



RAPPORT

Erosjonssikring - Mistra

ANBEFALT EROSJONSSIKRING AV MISTRA

DOK.NR. 20210578-01-R

REV.NR. 0 / 2022-08-31

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Prosjekt

Prosjekttittel: Erosjonssikring - Mistra
Dokumenttittel: Anbefalt erosjonssikring av Mistra
Dokumentnr.: 20210578-01-R
Dato: 2022-08-31
Rev.nr. / Rev.dato: 0 /

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Statsforvalteren i Innlandet
Kontaktperson: Søndre Sjølen Verneområdestyre v/Hilde Nystuen
Kontrakthereferanse: EOF signert 03.07.22

for NGI

Prosjektleder: Ingar Haug Steinholt
Utarbeidet av: Hallvard Skrede og Ingar Haug Steinholt
Kontrollert av: Bjørn Kalsnes

Sammendrag

NGI har fått i oppdrag fra Statsforvalteren i Innlandet å utrede muligheten for å sikre et lite område langs Mistra mot ytterligere erosjon. I år 2000 ble det forsøkt å sikre området med en tømmervegg. Grunnet mangelfull utførelse og påvirkning fra isgang ble denne løsningen ødelagt i løpet av kort tid.

Da området ligger innenfor Søndre Sølen landskapsvernområde, er det ønskelig at foreslått sikring tar hensyn til de store verneverdiene i området knyttet til kultur- og naturmiljø. Dette bør gjøres ved å bruke naturbaserte løsninger som innebærer bruk av lokale materialer og planter.

På bakgrunn av befaring og hydraulisk modellering, er det foreslått en kombinasjon av flere erosjonssikringsløsninger; tømmerkister, steinsetting og revegetering av elvemelen. Det anbefales, i samråd med landskapsvernstyret, å først utarbeide en sikringsløsning i litt mindre skala for å se om dette vil ha tilstrekkelig effekt. Dette gjøres ved å legge ut store steiner nederst i den aktuelle skråningen i et forsøk på å styre vannstrømmen bort fra det erosjonsutsatte området. I tillegg bør man forsøke å revegetere overliggende skråning for å forhindre den pågående overflateerosjonen.

For å analysere effekten av dette tiltaket, bør man laserskanne området før og etter at tiltaket er implementert, og etter at isen har gått hver sesong. På bakgrunn av denne informasjonsinnhenting kan man bestemme seg for om man ønsker å gå videre med en mer omfattende sikringsløsning.

Innhold

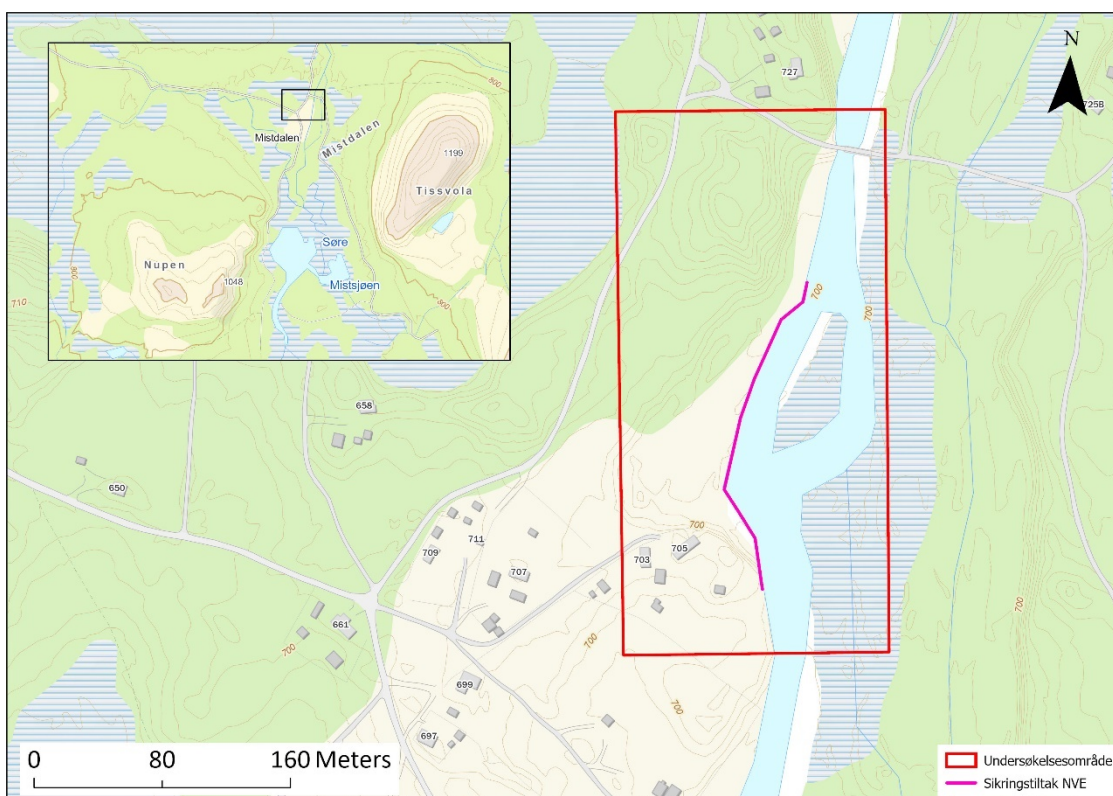
1	Innledning	6
2	Resultat fra hydraulisk analyse	7
3	Erosjon	9
4	Foreslått sikringstiltak	9
4.1	Erosjonssikring av skråningsfot	10
4.2	Revegetering av elvemel	17
4.3	Stegvis tilnærming til erosjonssikring	23
5	Vurdering av innvirkning på kulturlandskap og elvemiljø ved ulike aktiviteter	26
6	Referanser	27

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Setrene i Mistdalen ved elva Mistra ligger i Sølen landskapsvernområde. De har store verdier knyttet til kulturmiljøer, kulturminner og natur. Bebyggelsen som ligger ved Mistdalsveien 705 ligger forholdsvis nært et parti av elvebredden som over tid har glidd ut, se Figur 1-1 og Figur 1-2. For å hindre videre erosjon ble partiet forsøkt sikret av NVE med tømmervegg i år 2000 (Bogen & Mobæk, 1998). Grunnet mangelfull utførelse og påvirkning av isgang ble denne sikringen ødelagt etter kun få år. Siden da har det blitt vurdert flere ulike løsninger for å hindre videre erosjon etter hvert som erosjonsskadene har utviklet seg videre. Det er ønskelig å utarbeide en løsning som på best mulig ivaretar naturverdiene i området og ikke tilfører materialer som anses som fremmedelementer. Dette skal da gjøres samtidig som den sørger for å sikre bebyggelsen og verdifullt kultur- og naturmiljø mot ytterligere skade.

Dette notatet beskriver forslag til erosjonssikring av området langs Mistra som ønskes sikret mot videre erosjon fra elva. For nærmere områdebeskrivelse og gjennomgang av hva som er gjort av sikringstiltak i området tidligere, vises det til NGI (2021).



Figur 1-1 Oversiktskart som viser området som er blitt befart tidligere, samt erosjonssikring utført av NVE i 2003. Til info er linjen som definerer sikringstiltaket til NVE her forlenget sammenlignet med det som foreligger i NVE sin database. Dette er basert på observasjoner gjort i felt.

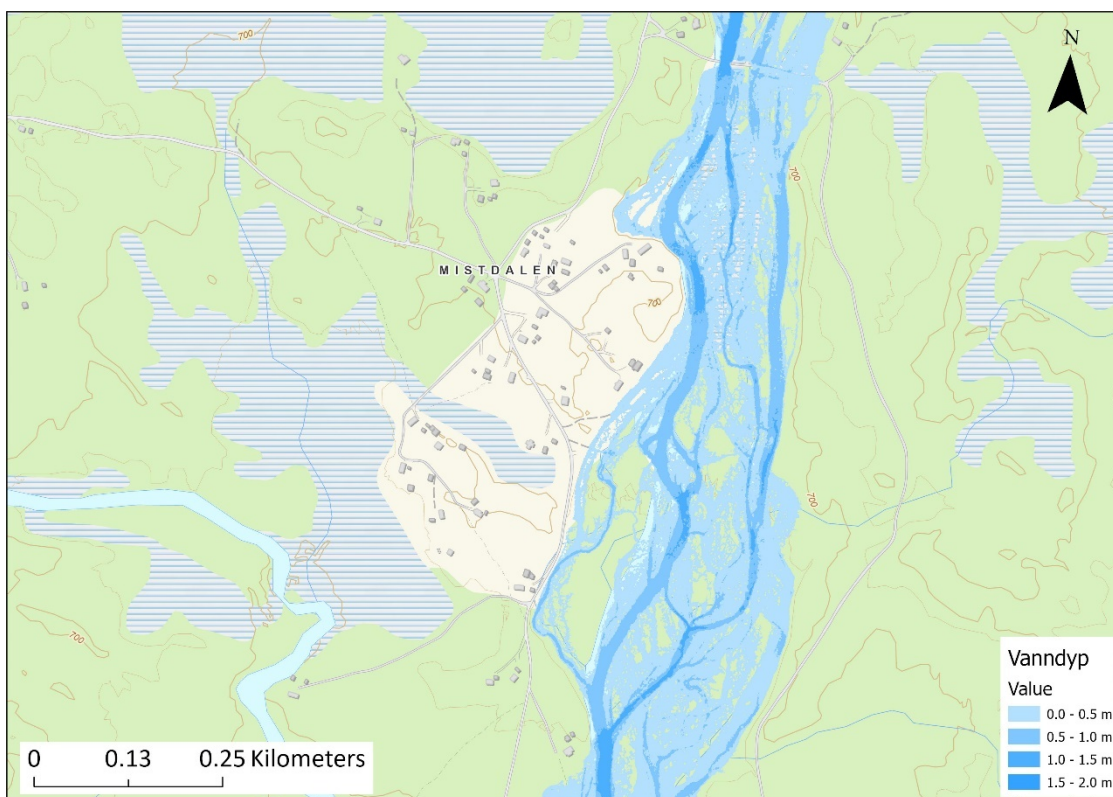


Figur 1-2 Erodert elvemel ved Mistra. Bildet er tatt fra øst mot vest.

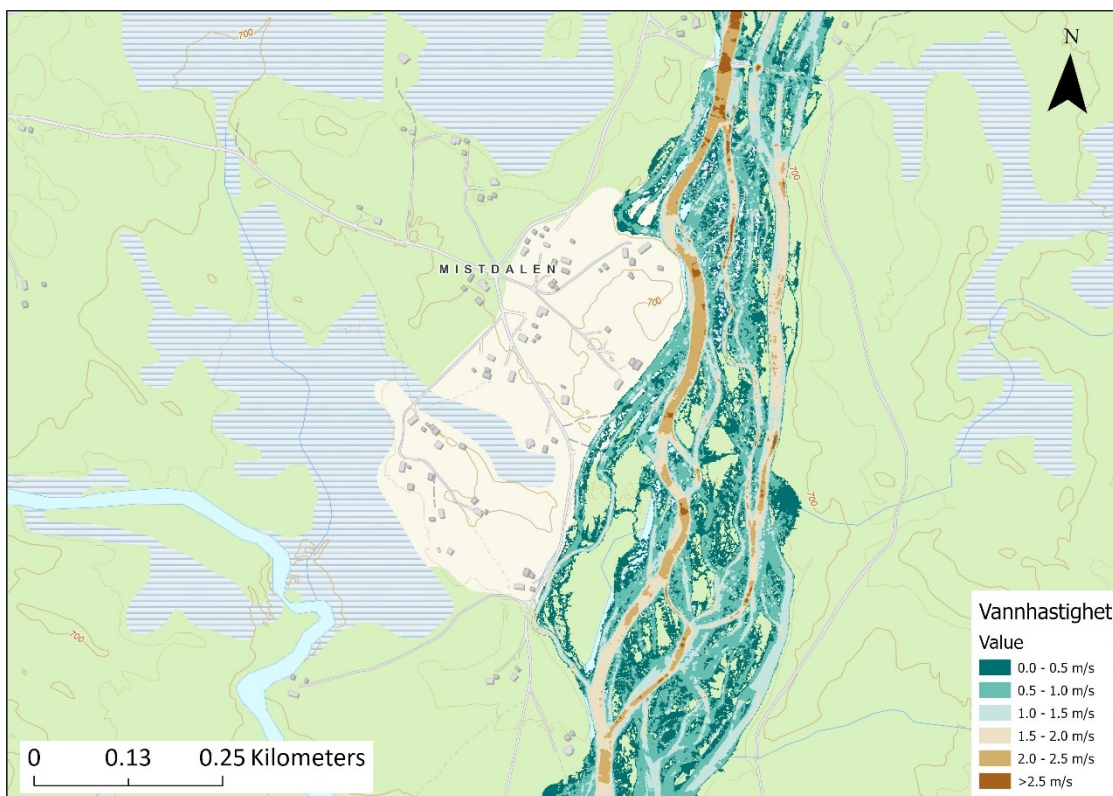
2 Resultat fra hydraulisk analyse

Elva Mistra har et nedbørfelt ved det aktuelle området på 184 km². Nedbørfeltet er dominert av snaufjell, myr og skog. Det ligger i et nedbørfattig område, noe som gjenspeiler seg i den lave avrenningen på 18,6 l/s km². Elva har sin opprinnelse i Neksjehøgda i nord og renner forbi det aktuelle området, ned mot Åkrestrømmen og videre ut i Storsjøen i sør.

Det er gjennomført en enkel modellering av de hydrauliske forholdene i elva. Dette er gjort for å danne seg et bilde av vannhastigheter og -dyp. Resultatet fra denne analysen viser at det, i det aktuelle området, ved en antatt 200-årsflom vil bli maksimale vanddyp og -hastighet på henholdsvis 1,1 m og 2,6 m/s, se Figur 2-1 og Figur 2-2. Disse beregningsresultatene vil ligge til grunn for den videre detaljeringen av sikringstiltak mot erosjon. For nærmere beskrivelse av modelleringene vises det til NGI (2021).



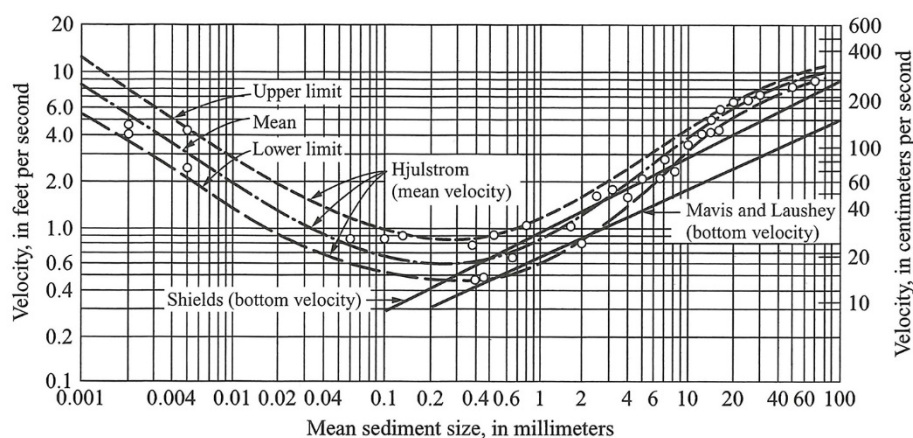
Figur 2-1 Modellert vannndyp ved en 200-årsflom.



Figur 2-2 Modellert vannhastighet ved en 200-årsflom.

3 Erosjon

Elveerosjon er prosessen knyttet til at elva graver og river med seg sedimentpartikler fra et sted og avsetter det et annet sted. Det som styrer hvor store partikler som kan eroderes er vannhastigheten med tilhørende skjærspenning som virker mot elvebunnen. Rent intuitivt skulle man anta at jo mindre en partikkel er, jo lettere er den å erodere. Derimot er det slik at på grunn av kohesive krefter mellom de minste partiklene, kreves det mer energi for å rive de fra hverandre. Resultatet av dette er at leire er vanskeligere å erodere enn silt og sand, se Figur 3-1. For dette aktuelle området er morenemateriale, med antatt stort innslag av silt og sand, og med vannhastigheter over 2 m/s, svært utsatt for erosjon.



Figur 3-1 Kritisk vannhastighet for erosjon for kvartssediment som en funksjon av gjennomsnittlig kornstørrelse (Vanoni, 2006). Kurven er basert på Hjulstrøms klassiske kurve (Hjulstrom, 1935).

4 Foreslått sikringstiltak

Som nevnt i NGI (2021), er erosjonsproblematikken i området todelt. Den ene delen omfatter undergraving av skråningsfoten forårsaket av elva. Den andre delen omfatter overflateerosjon i skråningen som følge av nedbør. Disse to problemstillingene må ses på under ett, men for ordens skyld blir metodikken for erosjonssikringen presentert i to underkapitler for begge tilfeller.

Løsningene som presenteres er "fullstendige" sikringer for hele det erosjonsutsatte strekket. Imidlertid, grunnet landskapsvernet og av økonomiske hensyn, anser NGI i samråd med statsforvalteren at det er mer hensiktsmessig å følge en stegvis tilnærming: Elvens underminering av skråningen er av en langsom karakter, slik at bygningene ved den vernede seteren, vurdert ut ifra tidligere erosjon og utvikling av elveløpet, ikke anses umiddelbart truet. Dermed haster det ikke å gjøre inngrep for å redde den vernede seteren, men man kan ta seg tid til å gradvis skalere opp erosjonssikringen for å holde inngrepene til et minimum, samtidig som man kan evaluere hvor godt hvert tiltak

fungerer. Den stegvise tilnærmingen vil presenteres etter kapitlene knyttet til erosjons-sikring for skråningsfoten og overflateerosjonen i elvemelen.

4.1 Erosjonssikring av skråningsfot

For å sikre mot erosjon langs skråningsfoten, vil det være nødvendig å sikre med solide materialer, fortrinnsvis stein. Dette vil også være en god løsning som kan være motstandsdyktig mot isgang i vassdraget. Før man setter i gang med en fullskala sikring av elvemelen, anbefales det å forsøke å dempe erosjonen lokalt med enkelte store steiner. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 4.3.

Under følger det en detaljert gjennomgang av fullverdige sikringsløsninger for elvemelen. I dette tilfellet anbefales det å anlegge et ordna steinlag, steinplastring eller en mer tradisjonell løsning med tømmerkister i malmet furu. En detaljert skisse av løsningene fremkommer av Figur 4-2 til Figur 4-5. Det viktigste å ta med seg fra de to førstnevnte løsningene er at man bør sikre 0,5 m over beregnet flomnivå, noe som i dette tilfellet er 1,5 m over elvebunn. I tillegg er det viktig at det anlegges en tilstrekkelig dyp og robust fotgrøft/sikringstå for å hindre undergraving av sikringstiltaket. En manglende slik sikring var nok mye av grunnen til at den opprinnelige løsningen ikke sto seg over tid. Det er også viktig å anlegge kantvegetasjon ned til normal vannstand (NVE, 2022). Dette er nærmere beskrevet i kapittel 4.2. For en detaljert innføring i hvordan man skal gjennomføre slike sikringstiltak, vises det til NVEs sikringshåndbok som man finner på sikringshandboka.nve.no.

4.1.1 Buner

Strømningsvisere, også kalt buner, er konstruksjoner som stikker ut i elva for å skyve strømmen bort fra det erosjonssutsatte området. Dette ble forsøkt gjennomført i 2000 (Bogen & Mobæk, 1998), men isgang har sannsynligvis ført til at tiltaket ikke sto seg over tid. Det anbefales derfor å legge ut buner av lokal stein, i stedet for tre, som vil styre strømningsretningen til elva mot øst (Figur 4-1). For å sikre at løsningen fungerer under flom, er det viktig at de bygges slik at bunen ligger høyere i terrenget enn dimensjonerende flomvannstand, samt at det benyttes tilstrekkelig stor stein slik at løsningen blir motstandsdyktig mot isgang. Steinene kan med fordel forankres i grunnen.



Figur 4-1 Buner laget av stein som styrer strømningsretningen til elva over mot motsatt bredd. Elva renner her fra venstre mot høyre (Fergus et al., 2010).

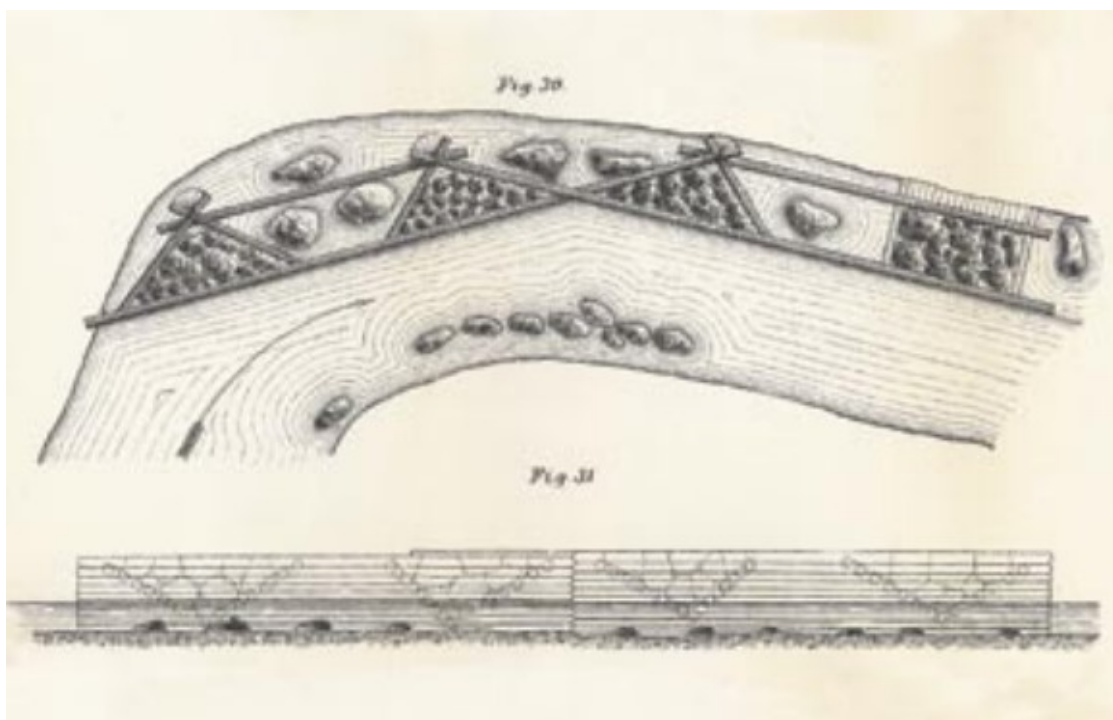
4.1.2 Tømmerkister

Det er i dag svært sjelden å anlegge nye tømmerforbygninger, og hovedsakelig er teknikken i dag benyttet rettet mot å rehabilitere gamle anlegg. For å få en løsning i det aktuelle området som står seg over tid, er det nødvendig å anlegge en konstruksjon som er mer robust enn den som ble anlagt i 2000. Her var ikke løsningen godt nok forankret i bunn eller i elvemelen, slik at den ble undergravd og skurt vekk av isgang over tid. For å få til en tømmerkisteløsning som står seg over tid, er det viktig å se på hva som er gjort i tidligere tider. I forbindelsen med fløtingen på 1800-tallet ble det flere steder i landet laget forbygninger i vassdrag for å lette tømmerfløtingen. Slike forbygninger fungerte samtidig som erosjonsbeskyttelse og strømningsstyrere. For å oppnå tilstrekkelig motstandsdyktighet mot terreng-, vann- og istrykk, ble de bygget med en front- og bakvegg som ble bundet sammen med tverrstokker anlagt vinkelrett på ytterveggen i en v-form. Disse ble så fylt med stor stein som igjen presset stikkene sammen. Hvis man bestemmer seg for å gå for en slik løsning, er det svært viktig at den forankres godt i elvebunnen.

Ideelt sett gjøres dette ved å forankre nederste stikk i fast fjell eller hardpakket morenematerialer. Førstnevnte er trolig ikke mulig å oppnå i det aktuelle området ved Mistra pga store løsmasseavsetninger, og således stor dybde til berg. Et alternativ er å anlegge en spuntvegg (med egnet materiale) som strekker seg godt under elvebunnen. Dette vil motvirke undergraving av tiltaket. Forbygningen må, som ved konvensjonelle stein-

løsninger, bygges så høyt at flomvann ikke kan overtoppe forbygningen. En utfordring for det aktuelle området vil være bredden på tiltaket. Det er anbefalt at løsningen er minimum to meter bred, noe som vil medføre at man må grave seg ytterligere inn i elvemelen.

Videre må det settes strenge krav til holdbarheten på trevirket som brukes i løsningen. Hovedsakelig betyr dette høy grad av kjerneved og tette årringer i ytterveden. Eksempel på dette er sentvoksende og malmrik furu, lerk, eik, alm og einer. Det er også essensielt at bearbeidingen av treverket blir gjennomført på riktig måte for å sikre lang levetid. Dette gjøres ved bruk av eggeverktøy som gir glatt overflate og dermed motvirker fuktopptak som vil bli forsterket ved bruk av sag. For nærmere beskrivelse av tiltaket vises det til NVE (2003).



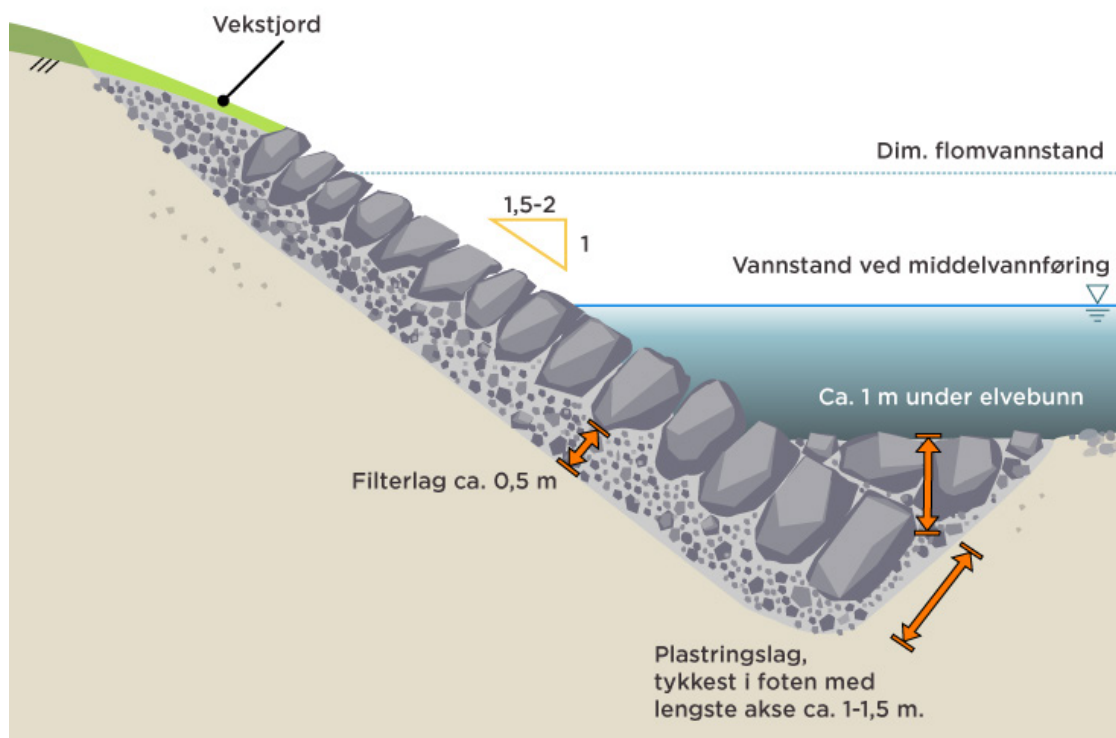
Figur 4-2 Eksempel på såkalt bukkeskjerm. Her har tømmerkistene en bunn med v-form som, når fylt med stein, effektivt presser sammen tømmerstokkene og på den måten gjør konstruksjonen motstandsdyktig mot terreng-, vann- og istrykk (NVE, 2003).



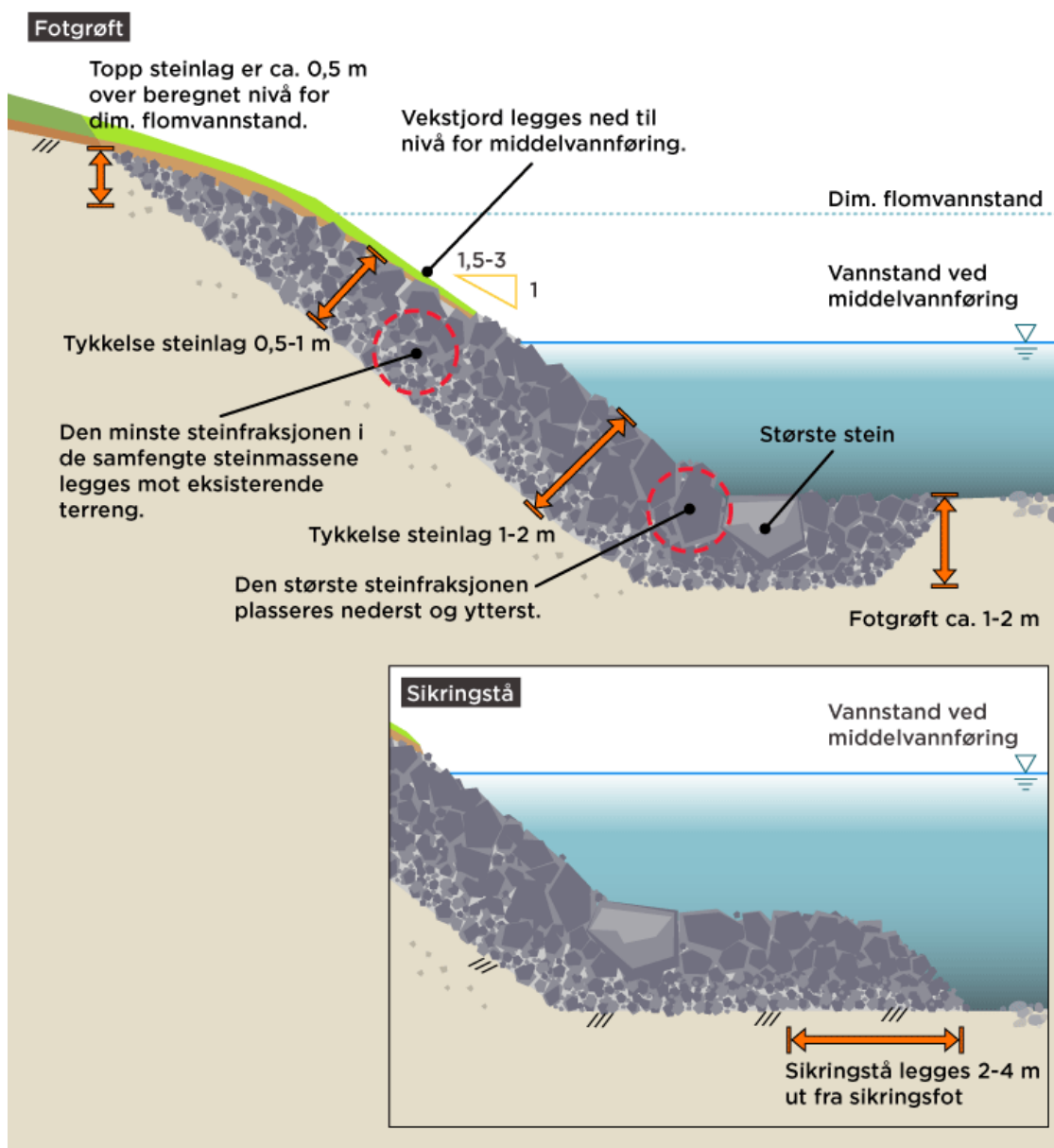
Figur 4-3 Modell av et element i en tømmerkisteforbygning (hentet fra: digitaltmuseum.no).

4.1.3 Steinplastring og ordnet steinlag

I Norge er det lange tradisjoner med å sikre elveløp med stein. De to vanligste metodene er steinplastring og ordnet steinlag. For å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot erosjon og isgang, er det viktig med riktig utførelse. En skisse på ferdig utført sikring fremkommer av Figur 4-4 og Figur 4-5. Under følger en nærmere beskrivelse av de forskjellige bestanddelene i sikringstiltaket.



Figur 4-4 Skisse som viser ferdig utført sikringstiltak med steinplastring (NVE, 2022).



Figur 4-5 Skisse som viser ferdig utført sikringstiltak med ordnet steinlag (NVE, 2022).

4.1.3.1 Dimensjonerende steinstørrelse

For å kunne designe erosjonssikring av skråningsfoten, er det nødvendig å først beregne steinstørrelse som skal brukes. Dette ble også gjort i NGI (2021), men det er her gjort en mer inngående analyse av vanddyp og strømningshastigheter. I henhold til Jenssen & Tesaker (2009) benyttes Maynard formel for å beregne steinstørrelse. Ved å benytte vanddyp på 1,1 m og lokal vannhastighet midlet over dybden på 1,9 m/s får man anbefalte steinstørrelser vist i Tabell 4-1. Det er i disse beregningene tatt høyde for hastighetsøkningen som oppstår i yttersving. Benevnningen $D_{30} = 0,3$ m, indikerer at 30% av massene skal kunne passere en sikt med kvadratiske åpninger med sidekanter lik 0,3 m.

Tabell 4-1 Beregnede dimensjonerende steinstørrelser for erosjonssikring av sideskråning.

Kornstørrelsefraksjon	Diameter stein [m]
D ₃₀	0,3
D ₅₀	0,36
D ₈₅	0,54
D _{maks}	0,73

Det er imidlertid kjent at det er betydelige utfordringer knyttet til isgang i vassdraget, og det er derfor anbefalt å legge på en sikkerhetsfaktor på steinstørrelsene for å ta høyde for påkjenninger fra is. Disse fremkommer fra Tabell 4-2. Disse steinstørrelsene er basert på at skråningen har en maksimal helning på 1:3. Øker man skråningshelningen, må man øke steinstørrelsen tilsvarende. For helning 1:1,5 må man multiplisere steinstørrelsene i Tabell 4-1 med 3 (Fergus et al., 2010). Videre er det viktig at disse steinstørrelsene blir benyttet i sikringens fulle høyde da isgang ofte virker noe høyere oppe på sikringen enn i vann.

Tabell 4-2 Beregnede dimensjonerende steinstørrelser for erosjonssikring av sideskråning med påslag for å ta høyde for isgang.

Kornstørrelsefraksjon	Diameter stein [m]
D ₃₀	0,45
D ₅₀	0,54
D ₈₅	0,82
D _{maks}	1,09

Tykkelsen på sikringslaget bør være minst like stor som største stein brukt i sikrings tiltaket, altså minimum 1,09 m. I tillegg anbefales det at sikringen legges ut med en maksimal skråningsvinkel på 1:2, helst 1:3 (NVE, 2022). I det aktuelle området kan dette medføre at man er nødt til å fjerne en del masser på toppen av skråningen for å gjøre den tilstrekkelig slak.

4.1.3.2 Filterlag

For å forhindre utvasking av finstoff bak sikringen må det benyttes et filterlag. Dette kan oppnås på to måter. Enten ved at man legger filterduk, eller at man lager et filterlag bestående av velgradert materiale som har større permeabilitet enn underlaget (eksisterende masser).

For sistnevnte er følgende kriterium definert for å sikre at det filterlaget er tilstrekkelig permeabelt: $D_{15f}/D_{15b} > 1,5$. Med andre ord må D_{15} for filterlaget ha en kornstørrelse 1,5 ganger så stor som D_{15} for de opprinnelige underliggende massene. For å sikre at filterlaget ikke blir vasket ut mellom det utenpåliggende sikringslaget må også forholdet mellom filterlag og sikringslag oppfylle $D_{15f}/D_{15b} > 1,5$ (Jenssen & Tesaker, 2009). For å fastsette kornstørrelsen til de opprinnelige løsmassene i området bør det enten tas en sikteprøve, eller gjøre et kvalifisert anslag.

Det vil være mulig å utforme filterlag ved hjelp av lokale masser. I så tilfelle bør det brukes sikt for å sikre korrekt kornfordeling. Det vil nok i så måte være både mer effektivt og kostnadsbesparende å benytte seg av en filterduk som man legger under sikringslaget. Dette er derimot ikke en naturbasert løsning, og vil kunne forringe naturverdiene i området noe.

4.1.3.3 Anskaffelse av bygningsmateriale

Ifølge NGU består massene i nærområdet av morene- og breelvavsetninger, hvorpå både blokker og stor stein er naturlige elementer, men de inngår da i velgraderte (usorterte) masser (NGU, 2016). En steinforbygning med sortert og stablet stein vil således være et fremmedelement. Ettersom sikringstiltaket vil være lokalisert i et landskapsvernområde, bør det derfor være en ambisjon å benytte seg av så lokale steiner og blokker som mulig. Dette vil være med på å begrense i hvor stor grad sikringstiltaket utgjør et fremmedelement. Det må imidlertid bekreftes ved f.eks. befaring at det lokalt eksisterer tilstrekkelige forekomster av blokker og stein som vil tilfredsstillere kravene til dimensjonering (se kap. 4.1.3.1).

Hvis det ikke er mulig å hente ut masser lokalt, enten pga. mangel på tilstrekkelig dimensjonerte blokker, eller av hensyn til vern av landskapet, kan det være aktuelt å frakte inn masser utenfra. Alternativene blir da enten å innhente samfengt sprengstein (velgradert) eller fortrinnsvis finne et passende uttak så nært Mistra som mulig, som da: 1) tilfredsstiller kravene til dimensjonering, og hvor 2) bergartene tilsvarer den lokale geologien ved Mistra. Alle aktuelle uttak bør befares mht. egnethet, og om nødvendig kan man utvide søkeområdet ([NGU ressurskart](#)). I tillegg til de nærliggende masseuttakene, er det sannsynligvis historisk sett blitt transportert blokker og stein nedstrøms for elvemelen, som muligens vil kunne tilfredsstillere kriteriene.

4.2 Revegetering av elvemel

Under befaringen 22.09.21 ble det observert at det ikke var noen tegn til etablering av ny vegetasjon i den blottlagte delen av skråningen. Den øvre halvdel av elvemelen virket til å være utsatt for erosjon gjennom stadige utrasinger ovenfra og dråpeerosjon som følge av regn. I nedre halvdel av melen var det lite oppsamling av utrast vegetasjonsdekke som følge av at elven eroderte og transporterte dette med seg videre (se Figur 4-6). Dette, kombinert med at skråningen er vendt mot nord(-øst), medfører at skråningen tilbyr dårlige vekstforhold for ny vegetasjon.

Som supplement til erosjonssikringen av skråningsfoten, foreslås det at man også begrenser ytterligere erosjon videre oppover i elvemelen. Dermed vil mindre av eienkommens seter rase ut, og ved å implementere en naturbasert løsning vil man kunne tidligere kamuflere "såret" sikringstiltaket vil utgjøre i landskapet. På grunn av vernestatusen i området er det naturlig at inngrepene utformes ved bruk av minst mulig mekaniske sikringsløsninger og at det prioriteres at naturlige elementer inngår som erosjonssikring.



Figur 4-6 Elvemelen under befaringen 22.09.21. Nordøst (høyre) og sørøst (venstre) på den lokale høyden vokser det fjelleiner, mens det vokser tepper av vier nede på elvesletten. Historiske flyfoto indikerer at fjelleineren har strekt seg over partiet som nå er erodert bort.

4.2.1 Mulige naturbaserte løsninger

Det finnes en mengde ulike naturbaserte løsninger for å forhindre erosjon og for å forbedre stabiliteten til skråninger. Noen løsninger som kan egne seg for elvemelen på Mistra er:

- kistevegg (eng. "crib wall"), se Figur 4-7,
- fullstendig eller delvis terrassering ved hjelp av palisadevegger, se Figur 4-8, faskiner (eng. "fascines"), se Figur 4-9, eller
- ulike varianter av lagermetoden (eng. "brush layering technique"), Figur 4-8-Figur 4-10.

I tillegg til disse, er det presentert en rekke andre mulige naturbaserte løsninger på nettsiden LaRiMiT (NGI, 2022). De aller fleste naturbaserte løsninger dimensjoneres typisk ikke i detalj mht. krefter og materialparametere, da det er store usikkerheter forbundet med naturlig variabilitet til materialet og kreftene som virker på konstruksjoner som er utsatt for erosjon. Følgelig utføres de fleste slike installasjoner med en praktisk og skjønnsmessig tilnærming.



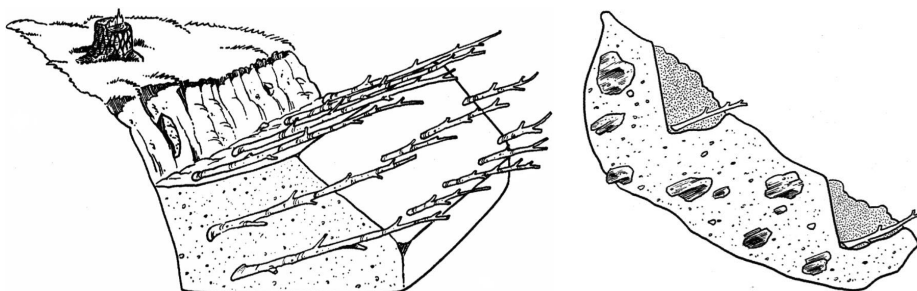
Figur 4-7 Kistevegg kan gjerne kombineres med beplantning av stiklinger, slik som på figurene. Vestre: Under installasjon. Høyre: Nyinstallert. (Bilder hentet: hvv. [venstre](#) og [høyre](#))



Figur 4-8 Venstre: Delvis terrassering vha. palisadevegg. Høyre: "modifisert lagermetode". (Bilder hentet fra (Rey et al., 2019))



Figur 4-9 Venstre: Rutenett med faskiner. Høyre: Lagermetoden ved graving og tilbakefylling av hele skjæringen forsterket med fibermatter (Bilder hentet hhv. [venstre](#) og [høyre](#))



Figur 4-10 Lagermetoden hhv.: ved graving og tilbakefylling av hele skjæringen (venstre), og ved graving av små terrasser (høyre). (Bilder hentet fra (Columbia Mountains Institute of Applied Ecology, 1999))

4.2.1.1 Foreslåtte løsninger

For en best tilpasning av naturmiljøet foreslår NGI en løsning hvor det forsøkes å tilbakeføre vegetasjon på haugen slik at man tilnærmer seg den opprinnelige floraen (se neste delkapittel). De foreslåtte løsningene vil være kombinasjoner av ulike elementer:

Alternativ 1:

Om en av steinforbygningsløsningene velges, kan det for å sikre en mer naturbasert løsning, installeres en kistevegg i tre bakom forbygningen som skal bidra til bestandighet mot is som potensielt presses over nedre del av sikringen ved isgang. Kisteveggen bør strekke seg 0,5m over vannivået ved 200-årsflom. Konstruksjonen bør forankres og man må være påpasselig med at bunnen utformes slik at den ikke blir utsatt for ev. undergraving. Innad i kisteveggen vil det legges rekker med stiklinger som stikker ut.

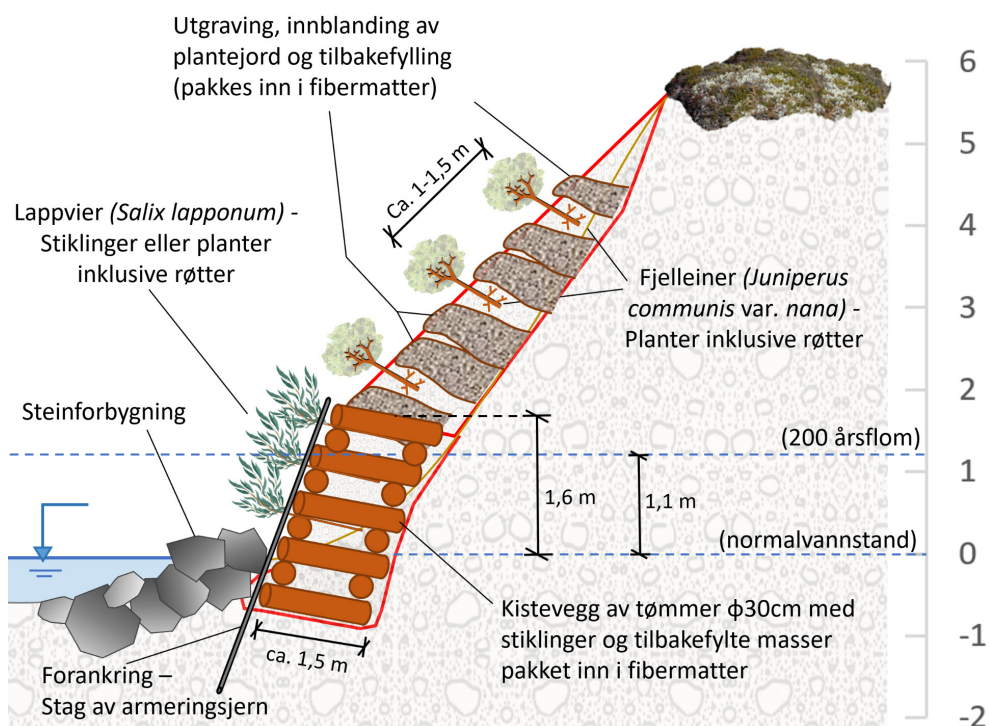
Alternativ 2:

Om sikringen av skråningsfoten blir tømmerkister, bør disse forankres ned i grunnen. Bunnen må utformes slik at den ikke blir utsatt for undergraving. Tømmerkisten bør bygges 0,5m over vannivået ved 200-årsflom, og fylles så med stein opp til randen.

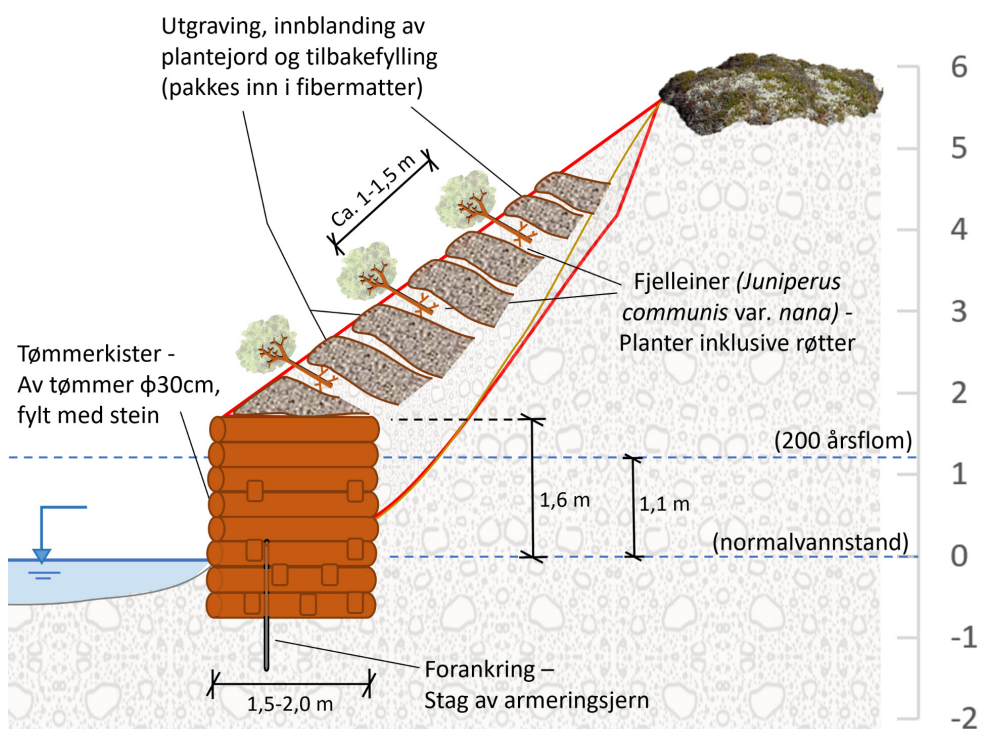
Felles for begge alternativer:

- Deretter vil toppen og baksiden av disse installasjonene tildekkes med løsmasser gravd ut fra skråningen, rørt om og blandet sammen med en andel tilført jord for bedre vekstvilkår.
- Det kan eventuelt vurderes om man kan tilsette frøblandinger med småvekster som er tilpasset floraen (lyngplanter), dersom dette eksisterer.
- Løsmassene pakkes inn i (nedbrytbare) fibermatter i flere etasjer.
- Rekker med stiklinger beplantes på tvers av skråningen (lagermetoden), mellom jordlagene som er forsterket med fibermatter.

Løsningene er illustrert i Figur 4-11 og Figur 4-12. Generelt vil det være fordelaktig å redusere slitasjen på området under etableringsfasen, hvor man forhindrer dyr (inkl. fugl) fra å beite, slik at skuddene til planter og frø ikke spises, eller planter trækkes ned. Dette bør håndteres inntil vegetasjonen er robust nok til å tåle slitasje, hvilket anslagsvis kan ta et par år.



Figur 4-11 Alternativ 1: Kistevegg og steinforbygning. Den spesifikke utformingen på steinforbygningen er ikke tatt hensyn til i prinsippskissen. Det bør også legges inn fibermatter for jordlagene i kisteveggen.



Figur 4-12 Alternativ 2: Tømmerkister med fylling og beplantning i skråningen.

Alternativ 3:

Om det ikke viser seg gjennomførbart å utføre sikringen på en mer naturbasert måte, er det mulig å gå for en konvensjonell sikring med stein (Figur 4-4 og Figur 4-5)

4.2.1.2 Byggematerialer

Beplantning

Haugen kan enkelt forklart deles opp i to karakteristiske biotoper, hvorav det nederste nivået i landskapet langs med elven kan betegnes som flomslette, og den øvre delen av elvemelen kan betegnes som lyng og fjellkratt. Det anbefales at man planter rekker med stiklinger av typen fjelleiner (*Juniperus communis* var. *nana*) i den øvre delen, tilsvarende som vekstmiljøet ellers på haugen; mens man kan plante den lokale planten lappvier (*Salix lapponum*) i nedre høydenivå, ettersom denne planten er mer robust mot oversvømmelse og generelt trives i fuktig miljø.

Einer er en plante som generelt kan være vanskelig å plante, men undersøkelser har vist at planting av stiklinger, først 1-2 år i potte, etterfulgt av beplantning i jorden kan være suksessfull (Broome, 2003). De fleste artene innen vierfamilien (*salix*) er allment kjent for å være enkle å plante ut ved bruk av stiklinger, hvor man typisk vil kunne lykkes selv ved direkte beplantning av stiklinger i jorden. Det tas forbehold for om dette også gjelder lappvieren da det ikke ble funnet noen litteratur om planting av denne.

Det må gjøres en forundersøkelse for å finne en leverandør som har kompetanse til å utføre arbeidet, om mulig med relevant erfaring, eksempelvis anleggsgartnere, gartnerier, eller lignende.

Fyllmasser

Da jorden i haugen er sterk sementert, med unntak av et tynt overliggende dekke med utraste masser, anbefales det at det graves litt inn i skråningen, hvorpå utgravde masser knuses opp, omrøres, og blandes med litt tilført plantejord før det benyttes som fyllmasser igjen i konstruksjonen.



Figur 4-13 Sementert og kompakt jord byr på utfordrende vekstforhold.

Frøblandinger

For såing av frø i det øvre sjiktet med jord, finnes det flere fremgangsmetoder. Det eksisterer blomstereng-frøblandinger kommersielt, som er tilpasset klimatisk og regionalt nivå i Norge, f.eks. for [Innlandet](#), utviklet av [NIBIO](#). Det er engplanter på seteren og enkelte steder ellers i området, men på haugen som vurderes er det kun lyng og einerkratt (Figur 4-6). Det bør derfor undersøkes om det finnes noen tilsvarende produkter for slike vekster. Importerte frøblandinger bør unngås, da bør man heller vente på naturlig tilvekst.

Statsforvalteren har informert NGI om at det utføres slått på seteren for å opprettholde/-bevare kulturlandskapet. Om slått utføres til riktig tid på sesongen, når flere av engplantene er frøsatt, vil høyet kunne benyttes direkte på elvemelen samtidig som man (helst) får blandet inn litt plantejord. Dette fremstår som det bedre av de nevnte alternativene.

Frøene, eller høyet bør innkapsles i fibermatter/erosjonsnett for å holde det på plass, nettet må da være stormasket og slippe inn tilstrekkelig med sollys.

Fibermatte / erosjonsnett

Fibermatten bør ikke være av en permanent art, men nedbrytbar og fortrinnsvis ikke importert langveisfra. I Norge har det tradisjonelt vært benyttet flere ulike planter til produksjon av fiber-/bastprodukter, eksempelvis: lind (*Tilia cordata*), lin (eng. "flax", *Linum usitatissimum*) og [hamp](#) (eng. "hemp", *Cannabis* var. *sativa*). Det meste av slik produksjon har vært en kombinasjon av import, og dyrking i et begrenset omfang. Andre fiberprodukter som er populære på markedet nå, men som ikke har blitt benyttet i tradisjonell norsk produksjon, er blant annet jute (*Corchorus*) eller kokosnøttfiber (*cocos nucifera*). Nedbrytningstiden for de ulike fibermattene varierer mye, så det anbefales at man undersøker dette før innkjøp og velger en passende type fiber, gjerne med 1-2 års levetid. Nettet bør helst være stormasket og slippe gjennom sollys, spesielt om det sås frø.

Det anbefales at man for sikringstiltaket ved Mistra prioriterer en tradisjonell produksjonsart i Norge for fibermatten om det er tilgjengelig på markedet. Derne, om materiale skal importeres, er det-, på samme vis som med plante- og såjord, nødvendig å forsikre seg om at materiale ikke inneholder uønskede sykdommer eller skadedyr/-mikroorganismer, dette er for øvrig leverandørs ansvar ([ref. mattilsynet](#)).

4.3 Stegvis tilnærming til erosjonssikring

Som tidligere nevnt haster det ikke å gjøre inngrep for å beskytte bygningene ved den vernede seteren. Ved å utføre erosjonssikring stegvis, vil man over tid kunne evaluere aspekter som:

- gjennomførbarheten til ulike løsninger på småskala-nivå, etterfulgt av eventuelle oppskaleringer (bestandighet til buner- og andre elementer, og overlevelse av beplantning);
- kostnad;

- omfang av inngrep (grad av "fremmedelement"); og
- effekt/ytelse mht. erosjonssikring

Buner og steiner

NGI anbefaler at man gjør noen innledende forsøk på å dempe erosjonen langs elvemelen før man iverksetter større tiltak. Dette kan gjøres ved at man legger ut store enkeltsteiner langs elvekanten med størrelse tilsvarende D_{maks} vist i Tabell 4-2. Det er her viktig at steinene blir plassert på en slik måte at de styrer strømmen over mot motsatt elvebredd. Figur 4-14 viser tentativ plassering på hvordan steinene kan plasseres. Det anbefales derimot at plasseringene blir vurdert og justert i forbindelse med utleggingen av steinene. På den måten kan man evaluere strømningsmønsteret fortløpende. Steinene må legges slik at lengste akse ligger parallelt med elvebunnen, og de må grunnes godt ned i elvebunnen slik at de blir forankret tilstrekkelig.

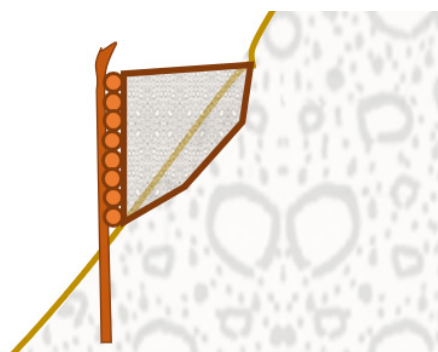


Figur 4-14 Tentativ plassering av steiner som innledende forsøk på utplassering av steiner som erosjonssikring.

Innledende forsøk på revegetering

Det er forventet at den naturlige revegeteringen av elvemelen vil være en langsom prosess, på grunn av den stadige erosjonen, hvorpå skråningstoppen vil slakes ut med tiden. Som et forsøk på å bevare/opprettholde så mye som mulig av skråningstoppen slik den er nå, anbefales det at man prøver å reetablere vegetasjonen ved hjelp av metoder typiske for naturbaserte løsninger. Lokaliteten er utfordrende og ingen av de tidligere nevnte metodene er forsøkt tidligere for slike planter, så det kan vise seg at gjennomførbareheten er dårlig. Det er dermed naturlig at man gjør noen innledende forsøk, for å evaluere hvor vidt løsningene er levedyktige.

Som innledende forsøk anbefales det derfor at man lager en 1,5-meters seksjon, i overkant av dagens gjerde, hvor man forsøker å bygge opp en terrasse, slik som i Figur 4-8. I forkant av seksjonen hamres det ned noen peler, hvorpå det bygges opp en vegg med horisontale greiner/stiklinger (av lokal vier) i bakkant, hvor plantejord blandes inn jorden i bakkant av veggen og man utformer en terrasse. Man kan så legge høy etter slåttonnen oppå terrassen, med noe overdekning som holder dette på plass (f.eks. fibermatter eller greiner), for å se hvordan det utvikler seg videre. Samtidig som man utformer en slik sikring, bør man forsøke å kultivere noen stiklinger av einer i potter, slik at man etter et til to år kan plante ut disse og se hvordan overlevelsesraten er.



Figur 4-15 Skisse av terrassering vha. palisadevegg av stiklinger.

Evaluerings, inkl. overvåking/oppfølging

For å kunne analysere om de midlertidige tiltakene har en effekt, bør det gjennomføres et laserskann av området før og etter tiltakene blir iverksatt. Videre bør området skannes etter at isen har gått på våren og eventuelt etter store nedbørhendelser med stor vannføring i vassdraget. På denne måten kan man danne seg et bedre bilde av hvordan området utvikler seg over tid, og dermed ha et bedre beslutningsgrunnlag for hvilke tiltak man eventuelt bør iverksette.

5 Vurdering av innvirkning på kulturlandskap og elvemiljø ved ulike aktiviteter



Alle inngrep vil medføre en forringelse av landskapet. Det bør gjøres en vurdering om fordelene knyttet til tiltaket er større enn ulempene det vil medføre. Hvordan elvas morfologi vil naturlig utvikle seg over tid, er umulig å forutsi.

Blokker, steiner og filtermateriale (grus og sand), som skal benyttes i tiltaket bør i tillegg til å tilfredsstille dimensjoneringskrav (kap. 4.1.3.1), være tilpasset grunnforholdene/-geologien på stedet. Det kan bli utfordrende å anskaffe stedegne masser som tilfredsstiller kravene til dimensjonering, og det kan være nødvendig å frakte inn materiale som ikke er lokal.

Sikringsløsningen bør ha en utforming som er forenlig med vernestatusen til området og lokalmiljø/landskap. Løsningen bør vektlegges å ha gode egenskaper mht. bestandighet, tilpasning til landskapet og lokalmiljøet, og effektiviteten ved installering. Flere forhold vil være avgjørende for suksessraten til tiltaket, slik som installasjon, jordsmonn (skrinn), lysforhold (dessverre ugunstig, nordvendt) og hydrologiske forhold (tørt, lite nedbør, men mot elv).

Det er vanskelig å anbefale en enkelt løsning i dette tilfellet. Det er klart at en konvensjonell løsning hvor man legger ut samfengt sprengstein hentet fra et steinbrudd i nærheten vil være det klart billigste og mest effektive tiltaket. Dette vil derimot kunne forringe natur- og kulturverdiene i området. Videre vil løsninger hvor man bruker lokal stein medføre ekstra arbeid knyttet til å finne og transportere stein til anleggsområdet. For løsningen med tømmerkister vil det å innhente håndverkerkompetanse og tilstrekkelige gode nok materialer være en utfordring. Felles for alle løsningene er at de vil kreve vedlikehold. Elvemiljøer er dynamiske system som utvikler seg over tid, og ingen sikringstiltak vil således noen gang være permanente vedlikeholdsfrie anlegg.

Da det ikke er en umiddelbar fare for bebyggelsen, anbefales det å først legge ut store steiner i elva for å se om dette kan endre strømningsmønsteret tilstrekkelig til at erosjonen blir begrenset. På den måten kan man over tid se hvordan området utvikler

seg, og om man trenger å iverksette ytterligere tiltak. Det anbefales også, om revegetering av skråningen anses aktuell ved senere anledning, at man gjør noen innledende forsøk i små skala for å vurdere levedyktigheten av eventuell beplantning i skråningen.

6 Referanser

- Bogen, T. J., & Mobæk, A. (1998). *Erosjonssikring mot Mistra i Misterdalen*.
- Broome, A. (2003). Growing Jupiter: Propagation and Establishment Practices. *Forestry Comission*.
https://www.researchgate.net/publication/267507172_Growing_Juniper_Propagation_and_Establishment_Practices
- Columbia Mountains Institute of Applied Ecology. (1999). *Proceedings of the Fourth Annual Roads, Rails and Environment Workshop: "Impacts and Solutions for Aquatic Ecosystems."*
<https://cmiae.org/wp-content/uploads/RRE41999-Proceedings.pdf>
- Fergus, T. Å., Hoseth, K. A., & Sæterbø, E. (2010). *Vassdragshåndboka: håndbok i vassdragsteknikk*. Norges vassdrags-og energidirektorat.
- Hjulstrom, F. (1935). Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river fyris, bulletin. *Geological Institute Upsala*, 25, 221–527.
- Jenssen, L., & Tesaker, E. (2009). *Veileder nr. 4 - Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein*. http://publikasjoner.nve.no/veileder/2009/veileder2009_04.pdf
- NGI. (2021). *20210578-01-TN Befaringsnotat med forslag til videre arbeid*.
- NGI. (2022). *LaRiMiT: Mitigation measures*. https://www.larimit.com/mitigation_measures
- NGU. (2016). *Hedmark fylke: Kvartærgeologisk kart i M 1:300 000 med beskrivelse*. ngu.no/upload/Publikasjoner/Kart/HedmarkFylkeKV.pdf
- NVE. (2003). *Faktaark - Tømmerkister*. https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2003/faktaark2003_12.pdf
- NVE. (2022). *Sikringshåndboka*. <https://sikringshandboka.nve.no/>
- Rey, F., Bifulco, C., Bischetti, G. B., Bourrier, F., De Cesare, G., Florineth, F., Graf, F., Marden, M., Mickovski, S. B., Phillips, C., Peklo, K., Poesen, J., Polster, D., Preti, F., Rauch, H. P., Raymond, P., Sangalli, P., Tardio, G., & Stokes, A. (2019). Soil and water bioengineering: Practice and research needs for reconciling natural hazard control and ecological restoration. *Science of The Total Environment*, 648, 1210–1218. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.08.217>
- Vanoni, V. A. (2006). *Sedimentation Engineering* (Classic Edition). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784408230>

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Anbefalt erosjonssikring av Mistra		Dokumentnr./Document no. 20210578-01-R
Dokumenttype/Type of document Rapport / Report	Oppdragsgiver/Client Statsforvalteren i Innlandet	Dato/Date 2022-08-31
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract NGI		Rev.nr.&dato/Rev.no.&date 0 /
Distribusjon/Distribution BEGRENSSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/Keywords NBS, Hydraulikk, Erosjonssikring		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Innlandet	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Rendalen	Feltnavn/Field name
Sted/Location Mistra	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: Øst: Nord:	Koordinater/Coordinates Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/ Self review by:	Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:
0	Originaldokument	2022-08-29 Hallvard Skrede / Ingar H. Steinholt	2022-08-30 Bjørn Kalsnes		

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 31. august 2022	Prosjektleder/Project Manager Ingar Haug Steinholt
--	-------------------------------------	--

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: GeoMiljø – Offshore energi – Naturfare – GeoData og teknologi

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Geotechnics and Environment – Offshore energy – Natural Hazards – GeoData and Technology.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

