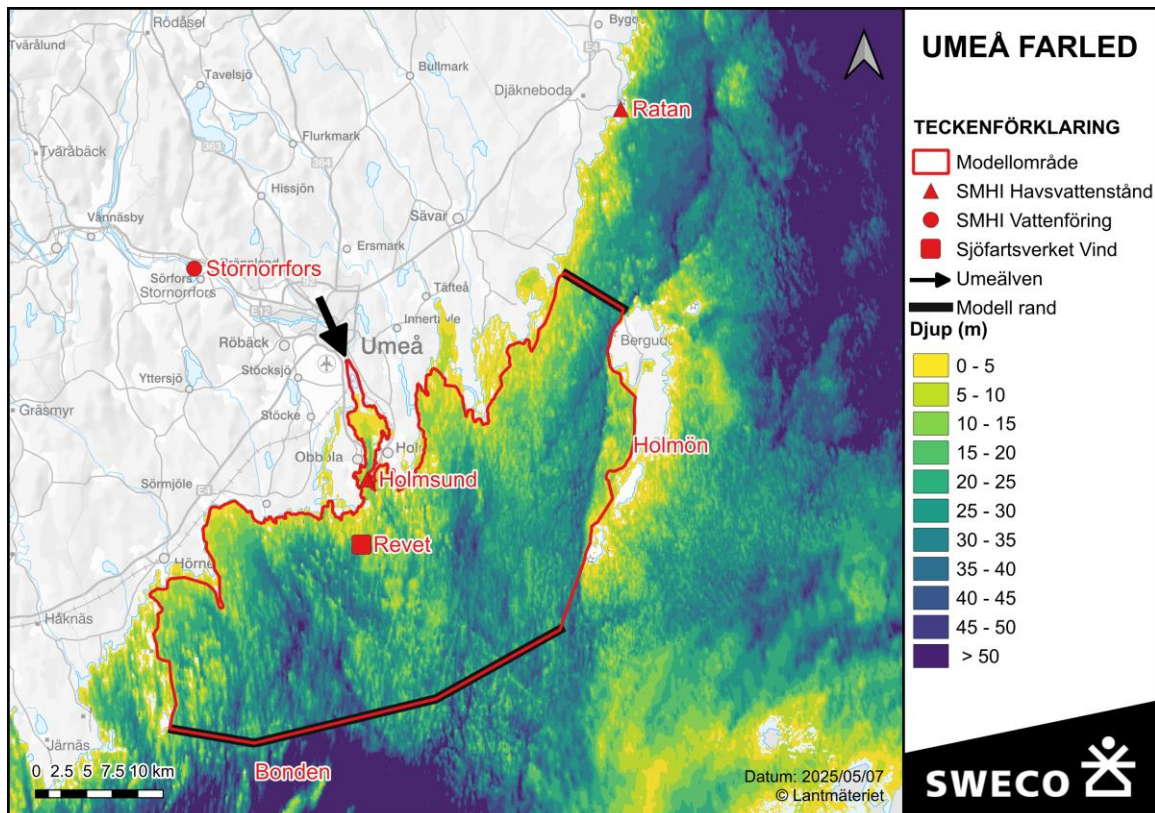
3.2 Modellkonfiguration

Det modellerade området omfattar den västra delen av Norra Kvarken med ungefärlig utsträckning från Bonden i söder till Holmöns norra spets i norr, se Figur 3-1.

Beräkningsnätet har en horisontell upplösning som varierar mellan 15-500 m där finare upplösning används i muddrings- och dumpningsområdena samt i områden där det krävs för att återge de geografiska och batymetriska förutsättningarna. De lägre upplösta områdena återfinns på längre avstånd från intresseområdena samt i områden med mindre geografisk och batymetrisk variation.

Vertikalt består beräkningsnätet av 14 lager och den vertikala upplösningen varierar mellan 0,1–10 m. Högst vertikal upplösning används närmast vattenytan, detta för att på ett korrekt sätt återge vindinducerade strömmar. Hög vertikal upplösning används också kring de djup där muddring planeras ske dessa djup sammanfaller även med det generella skiktningdjupet i området där högre vertikal upplösning också krävs. Lägre vertikal upplösning används på större djup där vattenkolumnens skiktning vanligtvis är svagare.

Vattenrörelserna i modellen drivs främst av Umeälvens tillflöde, vinden samt av vattenståndsskillnader mellan norra och södra delen av modellen. Information om Umeälvens vattenföring har hämtats från flödesmätningar utförda vid Stornorrforss vattenkraftverk (se Figur 3-1). Vinddata har erhållits från Sjöfartsverket och är uppmätt vid Revet. Vid den norra randen har vattenståndsdata hämtats från Ratan och vid den södra randen från Holmsund.



Figur 3-1. Karta över indata, modellområde och ränder. Djupdata har hämtats från (European Marine Observation and Data Network, u.d.).

3.3 Modellering av sedimentspridning

Modelleringen av sedimentspridning använder metoder som redovisas i riktlinjer för modellering av muddringsplymens fjärrfält för MKB utredningar (WAMSI, 2020). Metoden antar att med varje muddrings- och dumpningshandling spills en del av det fina sedimentet och detta transporteras som enskilda suspenderade partiklar i vattnet och sprids med vattenströmmarna. Denna fraktion kallas för spill och kan beräknas baserat på muddringsplan, sedimentsammansättning och muddringsmetod. Muddringsmetod och muddringsplan för projektet är inte fastställt i nuläget. Tillsammans med Sjöfartsverket har antaganden valts som beskriver muddringen på ett rimligt men konservativt sätt.

Muddring antas ske med ett enskopeverk (med öppen skopa) för samtliga muddringsområden och bottenmaterial med en muddringshastighet på 220 tfm³/timme. För förorenad silt används ett enskopeverk med miljöskopa vilket begränsar muddringshastigheten till 85 tfm³/timme. Dumpningen sker med en bottentömmande pråm inom dumpningsområdet där varje tömning antas utgöras av 675 tfm³ och ha en varaktighet om 10 minuter (Becker, 2015).



Figur 3-2: Bilder av muddrings- och dumpningsfartyg. Från vänster till höger: enskopeverk med öppen skopa (Jan de Nul, n.d.), enskopeverk med miljöskopa (MDC, 2025) och en bottentömmande pråm (MDC, 2025).

Vid muddring och dumpning kommer endast finsediment (mindre än 125 µm) att vara i suspension tillräckligt länge för att riskera spridas. Grövre sediment faller så pass snabbt ned till botten att spridningen blir försumbar. Sedimenten mindre än 125 µm har delats in i fyra kategorier baserat på partikelstorlek, från lera till finsand, vilka specificeras i Tabell 3-1.

Trots att siktkurvan för siltiga sediment innehåller en stor andel kohesivt material (finare än cirka 4 µm (Yao, o.a., 2022)) antas dessa partiklar bete sig som icke-kohesiva sediment, vilket är ett konservativt antagande ur både spridnings- och koncentrationssynpunkt. Antagandet innebär att lera inte faller som stora klumpar direkt till botten utan sprids som enskilda suspenderade sedimentpartiklar.

Tabell 3-1 Sedimentsammansättning för silt, morän och sand enligt de representativa siktkurvorna (Bilaga A). Bara andelen finsediment ($< 125 \mu\text{m}$) modelleras, grövre korn bedöms falla rakt ned till botten och därmed inte bidra till någon grumling. Grus och berg har ingen andel finsediment och modelleras därför inte.

	Siktkurva	Ler och finsilt	Mellansilt	Grovsilt	Finsand	Inte modellerat
Diameter (µm)		< 6,3	6,3 - 20	20 - 63	63 - 125	> 125
Representativ diameter (µm)		3,1	13	42	94	
Fallhastighet (mm/s)		0,0088	0,15	1,5	7,9	
Siltiga sediment	23W20	23%	43%	33%	0%	1%
Morän	23W22	2%	6%	7%	11%	74%
Sand	23W67			4%	4%	92%

Spillfraktionen baserats på tillgängliga utredningar, riktlinjer och mätningar för samtliga muddrings- och dumpningsmetoder. För mekanisk muddring med enskopeverk förväntas spillfraktionen vara mellan 0% och 5% (WAMSI, 2020) och antas konservativt till 5% i modellen. En miljöskopa förväntas minska spillfraktionen, samtidigt som muddringshastigheterna sänks. Baserat på utredningar med gripskopeverk (Van Rijn, 2023) (WAMSI, 2020) förväntas en minskning av spillfraktionen med cirka 40%, vilket betyder att en spillfraktion på 3% används för muddring med miljöskopa i modellen. Spill från ett grävudderverk (antingen öppen eller miljöskopa) genereras under gripningen vid botten, under lyftningen och under deponeringen i pråmen (Van Rijn, 2023) och som följd visar mätningar höga sedimentkoncentrationer över hela vattenpelaren (Hydronamic, 2015) (USACE, 2009) (Cutroneo, o.a., 2013). Därför sprids spill från muddring jämnt över vattenpelaren i modellen.

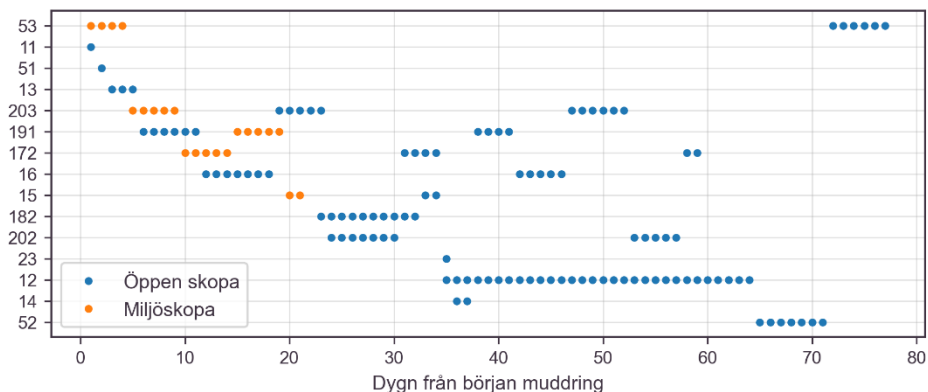
Dumpning med bottenborttömmande pråm har en spillfraktion mellan 1 och 5% (USACE, 2015) (Truitt, 1988) (Becker, 2015), och antas konservativt på 5% vid ytan i modellen. I Tabell 3-2 visas använda spillprocent och -intensitet för olika muddringsmetoder.

Tabell 3-2: Spill (kg/s) baserat på muddrings- eller dumpningsmetod och sedimentsammansättning av muddringsområde.

	Spillfraktion	Total spilld massa (kg)	Spill (kg/s)		
Muddringsmetod			Silt	Morän	Sand
Enskopeverk	5%	15 miljoner	4,8	1,3	0,4
Enskopeverk med miljöskopa	3%	1,3 miljoner	1,1	0,3	0,1
Dumpning	5%	17 miljoner	88,5	23,3	7,2

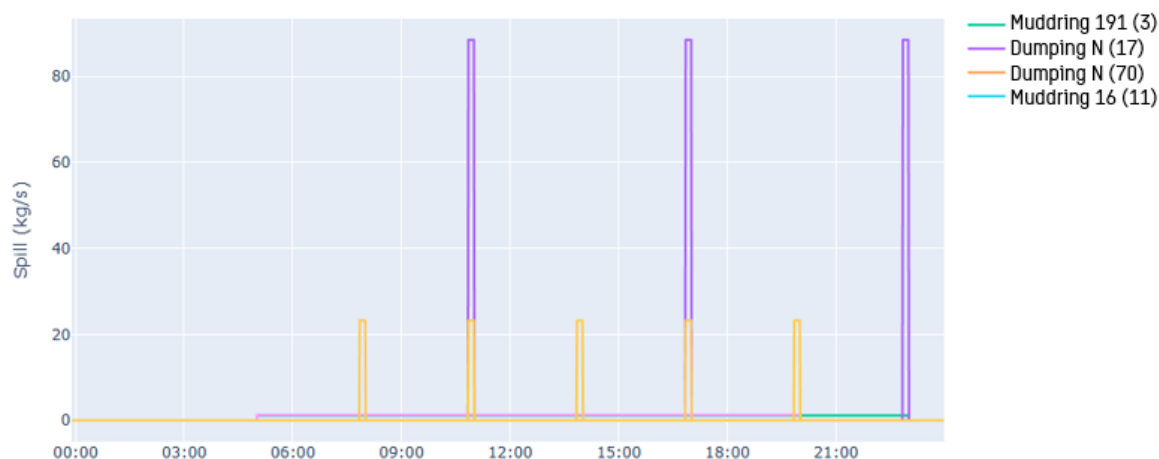
En muddringsplan har tagits fram där muddring sker inom två muddringsområden samtidigt under hela perioden. Muddringsområden tagits med tillräckligt avstånd från varandra för att inte påverka varandra. Modellresultaten bedöms därför giltiga för att göra bedömning av påverkan även om endast ett enskopeverk används. Muddring sker 18 timmar per dygn och 7 dygn i veckan. Eftersom muddring av grus och berg medför icke

betydande spill av finsediment, har de områdena exkluderats från muddringssimuleringen. De grova massorna återfinns nästan uteslutande på havssidan om dumpningsområdet (se Figur 2-2 och Tabell 2-1) och antas kunna muddras utan betydande spill antingen före eller efter de inkluderade muddringsoperationerna. Den kvarstående muddringen tar enligt antagen muddringsplan totalt 77 dygn (Figur 3-3).



Figur 3-3: Muddringsplan med nummer av muddringsområden. Dumpning sker under hela perioden.

Kombination av muddringsmetod och tillhörande spillfraktion, sedimentsammansättning och muddringsplanen resulterar i en tidserie av spill till modellen, den visas i Figur 3-4. I figuren ses att massflödet för spill vid muddring är betydligt lägre än för dumpning men spillet sker kontinuerligt medan dumpning sker stötvis med hög intensitet.



Figur 3-4: Indikativ tidserie av spill (kg/s) på dygn 17 till följd av både muddring och dumpning, Inom parentes anges vilken punkt i området som väljs

Bakgrundskoncentrationen på cirka 3 mg/l (avsnitt 2.3.5) modelleras inte. Vilket betyder att samtliga modellresultat läses som haltpåslag utöver bakgrundskoncentrationen.

3.4 Modellering av erosionsrisk dumpningsområde

Bedömningen av erosionsrisk i dumpningsområdet sker genom en jämförelse av flödeskrafterna vid dumpningsområdets botten mellan referensscenario och scenario efter dumpning. Dessutom kan det dumpade materialet ha en finare sedimentstorlek och därmed erodera redan vid lägre strömhastigheter,

Rörelse av sediment inträffar i det ögonblick då flödeskrafterna överstiger tyngdkraften och sammanhållande krafterna som verkar på varje enskilt sedimentkorn. Flödeskrafterna beskrivs som bottenskjuvspänningen, och gränsvärdet för rörelse som den kritiska bottenskjuvspänningen, denna beräknas av Telemac.

Analysen av sediment i dumpningsområdet visar en stor variation i sedimentstorlek, med D_{50} -värden som sträcker sig från 10 μm till 4 mm (avsnitt 2.2). Två av proverna (23W62, 23W59) innehåller mycket lera (> 10%) och klassificeras som kohesivt sediment. Kohesivt sediment med finare kornstorlek har en större motståndskraft mot erosion då de kohesiva krafterna ökar med minskad kornstorlek. I nuläget är det prov 23W63, med en sedimentstorlek (D_{50}) på 50 μm , som uppvisar den lägsta kritiska bottenskjuvspänningen på 0,1 N/m^2 (Van Rijn L., 2007). När flödes hastigheter överskrider denna bottenskjuvspänning, initieras en rörelse där sedimentet börjar rulla längs botten, vilket benämns som botten transport. Om flödes hastigheten fortsätter att öka, kommer sedimentet att lyftas upp i suspension.

Efter dumpningen är det sedimentet vid bottenytan som är avgörande för att bestämma den kritiska bottenskjuvspänningen. Enligt dumpningsplanen ska silt dumpas i den djupaste delen av Klinten, följt av övriga sedimentklasser. Denna ordning är nödvändig eftersom okonsoliderad silt har en mycket låg bottenskjuvspänning och är för känsligt för erosion för att ligga vid ytan. Övriga sedimentklasser fungerar som ett skyddande lager (armour layer) och hindrar silten från att erodera. Detta skyddande lager består främst av morän och sand. I beräkningarna antas en bottenskjuvspänning på 0,15 N/m^2 . Även vid denna gräns börjar sedimentet rulla längs botten, och större flödes hastigheter krävs för att lyfta sedimentet upp i suspension.

Tabell 3-3: Kritisk bottenskjuvspänning för de olika klasserna av dumpade sediment (Van Rijn L., 2007). För dessa beräkningar antas sedimenten vara icke-kohesiva. Bottenskjuvspänningen för grus och berg kan dock inte bestämmas med samma metod, men är högre än bottenskjuvspänningen för morän.

Dumpade sediment	D_{50} (μm)	Kritisk bottenskjuvspänning (N/m^2)
Silt	14	0,05
Morän	250	0,2
Sand	190	0,15
Grus	2100	> 0,2
Berg	> 2100	> 0,2

I den hydrodynamiska modellen analyseras scenarier för både nuläget och efter dumpning till påfyllningsnivån -26,3 m. För att modellera förhållandena efter dumpning har batymetrin i dumpningsområdet höjts till påfyllningsnivån, detta innebär att botten är helt plan i detta område. I praktiken kommer troligtvis botten efter dumpning vara mer oregelbunden, detta bedöms endast göra marginell skillnad för modellresultaten.

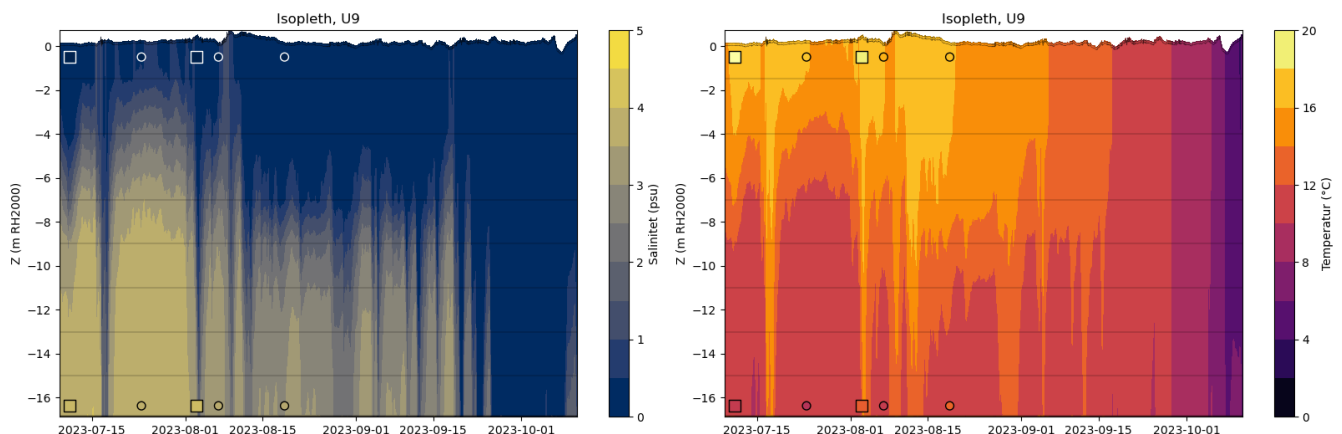
Modellresultaten för nuläget används för att bedöma ackumulationsegenskaperna i området, baserat på den kritiska bottenkjuvspänningen på 0,10 N/m². Bedömningen av bottenerosion i scenariot efter dumpning baseras på den kritiska bottenkjuvspänningen på 0,15 N/m². Resultaten analyseras också med avseende på varaktigheten av överskridandet av den kritiska bottenkjuvspänningen, eftersom en kort period av överskridande inte direkt innebär någon risk.

3.5 Rimlighet och validering

Innan modellen tillämpas är det viktigt att säkerställa att den är stabil, överensstämmer med mätningar och ger rimliga resultat. Eftersom både sedimentspridning och erosionsrisk är beroende av flödes hastigheterna skulle dessa parametrar ha varit de bästa att validera, tyvärr saknas mätningar av flödes hastigheter. Därför har modellen endast kunnat valideras mot några enskilda mätningar av temperatur och salinitet. Mycket tid har dock lagts på att bedöma huruvida strömningsmönstret är rimligt. En beskrivning av strömningsmönstret har inkluderats i valet av modellperioden (avsnitt 2.2) samt i resultatbeskrivningen i kapitel 4 och 5.

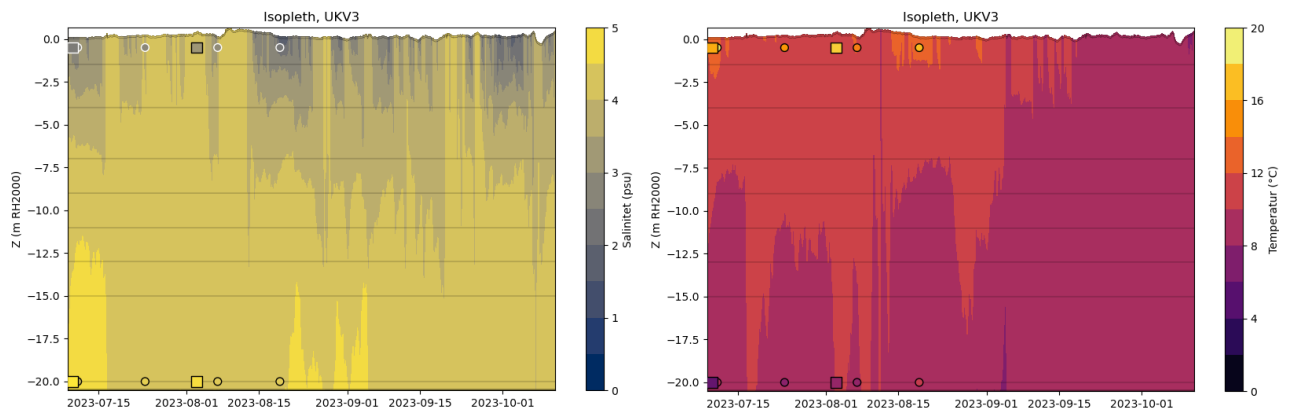
För att validera temperatur och skiktning har modellen säkerställts att ha en stabil skiktning som överensstämmer med mätningar. Mätningar i modellområdet under 2023 är dock begränsade till Ume- och Vindelälvens vattenvårdsförbunds mätningar vid två tillfällen (2023-07-11 och 2023-08-03). Därför har även mätningar från 2021 och 2022, som endast omfattar juli och augusti, inkluderats i figurerna.

I Figur 3-5 presenteras resultat vid station U9, även kallad Nya Obbolabron. Diagrammen visar tidsserier där den horisontella axeln visar tiden och den vertikala axeln visar djupet. Färgskalorna visar salinitet respektive temperatur. Figuren visar att både salinitet och temperatur överensstämmer väl med mätningarna. Skiktningen påverkas av Umeälvens flöden och vindgenererade strömmar men är relativt stabil under hela perioden. I slutet av september är flödet i Umeälven stort och för med sig stora volymer kallt vatten, vilket temporärt försvagar skiktningen; denna börjar dock återhämtas redan mot slutet av modellkörningen.



Figur 3-5: Jämförelse av skiktningen i modell och mätningar vid U9 (Nya Obbolabron). Mätningar från 2023 visas som kvadrater och mätningar från 2021 och 2022 som cirklar, färgen på markörerna visar uppmätt salinitet och temperatur. Mätningar registreras vid "botten" eller "ytan".

I Figur 3-6 presenteras resultat vid station UKV3, som är lokaliserad 1 km öster om Klinten. Eftersom punkten ligger i mitten av modellområdet finns det en risk att skiktningen reduceras på grund av numerisk diffusivitet i beräkningar inom Telemac. Modellresultaten visar dock att viss skiktning finns under hela modellperioden. Skillnader förekommer vid mätningar, som ofta visar lägre salinitet och högre temperatur vid ytan. Skiktningen bedöms vara tillräckligt stark för att modellera påverkan på strömningsmönstret.



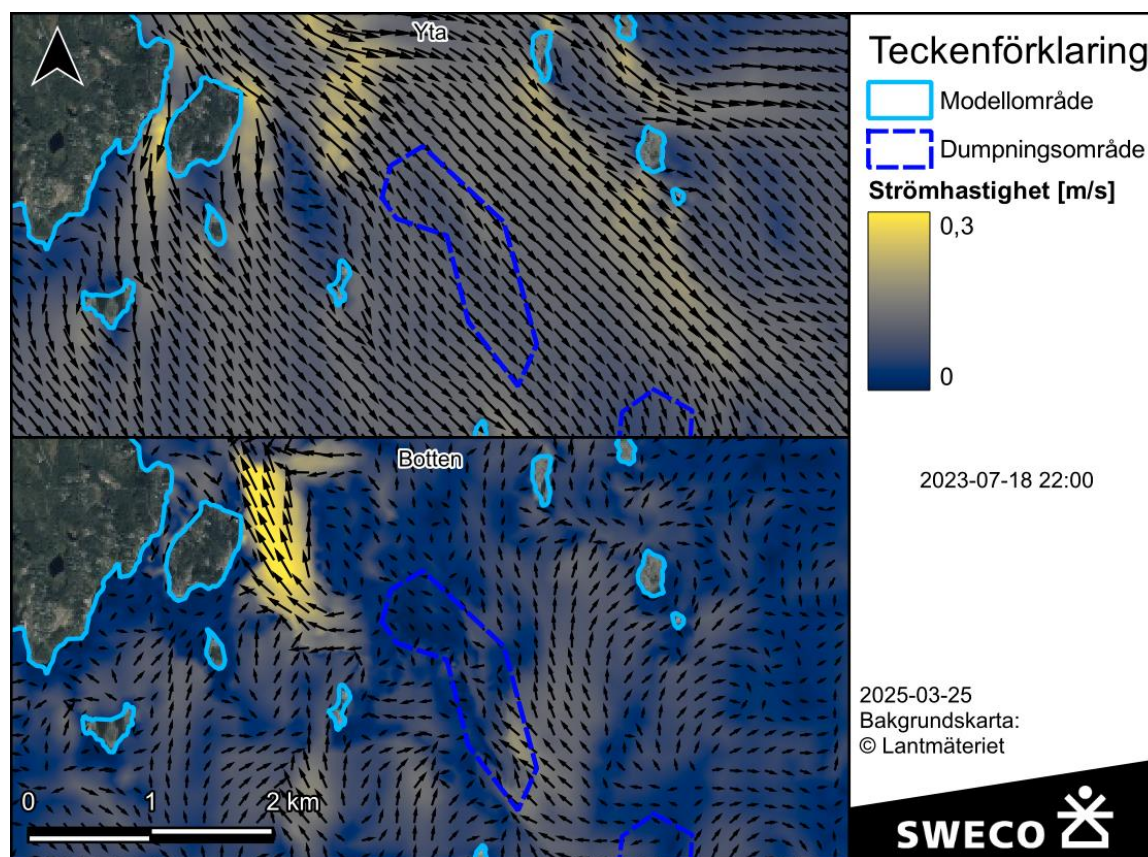
Figur 3-6: Jämförelse av skiktningen i modell och mätningar vid UKV3 (1 km öster om Klinten). Mätningar från 2023 visas som fyrkantpunkter och mätningar från 2021 och 2022 som rundpunkter. Mätningar registreras vid "botten" eller "ytan".

4 Resultat – Sedimentspridning från muddring och dumpning

4.1 Strömningsmönster

Umeälven dominerar strömbilden i muddrings- och dumpningsområdena. I Figur 4-1 visas strömmönstret i ytan och vid botten vid ett godtyckligt tillfälle under simuleringen som bedöms visa ett representativt strömmönster. Där kan ses att ytströmmen i Umeälvens mynning är riktad söderut medan bottenströmmen varierar mer men i närheten av dumpningsområdet och muddringsområdena är den riktad norrut. Detta är på grund av att Umeälvens vatten saknar salinitet och därför har en lägre densitet än Bottenhavets vatten. Umeälvens vatten flyter därför ovanpå havsvattnet, denna dynamik ger även upphov till en motsatt riktad kompensationsström längs med botten.

Umeälven har mycket stor inverkan på strömningen i både muddrings- och dumpningsområdena, längre ut till havs avtar dock Umeälvens inflytande och mer storskaliga oceanografiska strömmar börjar spela en större roll.

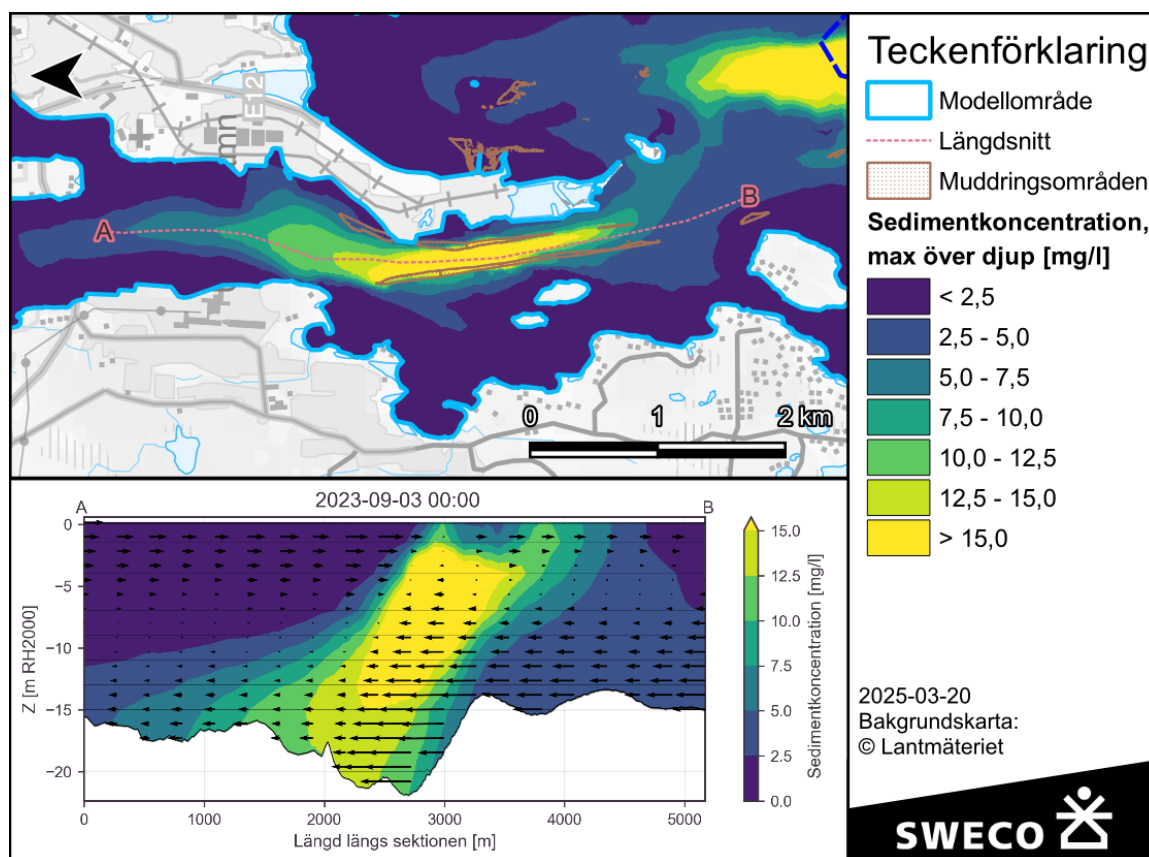


Figur 4-1: Strömmönster vid ett tillfälle som bedöms representativt för området. I den övre kartbilden visas strömhastighet- och riktning i ytan och den undre kartbilden vid botten. Ett tydligt skiktat strömmönster kan konstateras.

4.2 Suspenderat sediment

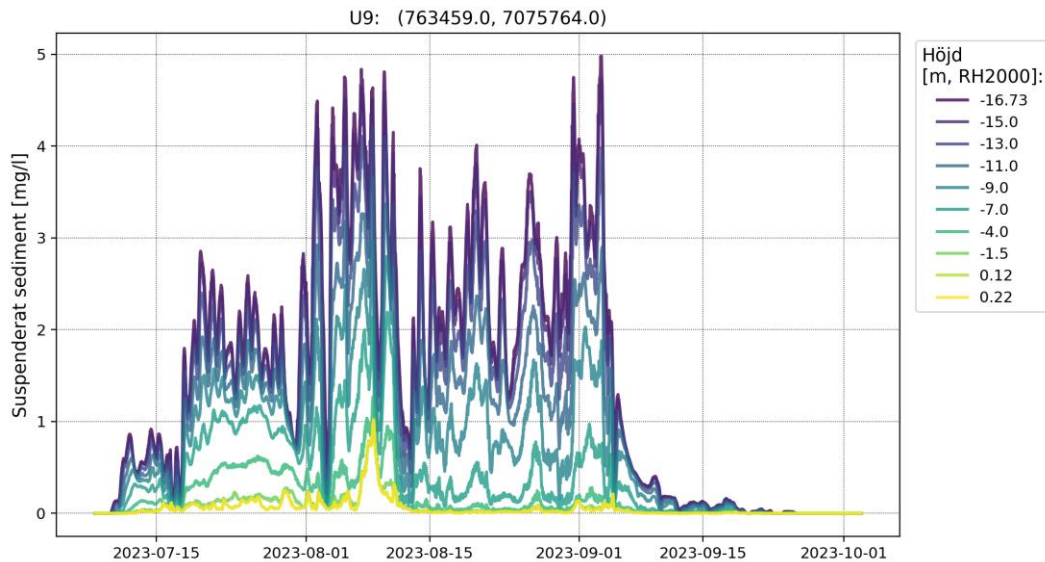
I följande avsnitt presenteras resultat från sedimentspridningsmodellen. Eftersom en tredimensionell modell har använts varierar modellresultaten över djupet. Härfter visas generellt kartor över det maximala värdet över djupet, det innebär att kartorna inte nödvändigtvis visar samma djup överallt men det leder också till att inga områden med höga sedimentkoncentrationer missas. Samtliga kartor visar haltpåslaget utöver den naturliga bakgrundshalten om cirka 3 mg/l (avsnitt 2.1).

I Figur 4-2 visas sedimentkoncentrationen vid ett tillfälle under muddringsförloppet. Tillfället är valt för att det visar tydligt hur sedimentplymen vid muddring transporteras både uppströms och nedströms vid samma tillfälle. Detta är en följd av det strömmönster som Umeälven ger upphov till (se avsnitt 4.1). Det sediment som spills nära botten transporteras med kompensationsströmmen norrut och det som spills i ytan transporteras med Umeälvens vatten söderut. Till höger i kartan ses även att det samtidigt förekommer en sedimentplym från dumpningsområdet.



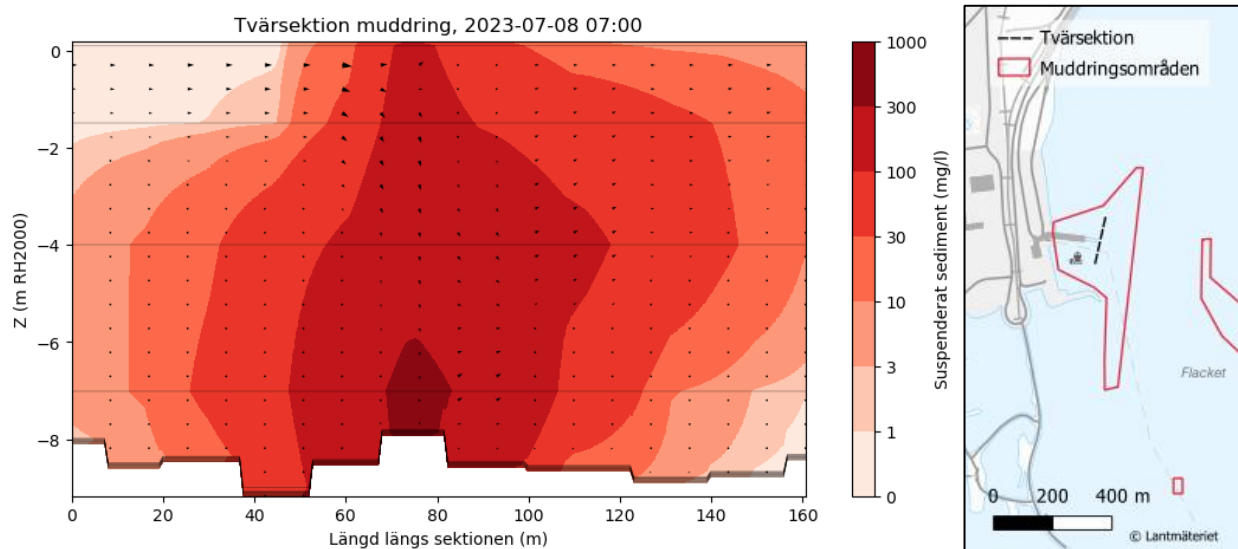
Figur 4-2: Exempel på tillfälle med sedimentplymer som rör sig åt båda håll vid muddring i älvmyningen.

I Figur 4-3 visas en tidsserie över sedimentkoncentrationen på olika djup i punkt U9 som ligger vid gränsen till Natura 2000-området *Umeälvens delta* (plats för mätpunkten visas i Figur 2-1). Där ses att Natura 2000-området kan nås av suspenderat sediment från muddringen, koncentrationerna är dock låga och den högsta beräknade sedimentkoncentrationen någon gång under simuleringen är 5 mg/l. Den högsta koncentrationen uppnås nära botten.



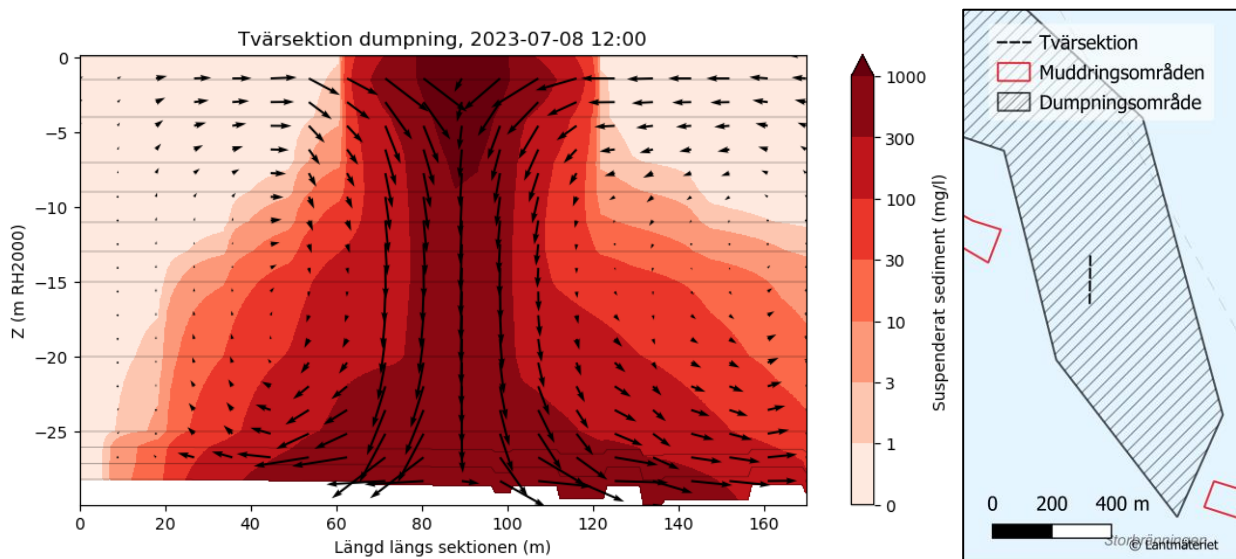
Figur 4-3: Tidsserie över koncentration suspenderat sediment vid punkt U9, vid gränsen till Natura2000-området *Umeälvens delta*.

I Figur 4-4 visas sedimentkoncentrationen i ett tvärsnitt i muddringsområde 53 (se Figur 2-2). Tvärsnittet visar ett representativt tillfälle för muddring, där de högsta sedimentkoncentrationerna återfinns nära botten medan spridningen av spilt sediment sker i hela vattenpelaren.



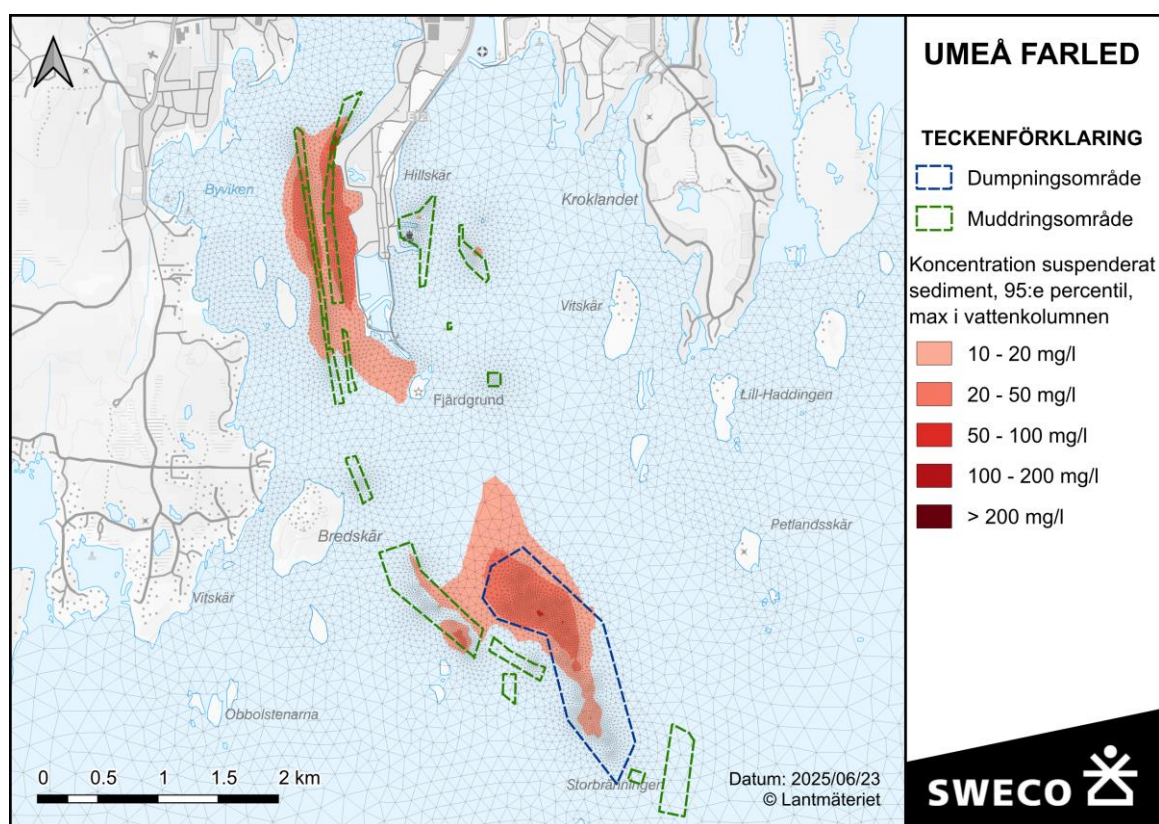
Figur 4-4. Ett exempel på en tvärsnitt under muddring i muddringsområde 53 (se Figur 2-2) som visar att muddringsspill i detta område inte påverkas av strömning i särskilt stor utsträckning. Detta innebär att den högsta koncentrationen av sediment uppstår vid botten och främst sprids med en diffusiv karaktär.

I Figur 4-5 visas sedimentkoncentrationen under ett för dumpningen representativt tvärsnitt, vid ett godtyckligt dumpningstillfälle. Där ses att modellen väl återskapar den dynamik som beskrivs i litteraturen, med en kraftig densitetsdriven vertikal rörelse av sedimentplymen. Sedimentplymens vertikala rörelse får även omgivande vatten att röra in mot dumpningsplatsen för att därefter följa med sedimentplymen mot botten (eng. *entrainment*). Detta förlopp leder till mycket liten horisontell spridning av sediment nära ytan, det är istället först när sedimentplymen når botten som den horisontella spridningen inleds.



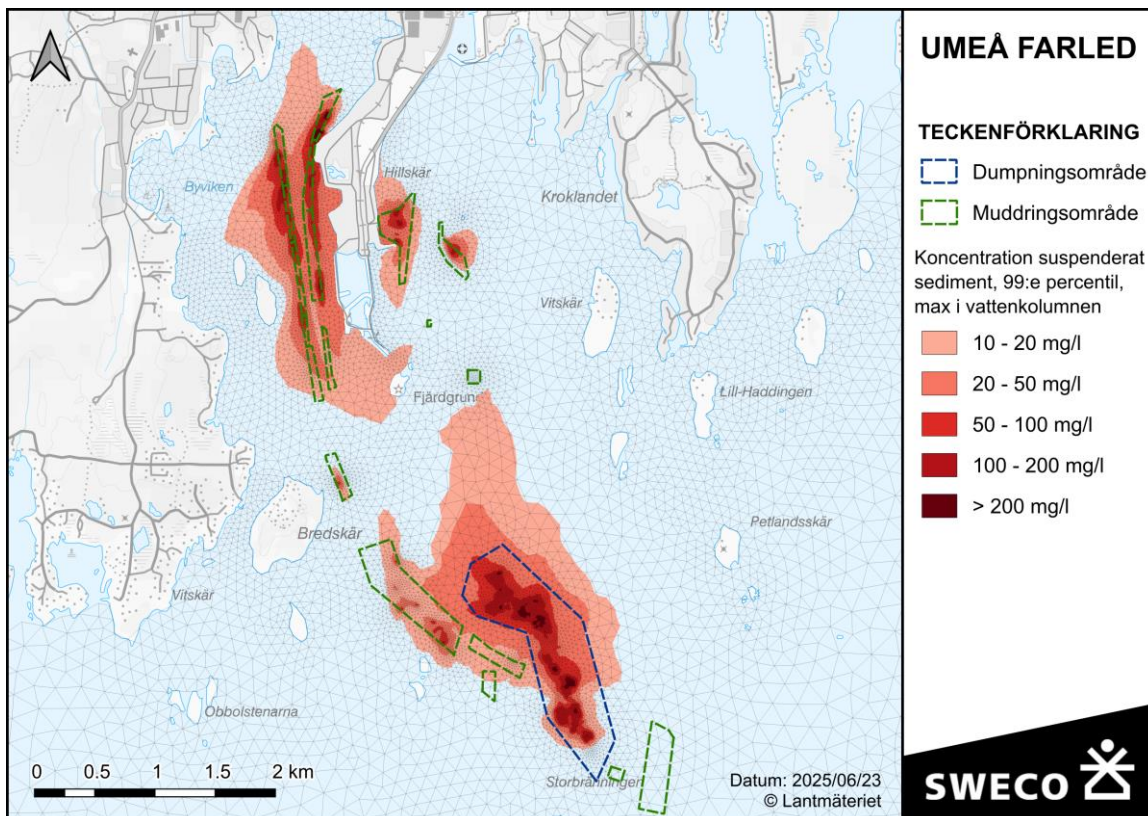
Figur 4-5. Ett exempel på ett tvärsnitt vid dumpning av silt i Klinten visar att dumpningsprocessen skapar ett strömmönster som för sedimentet till botten.

I Figur 4-6 visas 95:e percentilen av den djupmaximala sedimentkoncentrationen. Där kan ses att det endast är i närheten av muddring och dumpning som förhöjda sedimentkoncentrationer uppnås. 95:e percentilen innebär att i 5 % av tiden överskrids det värde som visas, det motsvarar cirka 100 timmar under hela simuleringsperioden. Ett intressant resultat är att från dumpningen sprids generellt sedimentspillet norrut. Detta är på grund av den kompensationsström som bildas av Umeälvens flöde och som beskrivs i avsnitt 4.1. Eftersom kartan är en statistisk sammanslagning över hela modellsimuleringens längd är det viktigt att notera att inte alla markerade områden har förhöjd koncentration samtidigt, ett exempel på ett enskilt tillfälle kan ses i Figur 4-2.



Figur 4-6: Karta över 95:e percentilen av sedimentkoncentration på det maximala vattendjupet i vattenpelaren under hela muddringsförloppet. Eftersom kartan är en statistisk sammanslagning över hela modellsimuleringens längd är det viktigt att notera att alla markerade områden inte har förhöjd koncentration samtidigt.

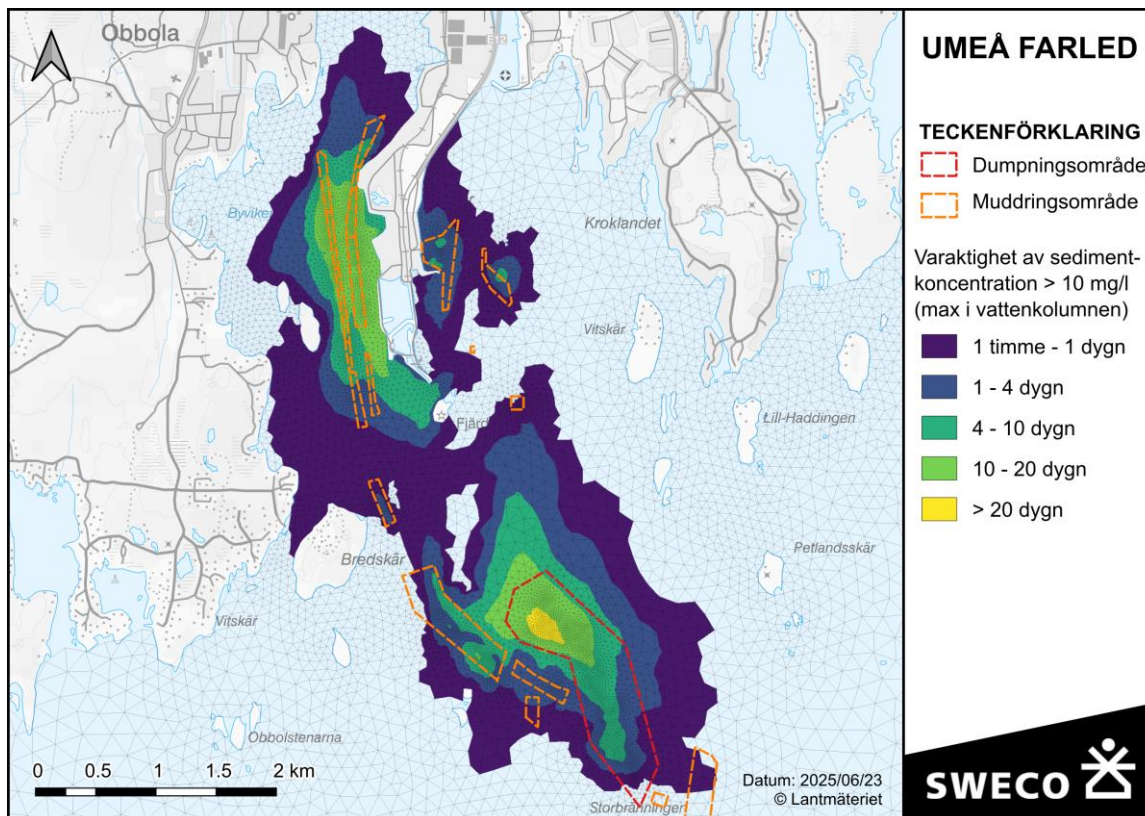
I Figur 4-7 visas motsvarande karta för 99:e percentilen, vilket motsvarar cirka 20 h. Där kan ses att 99:e percentilen av sedimentkoncentrationen överskrider 200 mg/l i direkt anslutning till muddrings- eller dumpningsplatser. Att det är relativt stor skillnad mellan 95:e och 99:e percentilen (Figur 4-6 och Figur 4-7) tyder på att de högsta sedimentkoncentrationerna är ovanliga. Det framgår också att för 1% av tiden uppgår koncentrationen suspenderat sediment till åtminstone 10 mg/l upp till 700 m från muddringsområdena. Längre bort än 700 m är koncentrationen 99% av tiden lägre än 10 mg/l. Motsvarande avstånd för dumpning är cirka 1400 m.



Figur 4-7: Karta över 99:e percentilen av sedimentkoncentration på det maximala vattendjupet i vattenpelaren under hela muddringsförloppet. Eftersom kartan är en statistisk sammanslagning över hela modellsimuleringens längd är det viktigt att notera att alla markerade områden inte har förhöjd koncentration samtidigt.

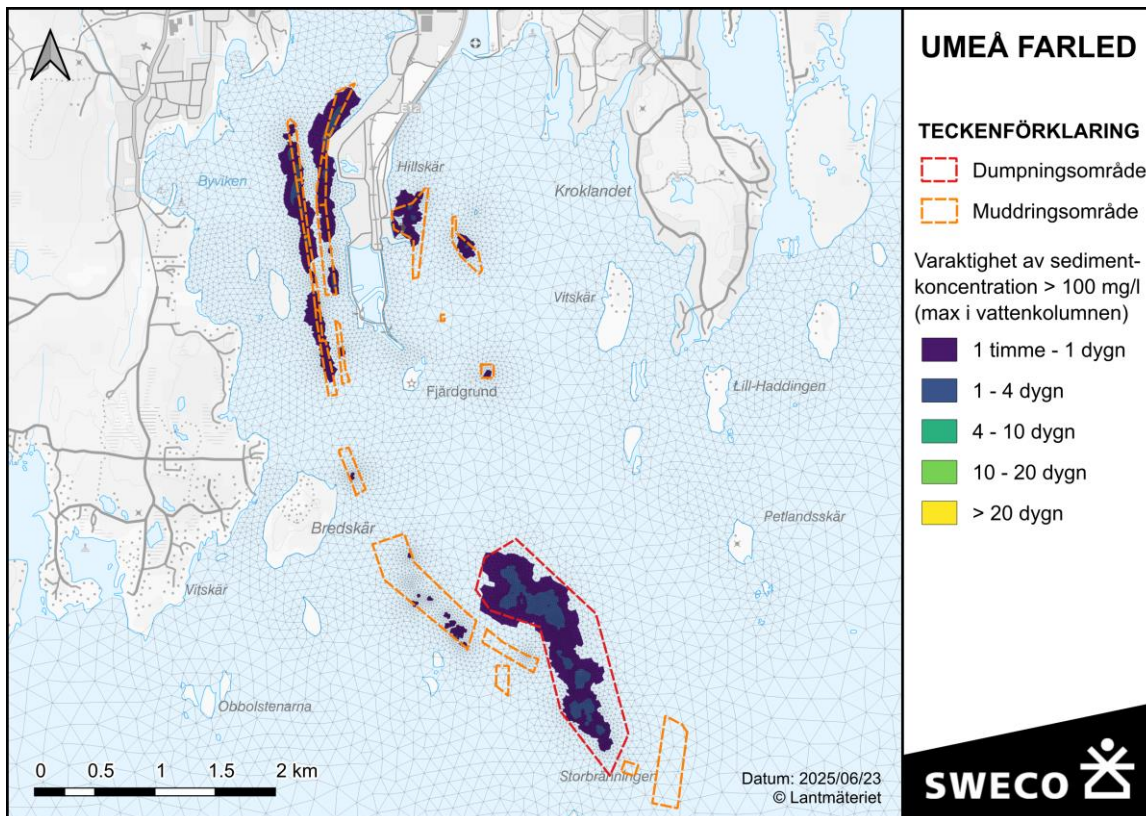
I Bilaga B presenteras kartor över ytterligare statistiska mått för sedimentkoncentrationen.

I Figur 4-8 visas varaktigheten av djupmaximal sedimentkoncentration över 10 mg/l. Generellt visar modellresultaten att förhöjda sedimentkoncentrationer främst förekommer i närheten av muddring eller dumpning. Figur 4-8 visar att på avstånd om upp till cirka 700 m från muddring kan sedimentkoncentrationen överskrida 10 mg/l under 1 dygn. Motsvarande avstånd för dumpningen är cirka 1100 m.



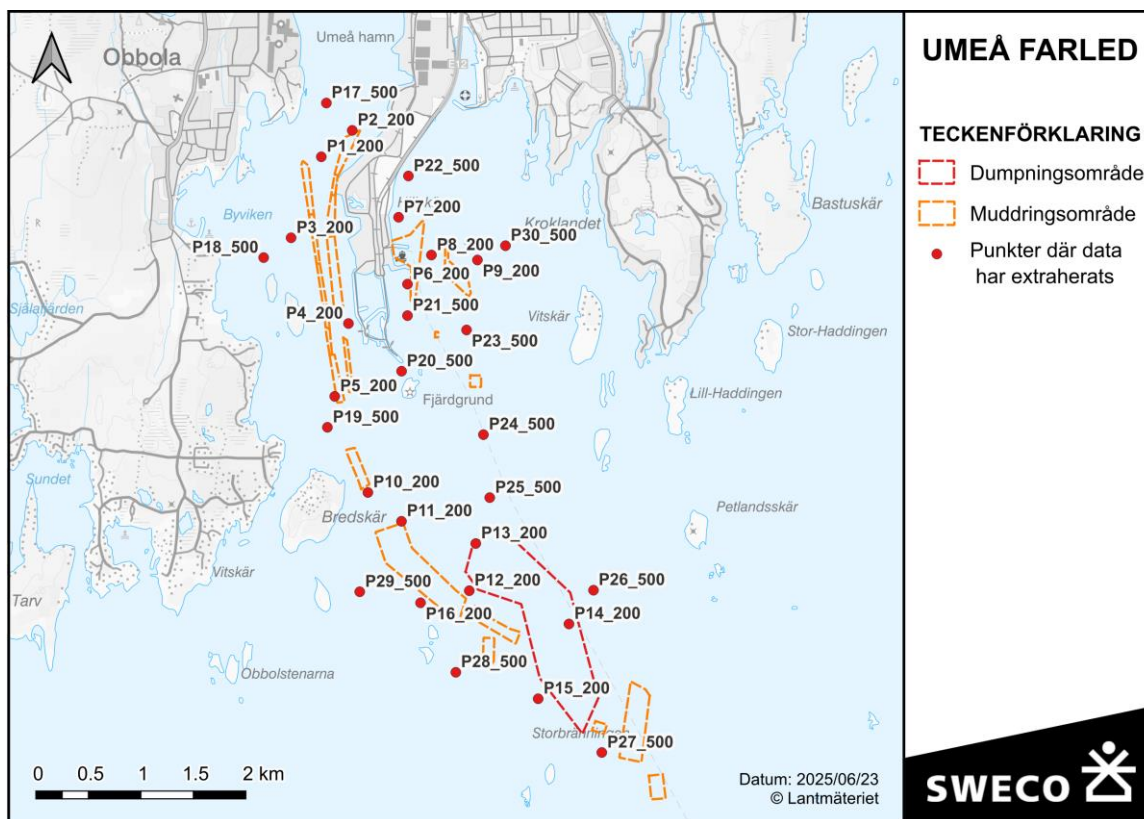
Figur 4-8: Varaktighet av djupmaximal sedimentkoncentration över 10 mg/l.

I Figur 4-9 visas en liknande karta för sedimentkoncentrationen 100 mg/l. Där kan ses att koncentrationen 100 mg/l är ännu mer begränsad i utsträckning. Sedimentkoncentrationen 100 mg/l återfinns endast i direkt anslutning till muddring och dumpning.



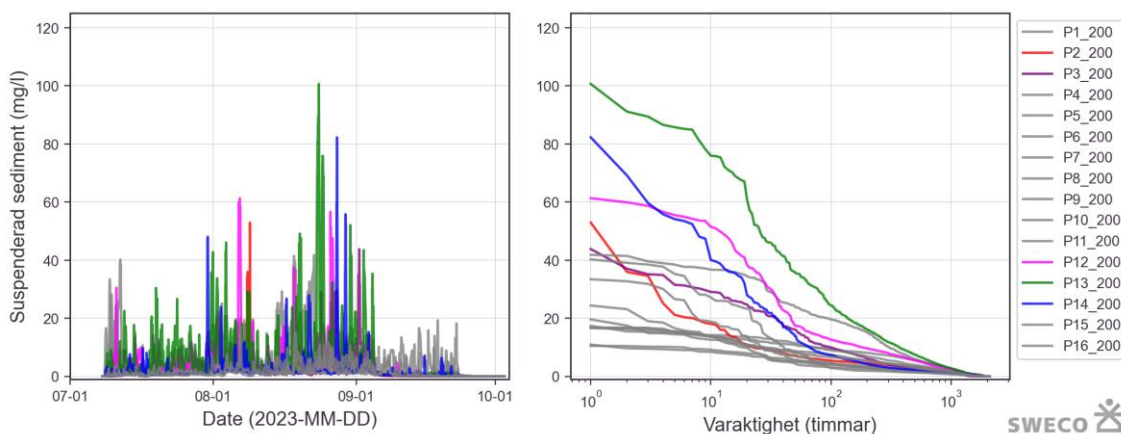
Figur 4-9: Varaktighet av djupmaximal sedimentkoncentration över 100 mg/l. Det framgår att koncentrationen 100 mg/l endast förekommer i direkt anslutning till muddrings- och dumpningsområdena (jämför Figur 2-2).

För att utvärdera sedimentkoncentrationens variation över tid har även tidsserier extraherats vid 30 punkter, varav 16 ligger 200 m från planerad muddring eller dumpning och 14 ligger 500 m från planerad muddring eller dumpning, se Figur 4-10. Punkterna är placerade för att både täcka alla riktningar och för att representera de högsta sedimentkoncentrationerna.



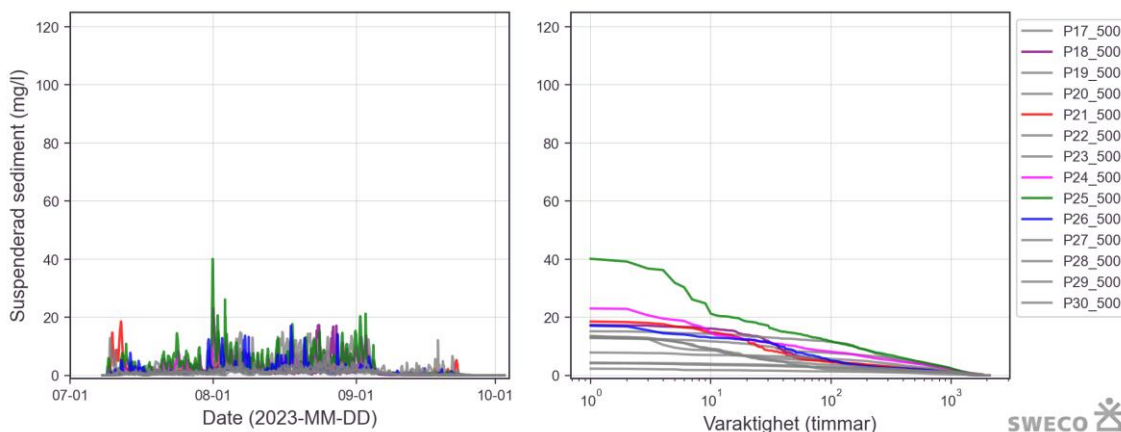
Figur 4-10: Karta över de punkter där tidsserier och varaktighetsdiagram har extraherats.

I Figur 4-11 visas tidsserier och varaktighetsdiagram för de punkter som ligger 200 m från muddring eller dumpning. Till vänster visas tidsserier av den djupmaximala sedimentkoncentrationen och till höger visas ett varaktighetsdiagram, observera att den horisontella axeln här är logaritmisk i varaktighetsdiagrammet. Ur figuren framgår att den maximala sedimentkoncentrationen som uppnås 200 m från muddring eller dumpning är cirka 100 mg/l, detta sker i P13 i närheten av dumpningen. Ur varaktighetsdiagrammet framgår att även om höga sedimentkoncentrationer uppnås är dessa kortvariga, då de flesta punkter visar en skarp nedgång i koncentration mellan cirka 20 och 40 timmar.



Figur 4-11: Tidsserier och varaktighetsdiagram för punkterna 200 m från muddring eller dumpning. De fem punkter med högst maximal koncentration har markerats, dessa är P2, P3, P12, P13 och P14.

I Figur 4-12 visas motsvarande diagram för punkterna som ligger 500 m från muddring eller dumpning. Den maximala sedimentkoncentrationen som uppstår 500 m från muddring eller dumpning är cirka 40 mg/l, detta sker i P25 (se Figur 4-10).



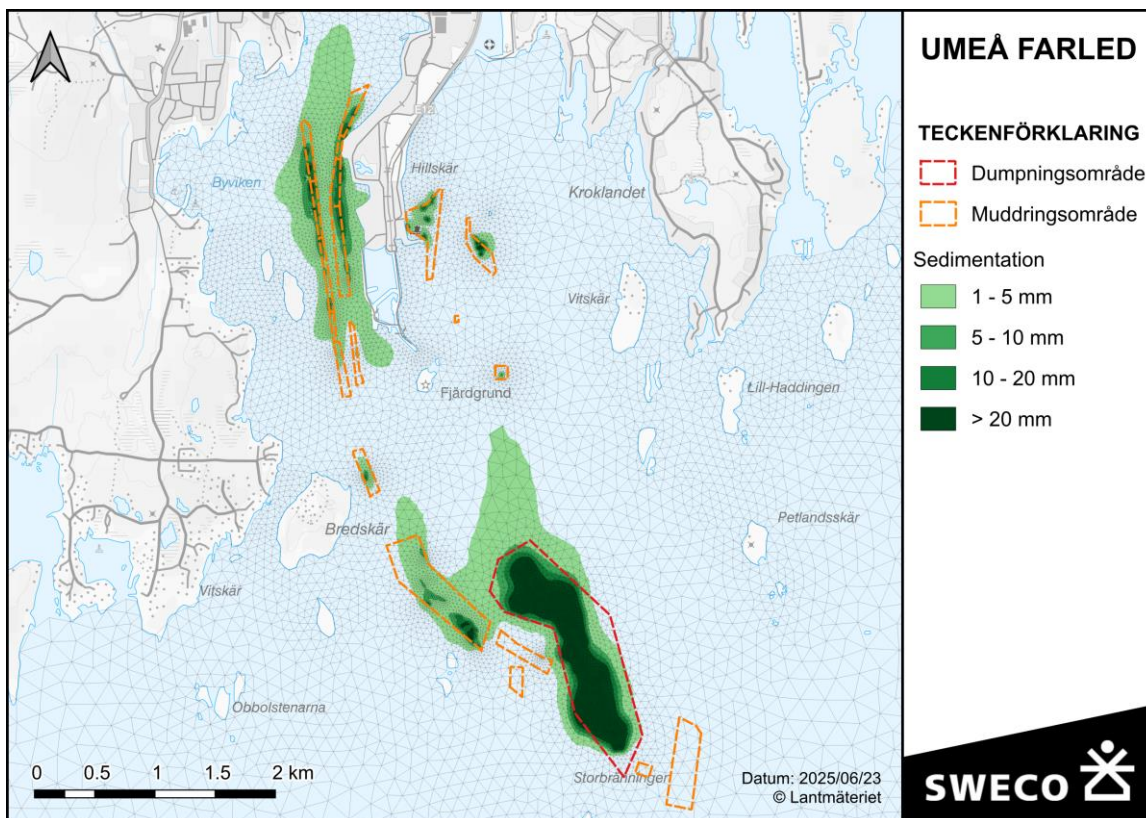
Figur 4-12: Tidsserier och varaktighetsdiagram för punkterna 500 m från muddring eller dumpning. De fem punkter med högst maximal koncentration har markerats, dessa är P18, P21, P24, P25 och P26.

Vid jämförelse av Figur 4-11 och Figur 4-12 framgår en relativt stor skillnad vilket indikerar att förhöjda sedimentkoncentrationer generellt har begränsad geografisk utbredning.

4.3 Sedimentation

I Figur 4-13 visas sedimentationen efter avslutad muddring och dumpning. Kartan visar endast sedimentation från sedimentspillet, det vill säga dumpat sediment som faller direkt till botten och inte sprids med strömmarna är inte inkluderat, se avsnitt 3.3.

I Figur 4-13 ses att pålagring om 1 mm beräknas uppstå upp till cirka 900 m från muddring, detta sker uppströms den mest nordliga muddringen. Motsvarande avstånd för dumpningen är upp till cirka 1200 m, detta sker också uppströms dumpningen med sediment som transporterats med kompensationsströmmen längs med botten. På grund av det densitetsdrivna strömningsmönster som uppstår vid dumpningen (se Figur 4-5) sker nästan all sedimentation från dumpningsspill i nordlig riktning från dumpningsplatsen.

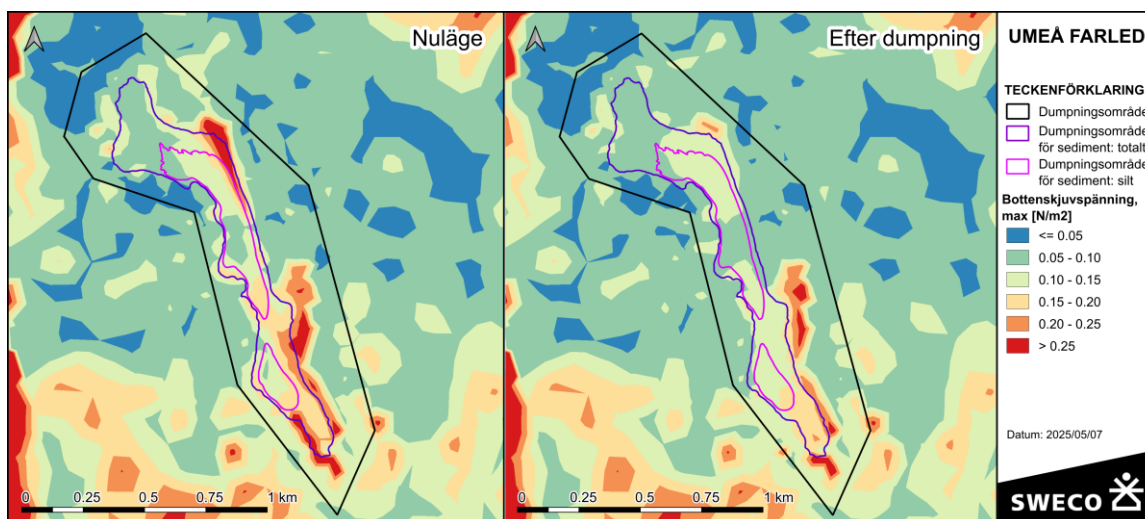


Figur 4-13. Sedimentation efter avslutad muddring och dumpning. Det framgår att sedimentation över 5 mm endast förekommer i direkt anslutning till muddrings- eller dumpningsområdena (jämför Figur 2-2).

5 Resultat – Erosionsrisk dumpningsområde

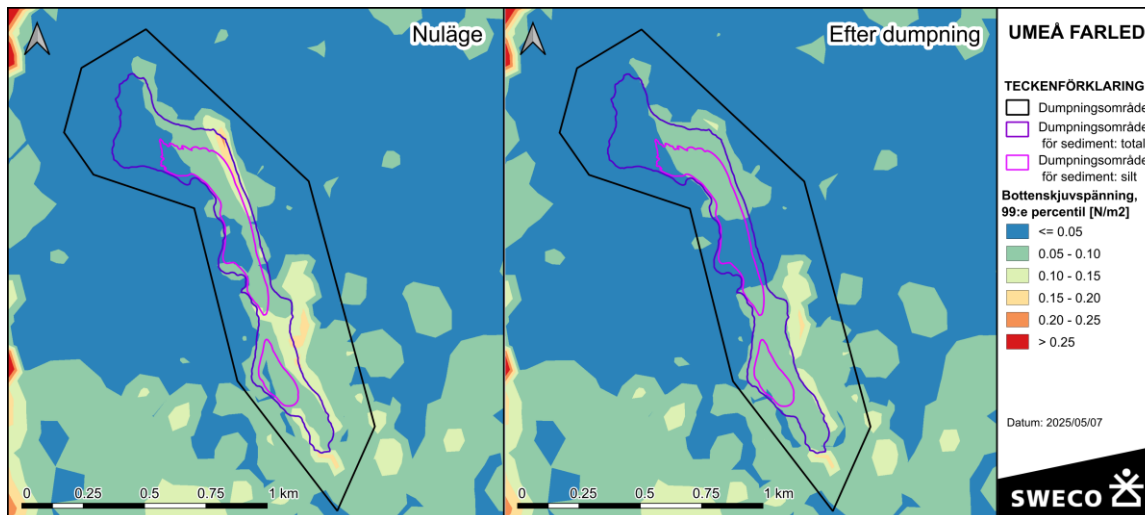
I föreliggande avsnitt presenteras modellresultat som har med erosionsrisk av dumpade massor att göra.

I Figur 5-1 visas maximal bottenskjuvspänning omkring dumpningsområdet i två olika modellsimuleringar. Till vänster visas nuläget och till höger visas dumpningsscenario med havsbotten i dumpningsområdet uppfyllt till -26,3 m. Det uppfyllda scenariot motsvarar dumpning av allt sediment med en svällfaktor på 1,36. I Figur 5-1 framgår även att södra delen av Klinten generellt är mer utsatt för hög bottenskjuvspänning och är därför mindre lämplig för dumpning av siltiga massor, detta bekräftas även av sedimentprovet från södra Klinten som innehåller en betydligt större andel grovt sediment (se Figur 2-4 och Tabell 2-2).



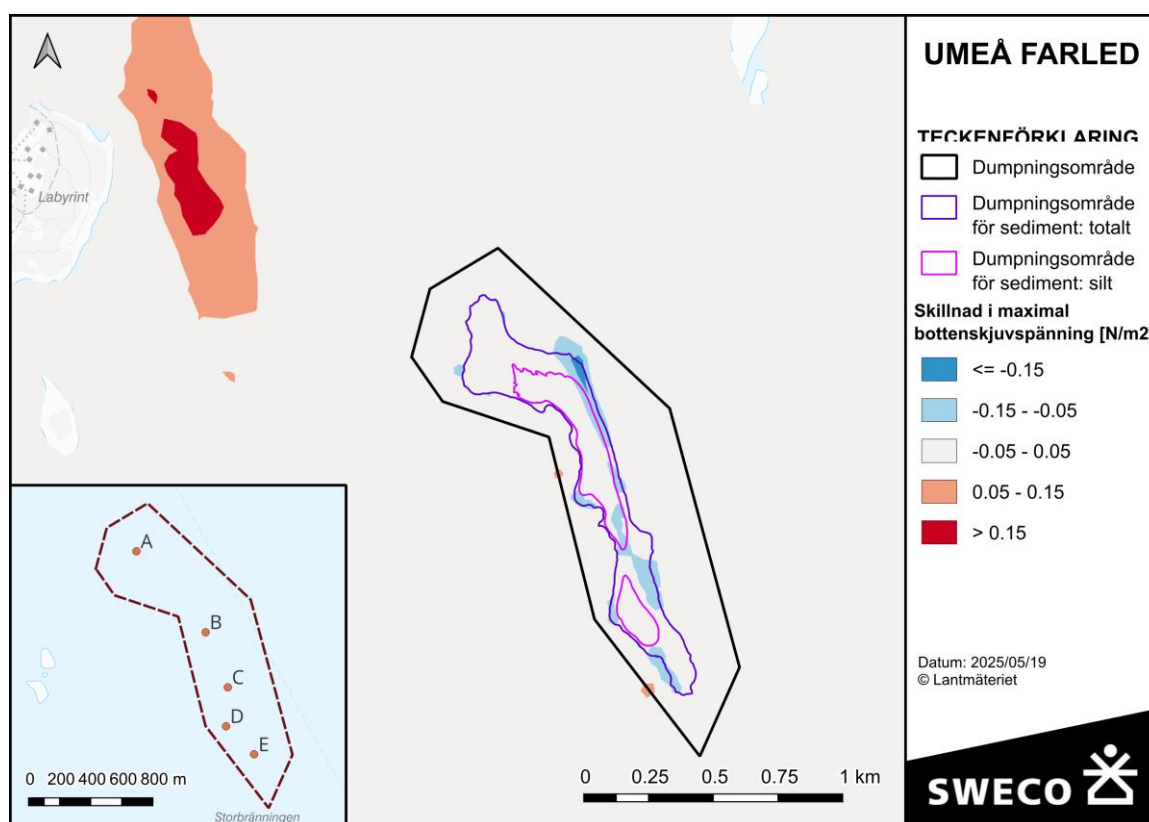
Figur 5-1: Maximal bottenskjuvspänning under hela den simulerade perioden. Redovisad skjuvspänning uppstår under 1 timme under simuleringen.

I Figur 5-2 visas 99:e percentilen av bottenskjuvspänning omkring dumpningsområdet. Vid jämförelse av Figur 5-1 och Figur 5-2 framgår en stor skillnad i bottenskjuvspänning, detta indikerar att tillfällena med de högsta bottenskjuvspänningarna är både ovanliga och kortvariga.



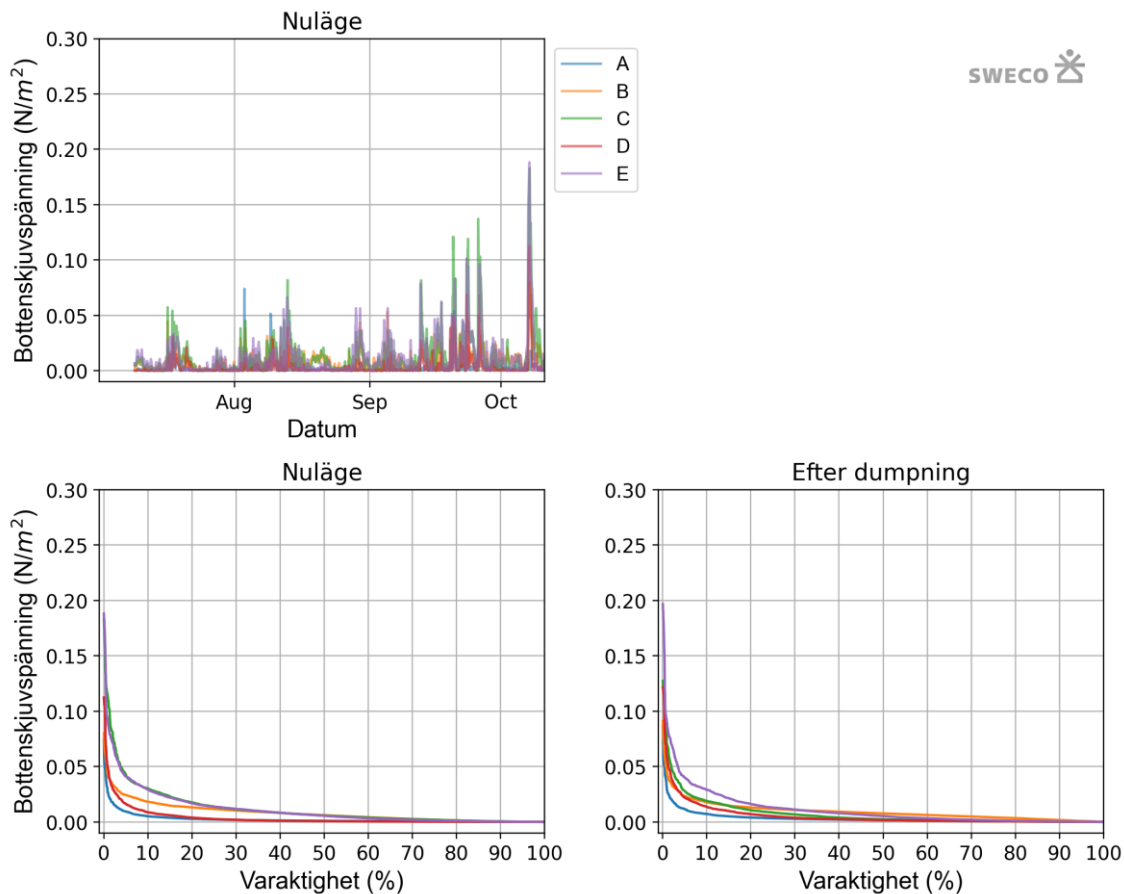
Figur 5-2: 99:e percentilen av bottenskjuvspänning under hela den simulerade perioden. Redovisad skjuvspänning överskrider under cirka 20 timmar under simuleringen.

I Figur 5-3 visas skillnaden mellan modellsimuleringarna, modellresultaten visar att den maximala bottenskjuvspänningen minskar som följd av dumpningen. Detta bedöms vara på grund av att en mindre andel av kompensationsflödet längs med bottnen strömmar genom Klinten. En större andel av kompensationsflödet går istället genom andra närliggande djupfåror, vilket minskar flödet och därmed även bottenskjuvspänningen i Klinten. Detta kan till exempel ses i den ökning av bottenskjuvspänning som uppstår nordväst om Klinten i Figur 5-3. I området med ökad bottenskjuvspänning är bottenskjuvspänningen i nuläget hög, eftersom detta är i Umeälvens huvudströmfåra. Detta innebär att sedimentet som ligger på platsen i nuläget bedöms grovt och anpassat för relativt höga bottenskjuvspänningar.



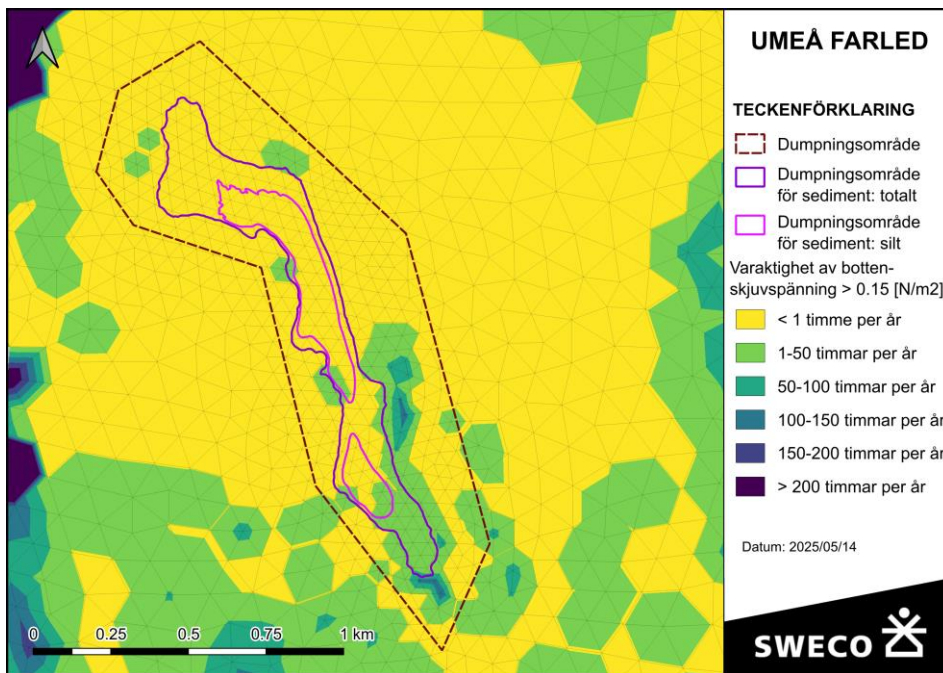
Figur 5-3: Skillnad i maximal bottenskjuvspänning efter dumpning jämfört med nuläget.

I Figur 5-4 visas tidsserie och varaktighetsdiagram över bottenskjuvspänningen i fem punkter i dumpningsområdet, se Figur 5-3. Där ses att det endast är under korta tillfällen som bottenskjuvspänningen överskrider antagen kritisk bottenskjuvspänning för den morän som planeras att dumpas ($0,15 \text{ N/m}^2$).



Figur 5-4: Tidsserie och varaktighetsdiagram över bottenskjuvspänning i fem punkter i dumpningsområdet. Till vänster visas en tidsserie över bottenskjuvspänningen i nuläget, i mitten visas ett varaktighetsdiagram för nuläget och till höger visas ett varaktighetsdiagram för utfyllt scenario.

I Figur 5-5 visas varaktigheten av bottenskjuvspänning över 0,15 N/m², vilket är antagen kritisk bottenskjuvspänning för den dumpade moränen. Där kan ses att i den norra delen av klinten överskrids inte kritisk bottenskjuvspänning för moränen i de områden där dumpning beräknas ske. I södra delen av Klinten ses dock att kritisk bottenskjuvspänning för moränen överskrids i områden där dumpning planeras att utföras.



Figur 5-5: Varaktighet av bottenskjuvspänning över 0,15 N/m², vilket är antagen kritisk bottenskjuvspänning för den dumpade moränen. Scenariot efter dumpning.

6 Sammanfattning och slutsatser

6.1 Sedimentspridning

Modellresultaten visar generellt begränsad spridning av suspenderat sediment. Högst koncentrationer uppnås i direkt anslutning till muddring och dumpning samt nära botten.

Vid muddring i Umeälvens mynning visar modellresultaten att sedimentspridning kan ske åt två håll samtidigt. Detta på grund av att sediment som spills nära ytan transporteras söderut med Umeälvens vatten medan sediment som spills närmare botten transporteras norrut med kompensationsflödet. Detta fenomen har även delvis bekräftats förekommit vid tidigare muddringar i hamnen enligt (Larsson, 2025).

Natura 2000-området *Umeälvens delta* nås under muddringen av sedimentspill, sedimentkoncentrationerna är dock låga och når aldrig över 5 mg/l. Det simulerade scenariot med låg vattenföring i Umeälven ger, enligt känslighetsanalysen, förutsättningar för den kraftigaste norrgående kompensationsströmmen längs med botten. Detta innebär att det simulerade

scenariot bedöms konservativt med avseende på vilka koncentrationer som kan förväntas i Natura 2000-området.

Samma dynamik kan inte ses vid dumpningen trots att ett tydligt skiktat flöde kan konstateras förekomma även där. Detta är på grund av de kraftiga densitetsdrivna strömmar som uppkommer på grund av den stora mängd sediment som dumpas vid samma tillfälle. Densitetsströmmen förhindrar alltså sedimentet nära ytan att spridas med de omgivande strömmarna och det är först vid bottnen som spridningen inleds. När dumpningsspillet nått bottnen sker den huvudsakliga spridningen norrut med den kompensationsström som löper längs med djupfårorna.

Modellresultaten visar att sedimentkoncentrationen 10 mg/l kan överskridas i 1 dygn på avstånd om upp till 700 m från muddring och upp till 1100 m från dumpning. Sedimentkoncentrationen 100 mg/l återfinns endast i direkt anslutning till muddring eller dumpning.

6.2 Erosionsrisk i dumpningsområdet

Modellresultaten visar på att det är sannolikt att kritisk bottenskjuvspänning för det sediment som idag ligger i den djupaste delen av Klinten överskrids regelbundet. Att den kritiska bottenskjuvspänningen överskrids innebär dock inte att sedimentet får tillräcklig energi att förflyttas upp ur djuphålan, därför bedöms det rimligt att, som sedimentprover från området visar, sedimentet där består av lätteroderad silt, trots den förhållandevis höga bottenskjuvspänningen.

Modellresultaten visar vidare att även om tillfällena med hög bottenskjuvspänning förekommer är det både sällan och kortvarigt. Detta innebär att sediment som sätts i rörelse inte bedöms transporteras särskilt långa sträckor. Området direkt norr och nordväst om Klinten kännetecknas dessutom av låg bottenskjuvspänning vilket leder till slutsatsen att även om en liten mängd sediment skulle transporteras dit, finns goda förutsättningar för att sedimentet stannar på korta avstånd utanför dumpningsområdet.

Modellresultaten visar att utfyllnad av de djupaste delarna av Klinten leder till minskad bottenskjuvspänning i området. Minskningen bedöms främst orsakad av en omfördelning av det norrgående kompensationsflödet.

Vid strategisk dumpning av grövre massor ovanpå de siltigaste massorna bedöms risken för att sediment ska lämna dumpningsområdet som låg.

Modellresultaten visar endast ett litet område där den kritiska bottenskjuvspänningen för moränen överskrids av 99e percentilen. En dumpad morän kan även bli självvarmerande då en liten mängd finmaterial från det ytligaste lagret av den dumpade moränen kan tänkas eroderas. Efter att detta skett är de underliggande delarna av moränen överlagrad med ett material med större andel grovt material, vilket minskar risken för ytterligare erosion.

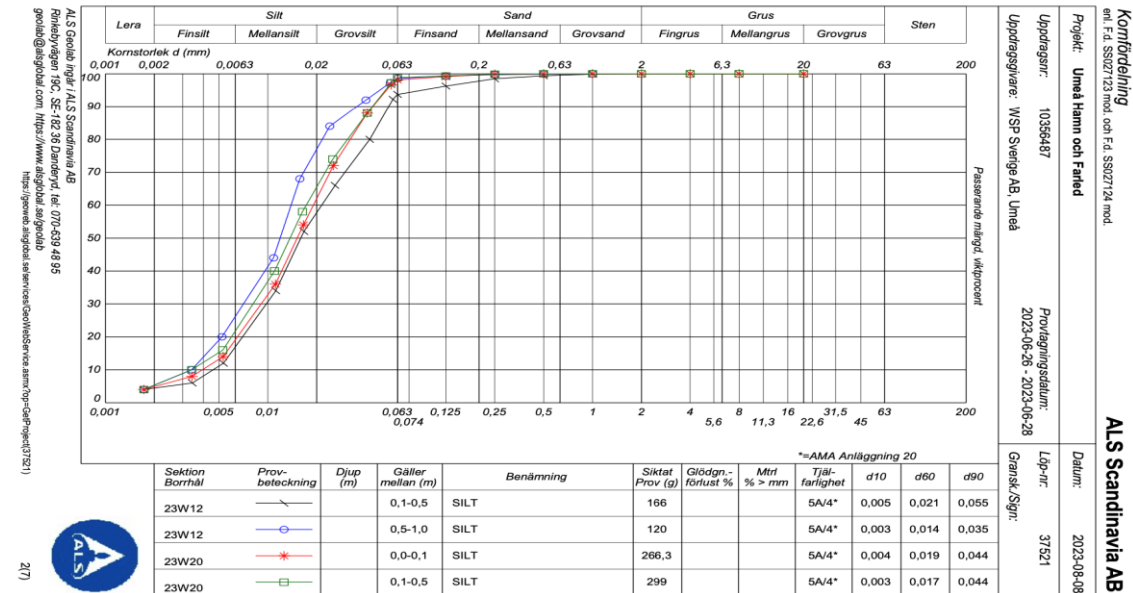
Havsbotten efter dumpning modellerades som helt plan vid -26,3 m, i praktiken kommer troligtvis bottnen efter dumpning vara mer oregelbunden och bestå av en uppsättning delvis överlappande kullar från enskilda dumpningstillfällen. Detta bedöms endast göra marginell skillnad för modellresultaten.

7 Referenser

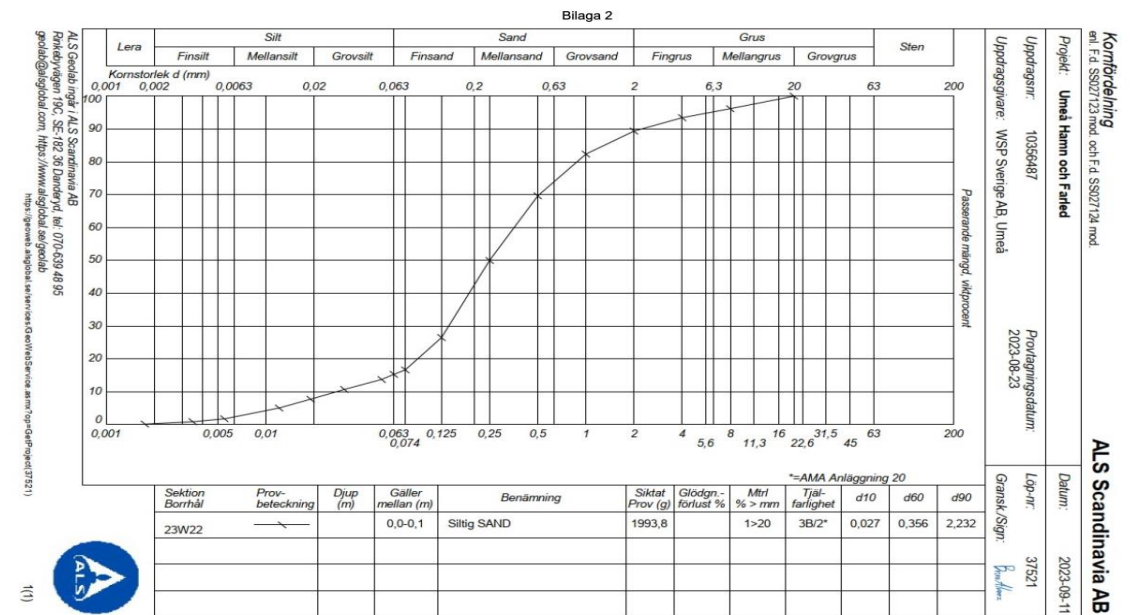
- Becker, J. E. (2015). Estimating source terms for far field dredge plume modelling. *Journal of Environmental Management*, 282-293.
- Cutroneo, L., Castellano, M., Ferranti, M. P., Povero, P., Tucci, S., & Capello, M. (2013). *Use of optical and acoustic instruments to study the turbid plumes generated by three different types of dredges during dredging activities inside and outside of a port.*
- European Marine Observation and Data Network. (u.d.). *EMODnet Map Viewer*. Hämtat från <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/#>
- Hydronic. (2015). *Luleå test dredging*.
- Jan de Nul. (n.d.). *Postnik Yakovlev. Backhoe dredger*.
- Larsson, V. (den 25 03 2025). *Personlig kommunikation med Viktoria Larsson, Hamningjör Kvarken Ports*.
- MDC. (2025). *Slutrapport förberedande muddringsarbeten Luleå Malmporten*. open TELEMAC-MASCARET. (u.å). TELEMAC-MASCARET. Hämtat från <https://www.opentelemac.org/>
- SMHI. (2023). *Sammanfattning av isvintern och isbrytningsverksamheten 2021/2022*.
- Truitt. (1988). *Dredged Material Behavior During Open-Water Disposal*.
- USACE. (2009). *Far Field Surveys Of Suspended Sediment Plumes Associated With Harbor Deepening Dredging In Newark Bay*.
- USACE. (2015). *USCA Dredging and dredged material management*.
- Van Rijn. (2023). *Turbidity due to dredging and dumping of sediments*.
- Van Rijn, L. (2007). *A Unified View Of Sediment Transport By Currents And Waves, Part 1: Initiation Of Motion, Bed Roughness And Bed Load Transport*.
- Van Rijn, L. (2013). *Simple General Formulae For Sand Transport In Rivers, Estuaries And Coastal Waters*.
- WAMSI. (2020). *Guideline on dredge plume modelling for environmental impact assessment*.
- Yao, P., Su, M., Wand, Z., van Rijn, L., Stive, M., Xu, C., & Chen, Y. (2022). *Erosion behavior of sand-silt mixtures: Revisiting the erosion threshold*. *Water Resources Research*.

Bilaga A: Siktkurvor

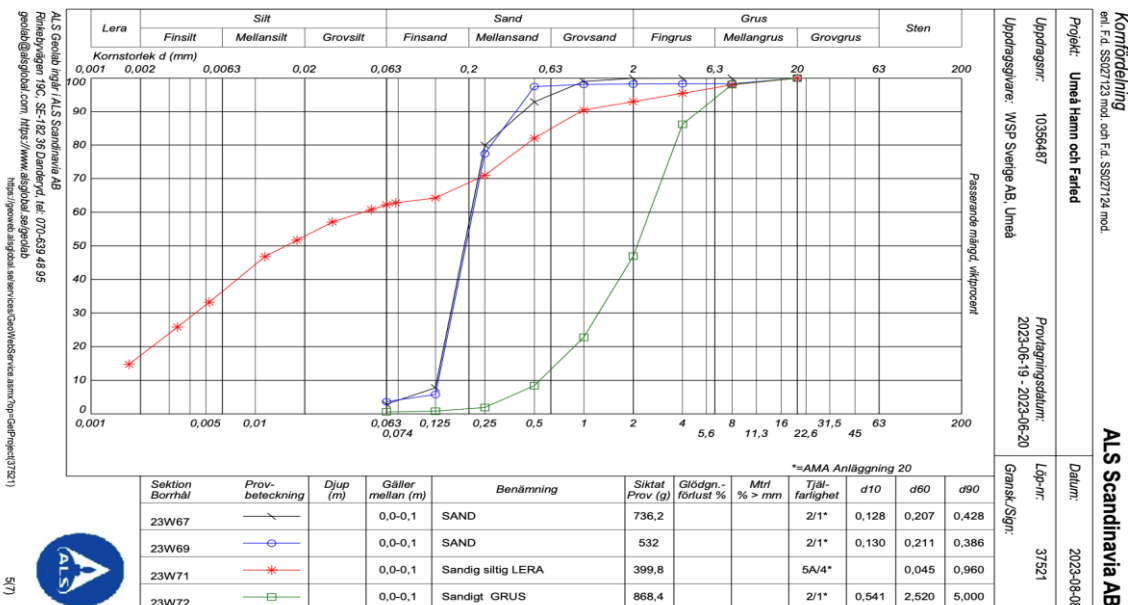
A.1 Representativ kornstorleksfördelning av muddringsmaterial



Figur 7-1: Kornstorleksfördelning som representativ för Silt (23W20)

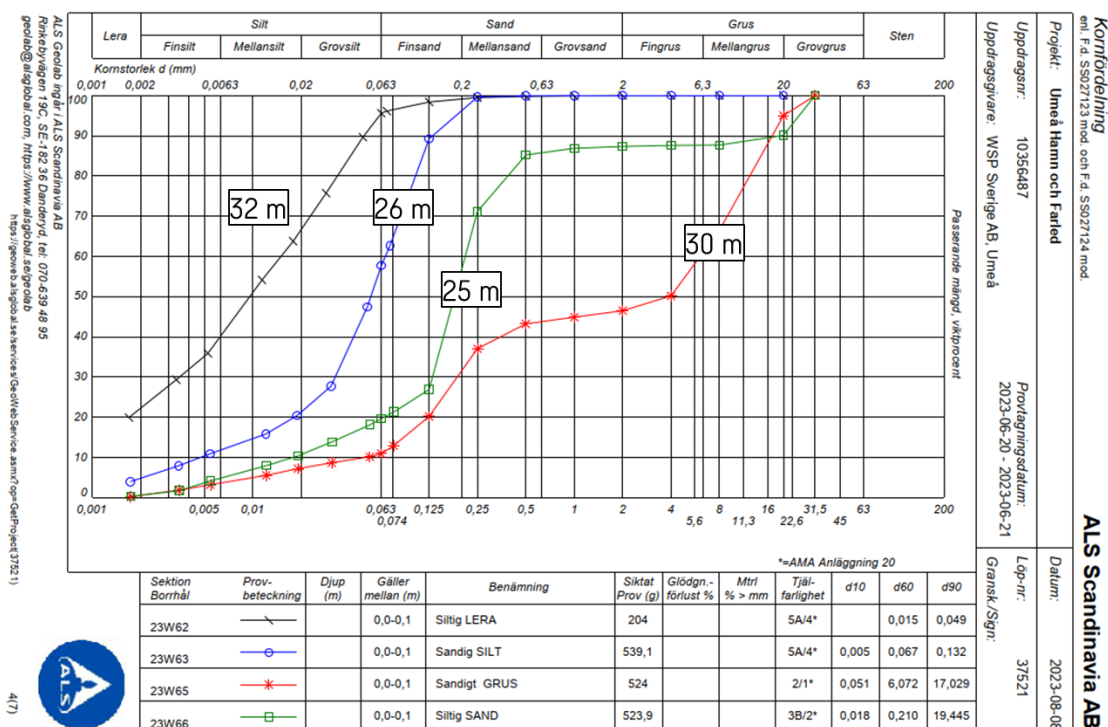


Figur 7-2: Kornstorleksfördelning som representativ för Morän (23W22)



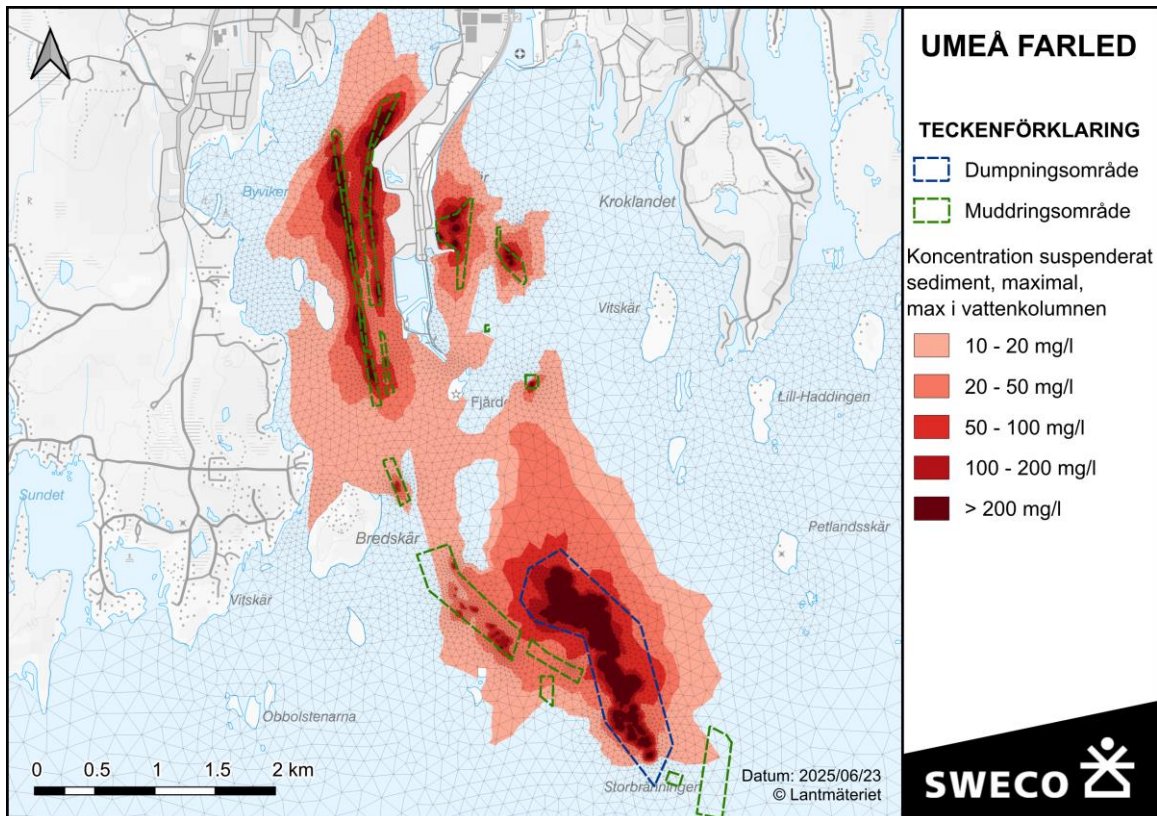
Figur 7-3: Kornstorleksfördelning som representativ för Sand (23W67) och Grus (23W72)

A.2 Kornstorleksfördelning i dumpningsområdet

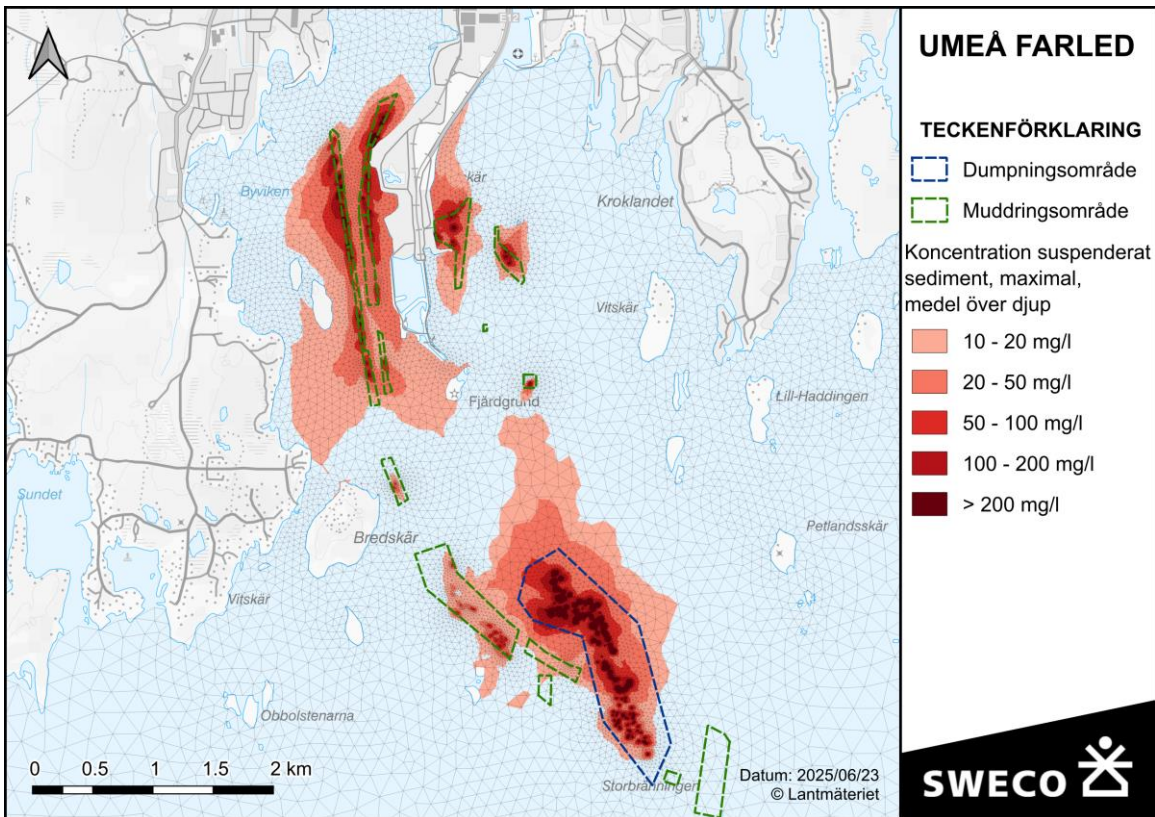


Figur A-4: Kornstorleksfördelning för sedimentproverna tagna i dumpningsområdet. Siffrorna vid varje kurva betecknar vattendjupet vid provplatsen.

Bilaga B: Ytterligare modellresultat



Figur 7-4: Karta över maximal sedimentkoncentration på det maximala vattendjupet i vattenpelaren under hela muddringsförloppet. Eftersom kartan är en sammanslagning över hela modellsimuleringens längd är det viktigt att notera att alla markerade områden inte har förhöjd koncentration samtidigt.



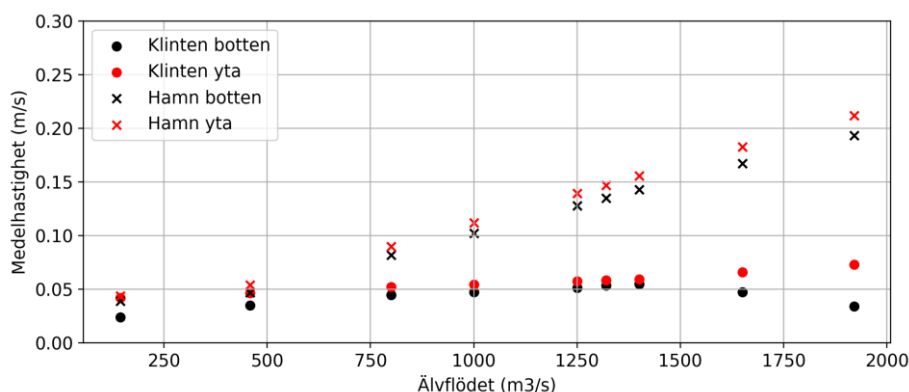
Figur 7-5: Karta över djupgenomsnittlig maximal sedimentkoncentration under hela muddringsförloppet. Eftersom kartan är en sammanslagning över hela modellsimuleringens längd är det viktigt att notera att alla markerade områden inte har förhöjd koncentration samtidigt.

Bilaga C: Känslighetsanalys Umeälven

För att bestämma den representativa modellperioden gjordes en känslighetsanalys med olika flöden i Umeälven. Varje körning har tidsserier av vind och vattennivåer, men ett konstant flöde under hela modellperioden. Figur C-1 visar medelhastigheterna i Hamn och dumpningsområde Klinten för både botten och yta.

Ur figur framgår att i punkten *Hamn* ökar strömhastigheten vid både botten och yta med ökad vattenförling i älven, sambandet kan också konstateras vara nära linjärt. Detsamma gäller inte punkt *Klinten*, där ökar strömhastigheten vid ytan med ökande vattenförling i Umeälven, bottenhastigheten sjunker däremot vid vattenförling över cirka 1400 m³/s.

Vad visas inte i figuren men har visat sig i en detaljutredning av strömmönstret, är att riktningen vid botten är ofta motriktat med ytan. I området Klinten gäller det för alla flöden i Umeälven. I hamnområdet finns detta mönster bara vid mindre flöden i Umeälven. För ett flöde i Umeälven högre än 400 m³/s visar körningen att hela vattenpelare rinner mot samma håll.



Figur C-1: Medelströmhastighetens variation med vattenförlingen i Umeälven i två punkter vid ytan och vid botten.