

# Flom og miljø i et endret klima.

## Verktøy til en naturbasert klimatilpasning

### Statusrapport 2020



**NORCE**

Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske (LFI)

# Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

NORCE Norwegian Research Center

NORCE LFI, Nygårdsgaten 112, 5008 Bergen, Tel: 55 58 22 28

ISSN nr: 2535-6623

NORCE LFI Rapport-nr. 381

**Tittel:** Flom og miljø i et endret klima. Verktøy til en naturbasert klimatilpasning. Statusrapport 2020.

**Dato:** 28.04.2020

**Forfattere:** Ulrich Pulg, Christoph Hauer, Peter Floedl, Helge Skoglund, Christoph Postler, Sebastian Stranzl, Espen O. Espedal, Gaute Velle

**Bilder:** Forfatterne

**Geografisk område:** Norge

**Finansiering:** NVE, Fylkeskommune og Fylkesmannen Vestland

**Antall sider:** 53

**Emneord:** Flom, regulering, vannmiljø, laks, sjøaure, habitat, tiltak, restaurering

## Sammendrag

Økte nedbørsmengder har ført til større flomskaderisiko og behov for bedre flomrisikohåndtering. Samtidig skal miljøtilstand i vassdrag forbedres. Med tradisjonelle metoder medfører flomsikring imidlertid ofte en reduksjon av miljøtilstand. Samfunnet etterspør en bærekraftig, multifunksjonell klimatilpasning som ikke går på bekostning av naturen.

Dette FoU-prosjektet skal fremskaffe metoder som ivaretar både bedre flomsikring og miljøtilstand i vassdrag. I fire case-vassdrag ble det samlet inn data og utviklet scenarier for flomsikring og miljøtiltak. Arbeidet inkluderer samarbeid med lokalbefolkning og kommuner i case-vassdragene (Aurlandselva, Flåmselva, Nausta, Storelva i Brekke). Prosjektet pågår i perioden 2017-2021 og er finansiert av NVE, med bidrag fra Fylkeskommunen og Fylkesmannen i Vestland. Arbeidet blir gjennomført av NORCE LFI (Bergen) og BOKU IWHW (Wien).

Statusrapporten inneholder et sammendrag av foreløpige resultater, status april 2020. Det har blitt fremskaffet ny kunnskap om hvordan elver har blitt dannet i postglasiale landskap og hvordan dette påvirker flomrisikohåndtering, miljøtilstand og -tiltak. Dette arbeidet danner grunnlaget for et nytt modellverktøy til kartlegging og håndtering av erosjonsrisiko ved flom. Det vises hvordan elverestaurering kan brukes som aktivt tiltak for å redusere flomskaderisiko. I rammen av prosjektet ble det utviklet metoder for en mer miljøvennlig erosjonssikring, samt sedimentforvaltning. Flere miljøvennlige flomsikringstiltak sammenstilles i en katalog. Det har blitt samlet inn en rekke biologiske og abiotiske data som grunnlag for løsningsscenarier i case-vassdragene. Løsningsscenariene gir mulighet å sammenligne muligheter og effekter i en konkret kontekst og det har blitt valgt tiltak som kan bli aktuelle til å bedre økologisk tilstand i henhold til vannforskriften.

Resultatene vil kunne supplere og forbedre dagens flomrisikohåndtering og bidra til en mer bærekraftig, naturbasert klimatilpasning. En sluttrapport skal leveres 2021.

Pulg, U., Skoglund, H., Postler C., Stranzl, S., Espedal, E.O, Velle, G. 2020: Flom og miljø i et endret klima. Statusrapport 2020. NORCE LFI rapport 381. Norwegian Research Center LFI, Bergen.

# Innhold

1	Introduksjon .....	4
2	Metoder.....	5
2.1	Overvåking av fisk.....	5
2.2	Bunndyr .....	5
2.3	Kartlegging av habitat og morfologi.....	5
2.4	Hydraulikk og hydrologi.....	6
3	Resultater .....	7
3.1	Klimatilpasning – på vei til en mer bærekraftig flomsikring.....	7
3.1.1	Elvegenese og dens betydning for økologi og flomsikring .....	8
3.1.2	Verktøy for håndtering av erosjonsrisiko .....	14
3.1.3	Elverestaurering som flomsikringsmetode.....	16
3.1.4	Sedimentmanagement som miljøtiltak og flomsikring .....	18
3.1.5	Katalog med miljøvennlige flomsikringsmetoder.....	27
3.2	Data og scenarier fra eksempelvassdragene.....	31
3.2.1	Flåmsvassdraget .....	32
3.2.2	Aurlandsvassdraget .....	37
3.2.3	Innspill til vannforskriftens tiltaksanalyse .....	38
3.2.4	Data fra det pågående arbeidet .....	47
4	Gjennomført arbeid, fremdrift og track record.....	50
5	Referanser .....	52

# 1 Introduksjon

Økte nedbørmengder har ført til store flommer som har forårsaket omfattende skader – ikke minst på Vestlandet. Behovet for vurdering av metode for flomsikring er økende, noe som samtidig kan innebære risiko for vassdragsmiljøet. Kanalisering, plastring, magasinering og fraføring av vann kan redusere miljøkvaliteter, for eksempel kantsoner, våtmark og fiskebestander. Vannforskriften og naturmangfoldloven krever imidlertid at vassdrag skal få bedre miljøtilstand framover. For å få dette til trengs det metoder som både reduserer fare for flomskader OG bedrer miljøtilstanden. Å utvikle og sammenstille disse metodene er målet med FoU-prosjektet.

Dette FoU-prosjektet skal fremskaffe metoder som ivaretar både bedre flomsikring og bedre miljøtilstand i vassdrag. I fire case-vassdrag skal det utvikles scenario for flomsikring og miljøeffekter. Det blir lagt vekt på å integrere aktuell norsk og internasjonal kunnskap i scenarioene. Arbeidet skal gi et grunnlag for vurdering av liknende problemstillinger i andre elver. Prosjektet er et FoU-prosjekt finansiert av NVE, med bidrag fra Fylkeskommunen og Fylkesmannen i Sogn og Fjordane. Arbeidet blir gjennomført av NORCE LFI (Bergen) og BOKU Wien (IWHW).

Arbeidet har startet opp i 2017 og blir sluttrapportert i 2021. Det ble holdt årlige seminar med presentasjon av mellomresultatene. I 2019 ble første resultat og scenarioer for case-vassdragene presentert.

I rammen av prosjektet skal miljøeffekter av tidligere flomsikringstiltak dokumenteres. Det blir fokusert på habitatforhold i vassdrag sammen med bunndyr og fisk i vassdrag. Det skal samles inn data fra litteratur og fra case-vassdragene (Nausta i Naustdal kommune, Flåmselva, Aurlandselva i Aurland kommune og Storelva i Gulen kommune). Nedbørsfeltet inkludert potensielle retensjonsmuligheter og våtmarksområder inngår i analysene. Hydrauliske og hydrologiske egenskaper av flommer og flomsikringsstiltak blir simulert i datamodeller. Det blir laget scenarioer for forskjellige flomsikringsløsninger, inkludert forventet miljøeffekt og flomsikringseffekt. På dette grunnlaget vil det bli mulig å sammenlikne forskjellige metoder, men og utvikle nye flomsikringsmetoder og vurdere metoder som er brukt i andre land.

Det tilbys et tett samarbeid med kommuner, reguleranter, interessegrupper og lokale initiativ knytt til vassdrag. Innspill ved utvikling av scenarioer er velkomne. Samarbeidet ble organisert via seminarer og workshops i case-vassdragene.

Denne statusrapporten 2020 sammenfatter resultatene så langt og gir en oversikt over metoder brukt. Det presenteres et utvalg og foreløpige resultater som kan endre seg i det pågående arbeidet.

## 2 Metoder

### 2.1 Overvåking av fisk

Det ble gjennomført el-fiske og gytefisktelling i case-elvene hver høst siden 2018. Gytefisktelling ble gjennomført etter norsk standard (Skoglund et al. 2013). El-fiske ble gjennomført på transekter etter (Forseth and Forsgren 2009; Hedger et al. 2018). I Aurland og Nausta ble el-fiske dataene disponert av NINA som hadde pågående prosjekter der. Dataene ble dessuten supplert med eldre data fra tidligere undersøkelser.

### 2.2 Bunndyr

På verdensbasis er det publisert en rekke engelskspråklige artikler som viser økologiske effekter på bunndyr som følge av regulering, inkludert flomsikring. Det er også utført enkelte prosjekter i Norge som har undersøkt effekter av hydromorfologiske endringer på sammensetningen og tettheten av bunndyr, eks innen enviPEAK og ECOREG. Det er imidlertid ingen sammenfattende informasjon om effekter av regulering og menneskeskapt vassdragsendringer på bunndyr, hverken på norsk eller engelsk. Vi mangler dermed helhetlig informasjon om hvordan regulering påvirker bunndyrsamfunn i elver. Vi er nå i gang med et omfattende litteratursøk i internasjonal litteratur. I dette søket vil vi søke etter artikler som har undersøkt effekter av regulering i vassdrag på bunndyr. I denne sammenheng definerer vi regulering i vid forstand, og inkluderer for eksempel økologiske effekter som følge av endring i vannføring, vannhastighet, substratsammensetning, næringstilgang, vanntemperatur, begroing, tørrlegging, hydropeaking, erosjonssikring eller kanalisering.

Vi supplerer også informasjonen fra litteratursøket med kvantitative bunndyrprøver som er tatt i bl.a. Flåmselvi langs en gradient av habitattiltak. Hensikten er å finne hvordan ulike habitattiltak påvirker produksjon og biologisk mangfold.

### 2.3 Kartlegging av habitat og morfologi

Det ble gjennomført habitatkartlegging av lakseførende del av alle case elver etter miljødesign metoden. Skjulmålinger og gyteplasskartlegging ble gjennomført etter (FINSTAD et al. 2007; Forseth and Harby 2013). Sedimentkartlegging på mesohabitatskala ble gjennomført etter (Ugedal et al. 2019). Sedimentprøver ble tatt etter (Barlaup et al. 2008). Sedimentanalysen ble gjennomført etter (Pulg et al. 2013).

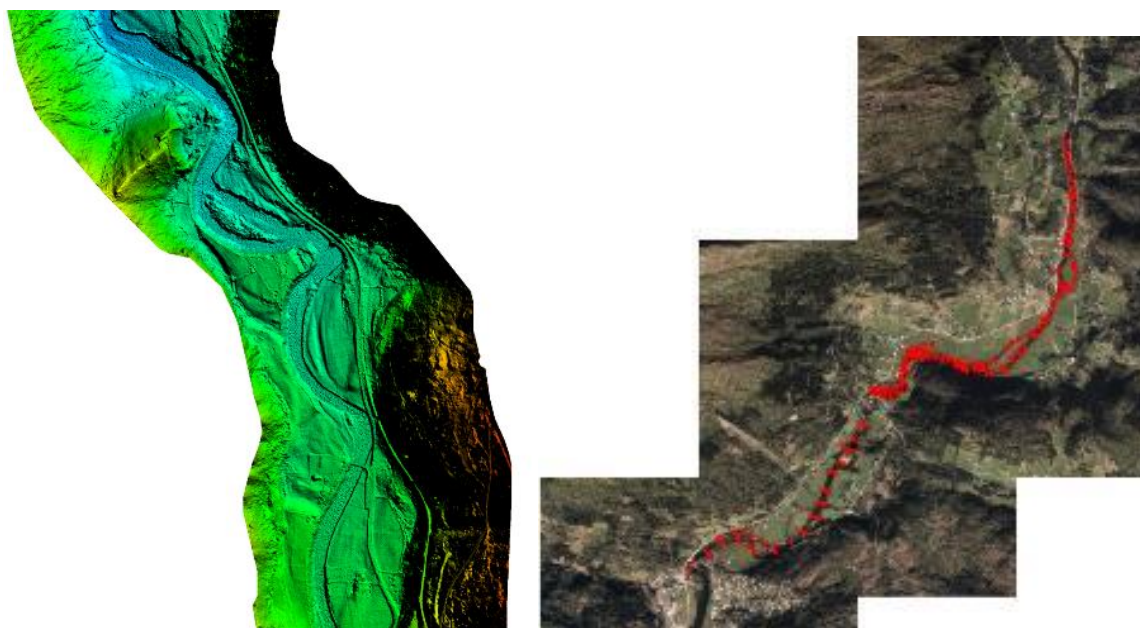
I alle elver ble anadrom del målt opp med tverrprofiler og landmålingsutstyr. Det ble lagt detaljerte habitatkart med hjelp av droner og georefererte ortofoto med 4 cm oppløsning. Dessuten ble det brukt digitale terrengmodeller basert på LiDAR scanning. I Flåmselva og Nausta også grønn laser LiDAR.

I tillegg ble det utviklet en metodikk for å kartlegge elvemorfologi på segment skala (reach scale), se kap. 3.1.1.

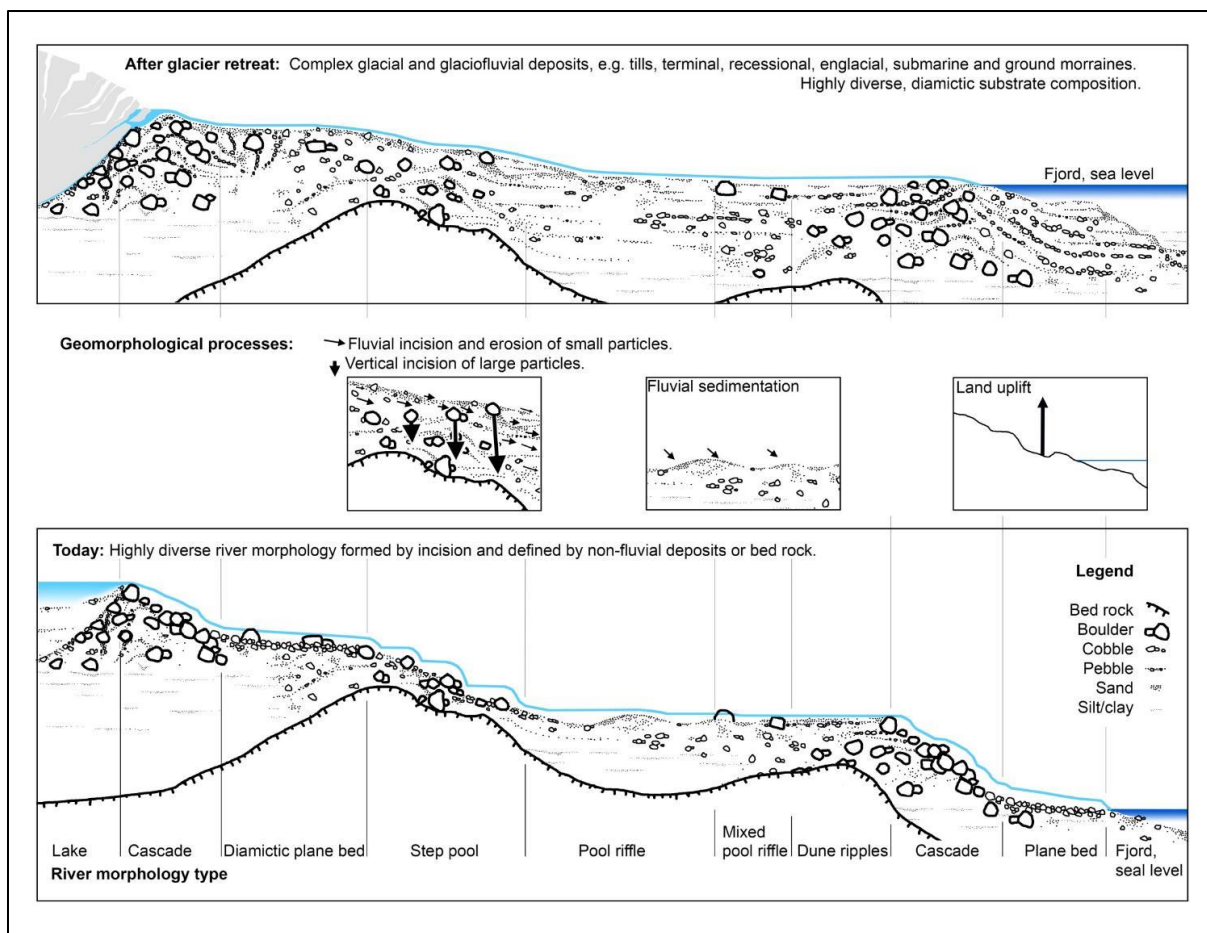
## 2.4 Hydraulikk og hydrologi

Hydrologiske grunnlagsdata ble levert av NVE (Holmkvist 2015, Væringstad 2019, Øye Leine og Holmkvist 2019, Øye Leine og Husebye 2019). For flomberegninger ble det modellert flomhendelser med 5, 10, 20, 50, 100 og 200 år gjentaksintervall (HQ5, HQ10, HQ20, HQ50, HQ100, HQ200), i tillegg ble HQ200 modellert med klimapåslag som anbefalt i NVE flomrapportene (Aurland 40 %, Flåm 40 %, Nausta 20 %, Brekke 40 %). Det ble kartlagt dagens elv og hydrauliske parametere og flaskehalsar. Data ble delvis levert av NVE (grønn laser bathymetri), er tilgjengelig på kartverket (rødt laserdata, løsmassekart, flybilder) og ble supplert med egne oppmålinger (Structure from Motion droneoppmålinger, RTK GPS). I neste trinn ble det forsøkt å rekonstruere en historisk upåvirket elvemorfologi («Leitbild») basert på gamle flybilder og relikter av gamle elveløp i laserscans. Basert på grunnlagsdata og innspill fra myndighetene og lokalfolk ble det utviklet scenarier for hver elv: (1) dagens elvegeometri, (2) upårørt elv, (3) helt flomsikret elv, og (4) en elv som flomsikres skånsomt der det er behov mens det tas hensyn for miljø. I scenarioene inngår blant annet magasinerings, retensjon, sikring, miljøtiltak, utviding og vedlikehold.

De fire scenarier ble bygget opp som 2-dimensjonal hydrodynamisk numerisk modell i programvaren HydroAS (Hydrotec). Modellen tar høyde for horisontal strømning mens det tas et gjennomsnitt over vandybden. Det ble analysert vannspeil, vannhastigheter og Froude nummer og linket med morfologi og massekvalitet (Fig 1, Fig 2). For morfologien ble det lagt en samling av elvetyper i Norge. Det ble blant annet definert to nye elvetyper (diamictic plain bed, mixed pool riffle, Hauer og Pulg 2018) i denne sammenheng. Samlet gir dette et kart som kan peke ut områder som har risiko for oversvømmelse (der elven topper over) og eller erosjonsfare (der superkritisk strømning og løsmasser faller sammen). Oversvømmelsesområder og erosjonsfare varierer mellom de forskjellige scenarier. Det ble gjennomført en økologisk vurdering av scenariene. For hver elv utvikles en tiltaksplan med anbefalinger for flom- og miljøtiltak som vil samlet bedre flomsikkerhet og miljøtilstand.



Figur 1. Fra datainnsamling: LiDAR-Grid i Flåm til venstre og oppmålte tverrprofiler i Nausta til høyre.



Figur 2. Skjematisk fremstilling av elvedannelse i et postglasielt landskap med naturlig løsmasseunderskudd. Elven skjærer seg inn i glasiøle, glasiøfluviale og kolluviale avsetninger og utvikler en heterogen morfologi med små skala variasjon og delvis ikke-fluviale avsetninger (fra Hauer and Pulg 2018).

### 3 Resultater

Prosjektet har så langt gitt en rekke viktige resultater. I følgende kapittel beskrives hovedfunnene. Vi begynner med overordnede resultater som danner grunnlag for en naturbasert klimatilpasning (3.1) og går så inn i enkeltvassdrag med data fra kartlegging og biologisk overvåking, samt løsningsscenarier (3.2).

#### 3.1 Klimatilpasning – på vei til en mer bærekraftig flomsikring

Klimaendringer krever klimatilpasning og dette gjelder særlig vassdrag. Flomskaderisiko er økt siden nedbørmengder øker i mange nedbørsfelt og siden nedbørsintensitet vil være mer ekstrem. NVE regner med 20 % og 40 % påslag på dagens flomberegninger. Resultatene fra forskningsprosjektet Hordaklim (<https://bjerknes.uib.no/hordaklim>) viser at det kan være store lokale forskjeller i utviklingen av fremtidens flommer.

Samtidig stille samfunnet større krav til miljøtilstand i og langs vassdrag. I vannforskriftens formuleres en forventning etter god miljøtilstand i vassdrag. Men også en rekke andre lover og forskrifter (Naturmangfoldloven, Lov om laks og innlandsfisk m.m.) setter rammer for vassdragsforvaltning og flomsikring. En rekke vassdrag i Norge er vernet mot fysiske inngrep og utbygging. I mange tilfeller vil det derfor ikke være i tråd med verken lovverket eller samfunnets forventning å flomsikre med metoder som reduserer miljøtilstand i vassdrag.

For å kunne følge lovverket kreves en klimatilpasning som er miljøvennlig. Til dette trengs verktøy som er basert på forståelse av naturtypiske prosesser og som gir grunnlag for å a) restaurere naturlige funksjoner i vassdrag eller b) kompromissløsninger som gir mest mulig naturbaserte løsninger når arealbruket skal opprettholdes.

Våre resultater bidrar til å løse denne utfordringen. Kap. 3.1.1 sammenfatter viktige erkjennelser om hvordan elvene ble dannet og hvilke konsekvenser det har for miljø og flomrisiko. Kap. 3.1.2 beskriver et verktøy for å kartlegge og å håndtere erosjonsrisiko under flom – et hovedfaremoment i mange norske elver. I kap. 3.1.3 forklares hvordan denne metoden kan brukes for å anvende-, dimensjonere- og legitimere elverestaurering som flomsikringsmetode. Kap. 3.1.4 beskriver hvordan ukontrollert sedimentering - en viktig risikofaktor – kan håndteres gjennom sedimentmanagement. I kap. 3.1.5 listes en katalog med miljøvennlige sikringstiltak, her i statusrapporten bare med et kort utvalg.

Disse verktøyene vil bidra å forene formålene om både bedre flomsikring og bedre miljøtilstand, og med dette en bærekraftig klimatilpasning som ikke går på bekostning av naturen. Flomsikring kan – dersom utformet på rette måten – til og med bli et viktig virkemiddel til å bedre miljøtilstand i påvirkete vassdrag. Viktige forutsetninger for å kunne iverksette en naturbasert klimatilpasning i vassdrag er:

- 1) En langsiktig arealplanlegging, vassdragsforvaltning og flomrisikohåndtering når man har tid.
- 2) Implementering av bedre løsninger etter flommer – ikke automatisk gjenoppbygging av førtilstanden.
- 3) Best mulige data og modeller for kunne beregne fremtidens flommer og med dette dimensjonere treffsikre tiltak.

### 3.1.1 Elvegenese og dens betydning for økologi og flomsikring

I 2018 ble det publisert første forskningsartikkel fra prosjektet som inneholder en ny forståelse av hvordan elver ble dannet etter siste istiden og hvilke konsekvenser det har for flomsikring og miljø (Hauer and Pulg 2018). Mens denne artikkelen bygger på data fra Norge, hovedsakelig Vestlandet, inkluderer en oppfølgende artikkel hele verden og beskriver en lignende morfologi fra geologisk lignende områder som også var påvirket av isbreer i Pleistocen, særlig det skandinaviske skiltet, det østkanadiske skiltet og Grønland (Hauer and Pulg 2020).

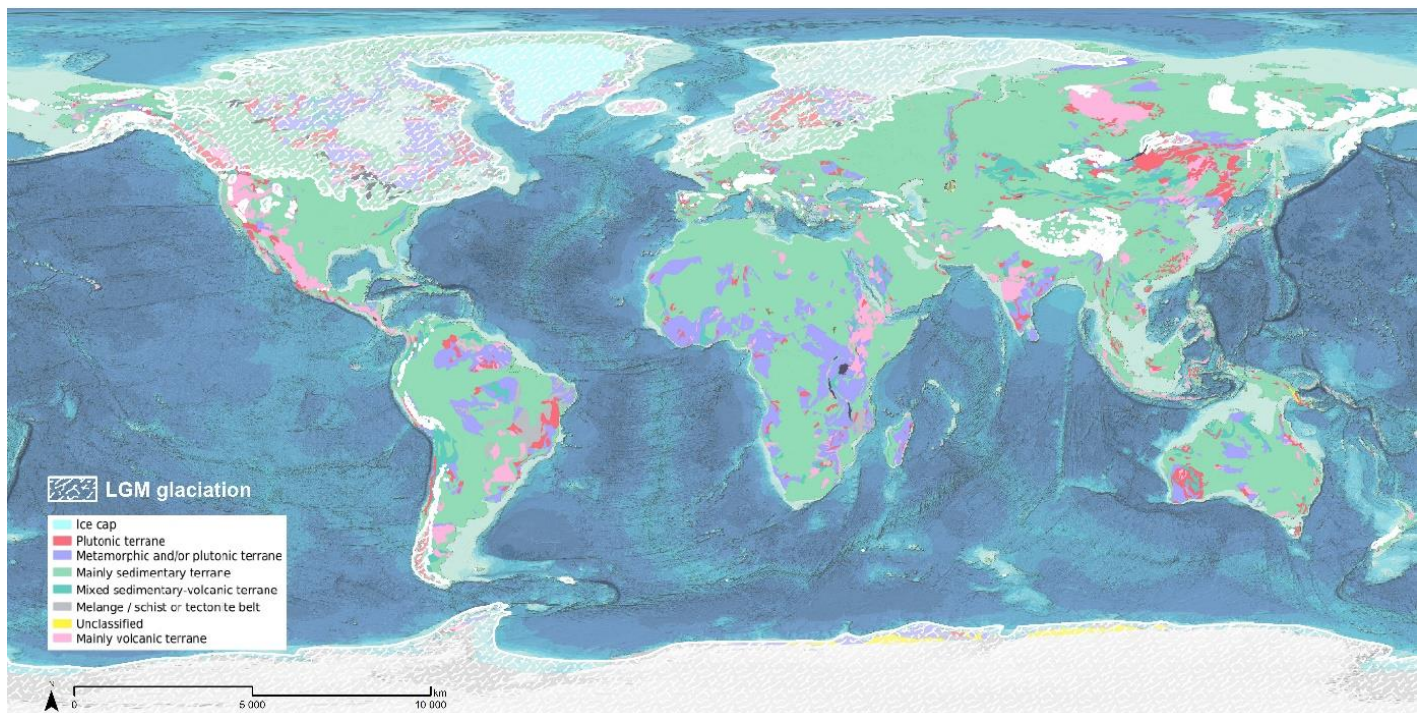
En hovedtese er at breene har påvirket utforming av elver langt mere enn tidligere antatt. Mange elvestrekninger består hovedsakelig eller delvis av bremasser eller kolluviale masser som ikke er sorterte. Disse strekningene betegnes derfor som ikke-fluviale eller semi-fluviale strekninger. I tillegg finnes fluviale strekninger som ble utformet av elvens erosjon og sedimentasjon og som består av fluviale sorterte masser. I den norske geologien generes lite løsmasser i de fleste nedbørsfelt og derfor



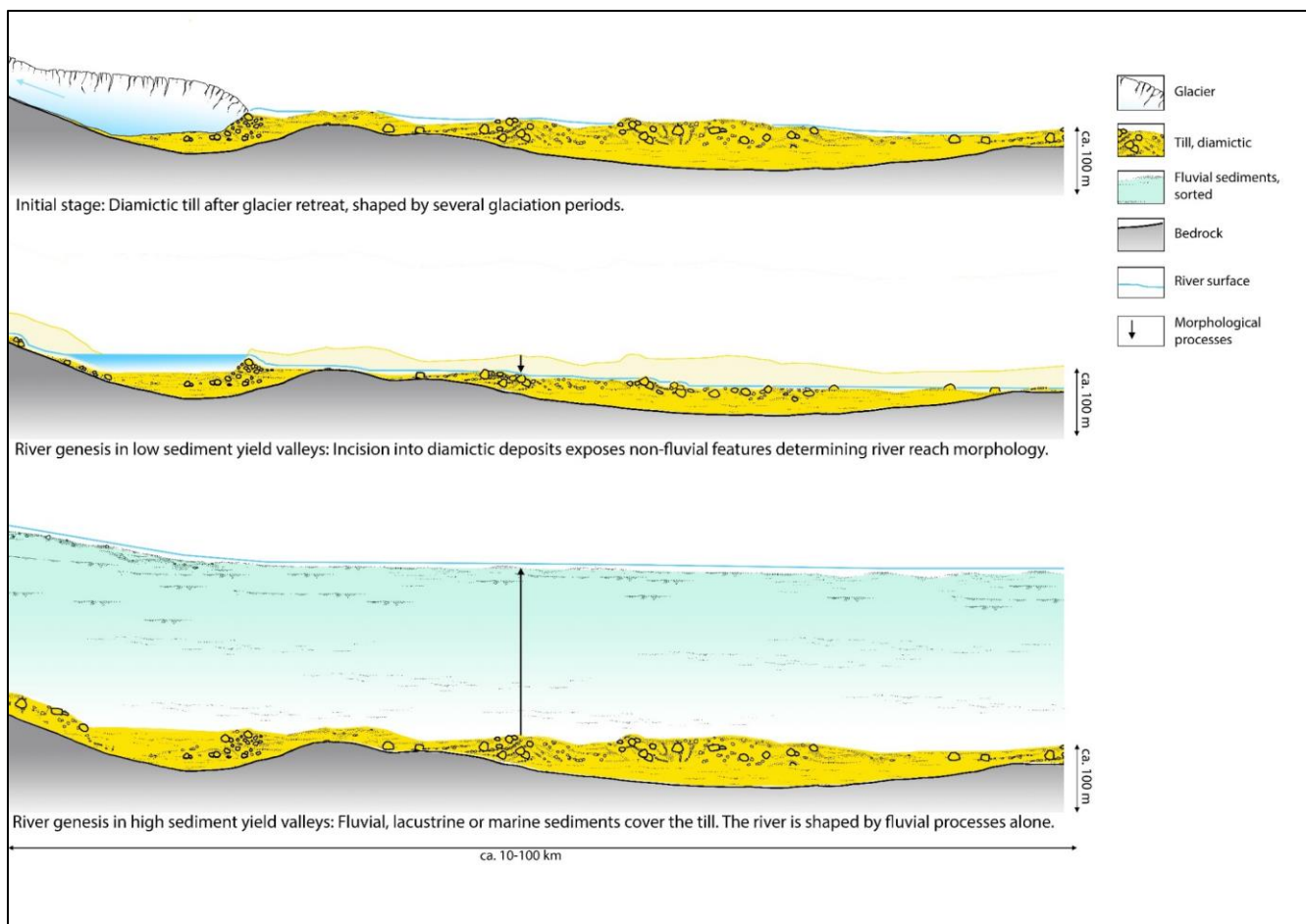
dominerer massebegrensete elver (supply-limited), ofte med mange innsjøer. I motsetning til mange andre elver i verden som kommer fra fjellkjeder med stor genering av løsmasser (transport limited). Disse utvikler en typisk fluvial morfologi med sonering, gradvis mindre helning og mindre korndiameter. I typisk vestnorske elver finnes derimot fluviale, semifluviale og ikke-fluviale strekninger i en stor variasjon også innad i elver. Dette har store konsekvenser for flomsikring og økologi siden ikke-fluviale sedimenter som stammer fra breer og ras er relativt stabile under dagens vannføringsforhold, også under flommer, mens fluviale masser kan beveges i stor grad.

#### Viktige implikasjoner for flomrisiko og sikring:

- Stor morfologisk variasjon i et og samme vassdrag kan kreve veldig forskjellige flomsikringsmetoder, delvis i små skala. Mens en ikke-fluvial stabil kaskade eksempelvis er stabil uten å kreve en sikring kan en nedenfor liggende fluvial slette kreve mere en dagens standardsikring dersom erosjon skal unngås.
- Fluviale og delvis semifluviale elvestrekninger er svært utsatt for erosjon, særlig i kombinasjon med brattere strekninger. Her er skaderisiko fra erosjon ofte større enn fra oversvømmelse. Dagens flomrisikovurdering basert på flomsonekartlegging må derfor utvides til erosjonsrisikokartlegging dersom skader skal minimeres.



Figur 3. Last Glacial Maximum (LGM) og forenklet geologisk verdenskart. Det forventes en lignende elvemorfologi i verdens postglasiale regioner med plutoniske og metamorfe bergarter, f. eks. Østkanada, Grønland og Skandinavia (fra Hauer and Pulg 2020).



Figur 4. Postglasial elvegenese ved løsmasseunderskudd (supply-limited) som i mange norske vassdrag (midtre) og løsmasseoverskudd (nedre bilde) som i mange andre fjellregioner i verden. Mens det dannes en fluvial morfologi i nedre eksempel, dannes en variert morfologi i midtre med forskjellige habitategenskaper og store forskjeller i massenes stabilitet. De fleste flomrisikovurderingsmetoder og sikringstiltak ble utviklet for nedre typen (fra Hauer and Pulg 2020).

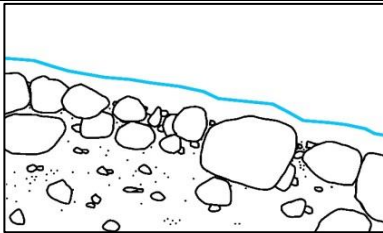

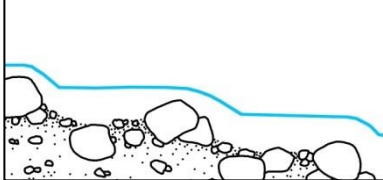

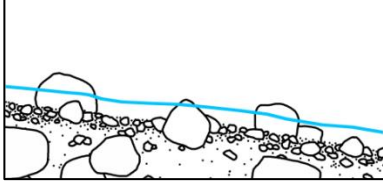

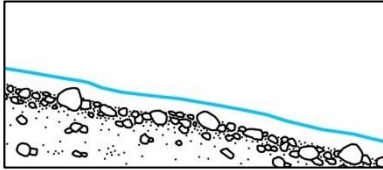

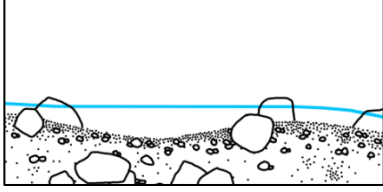

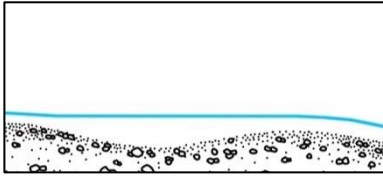

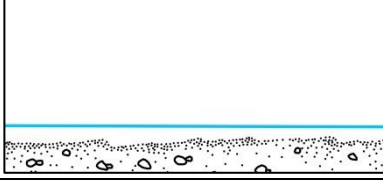

#### Viktige implikasjoner for økologi:

Forekomst av fisk er avhengig av elvemorfologien, både ved en naturgitt morfologi og ved fysiske endringer (kanaler, forbygninger, dammer). Elvemorfologien gjenspeiler sediment- og habitatforhold, vandringsmuligheter og vannføring.

Også fisketettheter av laks og aure er avhengig av morfologiske forhold (se Figur 5 og Figur 6) og det finnes typiske tettheter som kan tilordnes bestemte morfologier, for eksempel har fluviale kulp-stryk strekninger typisk en høy gyteplassandel og store tettheter av årsyngel, mens de høyeste tettheter av parr (eldre ungfisk og presmolt) særlig finnes i semifluviale «varierte stryk».

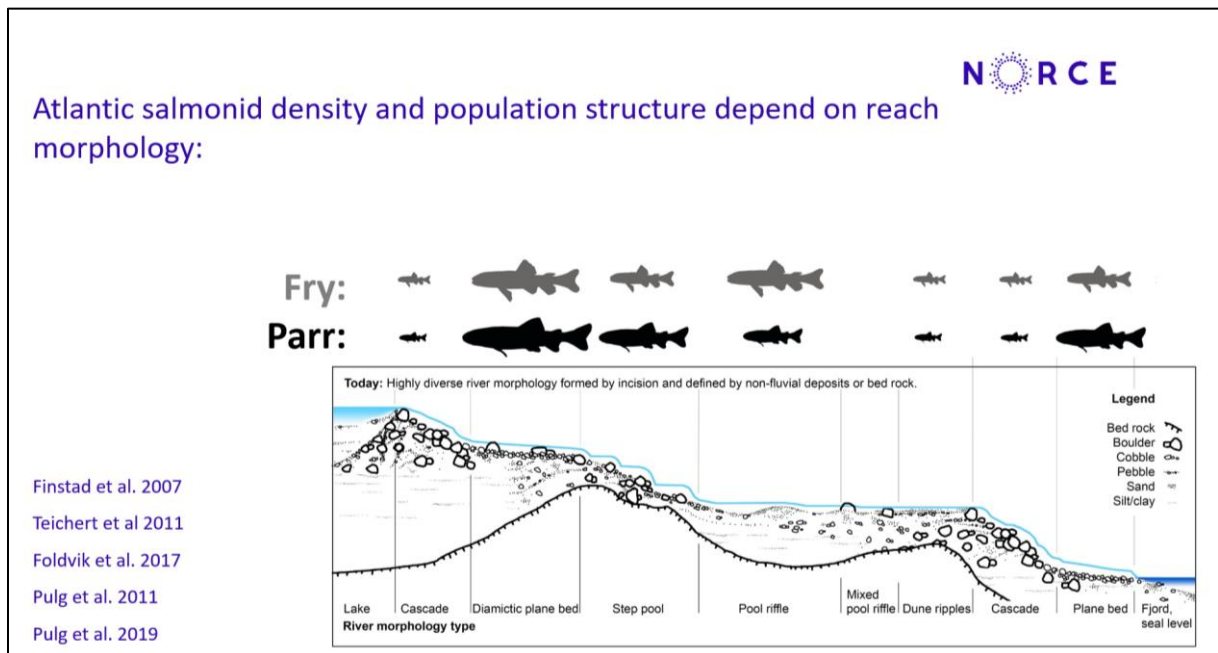
En forutsetning for å kunne bruke fisketettheter og forekomst i vannforskriftens klassifisering og vurdere flomsikringspåvirkning er en forståelse av elvemorfologiens effekt på fisk.

Tabell 1. Forenklet oversikt over morfologiske elvetyper i lengdeprofil med tilhørende gradient og dominerende substrat (modifisert etter Montgomery & Buffington 1997 og Hauer & Pulg 2018). Til orientering for valg av substrattyppe og elveform i lengdeprofil ved restaurering og habitattiltak. (Blokk > 26 cm, rullestein 6 - 26 cm, grus 1-6 cm, fingrus og sand < 1 cm)

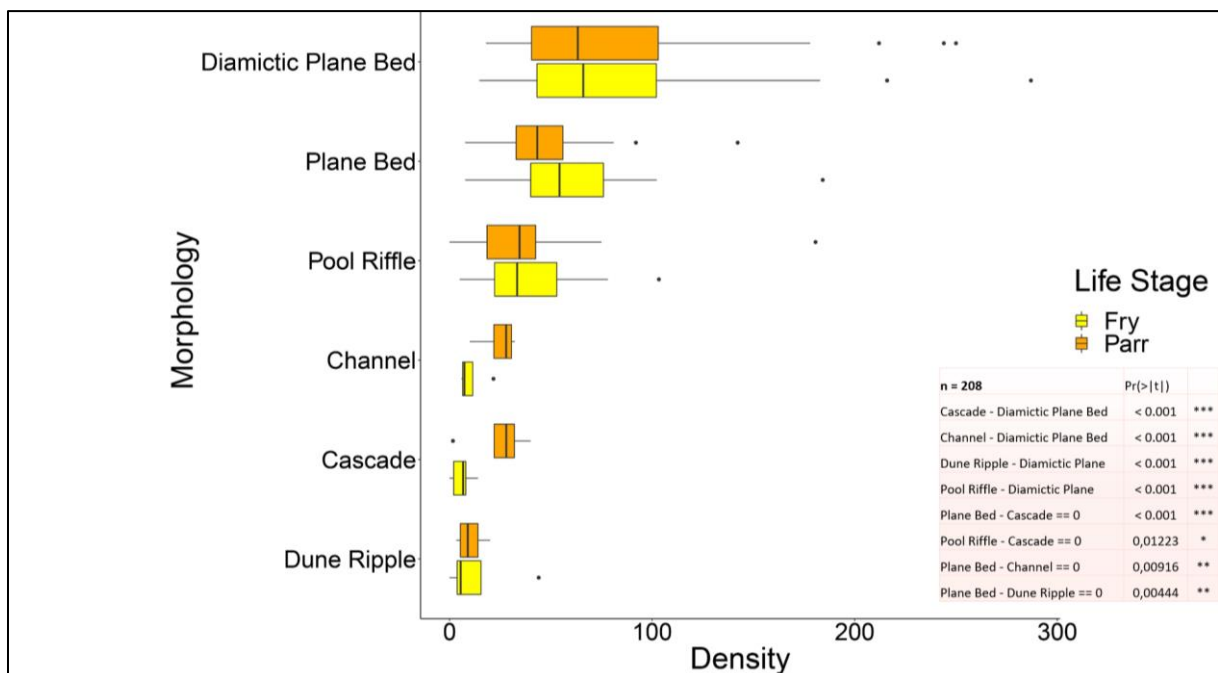
Skjematisk lengdeprofil	Bilde	Beskrivelse
		<p><b>Kaskade (fossestryk)</b>                      Typisk gradient: 0,065-0,3                      Dominerende substrat: fjell eller blokk                      Typisk kulplengde &lt; 1 elvebredde</p>
		<p><b>Trinn-kulp type</b>                      Typisk gradient: 0,03-0,01                      Dominerende substrat: blokk og rullestein                      Typisk kulplengde 1-4 ganger elvebredde</p>
		<p><b>Variert stryk</b>                      Typisk gradient: 0,01-0,03                      Dominerende substrat: både grus, rullestein og blokk.                      ingen typisk kulplengde</p>
		<p><b>Jevnt stryk</b>                      Typisk gradient: 0,01-0,03                      Dominerende substrat: rullestein og grus                      ingen typisk kulplengde</p>
		<p><b>Blandet kulp-stryk type</b>                      Typisk gradient: 0,001-0,015                      Dominerende substrat: grus med innslag av rullestein og blokker                      Typisk kulplengde 5-7 ganger elvebredde</p>
		<p><b>Kulp-stryk type</b>                      Typisk gradient: 0,001-0,015                      Dominerende substrat: grus                      Typisk kulplengde 5-7 ganger elvebredde</p>
		<p><b>Finsediment type</b>                      Typisk gradient: &lt; 0,001-0,005                      Dominerende substrat: fingrus (&lt; 0,8 cm), sand eller finere                      Typisk kulplengde 5-7 ganger elvebredde</p>

## Viktige implikasjoner for miljøeffekter av flomsikring

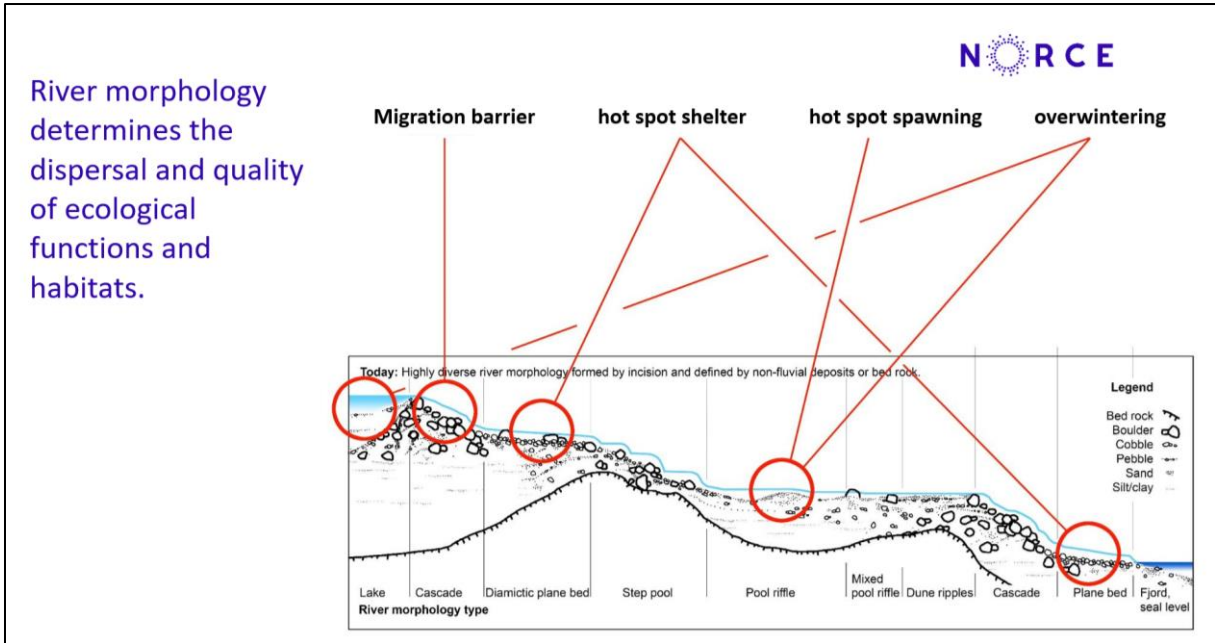
Miljøeffekter av fysiske inngrep avhenger av elvemorfologi. En standard erosjonssikring langs en stabil ikke-fluvial kaskade endrer ikke elvens løp. Med avbøtende tiltak som en heterogen utforming og mulighet for sedimenttilførsel fra siden vil en slik sikring ha liten miljøpåvirkning. I fluviale kulp-stryk eller finsedimentsrekninger vil samme standardsikring endre hele elvens form og hindre utvikling av typiske habitater som kroksjøer og bakevjer og derfor ha langt større miljøeffekter.



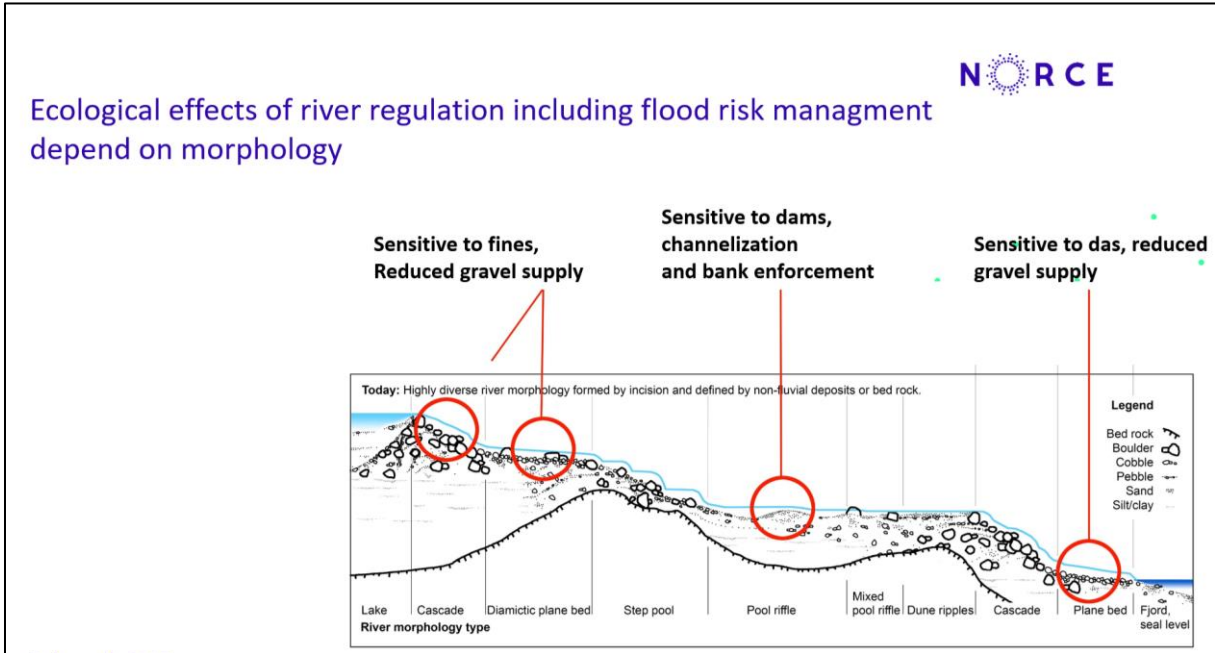
Figur 5. Slide fra foredrag om prosjekterresultater på ISRS 2019 – 8-13. September 2019 Vienna



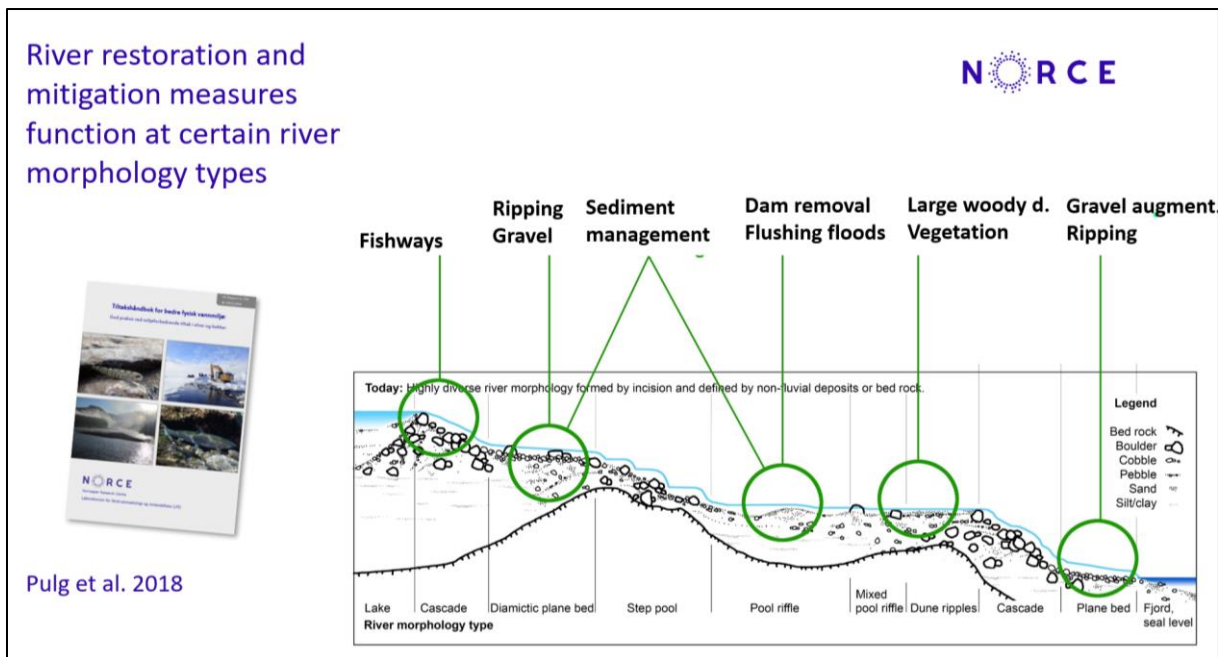
Figur 6. Slide fra foredrag om prosjekterresultater på ISRS 2019 – 8-13. September 2019 Vienna



Figur 7. Slide fra foredrag om prosjektsresultater på ISRS 2019 – 8-13. September 2019 Vienna



Figur 8. Slide fra foredrag om prosjektsresultater på ISRS 2019 – 8-13. September 2019 Vienna



Figur 9. Slide fra foredrag om prosjektresultater på ISRS 2019 – 8-13. September 2019 Vienna

### 3.1.2 Verktøy for håndtering av erosjonsrisiko

Erosjonskraft under flommer kan være like farlig og farligere enn oversvømmelse. Dette gjelder ikke minst i Vestlandselver med deres store variasjon i morfologi og massestabilitet. 2014-flommen i Opo og Flåmselven der flere hus ble erodert understreker dette. Dagens flomsonekartlegging er vel etablert, men tar ikke hensyn til den type risiko. Flomsonekartlegging ble utviklet i flate elvestrekninger med homogen morfologi og her er flomsonekartlegging ofte tilstrekkelig: Slike elvetyper finnes i større grad i Øst-Norge og i Europa utenom det skandinaviske skiltet samt Nord-Amerika, men også på Vestlandet.

I mange semifluviale norske elver bør flomsonekartlegging imidlertid suppleres med vurdering av erosjonsrisikoen for å kunne håndtere skaderisiko ved flom.

I prosjektet har vi utviklet en metode til vurdering av erosjonsrisiko. Den baseres hovedsakelig på modellering av flommens erosjonskraft indikert av Froude number og terrengets sårbarhet mot erosjon basert på elvemorfologien (kap. 3.1.1). Verktøyet beskrives i følgende modellen:

Tabell 2. Verktøy for vurdering a oversvømmelses- og erosjonsrisiko

Input	Terrengdata basert på LiDAR og DGPS + flomvannføringer + elvemorfologi
Analyse	2 D hydraulisk modellering av flomvannstand og Froude-nr + elvemorfologi
Output	Kart med flomsoner og erosjonsfaresoner



Figur 10. Kart med flomsone og erosjonsfarekart ved 200-årsflom (Steinshølen in Flåmselva). Farget areal indikerer vannstand og flomsone. Rød Farge indikerer arealet med Froude-nr > 1 (superkritisk strøm) og sårbar morfologi dvs. området der det må regnes med erosjon i en 200-årsflom. Mulige tiltak er enten å gi elven mere rom i de røde områdene eller sikre elvebredden tilstrekkelig der det er nødvendig. Ved nåværende situasjon vil en 200-års-flom grave på høyre bredden bak erosjonssikring med potensial for et nytt elveløp og mobilisering av store mengder med løsmasser.



Figur 11. Superkritisk strømning på fluviale masser gir stor erosjons- og skadepotensial, her vist ved Flåm kirke i 2014

### 3.1.3 Elverestaurering som flomsikringsmetode

I en rekke land brukes elverestaurering som flomsikringsmetode. Gjenåpning av elver og bekker, utvidelse av avløpstverrsnitt og fjerning av terskler og dammer fører som regel til økt avløpskapasitet slik at oversvømmelsesfare reduseres. Utover dette kan også elvens erosjonskraft reduseres når vannet kan omvandle sin kinetiske energi på bestemte områder med tilstrekkelig bredde. Utformes disse arealene etter en naturtypisk morfologi vil disse bidra til å senke både erosjons- og oversvømmelsesrisiko, samt bedre miljøforhold. Fordelen er en vann-vinn-situasjon med bedring av miljøtilstand samtidig som flomsikringen styrkes. Tiltakene er som regel arealkrevende, men arealet kan brukes til noe, for eksempel som beite, elvepark og landbruksareal.

Utfordringen i Norge var at det manglet et verktøy for å kunne dimensjonere et restaureringstiltak som flomsikringsmetode og dokumentere at det faktisk virker etter hensikten. Dessuten er det en vel etablert tradisjon for å gjenoppbygge før-tilstanden og å få finansiering for nettopp dette istedenfor en ny og mer bærekraftig løsning.



Vårt arbeid bidrar nå til å åpne opp for vassdragsrestaurering som flomsikringsmetode i Norge. Modellverktøyet fra kap. 3.1.2 kan brukes til å vurdere behov for restaurering og for å dimensjonere restaureringstiltak. Forenklet fortalt følges følgende fremgangsmåte:

1. Erosjon og sedimentasjon tillates der det er mulig.
2. Skal erosjon begrenses grunnet sikringsbehov prøves elverestaurering etter følgende mønster: I røde soner (se Figur 10) som ligger på land utvides avløpstverrsnittet inntil modellen viser at erosjonsfare og flomsone ligger innenfor ønsket område. Erosjonssikring kan flyttes til randen av slike områder dersom nødvendig.
3. Vassdragstrekingen utformes etter naturlige referanser (kap. 3.1.1).
4. Der det ikke er rom for utvidelse av tverrsnittet og restaurering grunnet bosetting og viktig infrastruktur kan høy erosjonsrisiko håndteres ved tilstrekkelig stabil og miljøvennlig erosjonssikring (se kap. 3.1.5). Delvis vil også restaurering ovenfor eller nedenfor kunne hjelpe, avhengig av risikotype. Arealer i elvesengen som skal beskyttes mot erosjon kan dekket med tilstrekkelig store og stabile, naturtypiske stein utformet som naturtypiske stryk.

En elverestaurering kan gjennomføres aktivt ved hjelp av maskiner som fjerner eller flytter erosjonssikring og tilpasser terrenget. I en rekke tilfeller har også flommer blitt brukt, ved å ikke tilbake-kanalisere elven etter at en flom hadde gravd en elveutvidelse eller nye elveløp. I stedet ble pengene bruket for å kjøpe opp arealet som var endret og som nå tjener som flomsikring, se eksempel i bildet under (Hauer et al. 2009).

En fordel med elverestaurering er ikke nødvendigvis at det er billigere enn teknisk sikring som diker eller plastring, men at tiltaket har flere funksjoner. Mens en investering i en flomvoll eller plastring bare gir en funksjon i en sjelden ekstremflom, har et restaurert område også nytteverdi i den lange tiden utenom flommer, til forbedring av miljøtilstand, som elvepark eller landbruksområde.



Figur 12. Restaurering av vassdrag og elveslette inkl. våtmark og myr. Eksempel Kamp/Østerrike. Bildet viser en utvidelse av elveløp og elveslette som oppsto i en flom og som ble opprettholdt etterpå som flomsikringstiltak for å redusere både erosjonsrisiko og oversvømmelsesfare for bebyggelsen rundt. En tilsvarende løsning kan anvendes for situasjonen i Figur 10

### 3.1.4 Sedimentmanagement som miljøtiltak og flomsikring

I en rekke elvestrekninger fører naturlig sedimenttransport, men også arealbruksendringer i nedbørsfeltet og fysiske inngrep, til opphoping av sedimenter. Disse kan påvirke miljøforhold og øke flomfare. Slike problemstillinger er ofte aktuelle i elver som påvirkes av landbruksaktivitet, der kanalisering og terskelbygging endrer sedimenteringsforhold i elven og tilførsel av finsediment øker. Også i oppdemmete elver og regulerte vassdrag finnes som regel utfordringer knyttet til sedimentforhold. Usystematisk hastetiltak som utgraving eller tilførsel av sediment vil kunne føre til lav effektivitet og redusert miljøtilstand.

I slike tilfeller anbefales en kunnskapsbasert fremgangsmåte med kartlegging av situasjonen og god prosessforståelse. Et aktuelt tiltak er sedimentmanagement- eller sedimentforvaltning. Her vises til erfaringer fra case-elven Nausta. Her var målet å bedre miljøforhold i en fysisk forandret elv med vernestatus samtidig som flomskaderisiko skulle reduseres. Selve tiltaket ble gjennomført som et eget prosjekt.

#### Sedimentmanagement – Eksempel Nausta

##### Bakgrunn

Nausta har status som vernet vassdrag (<https://www.nve.no/vann-vassdrag-og-miljo/verneplan-for-vassdrag/>). Samtidig ligger Nausta i et kulturlandskap som har gått gjennom en rekke endringer i arealbruk, men også i vassdragets bruk og utforming. Veier og annen infrastruktur og landbruk tar mye av arealet langs elvebredden. Eldre planer fra 1950-tallet og frem til 2000-tallet dokumenterer omfattende endringer i elveløpet, bunnivå og erosjonssikring (kilde arkiv NVE, pers. med. Svein Arne Vågane). Dette har endret morfologi, sedimentsammensetning og elvens beliggenhet. Intensiv arealbruk har medført at deler av elven er sikret mot erosjon. Sideløp har også blitt tettet og kantvegetasjon blitt fjernet. Sedimentet i flere deler av elven har høy andel av sand og fingrus.



Figur 13. Elvebunnen i Naustdal var i flere områder dominert av sand og fingrus som hadde hopet seg opp og hevet elvebunnen og økt flomfare.

Sanden og fingrusen fører til at det finnes lite hulrom i elvebunnen, og dermed lite skjul for ungfisk, og særlig for eldre ungfisk. Grunnet skjulmangelen er produksjon av eldre ungfisk (1+, 2+, 3+) av laks i deler av Nausta betraktet som begrenset (Ugedal mfl. 2013). Ifølge grunneierne har det tidligere blitt hentet ut sand og fingrus fra elven – hvilket har blitt vesentlig redusert etter 2005 da elven ble vernet. Også arealbruk i nedbørsfeltet har endret seg over tid og grunneiere har rapporter om økt erosjon og sandutslipp. Kartlegging i tilløpselver viser stor sandtransport til elven, ikke minst fra granfelt, jorder og anleggsområder.

Finmasser har hopet seg opp i nedre del av Nausta ovenfor Naustdalsfossen og ved Horstad og både habitatforhold for fisk har blitt redusert og flomfare økt. I samarbeid med Nausta Elveeigarlag ble det i 2016/2017 besluttet å gjennomføre tiltak ved to områder i elven (Horstad og nedre Grimset-Jonstad) som begge har lav gradient.

### Formål og metodikk

Formålet med tiltakene var å øke substansvariasjon etter naturlig forbilde og med dette bedre habitatkvalitet for sjøaure og laks. I tillegg skulle risiko for flomskader på markene reduseres særlig grunnet isgang. Her var altså målet å redusere skadepotensial av mindre flommer (årsflom til ca. 10 års flom). Utfordringen var at sanden som hadde hopet seg opp førte til oppstuinger av is og isflak som igjen førte til uforholdsmessige store og hyppig oversvømmelser. Risiko for skader på bosetting ved store flommer (50-200-års flom) var ikke særlig stor siden det ble praktisert et forebyggende byggemønster og arealplanlegging med tilstrekkelig avstand til elven: Det er tilnærmet ingen bolighus i elvesletten.

Utformingen av tiltakene ble orientert etter naturtypiske elvestrekninger som ikke var påvirket av finsedimentakkumulering. For å minimere vedlikeholdsbehov av tiltaket og å etterligne naturtypiske forhold, ble hydrauliske rammer fra disse strekningene i størst mulig grad etterlignet.

Tiltakene gikk i prinsipp ut på å grave ut sedimenter fra elvebunnen og sikte dem med sikteanlegg / såldeverk på land. Stein >64 mm ble samlet og lagt tilbake i elven. Det ble ikke tatt ut sedimenter fra eksisterende gytebrekk. Steinutlegg (steinstørrelse ca. 0,5 – 2 m) ble brukt for å skape ønskete hydrauliske rammer, hydromorfologisk variasjon og for å bidra til å opprettholde en dypål slik at risiko for ispropp reduseres. Det ble også brukt store blokker (steinstørrelse ca. 1 – 2 m) for å sikre enkelte utsatte områder mot isgang.

Arbeidet ble bare gjennomført i perioder da fiskene var mobile, dvs. ikke under overvintring og inkubasjonsperioden for egg. Arbeidene ble derfor bare gjennomført i august, september og de første dagene av oktober før gytetiden, og over flere år.

## Prinsipp dypål og sanduttak (tverrprofil)

### Situasjon i dag.

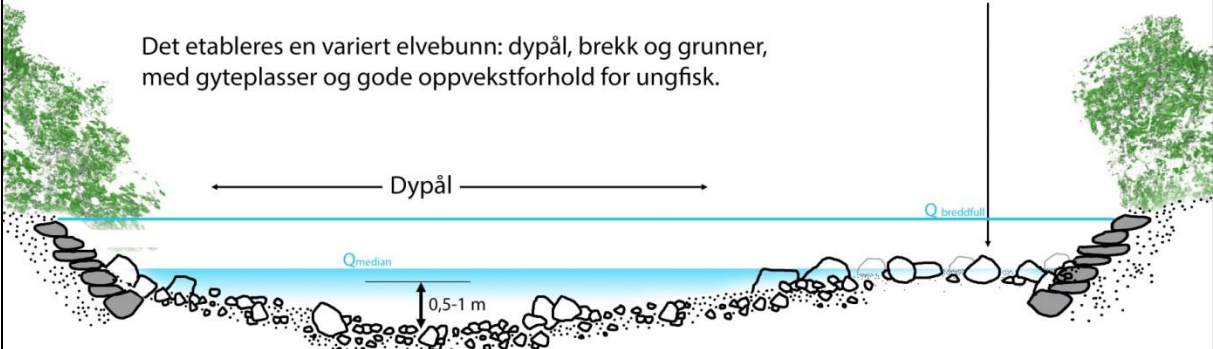
Mye fingrus og sandavsetninger. Homogen elvebunn med lite skjul og liten variasjon.



### Situasjon etter gjennomføring av tiltak.

Steinutlegg skaper hydraulisk variasjon

Det etableres en variert elvebunn: dypål, brekk og grunner, med gyteplasser og gode oppvekstforhold for ungfisk.



Sand og fingrus under 6,4 cm fjernes i dypålen, og erstattes i størst mulig grad med grovgrus og rullestein (6,4 - 50 cm) samt enkelte større stein. Senking i dypål 0,5-1 m.

Figur 14. Prinsippskisse for utforming av elven før- og etter tiltak.



Figur 15. Bilder tatt under arbeidet. Venstre: Utgravede masser siktes i mobilt sikteanlegg. Høyre: Maskiner graver ut finsedimenter og legger tilbake ferdig siktede sedimenter.

## Overvåking

I forkant av tiltakene gjennomførte NORCE LFI habitatkartlegging og oppmåling av elvebunnen med differensiell GPS. NINA har gjennomført ungfiskundersøkelser i elven gjennom en årrekke. Habitatkartleggingen ble gjennomført for å kunne sammenligne substratsammensetning og skjultilgang i før- og etter tiltak. Oppmåling med differensiell GPS vil gi informasjon om endring i avløpstverrsnitt, samt om graden av sedimentering i årene etter tiltakene er gjennomført. Ungfiskundersøkelsene vil også kunne angi effekten på fiskeproduksjonen i området før og etter tiltak, og det ble også satt opp tre nye stasjoner i det nedre tiltaksområdet (Nedre Grimset – Jonstad) for å bedre følge utviklingen av fisketettheten i dette området.

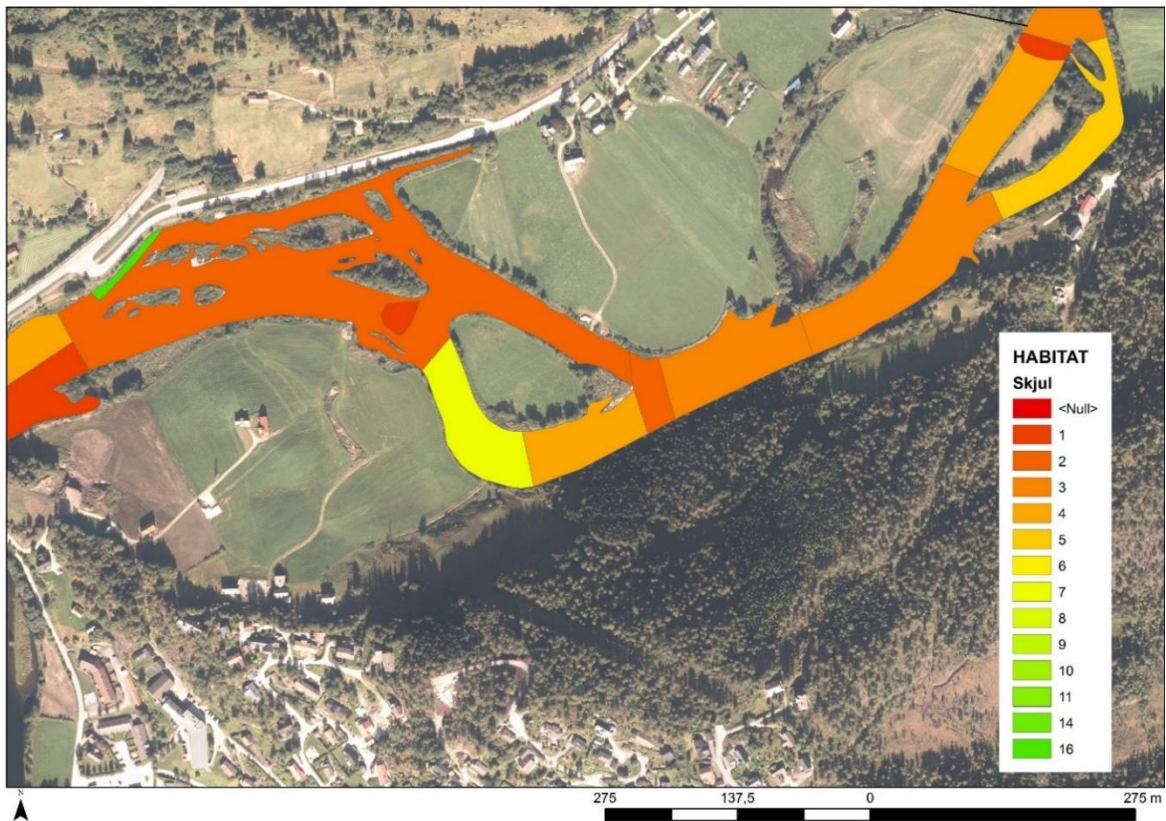
## Resultater

### Nedre Grimset – Jonstad

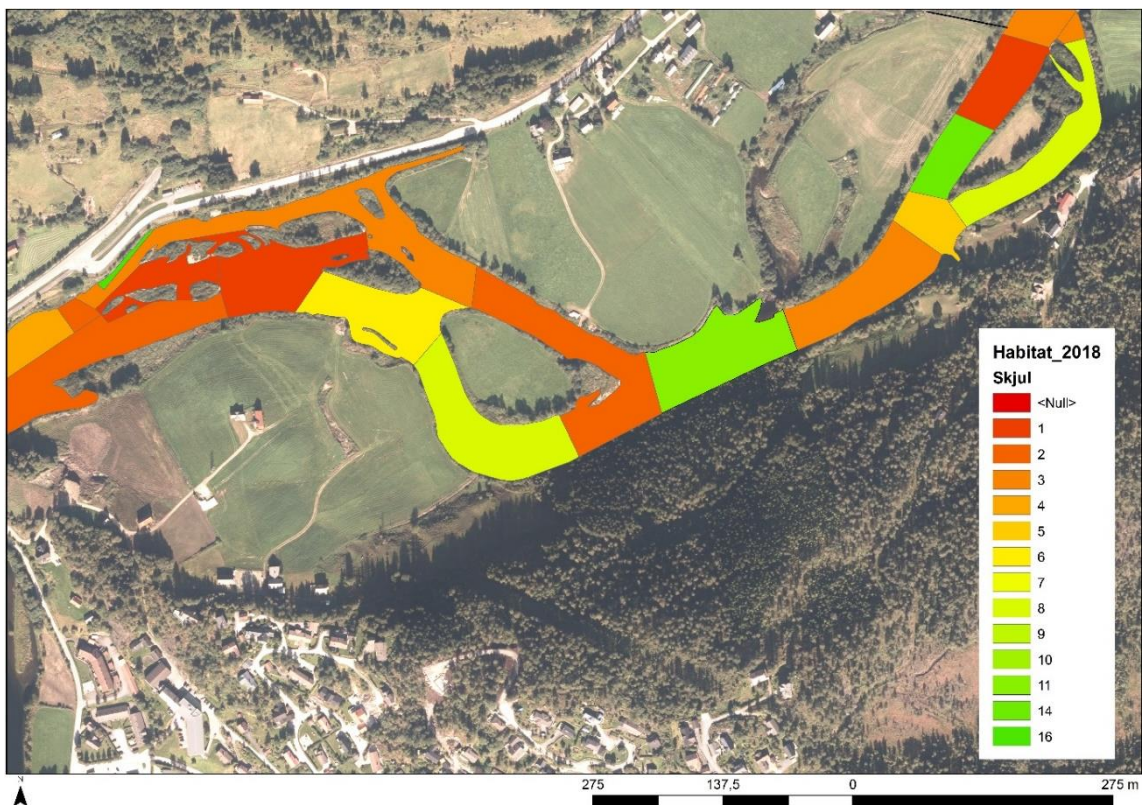
I etterkant av gjennomførte tiltak ved området Grimset – Jonstad var det ved feltobservasjoner under vann en markant endring i utseende av elvebunnen i 2018 sammenlignet med før tiltak i 2017. Der hvor elvebunnen tidligere var preget av stor andel fingrus og stedvis også sand med svært lite hulrom, var elvebunnen nå dominert av rullestein med mye hulrom. Habitatkartlegging i området viste også økning i skjulverdier ved flere lokasjoner lokaliteter. Det kanskje mest tydelige resultatet var tetthetene av ungfisk under NINAs el-fiske i området; På de fem stasjonene som ble fisket innenfor tiltaksområdet Grimset – Jonstad etter gjennomførte tiltak i 2018 varierte antallet eldre ungfisk mellom 48 – 143 eldre ungfisk per 100 m<sup>2</sup> (Figur 19). Den høyeste registreringen som er gjort i området tidligere stammer fra en undersøkelse i 2010 som viste en tetthet av 21 eldre ungfisk per 100 m<sup>2</sup>. Den gode trenden fra 2018 så også ut til å vedvare i 2019. Resultatene fra ungfiskundersøkelsene tyder på at smoltproduksjonen i området har økt betydelig som følge av tiltakene.



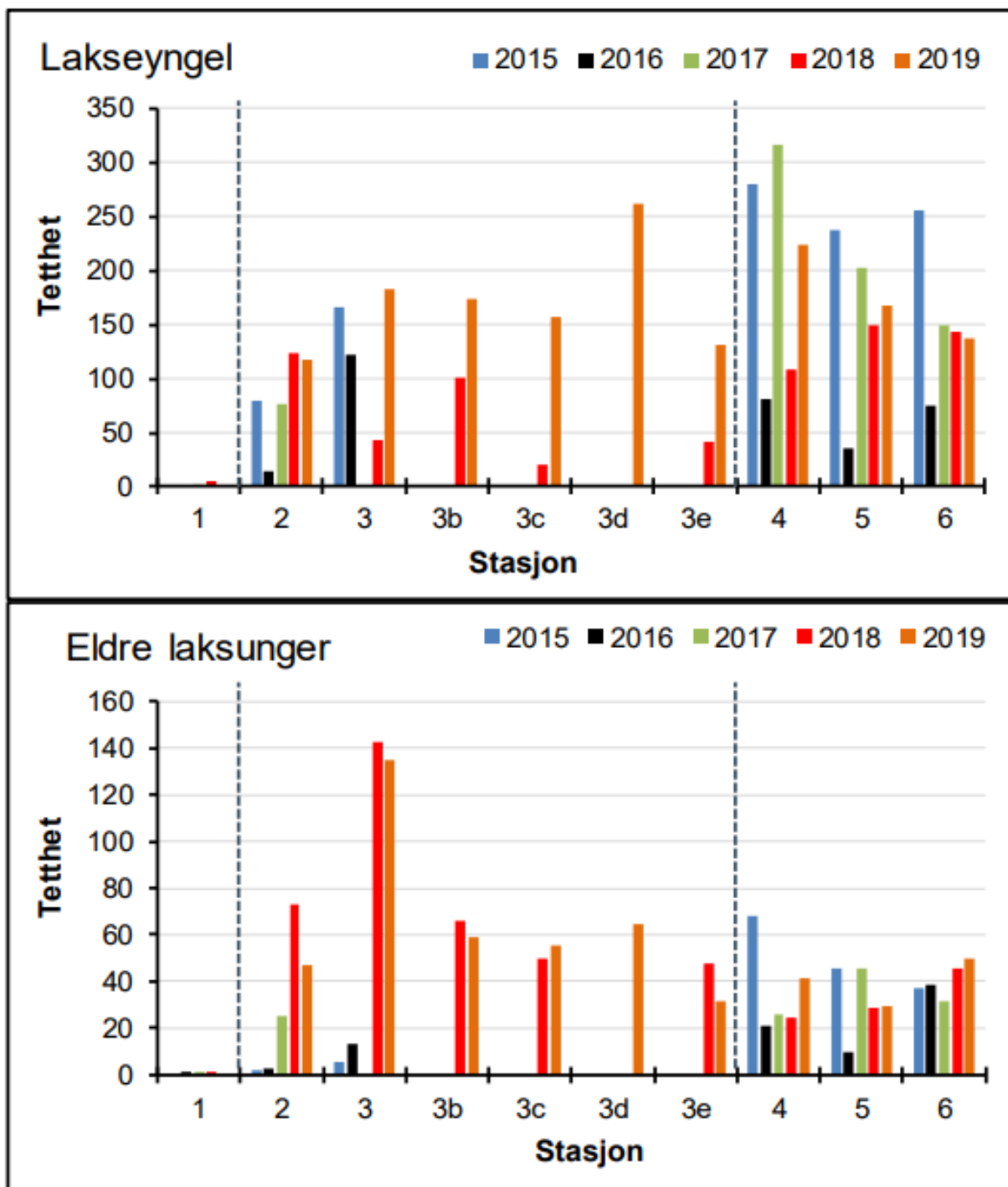
Figur 16. Venstre: Bilde av elvebunnen i øvre del av tiltaksområdet før tiltak. Høyre: Bilde av elvebunnen i samme område etter tiltak.



Figur 17. Skjul i elvebunnen før gjennomførte tiltak mellom Grimseth/Brokøyna ned forbi Jonstad til bassenget ovenfor Naustdalsfossen 2017.



Figur 18. Skjul i elvebunnen etter gjennomførte tiltak mellom Grimseth/Brokøyna ned forbi Jonstad til bassenget ovenfor Naustdalsfossen 2018.



Figur 19. Beregnet tetthet av eldre lakseunger i Nausta i årene 2015 – 2019. Stasjon 2, 3, 3b, 3c, 3d og 3e befinner seg i tiltaksområdet Grimset – Jonstad. De tre stasjonene 3b, 3c og 3e ble opprettet i 2018 og 3e ble opprettet i 2019 for å følge utviklingen i tiltaksområdet. Hentet fra: Ugedal m.fl. (2020).

Oppmåling av transekter med differensiell GPS viste i etterkant av tiltakene at maksimal avsenkning av bunnen var 1.43 m, og i gjennomsnitt ble dypålen 0.54 m dypere enn før tiltaket. Endring i volum basert på oppmåling estimeres til 18 000 m<sup>3</sup>, hvilket samsvarer godt med masser tatt ut oppgitt av fra entreprenøren.

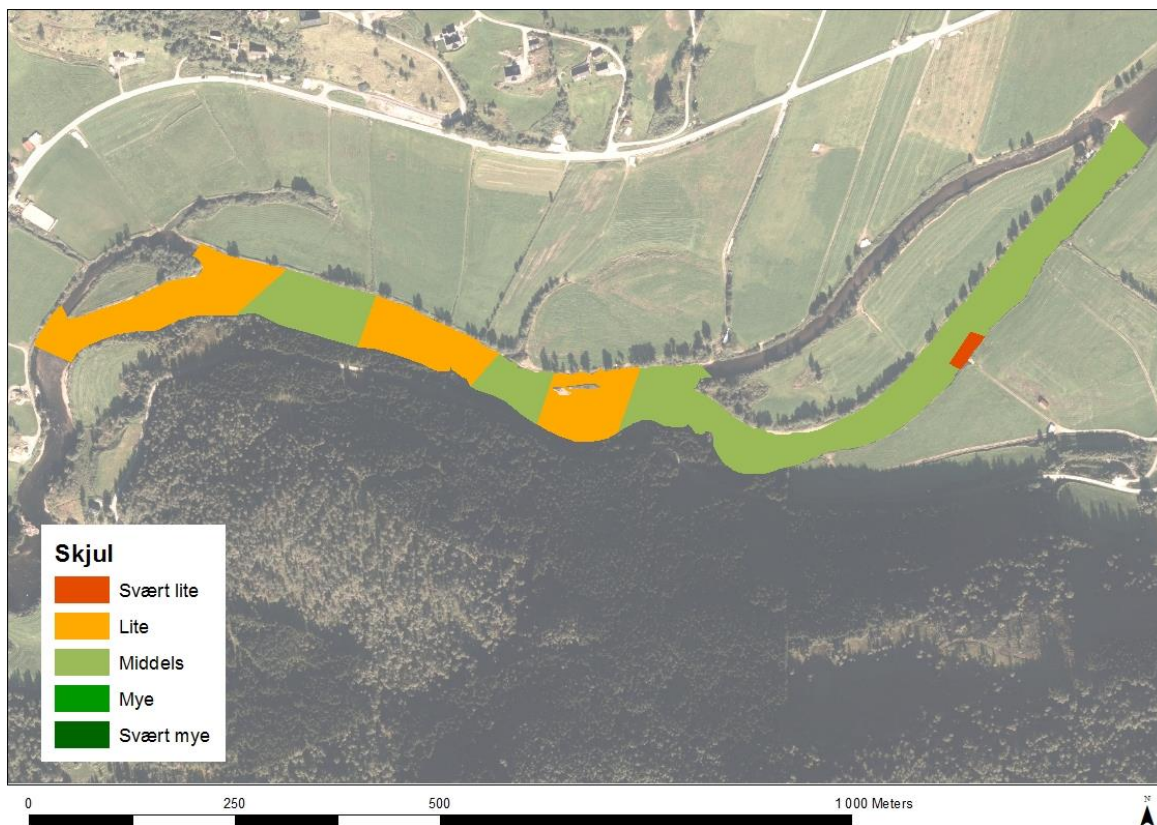
## Horstad

Tiltakene ved tiltaksområdet Horstad ble undersøkt i april 2020. Også her var det en stor endring i elvebunnen ved visuell inspeksjon under vann (Figur 20). Ungfiskundersøkelser blir ikke gjennomført før høsten 2020 og utregninger fra oppmålte transekter er ikke ferdigstilt. Habitatkartlegging av området i etterkant av tiltakene er imidlertid ferdig, og denne viser en markant økning i skjultilgangen i området. Gjennomsnittlig skjulverdi for hele strekningen økte fra 4.8 (lite skjul) til 9.0 (middels, på grensen til mye skjul).

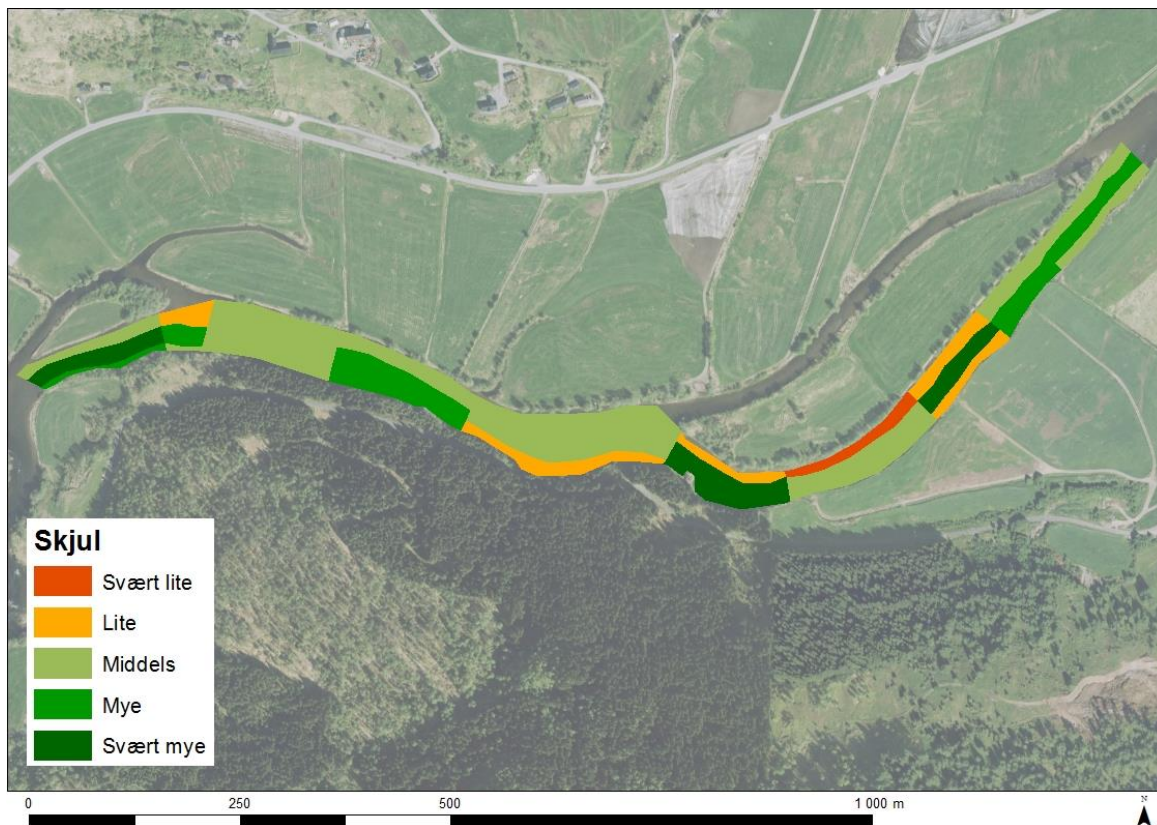


Figur 20. Bilde av elvebunn i tiltaksområde ved Horstad. Bunnssubstratet er dominert av rullestein med svært mye hulrom og skjultilgang.





Figur 21. Skjul i elvebunnen før gjennomførte tiltak ved Horstad i 2017.



Figur 22. Skjul i elvebunnen etter gjennomførte tiltak ved Horstad i 2020.

## Konklusjoner og veien videre

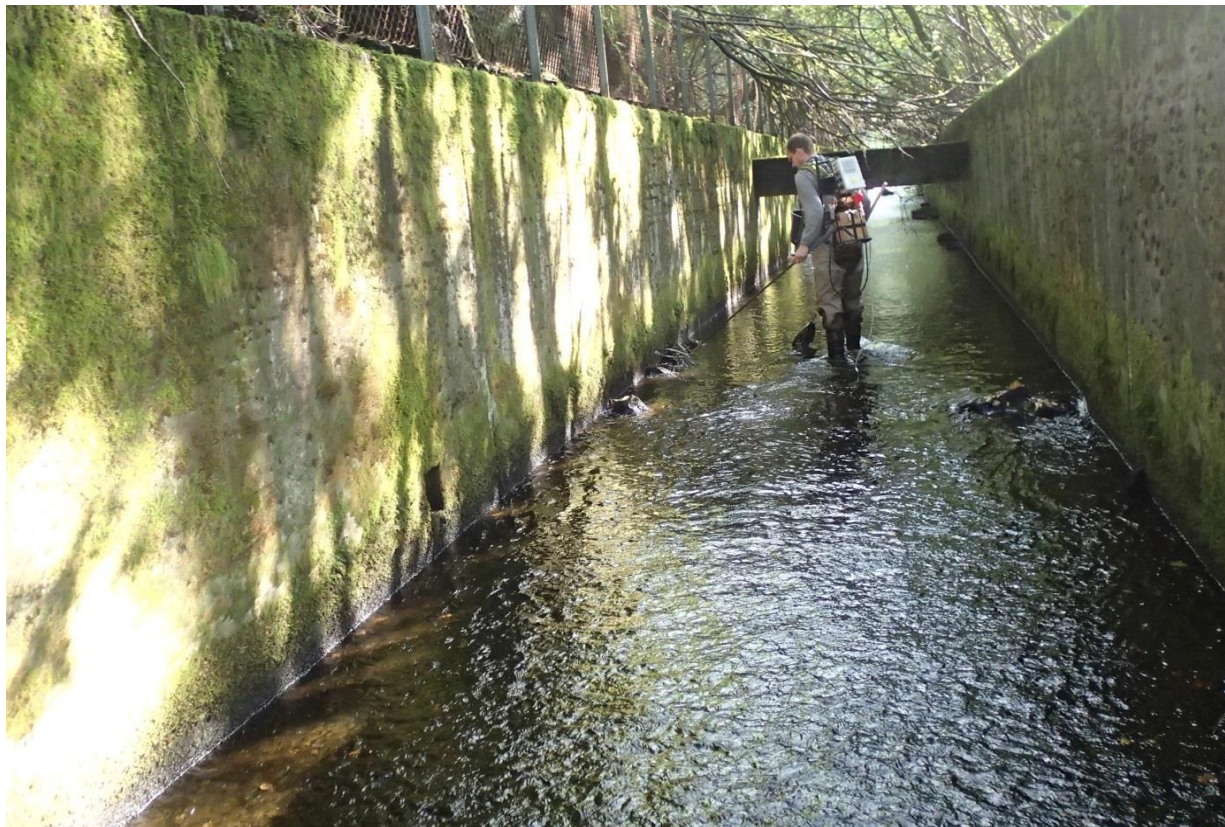
Tiltakene i Nausta viser seg å ha vært vellykket og resultatmessig har tiltaket så langt fungert etter planen. Etterundersøkelser viser at tiltakene har ført til en generell økning av skjul i tiltaksområdene. Skjulverdiene har økt i større grad lokalt enn hva de har gjort over hele segmentene ettersom ikke alle områder er ferdigstilt og delstrekninger med gyteområder er unngått. Ungfiskundersøkelsene fra Nedre Grimset – Jonstad tyder på at tiltaket har utgjort en betydelig effekt på smoltproduksjonen i nedre del av Nausta. Oppmålinger viser også at fjerning av finmasser har bidratt til økt hydraulisk kapasitet og at det ikke oppsto ispropp på strekningene etter tiltakene. Forholdene ved store flommer ble ikke vesentlig endret, her virker terrenget som dimensjonerende, men skadepotensialet ved mindre flommer (årsflom – 1 årsflom) har blitt redusert.

Arbeidet i Nausta er enda ikke ferdigstilt, og det som gjenstår er å fullføre mindre resterende jobber i begge tiltaksområdene. Dette arbeidet vil fortsette sensommer 2020. Videre vil man utarbeide et estimat for levetid av tiltaket basert på nye oppmålinger gjennomført i 2020, samt en vedlikeholdsplan for begge tiltaksområder. Så lenge tilførsel av finsediment ikke reduseres, arealbruket i kulturlandskapet og elveforbygningene opprettholdes vil det være behov for sanduttak og sedimentforvaltning fra tid til annen. Etter 4 år viser vår overvåking på de eldste tiltaksarealene at det enda ikke er behov for gjentakelse. Den videre overvåking vil gi oss nærmere opplysninger om varighetsperioden.

Med mindre flomskaderisiko og bedre miljøforhold betraktes sanduttak på bestemte steder og til bestemte tider, samt tilbakelegging av stein (sedimentforvaltning) som et egnet verktøy for å håndtere utfordringer knyttet til finsedimentakkumulering.

### 3.1.5 Katalog med miljøvennlige flomsikringsmetoder

En del av leveransen er å lage en katalog med flomsikringsmetoder som er i tillegg egnet til å bedre miljøtilstand. Elverestaurering og sedimentforvaltning er nevnt ovenfor. Som eksempel vises her til mer miljøvennlig erosjonssikring. I sluttrapporten 2021 vil det i tillegg omtales mobil flomsikring, retensjon, arealplanlegging, avbøtende tiltak m.m.



Figur 23. Det er lite fisk på elvestrekninger som har blitt erosjonssikret med plastring eller betong fra alle kanter. Slike lokaliteter mangler skjul, variasjon, gytegrus og tilgang til hulrom i elvebunnen. Strømhastigheten er stor ved flom, og tilførselen av gytegrus og rullestein fra elvebredden er blokkert.



Figur 24. Kantvegetasjon i kulturlandskap og naturlandskap med stabiliserende effekt på elvebredden. Til venstre kulturlandskap ved Forsandåna, til høyre øvre Loelva.

### *Generell beskrivelse*

Glatt steinplastring, mur og betongvegger blir brukt som erosjonssikring i vassdrag. Ved tilstrekkelig dimensjonering bidrar disse tiltakene til lokal beskyttelse mot erosjon. Erosjonsrisikoen kan imidlertid være forsterket i områdene nedenfor slike tiltak, hvis vannhastighet og skjærspenning har økt som følge av forbygningene. Fysiske inngrep som erosjonssikring kan ha stor effekt på miljøforholdene i en elv, siden de endrer vannstrøm, bunnforhold og sedimenttilførsel. Samtidig er det behov for erosjonssikring der hus og infrastruktur eller annen menneskelig arealbruk skal beskyttes. Nedenfor finnes en oversikt over metoder for erosjonssikring som minimerer uønskede miljøeffekter i vassdrag.

### *Anvendelse og utforming*

Hovedprinsippet som ligger til grunn ved valg av miljøvennlig erosjonssikring er at mest mulig av den naturlige elvemorfologien og de naturlige sedimentdynamiske prosesser skal opprettholdes. De følgende metoder er prioritert etter miljøeffekt. Miljømessig bedre løsninger listes øverst.

**Etablert kantvegetasjon** med et tett nettverk av røtter gir en relativt stabil erosjonssikring langs elver og bekker. Fjernes vegetasjonen, eller hvis gamle trær ikke erstattes av yngre, kan det oppstå mer erosjonsutsatte punkter eller strekninger. Å ta vare på tett kantvegetasjon er et enkelt, rimelig og miljøvennlig erosjonsvern (Figur 24). Ved nyetablering av kantvegetasjon er elvebredden imidlertid utsatt for erosjonsfare de første årene. I slike tilfeller bør bredden i tillegg beskyttes med geotekstil eller med en erosjonshud av stein. Valg av metode vil være avhengig av lokal gradient og hydromorfologi. Det er etablert en rekke teknikker for å etablere vegetasjon og sikre erosjonsvern for trær, særlig i lavlandselver, bl.a. med hjelp av faskiner. En nærmere beskrivelse finnes i vassdragshåndboka (Fergus et al. 2010). Gamle trær er ofte ikke ønskelige å ha stående på plastring, siden de kan rotvelte i forbindelse med storm og flom, og dermed rive hull i plastringen. Planting av trær rett bak plastringen er mulig i de fleste tilfeller, delvis også etablering og skjøtsel av kantvegetasjon med unge trær og busker på plastring.

**Steinsetting kun der det er nødvendig:** Både miljø- og kostnadmessig er det gunstigst å erosjonssikre kun der det er absolutt nødvendig. Naturlige elvebredder gir i utgangspunktet best miljøtilstand og bør ivaretas så vidt som mulig. Sideløp reduserer energi og vannstand ved flom og er ofte viktige habitat for ungfisk, særlig for sjøørret. Også naturlige prosesser som erosjon og sedimentasjon bør tillates der det er mulig. Elveslette og flomløp gir økt hydraulisk kapasitet ved flom. Snevres elveleiet inn, reduserer det ikke bare miljøtilstand, men flomfaren vil også øke. Hvis vannet kan flomme over og grave i elveslette og flomløp i mindre kritiske områder (retensjon), vil dette redusere vannstand og erosjonskrefter andre steder i vassdraget, og bidra til å verne om infrastruktur og bosetting.

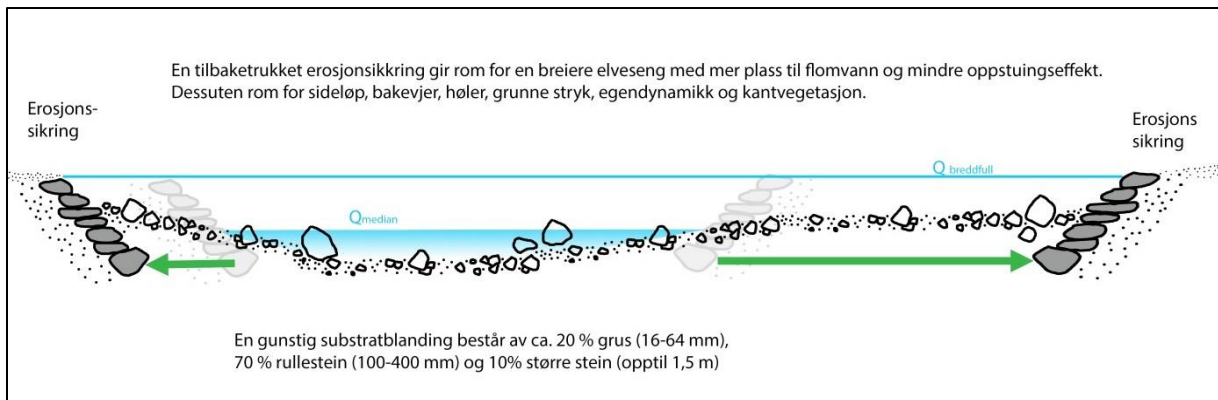
**Tilbaketrukket erosjonssikring og høy ruhet:** Dersom det er behov for erosjonssikring langs elvebredden, bør forbygningen trekkes lengst mulig tilbake. Foran sikringen bør det tilføres naturtypisk substrat og stein som skaper variasjon, skjul og hydraulisk ruhet. Dette stabiliserer dessuten også sikringsfoten. På denne måten skapes en naturtypisk elvebredd bestående av dynamisk substrat med forbygningen i bakkant. Variasjon i strømningsmønster, habitatdiversitet og skjul for ungfisk i området kan opprettholdes. At gode miljøforhold forutsetter hydraulisk ruhet, varierte bunnforhold, stein og vegetasjon langs kanten må legges til grunn ved hydraulisk dimensjonering av tverrsnitt og erosjonssikring.

**Der erosjonssikring er nødvendig:** Ru steinutlegg fremfor glatt plastring.

Et uregelmessig steinutlegg med stor hydraulisk ruhet gir mer skjul, hulrom og strømvariasjon enn tett plastring eller mur med glatte flater. Slike steinutlegg er enklere å bygge, men gir større angrepsflate for vann. Stein størrelsen må derfor økes i forhold til glatt plastring dersom samme stabilitet skal oppnås. På den annen side er uregelmessige steinutlegg mer stabile når erosjon først forekommer. Dersom stein fjernes fra et uregelmessig steinutlegg vil andre stein fylle hulrommet. Dersom stein fjernes fra en mur kan hele muren rase. Dessuten er glatte flater relativt erosjonssikre akkurat der de er, mens elvebredden i strekningen nedstrøms utsettes for større vannhastigheter enn om erosjonsvernet hadde hatt ruge overflater. Hvis tradisjonell plastring med glatte overflater er påkrevet av sikkerhetshensyn, bør det legges ut naturtypiske stein og substrat foran og på plastringfoten. Dette må tas hensyn til ved dimensjonering av tiltak og hydraulisk tverrsnitt. Bunnstabilisering med naturtypiske terskler og ramper kan redusere behovet for erosjonssikring vesentlig, siden elvas bunnerosjon fjernes og kreftene som virker på breddene begrenses.



Figur 25. Tradisjonell erosjonssikring med glatt plastring (øvre bilde) og tilbaketrukket erosjonssikring med mer naturtypiske elvebredder (nedre bilde Flåm 2017).



Figur 26. Settes erosjonssikringen ut til sidene, gjerne også nedgravd, er det plass til naturtypiske elvebredder og mer flomvann. Stein- og substratsammensetning velges etter elvetype, gradient og vannføring.



Figur 27. Flåmselvi ovenfor Flåm kirke. Bosetting krever erosjonssikring med stabil plastring langs yttersvingen. Foran plastringfoten ble det etablert en variert elvebredd med naturtypiske steinblokker og rullestein som gir habitat for fisk og sikrer plastringfoten ytterligere mot erosjon.

## 3.2 Data og scenarier fra eksempelvasdragene

En viktig metodikk i prosjektet er utvikling av konkrete scenarier for å kunne anskueliggjøre muligheter og konsekvenser ved valg av forskjellige tiltak og prioriteringer. På denne måten kan det gjennomføres konkrete sammenligninger mellom forskjellige løsningstilnæringer. For alle vassdrag prøvde å utvikle minst tre scenarier som strekker seg fra naturtilstand til en teknisk flomsikring med stor utbyggingsgrad.

For hvert vassdrag ble det laget et scenario som gjenspeiler en forventet urørt tilstand. Dette representerer samtidig en naturlig referansetilstand og viser hvordan elven og dalen vil utvikle seg geomorfologisk hvis ikke naturlige morfologiske prosesser blir hindret. Så ble det utviklet 2 til 4 scenarier til med gradvis økende utbyggingsgrad og arealbruk samt varierende løsningsmuligheter, både mer tekniske (diker, voller, sikring) og mer naturbaserte løsninger (retensjon, restaurering). Scenarioene er bygget på innspill fra lokalbefolkning og kommuner. I hvert vassdrag ble det utviklet et integrativt scenario med mål om best mulig kombinasjon av flomsikrings- og miljøkrav.

Scenarioene ble utviklet sammen med lokalbefolkningen på to workshops i Aurland og en workshop i Naustdal. Det kom mange engasjerte innspill både for Flåmselva, Aurlandselva og Nausta. Bare for Storelva i Brekke er det enda ikke kommet innspill. En workshop i Naustdal gjenstår grunnet restriksjoner knyttet til Covid-19 pandemien våren 2020. I det følgende presenteres et utvalg av de omfattende arbeidene med scenariene.

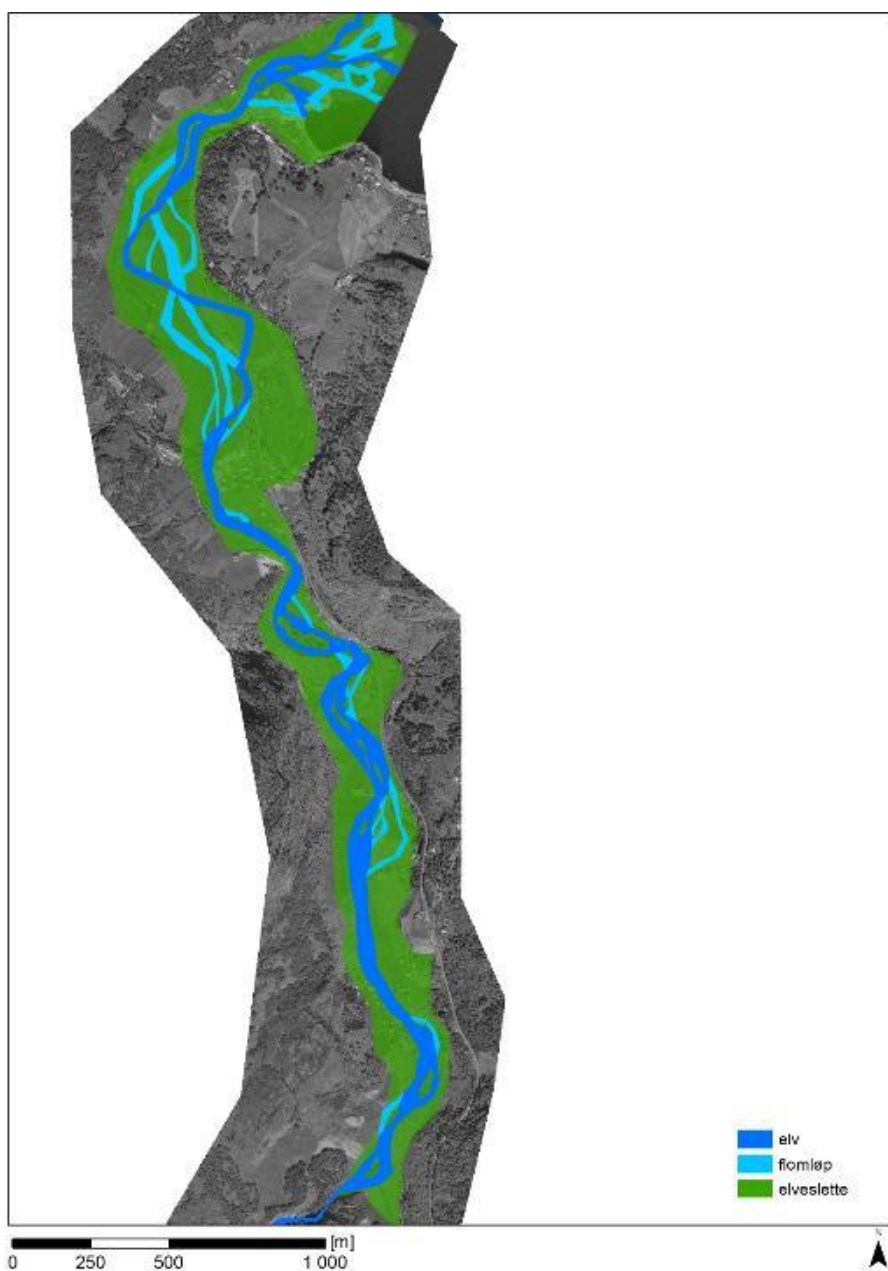


Figur 28. Workshop om mulige flomsikringsløsninger og miljøtiltak i Aurland

### 3.2.1 Flåmsvassdraget

#### Scenario 1 – Naturlig utvikling

I dette scenarioet legges til grunn en forventning om den opprinnelige naturtilstanden basert på regionens geomorfologi. Scenarioet representerer en naturtypisk elvemorfologi og habitatkvalitet, samt naturtypisk utvikling av fiskebestander. Fordeler ved scenarioet er en svært god elvemorfologisk tilstand som sannsynligvis ville medført en god økologisk tilstand for laks og sjøaure. Ulempen med dette scenarioet er at den morfologisk aktive sonen i store deler av elvesletten gir sterkt reduserte arealbruksmuligheter. Dalbunnen er bare delvis beskyttet mot erosjon og oversvømmelse. Scenarioet viser også hvordan elven kan utvikle seg i store flommer når den begynner å grave i bredden og flytter løp.

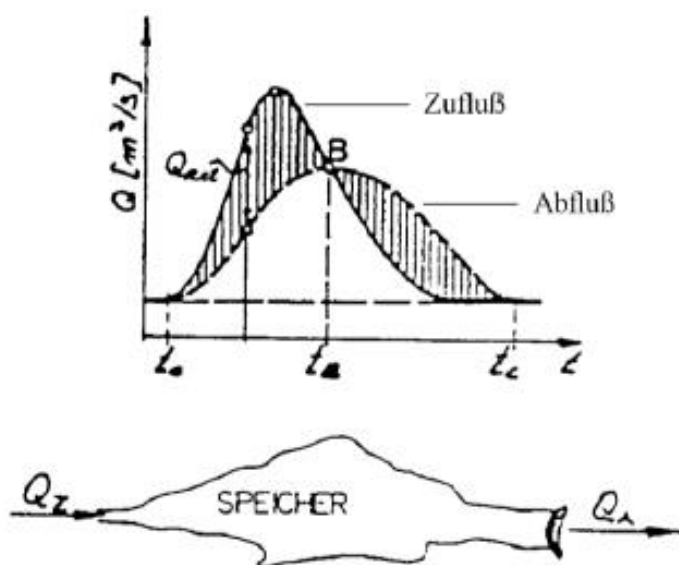


Figur 29. Flåmselva scenario 1 – naturlig utvikling



## Scenario 2 – Retensjon

Basert på terrengets lagringskapasitet finnes det tre hovedmuligheter for å bruke retensjon som flomsikring i Flåmsdalen. Teorien bak dette er å bygge volum for å lagre vann midlertidig ved flom. Innsjøer, myr og elvesletter samt menneskeskapte magasiner og retensjonsbassenger kan brukes til dette. For å sikre mot flomskader er det ikke nødvendig med langvarig magasinering, men for å kutte spissen fra en terskelverdi under storflommer. Dette betyr at hydrologi kan være uendret ved normale vannføringer og småflommer, men vann blir magasinert midlertidig dersom vannføringen overstiger en definert terskelverdi, og man kan dermed dempe flombølger (se figur under).

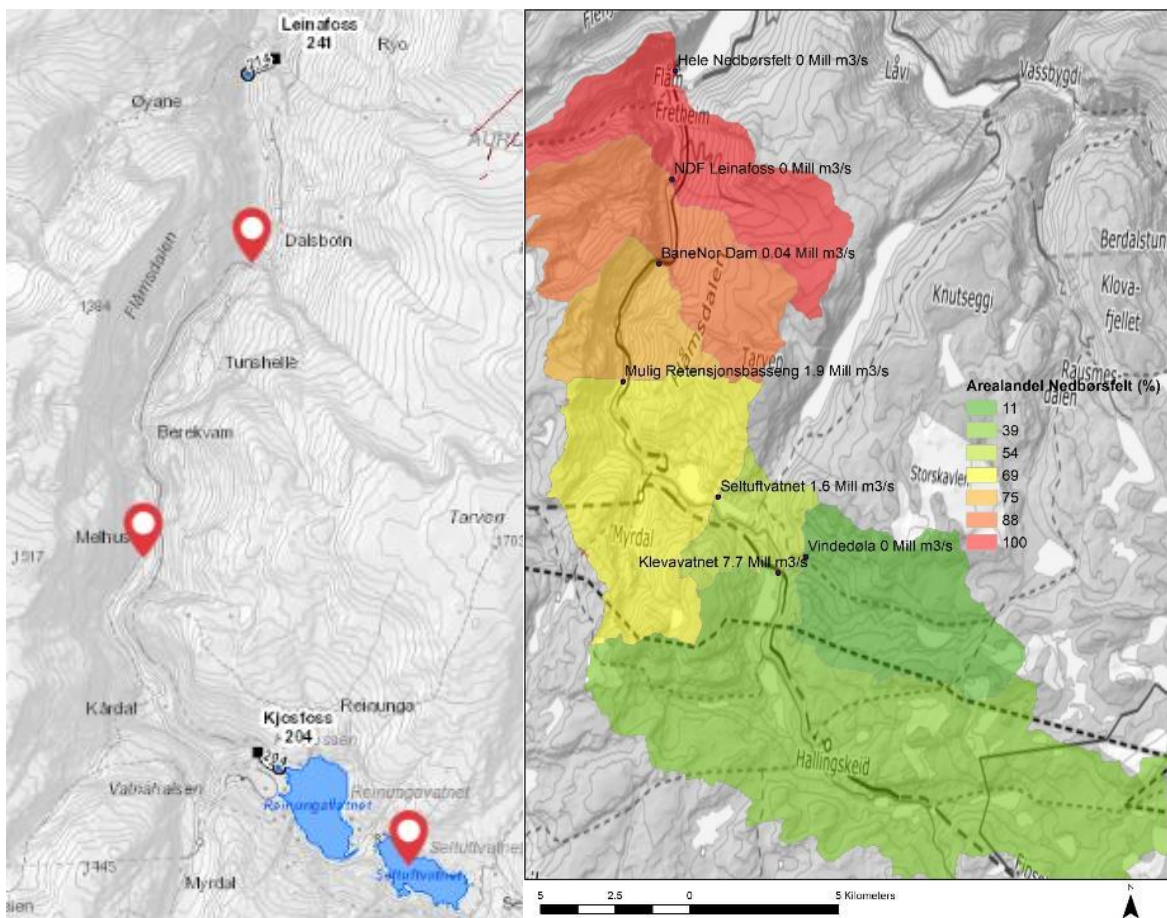


Figur 30. Prinsipp retensjonsbasseng

Det finnes 3 mulige lokasjoner for retensjonsbassenger i Flåmsvassdraget. Disse er Seltuftvatnet, Melhus og BaneNor dam (Figur 31). Effekt av retensjonsbassenget er avhengig av volumet og andel av totalnedbørsfelt. Lokasjonen med den største andelen av totalnedbørsfeltet er BaneNor dam med 75 %. Den ligger ca. 3 km oppstrøms Leinafoss kraftverk ved krysningspunkt av Flåmsbanen og Flåmselva. Demningen går over hele dalen og elven renner gjennom en tunnel med opp til ca. 320 m<sup>3</sup>/s kapasitet. Demningen er i dag en risikofaktor siden den ikke er laget for å holde vann. I store flommer kan vann stuves opp ovenfor og jernbanedammen kan kollapse med stor risiko for liv og helse i Flåm. Hvis dammen sikres med en tilleggsdam for å unngå dambrudd i slike situasjonen kan volum ovenfor brukes til retensjon.

Mulighet 2 er bygging av en demning med 22 m høyde med en 150 m<sup>3</sup>/s bunntappeluke ved Melhus som avdekker 69 % av totalnedbørsfeltet. Retensjonsbassenget ville hatt et volum på 1,9 mill. m<sup>3</sup> og kunne dempet flombølgen fra 2014 med 700.000 m<sup>3</sup>.

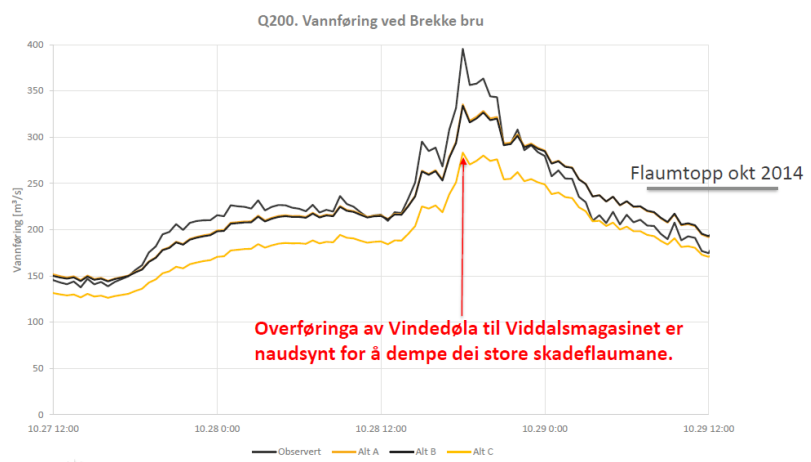
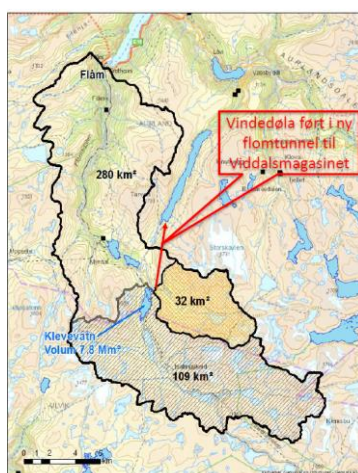
Opsjon 3 er å bruke Seltuftvatnet og Kleivavatnet til retensjon som dekker 54 % av totalnedbørsfeltet. Scenario 2 har tilstrekkelig potensial for demping av flommer opptil Q200 + klimapåslag, men det kreves i tillegg sikring i nedre delen av Flåmselva. Dette scenarioet medfører ingen endring i hydrologi opp til en definert terskelverdi, men for å stabilisere dagens anadrome fiskebestand trengs det miljøtiltak for å kompensere for tidligere inngrep, samt sikringsbehov.



Figur 31. Lokasjoner for mulige sedimentasjonsbassenger (høyre) og delnedbørsfelter (venstre)

### Scenario 3 – Overføring Viddalen

Scenario 3 ble utarbeidet av Multiconsult på oppdrag for Aurland kommune og inneholder overføring av vann fra Flåm til Aurland i en flomtunnel, og senkning av vannspeilet i Klevvatnet på 3 m hele høsten for å skape plass til magasinering (retensjon).

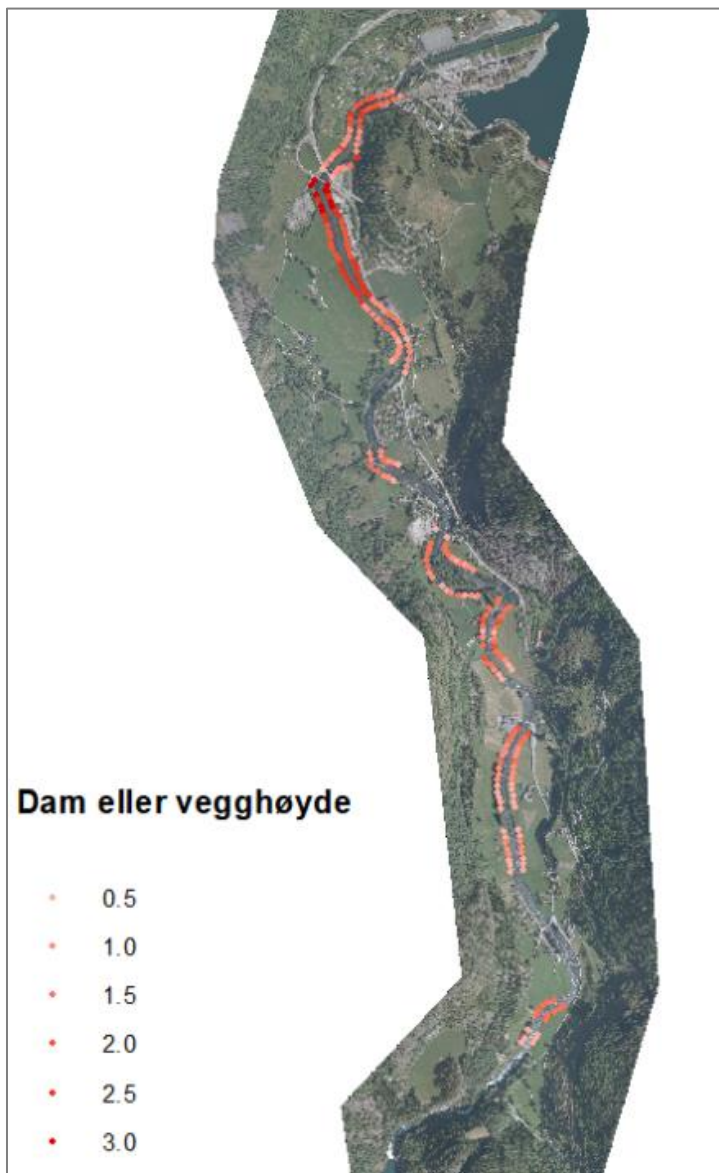


Scenario 3 har tilstrekkelig effekt for demping av flommer opptil Q200 + klima dersom nedbøren er fordelt jevnt over nedbørsfeltet. Siden løsningen ligger relativt langt oppe i nedbørsfeltet er den

mindre effektiv når nedbøren kommer i vest og nord i nedbørsfeltet. Også dette scenarioet forutsetter i tillegg sikring i nedre del av elven. Miljøeffekter ligner scenario 3: For å stabilisere den anadrome fiskebestanden trengs det ytterligere miljøtiltak som kompensasjon for sikring. I tillegg medfører overføring av vann til Aurlandsvassdraget økt risiko for spredning av arter, som for eksempel røye som ikke finnes i Aurlandsvassdraget fra før.

#### Scenario 4 – Kanalisering

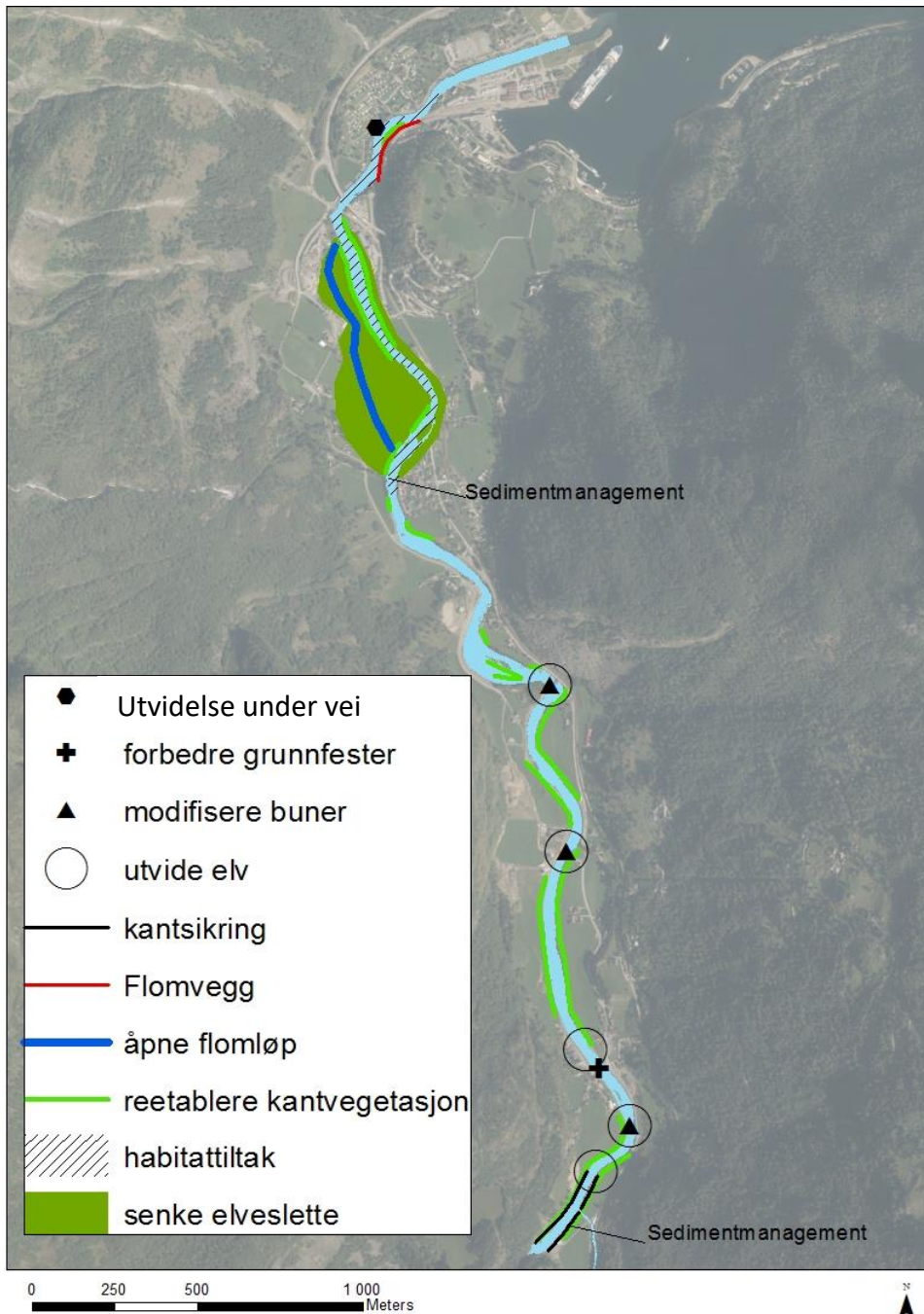
Scenario 4 er en konvensjonell teknisk løsning med stor utbyggingsgrad bestående av kanalisering og bygging av flomvegg og flomvoll langs elvebredden. Beskyttelse mot flommer opp til Q200 krever en flomvegg med 2 m høyde, men det ved Q200 + klimaendringer er nødvendig med flomvegg på 3 m høyde. Dette scenario medfører omfattende tiltak og terrengendringer og forutsetter i tillegg erosjonssikring av hele nedre del av elven. En slik kanalisering vil medføre reduksjon av habitatkvalitet og areal, bl.a. på grunn av ekstreme skjærspenninger og endringer i substratsammensetning. Fare for sedimentasjon i Flåm sentrum der helningen blir mindre kan ikke reduseres av denne løsningen.



## Scenario 5 - Integrativ

Scenario 5 kombinerer forskjellige tilnærminger til flomsikring som retensjon, sikring, miljøtiltak og vedlikehold. Konkrete tiltak er modifisering av buner, utvidelse av elven og delvis restaurering, åpning av flomløp, flomvegg i sentrum, senkning av elveslette og sedimentmanagement og flomsletten ovenfor E16 bro.

Scenario 5 er tilstrekkelig for å sikre mot flommer opp til Q200 og forutsetter delvis sikring av nedre del av elva. Den medfører en delvis naturtypisk morfologi og utvikling av en mer naturtypisk fiskebestand. Sikring krever vedlikehold også miljømessig. Med retensjon i øvre Flåmsdalen vil dette scenarionet også kunne sikre mot flom med klimapåslag.

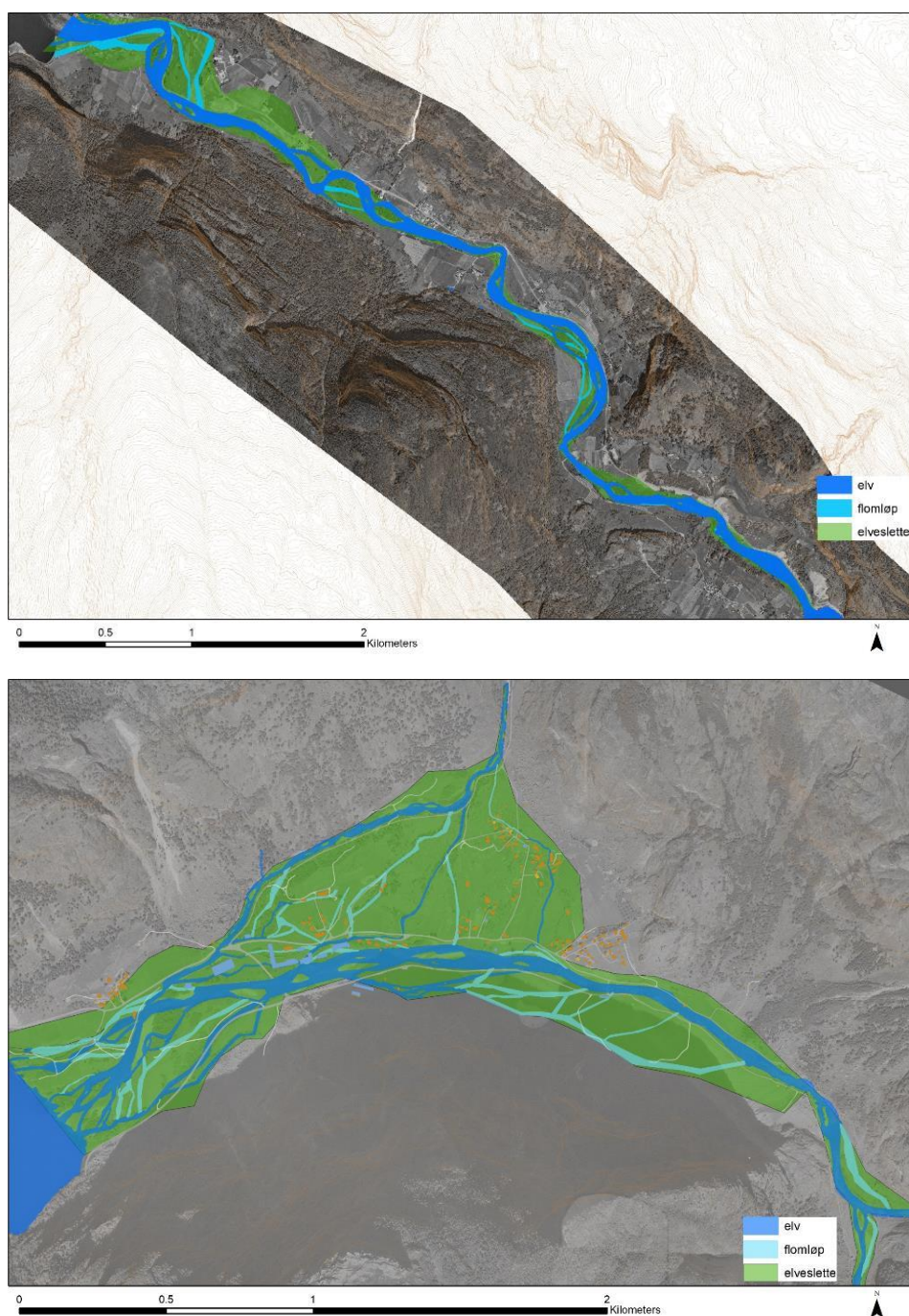


Figur 32. Scenario 5 i Flåmselva.

### 3.2.2 Aurlandsvassdraget

#### Scenario 1 – Naturlig utvikling

Dette scenarioet gjenspeiler en forventning av den opprinnelige naturtilstanden i dalen. Scenarioet står for naturtypisk elvemorfologi samt god økologisk tilstand. I en slik situasjon vil det imidlertid finnes mindre areal som er sikret mot erosjon og oversvømmelse, og arealbruken vil derfor være begrenset. Scenarioet viser også hvor det er fare for at elven graver helt nye løp ved ekstreme flommer. I Aurlandselva finnes det hovedsakelig stabil undergrunn på semifluviale avsetninger - med noen unntak. Ved Vassbygdi dominerer imidlertid fluviale masser med høy potensial for dynamikk i store flommer.



Figur 33. Forventet naturlig elveutvikling i Aurlandselva (øverst) og Vassbygdelva (nederst)

## Scenario 4 – Integrativ løsning

Ved en integrativ løsning ser man for seg Aurlandsvassdraget ved en kombinasjon av magasiner i kraftmagasiner (flomdemping), sikring langs elvebredder (flomvegg der det er nødvendig nederst i elven ved Aurlandshallen), miljøtiltak og regelmessig nødvendig vedlikehold av miljøtiltak. Aktuelle tiltak medregnet i dette scenarioet i Aurlandsvassdraget er utlegg av gytegrus, ripping, gjenåpning av sideløp/flomløp, vegetasjonsmanagement samt lokale sikringstiltak. I tillegg er det aktuelt med fjerning eller modifikasjon av eksisterende fysiske inngrep som terskler og erosjonssikringer. Denne kompromissløsningen vil kunne gi både bedre flomsikkerhet og bedre miljøtilstand i forhold til i dag.

### 3.2.3 Innspill til vannforskriftens tiltaksanalyse

I rammen av forsknings- og utviklingsprosjektet «Flaum og miljø i eit endret klima» har vi utviklet en rekke scenarier som skal ivareta både forbedret flomsikring og miljøtilstand i Aurlandselva, Brekkeelva, Flåmselva og Nausta. Vi ble bedt om å spille inn våre forslag i arbeidet med vannforskriften, i planprosessen med tiltaksanalyser i 2020. I det følgende sammenstilles aktuelle tiltak fra de «integrative scenariene», dvs. der det siktes mot et kompromiss mellom arealbruk, flomsikring og bedre miljøforhold. Tabellene er bygd opp etter mal fra miljøforvaltningen<sup>1</sup> og det gjengis de forslagene som vil bidra til å bedre økologisk tilstand og økologisk potensial i anadrom del av vassdragene. Rene flomsikringstiltak som f.eks. flomvegger er ikke med i denne miljøkonteksten.

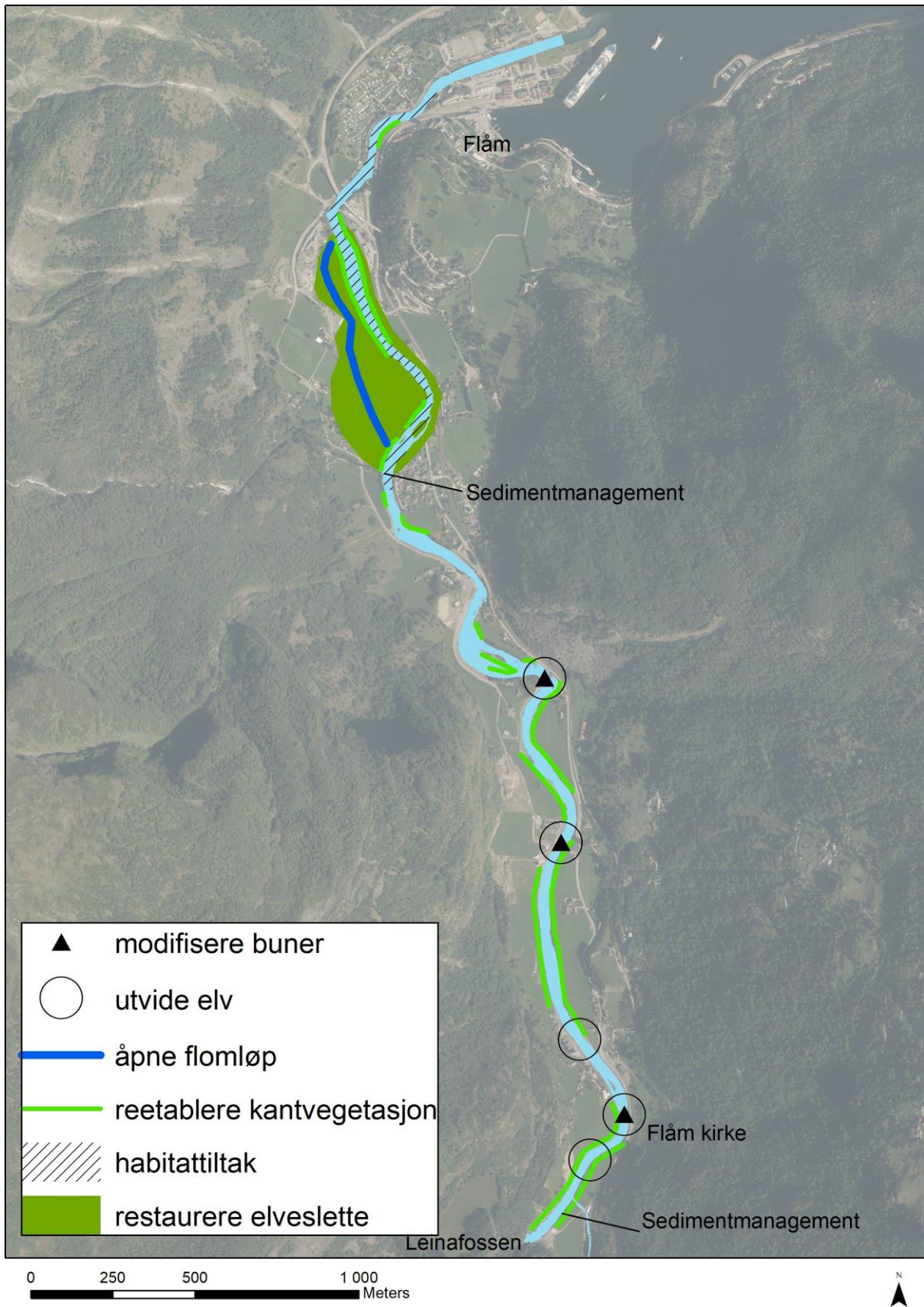
Kostnadsestimatene er basert på erfaringer fra slike tiltak i vassdragene og LFI-rapport 360 om kostnader og effekt av miljøtiltak<sup>2</sup>. Kostnadsanslagene inkluderer anleggskostnader inkl. materiell, men anslagene er grove siden det mangler detaljplanlegging. Andre kostnader (f.eks. til planlegging, arealerverv og overvåking) er ikke inkludert.

---

<sup>1</sup> DV 2019: Virkemidler og tiltak i vannforvaltningen. DIREKTORATSGRUPPEN FOR GJENNOMFØRING AV VANNFORSKRIFTEN. Miljødirektoratet. Trondheim. <https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/vannforvaltning/utforme-vannforvaltningsplan-og-tiltaksprogram/hvorfor-gjor-vi-tiltak/>

<sup>2</sup> Pulg, U. Stranzl, S. Espedal, E.O., Gabrielsen S-E., Postler, C., Ugedal, O., Jensås, G.J., Bremset, G., Fjeldstad H-P., Alfreidsen, K. 2020: Effektivitet og kost-nytte forhold av miljøtiltak i vassdrag. NORCE LF-rapport 360, Norwegian Research Center LFI, Bergen, 84s

[https://www.researchgate.net/publication/339659413\\_Effektivitet\\_og\\_kost-nytte\\_forhold\\_av\\_fysiske\\_miljotiltak\\_i\\_vassdrag/link/5e5e7e8892851cefa1d82949/download](https://www.researchgate.net/publication/339659413_Effektivitet_og_kost-nytte_forhold_av_fysiske_miljotiltak_i_vassdrag/link/5e5e7e8892851cefa1d82949/download)



Figur 34. Kart over foreslåtte tiltak i Flåmselva

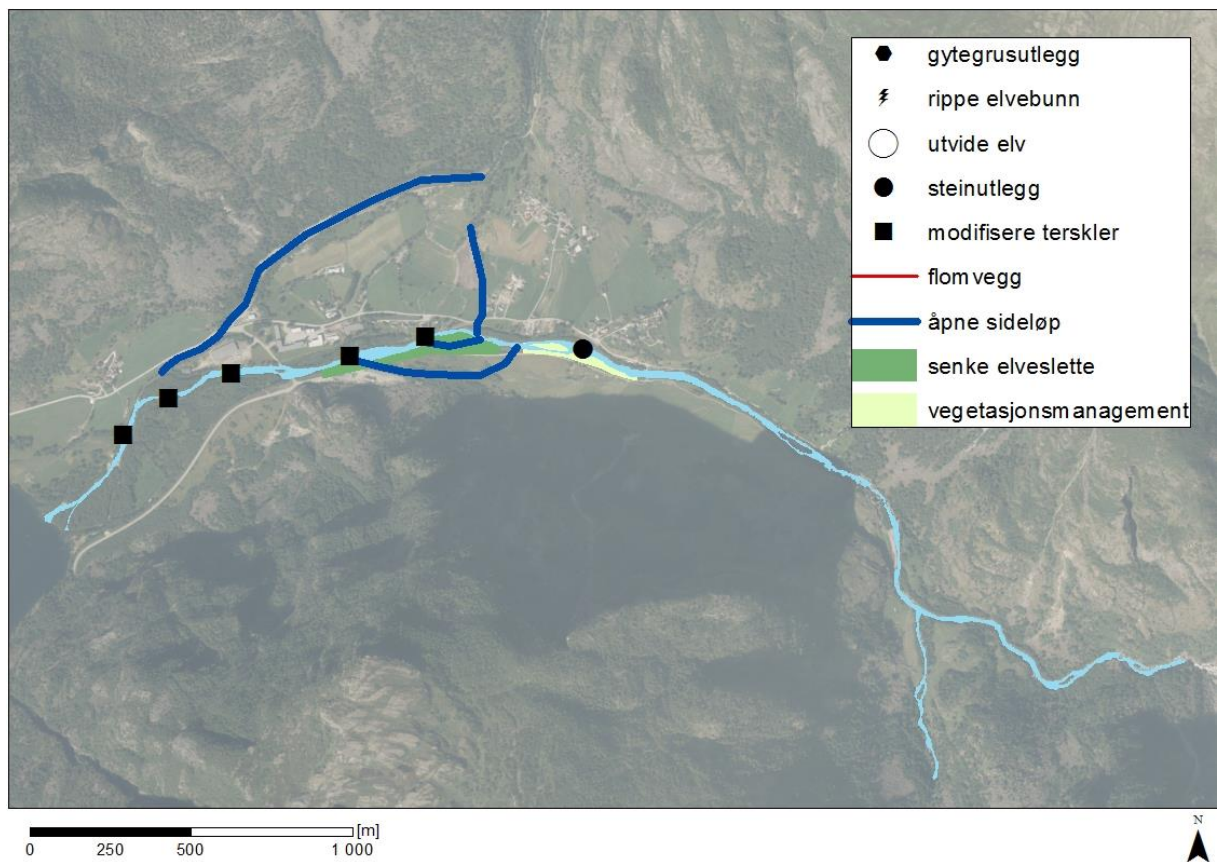
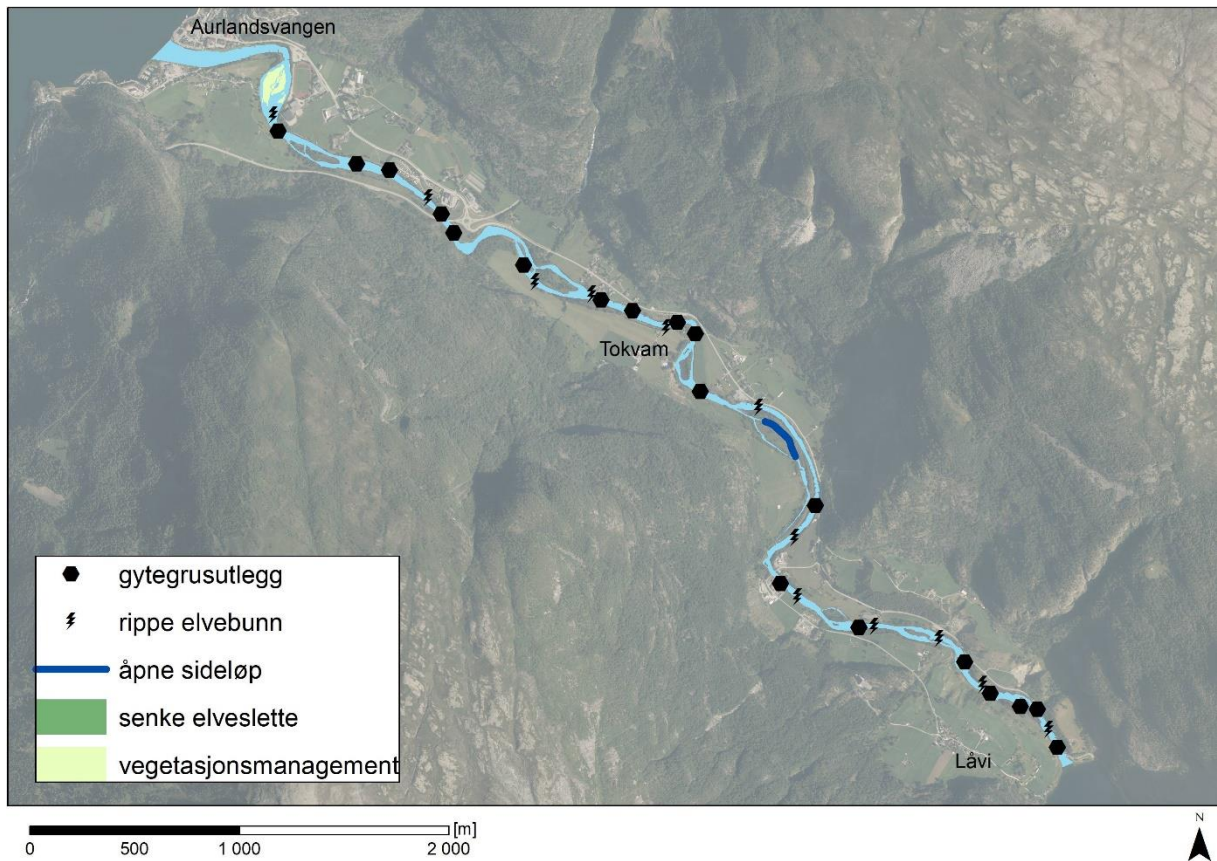
## Flåmselva

Tiltak	Tiltakstype*	Beskrivelse	Kostnadsestimat NOK (eks. mva)
Modifisere buner	MT7	Naturtypiske steinutlegg som virker som buner. Disse skal opprettholde vanndekt areal og en dypål.	50.000
Utvide elv	MT10, MT8, MT5	Tilbaketrekke erosjonssikring for å øke avløpskapasitet og forbedre fiskehabitat. Tiltaket vil redusere fare for erosjon og storskala massetransport og vil både redusere risiko for flomskader og bedre miljøforhold ved å gi naturtypiske elvebredder og kantsone	1.200.000
Senke elveslette og utvide elveløp Sedimentmanagement	MT10, MT5	Formål ved tiltak er å øke retensjonskapasitet for sediment ved flom. Masetransport og sedimentering i Flåm sentrum i tilfelle flom er en stor risiko for bosetting og infrastruktur der. Dette gjelder særlig når sedimentering sammenfaller med flo sjø. Risikoen kan reduseres ved å bruke området ved Brekke som sedimenteringsområde. Det forutsetter utvidelse av elveløpet, senkning og tilkobling av elveslette. Med dette gir tiltaket også en mer naturtypisk elveløp og elveslette. Etter sedimenteringshendelser fjernes massene og kan brukes som tiltaksgrus nedenfor Leinafossen o.l. (sedimentmanagement). Tiltaket krever altså vedlikehold (forventet sedimentfjerning 5-10 år) men er en effektiv forsikring for Flåm sentrum samt at det legger til rette for en naturtypisk elv og elveslette i det område. Elvesletten kan brukes om	1.000.000  Vedlikehold og sedimentmanagement: 250.000 i 5 år



		beiteland og/eller tilrettelegges for turisme (elvepark).	
Åpne flomløp	MT10, MT4	Tilkoble et flomløp med permanent vannføring i nedre delen av Flåmselva både for å forbedre fiskehabitat samt avløpskapasitet og sedimentering ved flom.	400.000
Reetablere kantvegetasjon	MT5	Aktiv (planting av trær) og passiv (beskytte vegetasjon) langs elvebredder. Dette tiltaket vil øke biologisk mangfold, insektlivet og også næringsgrunnlaget for fisk betydelig.	250.000
Habitattiltak mellom Lunde og elvemunning	MT10, MT5	Steinutlegg, gytegrusutlegg, etablering av gytebrekk (som i øvre delen av Flåmselva). Med dette skapes naturtypiske habitater i den innsnevrede og sikre elvestrekningen, f.eks. gyteplasser, brekk, stryk, hølør og bakevjer. Samsvarer med tiltakene som er gjennomført ovenfor Lunde til Leinafossen.	1.000.000

\*etter <https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/vannforvaltning/utforme-vannforvaltningsplan-og-tiltaksprogram/hvorfor-gjor-vi-tiltak/>

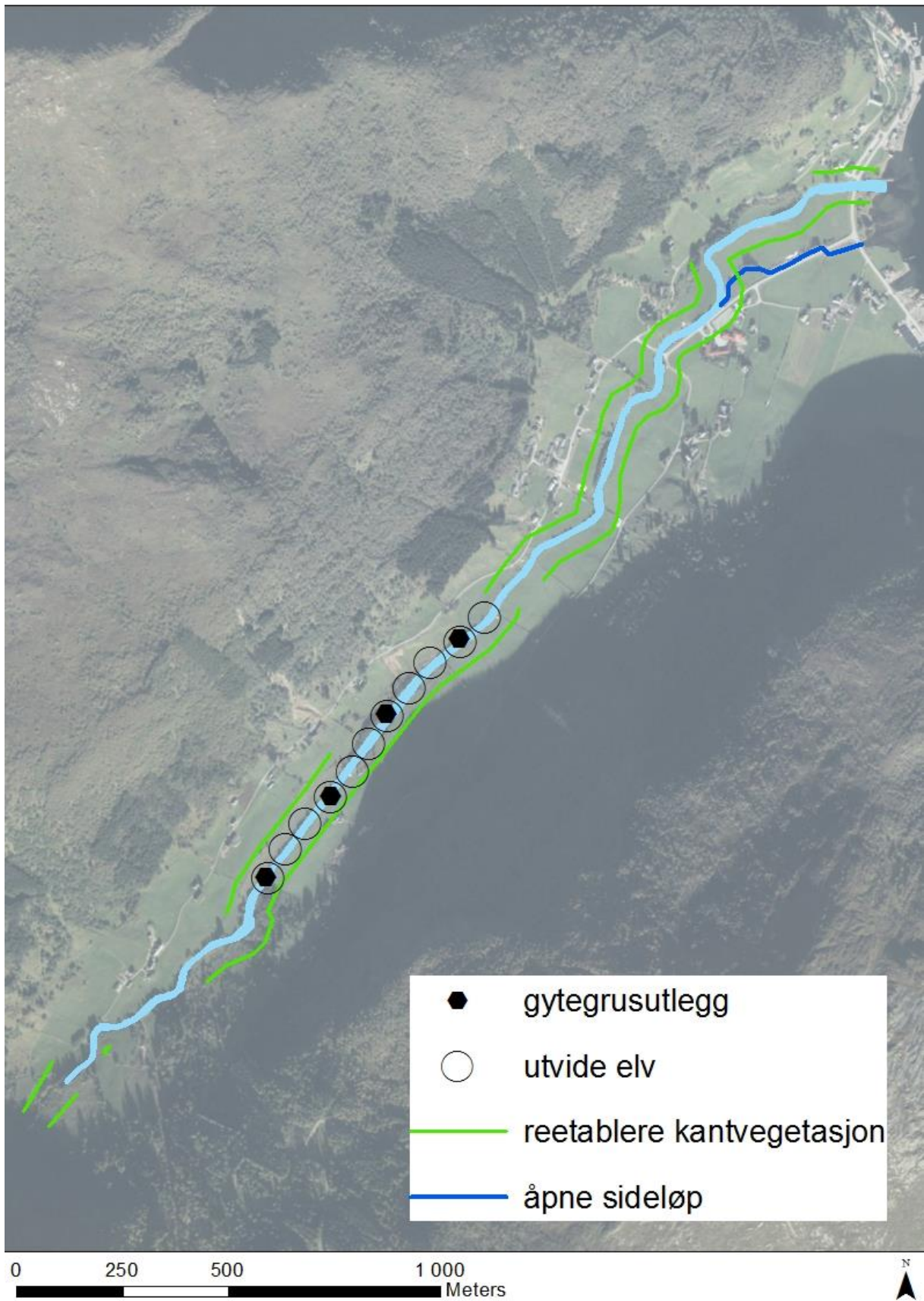


Figur 35. Kart over foreslåtte tiltak i Aurlandsvassdraget

## Aurlandsvassdraget

Tiltak	Tiltakstype	Beskrivelse	Kostnadsestimat NOK (eks. mva)
Modifisere terskler i Vassbygdelta	MT4, MT7, MT5	Etablere lavvannsrenner eller løse opp terskler i Vassbygdelta for å forbedre passerbarhet og gyteforhold/skjul (mindre sedimentering av finstoffer i terskelbasenger) for fisk	600.000
Åpne sideløp	MT10, MT4	Tilkoble Tokvamsbekken 3 i Aurlandselven og Tivesja, Midjeelvi i Vassbygdelta for å forbedre fiskehabitat	200.000
Åpne sideløp	MT10, MT4	Tilkoble Tivesja Vassbygdelta for å forbedre fiskehabitat	500.000
Rehabiliterer sideløp	MT10, MT4	Sikre Løelvi/Midjeelvi i Vassbygdelta som permanent fiskehabitat	2.000.000
Ripping	MT5	Ripping av elvebunn for å øke skjultilgang for ungfisk Varighet ca. 10 år	100.000 /år
Vegetasjonsmanagement	MT114	Trinnvis skjøtsel av kantvegetasjon for å opprettholde avløpskapasitet uten å fjerne kantvegetasjon	50.000/år
Gytegrusutlegg	MT5	Utlegg av gytegrus i Aurlandselva for å sikre å skape gyteplasser, varighet ca. 9-10 år	150.000/år
Minstevannføring i Vassbygdelta	MT 37	Minstevannføringen i Vassbygdelta er for tiden basert på frivillige slipp og har bidratt til å holde liv i den vassdragsdelen. Ugedal et al 2019 <sup>3</sup> anbefaler en økning av minstevannføringen.	Uavklart
Forbedring av konektivitet rundt vannkraftinstallasjoner	MT16 MT 27	Fiskevandring ved en justerbar demning som settes opp ved utløp av Vassbygdeltaetnet om vinteren samt inntak til Vangen kraftverk kan medføre effekter på fiskevandring som bør utredes og avbøtes i henhold til behovet, se Ugedal et al. 2019	Uavklart

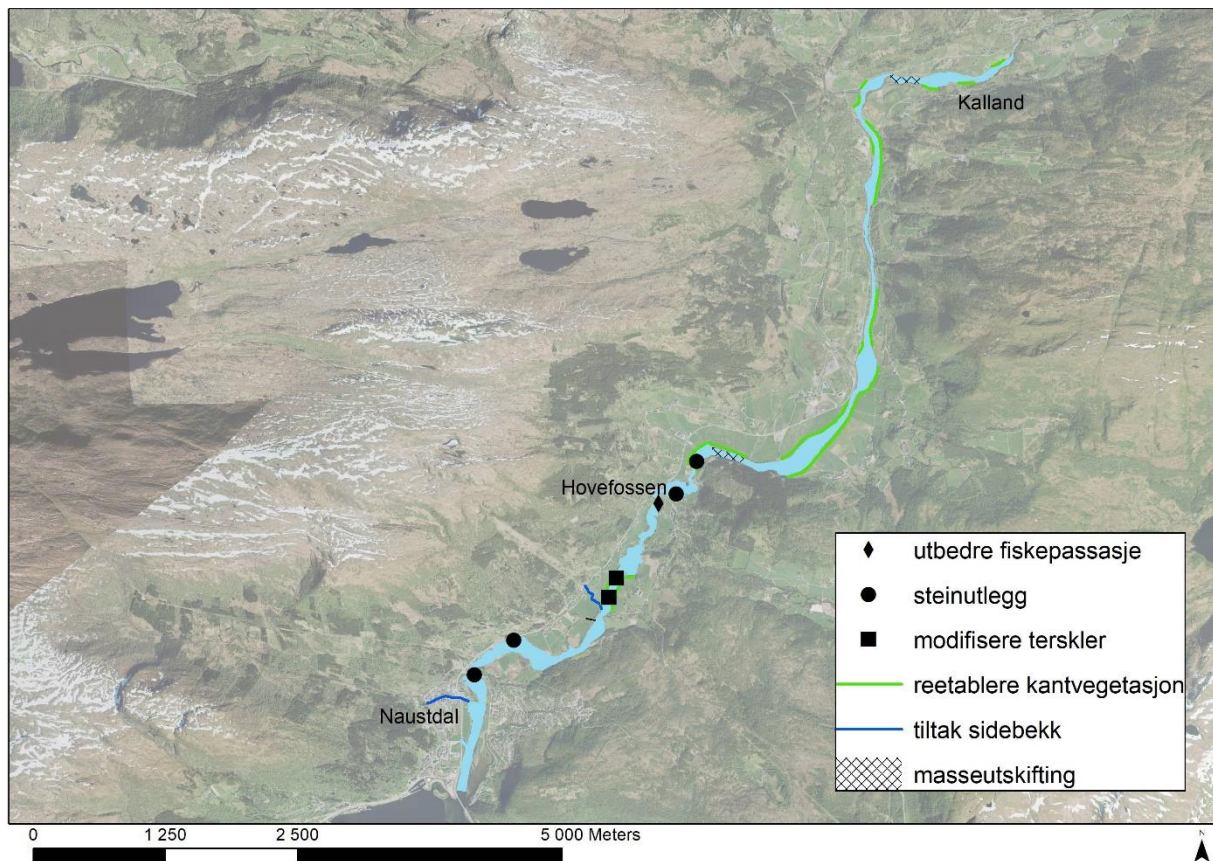
<sup>3</sup> Ugedal, O., Pulg, U., Skoglund, H., Charmasson, J., Espedal, E.O, Jensås, J.G., Stranzl, S., Harby, A. & Forseth, T. 2019. Sjøaure og laks i Aurlandsvassdraget 2009-2018. Regulerings effekter, miljødesign og tiltak. – NINA Rapport 1716. Norsk institutt for naturforskning.



Figur 36. Kart over foreslåtte tiltak i Storelva i Brekke

## Storelva Brekke

Tiltak	Tiltakstype	Beskrivelse	Kostnadsestimat NOK (eks. mva)
Gytegrusutlegg	MT5	Legge ut gytegrus i midtre og øvre delen av elven for å skape mere gyteplasser.	150.000
Utvide elv	MT10, MT5	Tilbaketrekke erosjonssikring for å øke avløpskapasitet og forbedre miljøtilstand og fiskehabitat i den kanaliserte strekning i midtre del av elven.	500.000
Reetablere kantvegetasjon	MT5	Aktiv (plantning av trær) og passiv (beskytte vegetasjon) langs elvebredder	150.000
Åpne sideløp	MT10, MT4	Tilkoble sideløp i nedre delen av Storelva for å forbedre fiskehabitat og avløpskapasitet ved flom	150.000



Figur 37. Kart over foreslåtte tiltak i Nausta

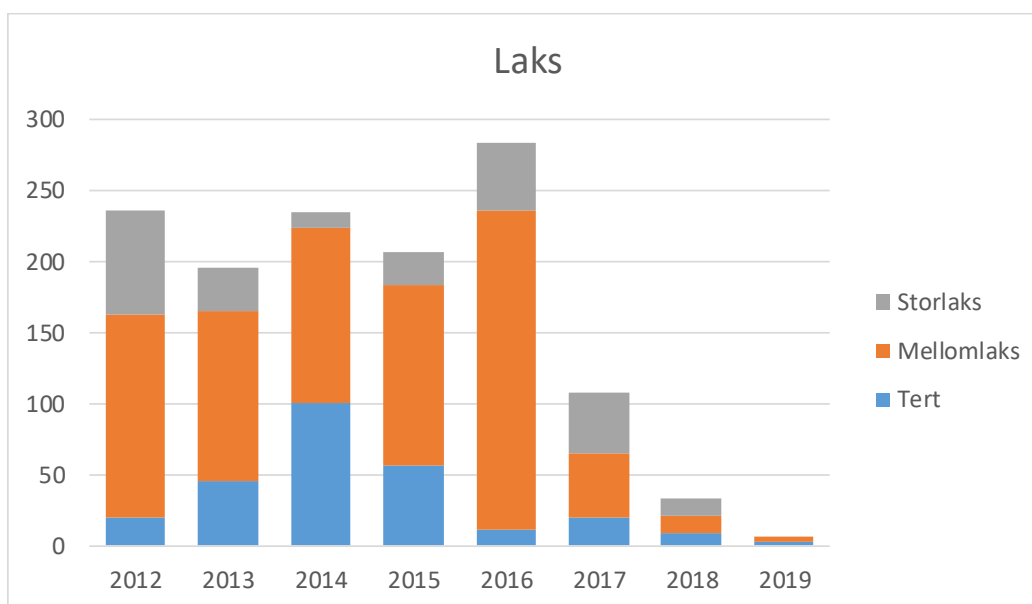
## Nausta

Tiltak	Tiltakstype	Beskrivelse	Kostnadsestimat NOK (eks. mva)
Utbedre fiskepassasje	MT16, MT7	Rehabiliterer fiskepassasjen i Hovefossen. Opprinnelig en naturlig vandringsbarriere – men trapper etablert i flere tiår og tiltak for å fremme laks og sjøaure.	3.000.000
Ny fiskepassasje	MT16, MT7	Etablere fiskepassasje i Kalandsfossen. Opprinnelig en naturlig vandringsbarriere – ny trapp vil styrke laks og sjøaure.	10.000.000
Steinutlegg	MT5	Legge ut stein for utvalgte områder for å skape skjulesteder for fisk og øke substratvariasjon for bunndyr og alger. Avbøtende tiltak mot økt finsedimenttilførsel og forbygning	1.000.000
Modifisere terskler	MT4, MT7, MT5	Etablere lavvannsrenner eller løse opp terskler for å forbedre passerbarhet og gyteforhold/skjul (mindre sedimentering av finstoffer i terskelbasenger) for fisk	250.000
Reetablere kantvegetasjon	MT5	Aktiv (planting av trær) og passiv (beskytte vegetasjon) langs elvebredder	300.000
Tiltak sidebekk	MT5, MT4, MT7, MT5	Sikre permanent vannføring, tilkobling, justere terskler, utlegg av gytegrus og døde trær.	400.000
Finsedimentfeller		Endringer i arealbruk (granfelt, grøfting, pløying, anleggsvirksomhet, redusert sanduttak) har ført til økt finsediment transport i elven med opphoping av sand. Problemstillingen kan reduseres og levetiden av andre tiltak forlenges ved sedimentbassenger i tilløpselvene som tømmes regelmessig for sand.	1.500.000

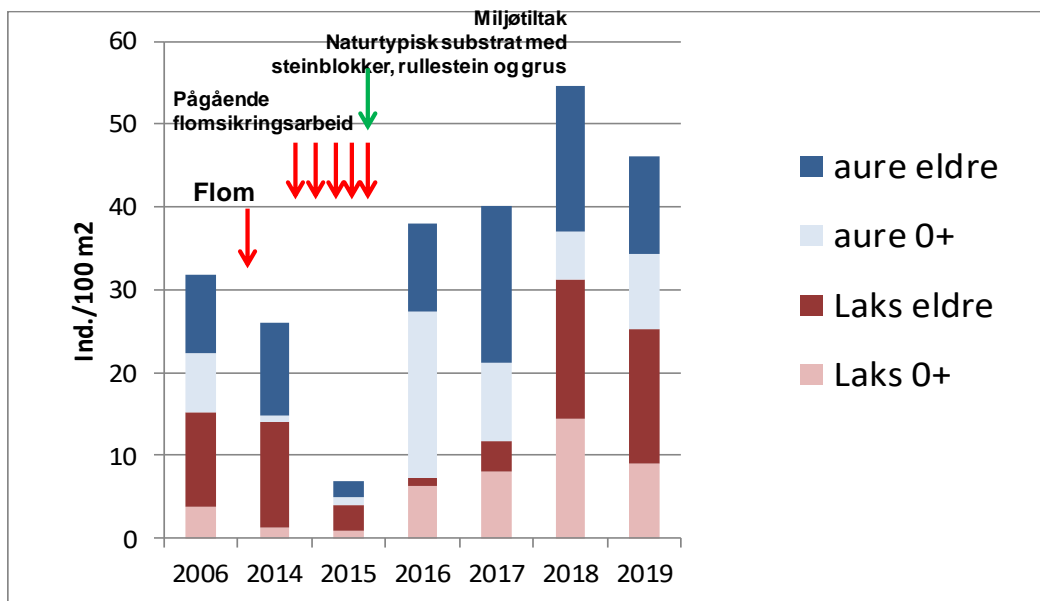
		Oppgaver som må gjennomføres er kartlegging av sandkildene, planlegging av tiltak gjennomføring, vedlikehold	
Masseutskifting	MT 5 og MT 10	Fortsettelse av tiltakene fra de siste årene på utvalgte områder: Sikte ut finsedimenter av elvebunnen og legge tilbake grovere fraksjoner (>64 mm). Øker skjul for ungfisk og avløpstverrsnitt ved flom og isgang. Tiltakene vedlikeholdes etter behov.	2.000.000

### 3.2.4 Data fra det pågående arbeidet

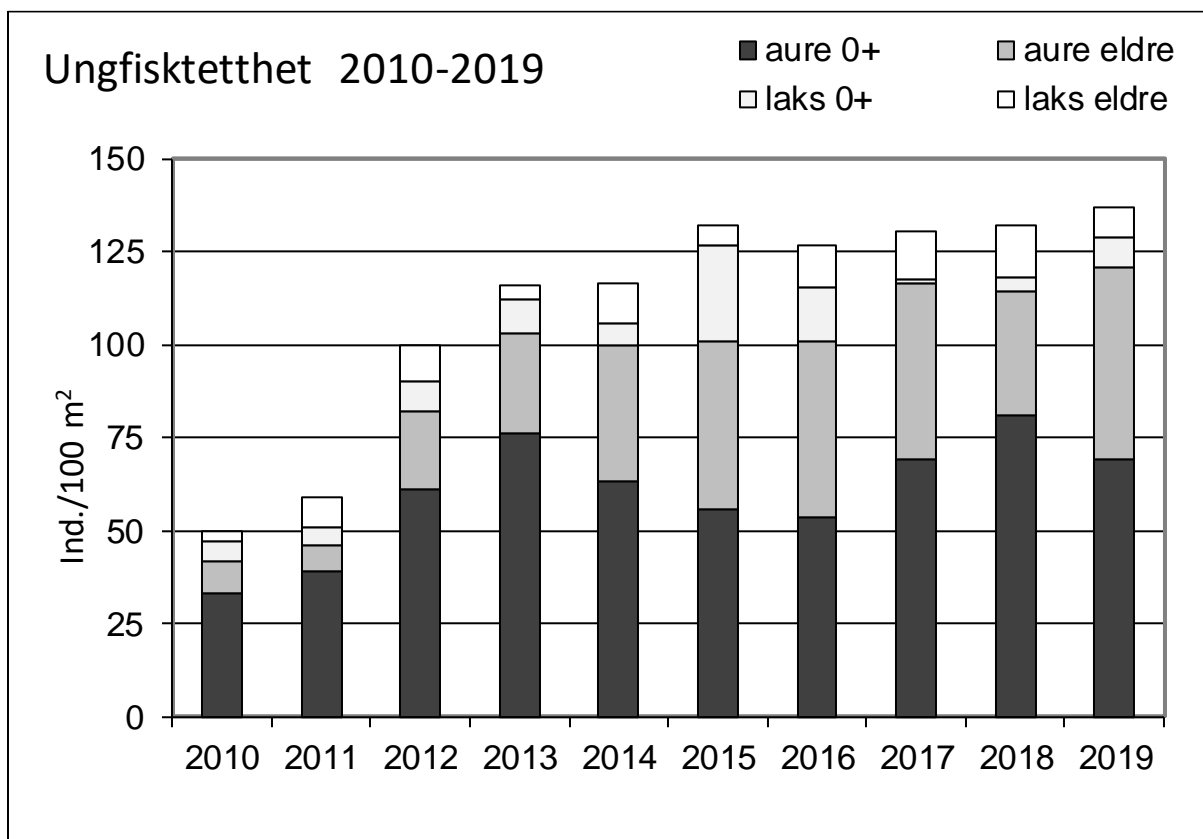
Det ble samlet inn omfattende biologiske, geomorfologiske og topografiske. I denne statusrapporten presenteres et utvalg. Arbeidet har b.l. bidratt til å identifisere den prekære situasjonen av laks og sjøaure i Flåmselva som følge av langvarig graving etter flommen i 2014 og kunstig lav sjøoverlevelse i regionen.



Figur 38. Gytebestand av laks i Flåmsvassdraget 2012-2019.

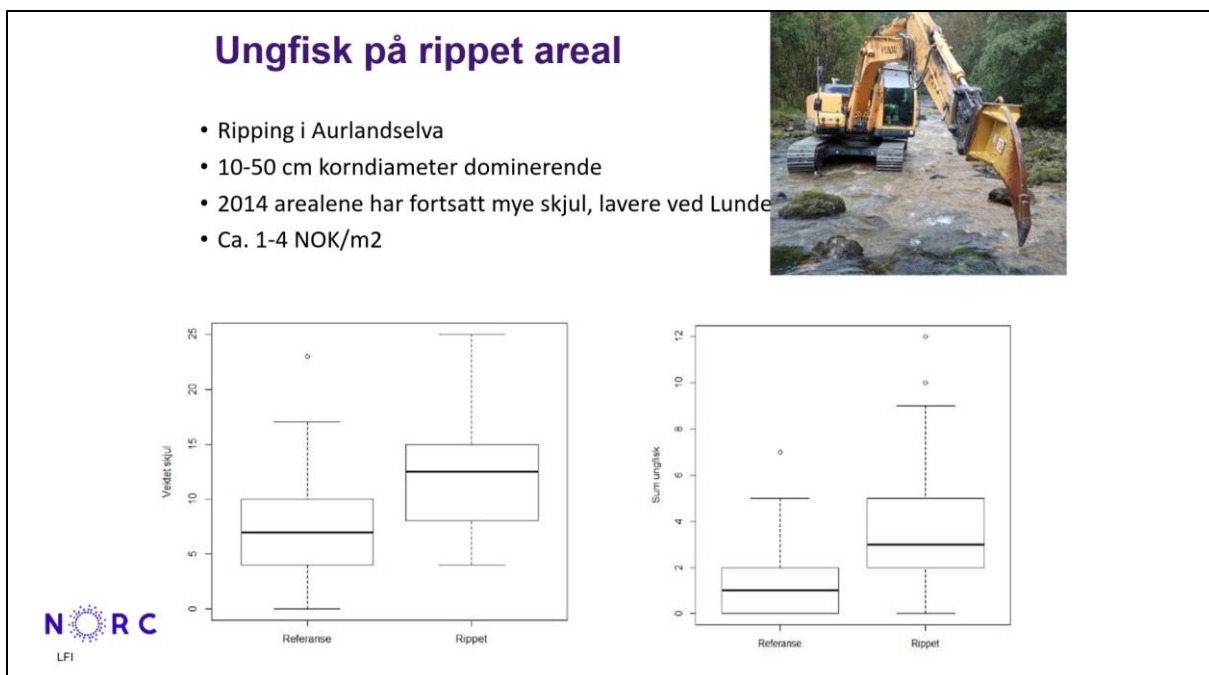


Figur 39. Utvikling av ungfisktettheter i Flåmselva (2006 fra Hellen et al. 2007)

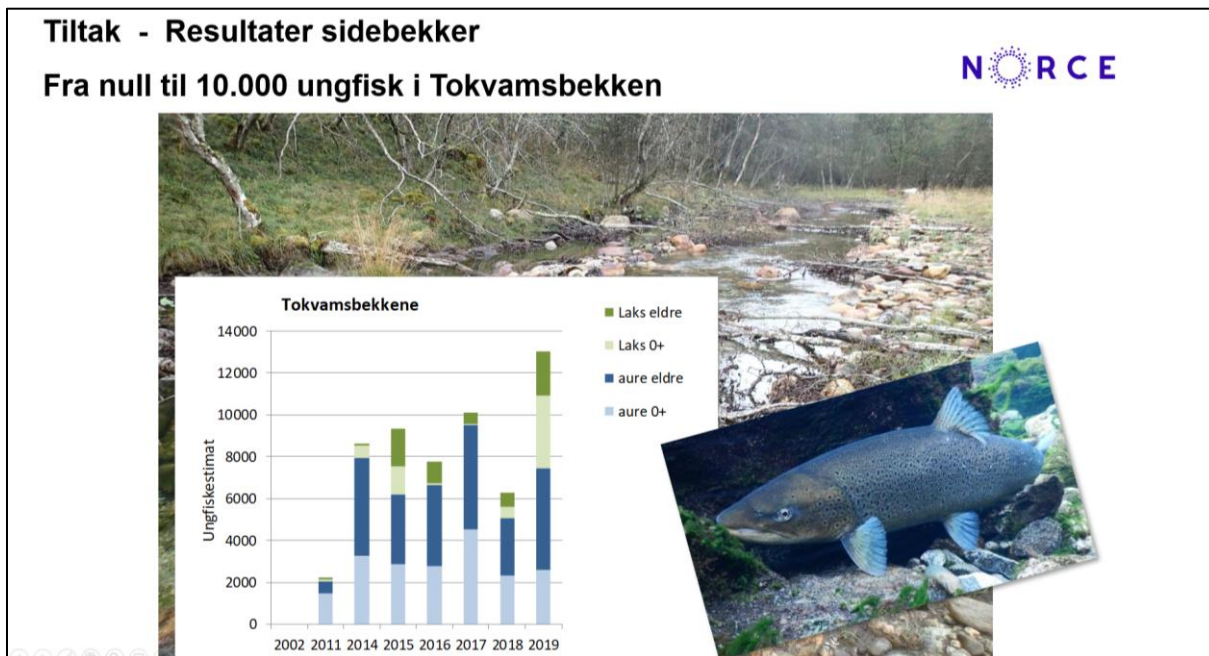


Figur 40. Utvikling av ungfisktettheter ved utlagt gytegrus som habitatforbedrende tiltak i Aurlandselva





Figur 41. Eksempel miljøtiltak: ripping i Aurlandselva og effekt på ungfisk



Figur 42. Eksempel miljøtiltak: Restaurering av sidelever

## 4 Gjennomført arbeid, fremdrift og track record

I det følgende sammenfattes en komprimert framdriftsrapport for prosjektet:

- Samlet sett tilsvarer prosjektsfremdriften 2017-20 forventningene, selv om arbeidsplanen delvis måtte tilpasses, ikke minst grunnet værforhold (s.n.) og Covid-19 pandemien.
- Kartleggingen av habitatforhold og morfologi samt topografiske oppmålinger er gjennomført. Det gjenstår bare supplerende datainnsamlinger etter behov.
- El-fiske og gytefisketelling ble gjennomført som planlagt i alle elvene fra høsten 2017
- Partneren fra BOKU Wien har bl.a. bidratt til oppmåling og gjennomført de hydrauliske og hydrologiske analysene. Vi hadde en rekke arbeidsmøter og felles feltarbeid i 2017, 2018, 2019 og 2020.
- I 2018 ble 1. runde prosjektseminarer og workshops holdt for Aurland-, Flåmsvassdraget og Nausta i samarbeid med vannregionen, kommunene og med innlegg fra Fylkeskommunen, Fylkesmannen og NVE. Det kom frem gode innspill og møtene bidro ikke minst til å informere om prosjektet og fremdrift. I Gulen kommune (Brekkeelva) var det ikke kapasitet fra kommunens side og det kom enda ingen innspill fra kommunen eller lokalbefolkning.
- I 2019 ble 2. runde prosjektseminarer og workshops holdt for Aurlands- og Flåmsvassdraget. Workshop i Nausta ble utsatt grunnet Covid-19 pandemien. Møte i Gulen avhenger av lokal interesse.
- Planen for i år er å fortsette med innsamling av biologiske data i høst samt analyse og publisering. Til neste år utarbeides en sluttrapport.
- Formidling, publisering og leveranse: Det ble publisert to vitenskaplige artikler om elvemorfologi som grunnlag for miljøtiltak og flomsikringsmetoder tilpasset elvetype (før tidsskjema), Hauer and Pulg (2018) og (2020). Trolig publiseres flere artikler fra prosjektet enn planlagt.
- Det ble holdt en rekke foredrag om prosjektet deriblant
  - Flomseminar på Voss 24.8. 2017
  - Nasjonalt seminar om vassdragsrestaurering i Bergen 27.9. 2017
  - Flomseminar i Aurland 13.4. i regi av kommunen
  - Prosjektworkshop Aurland 14.4. 2018
  - Prosjektworkshop Naustdal 23. 4. 2018
  - Hardangerfjordseminaret 5.5. 2018
  - Workshop med Fylkesmannen Hedmark Lillehammer 23. 4. 2018.
  - Nasjonalt seminar om vassdragsrestaurering i Oslo 20.9. 2018
  - 2 foredrag på fagseminar til 50 års jubileum LFI Bergen, 10.2. 2019
  - Internasjonal konferanse ISRS 8.-13.9. 2019, Wien

○ Prosjektworkshop Aurland 26.10. 2019

- Felles prosjektbefaring med cases i og rundt Alpene planlegges etter Covid-19 pandemien.

En oversikt over tilpasset fremdrift finnes nedenfor, grønt markert er oppdatert fremdrift, kryss opprinnelig planlagt.

Milepæler	2017		2018		2019		2020		2021		
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
halvår											
Samanstilling av kart-, datagrunnlag, GIS	x	x									
Kartlegging habitat og morfologi	x	x	x	x							
Kartlegging inngrep og biologi	x	x	x	x	x		x			x	
Kartlegging fysiske inngrep	x	x									
Hydraulisk modell		x	x								
Hydrauliske analyser			x	x	x	x	x	x	x	x	
Dataanalysar			x	x	x	x	x	x	x	x	x
Utvikling av scenariorer				x	x			x	x		
Testing av scenariorer i hydraulisk modell				x	x	x	x	x	x		
Leveranse av tiltaksutkast 2019					x	x					
Paper 1							x				
Paper 2										x	
Workshop med årsrapport	x		x		x		x		x		
Presentasjon med vannregionen		x		x		x		x		x	
Sluttrapport									x	x	

## 5 Referanser

- Barlaup, Bjørn T., Sven Erik Gabrielsen, Helge Skoglund, and Tore Wiers. 2008. 'Addition of spawning gravel—a means to restore spawning habitat of atlantic salmon (*Salmo salar* L.), and Anadromous and resident brown trout (*Salmo trutta* L.) in regulated rivers', *River Research and Applications*, 24: 543-50.
- FINSTAD, A. G., S. EINUM, T. FORSETH, and O. UGEDAL. 2007. 'Shelter availability affects behaviour, size-dependent and mean growth of juvenile Atlantic salmon', *Freshwater Biology*, 52: 1710-18.
- Forseth, Torbjørn, and Elisabet Forsgren. 2009. "El-fiskemetodikk. Gamle problemer og nye utfordringer." In *NINA Rapport*, edited by Norsk institutt for naturforskning, 74. Trondheim: Norsk instiutt for naturforskning
- Forseth, Torbjørn, and Atle Harby. 2013. *Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag* (NINA).
- Hauer, Christoph, and Ulrich Pulg. 2018. 'The non-fluvial nature of Western Norwegian rivers and the implications for channel patterns and sediment composition', *CATENA*, 171: 83-98.
- . 2020. 'Buried and forgotten—The non-fluvial characteristics of postglacial rivers', *River Research and Applications*, <https://doi.org/10.1002/rra.3596>: 1-5.
- Hedger, Richard D., Ola H. Diserud, Odd T. Sandlund, Laila Saksgård, Ola Ugedal, and Gunnbjørn Bremset. 2018. 'Bias in estimates of electrofishing capture probability of juvenile Atlantic salmon', *Fisheries Research*, 208: 286-95.
- Pulg, Ulrich, Bjørn T. Barlaup, Katharina Sternecker, Ludwig Trepl, and Guenther Unfer. 2013. 'Restoration of spawning habitats of brown trout (*Salmo trutta*) in a regulated chalk stream', *River Research and Applications*, 29: 172-82.
- Skoglund, H., B. T. Barlaup, Gunnar B. Lehmann, Eirik Straume Normann, T. Wiers, B. Skår, Knut W. Vollset, Gaute Velle, and S.-E. Gabrielsen. 2013. "Gytefisktelling og registrering av rømt oppdrettslaks i elverpå Vestlandet høsten 2013." In *LFI- Rapport*, edited by LFI Laboratorium for Ferskvannøkologi og Innlandsfiske, 40. Bergen: LFI Laboratorium for Ferskvannøkologi og Innlandsfiske.
- Ugedal, O., U. Pulg, H. Skoglund, J. Charmasson, E.O. Espedal, J.G. Jensås, S. Stranzl, A. Harby, and T. FORSETH. 2019. 'Sjøaure og laks i Aurlandsvassdraget 2009-2018. Reguleringseffekter, miljødesign og tiltak', *NINA Rapport 1716. Norsk Institutt for Naturforskning, Trondheim.*: 156 s. .
- Ugedal, O., Forseth, T. & Fiske, P. 2013. Biologisk delplan for Nausta. - NINA Rapport 923. 44 s.
- Hauer, C.; Habersack, H. (2009): *EARTH SURF PROCESS LANDF.* 34(5): 654-682).



## **Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske (LFI)**

LFI ble opprettet ved Universitet i Bergen i 1969, og er nå en seksjon ved Norwegian Research Centre (NORCE). LFI gjennomfører forskning, overvåking, tiltak og utredninger innen ferskvannsekologi. Vi har spesiell kompetanse på laksefisk (laks, sjøaure, innlandsaure) og bunndyr, og på hvilke miljøbetingelser som skal være til stede for at disse artene skal ha livskraftige bestander. Sentrale tema er:

- Bestandsregulerende faktorer
- Gytebiologi hos laksefisk
- Biologisk mangfold basert på bunndyrsamfunn i ferskvann
- Effekter av vassdragsreguleringer
- Effekter av fiskeoppdrett, lakselus og rømming
- Forsuring og kalking
- Habitattanalyser
- Vassdragsrestaurering
- Miljødesign og habitattiltak
- Effekter av klimaendringer
- Fiskepassasjer
- Gassovermetning