

RAPPORT

SANDVANDRING LEIRPOLLEN NUMERISKE ANALYSER

RAPPORT

Prosjektnavn:

SANDVANDRING LEIRPOLLEN

Dokumentnavn:

NUMERISKE ANALYSER

Prosjektnr.:

12352-33

Dokumentnr.:

12382-33-OO-R-002

Dato:

26.06.2017

Revisjon:

B

Antall sider:

39

Utarbeidet av:

Gonzalo Diz-Lois Palomares/Knut-Ola Lunde

Kontrollert av:

Knut-Ola Lunde

Godkjent av:

Knut-Ola Lunde

Rettigheter til prosjektmaterialet

Oppdragsgiver har rett til å bruke materialet utarbeidet av prosjekterende Dr.techn.Olav Olsen AS til gjennomføring av prosjektet, senere drift, vedlikehold, ombygging og påbygging. Hvis ikke annet er avtalt, har Dr.techn.Olav Olsen AS alle øvrige rettigheter til sine ideer og det utarbeidete materialet. Dr.techn.Olav Olsen AS kan likevel ikke bruke dette på en måte som er urimelig i forhold til oppdragsgiver. Oppdragsgiver kan ikke overdra materialet til en tredjepart uten samtykke fra Dr.techn.Olav Olsen AS.

Revisjon	Dato	Grunn for utsendelse	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av
B	14.06.19	Nye alternativer/oppdatering av masser	GDP	KOL	KOL
A	26.06.17	For bruk	GDP	KOL	KOL

INNHold

1	OPPSUMMERING OG KONKLUSJON.....	4
2	OPPDRAGSBESKRIVELSE	6
2.1	Innledning	6
2.2	Beskrivelse av mudringstiltaket	7
2.3	Nytt mudringsalternative	8
3	MODELLFORUTSETNINGER.....	10
3.1	Delft3d-FLOW	10
3.2	Hydrodynamiske modell	10
3.3	Sedimenttransport modell.....	12
4	RESULTATER FRA MODELLEN	16
4.1	Strømforhold langs tidevannskanalen	16
4.2	Numerisk vurdering av sedimenttransport langs kanalen.....	20
5	BEREGNING AV TRANSPORTERTE VOLUMER.....	27
5.1	Utviklingen av dybde langs farleden	27
5.2	Oppdatering for det nye alternativet.....	32
5.3	Deponeringsområder og lokale effekter	33
5.4	Usikkerheten tilknyttet til forslag	36
6	REFERANSER.....	37
	VEDLEGG A: NIVÅSKISSE TANA	38

1 OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Olav Olsen gjennomførte en kvalitativ vurdering av sedimenttransporten langs innseilinga til Leirpollen i Tana kommune, Finnmark (ref. /12/). På grunn av den høye usikkerheten knyttet til beregningene for tid til oppfyllingen av de mudrede områdene har Kystverket bedt Dr.techn. Olav Olsen AS om å videre gjennomføre en numerisk analyse for å redusere denne usikkerheten.

I denne rapporten det er utført beregninger ved hjelp av en numerisk modell for å forutse fremtidig utvikling av kanalen. Hensikten er å unngå for stor miljøpåvirkning og forutse fremtidige mudringsbehov.

I revisjon B av denne rapporten ble beregningene oppdaterte med nye volumer av de mudrede massene på bakgrunn av informasjon gitt av Kystverket.

Rapporten er basert på tilgjengelig data anskaffet av Kystverket:

1. Tre bunnundersøkelser ved hjelp av multistråling (utført i 2011, 2014 og 19-07-2016). Alle undersøkelsene dekker området langs kanalen for koter lavere enn -1.0 (LAT).
2. Topografi til tidevannsflaten og Tanaelvas munningen, digitalisert fra et kart fra 1993. Koter er referert til Normalnull 1954 (NN1954).
3. Tegning av mudringsområdet.
4. Miljøundersøkelse fra Multiconsult (07.05.2015-18.08.2015 og 25.03.2015-05.05.2015)
5. Geoteknisk undersøkelse fra Multiconsult (uke 48-49 i 2013)
6. Strømmålinger fra Multiconsult (23.03.2015-18.08.2015) og Akvaplan Niva (02.04.2014-12.05.2014 og 28.03.2014-11.05.2014).
7. Sediment- og vannføringsdata fra Tanavassdraget og Juleelva fra Multiconsults rapport samt NVE.

I tillegg ble rapporten fra deloppdrag A benyttet som utgangspunkt for oppsetting av modellen.

Rapporten fokuserer på oppførselen til tidevannskanalen. Tidevannsflaten og hele deltaområdet er inkludert i modellen, men det mangler nøyaktig batymetri og sedimentdata i disse områdene. Derimot er kvantifisering av sedimenttransport og strøm antatt som tilstrekkelig langs kanalen.

En validering av strømmodell ble gjennomført mot målinger fått av NIVA fra 29.03.14 til 01.04.14 (ref. /4/). Simuleringene av både vannhøyde og strømhastighet viser godt samsvar med de gitte målingene.

Beregninger for det verste (mest konservative) tilfelle, ved å vurdere total sedimenttransport, viser at årlig sedimentvolum mot mudringsområde 1 kan bli 7.200 m³/år. Dette kan fylle tilbake området løpet av 10 år. For mudringsområdet 2 dette volumet 4.200 m³/år som fører til at tiden for oppfylling blir 32 år.

Det beste tilfelle fås ved å vurdere kun bunn sedimenttransport. For mudringsområde 1 blir årlig sedimentvolum på 2.400 m³/år som fører til 31 år for oppfylling. For mudringsområde 2 blir årlig sedimentvolum på ca. 1.500 m³/år som betyr ca. 89 års tid for oppfylling.

Det mest sannsynlig tilfelle vil være innimellom disse to tilfeller (de verste og beste tilfeller), 10-32 år for mudringsområde 1 og 31-89 år for område 2.

Disse tallene er basert på en fordeling av totalt mudringsvolum på 74.325 m³ i mudringsområdet 1 og 132.925 m³ i mudringsområde 2.

Sandvolum beregnet i denne rapporten er mye mindre enn estimatet i den kvalitative vurderingen. Tallene som er basert på den numeriske analyse har mindre usikkerhet enn de som er gitt av den kvalitative vurderingen. Den kvalitative vurderingens hoved antagelse, konstant strøm på tvers et rektangulær tverrsnitt til kanalen, virker å være feilaktig, derfor er sedimenttransporten mindre enn antatt, spesielt langs sandbarrieren.

De numeriske beregningene har fremdeles en viss usikkerheten på grunn av den stokastiske naturen til sedimenttransport. Usikkerheten kan antas å ha en faktor på 2.

Et nytt alternativ for mudringstiltak med 1m ekstra dybde (i.e. mudring inntil -10.3 LAT) ble gitt av Kystverket i mai 2019. Revisjon B av denne rapporten inkluderer vurderingen av gjenfyllingen for dette nye alternativet i tillegg til å prøve å svare ut noen spørsmål stilt av Kystverket i forbindelse med ujevn deponering av sand langs kanalen.

For det nye mudringsalternativet med dybde -10.3 m LAT, ble det estimert 19-65 år for mudringsområde 1 og 57-182 år for område 2, for gjenfylling av det mudrede sandvolumet.

De gitte periodene for gjenfyllingen er basert på en generisk sedimenttransport rate slik at det totale volumet deponert i de to områdene blir det samme som det som skal mudres. Det tar ikke hensyn til de lokale forholdene på langs og på tvers kanalen som gjør at sedimentene deponeres på en ujevnlig måte langs kanalen.

2 OPPDRAGSBESKRIVELSE

2.1 Innledning

Kystverket ønsker å vurdere effekten til prosjektert mudringen langs innseilinga inn i Leirpollenbukta i Tana kommune, Finnmark, med hensikt å forutse fremtidige behov for vedlikeholdsmudring av kanalen.



> *Figur 1 Plassering av Leirpollen*

I deloppdrag A av nåværende prosjekt ble det gjennomført en kvalitativ vurdering av sediment systemet og sedimenttransport i deltaområdet, se ref. /12/. Den rapporten ble brukt som utgangspunkt for å sette opp modellen og definere dens omfang.

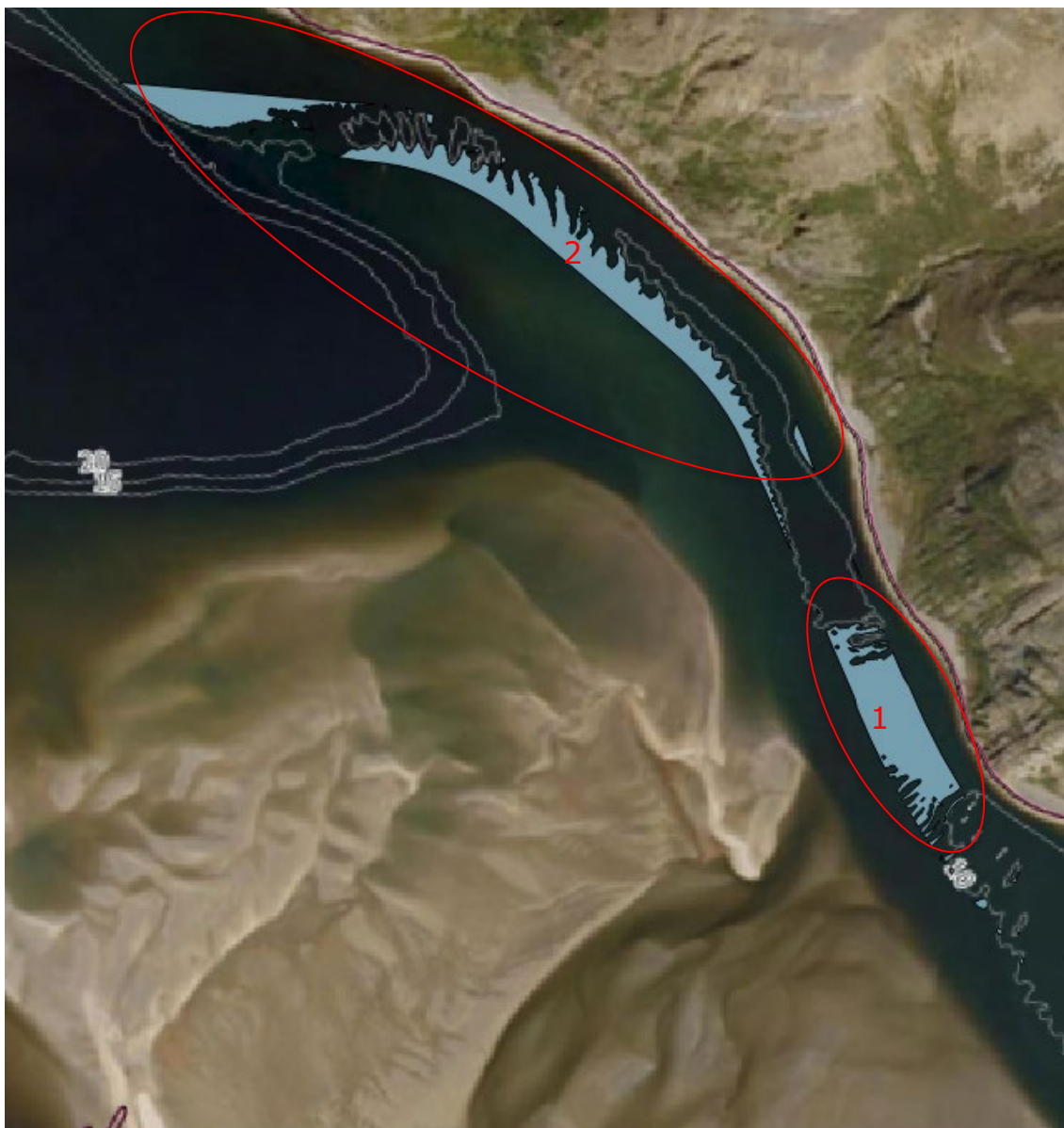
I denne rapporten det er utført en numerisk beregning (Delft3d-FLOW) for å forutse fremtidig utvikling av kanalen. Hensikten er å unngå for stor miljøpåvirkning og forutse fremtidige mudringsbehov.

>

2.2 Beskrivelse av mudringstiltaket

Den mudret kanalen har et tverrsnitt med en bredde på 120 m ved kote -9.30 LAT og skråninger med 1:3 helning. Dette tverrsnittet fører til et mudrings volum på 256.000 m³, hovedsakelig delt i to strekninger:

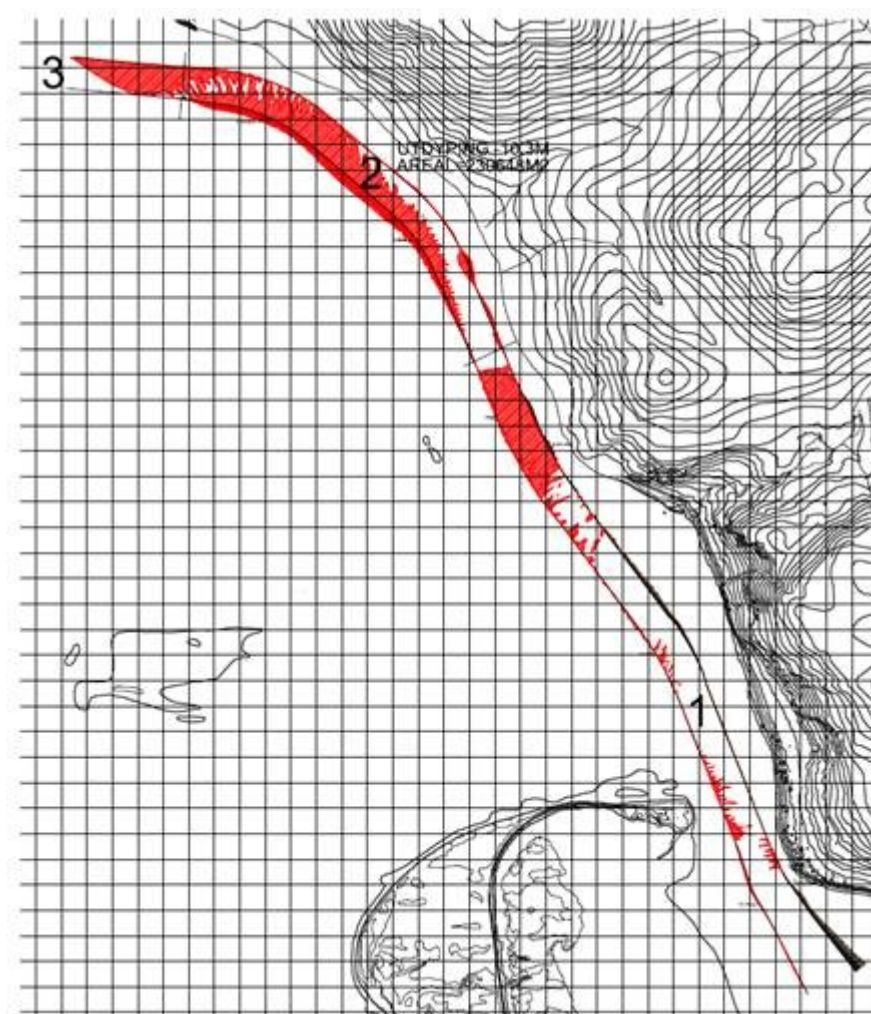
- Mudringstrekning 1: I midten av kanalen, hvor tidevannsflaten avløper inn i kanalen. Den er antatt å måtte mudre ca. 100.000 m³ masser.
- Mudringstrekning 2: i kanalens munning, nordover fra den eksisterende sandbarrieren. Den er antatt å måtte mudre ca. 150.000 m³ masser.



> *Figur 3 Mudrede soner langs farleden, spesifisert av Kystverket*

2.3 Nytt mudringsalternativ

I mai 2019 har Kystverket bedt OO inkludere et ny alternativ for sandvandringen. Alternativet vil bli analysert ved å ekstrapolere resultatene fra den originale rapporten.



> Figur 4 Utforming av et nytt alternativ for mudring gitt av Kystverket.

MENGDER	i m3					
	Område 1	Område 2	Område 3	Totalt		
Plandybde -9m	74 325	127 257	5 668	207 250	Beregnet til -9,3m, skråning 1:3	
Plandybde -10m	136 294	237 789	34 644	408 727	Beregnet til -10,3m, skråning 1:3	

> Figur 5 Oppdaterte masseberegninger for mudring for begge alternativer gitt av Kystverket i mai 2019.

3 MODELLFORUTSETNINGER

3.1 Delft3d-FLOW

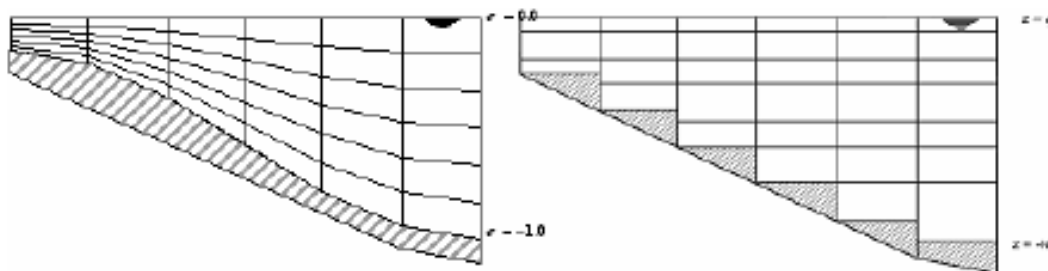
Delft3d er en gruppe av modeller (*model suite*) utviklet og opprettholdt av Deltares (en forskningsinstitutt fra *Delft University of Technology*) for 30 år siden.

Delft3d-FLOW er en velkjent hydrodynamiske modell som kan benyttes for å beregne strømmen tvunget av tidevann, elvestrøm, bølger eller vind. Modellen har flere avanserte turbulensmodeller og flere moduler for å simulere prosesser knyttet til hydrodynamiske problemer. Delft3d-FLOW inkluderer simulering av sedimenttransport for kohesive og ikke-kohesive sedimenter. For denne rapporten ble det benyttet versjon 4.02.03 fra 2016.

Videre følger en kort beskrivelse av modellen sammen med noe modellparametere valgt for prosjektet. For en nærmere beskrivelse av den hydrodynamiske og sedimentære modellen se ref. /13/.

3.2 Hydrodynamiske modell

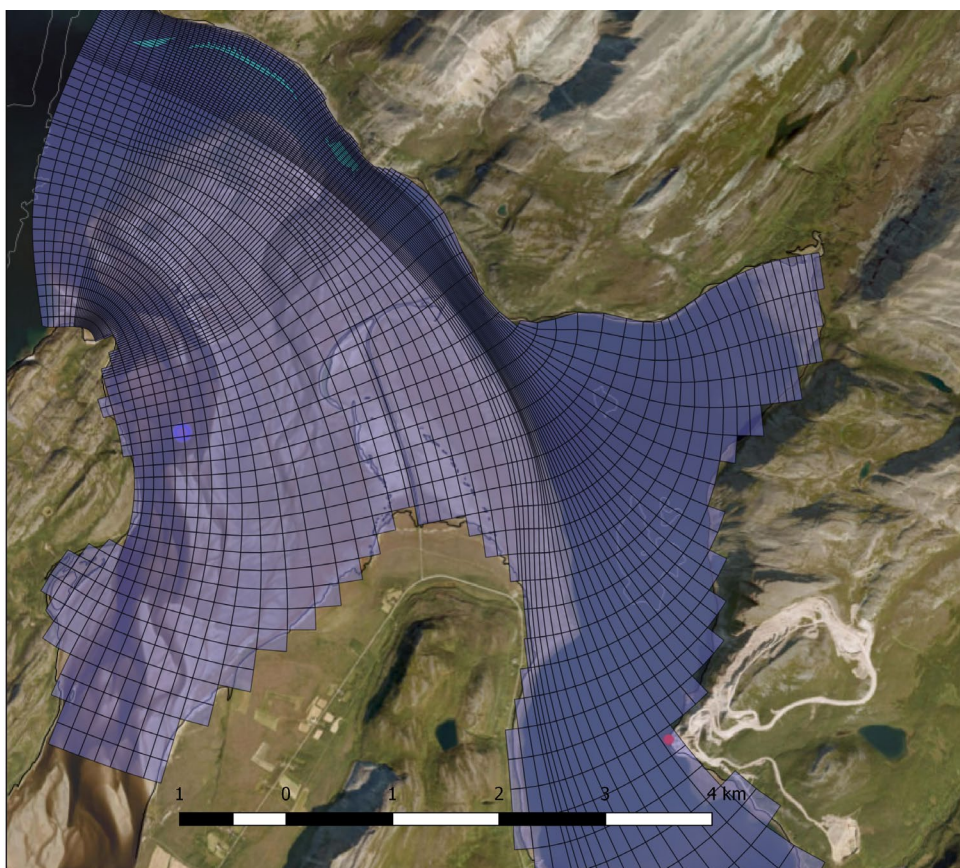
Delft3d er basert på integrasjon av *Reynolds-averaged Navier-Stokes* ligninger ved å bruke en *Finite-differences* diskretisering. Valgt turbulens modellen er $k-\epsilon$, og vertikal diskretisering fås ved å bruke en σ koordinat som følger bunnen i stedet for å bruke en vanlig konstant z koordinatsystem.



> Figur 6 Eksempel av σ og vanlig z koordinatsystemer for vertikal diskretisering.

3.2.1 Oppsettingsparametere for strømmodell

Deltaområdet ble diskretisert ved å passere en krumlinjet, regelmessig maskenett, vist i Figur 7. Maskenettet ble raffinert i området ved munninga (targetsområde) med celler på ca. 18x70 m.



> Figur 7 Maskenett for modellen.

I tillegg ble vannsøylen delt vertikalt i 6 lag (20%,20%, 20%,20%, 10% og 10% av totalt dybde) for å få en god beskrivelse av strømmen på bunnen med hensikt å beregne sedimenttransport.

Kanalen er sterkt dominert av tidevannsstrøm og derfor er en god beskrivelse av tidevannshøyde viktig for prosjektet. Ut i fjorden har tidevannet en periode på 12 timer og 10 min, med et Høyeste Astronomiske Tidevannsnivå (HAT) på 3.30 m, et middel høyvannsnivå (MHW) på 2.58 m og et middel lavvannsnivå (MLW) på 0.80 m. Dette betyr at tidevannet går inn og ut Leirpollen to ganger daglig.

Ved å analysere vanndybde ved punkt N1 (Niva undersøkelse med ADP måler (28.03.2014-11.05.2014), ref /5/), fås det de astronomiske tidevannskomponentene utenfor kanalen, akkurat der hvor grensebetingelsene er satt, se Figur 8. I tillegg ble middelvanns nivå satt på 1.68 m i henhold til nivåskisse fra Kartverket.

Simuleringer ble tvunget av det astronomiske tidevannsnivået og avløpstrøm fra Tanaelva, med en gjennomsnittlig verdi på 150 m³/s.

```

+ OO
+ Lysaker- OSLO
+ TIDE Analysis and prediction of tides
+ NIVA UTENFOR KANAL TIDAL ANALYSIS
+ TIDAL ANALYSIS, march-may 2014
+ STATION: NIVA point at tidal channel
  PERIOD 1      TO = 2601.50      YEAR      = 2014
START TIME = 2052.83 HOURS AFTER 2014/01/01
END TIME   = 3150.17 HOURS AFTER 2014/01/01

NUMBER OF COMPONENTS : 37

NAME      AMPLITUDE  PHASE (G)      FREQUENCY (OM)  VO + U      F
Q1         0.024      1.7            13.398660883    306.2       0.837
O1         0.028      65.0           13.943035580    265.2       0.837
M1         0.010      236.5          14.496693943    327.9       1.249
K1         0.099      241.2          15.041068640    264.8       0.900
P1         0.033      241.2          14.958931360    25.1        1.000
3MS2       0.003      24.9           26.952312660    307.9       1.103
MNS2       0.002      27.4           27.423833743    101.3       1.068
MU2        0.011      228.2          27.968208440    59.3        1.033
N2         0.208      47.9           28.439729523    213.6       1.033
NU2        0.040      47.9           28.512583137    18.3        1.033
M2         0.921      77.0           28.984104220    172.6       1.033
L2         0.021      133.2          29.528478917    321.1       1.065
S2         0.252      120.8          30.000000000    285.0       1.000
K2         0.072      120.8          30.082137280    348.8       0.776
MSN2       0.005      36.9           30.544374697    244.0       1.068
2SM2       0.003      11.2           31.015895780    37.4        1.033
MO3        0.001      191.6          42.927139800    77.8        0.864
M3         0.000      43.6           43.476156330    259.0       1.050
MK3        0.003      186.4          44.025172860    77.4        0.930
3MS4       0.001      36.7           56.952312660    232.9       1.103
MN4        0.001      18.3           57.423833743    26.3        1.068
M4         0.004      33.5           57.968208440    345.3       1.068
3MN4       0.001      200.4          58.512583137    304.3       1.140
MS4        0.004      80.2           58.984104220    97.6        1.033
2MSN4      0.001      260.3          59.528478917    56.6        1.103
3MK5       0.001      297.3          71.911244020    253.1       0.993
4MS6       0.001      239.0          85.936416880    45.6        1.140
2MN6       0.001      3.4            86.407937963    198.9       1.103
M6         0.002      64.6           86.952312660    157.9       1.103
MSN6       0.000      160.3          87.423833743    311.3       1.068
2MS6       0.002      186.0          87.968208440    270.3       1.068
2SM6       0.001      330.4          88.984104220    22.6        1.033
3MN8       0.000      91.4           115.392042183    11.6        1.140
M8         0.000      279.3          115.936416880    330.6       1.140
2MSN8      0.001      138.5          116.407937963    123.9       1.103
3MS8       0.000      191.3          116.952312660    82.9        1.103
2 (MS) 8   0.000      223.3          117.968208440    195.3       1.068

STANDARD DEVIATION : 0.0740

```

> Figur 8 Tidevannskomponentene (37) brukt for å definere tidevannsnivå utenfor kanalen.

3.3 Sedimenttransport modell

Sedimenttransport-modellen i DELFT3d er koblet med den hydrodynamiske modell. Sediment er behandlet som en konservativ konstituent ved å inkludere viktige effekter som veksling av sediment med bunnen og sedimentasjon grunnet av tyngdekraften.

3.3.1 Suspended transport

Suspended sediment transport occurs at a certain height above the bottom (*reference height*, Figur 11). It is calculated by solving a differential equation (Figur 9) by using a sedimentation velocity (Figur 10) and a reference concentration to exchange sediment with the bottom.

$$\frac{\partial c^{(\ell)}}{\partial t} + \frac{\partial uc^{(\ell)}}{\partial x} + \frac{\partial vc^{(\ell)}}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s^{(\ell)}) c^{(\ell)}}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_{s,x}^{(\ell)} \frac{\partial c^{(\ell)}}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_{s,y}^{(\ell)} \frac{\partial c^{(\ell)}}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_{s,z}^{(\ell)} \frac{\partial c^{(\ell)}}{\partial z} \right) = 0, \quad (11.1)$$

where:

$c^{(\ell)}$	mass concentration of sediment fraction (ℓ) [kg/m ³]
u, v and w	flow velocity components [m/s]
$\varepsilon_{s,x}^{(\ell)}, \varepsilon_{s,y}^{(\ell)}$ and $\varepsilon_{s,z}^{(\ell)}$	eddy diffusivities of sediment fraction (ℓ) [m ² /s]
$w_s^{(\ell)}$	(hindered) sediment settling velocity of sediment fraction (ℓ) [m/s]

> Figur 9 Generell modell for suspended transport, ref /13/

$$w_{s,0}^{(\ell)} = \begin{cases} \frac{(s^{(\ell)} - 1)gD_s^{(\ell)2}}{18\nu}, & 65 \mu\text{m} < D_s \leq 100 \mu\text{m} \\ \frac{10\nu}{D_s} \left(\sqrt{1 + \frac{0.01(s^{(\ell)} - 1)gD_s^{(\ell)3}}{\nu^2}} - 1 \right), & 100 \mu\text{m} < D_s \leq 1000 \mu\text{m} \\ 1.1\sqrt{(s^{(\ell)} - 1)gD_s^{(\ell)}}, & 1000 \mu\text{m} < D_s \end{cases} \quad (11.15)$$

where:

$s^{(\ell)}$	relative density $\rho_s^{(\ell)} / \rho_w$ of sediment fraction (ℓ)
$D_s^{(\ell)}$	representative diameter of sediment fraction (ℓ)
ν	kinematic viscosity coefficient of water [m ² /s]

> Figur 10 Sedimentasjonshastighet, ref /13/

$$a = \min \left[\max \left\{ \text{AKSFAC} \cdot k_s, \frac{\Delta_r}{2}, 0.01h \right\}, 0.20h \right],$$

where:

a	Van Rijn's reference height
AksFac	user-defined proportionality factor (morphology input file)
k_s	user-defined current-related effective roughness height
Δ_r	wave-induced ripple height, set to a constant value of 0.025 m
h	water depth

> Figur 11 Referansehøyde a , ref /13/

3.3.2 Bunntransport

Bunntransporten er enklere å simulere og skjer under den førnevnte referansehøyden, a .

$$|S_b| = 0.006 \rho_s w_s D_{50}^{(\ell)} M^{0.5} M_e^{0.7} \quad (11.82)$$

where:

S_b	bedload transport [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]
M	sediment mobility number due to waves and currents [-]
M_e	excess sediment mobility number [-]

$$M = \frac{v_{eff}^2}{(s-1)gD_{50}} \quad (11.83)$$

$$M_e = \frac{(v_{eff} - v_{cr})^2}{(s-1)gD_{50}} \quad (11.84)$$

$$v_{eff} = \sqrt{v_R^2 + U_{on}^2} \quad (11.85)$$

in which:

v_{cr}	critical depth averaged velocity for initiation of motion (based on a parameterisation of the Shields curve) [m/s]
v_R	magnitude of an equivalent depth-averaged velocity computed from the velocity in the bottom computational layer, assuming a logarithmic velocity profile [m/s]
U_{on}	near-bed peak orbital velocity [m/s] in onshore direction (in the direction on wave propagation) based on the significant wave height

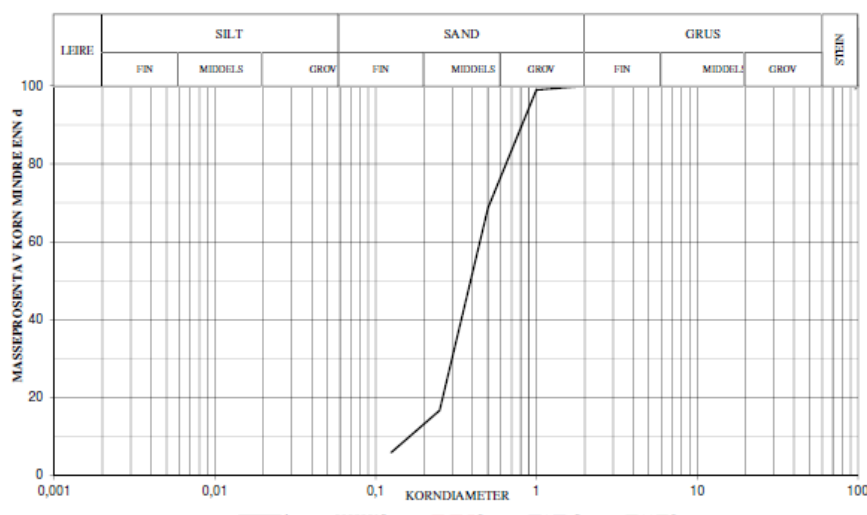
> Figur 12 Formel for bunntransport, ref. /13/

I dette tilfellet ble vannsøylen delt i 6 lag med hensikt å benytte den gjennomsnittlige strømhastigheten på bunnen (*depth-averaged velocity*) og for å dekke tredimensjonale hydrodynamiske effekter. Retning av sedimenttransport sammenfalle med strømreretning.

3.3.3 Oppsettingsparametere for sedimenttransport

Sanden langs kanalen er antatt å være veldig homogen og ensgradert (kornstørrelser varierer lite) som prøven tatt i midten av kanalen av Multiconsult viser, se Figur 13. Sannsynligvis vil det i tidevannsflaten finnes finere og mer velgradert sediment, spesielt på de høyeste stedene hvor strømmen er ikke så kraftig. Når disse sedimentene avløpes i tidevannskanalen blir de transportert ut av kanalen uten å deponere seg. Tidevannskanalen fungerer som et filter for sandkorn i tidevannsflaten.

SYM BOL	SERIE NR.	DYBDE (kote)	BESKRIVELSE	ANMERKNINGER	METODE		
					TS	VS	HYD
A	11	1,5-2,0m	Sand		X	X	
B							
C							
D							
E							



SYMBOL:

Ogl. = Glødetap (%)

Ona. = Humusinnhold (%)

Perm. = Permeabilitet (m/s)

$$C_u = \frac{D_{50}^2}{(D_{60})(D_{10})}$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

METODE:

TS = Torr sikt

VS = Våt sikt

HYD = Hydrometer

SYM BOL	Vanninnhold %	Telegruppe	< 0,063 mm %	< 0,02 mm %	C_z	C_u	D_{10} mm	D_{30} mm	D_{50} mm	D_{60} mm
A	17,2					2,7	0,173	0,314	0,410	0,459
B										
C										
D										
E										

> Figur 13 Korngradering i midten av kanalen ($D_{50}=0.41$ mm middels sand), ref. /7/.

Sand som fins langs kanalen er middels grov ($D_{50}=0.41$ mm). Tettheten er antatt å være rundt 2.6 t/m^3 .

Sanden kan transporteres langs en strøm på to forskjellige måter: som bunnlast eller suspendert last. Med bunnlasten vil sandkorn trille og hoppe langs bunnen mens for suspendert last blir sandkorn transportert gjennom hele vannsøylen. Bunnlasten utvikler seg først da det trenger en lavere strømstyrke enn suspendert last. Begge deler ble tatt høyde for i de numeriske simuleringene.

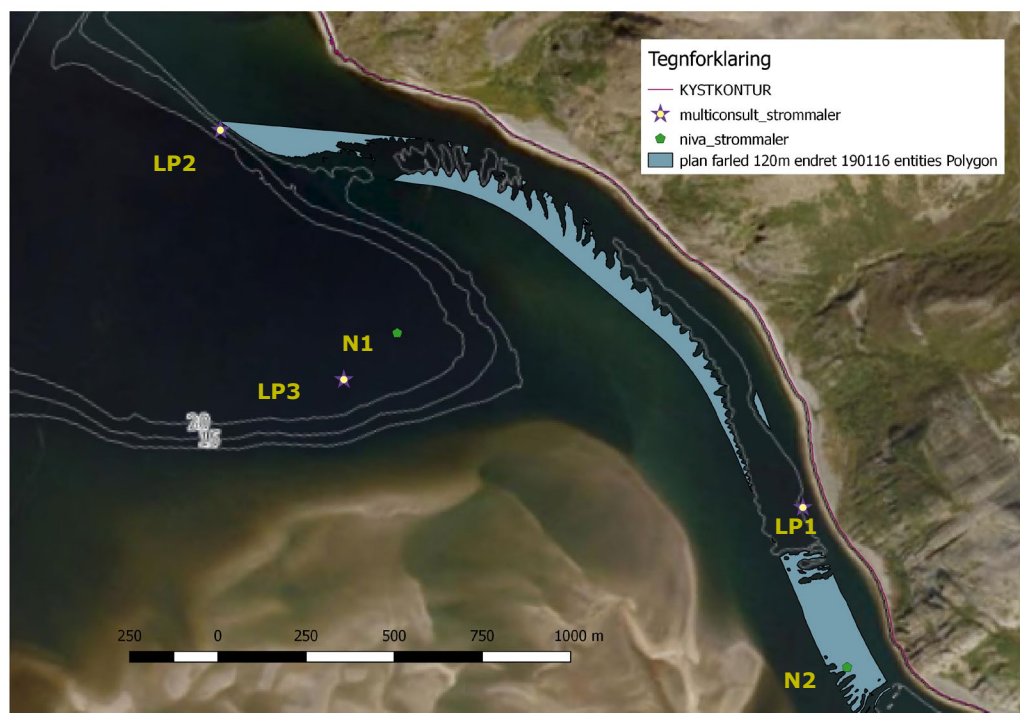
En stor nok mengde av sand er tilgjengelige for sedimenttransport langs hele deltaområdet, i.e. fjell ligger under en tykk lag av sand (minst 15-20 m), ref. /7/.

4 RESULTATER FRA MODELLEN

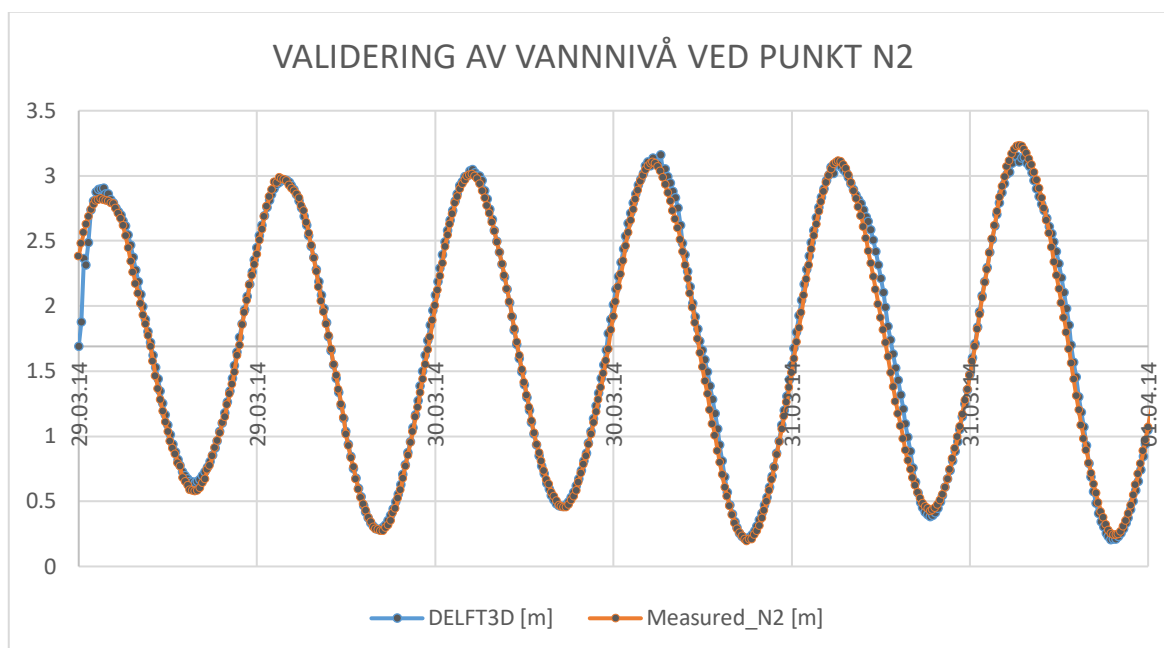
4.1 Strømforhold langs tidevannskanalen

4.1.1 VALIDERING AV STRØMMODELLEN

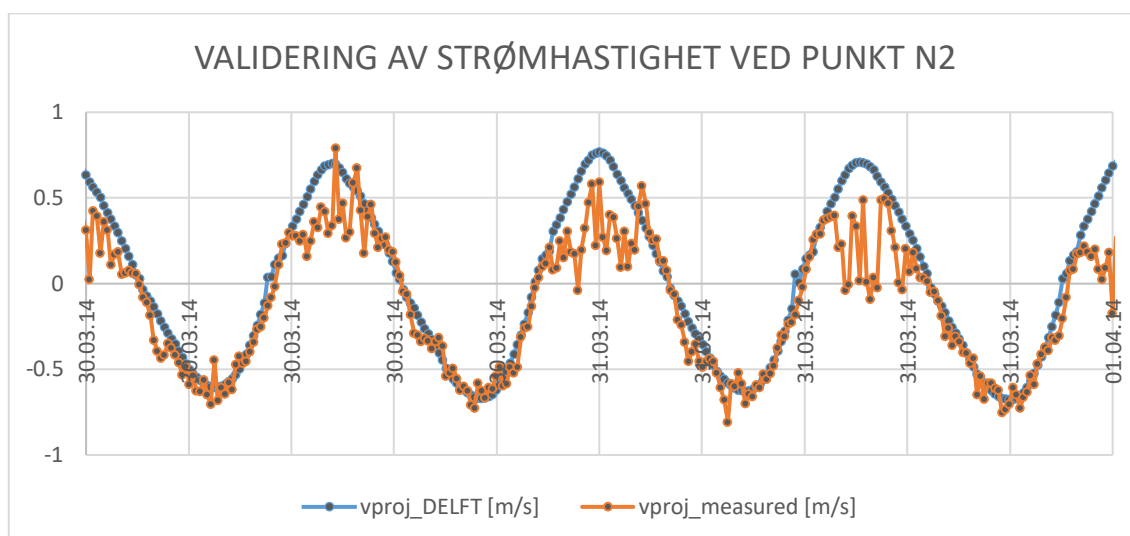
Resultatene fra strømmodell ble sammenlignet med målinger inn i kanalen fra punktmåler i rapporten fra NIVA (ref. /4/) fra 29.03.14 til 01.04.14. Resultatene for tidevannshøyde og strøm er visste i Figur 15 og Figur 16.



- > Figur 14 Plassering av strømmålere, vanntrykk måleringer ved N1 ble bruk for å definere tidevann langs grense mot Tanafjorden.



> Figur 15 Tidevannsnivå for punkt N2: målt (oransje, ref. /5/) og simulert (blå)



> Figur 16 Strøm målt ved N2 (oransje) vs simulert (blå) ved 1 m over bunnen. Hastighetene ble projisert i en retning 135°N (positive verdier mot Leirpollen bukta (flo))

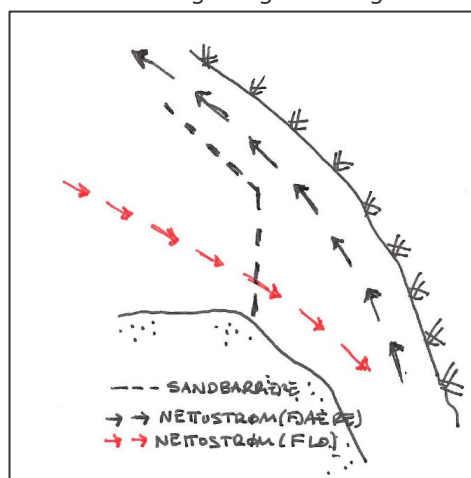
Tidevannsnivå er veldig godt simulert, strømhastigheten viser også en god enighet med målinger, men det er et visst avvik om flo, hvor målinger viser en uregelmessig oppførsel. Årsaken til dette er uvisst, derimot kan beliggenheten av måleren i nærheten av bunnen føre til dette avviket. I tillegg, da punktet N2 ligger i nærheten av avløpet til tidevannsflaten, kan flostrømmen også bli påvirket av avløpstrøm fra i tidevannsflaten. Tilgjengelige data fra tidevannsflaten er fra 1993, med mindre oppløsning enn de langs tidevannskanalen.

4.1.2 SIMULERING AV GJENNOMSNITTLIGE TIDEVANNSFORHOLD

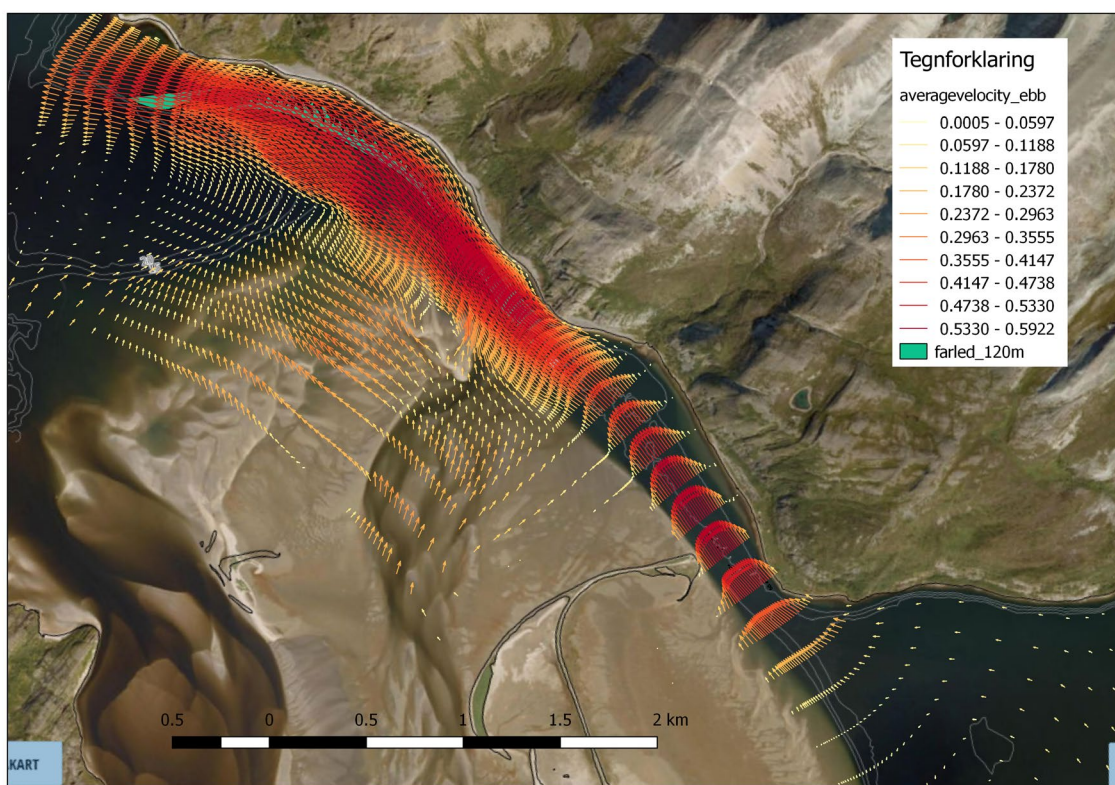
En simuleringsperiode med gjennomsnittlig tidevannsforskytning ble valgt for å vurdere sedimenttransport langs kanalen. En simuleringsperiode på 30 dager (07.01.15- 06.02.15) ble benyttet som basis for beregningene, med en høyvannsnivå mellom 2.34-3.00 m (LAT).

Som et par representative eksempler, vises det typiske strømmønstre ved to konsekutive flo (Figur 18) og fjære (Figur 19) tidspunkter, med en vanns nivåforskjell mellom flo og fjære på 2.63-0.74 m.

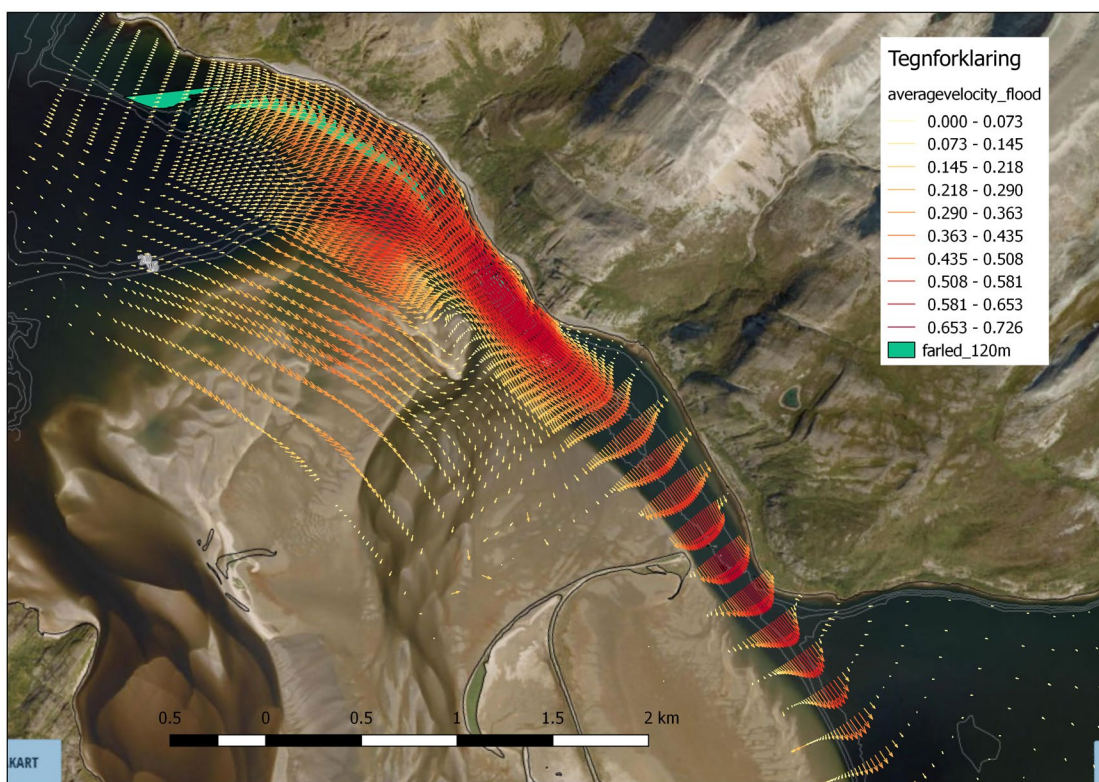
Strømmønstre ved munninga til kanalen har god enighet med det som er beskrevet i den kvalitative vurdering (ref./12/) med ulike retninger og styrke ved flo og fjære ved munninga som skaper en nettostrøm langs barrieren utover kanalen. Dette påvirker også sedimenttransporten og er årsaken for danningen og utvikling av sandbarrieren.



> Figur 17 Kvalitativ beskrivelse av netto strømmønstre ved kanalens munninga.



> Figur 18 Simulert strøm ved fjære den 9 januar 2015, 09:30.



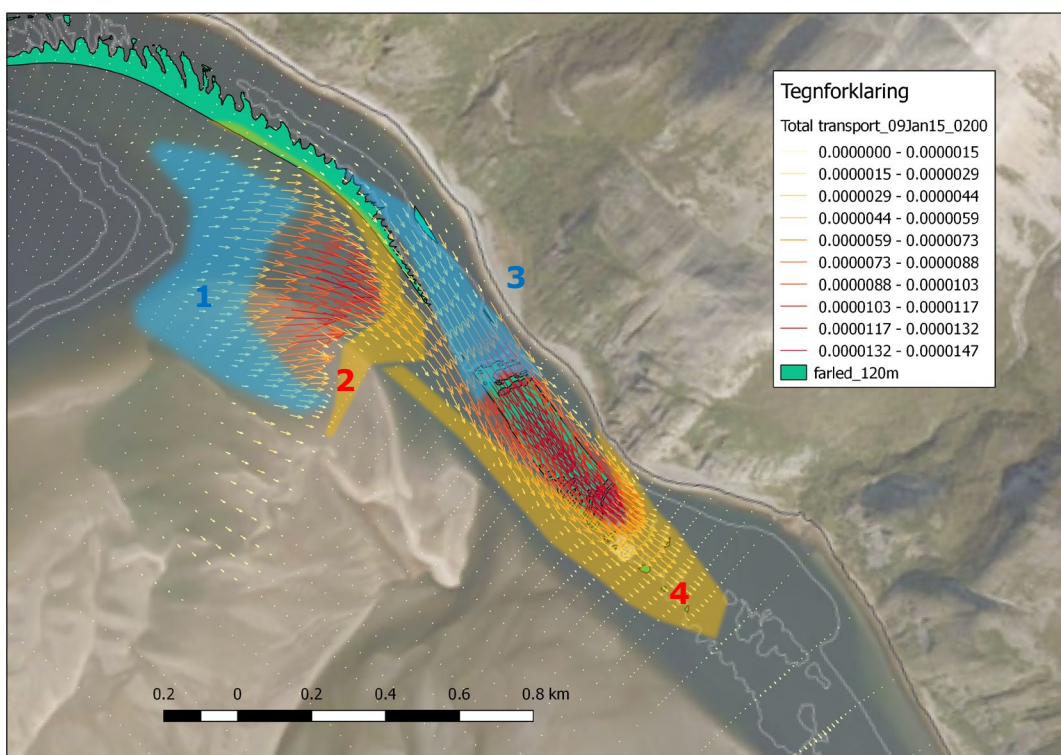
> Figur 19 Simulert strøm ved flo den 9 januar 2015- 03:30

4.2 Numerisk vurdering av sedimenttransport langs kanalen

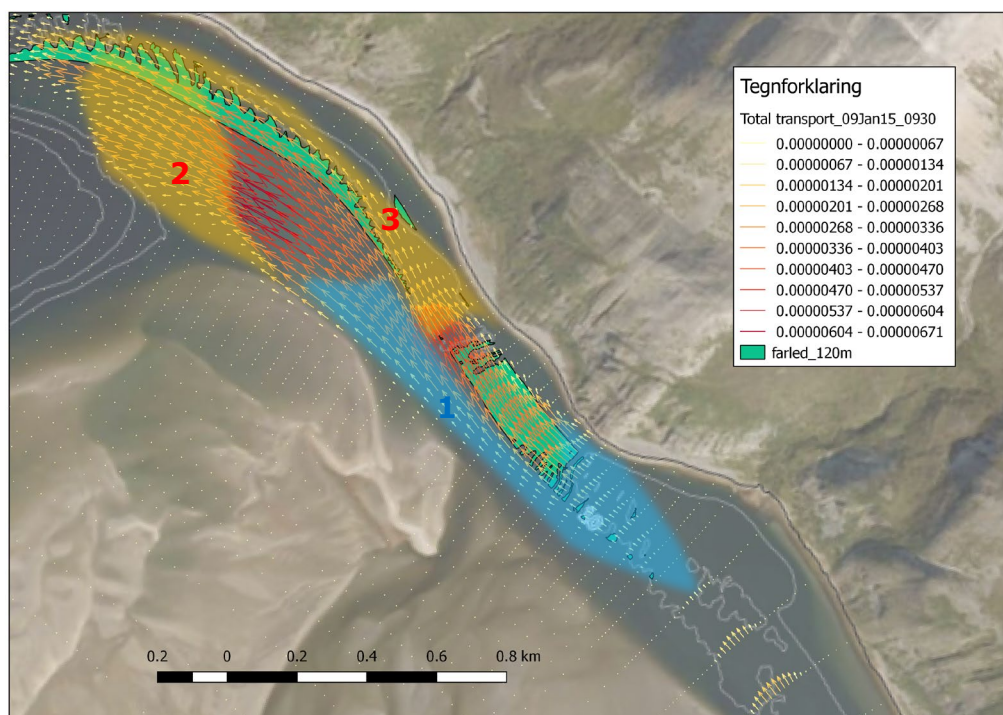
Som preliminnære simuleringer viser er str mforholdet ikke antatt   endre seg betraktelig med tid på grunn av sedimenttransporten. Derfor har strømmen og sedimenttransport v rt simulert for 30 dager (simuleringstid) og resultatene kan ekstrapoleres i tidsplanet.

To bilder av sedimenttransport fra simuleringen ved maksimal fjære og flo forteller mye om sandvandring ved munninga til kanalen:

1. **Ved flo** (Figur 20) eroderes sanden i den ytre delen av sandbarrieren (1), kommer inn i kanalen og deponeres (2). I tillegg fordeles sediment langs kanalen i retning mot indre Leirpollen (3-4). Disse er ikke uavhengige sandflukser og kan bytte sediment, for eksempel sand deponert ved 2 kan deretter bli transportert mot indre kanalen (4).
2. **Ved fjære** (Figur 21) skjer det motsatte, med unntak av at sanden blir transportert langs barriere og deponert langs dens fot og ved dens slutt eller transportert ut av kanalen. Denne sandbevegelsen utformer sandbarrieren.

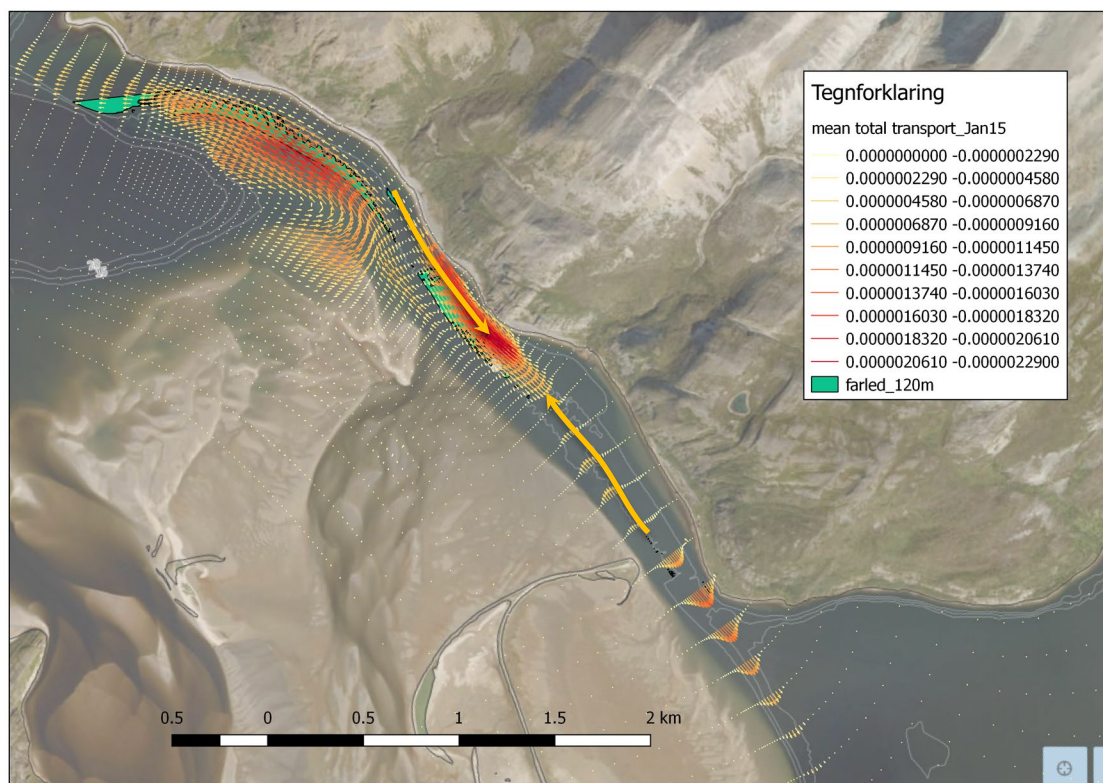


> Figur 20 Total sedimenttransport [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$] (bunnlast og suspendert) langs kanalen ved flo (09 Jan-2015, 02:00)



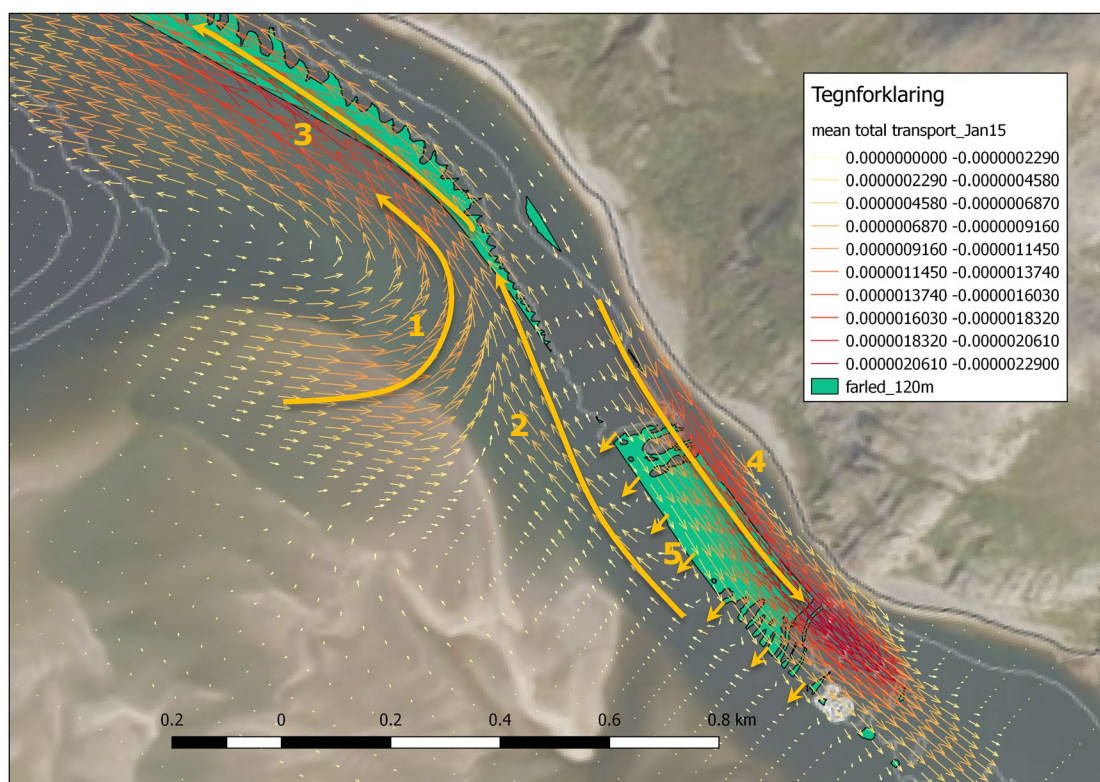
> *Figur 21 Total sedimenttransport [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$] langs kanalen ved fjære (09 Jan-2015, 09:30)*

Den gjennomsnittlige sedimenttransporten for hele simuleringstiden viser også disse sand bevegelsene (Figur 22). Dette bildet er ikke momentant og bør ses som et netto volumfluks i løpet av 30 dager ved et gitt punkt (Euleriansk beskrivelse). Sandbevegelsene kan dermed følge en annen bane avhengig av fasen til tidevannsyklusen, som var vist i Figur 20 og Figur 21.



- > Figur 22 Gjennomsnittlig total sedimenttransport (bunnlast og suspendert [$m^3/s/m$]) langs kanalen for en måned (Jan-2015). Pilene viser to motsatte sedimentflukser langs kanalen som bidrar til å skape sanddeponiet i midten av kanalen (mudretområde nr 1).

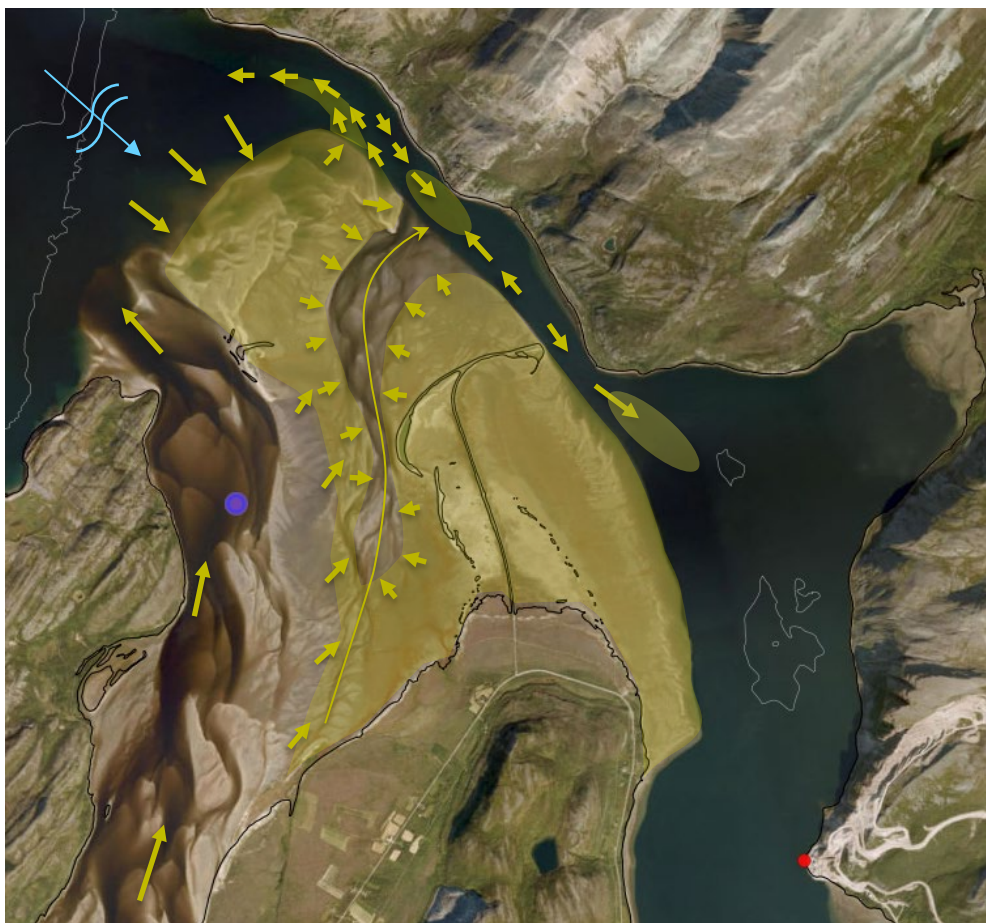
Deponiet i midten av kanalen, som ble knyttet til sedimentlast fra avløpet til tidevannsflaten i den kvalitative vurderingen, er faktisk skapt av to motsatte sedimentflukser langs tidevannskanalen (se Figur 22).



> *Figur 23 Nærmere bilde av gjennomsnittlig sedimentflukser ved mudrede områder [$m^3/s/m$]*

Mønsteret til sedimenttransporten i løpet av en gjennomsnittlig måned (Figur 23) viser at det er fem hoved sedimentflukser som påvirker sedimenttransporten ved munninga. Fluksene 1-3 er rettet mot fjorden med en bane langs sandbarrieren. Sedimentfluksen mot den indre kanalen (4) er delvis skyldig for å skape det sand deponiet som ligger omtrent foran tidevannsavløpet. Sedimentlast fra tidevannsflaten og sedimentfluks fra indre Leirpollen hjelper også for å skape dette deponiet. Fluksen nummer 5 bytter sediment mellom fluksene 4 og 2

Basert på resultatene fra den nye analysen kan bildet for sedimenttransport oppdateres slik som vist i Figur 24.

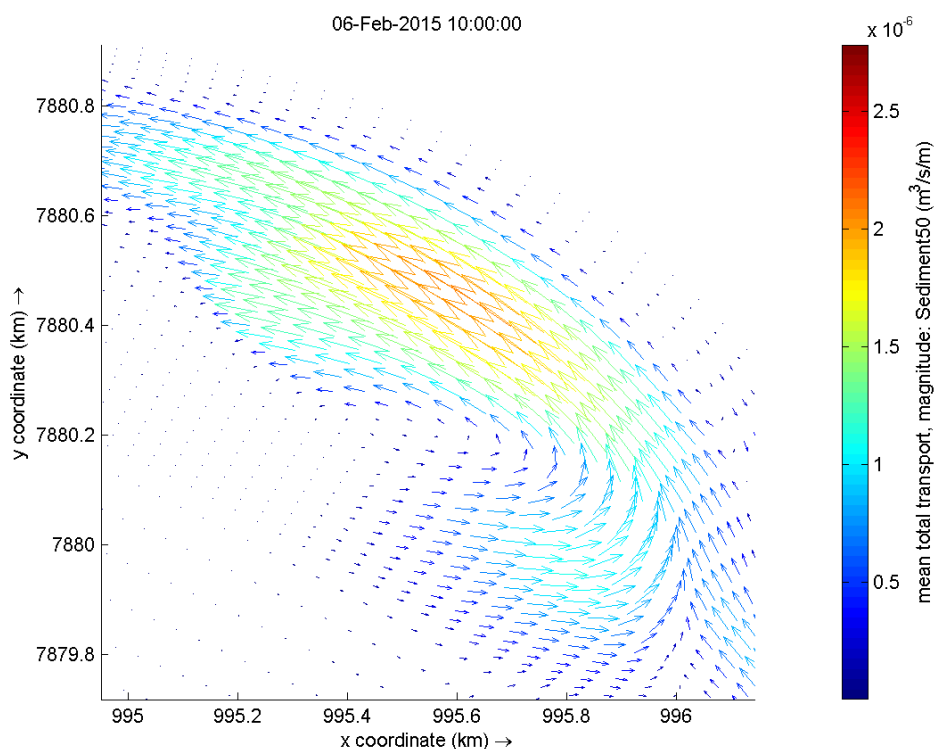


> *Figur 24 Oppdatert kvalitativ skisse for sedimenttransport i Leirpollen etter den numeriske analysen.*

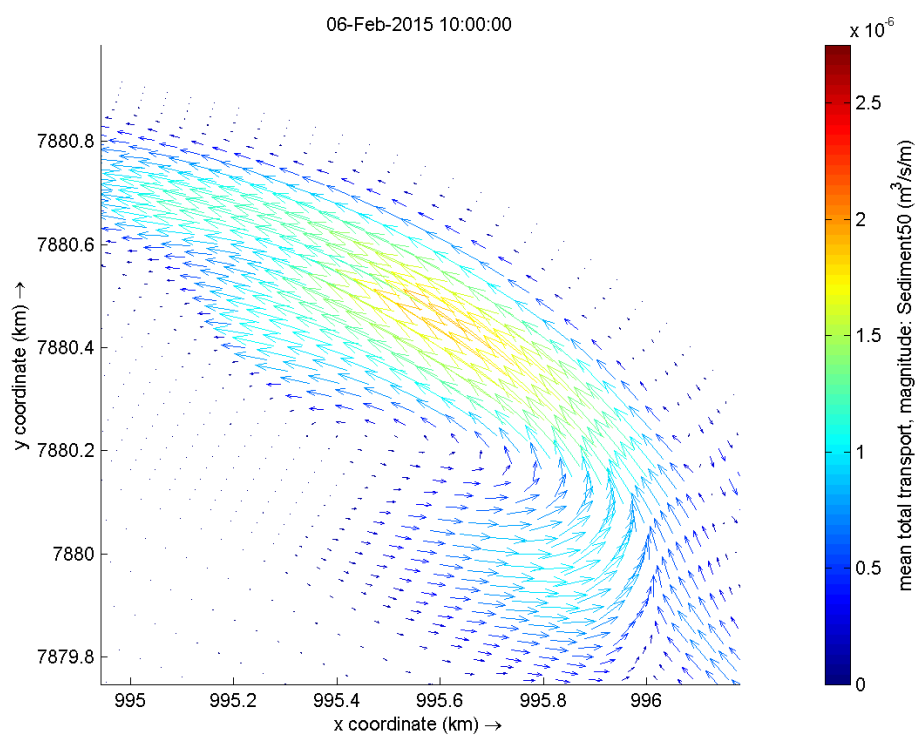
Fra sandfluksene vist i Figur 24, er disse langs tidevannskanalen som skjer fortest. Det er antatt at forhold langs kanalen påvirker sedimenttransporten langt mer enn forhold i tidevannsflaten. Sedimentfluksen fra tidevannsflaten er vanskeligere å kvantifisere, dessuten er tilgjengelige topografi ikke nøyaktig nok for å få et pålitelig tall for avløpstrøm eller sedimentlast fra tidevannsflaten. I tillegg vil det meste del av sedimentene fra tidevannsflaten være altfor fine for å være stabile og deponere seg i kanalen.

4.2.1 Sammenligning av dagens vs. mudrede forhold

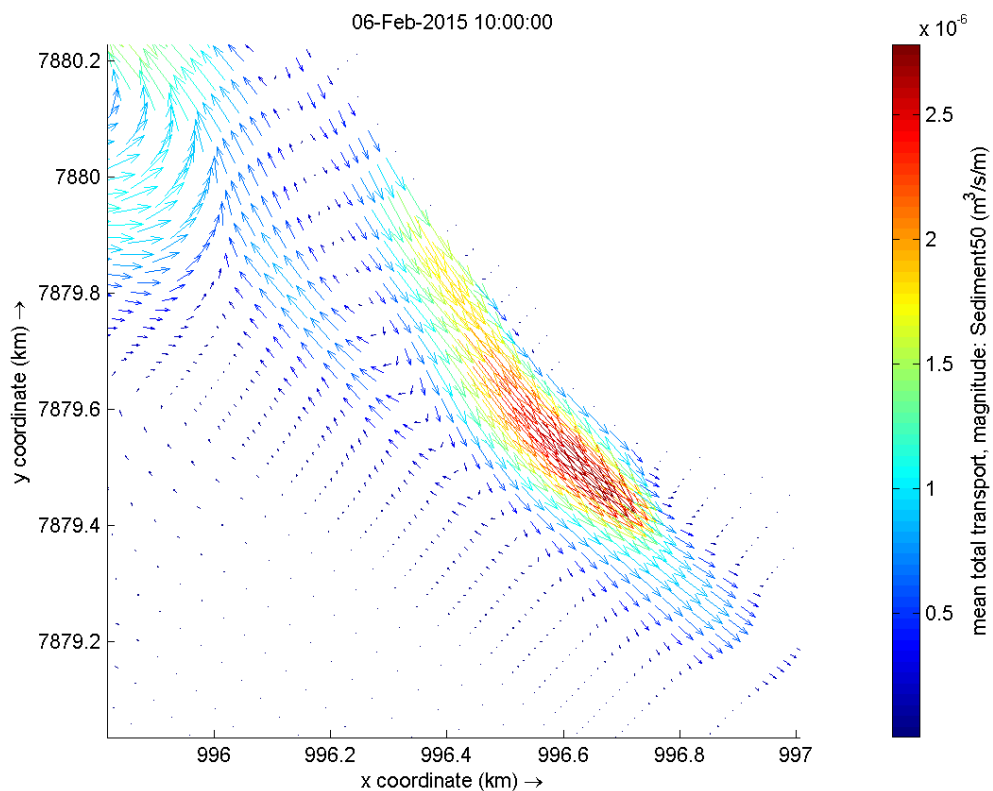
Følgende figurer viser forskjellen i sedimentfluksene omkring de mudrede områdene. Det er ingen kvalitativ forskjell i fluksmønstre, og kvantitativt er forskjellen rundt 10-20%.



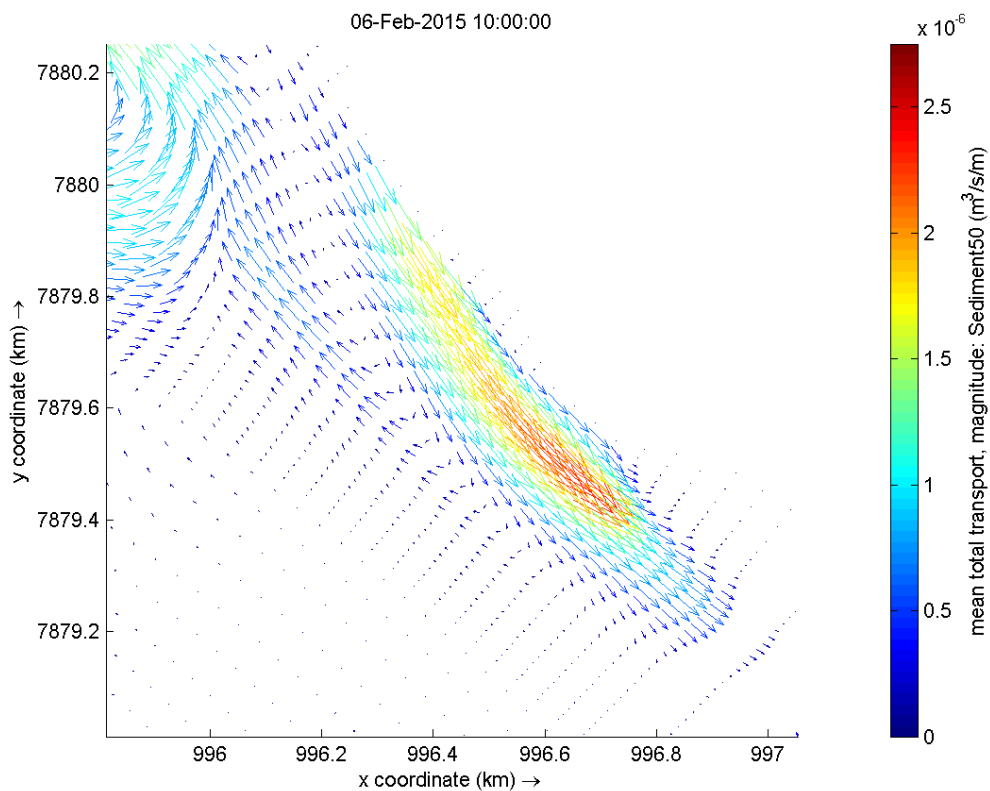
> *Figur 25 Gjennomsnittlig sedimentfluks i dagens situasjon langs barrieren*



> *Figur 26 Gjennomsnittlig sedimentfluks i situasjon med mudring langs barrieren*



> Figur 27 Gjennomsnittlig sedimentfluks i dagens situasjon i område 1



> Figur 28 Gjennomsnittlig sedimentfluks i situasjon med mudring i område 1

5 BEREGNING AV TRANSPORTERTE VOLUMER

27

5.1 Utviklingen av dybde langs farleden

For å kvantifisere utviklingen av sedimenttransport er det benyttet noen forutsetninger:

- Beregninger er basert på gjennomsnittlige forhold. De er gjort ved å simulere en måned med middels tidevannshøyde (januar 2015) og ekstrapolere resultatene til hele året. Ekstremforhold, som stormer eller ekstrem vannføring fra Tanaelva, er det ikke tatt hensyn til.
- Sedimenttransporten beregnes med Van Rijn modell (1993) for bunn og suspendert sandtransport for ikke-kohesive sedimenter, se 3.3.
- Sediment er antatt å være homogen langs hele deltaområdet, med en $D_{50}=0.41$ mm (ref. /6/). Dette er en fornuftig antagelse for sanden langs kanalen, men i tidevannsflaten kan sediment være finere.

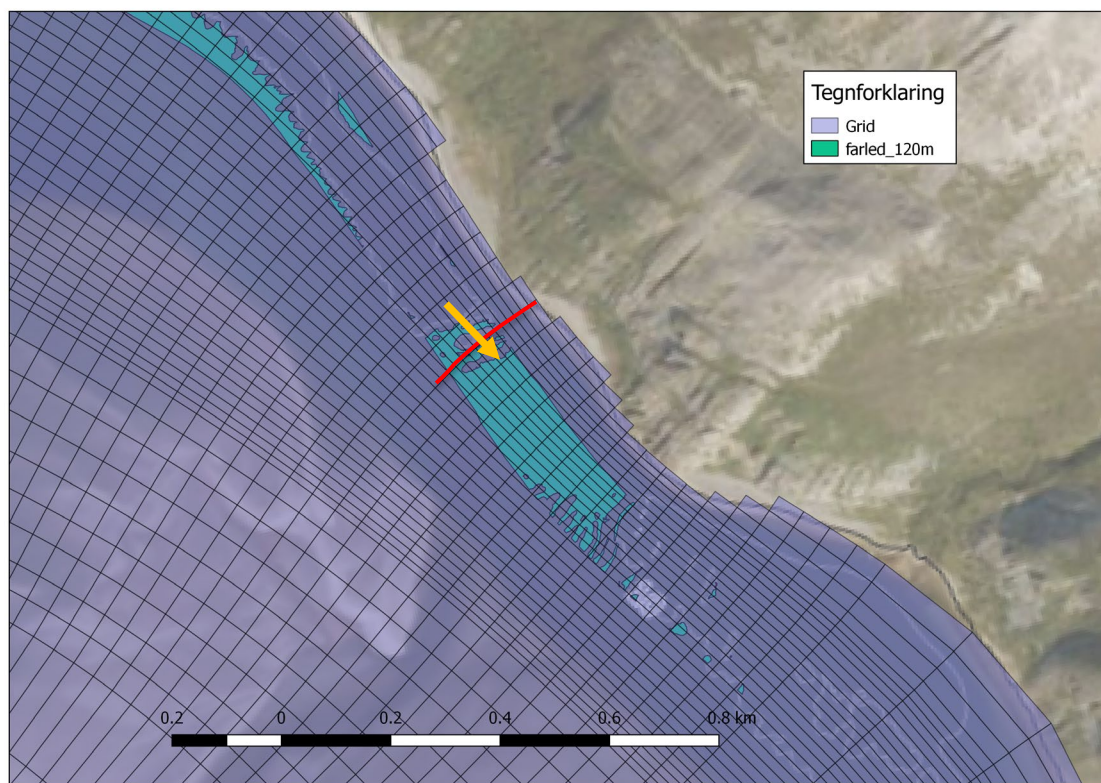
Totalt akkumulert sedimentvolum på tvers av tverrsnittet oppstrøms av referansesområdene, i løpet av hele simuleringstiden på 30 dager, ble benyttet for å kvantifisere sandbevegelser mot mudringsområdene.

5.1.1 Prognose for det verste tilfellet

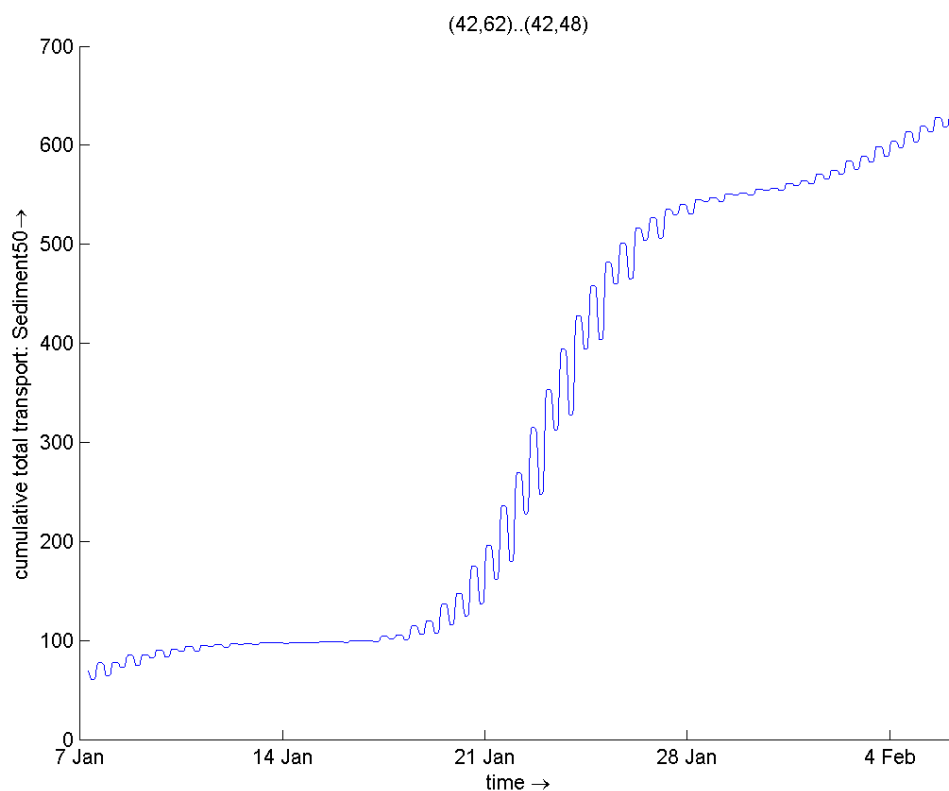
For å forutse det verste (mest konservative) tilfellet antar vi at alle sedimenter (suspendert og bunnlast) som transporteres av tidevannskanalen etter mudring deponeres i mudringsområdene. Sandfluksen på tverrsnittet oppstrøms de mudrede områdene benyttes for å beregne totalt volum mot de referanseområdene i løpet av en måned og deretter ekstrapoleres resultatene for hele prosjektlivet. Denne sanden kommer hovedsakelig ut i kanalen fra områdene omkring kanalens munning, men noe kan også komme fra tidevannsflaten.

Mudringsområde 1

For mudringsområdet 1 ble det benyttet snitt vist i Figur 29.



> Figur 29 Tverrsnitt for beregning av akkumulert sediment volum mot mudringsområde 1.

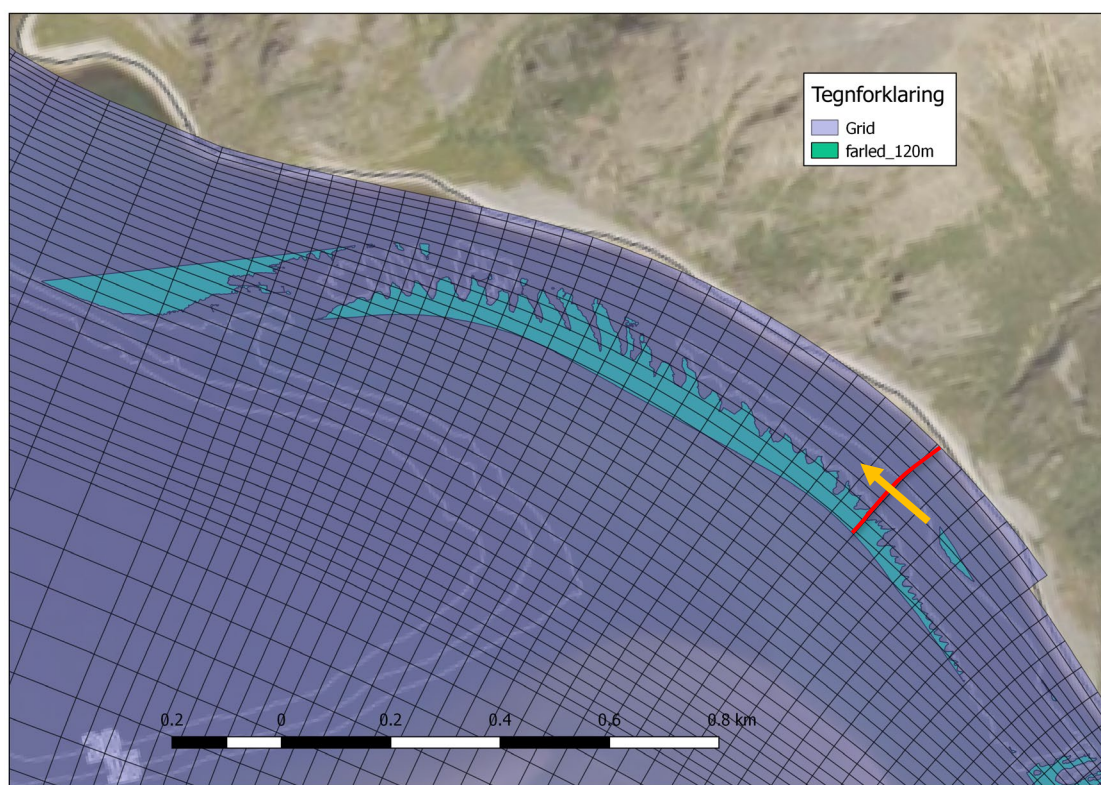


> Figur 30 Totalt akkumulert sandvolum [m^3] på tverrsnittet vist i Figur 29.

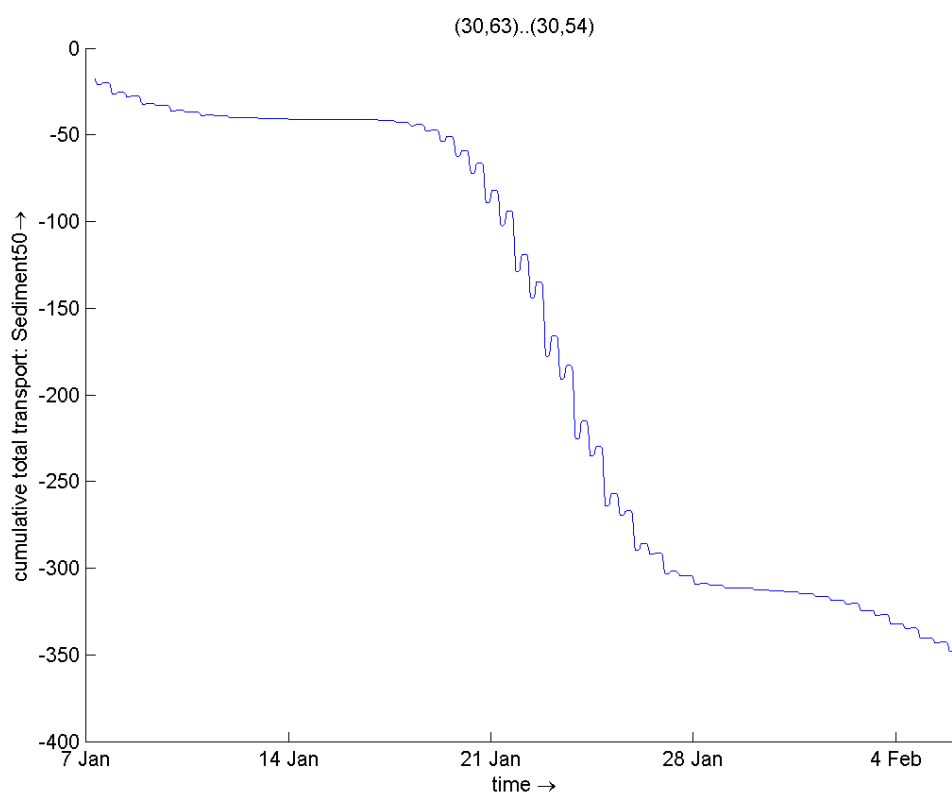
Det er et totalt volum sand på ca. $600 m^3/måned$ som går på gjennom dette tverrsnittet mot mudringsområde 1. I løpet av et år blir det $7.200 m^3$, som betyr at det tar $74.325/7.200=10$ år for område 1 å fylles tilbake.

Mudringsområde 2

Dette området kan beregnes med den samme prosedyren som over, men nå er tverrsnittet vist i Figur 31.



> Figur 31 Tverrsnitt for beregning av akkumulert sediment volum mot mudringsområde 2.



> Figur 32 Totalt akkumulert sandvolum [m^3] på tvers snittet vist i Figur 31.

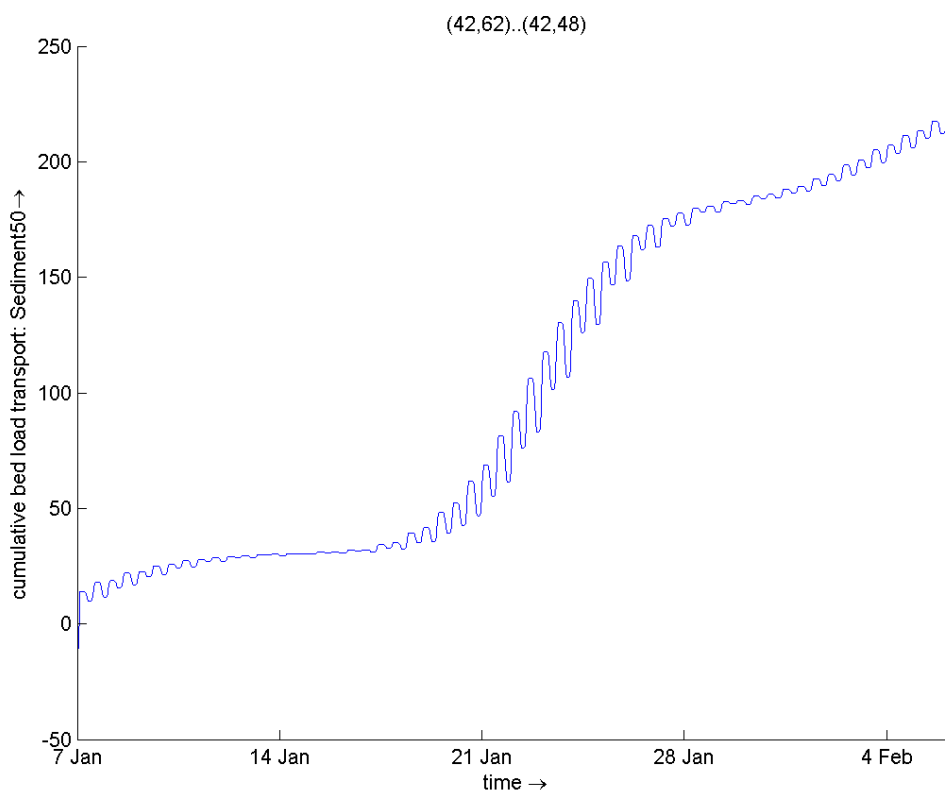
Totalt får vi et sediment volum gjennom det gitte tverrsnittet på $350 m^3$. Dette tilsvarer $4.200 m^3/\text{år}$ og det tar $132.925 / 4.200 = 32$ år for dette området å fylles tilbake.

5.1.2 Prognose for det beste tilfellet

Antagelsene for det beste tilfelle (det som fører til lengre tid for oppfylling) er de samme som for det verste tilfellet, men det antas at bare bunnlast sedimenter deponeres i de mudrede områdene (suspendert sediment reagerer ikke umiddelbart på endringer i strøm og kan transporteres rett forbi uti i fjorden).

Mudringsområde 1

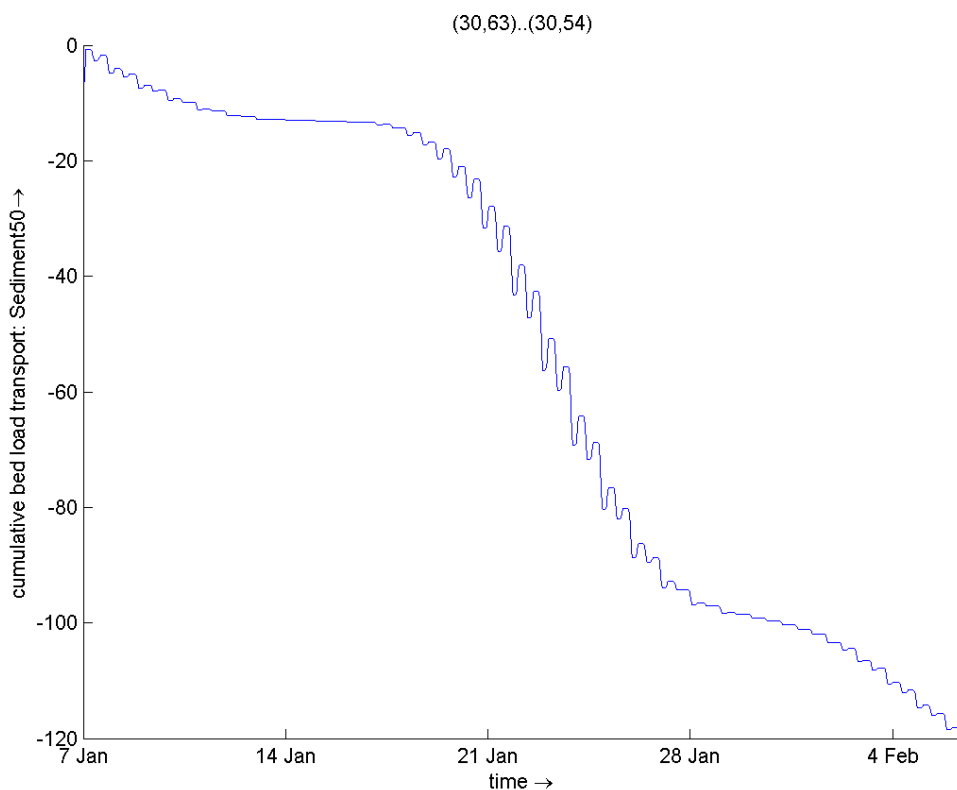
Ved å bruke det samme tverrsnitt som over for mudringsområde 1 blir total bunnlast som vist i Figur 33.



> Figur 33 Akkumulert bunnlast sandvolum [m^3] på tverrsnittet vist i Figur 29.

I dette tilfellet blir sediment volum fra bunnlast gjennom det gitte tverrsnittet på $200 m^3/\text{måned}$ ($2.400 m^3/\text{år}$) og tiden for oppfylling blir $74.325 / 2.400 = 31$ år.

Mudringsområde 2



> Figur 34 Akkumulert bunnlast sandvolum [m³] på tverrsnittet vist i Figur 31.

For området 2 blir 120 m³/måned (1500 m³/år) og tiden for oppfylling blir $132925/1.500=89$ år.

5.2 Oppdaterte resultater for nytt alternativ

Gjenfylling av mudringsmassene for alternativet med -10.3 m dybde vurderes ved å ekstrapolere de resultatene fått med de numeriske modelleringene av sedimenttransport for en tidevannsyklus.

Dette gir 136.294 m³ i Området 1 og 272.433 m³ (237789+34644) i området 2.

5.2.1 Verste tilfelle

Denne gir $136.294/7.200=19$ år for mudringsområdet 1 og $272.433/4.200=65$ år for mudringsområdet 2 å gjenfylles med samme volum som skal mudres.

5.2.2 Beste tilfelle

På identisk måte som ble gjennomført over, får vi $136.294/2.400=57$ år for mudringsområdet 1 og $272.433/1.500=182$ år for mudringsområdet 2 å gjenfylles med samme volum som skal mudres.

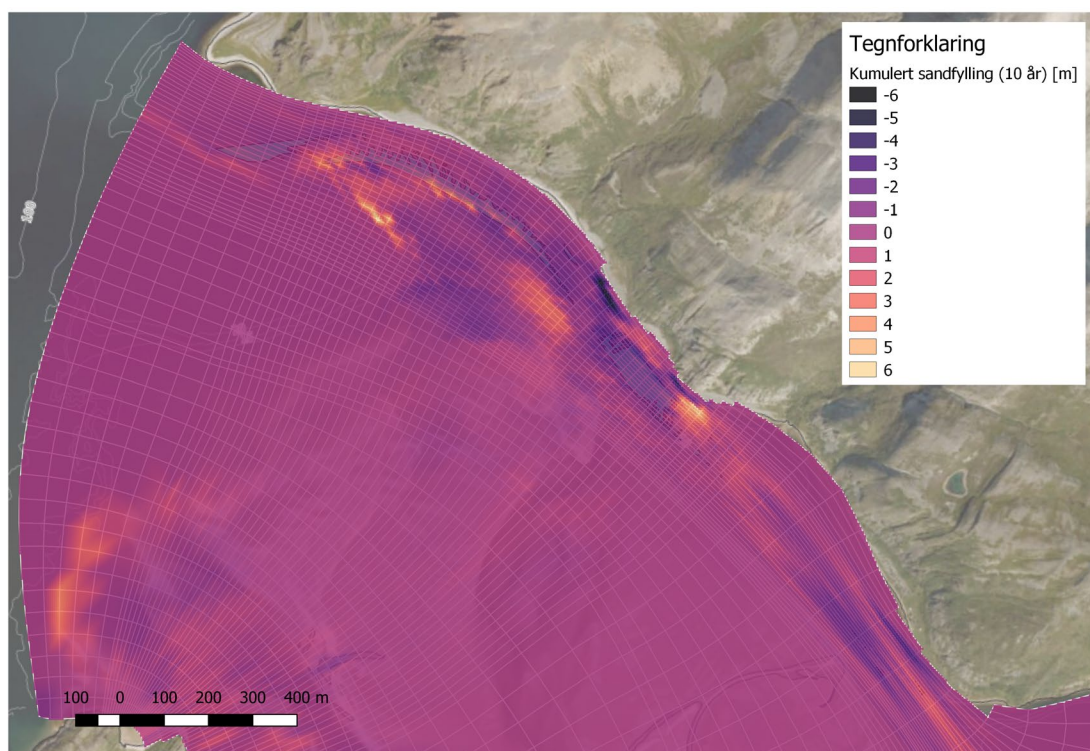
5.3 Deponeringsområder og lokale effekter

Et spørsmål hevet av Kystverket er hvor disse massene vil deponere seg først og hvor lenge kan det ta for at seilingsdybden langs kanalen går tilbake til en gitt verdi, et akseptkriterium for når mudring må foretas igjen.

Det ser ut at område 1 har større netto sand fluks enn område 2, som i teorien betyr at dette område er mer sårbart for deponering. I tillegg er dette området mer «lukket», da kanalsnittet er mer definert her og sanden er begrenset på alle kanter (det er også en litt netto sediment fluks fra sør, se Figur 22) og sandbevegelsene skjer hovedsakelig langs kanalen.

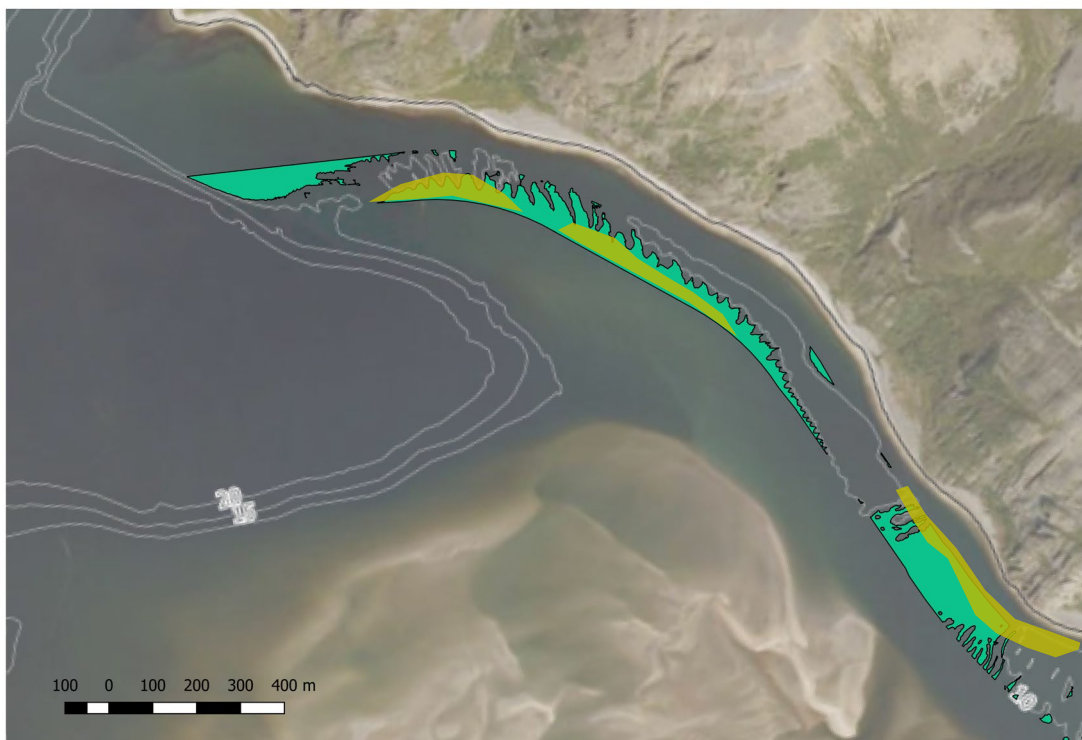
Området 2 har en mer åpent snitt og sanddynamikk er mer 3D (se Figur 17) og det er en veksling av sand med åpen fjord som er vanskelig å kvantifisere. I dette området er netto sand fluks mindre og i teorien vil det deponere seg saktere her.

Delft3d beregner akkumulert erosjon/sedimentasjon på de forskjellige nodene i modellen. Disse er baserte på en netto sediment fluks som er ekstrapolert for flere år. I figuren nedenfor vises sedimenteringsmønsteret ekstrapolert for 10 år. Det som er viktig av figuren er ikke verdiene for sandfylling, som er veldig usikre, men de områdene som har en tendens å gjenfylles først.



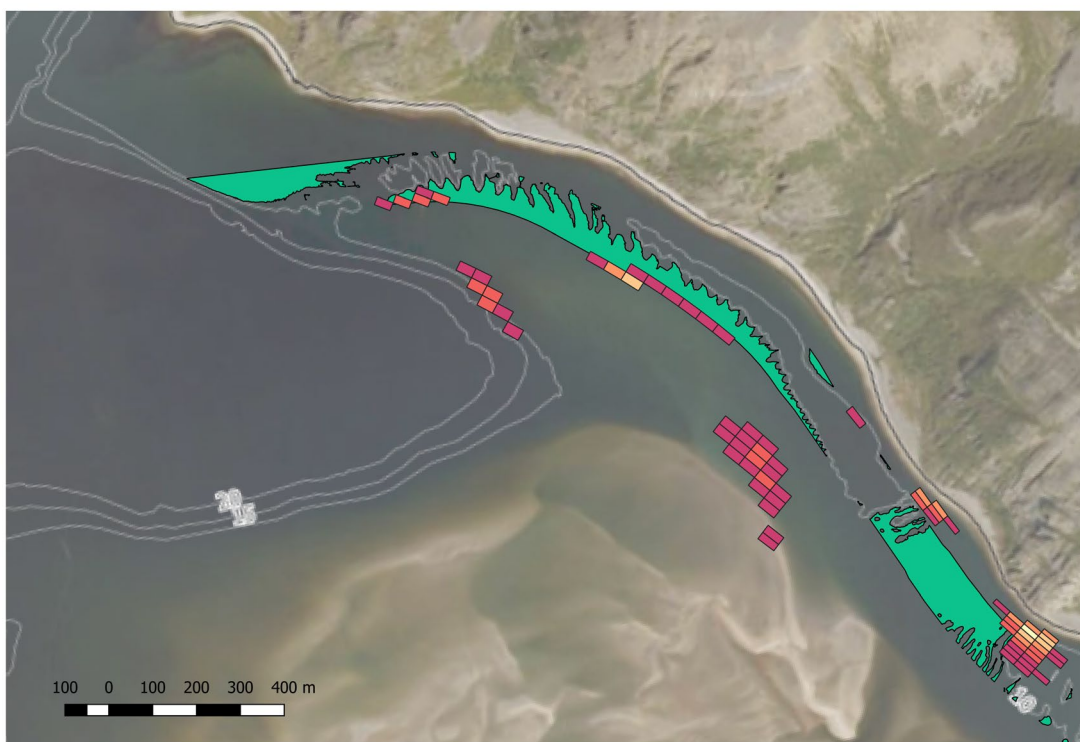
> Figur 35 Akkumulert sandfylling ekstrapolerte for 10 års etter mudring.

Basert på figuren ovenfor man kan grovt estimere de områdene som vil gjenfylles først og vil kunne trenge å mudres oftere for å ivareta en viss dybde langs kanalen.

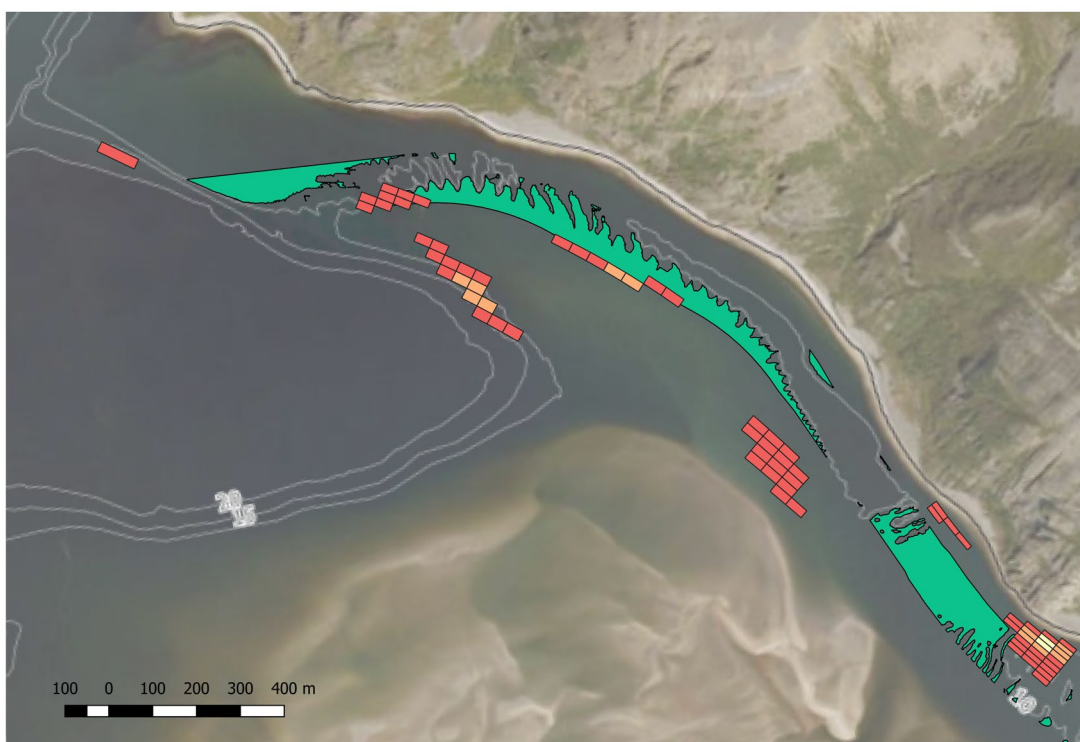


> Figur 36 Områder hvor sand kunne deponeres fortere markert i gul farge.

Ikke alle områder langs kanalen vil gjenfylles jevnt samtidig. Nøyaktig hvor lang tid det vil ta før seilingsdybden er fylt opp er vanskelig å svare på da det avhenger veldig av de lokale forhold både langs og på tvers av kanalen. Disse er ikke dekket i god nok detalj i modellen til å gi et konklusivt svar på. De to bildene nedenfor prøver likevel å gi et indikativt svar på dette. De ulike lokale forholdene langs kanalen gjør at dybden blir mindre på den indre siden av kurvene langs traséen, hvor vannhastighet er også mindre.



> Figur 37 Gjenfylling over 1m sedimentering 5 år etter mudring.



> Figur 38 Gjenfylling over 2m sedimentering 7 år etter mudring.

Beliggenhet av deponiet av sand vist i mudringsområdet 1 utenfor det mudrede arealet (både i Figur 37 og Figur 38) er kanskje ikke nøyaktig. Dette er et område hvor to motsatte sandflukser treffer hverandre (en fra nord og en fra sør, se Figur 25). Ved å sjekke dagens batymetri i dette området er det kanskje fornuftig å anta at dette punktet ligger lenger nord, i midten av mudringsområdet 1. Se figur nedenfor fra 12.



> Figur 39 Kumulering av sand langs mudringsområde 1, fra 12.

5.4 Usikkerheten tilknyttet til forslag

Denne kvantitative vurderingen er antatt å ha mindre usikkerhet enn den kvalitative estimering gjort i deloppdraget 1.

I den kvalitative vurderingen ble det antatt at strømmen langs kanalen var konstant på tvers av hele tverrsnittet med en rektangulær utforming. Resultatene fra strøm og sedimenttransport viser at dette ikke stemmer langs kanalen (se Figur 18, Figur 19 og Figur 22). I tillegg måtte den kvalitative vurderingen benytte målinger fått ved et punkt 1 m over bunnen og ekstrapolere den for å få den gjennomsnittlige strømhastigheten på tvers av hele vannsøylen. Van Rijn modell for sedimenttransport er svært sårbar for endringer i den gjennomsnittlige strømhastigheten, U (formlene avhenger av U med en eksponent på 2.5)

De tallene gitte for gjenfyllingen er baserte på en generisk sedimenttransport rate slik at det totale volumet deponert i de to områdene blir det samme som det som skal mudres. Det tar ikke hensyn til de lokale forholdene langs og på tvers kanalen, som gjør at sedimentet deponeres på en ujevn måte langs kanalen.

Likevel er det en viss usikkerhet i de gitte tallene og tillegges en usikkerhetsfaktor på 2. Sedimenttransport har en sterk stokastisk natur og Van Rijn modellen er en forenkling av det fysiske fenomenet.

Modellen tar hensyn til sedimenttransportkapasitet. Det antas at det finnes nok tilgjengelige sediment for å dekke denne kapasiteten. Det betyr at, selv om sediment last fra tidevannsflatens avløpet kan være mindre enn beregnet transportkapasitet, kan sand fra omgivelsene til kanalen bevege seg (erodere) for å dekke denne kapasiteten.

1. *Strømrappport, Stangnes, Tana kommune*, Rapportnr.: 71282-1-RIMT-RAP-001. Multiconsult, 2015
2. *Strømrappport med hydrografi, Stangnes, Tana kommune*, Rapportnr.: 71282-1-RIMT-RAP-003. Multiconsult, 2015
3. *Strøm og turbiditetsmålinger ved Leirpollen og Stangnes*, Rapportnr.: 71282-1-RIMT-RAP-004. Multiconsult, oktober 2015
4. *Del 1: Resultater fra strømmålinger ved Leirpollen i Finnmark, mars-mai 2014*. Rapportnr.: 6969-01. Akvaplan-niva AS.
5. *Del 2: Resultater fra strømmålinger ved Leirpollen i Finnmark, april-mai 2014*. Rapportnr.: 6969-01. Akvaplan-niva AS.
6. *Tana Leirpollen- Grunnundersøkelser*, Rapportnr.: 711856-RIG-RAP-001. Multiconsult, april 2014
7. *Innseiling Leirpollen- Grunnundersøkelser*, Rapportnr.: 713364-RIG-RAP-001. Multiconsult, juli 2016
8. *Julelva middelvassføring* (vassdrag nr 908)- St. prp. Nr. 89. NVE, 1984
9. *Erosjon og sedimenttransport i Tana Elva*.
10. *Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport*. Van Rijn, L.C. 1984-Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 10.
11. *Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport*. Van Rijn, L.C. 1984-Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 11.
12. *Sandvandring i Leirpollen-Kvalitativ Vurdering*. Rapportnr.: 12382-33-OO-R-001. Dr. Tech. Olav Olsen, 31.05.17
13. https://oss.deltares.nl/documents/183920/185723/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf

VEDLEGG A: NIVÅSKISSE TANA

