



NOTAT EROSJONSVURDERING RAUMA, E136 FLATMARK – SKIRI FOR E136 FLATMARK – MARSTEIN

Nasjonal PlanID: 633101423

Nye Veier AS | Kjøita 6

4630 Kristiansand

nyeveier.no

Prosjekt nr.:	629042-06
Oppdragsgiver:	Nye Veier AS

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
00	29.09.2025	HMK/AV	MSL/AV	LIS/VN

Endringsoversikt

Revisjon	Endringsbeskrivelse
00	1. gangs innsendelse til Rauma kommune

Forord

På vegne av Nye Veier har Plan AAV utført en vurdering av erosjonssikring langs Rauma på strekningen E136 Flatmark-Skiri, i forbindelse med teknisk plan for E136 Flatmark-Marstein. Dimensjonering av erosjonssikring er basert på krav gitt i Statens vegvesens vegnormaler, samt veiledere og retningslinjer fra NVE og SVV. Dette notatet omfatter grunnlag, forutsetninger og resultater fra erosjonsvurderingen.

Kontaktinformasjon:

Fagansvarlig for hydrologi:

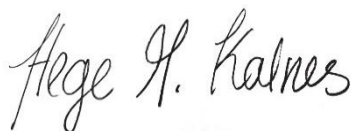
Asplan Viak, Hege Merete Kalnes, 94180886, hege.kalnes@asplanviak.no

Oppdragsleder Plan AAV:

ViaNova, Geir Syrtveit, 90886230, geir.syrtveit@vianova.no

Trondheim, 19.11.2024

Dato/Sted



Signatur av fagansvarlig hydrologi HEGE MERETE KALNES

Innhold

1	Sammendrag	5
2	Innledning.....	6
3	Bakgrunn for erosjonsvurdering Rauma ved Flatmark-Skiri	7
4	Forutsetninger, grunnlag og regelverk.....	8
4.1	Generelle forutsetninger	8
4.2	Grunnlag	8
4.3	Generelt om erosjonssikring og begreper	8
4.4	Krav til erosjonssikring	9
5	Erosjonsvurdering	12
5.1	Strømningssituasjon og belastninger	12
5.2	Utforming og type erosjonssikring	15
5.3	Dimensjonering av erosjonssikring	16
5.4	Filterlag	18
5.5	Oppsummering erosjonssikring.....	19
6	Konklusjoner og anbefalinger	21
7	Referanseliste.....	21

1 Sammendrag

I forbindelse med utarbeidelse av teknisk plan for strekningen E136 Flatmark - Marstein, er det sett på erosjonssikring av Raumas elvekant ved områdene Nordre Flatmark og Jetmundhølen. Både eksisterende og fremtidig veilinje ligger tett på elva i disse områdene, og det har tidligere oppstått problemer med erosjon. Problemet ligger tilsynelatende i manglende oppbygging av sikringslaget, hvor vann trenger inn i større hulrom mellom steinene og forårsaker utvasking av den underliggende veifyllingen.

Dimensjonering av erosjonssikring, dvs. beregning og bestemmelse av stabile steinstørrelser, tykkelser og graderinger, er utført i henhold til krav i SVVs Vegnormal N200, samt øvrige anbefalinger fra NVE. Dimensjoneringen tar utgangspunkt i resultater (dybder og vannhastigheter) fra tidligere utførte hydrauliske analyser av Rauma.

Det er ønskelig å bevare elvas estetiske uttrykk, samt å gjenbruke de eksisterende steinmassene i og langs elva (spesielt de større steinene) i den grad det er mulig. Det er derfor valgt å ta utgangspunkt at sikringen utføres med et **rauset steinlag**. For å hindre utvasking av underliggende terreng og veifylling, er det behov for et filterlag, hvor det er valgt å benytte **grusfilter**. Videre er det tatt utgangspunkt i at sikringen legges med en **maksimal skråningshelning på 1:1.5**.

Det er sett på steinstørrelser som kreves for å stå imot både dimensjonerende 200-årsflom som inkluderer 40% klimapåslag og 10% usikkerhetspåslag, samt 200-årsflom uten påslag. Beregningene viser at det er lite forskjell mellom de to flomsituasjonene mht. steinstørrelse, og derfor legges dimensjonerende flomvannføring til grunn.

En beskrivelse av anbefalt utforming og oppbygging av erosjonssikring er gitt i kapittel 5.5. Den totale tykkelsen på erosjonssikringen (sikring+filterlag) må være minimum **$t_{\text{tot}} = 1.2$ og 1.3 meter** ved henholdsvis Nordre Flatmark og Jetmundhølen. Videre må det anlegges en fotgrøft i bunnen av sikringen, for å unngå undergraving og senkning av elvebunnen, og denne bør gå ut i elva i en bredde på rundt **$B_{\text{fot}} = 2$ meter**.

Det er stedvis svært trangt om plassen ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen, og det er ønskelig å unngå betydelig utfylling i Raumas elveløp. I slike områder kan det være aktuelt å benytte mur i stedet, eller i kombinasjon med, den rausede sikringen.

Fokuset i dette arbeidet å finne minimumsdimensjoner på erosjonssikringen. Den kan imidlertid med fordel utføres med større stein enn det som er anbefalt for å få en mer ru overflate, og skråningen kan gjerne legges med slakere helning der det er mulig. I videre planlegging og prosjektering av sikringen bør det også sees nærmere på dens utforming i forhold til vannmiljø og fisk.

2 Innledning

Nye Veier AS ble opprettet av Stortinget i 2016 med mål om å oppnå en effektiv og helhetlig utbygging, drift og vedlikehold av trafikksikre riksveier. Stortinget har gitt Nye Veier mandat til å prioritere rekkefølgen på prosjektene ut ifra samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

E6 og E136 fra Otta til Vestnes er en del av hovedveiforbindelsen mellom Nord-Vestlandet og Østlandet. Nye Veier har denne veistrekningen i sin portefølje og arbeider nå med videre utvikling av strekningen og tiltak på denne. Prosjektet Flatmark-Marstein inngår som en del av dette arbeidet. I prosjektet inngår avklaring av aktuelt veiltak og utarbeidelse av reguleringsplan for veiltaket på strekningen.



Figur 2-1 Strekningen E136 Flatmark-Marstein.

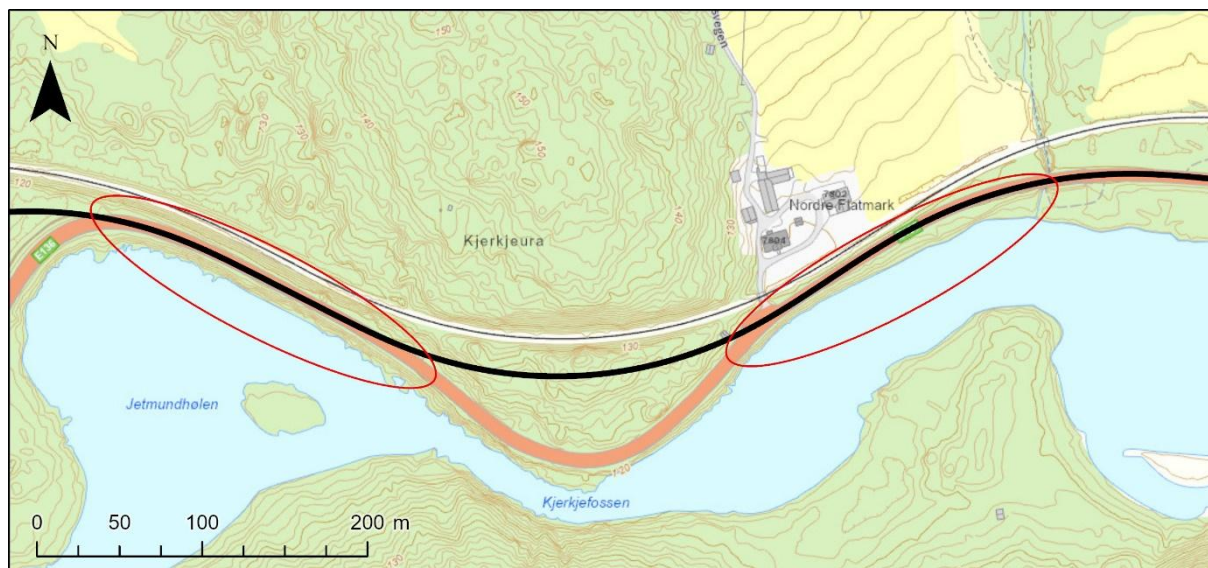
3 Bakgrunn for erosjonsvurdering Rauma ved Flatmark-Skiri

Det tekniske planarbeidet for strekningen E136 Flatmark-Marstein er i gang, hvor det nå arbeides med prosjektering av tekniske tiltak på strekningen.

I forbindelse med det tidligere planarbeidet har det blitt utført flere flomvurderinger av elva Rauma. Multiconsult kartla flom i Rauma på hele strekningen mellom Flatmark-Marstein i 2021, noe som viste at veien stort sett ligger flomsikkert til med unntak av et parti mellom Flatmark og Skiri. Som et grunnlag for videre løsningsutvikling, utførte Plan AAV mer detaljerte beregninger for Rauma mellom Flatmark og Skiri våren 2024. Fokuset i disse beregningene var imidlertid flomhøyder, og ikke erosjon.

Både dagens og planlagt veilinje ligger enkelte steder tett på Rauma, da hovedsakelig ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen – se Figur 3-1. I disse områdene har det også oppstått problemer med erosjon, hvor det har vært behov for både reasfaltering og skiftning av rekkverk. Det er anlagt relativt store stein langs veifyllingen mot Rauma i disse områdene, som tilsynelatende står godt imot vannkraftene. Problemet ligger derfor sannsynligvis i oppbyggingen av sikringen, hvor større hulrom mellom steinene gjør at vann trenger igjennom sikringslaget og gir utvasking og indre erosjon i veifyllingen.

Det er behov for å vite nødvendig sikringsomfang ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen, da det er trangt om plassen og ønskelig å berøre minst mulig av elveløpet til Rauma. Det er derfor gjort erosjonsberegninger til grunnlag for bestemmelse av steinstørrelser, tykkelser og oppbygging av sikringslaget i henhold til Statens Vegvesens krav. Dette notatet omhandler grunnlag, krav, forutsetninger og resultater fra erosjonsvurderingen.



Figur 3-1 Kart som viser ny veilinje (i svart) og erosjonsutsatte områder ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen.

4 Forutsetninger, grunnlag og regelverk

4.1 Generelle forutsetninger

Erosjonsvurderingen av Rauma ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen utføres for å avklare omfanget av erosjonssikring i forhold til krav i SVVs vegnormaler. Det er her forutsatt at sikringen utføres med steinmasser, men det kan også være relevant å bruke andre sikringsmetoder som tørrmur eller betong.

Dimensjonering av erosjonssikring utføres med utgangspunkt i krav i Statens vegvesens Vegnormal N200. I forhold til beregningsmetodikk og utforming av sikringen, som ikke er omfattet av SVVs krav, er det fulgt anbefalinger i SVVs Håndbok V221 *Grunnforsterkning, fyllinger* (2014) og NVEs *Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein* (4/2009).

4.2 Grunnlag

Erosjonsvurderingen tar utgangspunkt i beregnede vanndybder og hastigheter fra tidligere hydrauliske analyser som er utført for Rauma mellom Flatmark og Skiri (Plan AAV, 2024). Det er benyttet resultater fra analyser hvor ny veilinje er lagt inn i terrenget, med svært lik geometri som den endelige løsningen det er landet på.

4.3 Generelt om erosjonssikring og begreper

Det finnes flere ulike typer erosjonssikringer, hvor man skiller mellom erosjonssikring av elvekanten, elvebunnen og rundt konstruksjoner (lokal erosjon).

Erosjonssikring av utsatte elveskråninger utføres typisk med et dekklag av stein, hvor det i Norge er vanlig å bruke sprengt stein. Det kan også være aktuelt å benytte mur (tørrmur) og andre materialer enn stein, slik som tømmer, matter, gabioner (steinfylte nettingkurver), betongvegger eller spunt. Dette gjelder hovedsakelig der det er svært trangt om plassen, og det ikke er tilstrekkelig areal til å oppnå en stabil skråning av løsmasser.

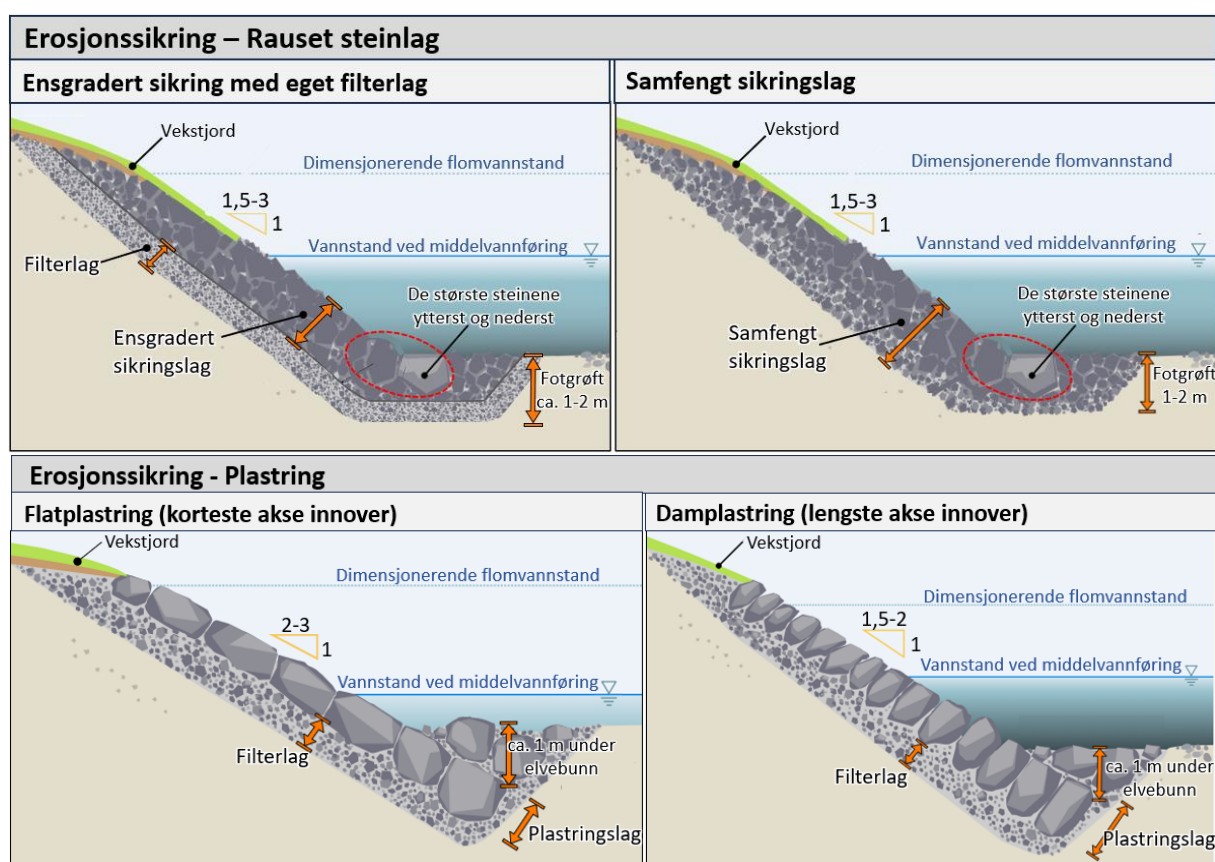
Erosjonssikringer av stein kan deles inn i to hovedtyper:

- Erosjonssikring i form av rauset steinlag
 - Sikringslaget består av stein med forskjellige størrelser og utforminger. Steinmassene legges ut rauset, men de største steinene bør plasseres ytterst og nederst og man skal unngå store hulrom.
 - Det rausede steinlaget kan utformes med ensgraderte masser eller samfengte (velgraderte) masser.
- Erosjonssikring i form av plastring
 - Sikringslaget består av større steinblokker med lik størrelse og kubisk form. Steinene legges i ordna lag, lignende en mur.
 - Plastringen kan utformes som flatplastring (korteste akse innover) eller damplastring (lengste akse innover).

For å hindre at finstoff i underlaget vaskes ut mellom steinene i sikringslaget, er det behov for et filterlag. Filteret kan bestå av løsmasser (grusfilter) eller syntetiske materialer

(geotekstil). Rausede sikringer av samfengt masse fungerer som sikring og filter i ett, og det er ikke behov for et eget filterlag. Erfaringsmessig har man imidlertid mindre kontroll på fraksjonene i en samfengt masse, og det kan inneholde mye finstoff. Tykkelsen på sikringen bør derfor økes i forhold til minstekrav for å hindre utvasking av underlaget. Videre er det sjeldent at samfengte masser oppfyller filterkriterier (som bla. er gitt krav til i SVVs vegnormaler – se kapittel 4.4).

De forskjellige sikringstypene av stein er illustrert i Figur 4-1. Sidesikringer skal utføres med fotgrøft for å hindre undergraving og senkning av elvebunnen. Alternativt kan det benyttes en sikringstå som legges over elvebunnen, men dette krever at en del av tverrsnittet til elveløpet fylles opp.



Figur 4-1 Prinsippskisser for erosjonssikring av stein som sidesikring i elver. Det kan alternativt benyttes geotekstil i stedet for skissert filterlag, og sikringstå i stedet for fotgrøft. Skissene er basert på figurer i NVEs Sikringshåndbok.

4.4 Krav til erosjonssikring

Krav til erosjonssikring er omfattet i Statens vegvesen Vegnormal N200 Vegbygging (2024), kapittel 2. En oppsummering av kravene er gitt under.

4.4.1 Krav til dimensjonerende flomvannføring

Erosjonssikringen skal bestemmes ut fra strømningsforholdene som opptrer ved *dimensjonerende flomvannføring*. I forbindelse med tidligere flomvurderinger, er denne

satt til 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag og 10% usikkerhetspåslag. I forhold til høyden på veien er det søkt om dispensasjon fra dette kravet, slik at veien ligger over 200-års flomnivå (uten noen påslag). Det er imidlertid ønskelig at erosjonssikringen fremdeles dimensjoneres iht. krav, med mindre dette medfører store inngrep i elveløpet til Rauma. Det er følgelig gjort erosjonsberegninger med utgangspunkt i dybder og hastigheter som opptrer både under dimensjonerende flomvannføring og 200-årsflom uten noen påslag.

4.4.2 Krav til skråningshelning (KRAV 1.12.1-2)

I skråninger av stein skal skråningshelningen **ikke være brattere enn 1:1,5**.

4.4.3 Krav til stabil steinstørrelse (KRAV 2.5.1-3)

Der det benyttes stein til erosjonssikring, skal det beregnes en kritisk steinstørrelse som gir påbegynnende erosjon ved dimensjonerende flom. Denne kritiske steinstørrelsen skal multipliseres med en **sikkerhetsfaktor på minimum $SF_D = 1,2$** for beregning av stabil steinstørrelse.

4.4.4 Krav til sikringstykkelse (KRAV 2.9.2-2)

Sikringslag av stein skal ha en minimum tykkelse ($t_{min,s}$) som oppfyller følgende krav:

- $t_{min,s} \geq 300 \text{ mm}$ $t_{min,s} \geq D_{maks,s}$ $t_{min,s} \geq 1,5 \cdot D_{50,s}$

Det anbefales å øke tykkelsen dersom sikringen belastes av krefter fra drivgods og/eller drivis. For moderat belastning anbefales en tykkelse på minimum 400 mm, mens ved stor belastning anbefales det å øke tykkelsen med ytterligere 150-300 mm. Steinstørrelsen skal da økes tilsvarende.

4.4.5 Krav til gradering (KRAV 2.9.2-3)

Steinmaterialets gradering skal oppfylle følgende:

- $1,5 \leq D_{85,s}/D_{15,s} \leq 7$

4.4.6 Krav til sikringsmateriale (KRAV 2.9.2-6)

Is i vannstrømmen kan øke belastningen på erosjonssikringen. For elver som islegges eller er utsatt for isgang, skal det derfor benyttes **sprengt stein** som sikringsmasse.

4.4.7 Krav til filterlag og geotekstil

Behov for filter av stein eller geotekstil skal vurderes. Det kan også være relevant med begge deler, der det er vanskelig å oppnå krav til graderinger i forhold til underlaget.

4.4.7.1 Krav til filterlag av stein (KRAV 2.9.2 - 6 til -10)

Ved filterlag av stein skal lagets tykkelse oppfylle følgende krav:

- $T_{min,f} \geq 150 \text{ mm}$ $t_{min,f} \geq 4 \cdot D_{50,f}$

Dersom filterlaget legges under vann, skal tykkelsen økes med 50% for å ta hensyn til utvasking av masser under utleggingen.

Graderingen av filtermateriale (f) og underlag (u) skal oppfylle følgende krav:

- Utvasking av filtermateriale mellom lag: $D_{5,f} \geq 0.063 \text{ mm}$
- Permeabilitet ved grunnvannspåvirkning: $D_{15,f} / D_{15,u} \geq 5$
- Permeabilitet uten grunnvannspåvirkning: $D_{15,f} / D_{15,u} \geq 1.5$
- Grenseflatestabilitet: $D_{15,f} / D_{85,u} \leq 5$
- Indre stabilitet i filter: $D_{60,f} / D_{10,f} \leq 10$

Dersom kravene til gradering ikke oppnås med ett enkelt filterlag, skal det brukes flere lag. Hvert filterlag skal i så fall ha en tykkelse på minimum 100 mm, og kravene skal oppfylles mellom hvert lag. Tykkelsen på hvert lag skal også økes med 50% dersom de legges under vann.

4.4.7.2 Krav til filter av geotekstil (KRAV 2.9.2 – 11 til -15)

Ved bruk av geotekstil/fiberduk som filtermateriale, skal tykkelsen av sikringslaget ($t_{\min,s}$) økes med 10%.

Geotekstilens karakteristiske poreåpning (O_{90}) skal oppfylle følgende krav i forhold til underlaget:

- Finkornige friksjonsarter (stilt, sandig silt og finsand):
 - Silt: $O_{90} < D_{90,u}$
 - Sandig silt og finsand: $O_{90} < 10 \cdot D_{50,u}$ og $O_{90} < 2 \cdot D_{90,u}$
- Friksjonsjordarter (grovsand, grus):
 - Ved hurtig varierende strømming: $O_{90} < D_{50,u}$
 - Ved gradvis varierende eller uniform strømming: $O_{90} < D_{90,u}$

For kohesive jordarter (leire og leirig silt) skal geotekstilen ta hensyn til påvirkning fra vannstrømming ut av underlaget, og følgende krav skal oppfylles:

- Ved liten vannstrømming ut av underlaget ($i_s < 5$): $O_{90} \leq 0.20 \text{ mm}$
- Ved betydelig vannstrømming ut av underlaget ($i_s > 5$): $O_{90} < D_{90,u}$

For å hindre oppbygging av poretrykk, skal følgende krav i forhold til filterdukens og underlagets permeabilitet (k_f og k_u) og koeffisient for geotekstilet (M) oppfylles:

- $k_f / k_u \geq M$ ($M = 10$ for vevet geotekstil og $M = 50$ for filtet geotekstil)

I tillegg til disse kravene skal filterduken:

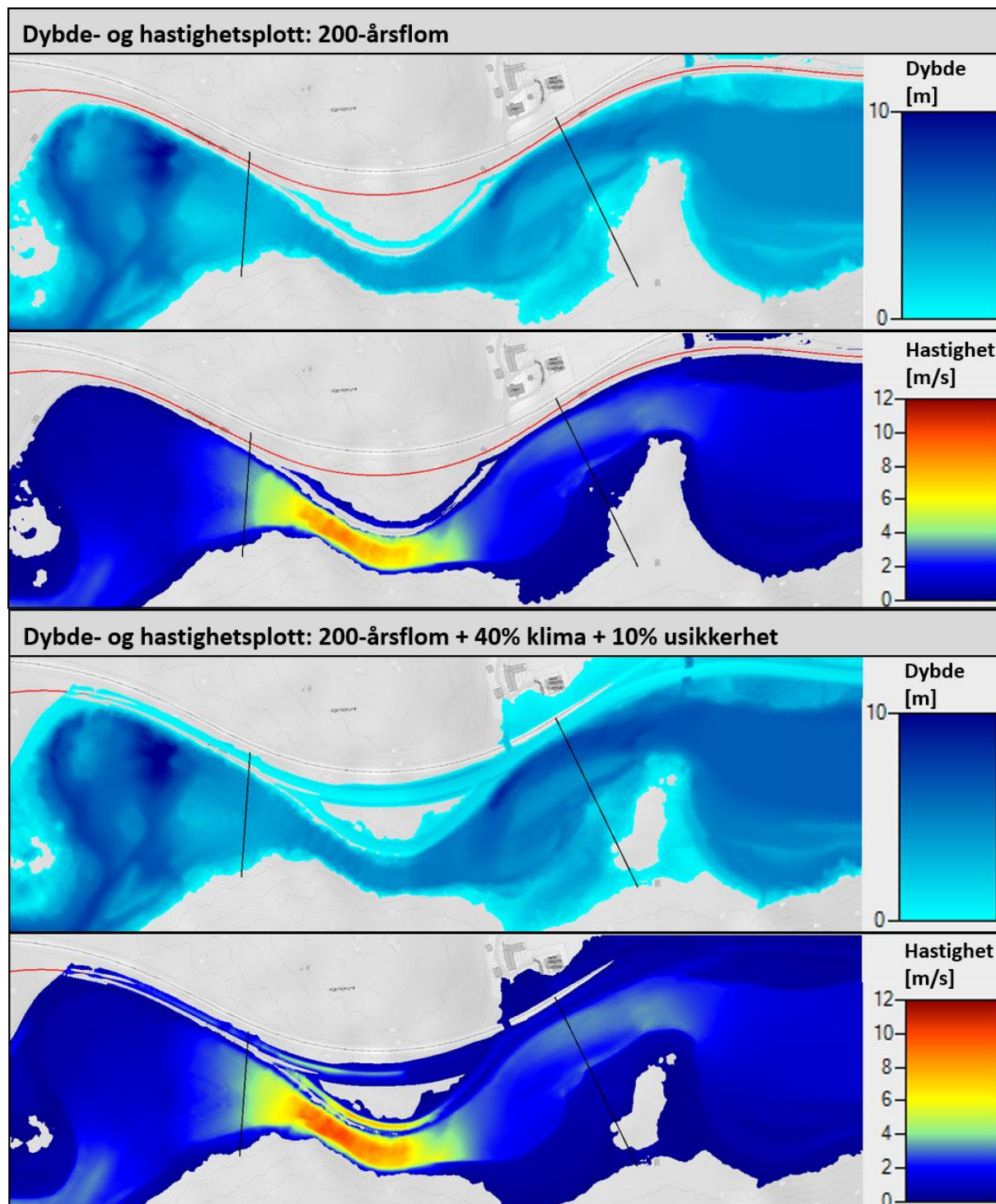
- ha stor nok poreåpning og andel åpent areal som mulig etter krav til sikkerhet mot utvasking og krav til permeabilitet er oppfylt
- motstå slitasje og skader ved utlegging
- ha høyeste mulig bruksklasse som tilfredsstiller kravene til sikkerhet mot utvasking og krav til permeabilitet
- ikke utsettes for direkte trafikkbelastning
- ikke legges i flere lag eller med unødig mye overlapp (min 50 cm, maks 100 cm)

5 Erosjonsvurdering

5.1 Strømningssituasjon og belastninger

5.1.1 Dybder og vannhastigheter

Beregnete dybder og vannhastigheter ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen fra tidligere hydrauliske analyser (Plan AAV, 2024) er vist i Figur 5-1.

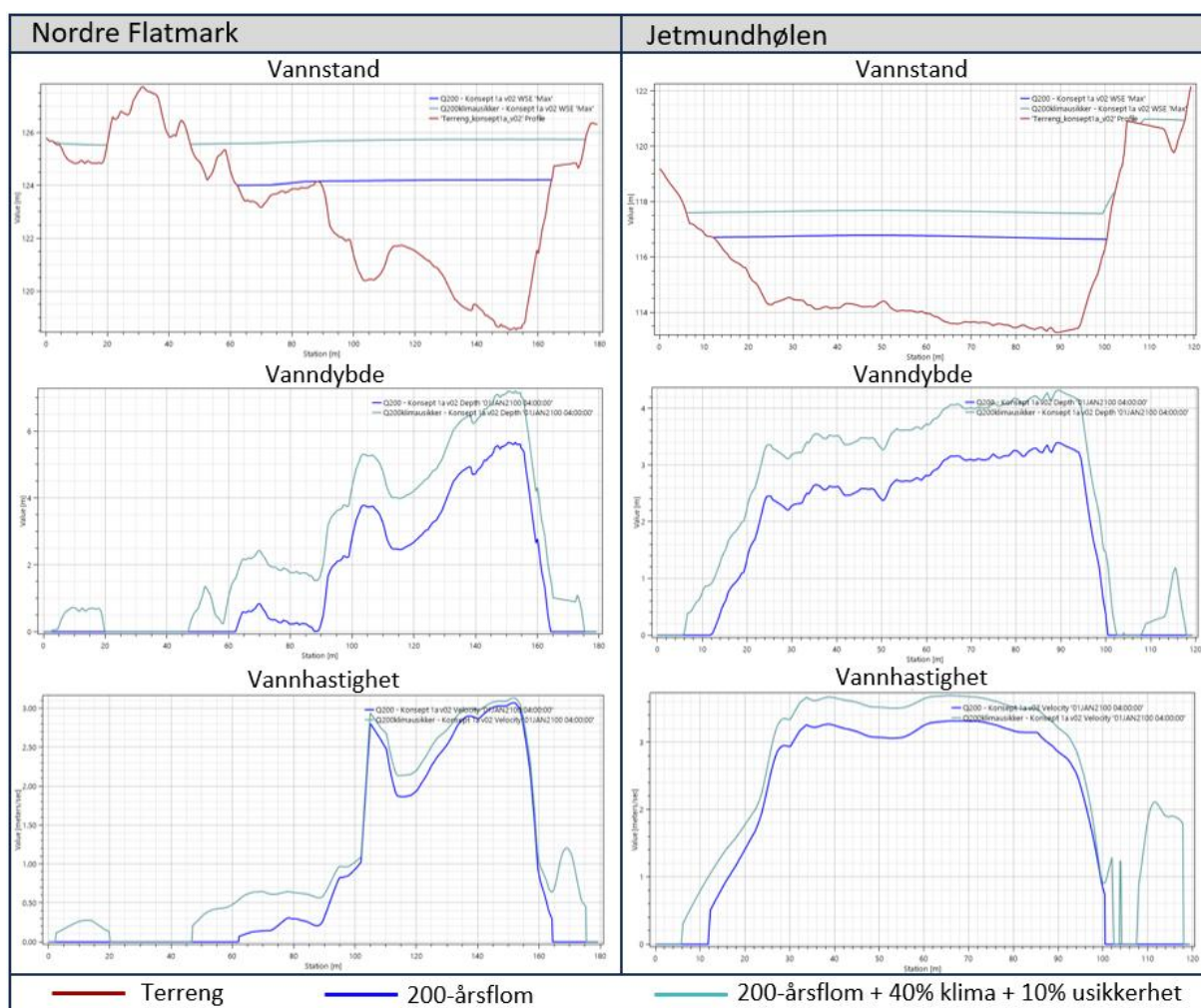


Figur 5-1 Dybde- og hastighetsplott fra tidligere hydrauliske analyser (Plan AAV, 2024).

Man kan se at de største vannhastighetene opptrer i et brattere og smalere parti av Rauma mellom Nordre Flatmark og Jetmundhølen. Den nye veilinja er lagt lengre unna dette partiet, og er følgelig mindre utsatt. Det er imidlertid nokså store vannhastigheter mot elvekanten i svingen mot Nordre Flatmark, og rett nedstrøms det bratte partiet ved Jetmundhølen. I selve kulpen avtar hastighetene, men det vil være turbulente understrømmer som ikke fanges opp i modelleringen.

Erosjonspotensialet er størst der de største vannhastighetene opptrer. Det er valgt å hente ut tverrsnitts-plott for de to lokasjonene hvor vannhastighetene er størst mot ny veifylling ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen. Lokasjonen til tverrsnittene er vist med svart linje i Figur 5-1, mens beregnet vannlinje, dybder og hastigheter i tverrsnittene er vist i Figur 5-2. Hastighetene mot veifyllinga er rundt 3 til 3.5 m/s.

Plottene viser at vanndybdene er betydelig større under den dimensjonerende 200-årsflommen som inkluderer klima- og usikkerhetspåslag. Dette gjelder til dels også vannhastigheter, men ikke i like stor grad. Spesielt i de flatere delene av elven hvor man har underkritisk strømming, som ved Nordre Flatmark, har økningen i vannføring mindre effekt på vannhastighetene.



Figur 5-2 Profiler som viser beregnet vannlinje, dybde og hastighet i utvalgte tverrsnitt hvor vannhastighet er størst mot ny veifylling ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen.

5.1.2 Isforhold

Rauma pleier å bli islagt i de kaldeste vintermånedene (se bilder i Figur 5-3), og det er noe varierende fra år til år hvor tykt islaget blir. Videre har det oppstått ispropper i elva, men ikke av en slik karakter som har ført til større oppdemming med påfølgende oversvømmelser.

Isgang kan føre til stor belastning på erosjonssikringer, i form av skuring og i visse tilfeller direkte kontakttrykk. Ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen er det ikke oppdaget typiske skader som følge av ispåskjenning på dagens erosjonssikring, og det kan antas at belastningen fra is ikke er spesielt stor i disse områdene.



Figur 5-3 Bilder fra befarings 20.01.2023 som viser en delvis islagt Rauma elv.

5.2 Utforming og type erosjonssikring

Dimensjonering av erosjonssikring, i form av beregning og bestemmelse av stabile steinstørrelser, tykkelser og graderinger, avhenger i stor grad av *hvilken* type sikring det er snakk om og dens utforming. Den eksisterende sikringen er vist i Figur 5-4.

Det er ønskelig å bevare elvas estetiske uttrykk, og det er derfor valgt å ta utgangspunkt i sikring med **rauset stein**. Siden det er vanskelig å oppnå SVVs krav til filterkriterier ved bruk av samfengte masser, er det valgt å ha et **ensgradert sikringslag med et eget filterlag**. Geotekstil er erfaringsmessig vanskelig å legge under vann, og det er derfor tatt utgangspunkt i at det benyttes et **grusfilter**.

For sikringer som er påvirket av isgang, er det i utgangspunktet krav til at det skal benyttes sprengt stein som sikringsmasse. Det er imidlertid ønskelig å **gjenbruke de eksisterende sikringsmassene** (i hvertfall de større steinene) i den nye sikringen, både med hensyn til estetikk og vannmiljø. Disse har kanskje ikke like skarpe kanter som «nysprengt» stein, men er vurdert til å være tilstrekkelig skarpkantet i forhold til stabilitet av skråningen. Videre er det ikke forventet at belastningen fra is ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen er betydelig, og gjenbruk av dagens sikringsmasser ansees derfor ikke å være i strid med SVVs krav til sikringsmateriale.

Skråningshelningen skal ikke være brattere enn 1:1,5 iht. SVVs krav. Dagens skråning ligger stort sett på rundt 1:1,5, og enkelte steder slakere (1:2) der veien ligger noe lengre unna elva. I utgangspunktet anbefaler NVE at skråningen ikke bør være brattere enn 1:2 når sikringen kan bli påvirket av is og/eller det benyttes rundere stein. Det er her tatt utgangspunkt i en **sidehelning på 1:1,5** for å spare mest mulig plass, men det anbefales å benytte slakest mulig helning der det er mulig.



Figur 5-4 Bilder fra befaring 09.10.2024 som viser eksisterende erosjonssikring ved Nordre Flatmark (øverst) og Jetmundhølen (nederst).

5.3 Dimensjonering av erosjonssikring

Beregning av stabil steinstørrelse er utført etter NVEs *Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein* (4/2009) og SVVs Håndbok V221 *Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger* (2014).

Rauma har en slak helning ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen. Beregninger av stabil steinstørrelse i elva er derfor utført ved bruk av Maynords formel;

$$D_{30} = S_f \cdot C_s \cdot C_v \cdot C_t \cdot y_0 \cdot \left[\left(\frac{1}{s-1} \right) \cdot \frac{U}{\sqrt{K_1 \cdot g \cdot y_0}} \right]^{2.5}$$

Hvor

D_{30} = stabil steinstørrelse [m]

S_f = sikkerhetsfaktor [-]

C_s = stabilitetskoeffisient [-]

C_v = koeffisient for vertikal hastighetsfordeling [-]

C_t = koeffisient for sikringstykkelse [-]

y_0 = vanndybde på samme sted som U [m]

s = steines spesifikke tetthet (antatt lik 2.)

U = lokal hastighet midlet over dybden [m/s]

K_1 = koeffisient for skråningshelning [-]

g = tyngdens akselerasjon (9.81 m²/s)

Beregning av den stabile steinstørrelsen utføres med utgangspunkt i vanndybden og -hastigheten som opptrer i ett *punkt* i elva. Det er her benyttet dybde- og hastighetsprofilene vist i Figur 5-2, og det punktet mot veifyllingen hvor den største hastigheten opptrer. Som profilene viser, er dette helt i bunn av elva rett før skråningen begynner.

Øvrige fraksjoner i sikringslaget bestemmes fra den stabile steinstørrelsen, i forhold til SVVs krav og med bakgrunn i at det skal benyttes ensgraderte masser. Sikringstykkelsen bestemmes ut ifra fraksjonen, samt minimumskrav. Det er her valgt å øke minimumstykkelsen til 400 mm (og ikke «standard» 300 mm), med bakgrunn i at man kan få moderat belastning fra isflak.

5.3.1 Dimensjonering Nordre Flatmark

Grunnlag for og beregning av stabil steinstørrelse i sidesikring ved Nordre Flatmark ved bruk av Maynords formel er gitt i Tabell 5-1.

Man kan se at vannhastigheten er nokså lik ved 200-årsflom (Q_{200}) og 200-årsflom inkl. klima- og usikkerhetspåslag ($Q_{dim,200}$), noe som resulterer i minimale forskjeller i stabil steinstørrelse. Det er derfor valgt å benytte en steinstørrelse som står imot den dimensjonerende flomvannføringen som inkluderer påslag.

Anbefalt gradering og tykkelse på sikringslaget, basert på beregnet stabil steinstørrelse, er oppgitt i Tabell 5-2.

Tabell 5-1 Beregning av stabil steinstørrelse i sidesikring ved Nordre Flatmark.

Parameter			Verdi		Kommentar
Sikkerhetsfaktor	S _f	[-]	1.2		Krav i N200
Sideskråning (1:n)	n	[-]	1.5		Maks helning ift. krav i N200
Kurveradius	R	[m]	150		Målt fra kart
Bredde av hovedløp	W	[m]	82		Målt fra kart
Relativ radius	R/W	[-]	2		Radius delt på bredde av hovedløp
Stabilitetskoeffisient	C _s	[-]	0.34		Benytter C _s for noe kantet stein
Koeffisient for vert. hast. fordeling	C _v	[-]	1.23		Bestemt vha. formel.
Koeffisient for sikringstykkelse	C _t	[-]	1.00		Tykkelse = største av D _{maks} og 1.5xD ₅₀
Spesifikk tetthet	s	[-]	2.60		Tetthet = 2600 kg/m ³
Koeffisient for skråningshelning	K ₁	[-]	0.71		Bestemmes vha. formel
Flomhendelse			Q ₂₀₀	Q _{dim,200}	
Vannhastighet i punkt	U	[m/s]	3.1	3.2	Lokal hastighet i punkt
Vabbdybde i punkt	y ₀	[m]	5.6	7.1	Dybde i samme punkt som U
Stabil steinstørrelse side	D _{30 side}	[m]	0.27	0.28	Beregnet med Maynords formel

Tabell 5-2 Anbefalt gradering og tykkelse på sidesikring ved Nordre Flatmark.

Parameter	Verdi	Kommentar
Bestemt D_{30} D_{30} [mm]	300	Rundet opp til nærmeste 5 cm
Bestemt D_{50} D_{50} [mm]	400	$D_{50} = 1.33 \cdot D_{30}$
Anbefalt korngradering	D_{min} [mm]	250
	D_{15} [mm]	270
	D_{50} [mm]	400
	D_{85} [mm]	600
	D_{maks} [mm]	750
Minimum sikringstykkelse t_{min} [mm]	750	$t \geq 400 \text{ mm}, t \geq 1.5 \cdot D_{50}, t \geq D_{maks}$

5.3.2 Dimensjonering Jetmundhølen

Grunnlag for og beregning av stabil steinstørrelse i sidesikring ved Jetmundhølen ved bruk av Maynords formel er gitt i Tabell 5-3.

Det er noe større forskjell i vannhastighet ved 200-årsflom (Q_{200}) 200-årsflom inkl. klima- og usikkerhetspåslag ($Q_{dim,200}$) sammenlignet med Nordre Flatmark, men forskjellen er fortsatt liten. Med bakgrunn i dette, er det valgt å benytte en steinstørrelse som står imot den dimensjonerende flomvannføringen som inkluderer påslag også her.

Anbefalt gradering og tykkelse på sikringslaget, basert på beregnet stabil steinstørrelse, er oppgitt i Tabell 5-2.

Tabell 5-3 Beregning av stabil steinstørrelse i sidesikring ved Jetmundhølen.

Parameter	Verdi	Kommentar
Sikkerhetsfaktor S_f [-]	1.2	Krav i N200
Sideskråning (1:n) n [-]	1.5	Maks helning ift. krav i N200
Kurveradius R [m]	120	Målt fra kart
Bredde av hovedløp W [m]	70	Målt fra kart
Relativ radius R/W [-]	1,7	Radius delt på bredde av hovedløp
Stabilitetskoeffisient C_s [-]	0.34	Benytter C_s for noe kantet stein
Koeffisient for vert. hast. fordeling C_v [-]	1.24	Bestemt vha. formel.
Koeffisient for sikringstykkelse C_t [-]	1.00	Tykkelse = største av D_{maks} og $1.5 \times D_{50}$
Spesifikk tetthet s [-]	2.60	Tetthet = 2600 kg/m ³
Koeffisient for skråningshelning K_1 [-]	0.71	Bestemmes vha. formel
Flomhendelse	Q₂₀₀ Q_{dim,200}	
Vannhastighet i punkt U [m/s]	3.1	3.5 Lokal hastighet i punkt
Vabbdybde i punkt y_0 [m]	3.2	4.2 Dybde i samme punkt som U
Stabil steinstørrelse side $D_{30 \text{ side}}$ [m]	0.33	0.39 Beregnet med Maynords formel

Tabell 5-4 Anbefalt gradering og tykkelse på sidesikring ved Jetmundhølen.

Parameter	Verdi	Kommentar
Bestemt D_{30} D_{30} [mm]	400	Rundet opp til nærmeste 5 cm
Bestemt D_{50} D_{50} [mm]	500	$D_{50} = 1.25 \cdot D_{30}$
Anbefalt korngradering	D_{min} [mm]	350
	D_{15} [mm]	370
	D_{50} [mm]	500
	D_{85} [mm]	700
	D_{maks} [mm]	850
Minimum sikringstykkelse t_{min} [mm]	850	$t \geq 400 \text{ mm}$, $t \geq 1.5 \cdot D_{50}$, $t \geq D_{maks}$

5.4 Filterlag

For å beskytte det underliggende terrenget og veifyllingen mot utvasking av finstoff gjennom sikringslaget, er det behov for et filter. Det er her valgt å benytte et grusfilter, med bakgrunn i at geotekstil er erfaringsmessig vanskelig å plassere ut under vann.

Filterlaget må oppnå de forskjellige kravene til grenseflatestabilitet og permeabilitet mot underlaget gitt i Vegnormal N200. Det er her tatt utgangspunkt i at underlaget består av typiske fyllingsmasser for vei, som har fraksjoner mellom 0-120 mm. Videre er det valgt å benytte samme filterlag ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen.

Filteret skal være noe ensgradert og oppfylle krav til indre stabilitet ($D_{60,f} / D_{10,f} \leq 10$). Det er anbefalt at filteret har en kornstørrelse på 20-250 mm. Maksimal og minimal steinstørrelse er valgt for å oppfylle krav til grenseflatestabilitet mellom filter-, sikrings- og underlag ($D_{15,d} / D_{85,f}$ og $D_{15,f} / D_{85,u} < 5$). Med en slik størrelse oppnår man også en parallell graderingskurve på sikring- og filterlag, noe som vil hindre fine partikler i å vandre til

grovere lag. Også krav til permeabilitet mellom lagene ($D_{15,d}/D_{15,f}$ og $D_{15,f}/D_{15,u} > 5$) er oppfylt med en slik korngradering.

Tykkelsen på laget skal være minimum 150 mm eller $4 \cdot D_{50,f}$ i henhold til Vegnormal N200. Videre vil filterlaget, i hvert fall i den nedre delen av sikringen som ligger i elva, sannsynligvis legges under vann. Følgelig må tykkelsen økes med 50%. Med graderingen beskrevet over får man en $D_{50,f}$ på rundt 75 mm, og med en 50% økning i tykkelsen ender man opp med en lagtykkelse på rundt 450 mm.

En oppsummering av anbefalinger for filterlaget er gitt i Tabell 5-5.

Tabell 5-5 Beskrivelse av filterlag som oppfyller krav i SVVs vegnormal N200.

Parametere	Beskrivelse	Kommentar / krav
Anbefalt gradering	20 - 250 mm	Relativt ensgradert, $D_{60,f} / D_{10,f} \leq 10$, $D_{50,f} \sim 75$ mm
Lagtykkelse	450 mm	Bestemt fra $D_{50,f}$ og økt med 50% pga. utlegging under vann

5.5 Oppsummering erosjonssikring

En oppsummering av anbefalt erosjonssikring ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen er gitt i Tabell 5-6. Steinstørrelser og tykkelser er dimensjonert for å kunne stå imot dimensjonerende 200-årsflom som inkluderer 40% klimapåslag og 10% usikkerhetspåslag. Beregningene tar utgangspunkt i en maksimal skråningshelning på 1:1.5, men det anbefales å anlegge skråningen slakere der det er mulig. Videre kan det gjerne benyttes større stein enn det som er oppgitt, spesielt dersom eksisterende steinmasser langs elva gjenbrukes, for å skape en mer grov overflate.

Det er tatt utgangspunkt i at det benyttes en fotgrøft i enden av sidesikringen, fremfor en sikringstå som vil ta mer plass. Det er ikke noen faste anbefalinger på bredden til fotgrøften, men typisk benyttes en bredde som er omtrentlig det dobbelte av sikringstykkelsen.

Tabell 5-6 Oppsummering av anbefalt erosjonssikring ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen, med minimumsverdier for steinstørrelser og tykkelser.

Parameter			Nordre Flatmark	Jetmundhølen
Type sikring			Rauset steinlag med ensgradert sikringslag og eget filterlag (grusfilter)	
Maksimal sideskråning (1:n)			1.5	
Sikringslag	Gradering	$D_{min,s}$ [mm]	250	350
		$D_{50,s}$ [mm]	400	500
		$D_{maks,s}$ [mm]	750	850
	Tykkelse	t_s [mm]	750	850
Filterlag	Gradering	$D_{min,f}$ [mm]	20	
		$D_{50,f}$ [mm]	~ 75	
		$D_{maks,f}$ [mm]	250	
	Tykkelse	t_f [mm]	450	
Total sikringstykkelse			1 200	1 300
Bredde fotgrøft			ca. 2 meter	

Høyden på sikringen skal i utgangspunktet settes ut ifra dimensjonerende flomvannstand, hvor NVE anbefaler at toppen av steinlaget bør ligge ca. 0.5 meter over det dimensjonerende nivået. Dette vil imidlertid ikke være mulig ved Nordre Flatmark, siden veibanen kun ligger flomsikkert til i forhold til 200-årsflom (uten påslag for klima og usikkerhet). Her bør derfor sikringen strekkes så langt opp mot veibanen som mulig. Ved Jetmundhølen ligger veibanen imidlertid en del over dimensjonerende vannstand (ved 200-årsflom +40% klima og 10% usikkerhet). Topp steinlag trenger derfor ikke nødvendigvis å strekkes helt opp til veibanen her.

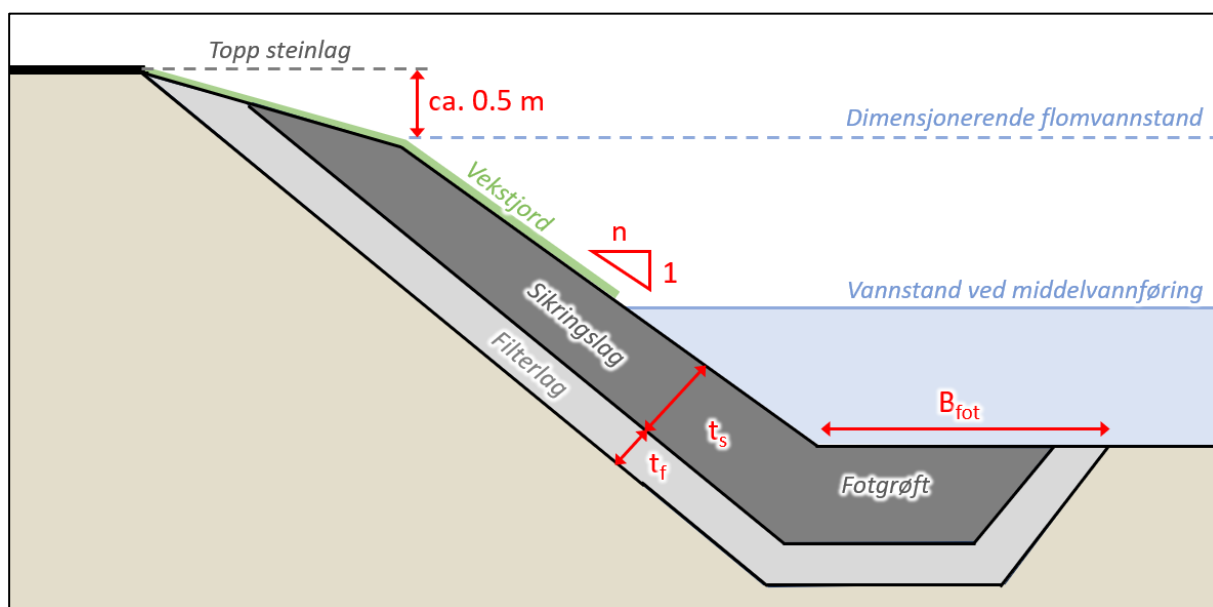
Det bør legges et vegetasjonsdekke over den øvre delen av sikringen, omtrentlig fra middelvannstand og oppover. Dette vil bidra til å øke skråningens stabilitet, og gjøre den mindre sårbar for overflateerosjon. Erfaring viser at kokosmatter eller kokosnett med beplantning gir svært gode vilkår for revegetering.

Omtrentlige høyder man må forholde seg til er oppsummert i Tabell 5-7.

Tabell 5-7 Omtrentlige høyder man må forholde seg til ift. erosjonssikring v/ Nordre Flatmark og Jetmundhølen.

Parameter		Nordre Flatmark	Jetmundhølen
Flomvannstand	Q ₂₀₀	124.5 moh.	116.5 moh.
	Q _{dim,200} (+40% og 10%)	126.0 moh.	117.5 moh.
Topp steinlag		ved veibane	minimum 118 moh.
Vannstand ved middelvannføring		ca. 120.4 moh.	ca. 112.1 moh.
Bunn vekstlag		ca. 120.4 moh.	ca. 112.1 moh.

En prinsipptegning for sidesikring av rauset stein med ensgradert sikringslag og eget filterlag er vist i Figur 5-5, med annotering av begreper og symbolikk.



Figur 5-5 Prinsipptegning for sidesikring av rauset stein med ensgradert sikringslag og eget filterlag (grusfilter).

6 Konklusjoner og anbefalinger

Erosjonsvurderingen av Rauma, viser at sidesikringen i elva for å beskytte ny E136 mot erosjon ved Nordre Flatmark og Jetmundhølen må ha en total tykkelse på henholdsvis 1.2 og 1.3 meter for å oppnå krav i SVVs Vegnormal N200. Dette er under forutsetningen at det benyttes en rausede steinmasser, og en maksimal skråningshelning på 1:1.5. I tillegg vil det være behov for en fotgrøft som må gå ca. 2 meter ut i elveløpet.

Det anbefales å gå for en slik løsning i den grad det er mulig, da dette ivaretar det estetiske uttrykket til elva og tillater blant annet gjenbruk av eksisterende stein langs og i elveløpet. Det er imidlertid ønskelig å unngå betydelig utfylling i Raumas elveløp, og det er enkelte områder hvor det er svært trangt om plassen. I slike områder kan det være aktuelt å benytte mur i stedet, eller i kombinasjon med, den rausede sikringen.

Fokuset i dette arbeidet har vært å finne minimumsdimensjoner på erosjonssikringen. Sikringen kan med fordel utføres med større stein enn det som er anbefalt for å få en mer ru overflate, og skråningen kan gjerne legges med slakere helning der det er mulig. I videre planlegging og prosjektering av sikringen bør det også sees nærmere på dens utforming i forhold til vannmiljø og fisk.

7 Referanseliste

- **Multiconsult** (2021). *Rapport - Flomsonekartlegging E136 Flatmark-Marstein*. Dokument ID: 10211466-RiVass-RAP-01. Versjon 2, datert 22.06.2021.
- **NVE** (2009). *Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein*. Veileder 4/2009.
- **NVE** (2024). *Sikringshåndboka*. Digital versjon.
- **Plan AAV** (2024). *Notat – Flomvurdering Rauma, E136 Flatmark-Skiri*. Versjon 01, datert 08.05.2024.
- **SVV** (2014). *Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger*. Håndbok V221.
- **SVV** (2024). *Vegbygging*. Vegnormal N200. Digital versjon.