

Kystverket

► Innseiling Borg

Vurdering av erosjonssikring

Oppdragsnr.: 52103048 Dokumentnr.: 52103048-RIK-R01 Versjon: J02 Dato: 2022-02-22



Oppdragsgiver: Kystverket
Oppdragsgivers kontaktperson: Martin Fransson
Rådgiver: Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleder: Andreas Lyngtveit Lindland
Fagansvarlig: Arne Erling Lothe (erosjonssikring)
Andreas Lyngtveit Lindland (havn/konstruksjon)
Kristine Ekseth (geoteknikk)
Andre nøkkelpersoner: Viktor Renström (geoteknikk)
Emil Cederström (geoteknikk)
Magnus Thorsen Bach-Gansmo (erosjonssikring)

J02	2022-02-22	For bruk	ArELo	MagBac	AnLLi
B01	2021-10-01	For kommentar	ArELo	AnLLi	AnLLi
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► **Sammendrag**

Det er utført en vurdering og beregning av erosjonsikring ved mudring av ny farled inn til Borg havn i Fredrikstad. Det skal mudres til -12.0 m NN2000, og mudringsgropa vil føre til skrå sidekanter og en eksponert horisontal bunnflate.

Det er vurdert behov for tiltak mot erosjon fra elvestrøm i et tilfelle med 200 års flom for alle flater. Erosjon fra propeller er vurdert for sidekanten foran kaiene på østsiden. Erosjonskraften fra propeller (der denne opptrer) er større enn erosjonskraften fra elvestrømmen.

Som sikringstiltak er det foreslått å benytte gradert sprengstein i klasse 22/63 for flater utsatt for vanlig elvestrøm, og klasse 0/300 for steder utsatt for propellstrøm.

Dersom det under prøvemudringen eller hovedprosjektet avdekkes områder med bløte masser eller kvikkleire, må spesielle tiltak vurderes og detaljutredes. Det må da tas hensyn til både geoteknisk stabilitet og nødvendig sikring mot erosjon.

Lokale variasjoner, inkludert tilpasning til kaier der ekstraordinær trafikk er ventet, må vurderes under detaljprosjekteringen.

► Innhold

1	Innledning	5
2	Grunnlag	6
3	Bakgrunnsinformasjon	7
3.1	Lokasjon	7
4	Forutsetninger og datagrunnlag	8
4.1	Generelt	8
4.2	Vannstandsnivå	9
4.3	Flom i Glomma	10
4.4	Bølger og vind	11
4.5	Flomhastigheter og tverrsnitt	11
5	Beregning av erosjonsikring	13
5.1	Sikring mot uniform erosjon fra elva	13
5.2	Sikring mot propell-erosjon	13
6	Forslag til sikring	15
6.1	Sikring av skrå mudringskant på østsiden (foran kaier)	15
6.2	Sikring av skrå mudringskant på vestsiden (ingen kaier)	15
6.3	Sikring av horisontal bunn i mudringsflaten	16
6.4	Sikring ved avdekking av bløte masser/ kvikkleire	16

1 Innledning

I forbindelse med planlegging av Kystverkets tiltak for utdyping av innseilingen til Borg havn, er det behov for vurderinger knyttet til mudringsskråninger og tilpasning av mudring ved kailinjen. Norconsult har derfor fått i oppdrag å gjøre verifikasjon av tidligere vurderinger, samt nye vurderinger basert på foreliggende grunnlag.

I rapporten «Innseiling Borg – utdyping av farled – Mengdeberegning av tiltaksalternativer», utarbeidet av Norconsult, datert 2020-08-07, ble det presentert 4 tiltaksalternativer for utdyping av farleden. Arbeidene i denne rapporten baserer seg på tiltaksalternativ 4. For snuplassen er det i tillegg vurdert en utforming tilsvarende den som er benyttet i alternativ 2.

I denne rapporten er det vurdert behov for erosjonsikring av eksponerte mudringsflater, og forslag til tiltak er gitt.

2 Grunnlag

Rapporten baserer seg på følgende grunnlag:

1. Rapporten «Innseiling Borg – utdyping av farled – Mengdeberegning av tiltaksalternativer», utarbeidet av Norconsult, datert 2020-08-07
2. NVE: Flomsonekart nr 7/2006 Delprosjekt Fredrikstad og Sarpsborg
3. Hydraulic Design of Flood Control Channels U.S.Army Corps of Engineers CECW-EH-D June 1994 Ch. 3.7
4. CUR: Manual on the Use of Rock in Hydraulic Engineering, 1995 and later
5. R Soulsby. Dynamics of Marine Sands, 1997

3 Bakgrunnsinformasjon

3.1 Lokasjon

Det området som omfattes av denne rapporten er vist med rød firkant på Figur 3-1. Den røde firkanten på bildet viser hvor det skal mudres inn mot kaiene. I tillegg skal det mudres til en vendeplass for båter i bukta som ligger vest for firkanten.



Figur 3-1: Område markert på flyfoto (fra norgeskart.no). Bildet viser industriområdet Øra med kaier. Glomma kommer inn fra øvre kant av bildet og renner sørover.

4 Forutsetninger og datagrunnlag

4.1 Generelt

Det har tidligere vært vurdert flere ulike tiltaksalternativer for utdyping av innseilingen til Borg havn. Denne rapporten er basert på alternativ 4 som beskrevet i rapporten «Innseiling Borg – utdyping av farled – Mengdeberegning av tiltaksalternativer», utarbeidet av Norconsult, datert 2020-08-07. For vendesirkelen vurderes i tillegg en utforming tilsvarende beskrevet i tiltaksalternativ 2.

Alternativ 4 beskriver et tiltaksalternativ der tiltaket har blitt optimalisert og dimensjonert ut fra opprinnelig plandybde i Røsviksrenna og eksisterende snuplass inne i Fugleviksbukta.

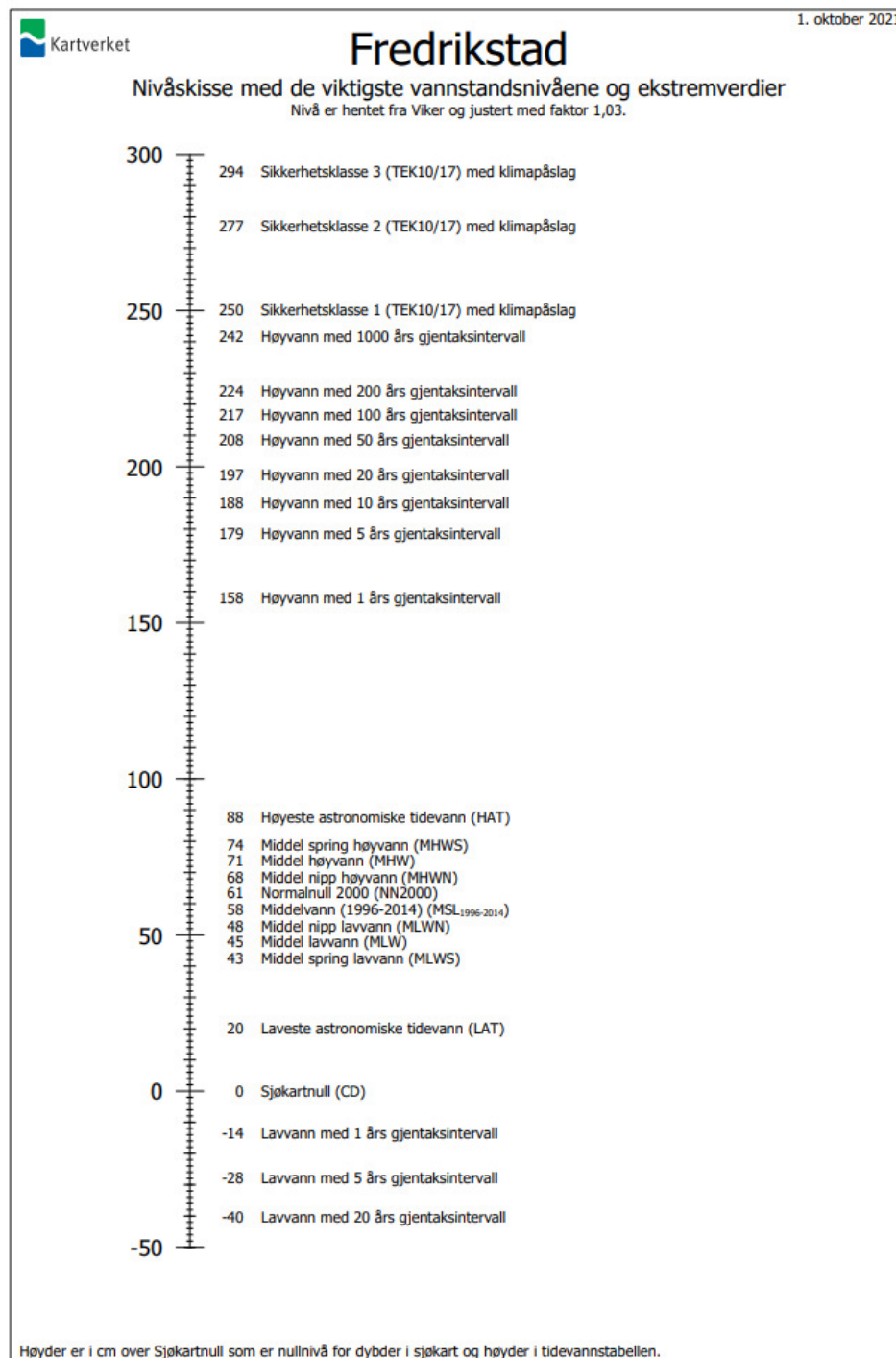
Tiltaket sikrer en minste farledsbredde på 90 m fra snuplassen i Fugleviksbukta i nord og gjennom Røsviksrenna. Tiltaket sikrer en minste farledsdybde på -12,0 m relativt til sjøkartnull fra ro-ro kaien ved Øra gjennom Røsviksrenna. Det mudres også for å opprettholde eksisterende vendesirkel på ca. 200 m med -11,0 m dybde i Fugleviksbukta nord for ro-ro kaiene. Vendesirkelen i tiltaksalternativ 2 har samme dybde, men større areal.

Videre gjelder følgende forutsetninger.

1. Mudringen er et farledstiltak, hvilket innebærer at det skal mudres en *farled* inn til havna.
2. Det er ønskelig å mudre helt inn til kaifront, men det krever en individuell vurdering av stabiliteten av hver kai. Mudring i front av kai og omfang av eventuelle tiltak må undersøkes nærmere i forbindelse med detaljprosjektering. I denne rapporten er det forutsatt at mudring avsluttes 5 m fra kaifront.
3. Eksponerte flater skal sikres mot erosjon fra elvestrømmen, og fra propell-erosjon der det er relevant.
4. Det er ikke gitt noen sikringsklasse for mudringsarbeider i sjø (utover de geotekniske vurderingene). Et tilfelle med alvorlig erosjon kan likevel forplante seg inn til kaia og potensielt true bygg nær kaia. Vi antar derfor at et sikkerhetsnivå tilsvarende TEK17 Flomklasse F2 er relevant og forsvarlig. Dette innebærer bruk av returperiode 200 år i 2090.

4.2 Vannstands nivå

Figur 4-1 viser en oversikt over vannstands nivået i Fredrikstad relativt til sjøkartnull. Noen viktige nivåer for denne rapporten er vist i Tabell 1.



Figur 4-1: Vannstands nivå (fra sehavnivå.no)

Tabell 1 Oversikt over viktige vannstands nivå

NIVÅ	NN2000 cm	Sjøkartnull cm
Middelvann 2021	-3	58
200 års stormflo 2021	163	224
200 års stormflo 2090 (F2)	216	277
Høyeste registrerte (Viker/hvaler)	134	195

4.3 Flom i Glomma

Glomma er den elva i Norge som har størst flomvannføring. Ved Fredrikstad munner Glomma ut i havet, og det er derfor vannstands nivået i havet (Ytre Oslofjord) som avgjør vann-nivået ved mudringsområdet. Innflytelsen av havnivået avtar gradvis oppover elva mot Sandesund og Sarpsborg.

NVE publiserte i 2006 et flomsonekart for Glomma mellom Fredrikstad og Sarpsborg. Kartet (og en tilhørende hydrologisk rapport) angir vannføring, flomvannstand og kart over oversvømte områder for flom opp til 500-års flom i vassdraget.

NVE-rapportene fra 2006 synes ikke å ha tatt hensyn til klima-endringer, slik som det er gjort i senere rapporter. Klima-ndringer som skal tas hensyn til i henhold til TEK17, gir utslag på to områder:

1. Havnivåstigning fram til 2090 kan gi en økt middelvannstand i havet på inntil 63 cm
2. Økt nedbørintensitet kan gi økt vannføring i vassdrag ved ekstremflommer.

NVEs flomsonekart angir at den antatte vannstand i havet i *flomsituasjonene* er 1.8 m o. h., hvilket vi kan anta er nær 1.8 m NN2000. Elva vil derfor beholde denne vannstanden i 200 års flomsituasjon opp til flere km lengre opp i elva enn vårt område.

NVE sier også at det ikke er en fysisk sammenheng mellom flom i elva og stormflo i havet, og at det derfor vil være for konservativt å anta at de to hendelsene inntreffer samtidig.

Forskjellen på de to stormflonivåene som nå er aktuelle, 1.8 m (antatt NN2000) og 2.16 m NN2000 er relativt ubetydelig for erosjonssikringsformål så lenge erosjonen som skal hindres skjer på bunnen av elva. Det skal mudres til -12 m sjøkartnull, hvilket tilsvarer -12.6 m NN2000. En usikkerhet i dybden på inntil 36 cm er her ubetydelig.

Derimot kan den antatt økning av 200 års *flomvannføring* i elva ha stor betydning. Vi er ikke kjent med hvilket tillegg i vannføringen som skal benyttes for Glomma. NVE angir 200 års flomvannføring til 3576 m³/s uten tillegg for klimaendringer. Tillegget fastsettes i dag skjønnsmessig og er vanligvis 20 % - 40 %.

Vi foreslår at man i denne sammenheng benytter et tillegg i vannføringen på 20 %, slik at den nye dimensjonerende vannføringen for elva i en 200 års-situasjon blir:

$$Q_{200} = 3576 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.20 \approx 4300 \text{ m}^3/\text{s}$$

For erosjonsformål er vann-hastigheten den drivende faktoren, og vannhastigheten avtar når vann-nivået blir høyere, fordi flommen får et større tverrsnittsareal å fordele seg ut på. Det vil derfor i vårt tilfelle *ikke* være konservativt å anta at stormflo-nivået i havet samtidig er ekstremt høyt (eksempelvis 200 års stormflo).

Vi velger derfor å *beholde estimatet fra NVE på 1.8 m*, som vil ligge noe under Flomklasse F1, som har 20 års returperiode i 2090.

4.4 Bølger og vind

Fredrikstad og Øra er et innlandsområde som er skjermet for bølger fra Skagerrak av øyer og skjær, hvorav den største utgjøres av øygruppen Hvaler. Farvannet mellom Hvaler og Øra er også preget av uryddig farvann. Til sammen gjør dette at vi kan utelukke at det vil forekomme bølger som har så lang periode at de vil være merkbare på så store dyp som 5 -10 m eller dypere.

Vind kan i noen tilfeller sette opp en overflatestrøm som drives i samme retning som vinden. Dette er imidlertid et overflatefenomen, og vil ikke ha merkbare konsekvenser lengre ned enn ca 1 - 2 m. Ved høy utstrømning fra elva, vil den vind-drevne strømmen ikke makte å snu elvestrømmen, men kan i ytterste fall bare bremse svakt på elva.

4.5 Flomhastigheter og tverrsnitt

Nedre del av Glomma er en typisk tidevannsinfluert elv. Fra et område i søndre del av Øra vil det komme inn en saltvannskile langs bunnen. Denne saltvannskilen ligger på bunnen og er tykkest ved utløpet av elva, og avtar i tykkelse opp mot Sandesund og Sarpsborg. Denne kilen fører til at elvevannet må strømme over kilen, og kilen fører derfor til en reduksjon av det effektive tverrsnittsarealet og en høyere hastighet for elvevannet i det gjenværende tverrsnittet. Samtidig vil saltvannskilen beskytte bunnen mot de høye hastighetene som er knyttet til elvevannet.

Saltvannskilen er dynamisk og endrer seg med tidevannet. Ved fløende sjø vil den bevege seg langs bunnen oppover leva, og ved fallende sjø vil den trekke seg tilbake. Den påvirker derfor vann-nivået i elva ved å virke som en kunstig bunn som løfter elva opp og ned i takt med tidevann og vann-nivå i havet.

Ferskvannet fra elva og saltvannet i kilen beveger seg relativt til hverandre, og generelt vil elvevannet strømme hurtigst. Det vil derfor foregå en blanding av de to vannlagene på grenseflaten mellom dem. Skillet mellom ferskt og salt vann er ikke skarpt, og er preget av et mellomliggende brakkvannslag.

Graden og hastigheten av nedblandingen er avhengig av den relative hastigheten mellom vannlagene og graden av turbulens i elvestrømmen. Generelt er det lite turbulens i Glomma på dette stedet. Elva flyter rolig og kontrollert uten stryk eller skarpe svinger.

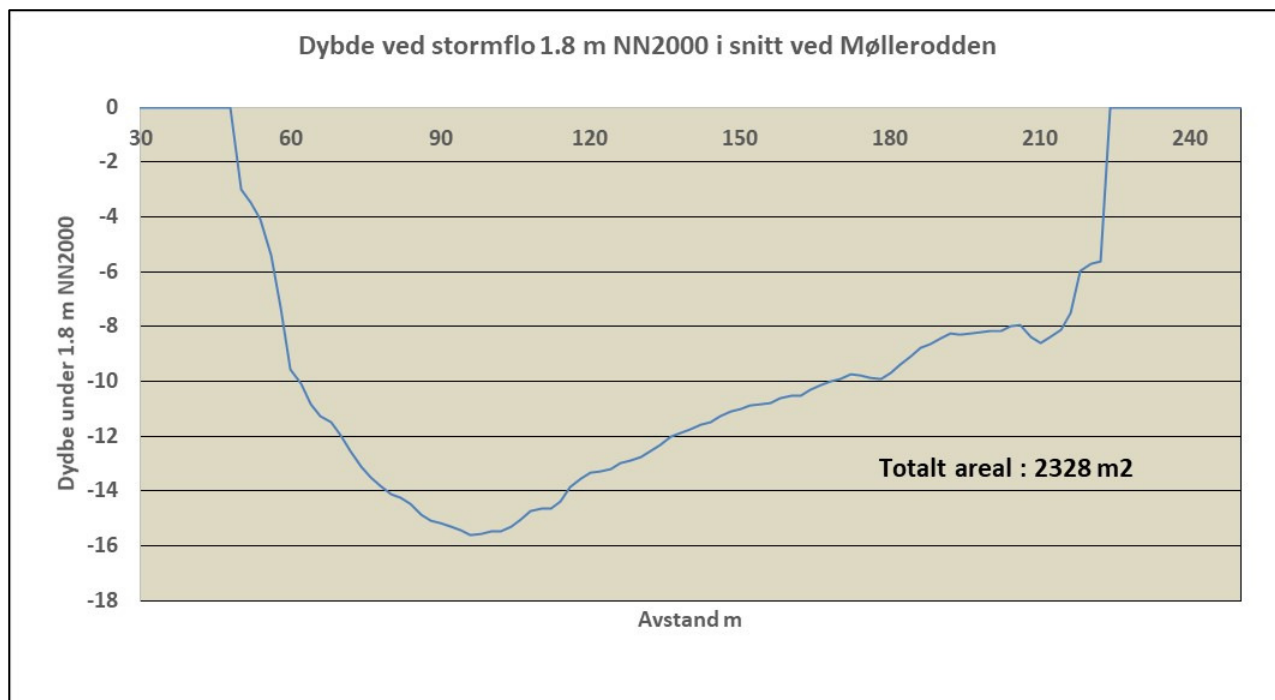
I denne rapporten legger vi likevel til grunn at i en ekstremsituasjon ($\approx 4300 \text{ m}^3/\text{s}$) kan elvestrømmen bli så kraftig i kombinasjon med *lav vannstand*, at elvevannet når helt ned til bunnen av elva utenfor kaiene. Da blir hastigheten i elva dimensjonerende for erosjonssikringen.

Figur 4-2 viser et tverrsnitt av Glomma ved Møllerodden i nordre del av området ved stormflovannstand 1.8 m NN2000. Det totale tverrsnittet er 2328 m^2 . Den planlagte mudringen er ikke inkludert i dette bildet, men vi ser at det er kun en liten del av tverrsnittet på østre side (til høyre) som blir berørt av mudringen til den nye dybden som blir 14.8 m i figuren.

Hvis vi antar at det nye tverrsnittsarealet etter mudring blir 2500 m^2 , vil det gir en gjennomsnittlig strømhastighet over tverrsnittet på

$$V_{200} = 4300 \text{ m}^3/\text{s} / 2500 \text{ m}^2 \approx 1.7 \text{ m/s}$$

Strømhastigheten er ikke jevnt fordelt over tverrsnittet. Hastigheten er minst der strømmen er i kontakt med bunnen/sidene, og størst midt i tverrsnittet. Vi antar at den beregnede hastigheten er representativ for strømmen langs bunnen og ved de nye mudringskantene.



Figur 4-2

Tverrsnitt av Glomma ved Møllerodden, nordre del av området som er markert i Figur 3-1. Dybden er regnet fra et vann-nivå på 1.8 m NN2000

5 Beregning av erosjonsikring

For en sikring av den størrelse og omfang som er planlagt anser vi at det mest realistiske alternativet er å sikre med grov grus eller sprengt stein.

Det kan finnes alternativer med bruk av geotekstiler eller ulike former for betongløsninger (betongmadrasser), men disse ansees som lite egnet på denne bunntypen (løst lagret fin sand) og ikke kostnadseffektive.

5.1 Sikring mot uniform erosjon fra elva

I dette tilfellet antas følgende:

1. For den eksponerte mudringsflaten er det bare de skrå sidekantene som vender mot land på begge sider som skal sikres. Eksponerte horisontale flater skal ikke sikres dersom det ikke eksponeres lag med svak eller bløt leire. De horisontale flatene antas å være i nøytral eller positiv balanse, dvs at materialet som bringes inn tilsvarer det materialet som eroderes bort (nøytral), eller at det kommer mer materiale inn enn det som eroderes bort (positiv). I det siste tilfellet vil det oppstå et behov for vedlikeholdsmudring.
2. Skråninger holdes på en helning på 1 : 3. Det kan være vanskelig å oppnå så bratte helninger i løst materiale under vann, men en slakere helning vil ha en positiv effekt på stabiliteten.

Vi benytter en metode som er beskrevet i referanse 3, og som også er anbefalt av NVE. Metoden antas å være anvendelig bl a fordi Glomma i dette partiet flyter jevnt uten stryk eller mye turbulens.

Med bruk av denne metoden får vi følgende resultat:

Sikring av skråninger 1 : 3 eller slakere: nødvendig steinstørrelse: $d_{50} = 50 \text{ mm}$

Sikring av flat bunn (antas ikke nødvendig) $d_{50} = 40 \text{ mm}$

Begge disse steinkvalitetene kan oppnås ved å benytte sprengt stein med fraksjon 22/63.

Lagtykkelsen skal ikke noe sted være mindre enn 400 mm.

5.2 Sikring mot propell-erosjon

Propell-erosjon skjer når et fartøy har en hastighet framover som er mindre enn det som anvendt maskinkraft vil kunne gi. Det skjer typisk ved ankomst og avgang, når fartøyet bruker maskinen til å bremse eller akselerere ut fra kai. Det kan også skje hvis (mindre) fartøyer «går i springen», dvs ligger fortøyd til kai mens de bruker maskinen til å få en sving på fartøyet inn til eller bort fra kai.

Sidepropellere eller thrustere gir en vannstråle rettet direkte mot kaia, men disse regnes ikke med her fordi mudringskanten skal ligge minimum 5 m fra kaia.

Mudringskanten kan likevel bli utsatt for erosjon fra hovedmotorer fordi de aktuelle skipstypene vil holde propellen mer eller mindre rett over mudringskanten ved kaia (antatt ca 5.0 m fra kai, se punkt 2 i avsnitt 4.1 over).

Fartøyene som anløper havna er tilfeldig tonnasje og er ikke spesifisert. Vi har undersøkt et fartøy med følgende karakteristika.

- Dypgående, antatt lastet: 7.0 m
- Motorytelse: 4400 kW, 3000 kW benyttes ved kai
- Propelldiameter (1) 1.75 m

Metoden som benyttes er formulert av PIANC og er beskrevet i referanser 4 og 5.

Denne metoden gir et krav til steinstørrelse på $d_{50} = 240$ mm for stein på hellende bunn (1 : 3) og angrep på tvers av gradienten.

Denne steinstørrelsen kan oppnås med en fraksjon opp til 300 mm.

6 Forslag til sikring

6.1 Sikring av skrå mudringskant på østsiden (foran kaier)

Beregningen ovenfor viser at det er propell-erosjon som stiller det strengeste kravet til erosjonsikringen. Erosjon fra propellere kan oppstå hvis et skip ligger til kai og bruker hovedmotoren uten å være kommet i bevegelse eller for å stoppe. Propellen vil da sende ut en stråle bak (eller foran) skipet som slår ned på bunnen i en avstand på 15 - 20 fra propellen.

For å sikre mot slik erosjon fra propeller og elvestrøm kan det skisseres to alternativer.

1. Alternativ 1: Mudringsskråningen sikres mot elvestrøm fra flat bunn og opp til ca 2.0 m under øvre kant med et lag av sprengt stein 22/63 med tykkelse *minimum* 400 mm. Ved foten av mudringskanen trekkes sikringslaget ca 5 m ut på den horisontale flaten. I de øverste 2.0 m av skråningen benyttes et lag som skal sikre mot propellerosjon bestående av 0/300 sprengt stein i *minimum* tykkelse 600 mm.
2. Alternativ 2: Hele mudringskråningen sikres med et lag 0/300 sprengt stein i *minimum* tykkelse 600 mm.

I begge tilfeller må det sikres at de underliggende massene er faste nok til å hindre at enkeltstein synker ned i underlaget.

Hvilket av disse to alternativene som velges er en avveining av tilgang på stein og økonomi.

Disse metodene anbefales brukt på alle mudringskråninger ved kaiene. Det er pr i dag ikke grunnlag for å gradere sikringen ved de ulike kaiene.

Detaljprosjekteringen bør vurdere behovet for annen type sikring dersom man kan konstatere at forholdene er annerledes enn forutsatt. Dette gjelder spesielt skips-størrelser og antatt dypgående, og om man må forutsette at sidethrustere kan rette strålen mot skrå mudringsflate.

For erosjonsikring med 0/300 velges å beholde den nedre del av fraksjonen fordi det gir et bedre utgangspunkt for å oppnå en forsegling av de underliggende massene.

6.2 Sikring av skrå mudringskant på vestsiden (ingen kaier)

På vestsiden er det kun erosjonskraft fra elvestrømmen og sporadisk påvirkning fra propell-erosjon (under snuing) som skal tas hensyn til.

Her anbefales sikring tilsvarende Alternativ 1 over.

1. Alternativ 1_Vest: Mudringsskråningen sikres mot elvestrøm fra flat bunn, opp til øvre kant og ca 5 m inn på urørt bunn med et lag av sprengt stein 22/63 med tykkelse *minimum* 400 mm. Ved foten av mudringskanen trekkes sikringslaget ca 5 m ut på den horisontale flaten.

Det er antatt at propell-erosjon ikke er dimensjonerende på vestside. Denne antakelsen er basert på følgende forutsetninger.

- angrepspunktet for propellstrålen vil variere avhengig av hvor skipet ligger når det snur, og man unngår dermed gjentatte angrep i en liten sone
- Dersom skipene ved snuing vender akterenden inn i Fuglevikbukta (mot vest) vil man velge å holde størst mulig avstand mellom akterenden med ror og propell, og mudringskanten som ikke vil være

synlig. Vi kan anta at avstanden mellom skip og mudringskant er betydelig større på vestsiden enn på østsiden.

6.3 Sikring av horisontal bunn i mudringsflaten

Bunnen i hele området antas å bestå av dype elveavsetninger av sedimenter fra elva. Videre antas det at det foregår en netto avsetning/deponering i området. Under disse forutsetninger er det ikke nødvendig å sikre den horisontale bunnen i mudringstrauet.

6.4 Sikring ved avdekking av bløte masser/ kvikkleire

Man må være forberedt på at lommer med bløte masser eller kvikkleire kan forekomme eller bli avdekket under mudringen. Hvilken effekt det får for den generelle stabilitet må vurderes geoteknisk. Dersom et slikt område avdekkes og man velger å gjennomføre mudringen, må området sikres med spesielle tiltak. Det gjelder ved slike tilfeller på både horisontal og skrå bunn.

Spesielle tiltak kan omfatte bruk av andre typer sikringsmasser og bruk av geotekstiler, og må avgjøres individuelt for hvert tilfelle.