

RAPPORT

SANDVANDRING LEIRPOLLEN KVALITATIV VURDERING

RAPPORT

Prosjektnavn:

SANDVANDRING LEIRPOLLEN

Dokumentnavn:

KVALITATIV VURDERING

Prosjektnr.: 12352-33

Dokumentnr.: 12382-33-OO-R-001

Dato: 31.05.2017

Revisjon: B

Antall sider: 35

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	31.05.2017	Endring etter innspill fra kunden	GDP	RJE	RJE
A	22.05.2017	For bruk	GDP	KOL	KOL

INNHOOLD

1	OPPSUMMERING OG KONKLUSJON.....	4
2	OPPDRAGSBESKRIVELSE	6
2.1	Innledning	6
2.2	Beskrivelse av mudringstiltaket	7
3	BESKRIVELSE AV SYSTEMET	9
3.1	Sedimentærsystem	9
3.2	Strømforhold langs tidevannskanalen	13
3.3	Sedimenttransport i deltaområdet.....	17
3.4	Lokale forhold i nærheten av mudringsområder	22
4	ANALYSE AV BUNNUNDERSØKELSER.....	25
5	ANALYSE AV ORTOFOTO	26
6	VURDERING AV MUDRINGSTILTAKET	28
6.1	Utviklingen av dybde langs farleden	28
6.2	Usikkerheten tilknyttet til forslag	29
7	MULIGHET FOR UTFYLLENDE VURDERINGER	31
8	REFERANSER.....	32
	VEDLEGG A : NIVÅSKISSE TANA	33
	VEDLEGG B : ORTOFOTO 1 (2008).....	34
	VEDLEGG C: ORTOFOTO 2 (1970)	35

1 OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

I forbindelse med prosjektert mudringstiltak (256.000 m³) langs innseilinga til Leirpollen i Tana kommune, Finnmark, har Kystverket bedt Dr.techn.Olav Olsen AS om å undersøke konsekvens for Leirpollen og Tanafjorden med tanke på sandvandring

I denne rapporten det er utført en samling av eksisterende informasjon, en beskrivelse av systemets oppførsel og en kvalitativ vurdering av fremtidig utvikling av kanalen. Hensikten er å unngå for stor miljøpåvirkning og forutse fremtidige mudringsbehov.

Rapporten er basert på tilgjengelig data anskaffet av Kystverket:

1. Bunnundersøkelse ved hjelp av multistråling (utført i 2011) samt en undersøkelse fra 19-07-2016. Begge undersøkelsene dekker området langs kanalen for koter lavere enn -1.0 (LAT).
2. Tegning av mudringsområdet.
3. Miljøundersøkelse fra Multiconsult (07.05.2015-18.08.2015 og 25.03.2015-05.05.2015)
4. Geoteknisk undersøkelse fra Multiconsult (uke 48-49 i 2013)
5. 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).
6. Sediment- og vannføringsdata fra Tanavassdraget og Juleelva fra Multiconsults rapport samt NVE.

I tillegg har OO også fått to ortofoto fra Kartverket som dekker prosjektområdet og er fra 1970 og 2008.

Tidevannsområdet i Leirpollen kan deles i 5 soner:

1. Tanaelva: dominert av elvas vannføring.
2. Tidevannsflaten (inkludert avløpet i midten av kanalen): området som blir neddykket og avdekket igjen i løpet av en vanlig tidevannssyklus. Dominert av tidevannsstrøm med lav strømstyrke.
3. Tidevannskanalen (farleden): dominert av tidevannstrøm med lav strømstyrke.
4. Leirpollenbukta: veldig lav strømstyrke. Dominert av deponering av sand.
5. Fronten av tidevannsflaten: dominert av forholdene i Tanafjorden (vindbølger og vind).

Rapporten fokuserer på oppførselen til tidevannskanalen. Likevel må alle elementene som virker i systemet beskrives da de er avhengige av hverandre.

Analysen av de to ortofotoene (1970-2008) viser at:

- Munningen av Tanaelva mot Tanafjorden har endret seg betraktelig og vinkelen til avløpet har snudd vestover. Dette er et ustabilt og dynamisk område og store endringer må forventes på årlig basis.
- Avløpet av tidevannsflaten har ikke endret seg betraktelig, men har skiftet ca. 180 meter innover kanalen.
- Tidevannsflaten(arealet) kan ha økt noe.

- Sandbarrieren ved kanalens munning har vært på samme sted siden 1970. Det betyr at kanalen er veldig stabil med nåværende topografi.

Analysen av de tilgjengelige bunnundersøkelsene har fokusert på de to områdene som hovedsakelig blir mudret langs tidevannskanalen: ved den ytterste munningen av kanalen og foran avløpet av tidevannsflaten midt i kanalen.

- Ved kanalens munning viser sammenligning av bunnundersøkelsene at sandbarrieren som lukker munningen ikke har endret seg mye. Det kan til og med se ut som at den har erodert i perioden 2011 til 2016. På denne barrieren var det totalt 186.443 m³ sand i 2011 som ble til 44.983 m³ i 2016. Det gir et netto erodert volum på 141.460 m³ over en femårs-periode.
- Ved strekningen hvor tidevannsflaten dreneres inn i kanalen ble et sandvolum på 89.299 m³ erodert mens 44.118 m³ ble deponert i løpet av året, noe som gir et netto erodert volum på 45.181 m³ i femårs-perioden.

Derfor kan begge områdene vurderes som stabile basert på målingene de siste 5 år. Resultatene viser en sakte tendens til å erodere. Dette kan ikke konkluderes med høy sikkerhet da volumene er små og de mindre differansene mellom undersøkelsene kan skyldes sesongvariasjoner som vannføring (under issmelting for eksempel), tidevann eller unøyaktigheten av målingssystemene. Flere bunnundersøkelser trengs for å overvåke systemet og se den langsiktige tendensen.

Analyse av strømmålingene viser at strøm (og sandvandring) langs tidevannskanalen er sterk dominert av tidevannet med en hovedretning sammenfallende med kanalens retning. Strømdata viser at det er en netto strøm i retning ut kanalen. Denne asymmetrien er størst langs munningen (strømmåler LP1) enn ved den indre delen av kanalen (strømmåler LP2). Dette betyr at i løpet av hele tidevannsperioden så forlater vann og sedimenter kanalen på denne siden på vei ut. Hovedsakelig er det bunnlast (sand som triller og hopper langs bunnen) som transporteres ut da eksisterende sand langs kanalen består av middels store sandkorn ($d_{50}=0.41$ mm) som kan flyttes. Dette er konsistent med eksisterende bunnformer og med eksisterende sandbarriere.

Det er antatt at i indre del av kanalen vil netto sedimenttransport bevege seg mot Leirpollenbukta. Denne konklusjonen er basert på analysen av eksisterende bunnformer da målinger mot denne siden er ikke tilgjengelige. Dette mønsteret viser at sedimentene som slippes ut langs kanalen som drenerer tidevannsflaten fordeles i to retninger: utover og innover kanalen.

Total kapasitet av kanalen for sedimenttransport, inkludert bunnlast og suspendert last, er estimert til 15.700-22.500 kg per middels tidevannsyklus for området 1 og 42.700-61.000 for området 2, i retning utover kanalen. Ved å fordele mudret volum mellom områdene (150.000 m³ ved sandbarrieren og 100.000 m³ inne i kanalen) kan vi estimere tid til det mudrede volumet er tilbake på plass. Resultatet er 11-14 år i leden inne i kanalen (foran avløpet til tidevannsflaten) og 6-8 år ved sandbarrieren ytterst i kanalen. Disse tallene har en stor tilknyttet usikkerhet, på grunn av stokastisk natur av sedimenttransport og da de analytiske formlene er begrenset av strenge antagelser.

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 vedlikeholds mudring av kanalen.



> *Figur 1 Plassering av Leirpollen*

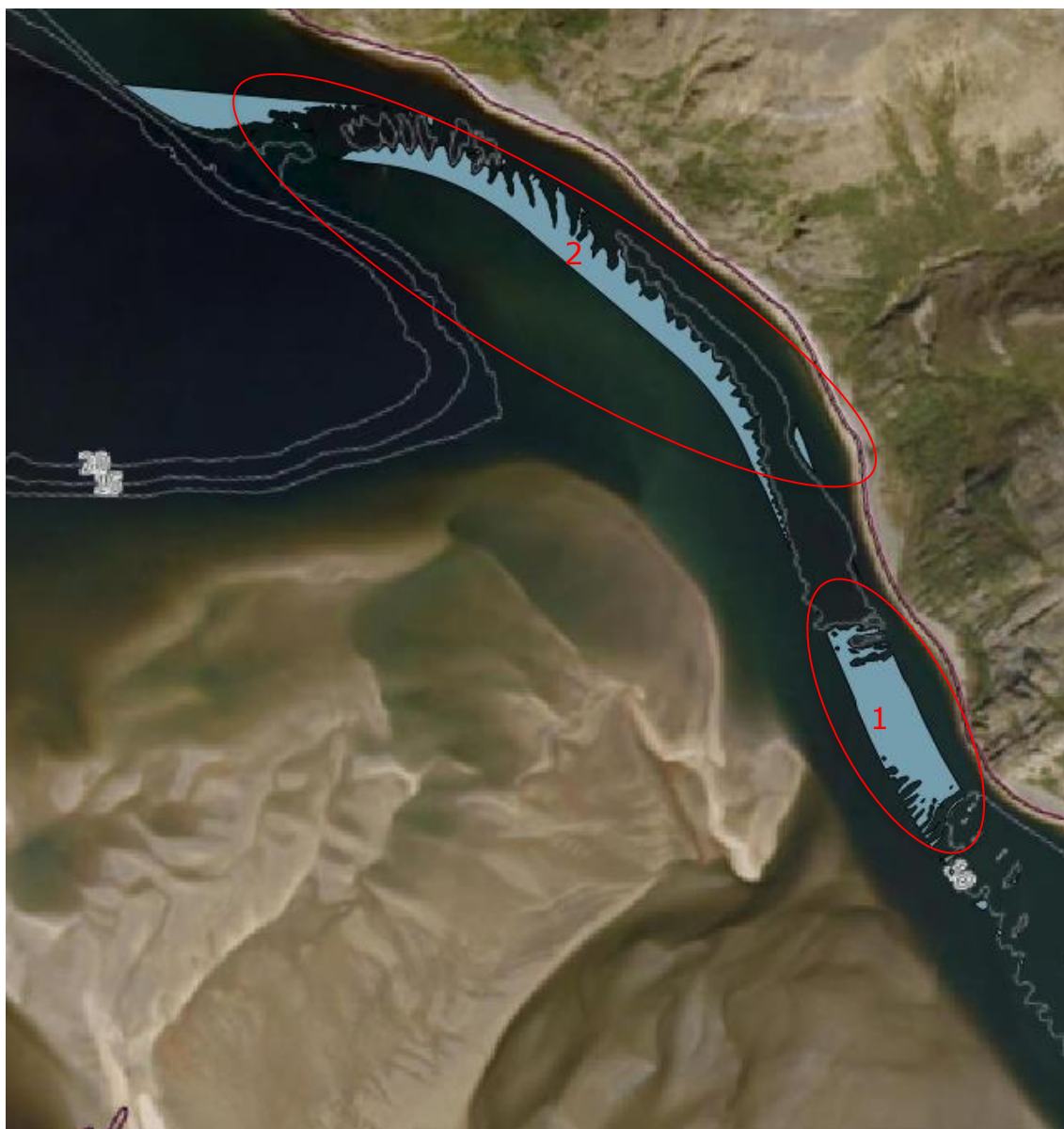


> Figur 2 Beliggenheten til Leirpollen og Stagnes

2.2 Beskrivelse av mudringstiltaket

Mudringen 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*

3 BESKRIVELSE AV SYSTEMET

3.1 Sedimentærsystem

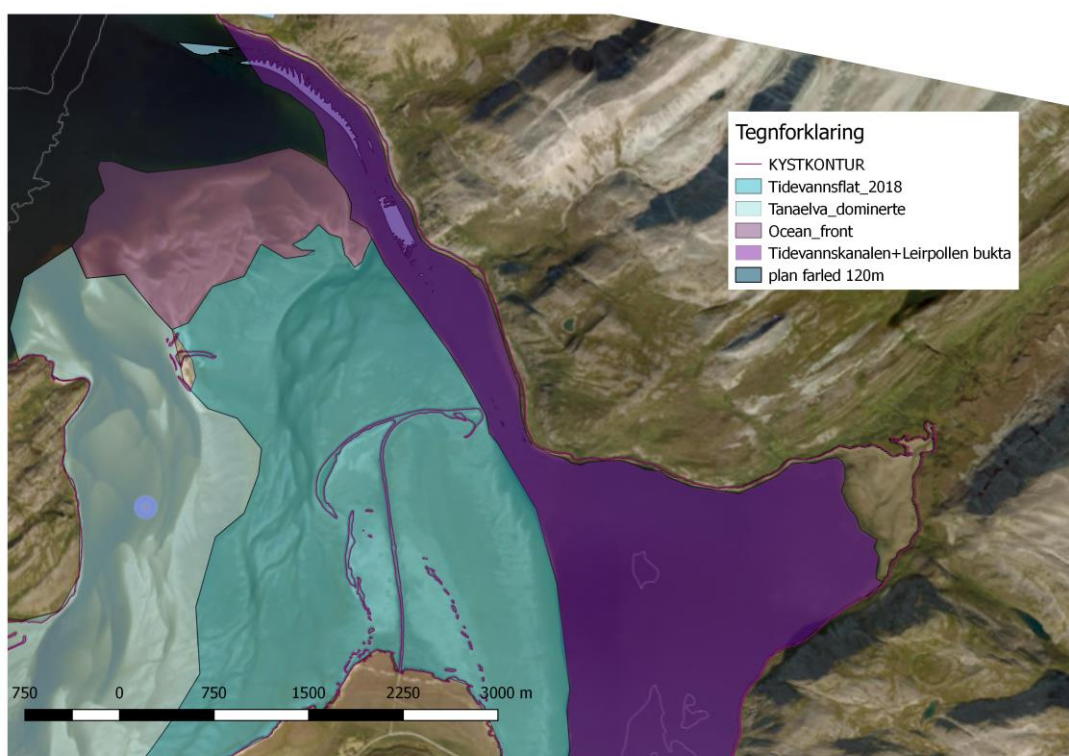
Leirpollen ligger i midten av et komplekst system drevet av flere miljøpåvirkninger:

- Tidevannsstrøm
- Ferskvannsvassdrag (Tana og Julelva)
- Sediment kilder (Tidevannflate).
- Vind og bølger i Tanafjorden utenfor Leirpollen

Påvirkningen til disse elementene varierer fra sone til sone av systemet. Sonene er fordelt slik:

1. Tanaelva: dominert av elvas vannføring.
2. Tidevannsflaten (inkludert avløpet i midten av kanalen): området som blir neddykket og avdekket igjen i løpet av en tidevannssyklus. Dominert av tidevannsstrømmen med lav strømstyrke.
3. Tidevannskanalen (farleden): dominert av tidevannsstrøm med lav strømstyrke.
4. Leirpollen bukta: Dominert av deponering av sand, med veldig lav strømstyrke.
5. Fronten av tidevannsflaten mot fjorden: dominert av forholdene i Tanafjorden (vindbølger og vind)

Figur 4 viser en kvalitativ fordeling av de 5 områdene.



> Figur 4 Kvalitativ fordeling av soner basert på sin dominerende faktor for sedimenttransport.

3.1.1 Tana elva

Tana elva er en av de lengste elver i Norge med en middelvannføring ved munningen på ca. 197 m³/s, men kan oppnå 1500 m³/s i issmeltingssesongen (April-Juni). Elva munner ut i Tanafjorden. Tanamunningen er et av de største urørte deltaområdene i Europa.

Tana elva avløper i Tanafjorden og ikke direkte i tidevannskanalen. Sand som finnes i deltaområdet har derimot vært transportert av Tana elva gjennom tusenvis av år. Den nåværende utformingen gjør at sedimenter fortsetter å bli transportert og deponeres ved høyvann langs tidevannsflaten, men ikke direkte i tidevannskanalen. Ved lavvann blir elvesedimentene transportert og deponert direkte i Tanafjorden.

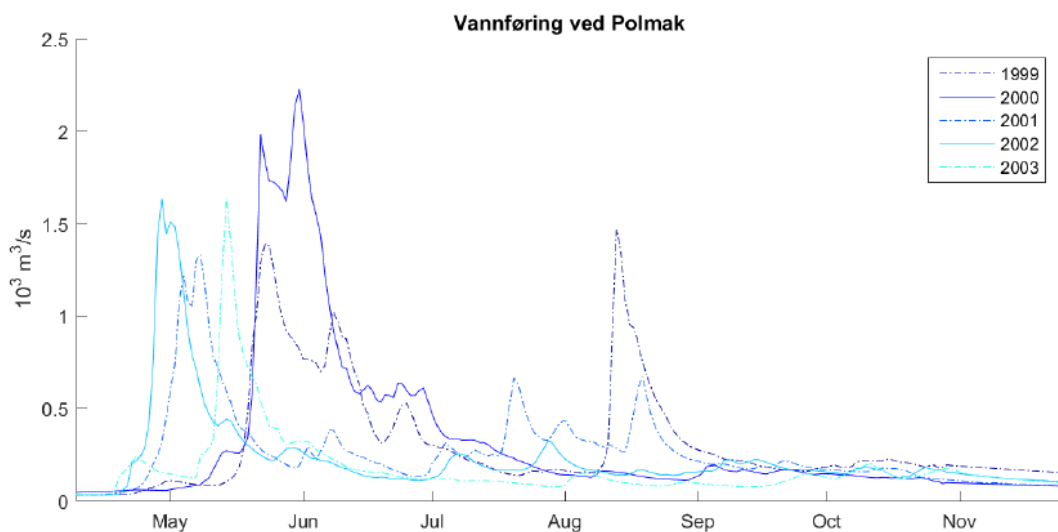
Tanaelva er derfor hovedkilden for de eksisterende sedimentene i deltasystemet, men det har tatt flere år for sedimentene transportert av elva å oppnå kanalen. Et estimat over mengden suspendert sedimenter fra elva viser følgende;

$$M_{sed} = 197 \frac{m^3}{s} \cdot \frac{1.5mg}{l} \cdot 1\text{år} = 9320 \text{ ton/år}$$

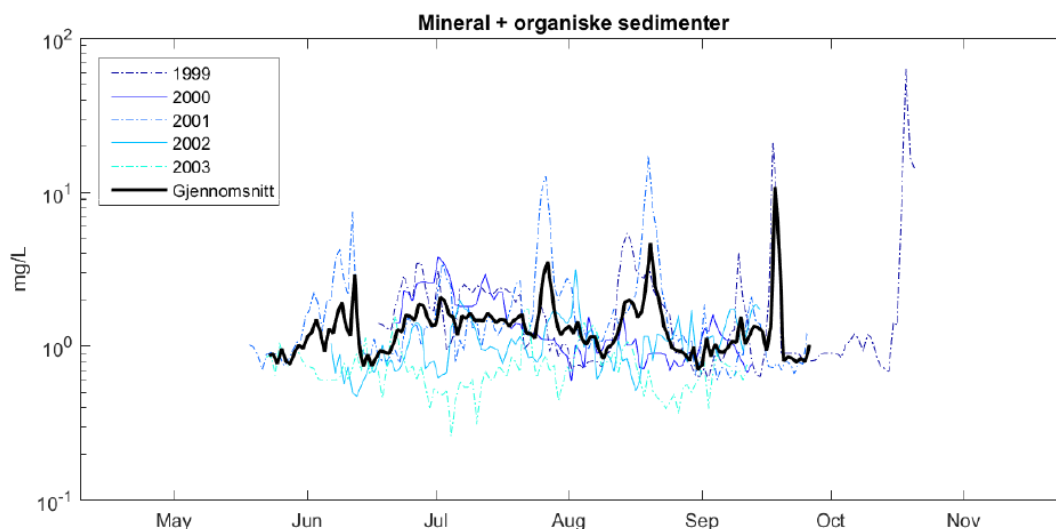
Dette tilsvarer et årlig sandvolum på 5840 m³ som ikke betyr mye på kort sikt. Dette er et grovtall knyttet til suspendert sedimenttransport og er også tatt langs en vist strekning av Elva, ved Storfossen (15 km oppstrøms Pollmack). Total sandtransport (bunnlasttransport og suspendert) akkurat ved Tanaelvas munningen kan være annerledes. Bunnlast transport betyr den største delen av total transporterte sandmasser. I tillegg vil en god del av dette transporteres også direkte ut i Tanafjorden.

Strømmen langs elva er kraftig slik at man kan forvente en stor endring i sedimenttopografien i løpet av en sesong, spesielt i munningen. Dette blir også vist på ortofotoene.

Julelva, med en årlig gjennomsnittlig vannføring på ca. 8 m³/s, har et direkte avløp inn i Leirpollenbukta, men den total strømmen er veldig redusert. I tillegg vil ferskvannet fra Julelva strømme nær overflaten på grunn av tetthetsdifferansen med saltvannet. Dermed vil ikke dette påvirke sedimenttransporten på bunnen.



> Figur 5 Vannføring av Tanaelva ved Polmak, ref /14/



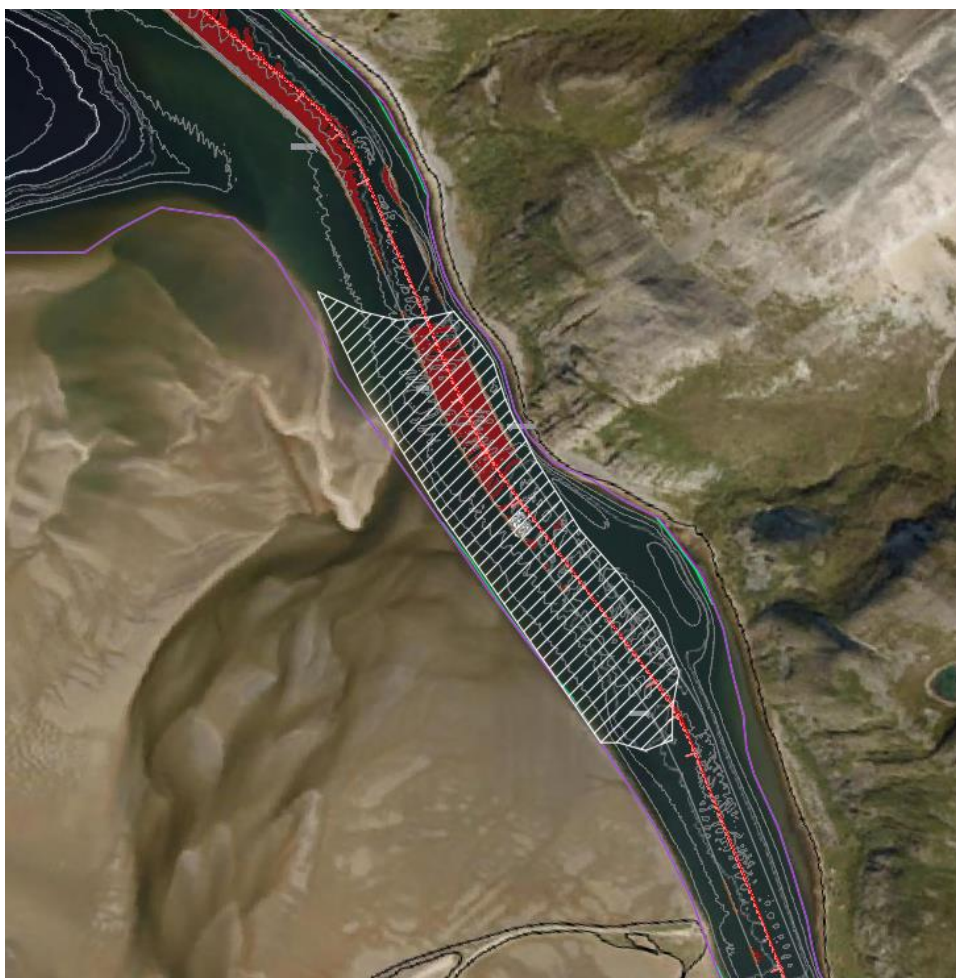
> Figur 6 Sedimentkonsentrasjon i Tanaelva, ref /13/

Påvirkningen av Tanaelva for prosjektet er ikke stor da påvirkningen av Tanaelva i tidevannskanalen ikke er umiddelbar og det tar lang tid for Tanaelva å reagere på endringer i tidevannskanalen og visa versa.

3.1.2 Tidevannsflaten

Tidevannsflaten er området som blir neddykket og avdekket i løpet av en tidevannssyklus. I dette området blir strømmen redusert på grunn av det store arealet (ca. 9.028.200 m²). Sedimenter blir deponert i hele syklusen, men noe erosjon vil også skje ved lavvann når området drenerer seg. Dette skaper en liten helning mot et nettverk av små kanaler som avløper inn i hovedkanalen som deretter avløper inn i tidevannskanalen.

Tidevannsflaten er den direkte kilden til transporten av sedimenter langs tidevannskanalen. Dette kan sees blant annet på grunn av det store deponiet av sedimenter som akkumulerer seg ved tidevannsflatens avløpskanal som vist i Figur 7.



> Figur 7 Deponi av sedimenter transportert av avløpskanalen

3.1.3 Tidevannskanalen

Tidevannskanalen brukes som en naturlig farled for skip som går inn til Leirpollen. Den har en dybde på ca. -9 og -12 m LAT (mindre noen steder, spesielt ved avløpet av tidevannsflaten) og en bredde (på kote -1.0 LAT) mellom 200-300 m.

Systemet oppfører seg annerledes ved lavvann enn ved høyvann. Ved lavvann blir tverrsnittet langs kanalen og elva redusert og dette øker strømhastigheten som er maksimal et sted mellom lavvann og middelvann både i flo og fjære.

3.1.4 Leirpollenbukta

Dette området er et stort og stillestående basseng som fungerer som et sedimenteringsbasseng. Sedimenter fra Julelva og fra tidevannskanalen havner i bukta og deponeres på grunn av den lave strømhastigheten.

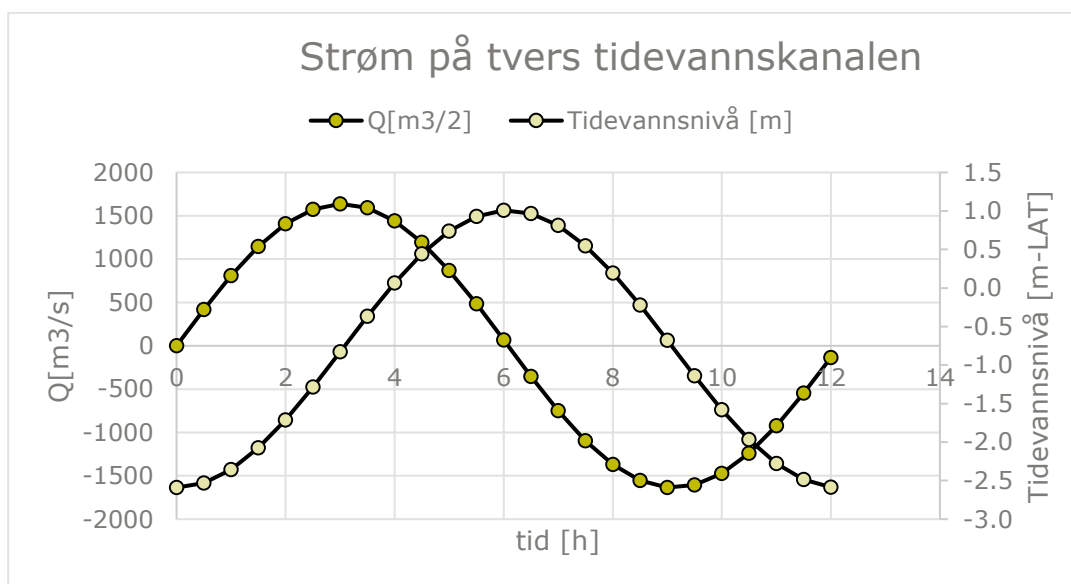
3.1.5 Fronten av tidevannsflaten ut mot fjorden

Dette området er påvirket i stor grad av bølger og vind i Tanafjorden. Selv om Leirpollen ligger i den indre delen av Tanafjorden er strøklengden ca. 12 km fra den andre siden av fjorden. Dette kan skape bølger opp til $H_s=1$ m ($H_{rms}=0.7$ m) under gjennomsnittlige forhold. Disse forholdene kan røre sedimenter så dypt som ned til kote -6 m og dette former stadig havbunnen i Leirpollen. Dette er i samsvar med eksisterende bunnformer: sanddyner med lang bølgelengde og mildere helling ut mot havet. Disse dynene beveger seg mot syd inn i tidevannsflaten og skaffer sedimenter til den. Disse sedimentene blir deretter transportert inn i tidevannskanalen.

3.2 Strømforhold langs tidevannskanalen

3.2.1 Estimat av hastighet på tidevannsstrømmen

Kanalen er sterkt dominert av tidevannsstrømmen. Tidevannet har en periode på 12 timer og 10 min, med et Høyeste Astronomiske Tidevannsnivå (HAT) på 3.30 m, et middel høyvannsnivå (MHW) på 2.69 m og et middel lavvannsnivå (MLW) på 0.80 m. Dette betyr at tidevannet går inn og ut Leirpollen to ganger daglig. Total tidevannsvolum for det gjennomsnittlige tidevannsnivået (MHW-MLW) er ca. 43 millioner m^3 oppstrøm for tidevannskanalen (beregnet i midten av kanalen). Ved å påføre en sinus funksjon for en tidevannsperiode fås et estimat av vannføring som går inn og ut av kanalen på en tidevannssyklus:

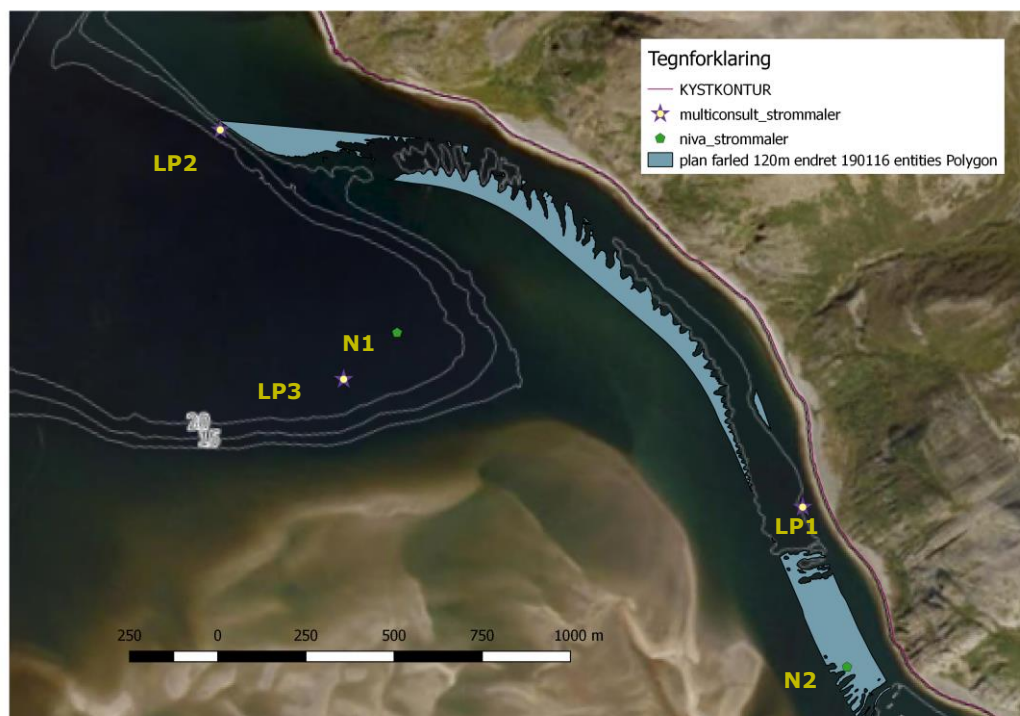


> Figur 8 Gjennomsnittlig strøm på tvers av kanalen i en tidevannssyklus for MHW.

Videre fås den maksimale (i en tidevannssyklus) gjennomsnittlige hastighet gjennom kanalens tverrsnitt ved å anta at tverrsnittet er konstant med tid langs kanalen. Dette er mest realistisk i nærheten av lavvann). Tverrsnittet kan variere fra ca. 2000 til 3000 m^2 i midten strekningen ved HAT. Det gir en gjennomsnittlig strømhastighet langs kanalen på ca. 1.0 m/s noe som er en vanlig verdi for tidevannskanaler.

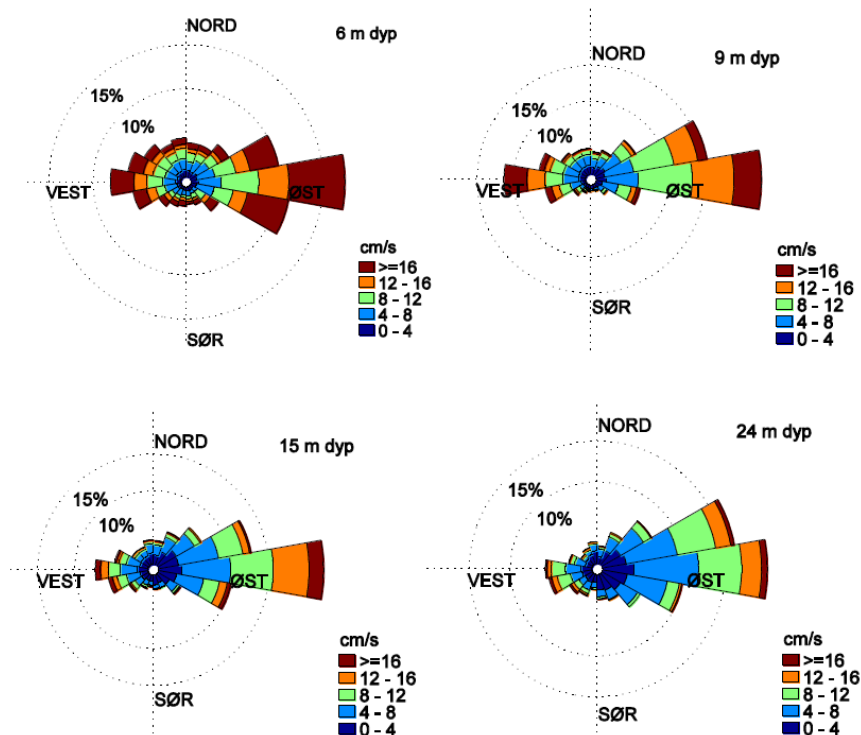
3.2.2 Strømmålinger

Det er tilgjengelig strømmålinger fra flere kilder i flere punkter:

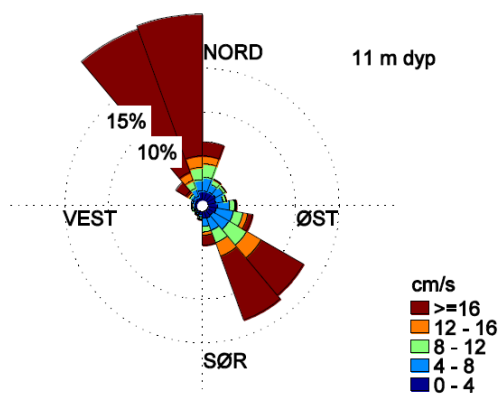


> Figur 9 Plassering av strømmålere

Akvaplan-Niva strømmålinger (02.04.2014-12.05.2014 og 28.03.2014-11.05.2014):

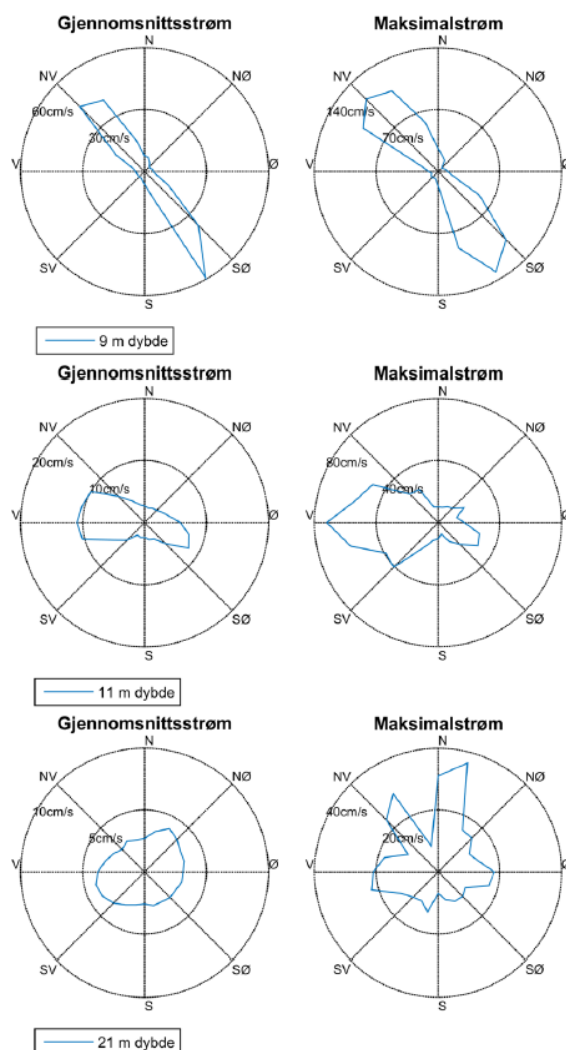


> Figur 10 Strøm målt ved N1 (Niva undersøkelse med ADP måler (28.03.2014-11.05.2014)), ref /5/



> Figur 11 Strøm målt ved N2 (Akvaplan-Niva undersøkelser med punktmåler ved 11 m dybde (02.04.2014-12.05.2014)) ref/4/.

Multiconsult strømmålinger (02.04.2014-12.05.2014 og 28.03.2014-11.05.2014):



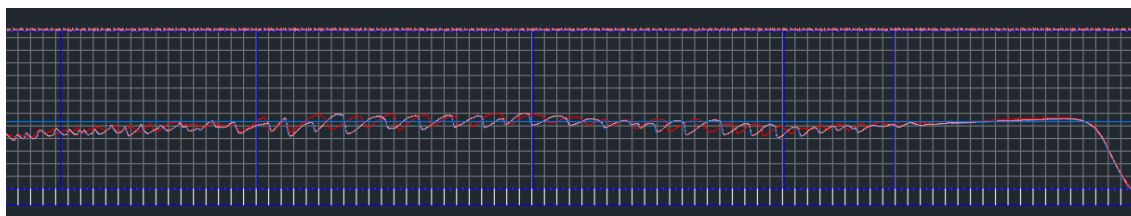
> Figur 12 Strøm målt ved LP1, LP2 og LP3 (Multiconsult undersøkelser med «doppler» punktmålere ved gitt dybdene) ref. /3/

Inne i kanalen er det kun punktmålinger som er tilgjengelige. De gir bare strømhastigheten ved ett punkt i vannsøylen. For å beregne total bunnlast og suspendert last ble disse verdiene interpolert for å få den gjennomsnittlige strømhastigheten langs hele vannsøylen.

Tidsseriene for måler N2 ble projisert i retningen til kanalen og analysert. Resultatet viser at det er en netto strøm på ca. 30.000 m³/m² i retningen mot Tanafjorden. Dette betyr at, i løpet av en middels tidevannssyklus, det er et nettovolum på ca. 6 millioner m³ som forlater systemet. Det kan være forskjellige grunner til denne asymmetrien der det mest sannsynlige er at tidevannsbølgen deformeres seg på grunn av den ikke-lineære interaksjonen med kyst og bunntopografien, refleksjon og friksjon mot kysten og grunnene, spesielt ved tidevannsflaten. Dette betyr at endringer i tidevannsbølger skjer fortere langs tidevannskanalen, spesielt under fjære. Ved flo kommer tidevannet inn i tidevannsoverflaten gjennom begge tidevannskanale og frontkanten mot havet, men under fjære vil den fleste vannmengden gå ut igjen gjennom tidevannskanalen. En annen grunn kan være at, på grunn av corioliskraften eller batymetrien rundt munningen, så er tidevannsstrømmen

tvunget til å strømme ut hovedsakelig på høyre siden av farleden ved flo, men kommer inn på venstre side ved fjære.

Resultatene viser uansett at det er høyere strømhastighet utover kanalen ved dette punktet. Dette fører til en netto sedimenttransport ut mot fjorden. Denne transporten samsvar med observerte bunnformer vist i sidesnittet av kanalen i Figur 13.

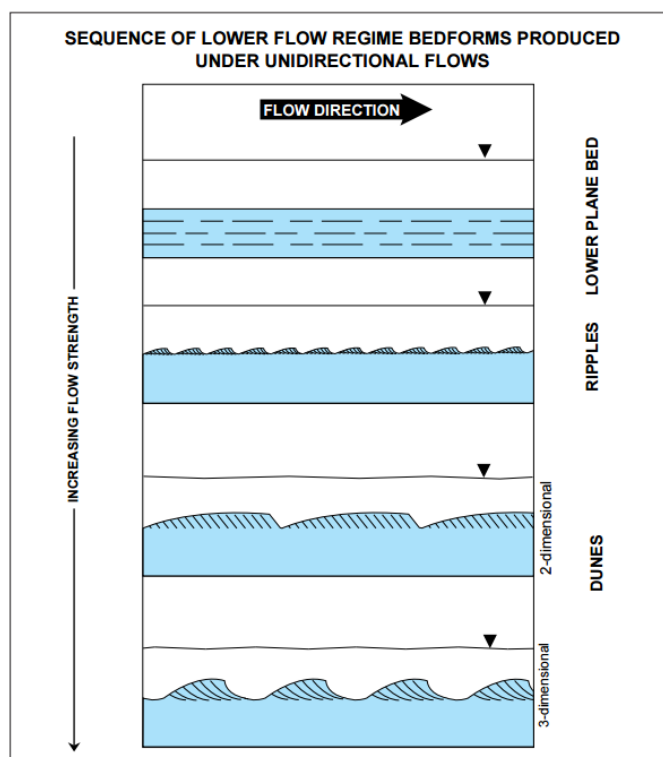


> Figur 13 Bunnformer (dyner) langs den siste strekningen av tidevannskanalen (den blå horisontale linjen er mudringskoten -9.3 LAT)

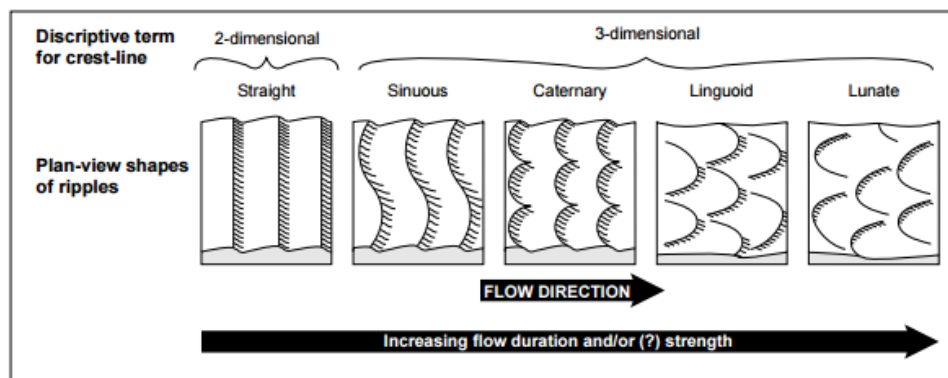
3.3 Sedimenttransport i deltaområdet

Sedimenttransport kan bedre forklares kvalitativt ved å observere eksisterende bunnformer og geometrien til systemet.

Bunnformer forteller ganske mye om de gjennomsnittlige forhold, strømhastighet og retning i løpet av en tidevannsyklus som er avgjørende for den gjennomsnittlige sedimenttransporten.

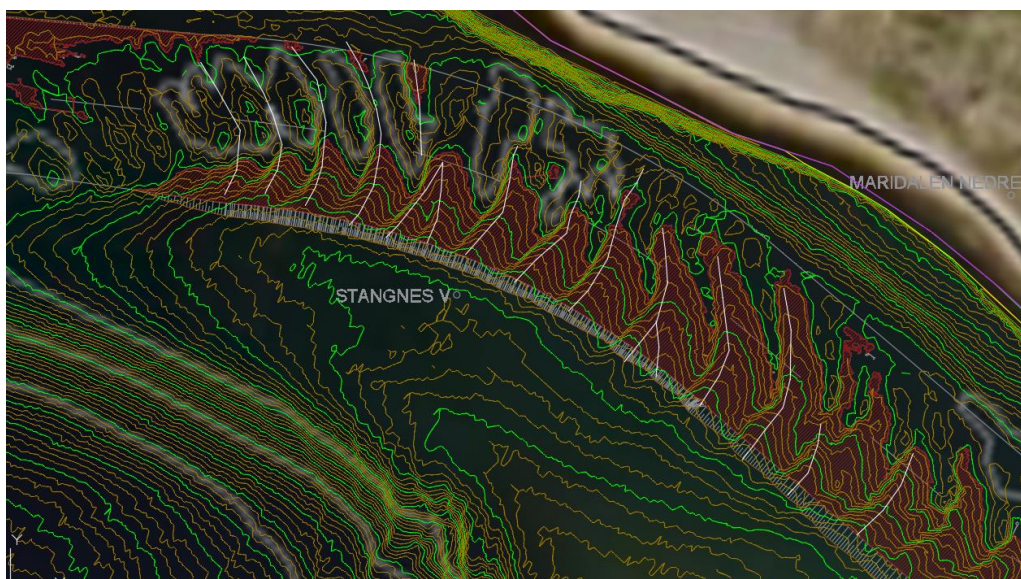


> Figur 14 Forskjellige bunnformer utviklet under et lavt strømningsregime, ref /12/

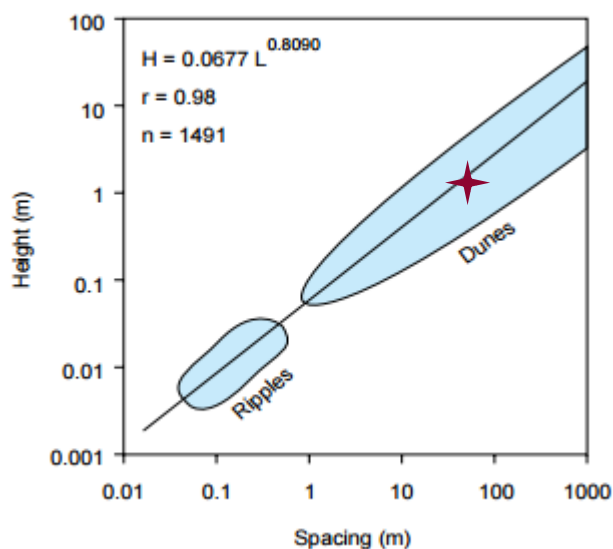


> Figur 15 Sammenheng mellom strømstyrke og form til sanddyner, ref. /12/

Eksisterende bunnformer langs farleden er tredimensjonale dyner med en lengde på ca. 60 m og en høyde på 1-1.5 m med en «catenary» form (se Figur 15 og Figur 16). Dette viser at den gjennomsnittlige strømmen er kraftig og den er rettet ut av kanalen. Figur 17 viser en klassifisering av disse dynene.



> Figur 16 Toppene av sanddynene i kanalen langs den mudrede strekningen



> Figur 17 Sanddyner langs kanalen, ref. /12/

Stor sanddyner ($L=50-150$ m) kan også observeres i området nord for tidevannsflaten med en usymmetrisk profil og en mildere helling mot fjorden. Dette viser at gjennomsnittlig sedimenttransport går inn i tidevannsflaten og litt østover mot tidevannskanalens munning. Denne transporten blir påvirket av både bølger og vind.

Basert på den eksisterende informasjonen, analyse av topografien samt strømmålingene fås følgende figur som skisserer prosessene for erosjon og deponering i Leirpollen;



> *Figur 18 Kvalitativ skisse for sedimenttransport i Leirpollen. De gule pilene viser retning for sedimenttransport (gjennomsnittlig), de fargede områdene viser deponeringsdominerte områder og den blå pila viser bølger og vind fra fjorden.*

Hovedkilden til sedimentene er Tanaelva (1). En del av disse sedimentene strømmer direkte ut i fjorden (3), de andre transporteres langs kontakten med tidevannsflaten (2). Disse sedimentene deponeres i tidevannsflaten og, med tiden, transporteres til avløpet og deretter til tidevannskanalen (4) ved lavvann. Derfra vil sanden fordeles langs tidevannskanalen i to motsatte retninger: ut mot fjorden (6) eller inn i Leirpollen bukta (5). Bølger og vind transporterer sand sydover mot tidevannsflaten (7). I nærheten av sandbarrieren kan det skje noe sandtransport mot øst (8) som skaffer sediment slik at sandbarrieren kan vokse.

Noen av disse sedimentbevegelsene skjer forttere enn andre. De som er forttere er sandtransport langs avløpet til tidevannsflaten og langs tidevannskanalen, mens sanden som deponeres i tidevannsflaten kan ta veldig lang tid for å bli transportert til avløpet. Derfor kan endringer i tidevannsflaten eller Tanaelva bruke lang tid på å gjøre endringer i tidevannskanalen eller sandbarrieren.

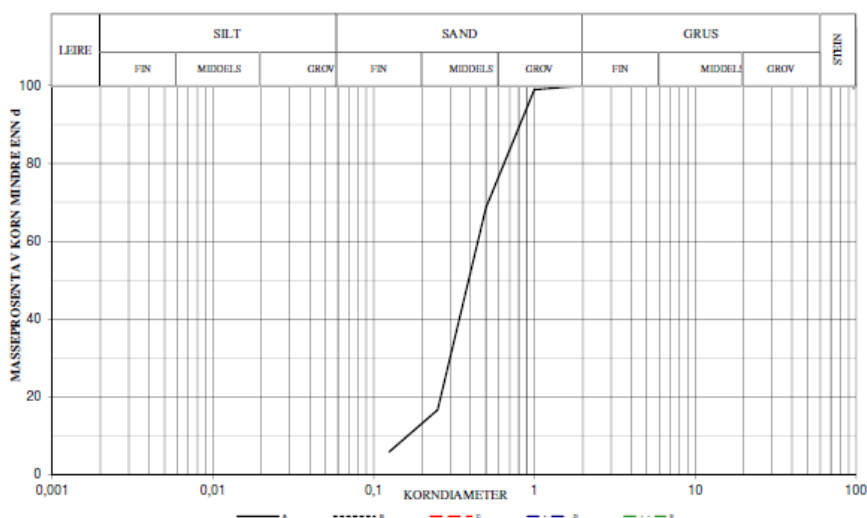
3.3.1 Eksisterende sedimenter

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 19. 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.

21

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)

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

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

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 19 Korngradering i midten av kanalen ($D_{50}=0.41$ mm middels sand)

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.

I følge van Rijn kan følgende formler benyttes for å estimere den avgrensende strømhastigheten U (gjennomsnittet gjennom hele vannsøylen) for bunntransport eller suspendert transport;

$$U_{\text{critical, motion}} = 5.75 [\log(12h/(6D_{50}))] [\theta_{\text{cr, motion}} (s-1) g D_{50}]^{0.5}$$

$$U_{\text{critical, suspension}} = 5.75 [\log(12h/(6D_{50}))] [\theta_{\text{cr, suspension}} (s-1) g D_{50}]^{0.5}$$

with:

$\theta = \tau_b / [(\rho_s - \rho_w) g D_{50}] = \text{Shields parameter (-)},$

$\tau_b = \rho_w g U^2 / C^2 = \text{bed-shear stress (N/m}^2\text{)},$

$U = \text{depth-averaged velocity (m/s)},$

$C = 5.75 g^{0.5} \log(12h/(3d_{90})) = \text{Chézy coefficient (m}^{0.5}\text{/s)},$

$h = \text{water depth (m)},$

$s = \rho_s / \rho_w = \text{relative density (-)},$

$d_{90} = 2d_{50} = 90\% \text{ particle size (m)}.$

> Figur 20 Begrensninger for bunn- og suspendert sandtransport ref/15/

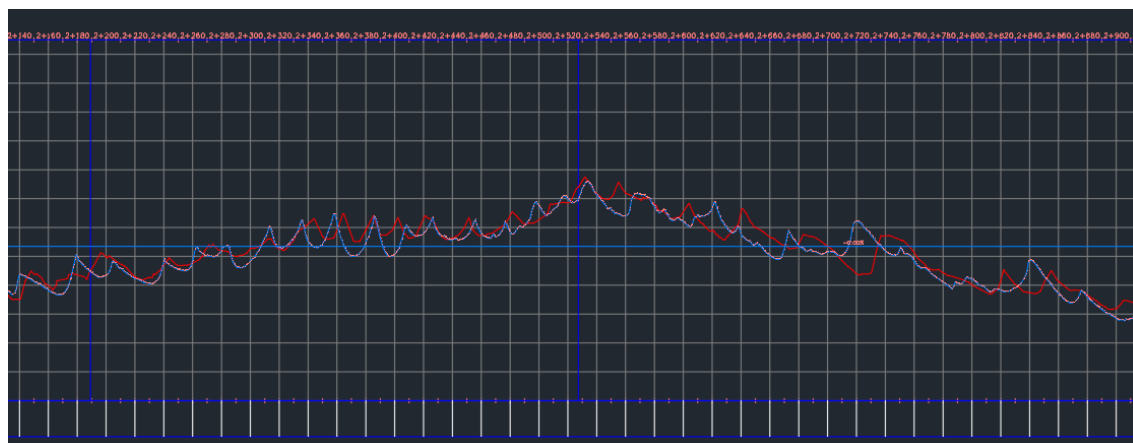
I vårt tilfellet blir $U_{\text{critical, motion}} = 0.4 \text{ m/s}$ og $U_{\text{critical, suspension}} = 0.6 \text{ m/s}$. Disse er middelveier for strømhastighet på i et tverrsnitt med 10 m vanddyb.

3.4 Lokale forhold i nærheten av mudringsområder

3.4.1 Mudringsområde 1

Mudringsområdet ligger rett under avløpet til tidevannsflaten og det er synlig et stort sanddeponi ved området, se Figur 21. Disse sedimentene er fordelt langs kanalen i begge retninger av strømmen. Da de ligger oppstrøm til munningen, trenger dette området å fylle seg først for å skaffe sediment til den mudrede strekning langs munningen.

Dette området virker å ha en lavere rate på sedimenttransport basert på de eksisterende bunnformene som er mer symmetriske.



> Figur 21 Symmetriske bunnformer (dyner) ved avløpet av tidevannsflaten. Figuren viser deponi av sedimenter (den blå horisontale linjen er mudringskoten -9.3 LAT).

3.4.2 Mudringsområde 2

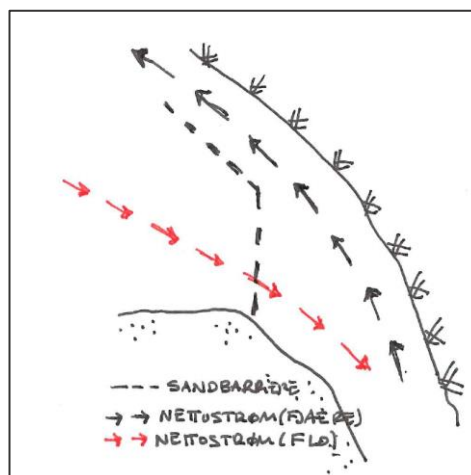
Det viktigste elementet som påvirker strømmønstret og sedimenttransport i nærheten av mudringsområde nummer 2 (se Figur 3) er den eksisterende sandbarrieren. Denne formen sitter fast på tidevannsflaten og lukker kanalens munning.



> Figur 22 Omtrentlig beliggenhet av neddykket sandbarrieren ved kanalens munning.

Barrieren har en lengde på ca. 1.500 m og et areal på 400.000 m² med et omtrentlig volum på 1.500.000 m³. Toppen på barrieren ligger på kote ca. -2.0 (LAT). Dette betyr at barrieren ikke sperrer tidevannsstrømmen helt. Tidevannsstrømmen, som holder seg inne i de definerte tverrsnittene ved strekningene på midten av tidevannskanalen, kan strømme ut fra kanalen ved munningen. Denne effekten er mer akutt ved høyvann og reduserer vannføringen på tvers av farleden ved munninga. Derfor er farledens bredde mindre her.

Det er antatt at det finnes en netto vannføring utover kanalen i løpet av en tidevannssperiode langs farledens bane ved munningen. Dette skyldes at utformingen av munningen er lik en trakt hvor tidevann strømmer ut lett, men kommer inn vanskeligere. Resultatet er at netto strøm langs farleden (og sedimenttransport) er rettet ut av kanalen. Et viktig poeng her er at det snakkes om netto strøm. Det betyr ikke at strømhastigheten er rettet kun mot aTanafjorden, men at den skifter med tidevannet. Det er den vektorielle summen av hastigheter i løpet av en tidevannssyklus som er antatt å ha et mønster slik som vist i Figur 23.



> Figur 23 Kvalitativ beskrivelse av antatt netto strømmønstre rundt kanalens munning.

Denne effekten påvirker sedimenttransport og er årsaken for danningen av sandbarrieren. I dagens situasjon holder sandbarrieren seg på plass på grunn av en dynamisk likevekt. To motsatte sedimenttransport-prosesser kjemper mot hverandre: en for å forlenge og lukke munningen (sandbarrieren) og den andre for å erodere og åpne sandbarrieren. Nåværende munningsutforming virker å være veldig stabil, men en stor endring i disse to prosessene kan endre den likevekten og skifte overvekten til den ene eller den andre siden.

4 ANALYSE AV BUNNUNDERSØKELSER

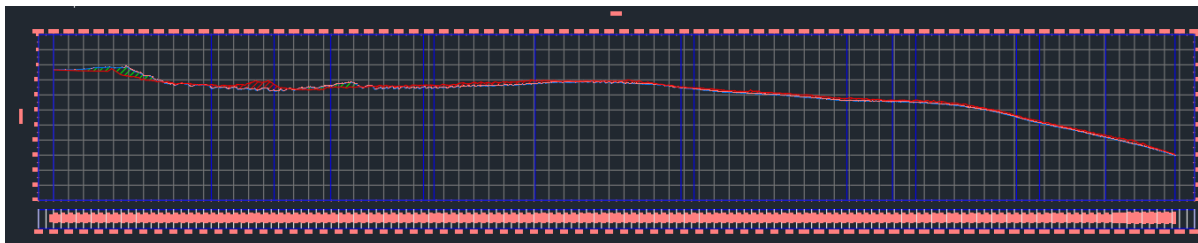
25

Total sandmengde har vært beregnet på grunnlag av de to tilgjengelige bunnundersøkelsene:

- Ved kanalens munning (sandbarrieren+kanalen) viser sammenligning av bunnundersøkelsene at sandbarrieren som lukker munningen ikke har endret seg mye. Det kan til og med se ut som at den har erodert i perioden 2011 til 2016. På denne barrieren var det totalt 186.443 m³ sand i 2011 som ble til 44.983 m³ i 2016. Det gir et netto erodert volum på 141.460 m³.
- Ved strekningen hvor tidevannsflaten dreneres inn i kanalen ble et sandvolum på 89.299 m³ erodert, mens 44.118 m³ ble deponert, noe som gir et netto erodert volum på 45.181 m³.

Derfor kan begge områdene vurderes som stabile basert på målingene de siste 5 år. Resultatene viser en sakte tendens til å erodere. Dette kan ikke konkluderes med høy sikkerhet da volumene er små og de mindre differansene mellom undersøkelsene kan skyldes sesong variasjoner som vannføring (under issmelting for eksempel), tidevann eller unøyaktigheten av målingssystemene. Flere bunnundersøkelser trengs for å overvåke systemet og se den langsiktige tendensen.

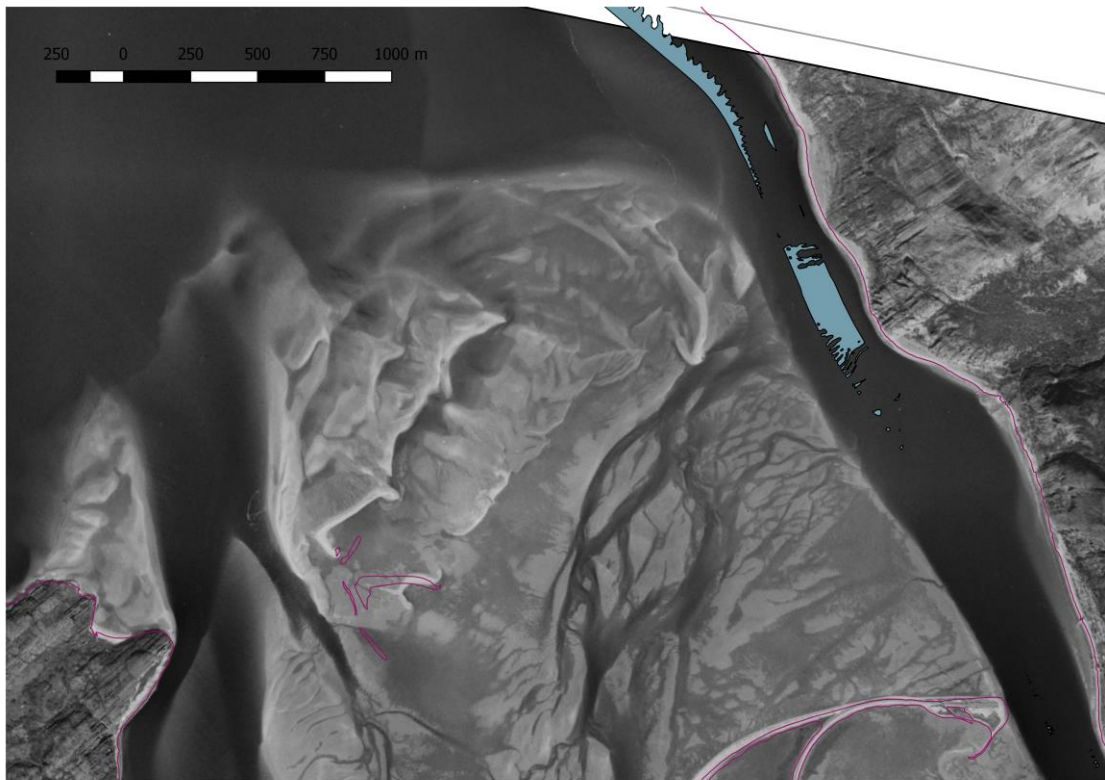
Sandbarrieren har også vært veldig stabil de siste 5 årene, som viser profilen tatt langs dens topp:



> Figur 24 Sideprofil av sandbarrieren som viser de to undersøkelsene sammen.

5 ANALYSE AV ORTOFOTO

Begge to tilgjengelige ortofotoene er presenterte i følgende figurer. I dem vises det at sandbarriere har vært på samme plass siden minst 1970. Hovedtrekkene som påvirker dybden langs tidevannskanalen blir uendrede.



> Figur 25 Ortofoto av deltaområdet i 1970



> Figur 26 Ortofoto av deltaområdet i 2008

I tillegg:

- Munningen av Tana elva mot Tanafjorden har endret seg betraktelig og vinkelen til avløpet har snudd vestover. Dette er et ustabilt og dynamisk område og store endringer må forventes på årlig basis.
- Avløpet av tidevannsflaten har ikke endret seg mye, men har skiftet ca. 180 meter innover kanalen.
- Tidevannsflaten(arealet) kan ha økt noe.

6 VURDERING AV MUDRINGSTILTAKET

6.1 Utviklingen av dybde langs farleden

For å vurdere utviklingen av sedimenttransport kvalitativt er det benyttet noen forutsetninger:

- Sedimentærsystemet er dynamisk stabilt i dag. Etter mudring vil systemet utvikles for å oppnå den samme utformingen som den har i dag.
- Vurderingen baserer seg på gjennomsnittlige forhold. Ekstremforhold, som stormer eller ekstrem vannføring fra Tanaelva, er det ikke tatt hensyn til.
- Tverrsnittet til kanalen er antatt å være konstant og er forenklet som rektangulært.
- Strøm og sedimenttransport har en retning parallell til kanalen.
- Sedimenttransporten beregnes med formlene gitt av Rijn (1984) for bunn og suspendert sandtransport:

$$q_b = \alpha_b \rho_s U h (d_{50}/h)^{1.2} (M_e)^\eta$$

with:

$q_{b,c}$ = depth-integrated bed-load transport (kg/s/m),

$M_e = (U - U_{cr}) / [(s-1)gd_{50}]^{0.5}$ (-),

U = depth-averaged velocity (m/s),

U_{cr} = critical depth-averaged velocity for initiation of motion (m/s),

d_{50} = median particle size (m),

h = water depth (m),

α_b = coefficient (-),

η = exponent (-),

ρ_s = sediment density (kg/m³),

$S = \rho_s / \rho_w$ = specific density (-).

> Figur 27 Formel for bunntransport, ref. /10/

$$q_s = 0.015 \rho_s U d_{50} M_e^2 (D^*)^{-0.6}$$

q_s = suspended load transport (kg/s/m),

h = water depth (m),

d_{50} = particle size (m),

$D^* = d_{50}[(s-1)g/v^2]$ = dimensionless particle size (m),

$s = \rho_s / \rho_w$ = relative density (-),

ν = kinematic viscosity (m²/s),

$M_e = (U - U_{cr,suspension}) / [(s-1)gd_{50}]^{0.5}$ = mobility parameter (-),

U_e = effective velocity (m/s) including effect of waves (see Equation 6.2),

$U_{cr,suspension}$ = critical depth-averaged velocity (m/s) for initiation of suspension (Equation 3.4).

> Figur 28 Formel for suspendert transport, ref. /11/

Ved å bruke Van Rijns formlene sammen med tidsseriene fra strømmålingene i N2, korrigerte for den maksimale gjennomsnittshastigheten beregnet i punkt 3.1.3 med et gitt tverrsnitt (en estimert bredde og dybde), beregnes det en total sedimentlast gjennom tverrsnittet i mudringsområdene for en tidevannsyklus og da for et helt år.

Ved å anta en bulk tetthet på 1.7 t/m^3 fås det et totalt årlig netto sandvolum. Med antagelsen om at all (eller en del av) transportert sand blir deponert i mudringsområdet og at denne sedimenttransporten forblir konstant med tid kan det estimeres tiden det tar for de to områdene å fylles tilbake til sin nåværende konfigurasjon

6.1.1 Prognose for det verste tilfellet

For å forutse det verste (mest konservative) tilfellet, antar vi at alle sedimenter som i dag transporteres av tidevannskanalen deponeres i mudringsområdene etter mudring, i.e. all sandtransports kapasiteten er lik deponeringsrate. Det antas at disse sandmassene er tilgjengelig for å dekke den gitte kapasiteten. Denne sanden kan komme fra tidevannsflaten eller fra kanalen i omkring de mudrede områdene.

Mudringsområde 1

Kanalen omkring området 1 har en bredde på ca. 300 m og en dybde på 10 m, da den maksimale gjennomsnittlig strømhastigheten er ca. 0.70 m/s , ved å bruke Van Rijns formlene sammen med korrigerte tidsseriene fra strømmålingene i N2, beregnes det en total sedimentlast gjennom tverrsnittet i mudringsområde 1 til 22.500 kg/syklus (bunn og suspendert). Dette tilsvarer 16.400 tonn/år eller $9.600 \text{ m}^3/\text{år}$, som betyr at det tar $100.000/9.600=10-11$ år for område 1 å fylles tilbake til sin nåværende konfigurasjon.

Mudringsområde 2

Dette området kan beregnes med den samme prosedyren som over, men nå er bredden til kanalen mindre (150 m) og den maksimale gjennomsnittlige strømhastigheten blir høyere (1.1 m/s). Totalt får vi en sedimentlast gjennom tverrsnittet i mudringsområde 2 til 61.000 kg/syklus (bunn og suspendert). Dette tilsvarer 44.500 ton/år (26.000 m^3) og det tar $150.000/26.000=6$ år for dette området å fylle seg opp igjen.

6.1.2 Prognose for det mest sannsynlig tilfellet

Antagelsene for et mest sannsynlig tilfelle er de same som for det verste tilfellet, men det antas at bare 70 % av sand endelig deponeres i de mudrede områdene. Dette tar høyde for at noe av den transporterte sanden kan deponeres på andre stedet av kanalen eller blir transportert ut i fjorden.

Mudringsområde 1

I dette tilfellet blir sedimentlast for området 1 15.700 kg/syklus ($6.700 \text{ m}^3/\text{år}$) og tiden for oppfylling blir $100.000/6.700=14$ år.

Mudringsområde 2

For området 2 blir 42.700 kg/syklus ($18.300 \text{ m}^3/\text{år}$) og tiden for oppfylling blir $150.000/18.300=8$ år.

6.2 Usikkerheten tilknyttet til forslag

Det er en stor usikkerhet i de gitte tallene og bør håndteres forsiktig. For å begynne med, sedimenttransport har en sterk stokastisk natur og Van Rijn modellen er en forenkling av det fysiske fenomenet. Men kanskje den største usikkerheten kommer fra å anta at punktmålene

er representative for hele vannsøylen, hele tversnittet og gjeldende for begge de mudrede områdene, når i realiteten, et 2D strømmønstre kan gjør strømmen å variere på tvers kanalens bredde og dybde, spesiell langs svingene, som er tilfellet av kanalens munninga. I tillegg, for å kunne estimere den gjennomsnittlige strømhastigheten på tvers kanalen i de to områdene, en rektangulær tverrsnittet har vært antatt.

Disse antagelsene har vært adoptert for å kunne estimere et tall med de tilgjengelige dataene. Dermed, Van Rijn modell for sedimenttransport er svært sårbar for endringer i den gjennomsnittlig strøm hastigheten, U (formlene avhenger av U med en eksponent på 2.5).

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

7 MULIGHET FOR UTFYLLENDE VURDERINGER

31

Verdiene for sedimenttransport kommer fra en kvalitativ vurdering og er svært usikre. Det største usikkerhet kommer ved å anta at strømmen og sedimenttransport er en-dimensjonal og ved at resultatene for punktmålerne antas som representative for hele vannsøylen og hele tverrsnittet. Dessuten virker det som at sedimentbevegelse i sandbarrieren kan være tre-dimensjonal og sedimenter kan komme transverst fra sanddyner i området foran fjorden. Det finnes ikke nok historisk data for å bekrefte dette, men det kan gjøre en forskjell i beregningene presenterte i denne rapporten.

For å redusere denne usikkerheten kan man gjøre en stor målingskampanje eller bruke en numerisk strømmmodell for sedimenttransport. Denne modellen kan ta hensyn til reel geometri. Strømmmodellen kan kalibreres med eksisterende målinger, beregner strømhastigheter for dagens situasjon og med utført mudringstiltak, og kan dermed gi svar med mindre usikkerhet hvilke sandtransport og deponeringsfrekvens de forskjellige mudrete områder har.

Programvarer som Delft3d er et nyttig verktøy for å analysere strømmen og sedimenttransport i området. Det kan gi et bedre bilde enn det vi har nå med punktmålere for strøm og bekrefte antagelsene gjort i denne rapporten. På andre siden trenger en slik modellen batymetri som dekker hele deltaområdet, i det minste tidevannsflaten, som er avgjørende for å beregne strømmen i kanalen korrekt. Tilgjengeligheten på dette er ukjent.

Delt3d er en velkjent modell som kan simulere sedimenttransport i elver, elvemunninger og deltaområder med en tidsskala på noen dager eller flere år. Dette oppnås ved å koble flere moduler sammen for å beregne bølger, strøm og sedimenttransport. De fleste og viktigste begrensinger som ble antatt i denne kvalitative vurderingen kan derfor blir overvunnet med denne tilnærmingen, hovedsakelig de knyttete til strømmønstreet og kanalens geometri.

Modellen vil være ganske realistisk hvis inputen er god og strømmmodellering kan gi rimelige resultatet hvis man kan neglisjere tetthetsdifferanser. Dette er rimelig her da elvestrømmen til Julelva er lav. Sedimenttransporten kan beregnes ved å anta at sanden på stedet er godt beskrevet av den ene prøven tatt av Multiconsult. Dette bør også være rimelig da sanden i kanalen er antatt å være veldig homogen. Derimot er langsiktig morfologi endringer utfordrende å estimere. Uansett kan deponering- og erosjonsrater likevel fås i alle mudringsområdene og deretter, ved å anta at de blir konstant over tid, beregne tiden sanden trenger for å fylle dem opp igjen.

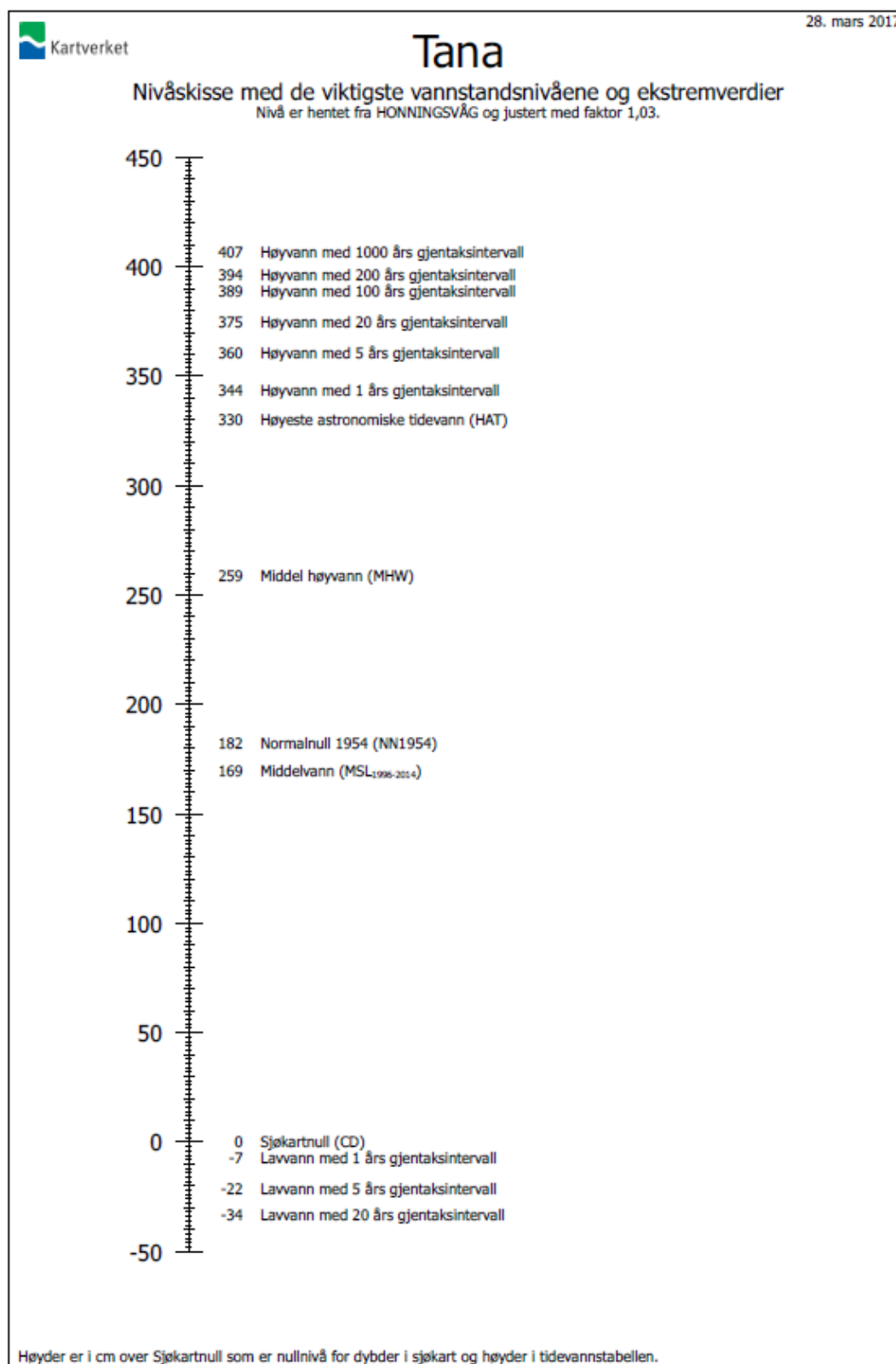
I alle tilfeller er sedimenttransport vanskelig å beregne og kan ikke estimeres med en nøyaktighet med lavere sikkerhetsfaktor enn 2 (Van Rijn).

8 REFERANSER

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. *Introduction to Clastic Sedimentology*- Noter til kurs. R.J: Cheel- Brock University (Ontario-Canada)
13. *Erosjon og sedimenttransport i Tanaelva*. Fergus & Rönkä, 2001, NVE
14. NVE Atlas: <https://atlas.nve.no/html5Viewer/?viewer=nveatlas>
15. Dynamics of marine sands. Thomas Telford, UK

VEDLEGG A: NIVÅSKISSE TANA

33



VEDLEGG B: ORTOFOTO 1 (2008)



VEDLEGG C: ORTOFOTO 2 (1970)

35

