

Rapport



Oppdragsgiver	Navn Måna Elveeigarlag SA	Kontaktperson Joakim Kristiansen
Oppdrag	Nummer og navn 24750 Rauma – Restaureringstiltak Måna	Oppdragsleder Ragnhild Hammeren
Dokument	Nummer 24750-01-1 Utført av Ragnhild Hammeren, Lars Staver Eid	Dato 2026-01-30 Kontrollert av Lars Staver Eid, Ragnhild Hammeren

Versjon	Dato	Utført	Kontroll	Beskrivelse
1	2026-01-30	LSE/RH	HR/LSE	For bruk
0	2026-01-22	LSE/RH	RH/LSE	Utkast til gjennomlesning

Dimensjonering av erosjonssikring og hydraulisk verifikasjon av restaureringstiltak i Månavassdraget

Sammendrag

Skred AS bistår Måna Elveierforening og NORCE i planlegging av et restaureringsprosjekt i elva Måna i Rauma Kommune. Det skal reetableres et rundt 640 m langt sideløp av elva, for bedring av økologiske forhold i vassdraget. Skred AS er engasjert for dimensjonering av nødvendig erosjonssikring, og bistår med hydraulisk verifikasjon av tiltakenes effekt under ulike vannføringer. Som del av arbeidene har vi gitt innspill til nødvendig geometri av utgravinger og flomvoller.

Det er satt krav til erosjonssikring for ulike partier. Flomvoller langs sideløpet erosjonssikres av typen «*ordna steinlag*», etter bestemmelser i NVEs digitale Sikringshåndbok. Det etterstrebes gjenbruk av stedlige grove masser, blant annet fra avgraving av eksisterende elveforbygning.

Ved inntaket til sideløpet etableres en ledebune mot hovedløpet, denne vil være utsatt for betydelige erosjonskrefter og må utformes som «*plastring*», der stein låses i forband. For plastring av bunnen må det trolig tilkjøres egnet plastringsstein eksternt.

Behov for erosjonssikring av to høyspentmaster langs åpningen av sideløpet er vurdert. Det øverste mastepunktet sikres av en ledevoll langs sideløpet. Det kan fortsatt renne noe vann i terrenget mot mastepunktet ved ekstreme flommer, men med lave hastigheter og dybder og uten potensiale for erosjonsskader.

Det nederste mastepunktet ligger akkurat utenfor modellert oversvømt område ved 200-årsflom inkl. klimapåslag. Selv om det likevel skulle stå vann her vil det være lave hastigheter og dybder, og det vurderes ikke behov for egne erosjonssikringstiltak her.

Sikkerhet mot kvikkleireskred er vurdert av underleverandør ERA Geo AS og funnet tilstrekkelig for dette prosjektet ettersom tiltaksområdet er for slakt og flatt til at det kan oppstå kvikkleireskred. Sikkerhet er ivaretatt iht. NVE-veileder 1/2019.

Innhold

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Mål	5
1.3	Prosjektområdet	5
1.4	Forbehold	6
2	Beskrivelse av vassdrag og tiltak	7
2.1	Eksisterende situasjon	7
2.2	Planlagte tiltak	8
2.3	Grunnforhold	10
3	Hydrologiske og hydrauliske vurderinger	11
3.1	Hydrologiske premisser	11
3.2	Hydrauliske premisser	11
3.3	Sedimenttransport og -avsetninger	14
4	Beskrivelse av utførelse av tiltak	16
4.1	Generelt	16
4.2	Tiltak i øvre del av sideløpet (pel 0 – 250)	16
4.2.1	Innløp med voll/bune, utgraving av kanal	17
4.2.2	Flomsikring mastepunkt høyspentlinje	19
4.2.3	Tilpasninger av traktorvei	19
4.2.4	Splitt i sideløp	19
4.3	Tiltak midtre del (pel 300-530)	21
4.3.1	Kryssing turvei, fjerning av bru	21
4.3.2	Flomvoll og utgraving for utvidelse av profil	22
4.3.3	Flomslette	22
4.3.4	Erosjonssikkerhet for mastepunkt	23
4.4	Nedre del: pel 530-640	24
4.4.1	Flomvoll langs dyrka mark mot vest	24
4.4.2	Utgraving for utløp	25
5	Dimensjonering av erosjonssikring og flomvoller	26
5.1	Dimensjonerende flomsituasjon	26
5.2	Ustrekning og høyde av flomvoller	26
5.3	Oppbygging flomvoller	26
5.4	Valg av type erosjonssikring	27
5.5	Erosjonssikring voller – ordna steinlag	27
5.5.1	Stabil steinstørrelse iht. Maynords formel	27
5.5.2	Ustrekning	29
5.5.3	Filterlag	29
5.5.4	Utførelse	29

5.6	Erosjonssikring bune ved inntak - plastring	30
5.6.1	Krav til plastringssstein.....	30
5.6.2	Utførelse plastring av bune	31
5.7	Øvrige føringer for utførelse	33
6	Vurdering av sikkerhet mot kvikkleire.....	34
7	Drift og vedlikehold av tiltak.....	35
8	Påvirkning på omliggende områder	36
9	Referanser	38
10	Vedlegg	39
Vedlegg A.	Hydrologiske og vassdragshydrauliske beregninger	40
Vedlegg B.	Oversiktstegning tiltak.....	41
Vedlegg C.	Vurdering av sikkerhet mot kvikkleireskred	42

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Måna Elveeigarlag arbeider med restaurering av Månavassdraget, hvor blant annet et sideløp ved Skeide åpnes. De økologiske premissene for restaureringen er fastsatt av NORCE, se egen rapport. Når sideløpet åpnes, havner eksisterende erosjonssikring mellom hovedløpet og sideløpet og må derfor flyttes for å fortsatt gi tilstrekkelig sikkerhet for dyrket mark innenfor sideløpet. I tillegg skal det sikres tilstrekkelig sikkerhet mot erosjon for høyspentmaster i området.

Skred AS er bedt om å bistå med dimensjonering og valg av erosjonssikring, og hydraulisk verifikasjon av tiltakene. Som del av arbeidene har vi etablert terrengmodeller for utgraving av sideløp og nødvendig omfang av flomvoller for at sideløpet skal ha ønsket funksjon og ikke gi økt ulempe på omliggende områder.

1.2 Mål

Miljømål for tiltaket er fastsatt av NORCE, se egen rapport.

Vår del av oppdraget omfatter dimensjonering av erosjonssikring og hydraulisk verifikasjon. Siden tiltaket skal gi tilstrekkelig sikkerhet for dyrket mark og høyspentmaster, utføres flomberegningen i henhold til krav i TEK 17 § 7-2 for sikkerhetsklasse med tilhørende årlig sannsynlighet: F1 (1/20) og F2 (1/200). Erosjonssikringen dimensjoneres etter NVEs Sikringshåndboka (NVE, 2026).

1.3 Prosjektområdet

Prosjektområdet ligger ved Skeide i Måndalen, vest for Åndalsnes i Rauma kommune. Beliggenheten til kartleggingsområdet er vist på Figur 1.



Figur 1: Beliggenheten til prosjektområdet, i Måndalen i Rauma kommune.

1.4 Forbehold

Vurderinger er gjort ut fra terreng og vegetasjon slik det fremsto på vurderingstidspunktet. Hvis terreng eller vegetasjon endres betydelig, kan det ha betydning for flomforholdene. Det kan innbefatte fysiske endringer i vassdraget eller endring i klimaframskrivninger. Da anbefales det å utføre en ny vurdering.

Kartleggingsområdet ligger under marin grense der marin avsetning og kvikkleire potensielt kan forekomme.

Informasjon om tidligere flomhendelser er viktige for vurderingene. Dersom det kommer mer informasjon om tidligere hendelser, bør det tas med i betraktningene.

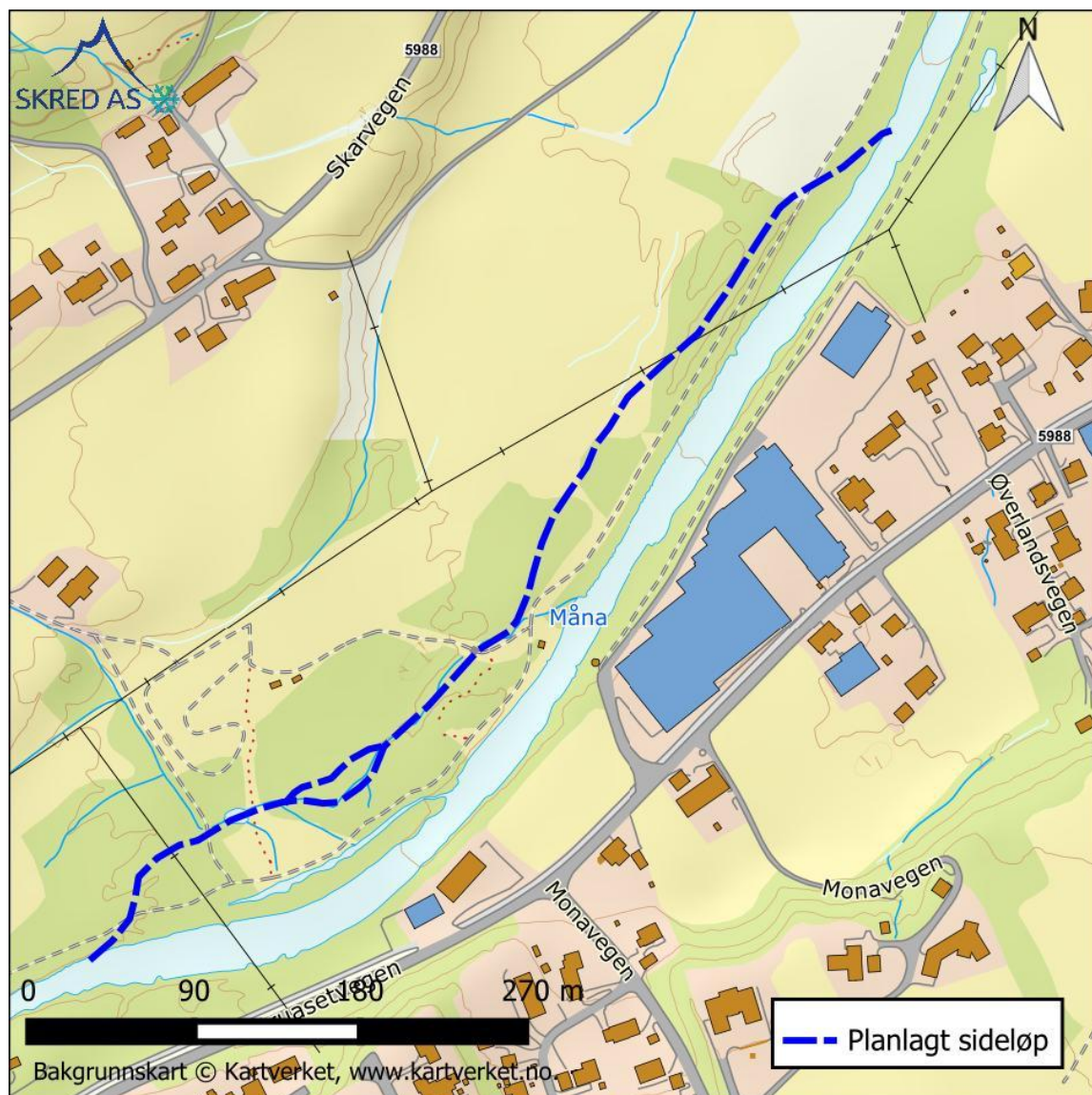
2 Beskrivelse av vassdrag og tiltak

2.1 Eksisterende situasjon

Måna renner mot nordøst nederst i Måndalen ved Skeide. Omtrent 100 meter nedstrøms samløpet med Vemora dreier elva mer mot nord i en slak sving og fortsetter delvis kanalisert ned mot utløpet i fjorden. Elveløpet er erosjonssikret med store stein langs begge sider. Det går et gammelt sideløp vest for hovedløpet, men på grunn av forbygningen langs hovedløpet, er sideløpet tørrlagt.

Elva har jevnt fall på omtrent 2 % forbi Skeide og elveløpet er ca. 15 - 25 meter bredt. Elvebunnen består av avrundede stein og blokker. Det er stor massetransport i elva.

Figur 2 viser et oversiktskart over området, mens Figur 3 viser et bilde av elveløpet på den aktuelle strekningen.



Figur 2: Oversiktskart over Måna ved prosjektområdet og sideløpet som skal åpnes.



Figur 3: Representativt bilde av hovedløpet til Måna.

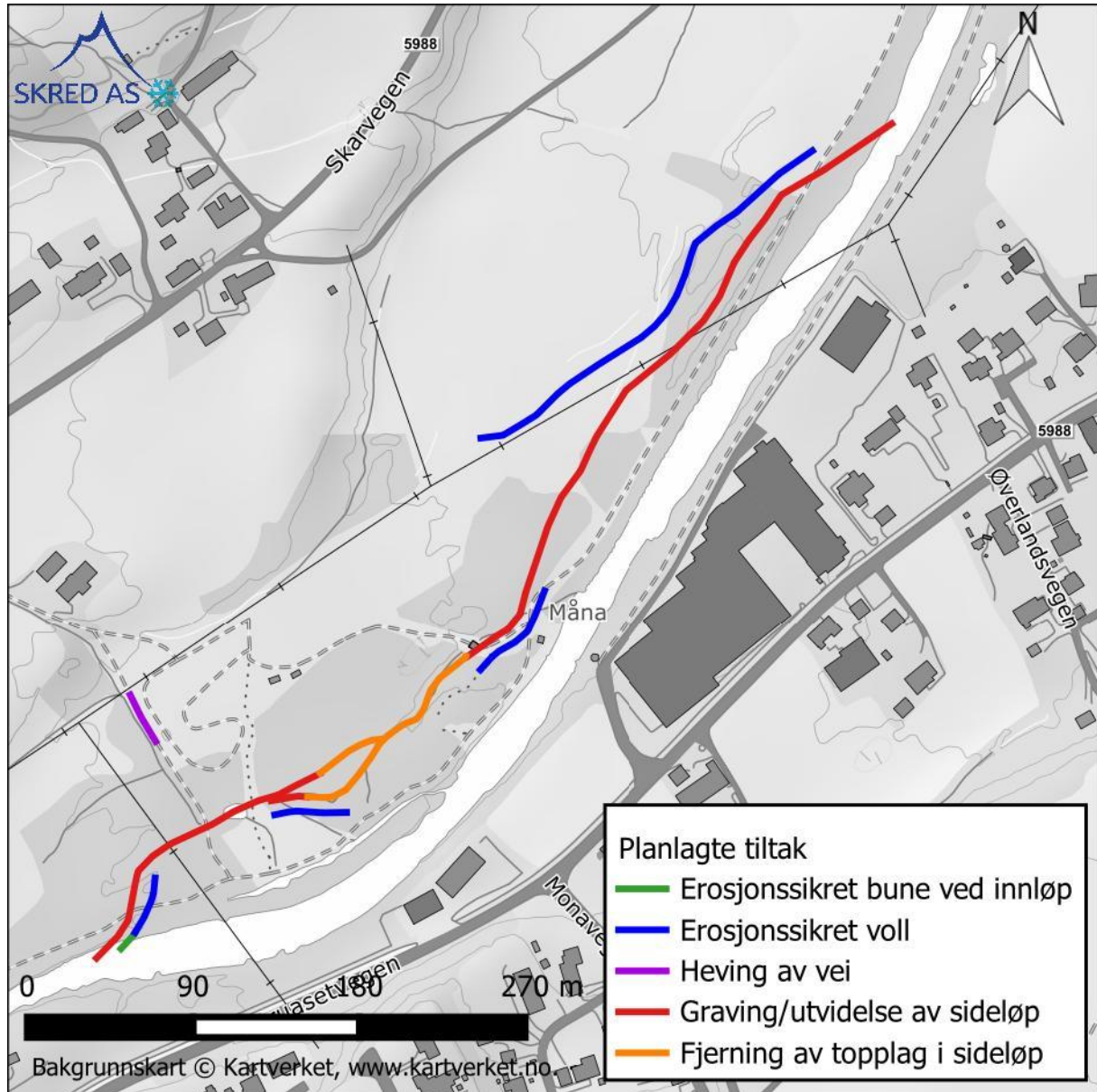
2.2 Planlagte tiltak

Det gamle sideløpet vest for hovedløpet planlegges gjenåpnet. Det henvises til rapport fra NORCE for bakgrunn og miljømål for restaureringstiltaket. Tiltaket består av flere ulike komponenter som vist i Figur 4.

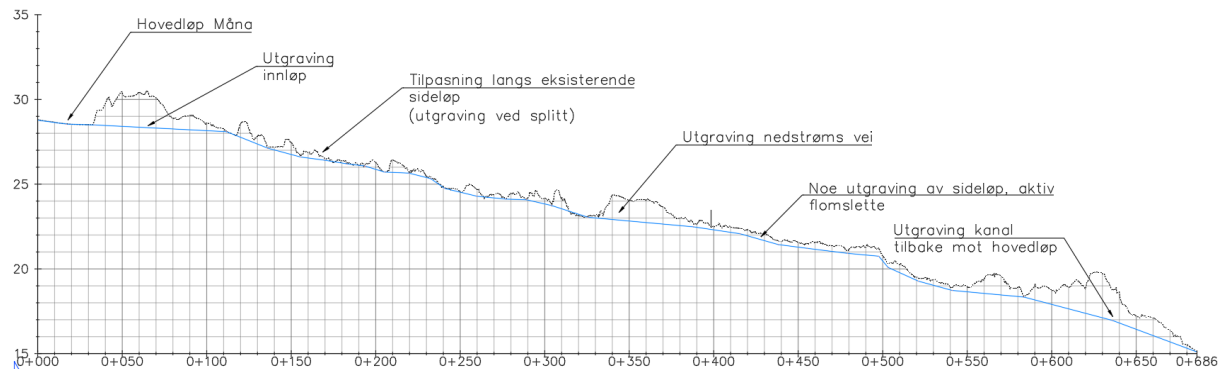
Figur 2 Ved innløpet graves det gjennom erosjonssikringen nesten 100 meter nedstrøms samløpet med Vemora. I tilknytning til innløpet etableres det en voll med en noe utstikkende bune, som sørger for at vann samles mot sideløpet. Videre følger sideløpet et tidligere løp, slik at behovet for graving og breddeutvidelse minimeres. Langs deler av strekningen vil det ikke være behov for annen graving enn fjerning av topplag, mens det andre steder er behov for større inngrep for å oppnå tilstrekkelig fall og avledningskapasitet. Det skal blant annet fjernes en mindre bru langs en turvei. Ved utløpet vil det også være behov for graving gjennom eksisterende erosjonssikring langs hovedløpet.

To steder langs strekningen etableres det voller langs sideløpet hvor det er liten overhøyde mot hovedløpet, for å sikre at vannet holder seg i sideløpet. Disse vollene erosjonssikres. Langs dyrka mark i nedre del av tiltaksområdet, etableres det en lengre erosjonssikret voll for å hindre utgraving av jordet. Denne flomvollen utnyttes også som trasé for omlegging av en turvei langs elva.

Ytterligere beskrivelse av hvordan hvert tiltak skal utformes følger i kapittel 4. En samlet lengdeprofil som illustrerer fallforhold og utgraving i sideløpet er vist i Figur 5. Et dronebilde av området er vist i Figur 6.



Figur 4: Planlagte tiltak i og langs sideløpet



Figur 5: Samlet Lengdeprofil for reetablering av sideløp (10x høydeoverdrivelse)



Figur 6: Dronebilde av Månas hovedløp og området hvor sideløpet skal gå. (Foto: NORCE)

2.3 Grunnforhold

Området består ifølge NGU sitt løsmassekart av elve- og bekkeavsetninger (kartlagt i 1:50 000). Området ligger under marin grense hvor marin avsetning og potensielt kvikkleire eller andre materialer med sprøbruddegenskaper kan forekomme. Vurdering av områdestabilitet er utført i egen rapport av ERA Geo AS, se Vedlegg C.

3 Hydrologiske og hydrauliske vurderinger

3.1 Hydrologiske premisser

Vi har beregnet flomvannføring for middelflom, samt flom med gjentakintervall 20 år og 200 år. I tillegg har vi estimert en lavvannføring og en normalvannføring. Beregnede vannføringer er gjengitt i Tabell 1, mens beskrivelse av beregningene er lagt til Vedlegg A.

Tabell 1: Beregnede vannføringer for Måna

Klima- påslag	Lav- vannføring [m ³ /s]	Normal- vannføring Q _N [m ³ /s]	Q _M [m ³ /s]	Q ₂₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
Ingen	0,8	5,4	74	123	169
1.4			103	172	237

3.2 Hydrauliske premisser

I beregning av vannlinje og hydrauliske parametere er programvaren Hec-Ras versjon 6.6 benyttet. Beregningene er beskrevet i Vedlegg A, mens de viktigste resultatene er gjengitt her.

Basert på modellert geometri av innløpet til sideløpet er det gjort hydraulisk modellering av fordeling av flomvannføring mellom sideløp og hovedløp. Fordeling ved ulike flomvannføringer i Måna er vist i Tabell 2. På grunn av massetransport og stor usikkerhet knyttet til graving og avsetning av masser, særlig i flomsituasjon, vil det være usikkerhet knyttet til denne fordelingen, og det vil kunne være behov for korrigerende tiltak ved inntaket etter større flomhendelser.

Fordeling ved normalvannføring og lavvannføring er i stor grad styrt av lokal tilpasning av dypløp ved utførelse, og ikke hensiktsmessig å verifisere i hydraulisk modell. Ved utførelse har NORCE gitt føringer om at det vil etterstrebes tilpasninger for at rundt 25-50% av vannføringen avledes i sideløpet.

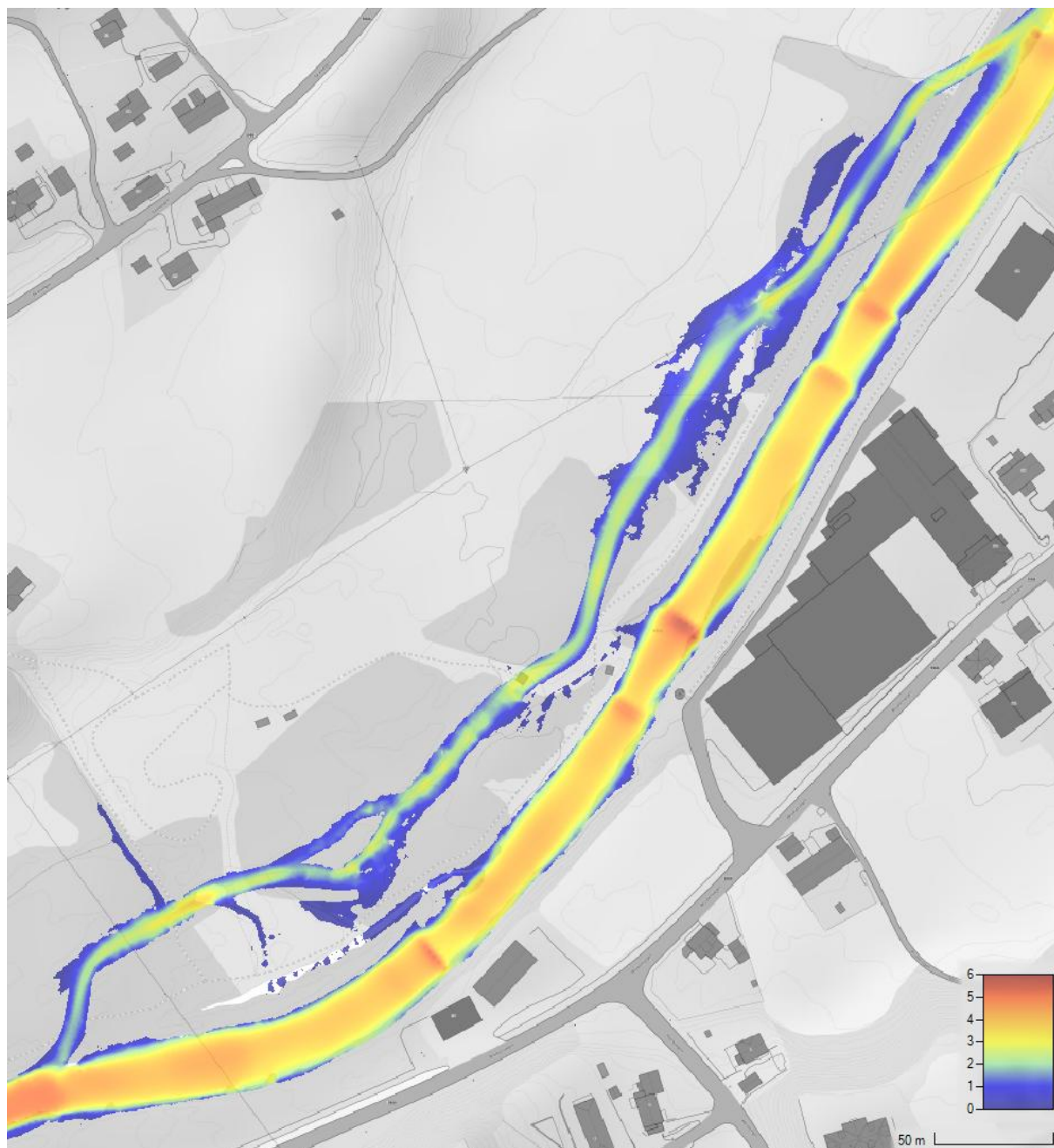
Tabell 2: Fordeling av flomvannføring mellom sideløp og hovedløp.

Estimert fordeling av flomvannføring	Q _{M, klima} [m ³ /s]	Q _{20, klima} [m ³ /s]	Q _{200, klima} [m ³ /s]
Totalt	103	172	237
Hovedløp	90,0	146,3	193,6
Sideløp	13,0	24,8	37,9

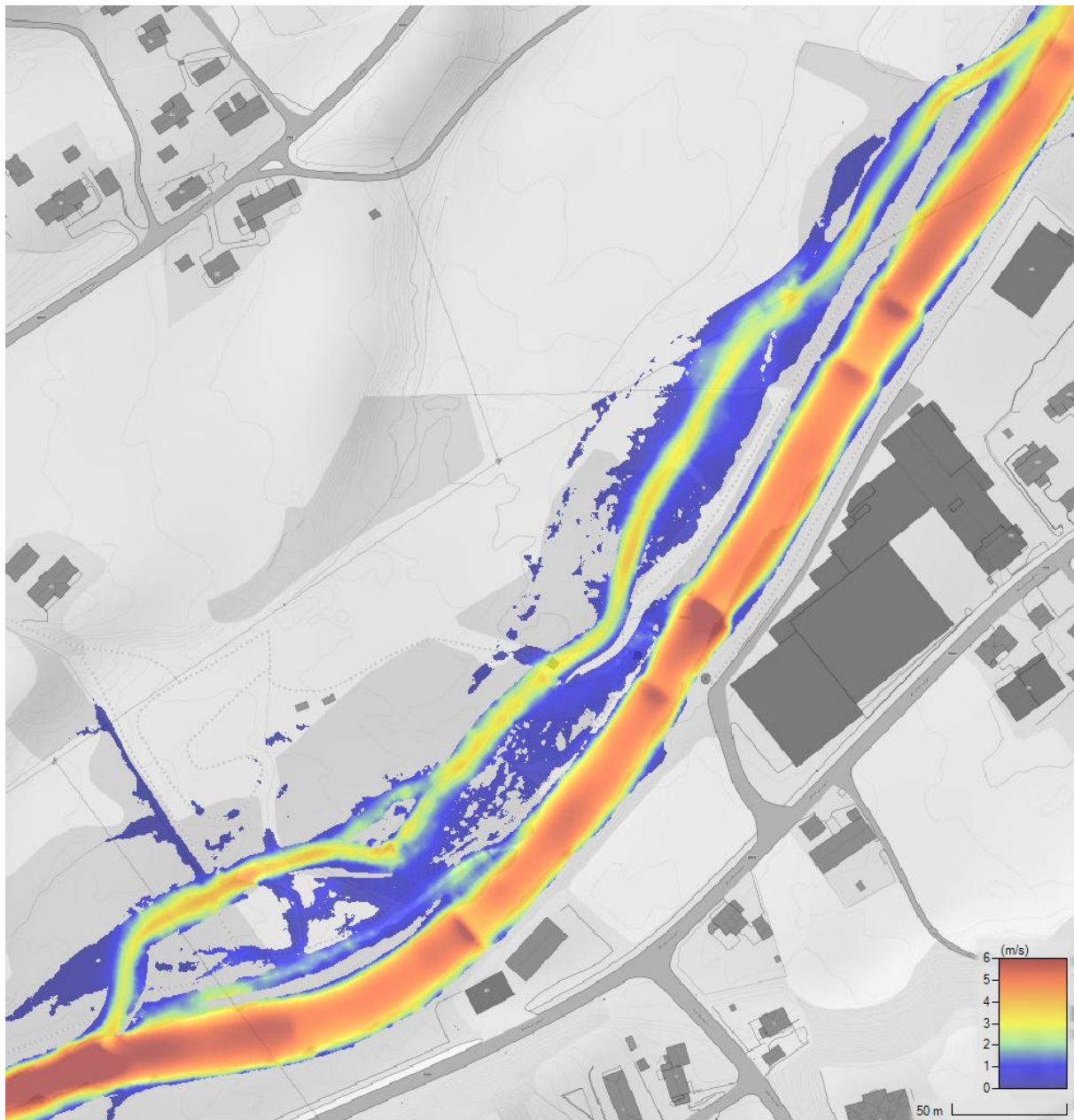
Vannhastigheter i hovedløp og sideløp ved normalvannføring, fremtidig middelflom og fremtidig 200-årsflom er vist i Figur 7 - Figur 9 under.



Figur 7: Vannhastigheter ved normalvannføring (skala 0 - 3 m/s).



Figur 8: Vannhastigheter ved fremtidig middelflom (skala 0 - 6 m/s).



Figur 9: Vannhastigheter ved fremtidig 200-årsflom (skala 0 - 6 m/s).

3.3 Sedimenttransport og -avsetninger

Det er betydelig massetransport i hovedløpet av Måna, hastighetsforholdene i hovedløpet under flom underbygger en betydelig transportkapasitet.

Det nye sideløpet vil ha vannhastigheter i størrelsesorden 2-3 m/s ved middelflom og 2-4 m/s ved 200-årsflom. Dette gir transportkapasitet for elvegrus av moderat størrelse, men ikke for like stor stein som observeres i elvbunn av hovedløpet.

Under store flommer må det forventes at det kan dras inn bunnlast fra hovedløpet som vil avsettes i sideløpet. Mest kritisk er trolig de første 70 m av sideløpet, der bunnhelningen er lagt med 0,5% fall frem til man når eksisterende søkk i terrenget fra tidligere sideløp.

I dette partiet har vi anbefalt å gjøre sideløpet noe smalere enn ellers, for å oppnå en spyleeffekt og redusere mengden avsetninger. Store avsetninger i sideløpet vil kunne føre til tørrlegging i etterkant av større flomhendelser.

Utforming av inntak til sideløpet er forsøkt tilpasset for å begrense mengden bunnlast som ledes inn i sideløpet. Geometrien av en utstikkende bune ved inntaket er redusert betydelig sammenlignet med løsningen opprinnelig fremlagt av NORCE, da vi forventer at dersom denne stikker langt ut i hovedløpet vil den kanalisere betydelig sedimenttransport/bunnlast inn i sideløpet under flom.

Det er verifisert i hydraulisk modell med modul for sedimenttransport at mengden avsetning i kanalen reduseres når bunen ikke stikker like langt ut i hovedløpet som opprinnelig tegnet av NORCE. Det vil fortsatt være et potensiale for avsetninger her, som vil kunne kreve tiltak etter store flomhendelser for å unngå tørrlegging.

4 Beskrivelse av utførelse av tiltak

4.1 Generelt

Reetablering av sideløpet er modellert med utgangspunkt i premisser gitt av NORCE. Som utgangspunkt graves det minst mulig i terreng, og eksisterende søkk/opprinnelig sideløp tilpasses kun med vegetasjonsrydding og avgraving av toppdekke.

Utvivelse av profilet er kun gjort der det er behov for å oppnå tilstrekkelig kapasitet.

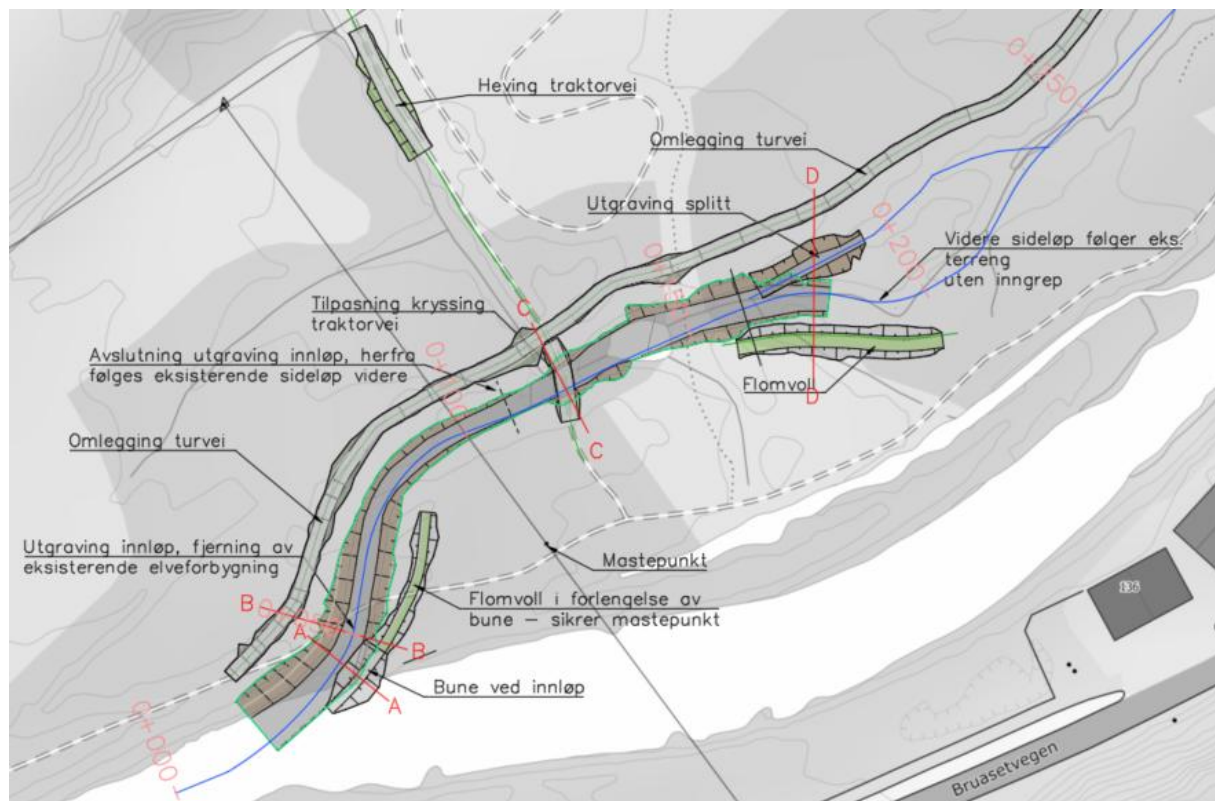
Samlet lengde av sideløpet er rundt 640 m. Bredde av sideløpet der det graves ut varierer mellom rundt 4-6 meter. Fallforhold følger eksisterende terreng, typisk 1-3%. Minimumsfall i utgravd kanal ved innløp og forgreining er satt til 0,5 %.

Generelt gjelder at alle tiltak tilpasses stedlig etter føringer fra- og i tett dialog med biolog engasjert av tiltakshaver. Vi har modellert geometri for å kunne verifisere tiltakene hydraulisk, denne geometrien er ikke ment benyttet eksakt. Utførelse skal etterstrebes med stor grad av variasjon og stedlig tilpasning.

Videre i rapporten henvises det til pelnummerering iht. senterlinje for sideløpet, vist på oversiktskartene i påfølgende figurer.

4.2 Tiltak i øvre del av sideløpet (pel 0 – 250)

Oversikt over tiltak i øvre del av sideløpet er vist i Figur 10. I påfølgende avsnitt er det utarbeidet enkelte illustrerende tverrsnitt, med plassering av snittlinjer som vist i rødt i figuren under.



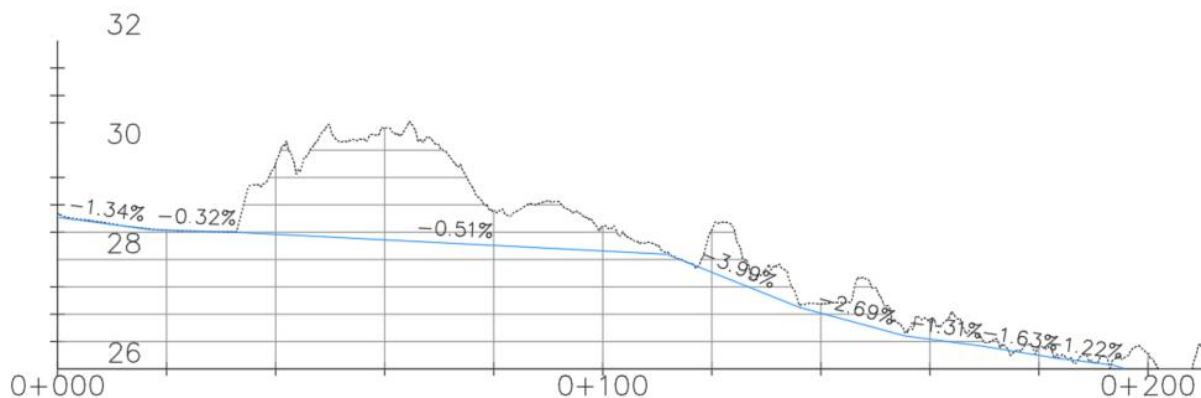
Figur 10: Illustrasjon av innløp til det restaurerte sideløpet, og tiltak i øvre del av sideløpet (pel 0 – 250)

4.2.1 Innløp med voll/bune, utgraving av kanal

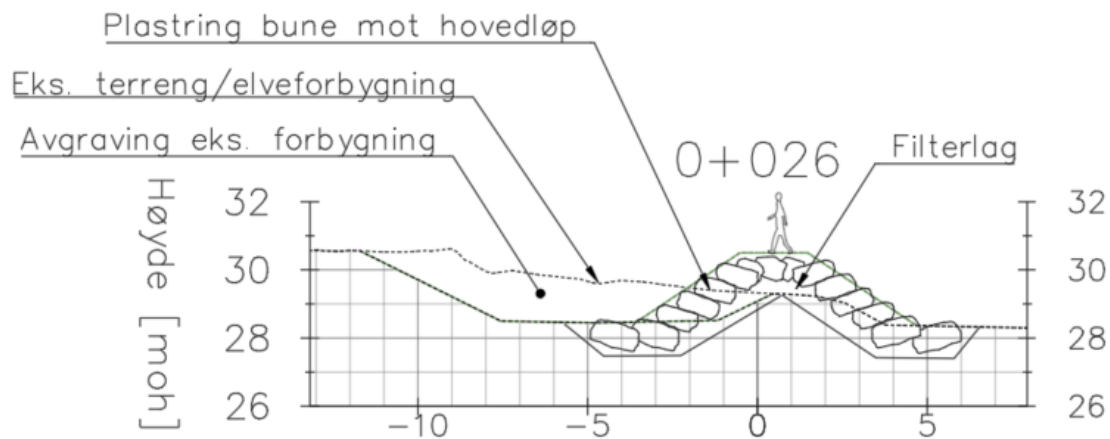
Ved innløpet til det restaurerte sideløpet må eksisterende forbygning graves bort, og det graves en kanal som knytter hovedløpet tilbake med det tidligere sideløpet.

Innløpet må graves i en lengde på 70 m, med et minimumsfall på 0,5% til man er på nivå med tidligere sideløp.

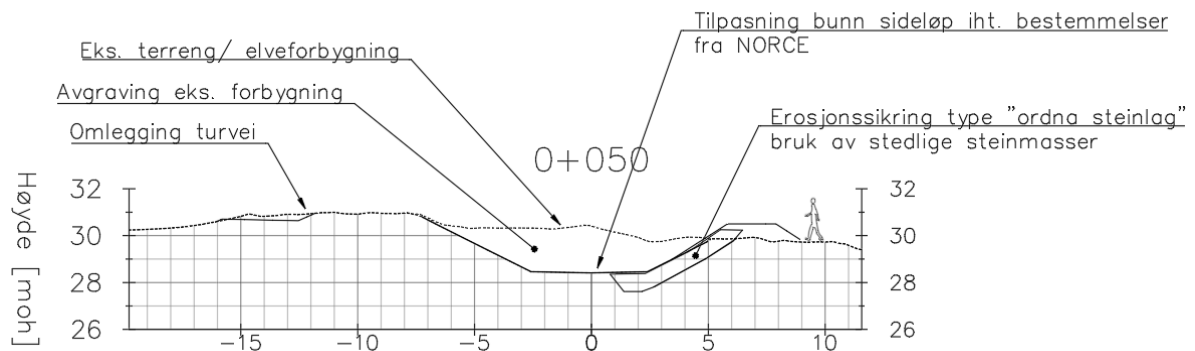
Ved innløpet etableres en steinsatt front mot hovedløpet av elva, i form av en kort bune.



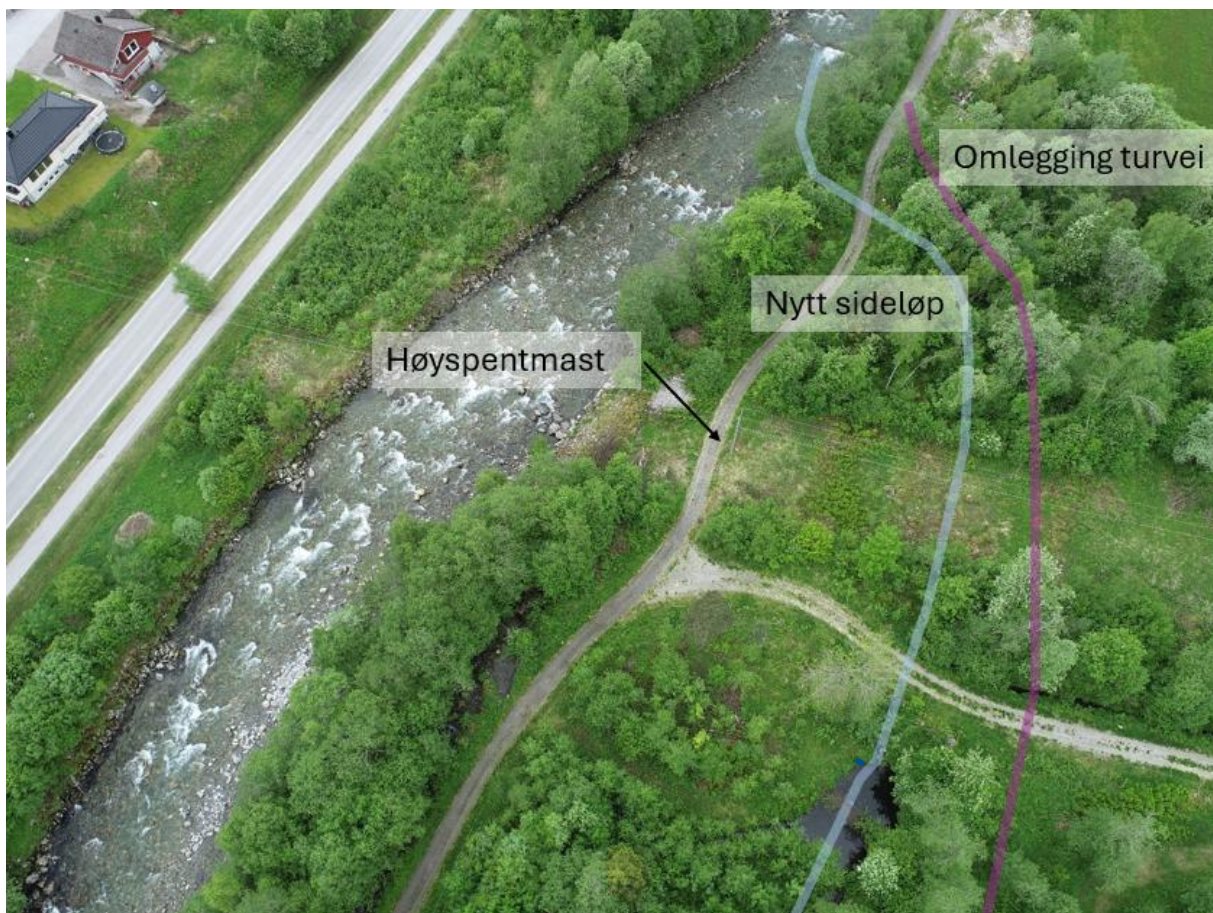
Figur 11: Lengdeprofil øvre del av sideløp, utgraving de øverste 70 m for å forbinde hovedløp med opprinnelig sideløp. Herfra følges bunn-nivå av tidligere sideløp. (10x høydeoverdrivelse)



Figur 12: Profil A-A: "Bune" ut mot hovedløp i elva, utførelse med plastring i forband



Figur 13: Profil B-B: Forlengelse av bunn utføres som flomvoll med erosjonssikring av «ordna steinlag».



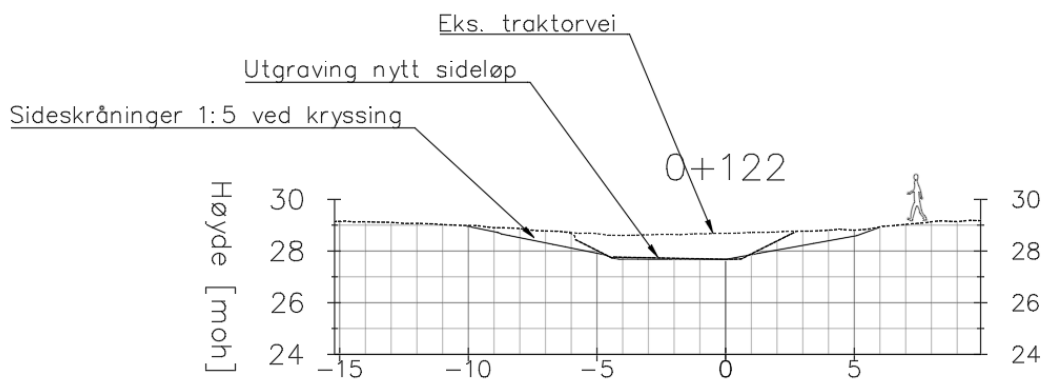
Figur 14: Dronebilde av området for innløpet til sideløpet. Sideløpets omtrentlige trasé er markert med blått fra innløpet, gjennom turvei og forbi kryssingen av traktorveien. Omlegging av turvei er indikert i lilla. (Foto: NORCE)

4.2.2 Flomsikring mastepunkt høyspentlinje

Høyspentmast vist i Figur 14 sikres av flomvullen beskrevet i avsnitt 4.2.1. Ved en 200-års flom kan det komme noe vann på avveie i terrenget mot masten, men i beskjedne mengder og uten potensiale for erosjon av fundament.

4.2.3 Tilpasninger av traktorvei

Ca. ved pel 120 krysser sideløpet en eksisterende traktorvei. Traktorveien graves av, men det etableres ekstra slake sideskråninger til sideløpet slik at det er mulig å krysse med maskin også etter etablering av sideløpet.



Figur 15: Utslaking av sidekanter ved kryssing av traktorvei

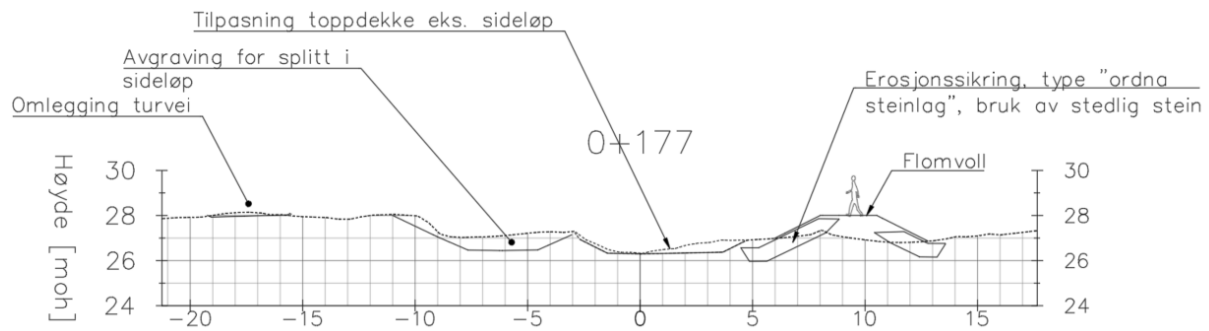
Omtrent 50 meter nordvest for sideløpet er det i dag en forsenkning langs traktorveien. Den hydrauliske modellen indikerer at veien her kan bli overtoppet under store flommer, og nedstrøms flomløp kan aktiveres.

Veien heves over en lengde på ca. 30 meter, for å sørge for at vann ikke drar over traktorveien her i en flomsituasjon, men følger sideløpet. Største fyllingshøyde er på ca 0,50 m, opp til nivå +29,45.

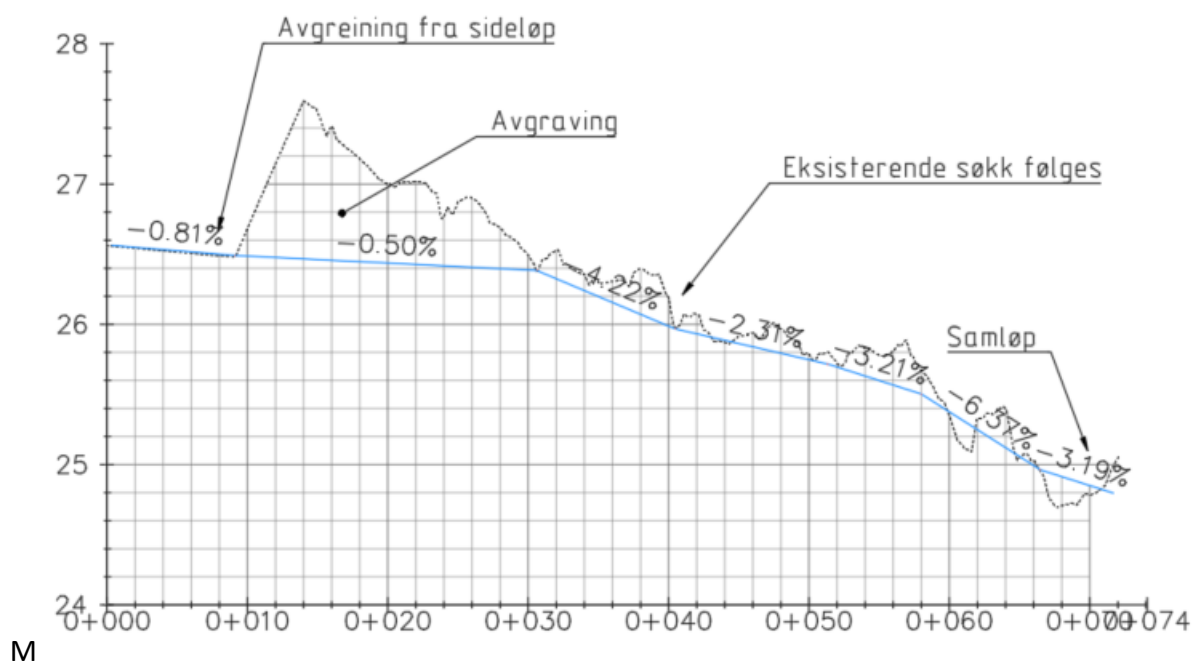
4.2.4 Splitt i sideløp

Omtrent ved pel 177 reetableres en forgreining av sideløpet. Det må her graves av masser over en lengde på ca. 20 meter, før et eksisterende lavbrekk i terrenget følges videre til forgreiningen renner tilbake i sideløpet. Lengdeprofil av forgreiningen er vist i Figur 17

I samme område, mellom pel 160-200 etableres det en flomvoll som forhindrer vann å følge et søkk mot øst og tilbake i hovedløpet ved mindre flommer. Topp flomvoll er lagt med 0,5 m fribord over modellert vannlinje ved 200-årsflom + klimapåslag. Flomvullen erosjonssikres på begge sider.



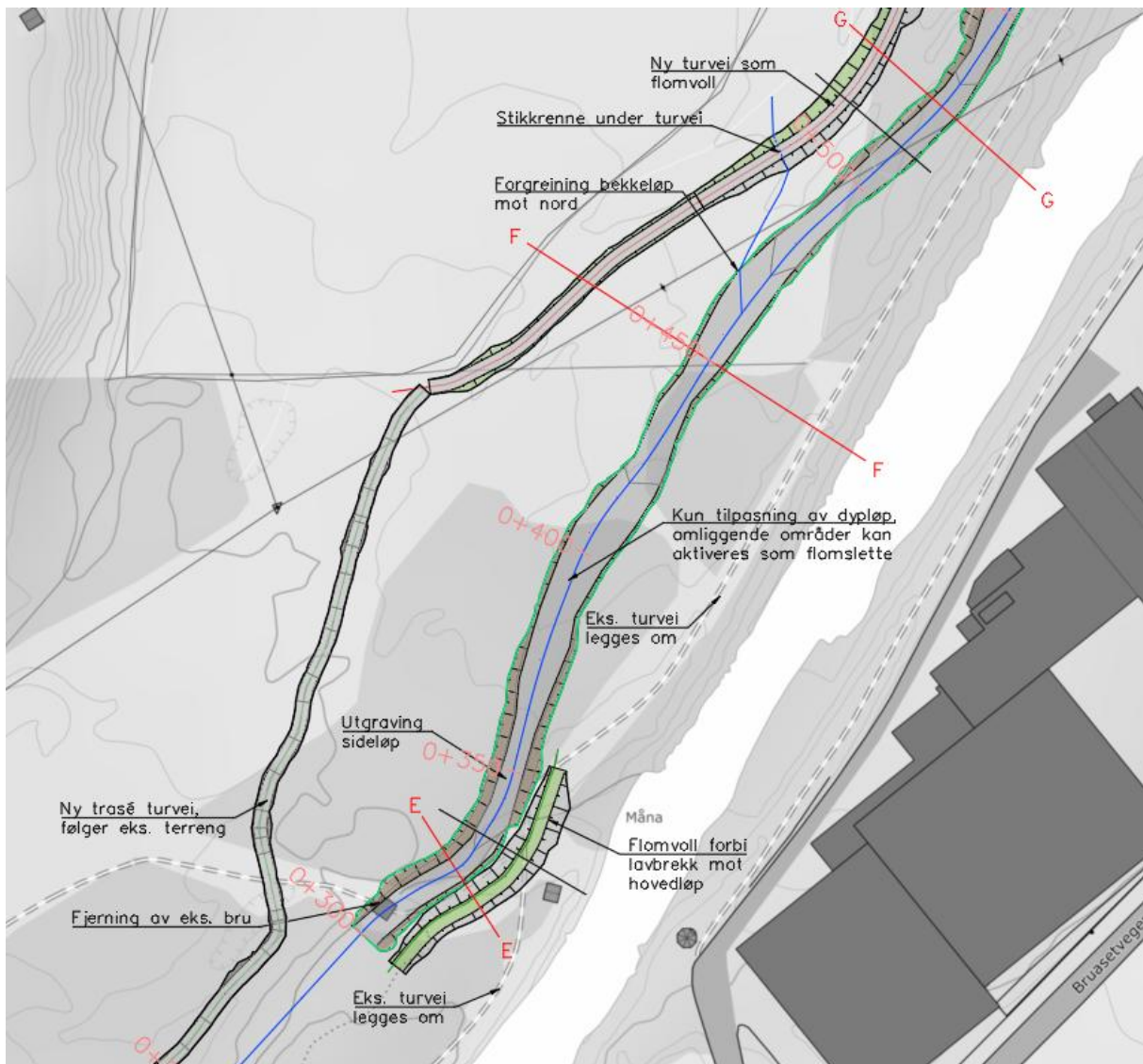
Figur 16: Profil D-D: Flomvoll og utgraving for forgreining av sideløp



Figur 17: Lengdeprofil av avgreining av sideløp (10x høydeoverdrivelse). Utgraving de første 20 m. Kun avgraving av toppsjikt i resterende strekk.

4.3 Tiltak midtre del (pel 300-530)

Oversikt over tiltak i midtre parti av sideløpet er vist i Figur 18.



Figur 18: Tiltak midtre del - pel 300 – 550

4.3.1 Kryssing turvei, fjerning av bru

Mellom pel 200 (forgreining i sideløpet) og ned til pel 300 gjøres ingen inngrep i sideløpet utover avgraving av toppdekke, eksisterende terreng følges.

Rundt pel 300 krysser dagens turvei det eksisterende sideløpet med en bru, som fjernes i forbindelse med tiltaket.



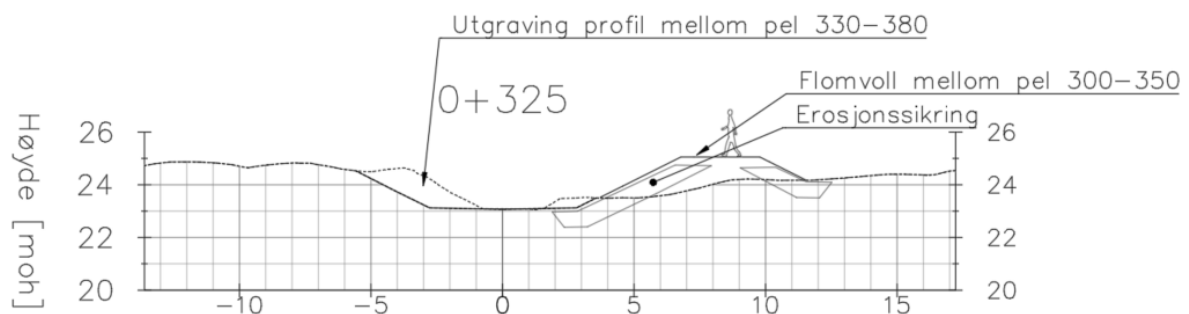
Figur 19: Dronebilde av området for bru som skal fjernes. Deler av brua vises nederst i bildet.
(Foto: NORCE)

4.3.2 Flomvoll og utgraving for utvidelse av profil

Det er behov for graving for utvidelse av tverrsnittet i sideløpet mellom pel 330–380.

Det etableres en flomvoll mellom pel 300–350 som forhindrer flomvann å følge et søkk mot øst og tilbake i hovedløpet. Også baksiden av flomvollen erosjonssikres, da det her vil kunne avledes vann langs baksiden av vollen ved større flomhendelser.

Topp flomvoll er lagt med 0,5 m fribord over modellert vannlinje ved 200-årsflom + klimapåslag.



Figur 20: Profil E-E: Flomvoll og utvidelse av sideløp

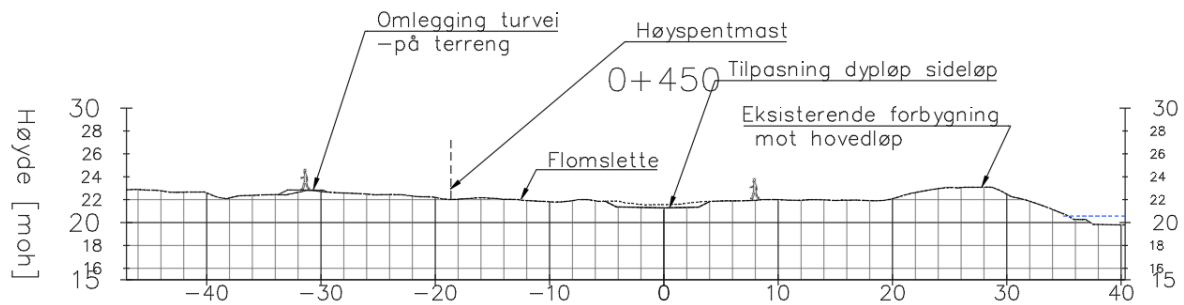
4.3.3 Flomslette

I partiet mellom pel 380 og 530 gjøres det minimalt med inngrep. Det defineres kun et dypløp for sideløpet for normalvannføring, mens ved flomvannføring aktiveres omliggende

områder på begge sider som flomslette. Dypløpet etableres med 40-50 cm overhøyde til omliggende terreng.

Frem til rundt pel 470 legges den omlagte turveien vest for sideløpet omtrentlig på dagens terrengnivå.

Den omliggende flomsletta utenfor dypløpet vil ha lave strømningshastigheter når den blir oversvømt.



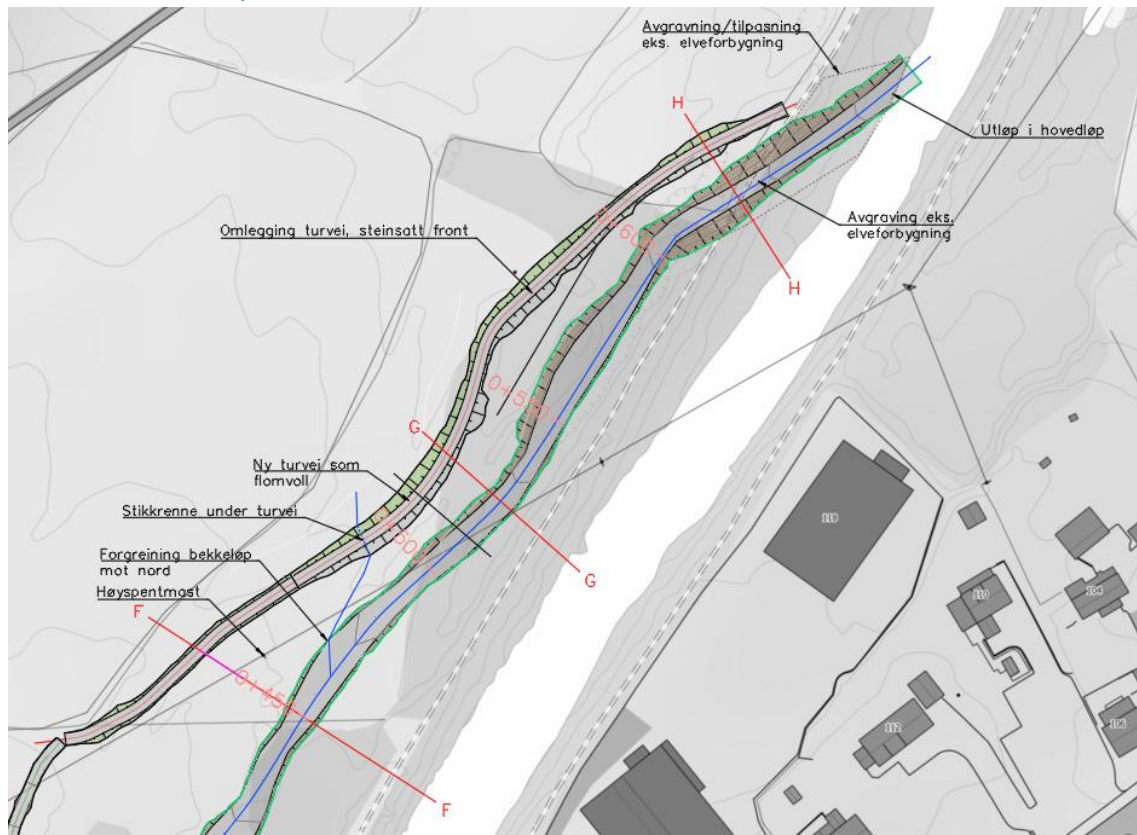
Figur 21: Profil F-F: Flomslette mellom pel 380-530.

4.3.4 Erosjonssikkerhet for mastepunkt

Vest for sideløpet rundt pel 450 står det en høyspentmast på innsiden av den omlagte turveien. Mastepunktet ligger akkurat utenfor modellert oversvømt område ved fremtidig 200-årsflom. Med hensyn på usikkerheter knyttet til fremtidige geometriendringer ved inntak og sideløp kan det likevel ikke helt utelukkes at vann vil kunne nå mastepunktet ved ekstreme flommer.

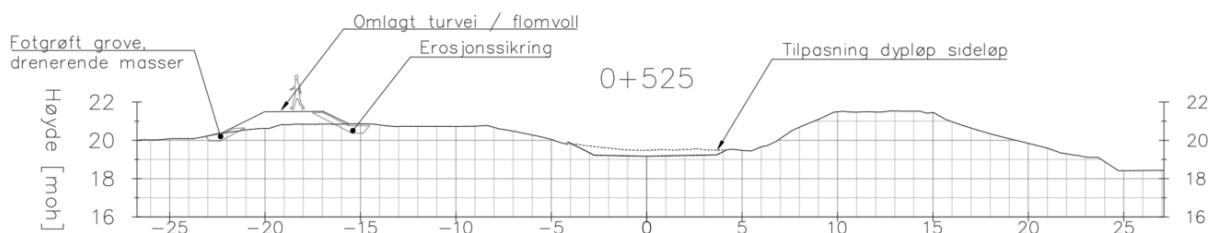
Modellerte strømningshastigheter langs flomsletta utenfor dypløpet indikerer beskjedent erosjonspotensiale, det vurderes ikke nødvendig å anlegge egen erosjonssikring av mastepunktet.

4.4 Nedre del: pel 530-640

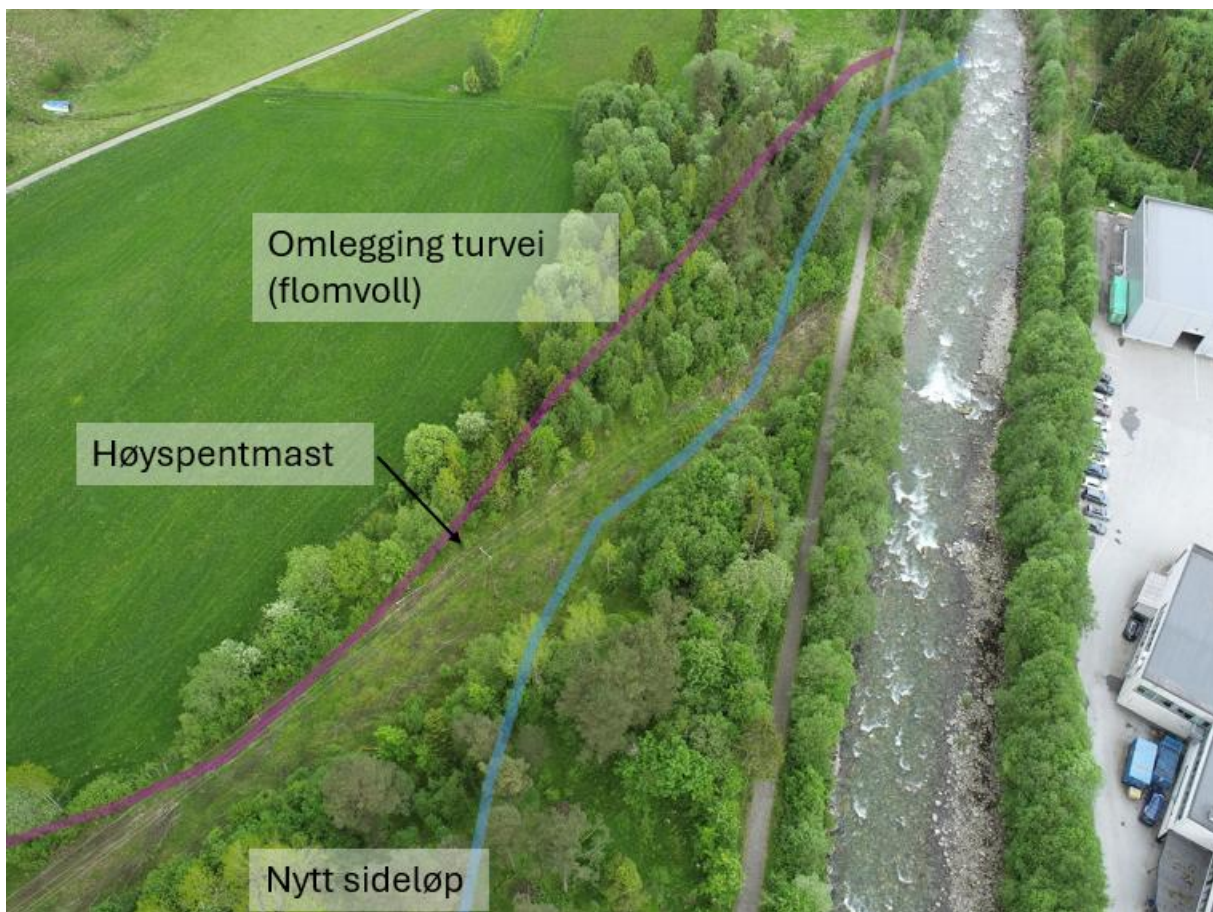


4.4.1 Flomvoll langs dyrka mark mot vest

Fra rundt pel 470 legges den nye turveien hevet i terrenget med funksjon som flomvoll for å sikre nedenforliggende dyrkamark mot flomskader, og sikre en trygg tilbakeføring vann i sideløpet mot samløpet med hovedløpet. Topp flomvoll er lagt med 0,5 m fribord over modellert vannlinje ved 200-årsflom + klimapåslag. Det er kun behov for ensidig erosjonssikring av denne vollen.



Figur 22: G-G: Turvei/flomvoll langs sideløp

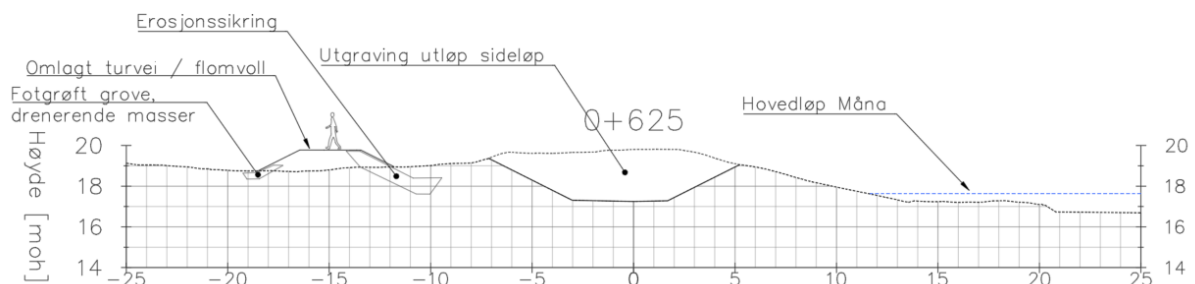


Figur 23: Dronebilde av dyrka mark som skal sikres og høyspenttrasé. Omtrentlig trasé for sideløp og voll langs dyrka mark er vist i hhv. blått og lilla. (Foto: NORCE)

4.4.2 Utgraving for utløp

I nedre del av sideløpet er det behov for utgraving for å avlede sideløpet gjennom eksisterende elveforbygning og tilbake i hovedløpet til Måna. Her konsentreres strømmingen, med større vannhastigheter og erosjonspotensial enn langs flomsletta høyere oppe.

Flomvoll / omlagt turvei legges tilbaketrunket ca. 5 m fra sideløp, med nedgravd erosjonssikring i fremkant av vollen.



Figur 24: H-H: Utgraving for utløp tilbake i hovedløpet

5 Dimensjonering av erosjonssikring og flomvoller

5.1 Dimensjonerende flomsituasjon

Som beskrevet i avsnitt 3.1 har vi tatt utgangspunkt i fremtidig 200-årsflom som dimensjonerende flom for erosjonssikring og dimensjonering av flomvoller. Resulterende dimensjonerende vannhastighet og vanndybde for de ulike stedene er gjengitt i Tabell 3.

Tabell 3: Dimensjonerende vannhastighet og vanndybde for de ulike tiltakene.

Pel nr.	Tiltak/sted	Dimensjonerende vannhastighet [m/s]	Dimensjonerende vanndybde [m]
35-50	Bune ved innløp, mot hovedløp	5.0	2.3
50-75	Voll i forlengelse av bune, langs sideløp	3.0	2.0
155-200	Voll ved splitt i sideløp	3.0	1.5
300-350	Voll ved bru som skal fjernes, på høyde med fabrikkområde	2.8	1.5
475-590	Flomvoll/turvei langs dyrka mark	1.4	1.0
590-655	Flomvoll/turvei langs dyrka mark	2.5	1.4

5.2 Utstrekning og høyde av flomvoller

Det er identifisert nødvendig utstrekning av flomvoller for å:

- Sikre vann på avveie mot å gi skader på omliggende dyrket mark
- Hindre sideløpet i å ta konsentrerte løp tilbake i hovedløpet, spesielt forbi fabrikkområdet til Wenaas Workwear.
- Sikre høyspentmaster fra flomfare

Det aksepteres at det ved større flommer renner vann i terreng mellom sideløp og hovedløp.

Flomvoller er lagt med 0.5 m fribord ved fremtidig 200-års flom, men det aksepteres at det strømmes vann i terreng rundt og på bakside av voller. 2 av vollene er derfor lagt med erosjonssikring på begge sider.

5.3 Oppbygging flomvoller

Flomvoller er tenkt oppbygd av stedlige løsmasser uten tetting, da lekkasjer gjennom flomvollene ikke har noen konsekvens. Hovedformålet er å hindre sideløpet i å ta nye løp.

Nedstrøms tå av flomvollene må utformes for å tåle gjennomstrømning. Der det anlegges erosjonssikring på begge sider av vollen vil dette være ivarettatt. Der det ikke er angitt erosjonssikring på bakside av voll må det fortsatt etableres en tå av grove steinmasser som gir filtervirkning mot innenforliggende fyllingsmasser.

5.4 Valg av type erosjonssikring

NVE sin Sikringshåndbok (NVE, 2023) Modul F2.001 – Tabell 1 angir bruksområde og veiledende belastning (vannhastighet) for ulike typer erosjonssikring. For vannhastigheter opp mot 3 m/s og liten til moderat belastning fra is og drivgods, anbefales *ordna steinlag*. For vannhastigheter opp mot 5 m/s anbefales ensgradert stein i rauset steinlag dersom belastningen fra is er liten til moderat, eller plastring med stein lagt i forband dersom belastning fra is er stor.

Den utstikkende bunnen mot hovedløpet bør basert på dette utføres som plastring, der hver stein legges i forband. For øvrige voller kan erosjonssikring utføres som «ordna steinlag», der grove sikringsmasser legges ut rauset.

5.5 Erosjonssikring voller – ordna steinlag

5.5.1 Stabil steinstørrelse iht. Maynords formel

Stabil steinstørrelse for ordna steinlag er beregnet ved hjelp av Maynords formel. I tillegg er steinstørrelse for plastring av bunnen beregnet med Hudsons formel.

Siden gradienten til sideløpet er slak, hovedsakelig mindre enn 2%, er Maynords formel benyttet. Formelen anbefales i NVE (2009).

Etter Maynords formel er stabil steinstørrelse, D_{30} , gitt ved:

$$D_{30} = S_f C_s C_v C_t y_0 \left[\left(\frac{1}{s - 1} \right)^{0,5} \frac{U}{\sqrt{K_1 g y_0}} \right]^{2,5}$$

Beskrivelse av parametere og valgte verdier er gitt i Tabell 4.

Tabell 4: Beskrivelse av parametere og valgte verdier for beregning av stabil steinstørrelse etter Maynords formel.

Symbol	Beskrivelse	Valgt verdi
S_f	sikkerhetsfaktor (-)	1,3
C_s	stabilitetskoeffisient (-)	0,3 for kantet (sprengt) stein
C_v	koeffisient for vertikal hastighetsfordeling (-)	1,0 der hastighet er lest ut av 2D-modell
C_t	koeffisient for sikringstykkelse (-)	1,0
y_0	vanddybde samme sted som U (m)	Se Tabell 3
S	steinens spesifikke tetthet (-)	2,6
U	lokal hastighet midlet over dybden (m/s)	Se Tabell 3
K_1	koeffisient for skråningshelling (-)	0,88, beregnet for skråningshelling 1:2
g	tyngdens akselerasjon (m/s ²)	9,81

Beregnet steinstørrelse d_{30} etter Maynords formel for de ulike lokasjonene for erosjonssikring er oppsummert i Tabell 5.

Tabell 5: Beregnet steinstørrelse D_{30} for de ulike tiltakene, forutsatt bruk av avrundet stein.

	Tiltak/sted	D_{30} [m]
35-50	Bune ved innløp, mot hovedløp	0,84
50-75	Voll i forlengelse av bune, langs sideløp	0,28
155-200	Voll ved splitt	0,26
300-350	Voll ved bru som skal fjernes, på høyde med fabrikkområde	0,29
475-590	Flomvoll/turvei langs dyrka mark	0,09
590-655	Flomvoll/turvei langs dyrka mark	0,23

For å forenkle gjennomføringen av prosjektet settes det samme krav til steinstørrelse og tykkelse av sikringslag for vollene, med unntak av turveien mellom pel 475-590 som gis reduserte dimensjoner.

Bunen som stikker ut i hovedløpet ved innløpet krever større stein og utførelse som plastring, ikke ordna steinlag som de resterende tiltakene.

Krav til gradering av sikringsmassene er basert på valgt D_{30} , og nødvendig tykkelse av sikringslag som skal benyttes for ordna steinlag er gitt i Tabell 6. Det kan benyttes større størrelser forutsatt tilsvarende kornfordeling ($D_{15} = 0,6-0,9 \times D_{50}$, $D_{85} = 1,3 - 1,5 D_{50}$ og tykkelse $> 2 \times D_{50}$).

Det er ønskelig med størst mulig grad av gjenbruk av stedlig grov stein til erosjonssikring, og minimalt med tilkjøring av sikringsmasser. Det er derfor oppgitt steinstørrelser forutsatt bruk av avrundet, stedlig stein. Helt kulerund stein skal ikke benyttes.

For avrundet stein er steinstørrelsene økt med 25% i forhold til beregningene basert på kantet stein. For bunen ved innløpet som stikker ut i hovedløpet skal ikke avrundet stein benyttes.

Tabell 6: Beregnet minimum kornfordeling og tykkelse av erosjonssikringslag etter Maynords formel.

Tiltak/sted	Fasong på stein	D ₁₅ [m]	D ₃₀ [m]	D ₅₀ [m]	D ₈₅ [m]	D _{maks} [m]	Lag- tykkelse [m]
Bune mot hovedløp	Plastringsstein	-	-	-	-	-	-
Flomvoll v/ innløp - Ledevoller sideløp -Turvei pel 590 - 655	Avrundede stedlige steinmasser*	0,21- 0,31	0,29	0,35	0,45- 0,52	< 0,69	> 0,69
-Turvei 475-590	Avrundede stedlige steinmasser*	0,07- 0,10	0,09	0,11	0,14- 0,16	< 0,22	> 0,22

*Ved bruk av tilkjørt kantet stein (sprengt, knust eller fra ur) kan dimensjoner reduseres med 25%. Helt kulerund stein skal uansett ikke benyttes.

5.5.2 Utstrekning

Erosjonssikringen skal føres langs hele lengden av hver voll, på oppstrøms – og nedstrøms side. Unntaket er vollen langs dyrka mark, hvor det kun er nødvendig med erosjonssikring langs siden mot sideløpet. I tåen av sikringen etableres en fotgrøft med ekstra tykkelse på sikringslag.

5.5.3 Filterlag

For å hindre utvasking av finmasser i underlag gjennom sikringslaget er det nødvendig med et filter. Filteret kan være av løsmasser (grusfilter), en geotekstil, eller en kombinasjon.

Ved bruk av utsorterte stedlige sikringsmasser kan det etterstrebes en sortering ved utlegging, der de fineste massene legges inn mot eksisterende terreng, i tråd med prinsipp i Figur 25. Valg av løsning gjøres på stedet i samråd med vassdragstekniker.

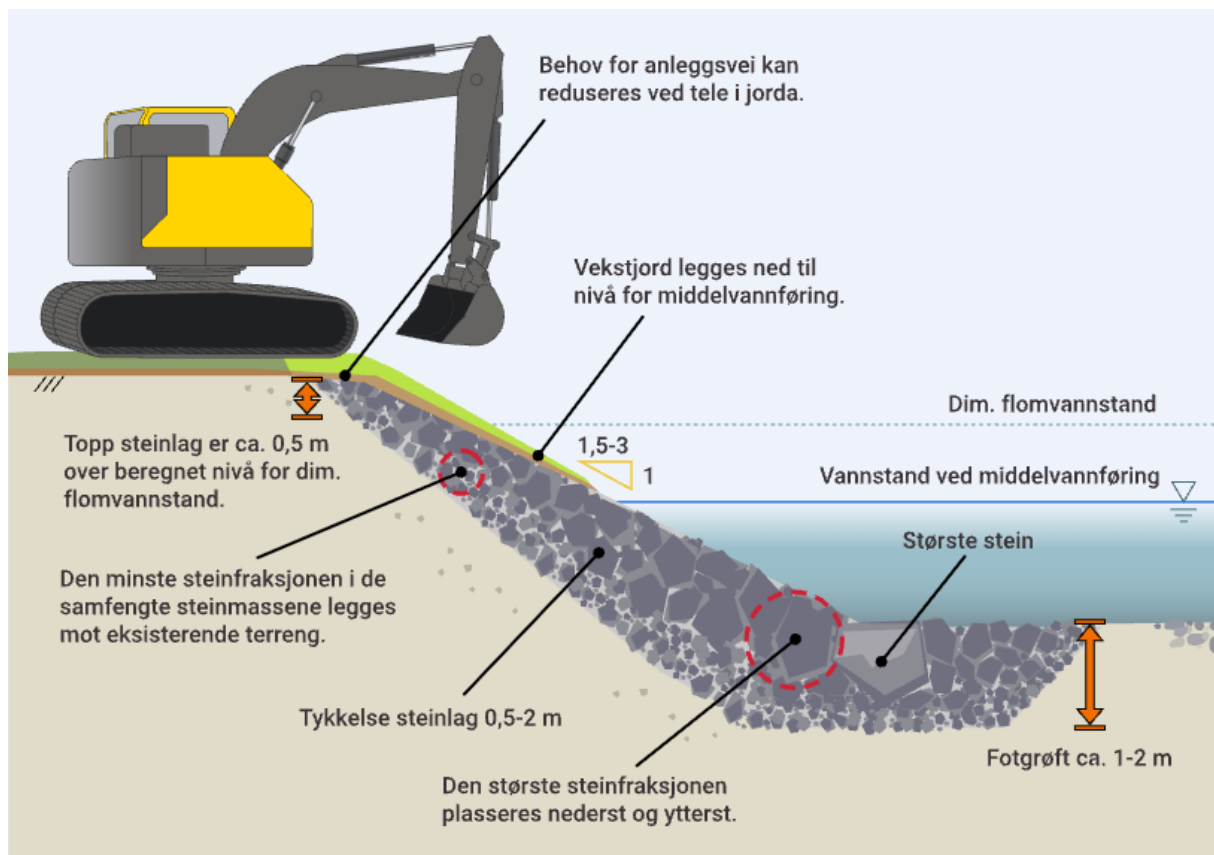
5.5.4 Utførelse

Utførelse av erosjonssikring av voller gjøres iht. Modul F3.201 Ordna steinlag – sidesikring – Utførelse i NVEs digitale veileder «Sikringshåndboka».

Erosjonssikringen skal legges nedenfra og oppover. Sikringsmasser sorteres ut fra avgravde masser (eksisterende elveforbygning og øvrige avgravde, grove masser). Det må påregnes at en andel av sikringsmasser må tilkjøres eksternt.

I sikringslaget benyttes steinstørrelse i størrelsesorden 0-700 mm, med en gradering som tilfredsstiller minimumskrav i Tabell 6. Stein større enn 700 mm sorteres ut og benyttes som strukturelementer i sideløp etter føringer fra biolog.

Illustrasjon av erosjonssikring med ordna steinlag med fotgrøft er vist i Figur 25.



Figur 25: Illustrasjon av erosjonssikring med ordna steinlag med fotgrøft (NVE, 2023).

5.6 Erosjonssikring bune ved inntak - plastring

5.6.1 Krav til plastringssstein

Plastring utføres med kantet stein av god kvalitet som er motstandsdyktig mot forvitring (NVE, 2012). Skifrige bergarter bør ikke benyttes.

Benyttede steinblokker skal ha moderat flisighet, det vil si en avlang form der forholdet mellom lengste og korteste akse skal være 2-3. Stein for plastring må påregnes tilkjørt eksternt. Nærmeste steinuttak for plastringssstein er trolig Gjermundnes ca. 20km fra tiltaksområdet.

Minste steinstørrelser på plastringsssteinen beregnes etter nødvendig vekt på steinen, etter veileder for fyllingsdammer (NVE, 2012). Ved skråningshelning 1:2 er minste anbefalte vekt av stein $W_{min} = 1,6 \text{ kN}$ av hensyn til is- og snøkrefter. For omregning fra steinvekt til diameter, og forhold mellom minste (D_{min}) og største (D_{maks}) stein benyttes følgende formler:

$$D_{min} = \left(\frac{W_{min}}{C_f \gamma_f} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D_{maks} \leq 1,7 D_{min}$$

Hvor C_f er en konstant som avhenger av steinens form, vanligvis 0,6, og γ_r er steinens tyngdetetthet (kN/m³).

Dette gir en minste steindiameter på 0,47 meter og største diameter på 0,80 meter. I foten benyttes stein med diameter på minst 1,0 meter, mens størrelsen kan avta mot toppen av plastringen til minste størrelse $D_{min} = 0,47$ meter.

Verdiene for steindiameter over er forutsatt definert som et middel av plastringssteinens 3 akser, $D = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}$

5.6.2 Utførelse plastring av bune

Utførelse plastring av bune ved inntak av voller gjøres iht. følgende moduler i NVEs «Sikringshåndboka»

- Modul F3.204: Terskler og buner av løsmasser – Utførelse
- Modul F3.203: Plastring – Utførelse

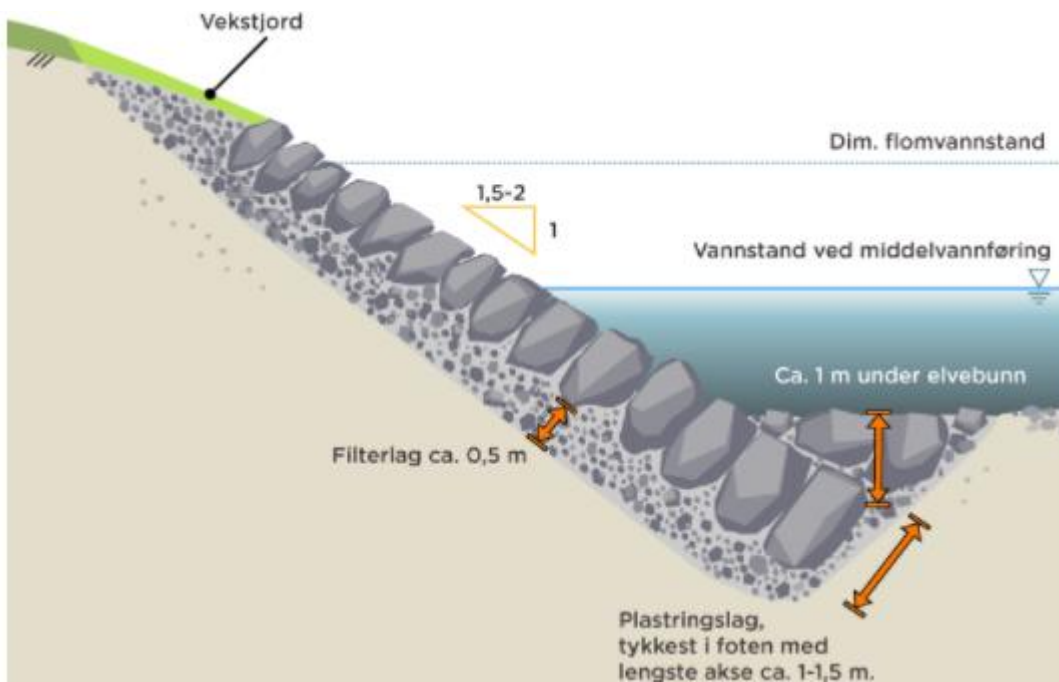
Utførelse av plastring er vist i Figur 26 og plasseres med lengste akse innover, med helning innover på steinen og ekstra tykkelse i foten. Steinene må legges i forband med god innbyrdes kontakt. Foten skal ha en tykkelse på minst 1-1.5 meter. Fronten av bunen er utsatt for ekstra stor erosjonsbelastning. Den aller største steinen skal benyttes i framkant av bunen som illustrert i Figur 28.

Dersom foten går ned til fjell uten en formasjon for godt mothold (eksempelvis en sprengt hylle) bør nederste rad av plastringssteinene boltes til fjell med to kraftige bolter i hver stein. Det er trolig ikke aktuelt her.

Plastringen utføres med to sjikt hvor sjikt 1 (ytterst) er plastringsstein lagt i forband og sjikt 2 er å betrakte som et filter som skal hindre utvasking mellom plastringssteinene.

Plastringen utføres helt opp til toppen av bunen/vollen, på begge sider.

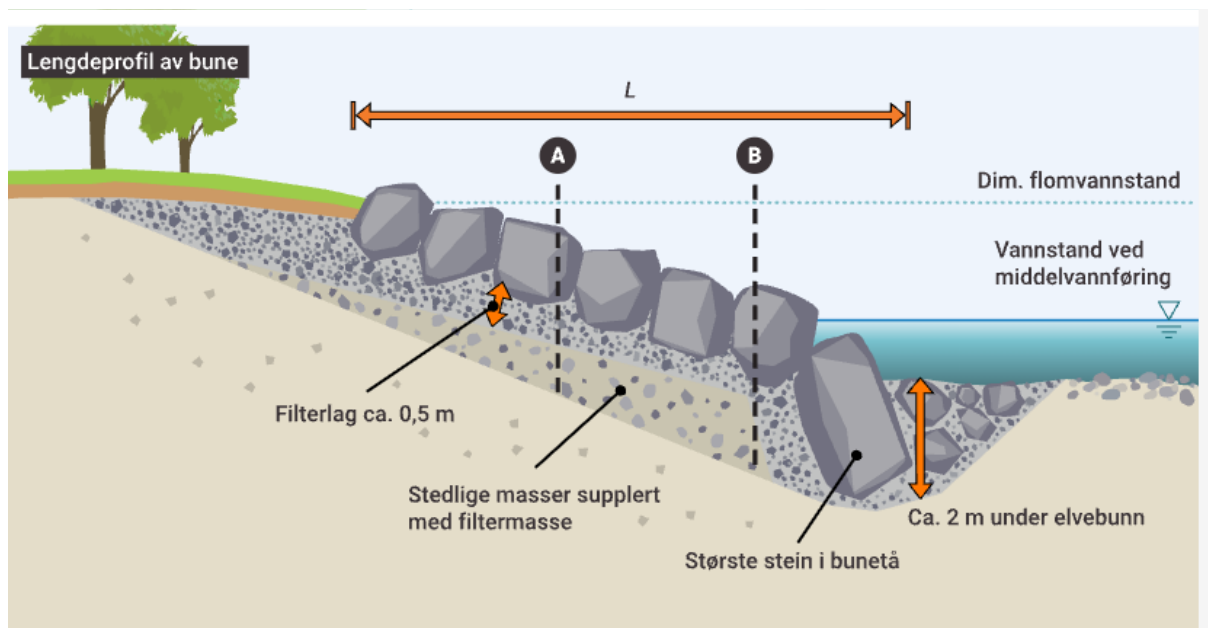
En omhyggelig utplassering med god innbyrdes låsing av stein er avgjørende for å oppnå god stabilitet. Vannstrømmen må legges om under arbeidene for å tørrlegge området under utlegging av plastringen. Plastringen bygges opp fra foten og oppover. Sikringshåndboka anbefaler at arbeidene utføres av en entreprenør med erfaring fra tilsvarende arbeid.



Figur 26: Prinsippskisse utførelse plastring i sideskråning, fra Sikringshåndboka til NVE. Bunen ved innløpet utføres etter samme prinsipp, men med forankring mot to ulike sider.



Figur 27: Prinsipp tilpasset basert på figuren over, med tosidig plastring av bune ved inntak.



Figur 28: Prinsipp lengdeprofil bune, med ekstra stor stein i tå i fronten av bunen.

5.7 Øvrige føringer for utførelse

Detaljerte føringer for økologisk tilpasning av tiltakene og bestemmelser for skånsom utførelse i terrenget angis av økologisk rådgiver, se egen rapport fra NORCE.

Det må gjøres sikkerhetsvurderinger rundt arbeid i og langs vassdrag, samt vurderinger av rekkefølge av arbeider. Generelt gjelder at arbeid med flomvoller og erosjonssikring i sideløpet bør ferdigstilles før man graver ut innløpet som leder vann fra hovedløpet inn i sideløpet.

Ut over dette henvises det generelt til følgende relevante moduler i NVEs «Sikringshåndboka»

- F0.101 Miljøtilpasning av sikring i vassdrag
- F3.001 Adkomst for utførelse av sikringstiltak i vassdrag.

Generelt forventes at tiltakene vil gi et betydelig masseoverskudd, estimert i størrelsesorden 2000-2400 m³ stedlige løsmasser slik tiltakene er modellert. Vi har ikke tatt stilling til bruk av overskuddsmasser eller hvor disse best kan arronderes i terreng.

6 Vurdering av sikkerhet mot kvikkleire

Sikkerhet mot kvikkleireskred er vurdert av underleverandør ERA Geo AS, og funnet tilstrekkelig for dette prosjektet ettersom tiltaksområdet er for slakt og flatt til at det kan oppstå kvikkleireskred. Sikkerhet er ivaretatt iht. NVE-veileder 1/2019 (1). (ERA Geo, 2025)

7 Drift og vedlikehold av tiltak

Det vil være behov for tilsyn og vedlikehold av tiltakene, spesielt etter større flommer.

Typiske tiltak kan være utgraving av avsatte løsmasser og justeringer av dypløp, eller vedlikehold av erosjonssikring dersom det observeres utvikling av skader. Elveeierlaget har selv erfaring med tilsyn og vedlikehold av tidligere utførte restaureringstiltak.

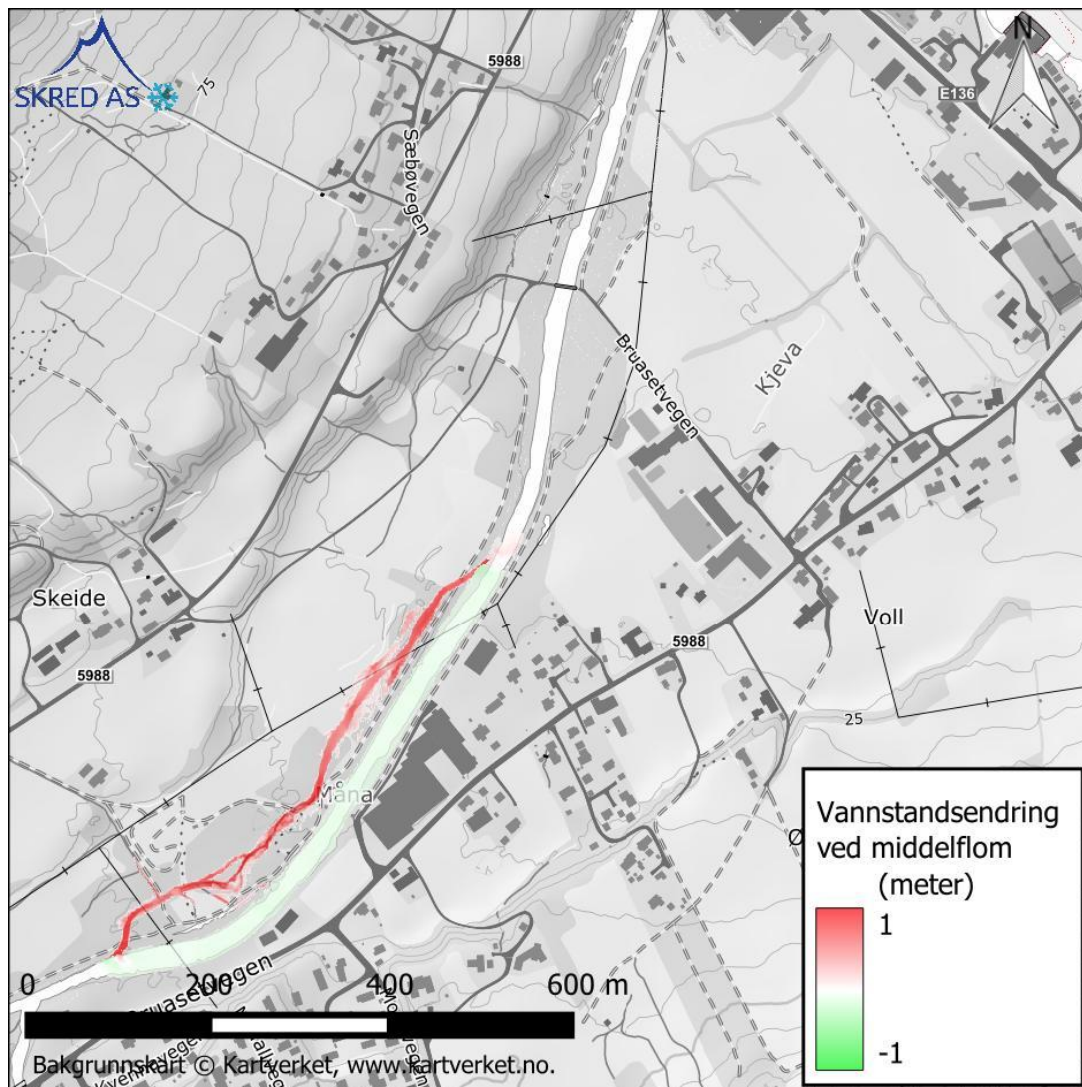
Vi har ikke konkretisert noe tilsynsprogram for tiltakene.

8 Påvirkning på omliggende områder

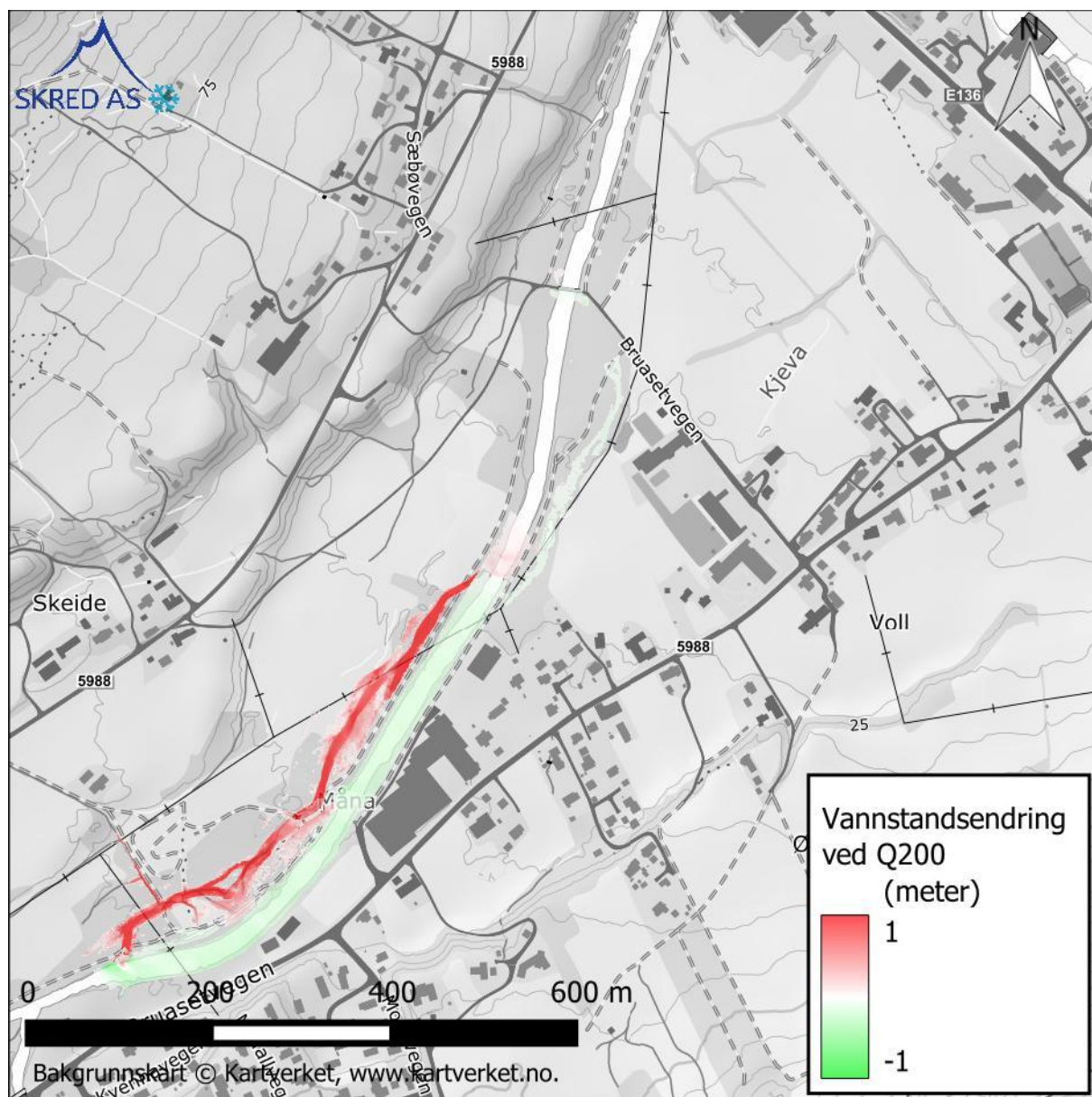
Målet med planlagt tiltak er å lede en vannmengde vekk fra Månas hovedløp, gjennom et sideløp for så å lede det tilbake i hovedløpet. Tiltaket vil føre til økt vannføring i sideløpet og økt flomfare for flomslettene rundt sideløpet. Siden det åpnes for flomsletter langs sideløpet, vil vannstanden i flomsituasjon langs hovedløpet reduseres langs strekningen.

Figur 29 og Figur 30 viser vannstandsendingene i hovedløp og sideløp fra eksisterende terreng til etter åpning av sideløp ved henholdsvis fremtidig middelflom og fremtidig 200-årsflom. Grønn farge indikerer en reduksjon i vanddybde, mens rød farge viser økning i vanddybde etter utførte tiltak.

Planlagt omlagt turvei, utformet som en erosjonssikret flomvoll sikrer nedenforliggende dyrka mark for økt flomulempe.



Figur 29: Vannstandsending i Måna ved åpning av sideløp ved fremtidig middelflom.



Figur 30: Vannstandsending i Måna ved åpning av sideløp ved fremtidig 200-årsflom.

9 Referanser

ERA Geo, 2025. 25003-RIG01-01 Månavassdraget - tilbaketrekking forbygging, Geoteknisk vurderingsrapport.

NVE, 2026. Sikringshåndboka [WWW Document]. URL <https://sikringshandboka.nve.no/>

NVE, 2023. Sikringshåndboka - Modul F2.001: Beregning og valg av steinstørrelse i erosjonssikringer.

NVE, 2012. Veileder 04/12 - Veileder for fyllingsdammer.

10 Vedlegg

- A. Hydrologiske og vassdragshydrauliske beregninger
- B. Oversiktstegning tiltak
- C. Vurdering av sikkerhet mot kvikkleireskred

Vedlegg A. Hydrologiske og vassdragshydrauliske beregninger

Vedlegg B. Oversiktstegning tiltak

Vedlegg C. Vurdering av sikkerhet mot kvikkleireskred