2025-11-14

Ringvej Syd etape 2 og 3 og Ove Jensens Allé.

Udfærdiget af: Simone Weiling
Projektnummer: 41009469
Projekt: MV Ringvej Syd og Ove Jensen Allé
Kunde: Horsens Kommune
Projektleder: Morten Asp Hansen

Metodebeskrivelse, modellering af sedimentaflejring fra bassin 3 og 4

1 Introduktion

I forbindelse med miljøvurderingen af Ringvej Syd og Ove Jensens Alle, etape 2 og 3 er har Sweco foretaget en analyse af sedimentaflejring fra to udløbskilder i hhv. Bassin 3 og 4. Dette er gjort ved først at simulere de hydrodynamiske forhold i Horsens Fjord, og derefter modellere aflejringen af sediment fra de to kilder. Modelleringen er udført med MIKE 21 Flow Model samt Mud Transport Modulet.

2 Hydrodynamisk model

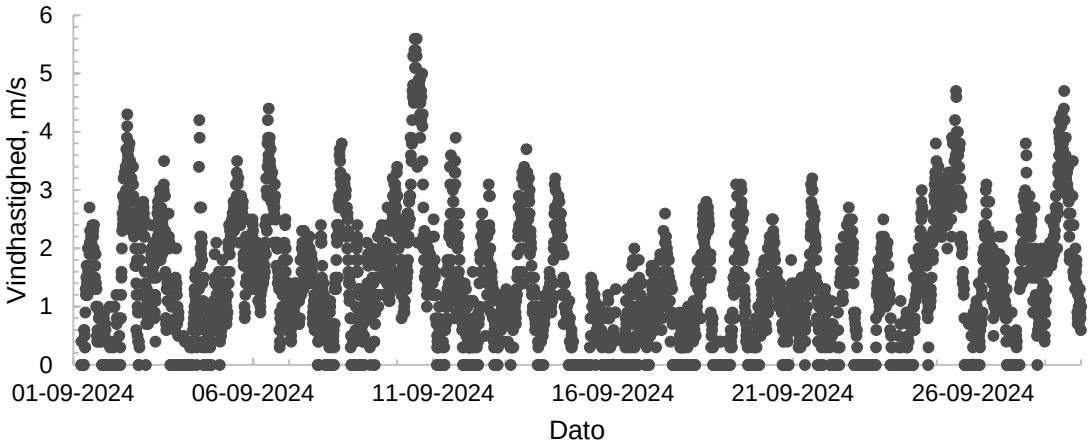
Til simulering af sedimentspredningen i Bassin 3 og 4, er der først kørt en simulering af de hydrodynamiske forhold i fjorden ved hjælp af MIKE 21 Flow Model (FM). Den hydrodynamiske model er også anvendt af WSP (2025) i forbindelse med vurderinger af fortyndingsforholdene og strøm gennem åbninger, i forbindelse med udkast til VVM for Søndre Ringvej. Modellen er senere overdraget fra WSP til Sweco, for at kunne anvende denne som grundlag for transportmodellen. For yderligere detaljer om den hydrodynamiske model henvises til WSPs notat om modellering af spredning af miljøfremmede stoffer (WSP, 2025).

3 Datagrundlag

Foruden vinddata, er den hydrodynamiske model kørt med samme inputparametres om beskrevet i WSP (2025). Herunder batymetri og havvandstandsdata.

3.1 Vinddata

Vinddata er hentet fra DMI Open Data (DMI, 2025) for samme periode som simuleringsperioden (september 2024). Vindhastighederne er præsenteret i Figur 3-1 og er hentet fra DMIs station 06102 (Horsens, Bygholm Landbrugsskole). Den maksimale vindhastighed over perioden er 6 m/s.



Figur 3-1 Vindhastigheder, september 2024 ved Horsens (station 06102**) (**01-09-2024 til 29-09-2024) (DMI, 2025)

4 Sedimenttransportmodel

4.1 Modul og opsætning

Sedimenttransporten i fjorden modelleres med MIKE 21 Mud Transport modulet, som er designet til at modellere transport og aflejring af finkornet sediment i kystområder. Simuleringsperiode og inputs til MT-modulet er beskrevet nærmere i det følgende.

4.1.1 Simuleret tidsperiode

Den hydrodynamiske model er af WSP kørt på tre modelscenarier, hhv. et sommer-, vinter- og årsmiddel scenarie, hvoraf alle perioder strækker sig over en måned. De simulerede modelperioder er tilsvarende, juni, september og januar 2024. I nærværende rapport er det valgt at simulere sedimenttransporten over årsmiddel scenariet, og derfor for perioden 01-09-2024 til 29-09-2024.

4.1.2 Input parametre i MT-modulet

4.1.2.1 Udledt vandmængde

De to udløbskilder til udledt sediment i Bassin 3 og 4, har årligt en belastning på hhv. 44 kg og 29 kg sediment, samt en tilsvarende udledt vandmængde på 1,16 l/s ved Bassin 3 og 0,42 l/s ved Bassin 4. Information om de to udløb fremgår i Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Information om udløbene i Bassin 3 og 4

	Bassin 3	**Bassin 4**
Geografisk placering af udløb	X: 555224 m Y: 6189716 m	X: 554677 m Y: 6190036 m
Belastning af sediment	44 kg/år	29 kg/år
Kornstørrelse af udledt sediment	5-30 µm	5-30 µm
Udledt vandmængde (middel)	1,16 l/s	0,42 l/s

4.1.2.2 Sedimentkornstørrelse

Sedimentpartiklerne, som udledes fra de to kilder i bassin 3 og 4, har en kornstørrelse på 5-30 µm (0,005–0,03 mm) (se Tabel 4-1), hvilket svarer til meget fint silt/mudder. Så fint materiale kan holdes i suspension i længere tid og genmobiliseres let selv ved moderate strømme eller bølgepåvirkning, fordi faldhastigheden er lav.

Intervallet af sedimentkornsstørrelserne er opdelt i tre fraktioner, som er brugt som input i MT-modulet. Sedimentspredningen er derfor modelleret relativt til D_{50} = 0,005 mm, 0,0175 mm og 0,03 mm. Heraf er sedimentkornstørrelsen 0,0175 mm valgt som et repræsentativt gennemsnit for den ellers homogene sedimentudledning.

4.1.2.3 Faldhastighed

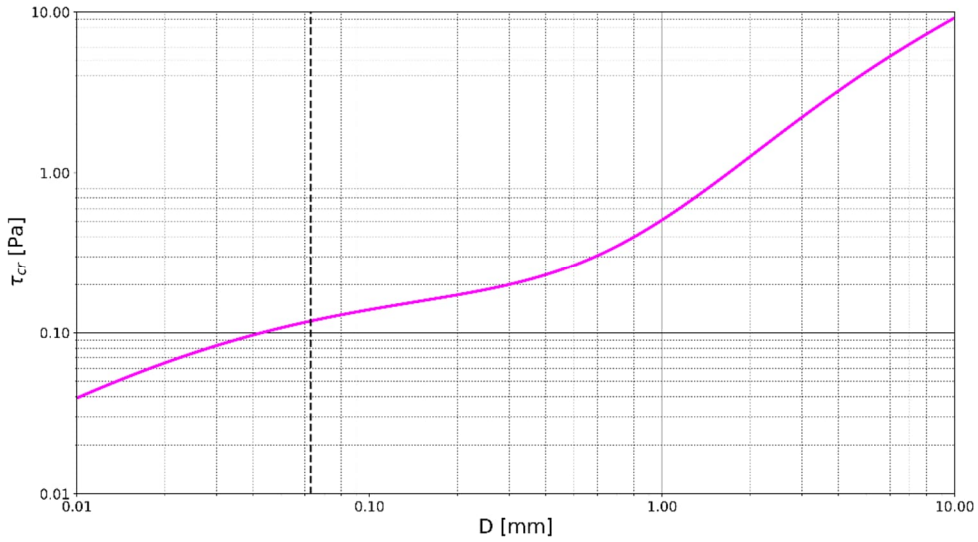
Med udgangspunkt i de tre fraktioner af sedimentkornsstørrelser, er den tilsvarende faldhastighed bestemt på baggrund af tidligere projekter og faglitteratur. Værdierne fremgår af Tabel 4-2.

Tabel 4-2 Faldhastigheder relativt til sedimentkornsstørrelser

Sedimentkornsstørrelse (D_{50}), mm	Faldhastighed (ws_s), mm/s
0,005	0,03
0,0175	0,175
0,03	0,38

4.1.2.4 Kritisk bundforskydningsspænding

Den kritiske bundforskydningsspænding er bestemt på baggrund af Soulsby & Whitehouse (1997) der præsenterer sammenhængen mellem sedimentkornstørrelse og kritisk bundforskydningsspænding (Figur 4-1).



Figur 4-1 Kritisk bundforskydningsspænding (Soulsby & Whitehouse, 1997)

Af ovenstående figur er den kritiske bundforskydning bestemt til 0.07 N/m^2. Dette er typisk for fin silt og også defaultindstillingen i Mud Transport modulet.

4.1.2.5 Følsomhedsanalyse af kritisk bundforskydningsspænding

For at undersøge modellens følsomhed over for den kritiske bundforskydningsspænding er der udført flere simuleringer med en kornstørrelse på 0,0175 mm, hvor den kritiske bundforskydningsspænding blev ændret, mens alle øvrige parametre blev holdt konstante.

Sedimentkornstørrelse (D_{50}), mm	Kritisk bundforskydningsspænding (τ_c), N/m^2
0,0175	0,07 (default)
0,0175	1000
0,0175	0

Figur 4-2 Følsomhedsanalyse af varierende bundforskydningsspænding.

Følsomhedsanalysen viste at når τ_c=0 N/m^2, vil selv den mindste strøm sætte partiklerne i bevægelse og der sker ingen stabil aflejring. Når den kritiske bundforskydningsspænding er hhv. 1000 N/m^2 og 0,07 N/m^2 viser resultaterne omtrent samme aflejringsmønster, hvilket indikerer at den strøm der genereres i simuleringen aldrig når over den kritiske bundforskydningsspænding, hvorfor det stort set ikke mobiliseres i begge tilfælde, og der derfor hovedsageligt vil ske aflejring. Dette er beskrevet yderligere i afsnit 7.

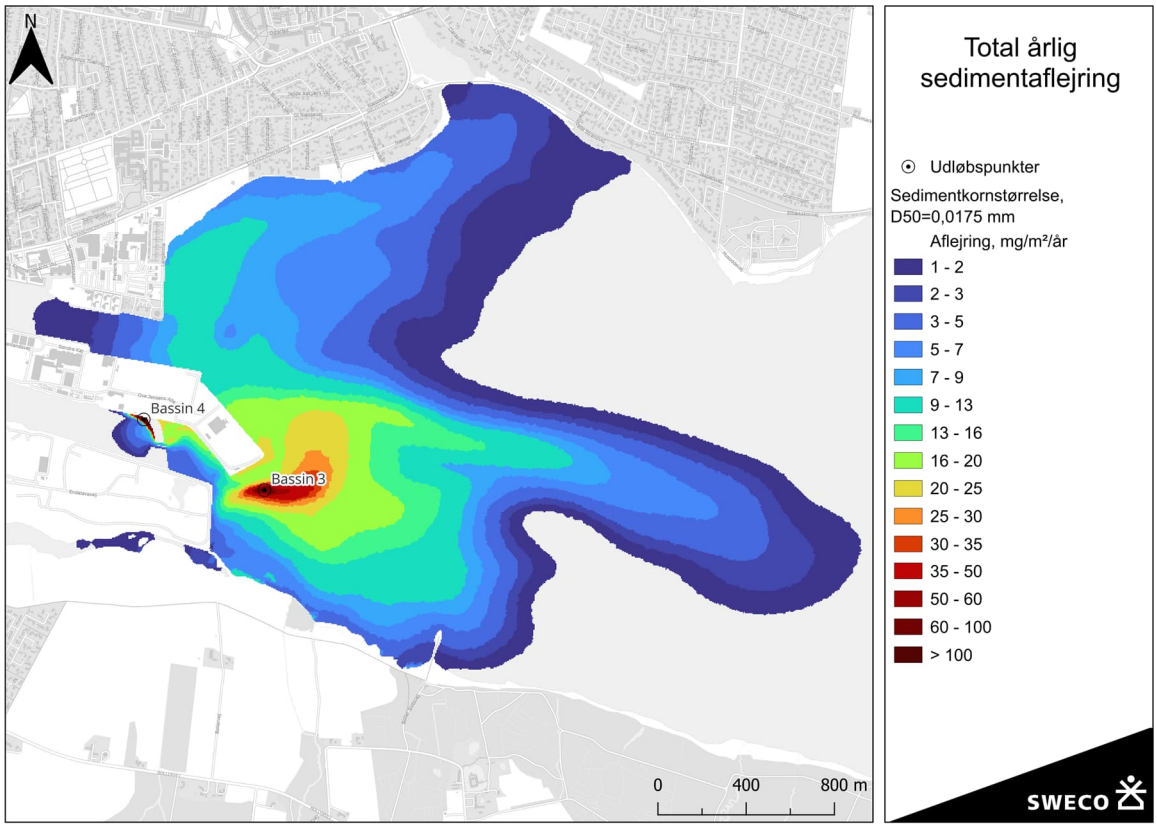
5 Statistisk efterprocessering

Da simuleringsperioden i MIKE 21 MT-modellen kun dækker én måned, er resultaterne efterbehandlet for at opnå repræsentative årsværdier. Modellens output for sedimentaflejring er angivet som masseflux i enheden kg/m^2/s.

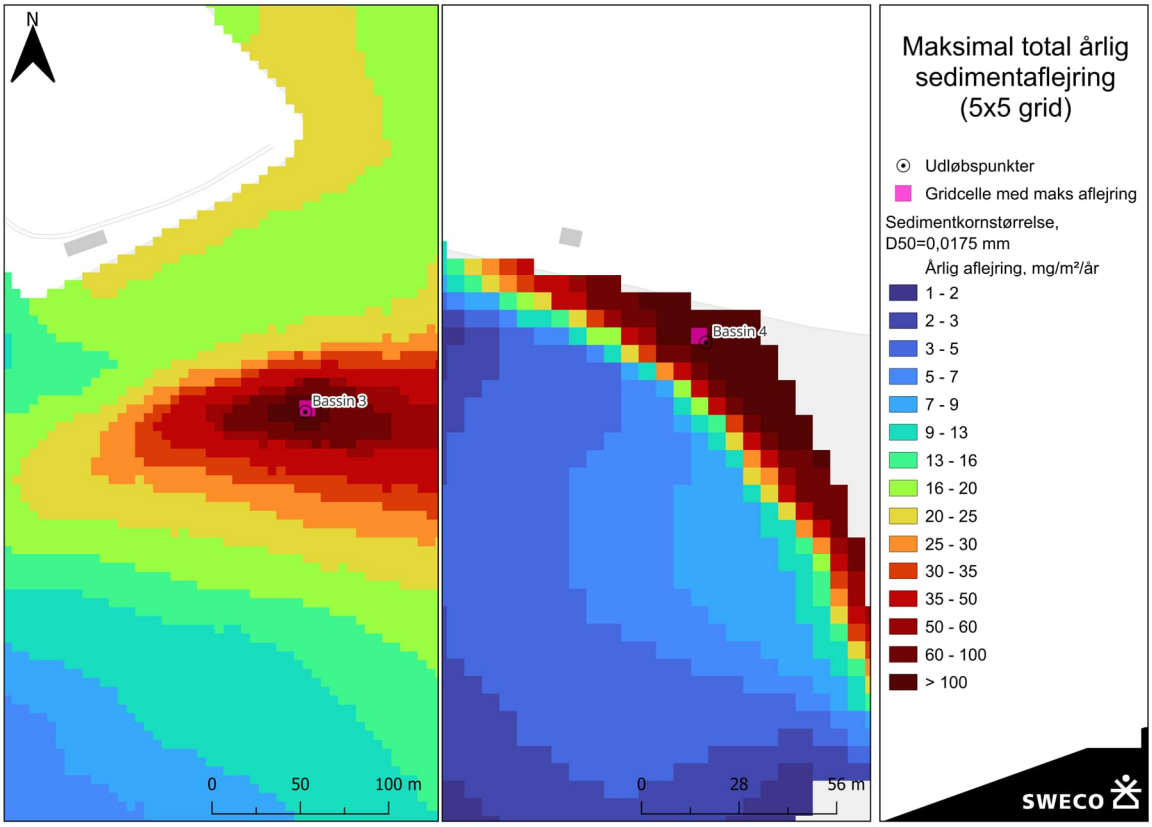
For at bestemme den samlede aflejring fra de to udløb, er fluxen summeret over alle tidssteps i simuleringsperioden, hvilket giver den totale aflejring pr. kvadratmeter for den pågældende måned. Denne månedlige værdi er efterfølgende opskaleret til et årligt niveau, så resultatet kan præsenteres som mængde pr. m^2/år.

6 Resultater

Den årlige sedimentaflejring fra de to udløb er illustreret i Figur 6-1. Figuren angiver den årlige mængde i mg/m^2/år beregnet på baggrund af middel sedimentkornstørrelsen 0,0175 mm som antages at være repræsentativ for udledningen.



Figur 6-1 Total årlig sedimentaflejring fra udløbspunkterne i Bassin 3 og 4.



Figur 6-2 Områder med størst sedimentaflejring (Maks aflejring: Bassin 3 = 212 mg/m^2/år, Bassin 4 = 274 mg/m^2/år)

7 Resuspension

Når sedimenter aflejres på bunden af fjorden, kan de efterfølgende resuspenderes når strøm og bølger hvirvler sedimenter op fra bunden og mobiliserer dem. Dette sker, når strøm og/eller bølgepåvirkning overstiger den kritiske bundforskydningsspænding, som angiver den kraft pr. arealenhed der skal til, for at sætte sedimentet i bevægelse. Strøm og bølger virker sammen om at påvirke, hvor ofte og i hvilket omfang sedimenter genmobiliseres. Bølger genereret af vind kan øge strømmen og bundforskydningen, hvilket forstærker resuspensionen.

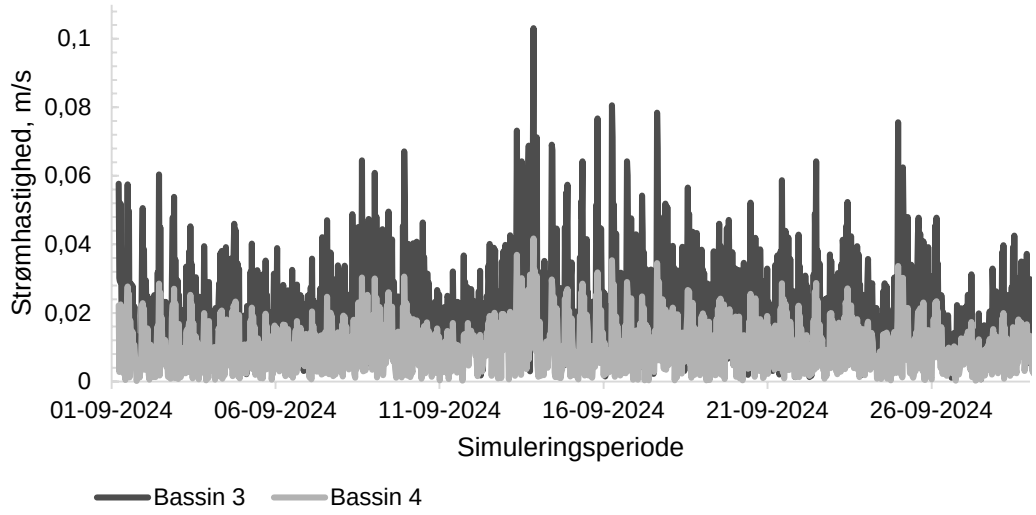
I nærværende model er den kritiske bundforskydningsspænding valgt til at være 0.07 N/m^2, og for at undersøge hvor ofte denne bundforskydnigsspænding overstiges, og sedimenter hermed kan resuspenderes, har den strøminducerede bundforskydningsspænding beregnes med baggrund i de modellerede strømhastigheder. Formlen for beregning af forskydningsspændingen på bunden (τ_{cs}) er som følger (CHC, 2006):

$$\tau_{cs} = \frac{\rho_w {u_m}^2}{{C'_s}^2}$$

I ovenstående er ρ_w vandets densitet, u_m angiver dybdemidlet strømningshastighed og C'_s er defineret som den dimensionsløse Chézy-koefficient. Når bundens ruhed karakteriseres ud fra sedimentets kornstørrelse (D_{90}), og den gennemsnitlige dybde er kendt (h), kan den dimensionsløse Chézy-koefficient (C'_s) beregnes således (CHC, 2006):

$$C'_s = 2.5 \ln\left[11\frac{h}{3D_{90}}\right]$$

Strømningshastighederne ved de to udløb i hhv. Bassin 3 og 4 er beregnet i det hydrodynamiske modul over simuleringsperioden, og fremgår i Figur 7-1.

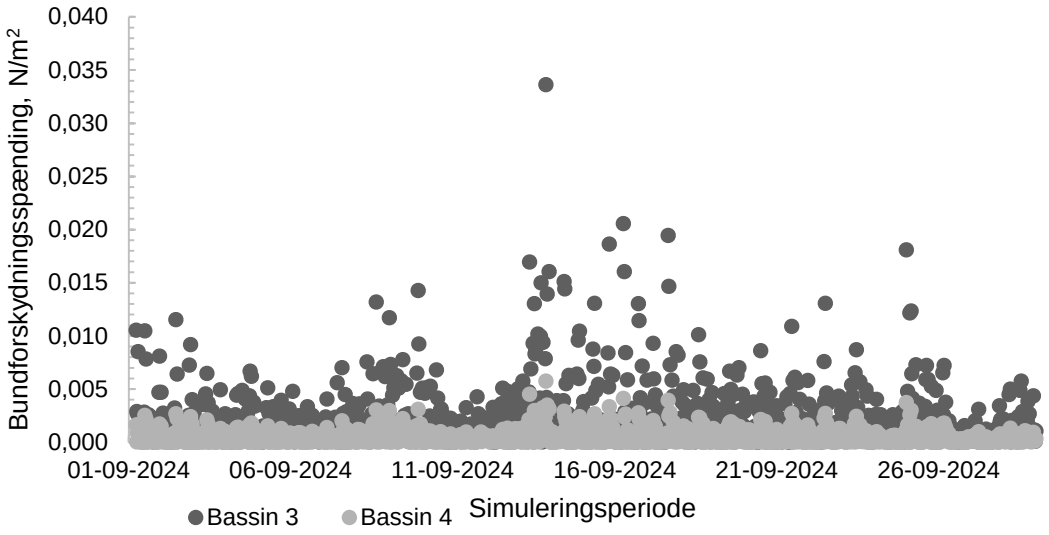


Figur 7-1 Strømhastigheder ved udløb i Bassin 3 og 4 over simuleringsperioden.

Kornstørrelsen af det udledte sediment er homogent i størrelsesorden d50: 0,005-0,03 mm. Med en middeldybde på 5,5 m i fjorden og en middelkornstørrelse på 0,0175 mm, kan bundens ruhed beskrives ved C'_s = 18

Bundforskydningsspændingen (τ_{cs}) ved de to udløb over simuleringsperioden, fremgår i Figur 7-2.

Af figurerne kan det ses, at τ_{cs} ikke overgår den kritiske bundforskydning (0.07 N/m^2) på noget tidspunkt i løbet af simuleringsperioden. Ved sammenligning med Figur 7-1, kan det ses, at bundforskydningsspændingen er størst, hvor også strømningshastigheden er størst, svarende til 0.1 m/s, hvilket giver en bundforskydningsspænding på 0,034 N/m^2 (Bassin 3).



Figur 7-2 Bundforskydningsspænding over simuleringsperioden ved udløbet i Bassin 3 og 4.

Givet disse forudsætninger kræves en strømhastighed på 0,15 m/s for at forårsage resuspension af det aflejrede sediment.

Den simulerede tidsperiode er september måned 2024 med relativt beskedne vindhastigheder og vandstandsvariationer, for at give en repræsentativ tidsperiode for spredning af både opløste stoffer og sediment (WSP, 2025). Den maksimale vindhastighed i den simulerede periode er 6 m/s (Figur 3-1). Det er rimeligt at antage, at der ved større vandstandsvariationer og vindhastigheder kan opstå betydeligt højere strømhastigheder i fjorden end dem, der er beregnet i denne undersøgelse. Sweco vurderer, at det er sandsynligt, at strømhastigheder i både bassin 3 og bassin 4 årligt kan overstige 0,15 m/s og dermed forårsage resuspension. Denne konklusion bekræftes af fotomaterialet fra miljøundersøgelserne (Sweco, 2025), hvor der ikke er tydelige tegn på kontinuerlig sedimentaflejring, især ikke ved udløbet af bassin 3.

Ved udløbet i Bassin 4 er strømningerne af en mindre størrelsesorden end ved Bassin 3, hvorfor den kritiske bundforskydningsspænding forventes at blive overgået oftere i Bassin 3 end i Bassin 4. Det betyder også, at aflejrede sedimenter ved Bassin 4 kan forventes at resuspendere sjældnere end ved Bassin 3.

8 Referencer

CHC. (2006). *PSed4.3. A Lagrangian Sediment Transport Model. Technical Documentation. Document Release 1.3 – Published as an Annex to the SedSim Reference Manual.* Ottawa, ON, Canada: Canadian Hydraulics Centre.

DMI. (2025). *DMI Open Data*. Hentet fra https://opendatadocs.dmi.govcloud.dk/en/Getting_Started

Soulsby, R., & Whitehouse, R. (1997). Threshold of Sediment Motion in Coastal Environments. *Proc. Pacific Coasts and Ports*, 149-154.

Sweco. (2024). *Hydrodynamisk modellering av vågor och strömmar. Modelldokumentation för återsimulering av tidsperioden 2011-2022 i södra Bohuslän.*

Sweco. (2025). *Notat - Marine undersøgelser MV Ringvej syd etape 2 og 3.*

WSP. (2025). *Ringvej syd. Hydraulisk Notat Maj 2025: Modellering af spredning af miljøfremmede stoffer.*

9 Bilag

9.1 Bilag 1: Modelscenarier

MT-modulet er kørt på september 2024, med varierende sedimentkornstørrelse og kritisk bundforskydningsspænding. Hertil er der lavet en følsomhedsanalyse af den kritiske bundforskydningsspænding, hvor alle andre parametre er fastholdt.

Tabel 9-1 Oversigt over kørsler i MIKE21 MT-modulet.

Kørsel	D_{50}, mm	Faldhastighed (ws_s), mm/s	Kritisk bundforskydnings-spænding (τ_c), N/m^2	Bassin 3: Udledt vandmængde, m^3/år	Bassin 4: Udledt vandmængde, m^3/år
1	0,005	0,03	0,07 (default)	36482	13339
2	0,0175	0,175	0,07 (default)	36482	13339
3	0,03	0,38	0,07 (default)	36482	13339
4	0,0175	0,175	1000	36482	13339
5	0,0175	0,175	0	36482	13339