

Tiltak i Flåmselvi med hensyn til miljø og flomrisikohåndtering



Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

I 2018 ble Uni Research en del av NORCE (Norwegian Research Center)

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

ISSN nr: ISSN-2535-6623

LFI-rapport nr: 463

Tittel: Tiltaksplan for Flåmselvi i Aurland Kommune

Dato: 10.12.2022

Forfattere: Ulrich Pulg, Espen Olsen Espedal, Christoph Postler

Bilder: Fotografier er tatt av Norce LFI.

Geografisk område: Vestland, Norge

Oppdragsgiver: Aurland Kommune

Kontaktperson hos oppdragsgiver: Jan Olav Møller, Henning Elgåen

Antall sider: 62

Emneord: Klimatilpasning, habitat, tiltak, flom, restaurering, vannforskriften

Sammendrag

Basert på eksisterende flom- og miljøanalyser ble det utviklet en tiltaksplan. Den har som mål å forbedre både flomrisikohåndtering og miljøtilstand i Flåmselva. Blant forslagene er tiltak som krever mer omfattende planprosesser og detaljering, slik som delvis utvidelse av elveløp og elveslette, forsterkning av flomsikringer samt aktiv bruk av eksisterende magasiner til flomdemping.

I tillegg foreslås en rekke miljøtiltak, særlig for strekningen Lunde til elvemunning. Mange av disse kan utføres i rammen av eksisterende arealbruk og i rammen av vassdragsvedlikehold. For eksempel utlegging av stein, utforming av typisk elvemorfologi i kanaliserte områder og planting av kantvegetasjon. Disse tiltakene er konkretisert i rapporten og vist detaljert for delområder inkludert anslag for material og mengde.

Pulg, U., Espedal, E.O. & Postler, C., 2021. Tiltaksplan for Flåmselvi i Aurland Kommune, LFI Rapport nr. 463

Innhold

1	Bakgrunn og hensikt.....	4
2	Materiale og metoder	5
3	Flåmvassdraget	5
3.1	Nedbørsfelt og hydrologi	5
3.2	Morfologi.....	8
3.3	Habitatkartlegging.....	17
3.4	Laks og sjøaure	19
3.4.1	Flommodellering for Flåmvasdraget.....	25
3.4.2	Flomscenarier	30
4	Tiltaksplan	46
4.1	Delstrekninger for miljøtiltak 2023	47
4.1.1	Strekning 1: Grindahølen	47
4.1.2	Strekning 2: Samfunnshuset.....	49
4.1.3	Strekning 3: Bruahølen.....	51
4.1.4	Strekning 4: Nigårdstudneau.....	53
4.1.5	Strekning 5: Flåm sentrum	55
4.1.6	Strekning 6: Deltaområdet	57
4.1.7	Sammendrag	59
4.1.8	Øvre strekning Lunde-Leinafoss: Vedlikehold og kantvegetasjon	59

1 Bakgrunn og hensikt

Flåmselva ligger i Aurland kommune, Vestland fylke. Elven har en anadrom strekning på omtrent 4,9 km fra utløpet ved Flåm sentrum og opp til Leinafossen. Under en storflom i slutten av oktober 2014 ble deler av den anadrome strekningen forandret, og hus, broer og veier erodert. Etter flommen ble det gjennomført sikringstiltak av NVE og kommune. Elven ble omtrentlig lagt tilbake i sin gamle seng. I rammen av dette arbeidet ble det gjennomført miljøtiltak mellom Leinafoss og Lunde. De anbefalte miljøtiltakene inkluderte å la deler av den nye elven ligge, utvide tverrprofil og tilbakesette erosjonsikring, utvikle naturtypisk morfologi, stein- og grusutlegg samt reetablering av kantvegetasjon (Pulg et al. 2014). Av disse ble først og fremst stein- og grusutlegg gjennomført, og varierte elvebredder ble etablert i forkant av sikringsfoten. Naturtypiske høler, brekk og dypål ble også etablert. Stedvis ble erosjonssikringen også satt tilbake. Noen trær ble plantet, men størstedelen av reetableringen av kantvegetasjonen langs vassdraget gjenstår.

2017-2022 ble det gjennomført et forskningsprosjekt «Flom og miljø i et endret klima» med blant annet Flåmselva som eksempel for konkrete problemstillinger og løsninger (Pulg et al. 2022). Arbeidet fra dette prosjektet (kap.3) ligger til grunn for tiltaksvurderingene i denne rapporten (kap. 4).

Målet med det foreliggende arbeidet er å utvikle og beskrive tiltak til å oppnå både bedre miljøforhold og flomrisikohåndtering. Tiltakene som er mulig å gjennomføre 2023 er først og fremst anbefalt for å bedre miljøforholdene i vassdraget, men også her er flomrisikohåndtering hensyntatt under planleggingen.

2 Materiale og metoder

Metoder, grunnlagsdata, hydraulisk modell og analyser er beskrevet i Pulg et al. (2022), en omfattende studie («Flom & Miljø») om flomskaderisiko og flomsikringsmuligheter. Den delen av studien som er mest relevant for Flåmselva er gjengitt i kap. 3.

Kap. 4 omhandler beskrivelse av tiltak for å bedre miljøforhold med samtidige hensyn til flomsikring og -demping.

Ved utvikling og dimensjonering av miljøtiltak siktes mot å oppnå minst god økologisk tilstand (også hydromorfologisk) etter vannforskriften¹ og kvalitetsnorm villaks² samt sikring av verneformålene i verneplan for vassdrag³. Ved utvikling og dimensjonering av tiltak til flomrisikohåndtering siktes mot minst mulig skadepotensiale ved 200-års flom^{4 5} pluss 40 % klimapåslag.

3 Flåmvassdraget

Tiltaksplanen skulle samkjøres med prosjektet «Flom & Miljø» som bl.a. modellerer flomsoner for Flåm inkludert en vurdering av erosjonspotensiale. I tillegg utvikles scenarioer for hvordan flomrisikohåndtering og miljøtiltak kan forbedres og samkjøres. Resultatene er beskrevet i dette kapittelet.

3.1 Nedbørsfelt og hydrologi

Flåmselvi ligger i Aurland kommune og drenerer i Aurlandsfjorden. Nedbørsfeltet er på 282 km², 70 % av arealet ligger over 1105 moh. Nedbørsfeltet er dominert av snaufjell (77 %), fulgt av skog (13 %) og innsjø (5 %). Myr har en arealandel på 0.7 %, Dyrket mark på 0.3 %⁶. Tre mindre magasiner i nedbørsfeltet med samlet magasinivolum på 10.5 mill. m³ gir en reguleringsgrad på 2 %. Det finnes to kraftverk i vassdrag. Kjosfoss kraftverk (3,6 MW, 95 m) utnytter fall i Kjosfossen og er tilknyttet de naturlige innsjøene Reingungavtnet, Seltuftvatnet og Klevevatnet som har blitt bygget om til magasiner.

¹ <https://www.vannportalen.no/vannregioner/vestland/vassomrade/indre-sogn/>

² <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-09-20-1109>

³ <https://www.nve.no/vann-og-vassdrag/vassdragsforvaltning/verneplan-for-vassdrag/vestland/072-2-flamselvi/>

⁴ https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71/KAPITTEL_4-9#KAPITTEL_4-9

⁵ <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-2/? t q=flom>

⁶ www.nevina.nva.no

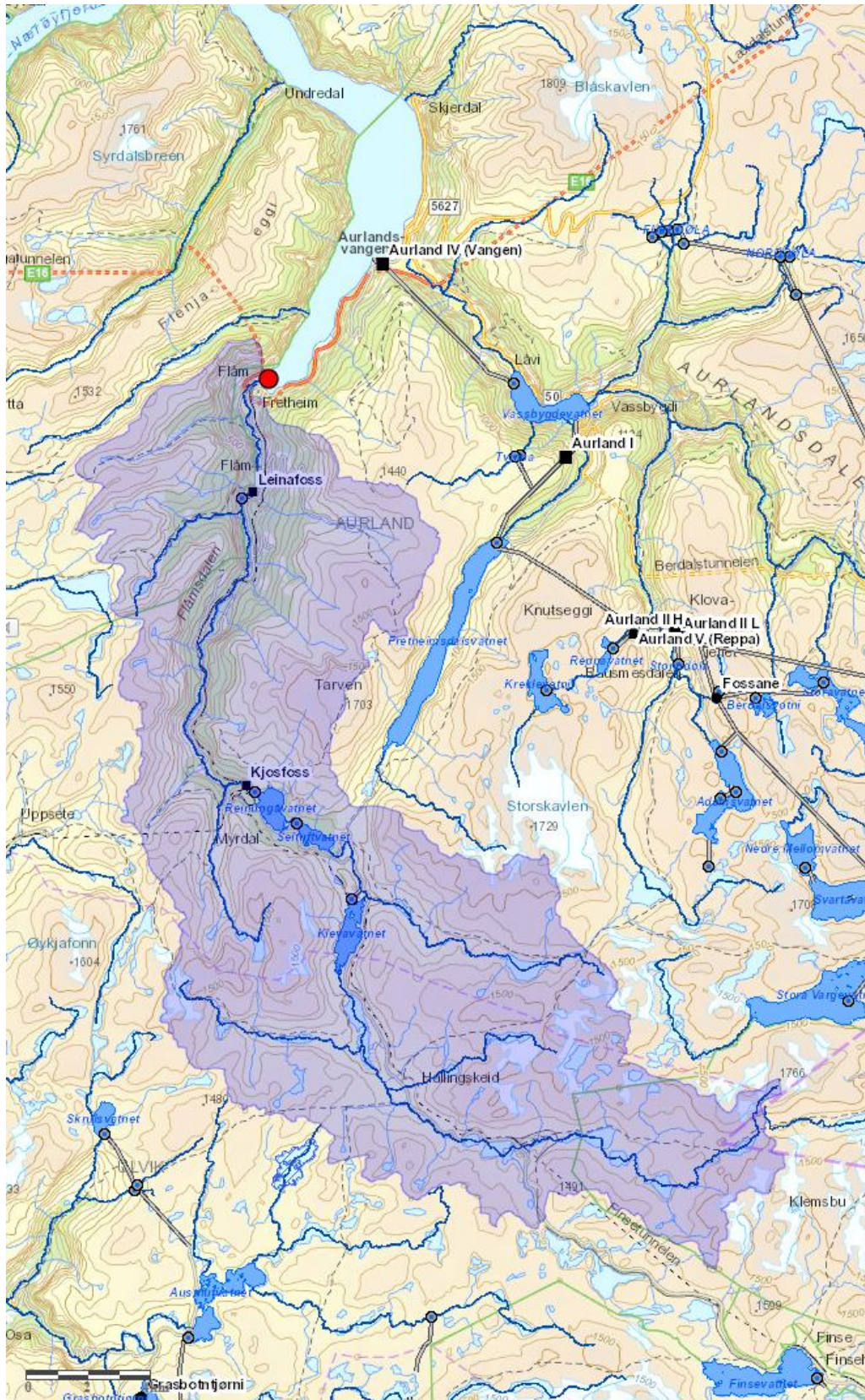
Leinafossen kraftverk (4.8 MW, 54 m) er et elvekraftverk 5 km fra sjøen. Leinafossen er den naturlige grensen av lakseførende strekning.

Måleserie i Flåmsvassdraget går tilbake til 1908. Ifølge flomberegninger fra Holmqvist (2015) er middelflom på 137 m³/s (190 m³/s med 40 % klimapåslag) og HQ200 i vassdraget har en størrelse på 290 m³/s, med 40 % klimapåslag vil dette øke til 400 m³/s. Flommen fra 2014 på nesten 250 m³/s hadde gjentaksintervall på mellom 50-100 år, eller 5-10 år med 40 % klimapåslag. Tabell over kulminasjonsvannføringer er vist i (Tabell 1).

Gjennomsnittlig vannføring over året ligger på 18 m³/s i de siste 30 årene (siste år XXX), mens den i 95 % av tiden la over 1.55 m³/s.

Tabell 1. Flomberegningene i Flåmselvi ved Brekke bru fra Holmqvist (2015)

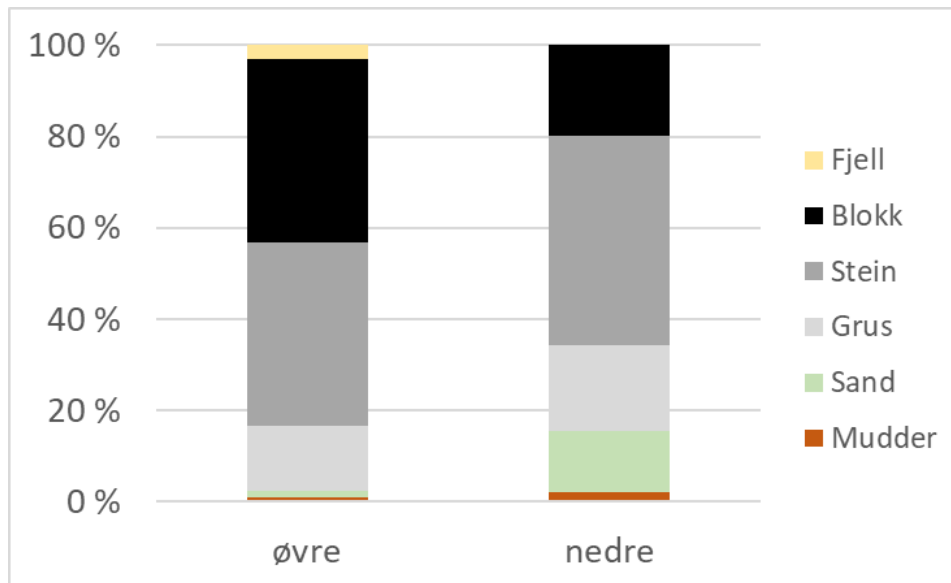
	Areal km ²	Q _M m ³ /s	Q ₅ m ³ /s	Q ₁₀ m ³ /s	Q ₂₀ m ³ /s	Q ₅₀ m ³ /s	Q ₁₀₀ m ³ /s	Q ₂₀₀ m ³ /s	Q ₅₀₀ m ³ /s	Q ₁₀₀₀ m ³ /s
72.5 Brekke bru	268,2	137	165	185	210	240	260	290	330	360
Klima + 20 %	268,2	160	200	220	250	290	310	350	390	430
Klima + 40 %	268,2	190	230	260	290	330	370	400	460	500



Figur 1. Nedbørsfelt for Flåmselvi med reguleringer og magasiner (nevina.nve.no)

3.2 Morfologi

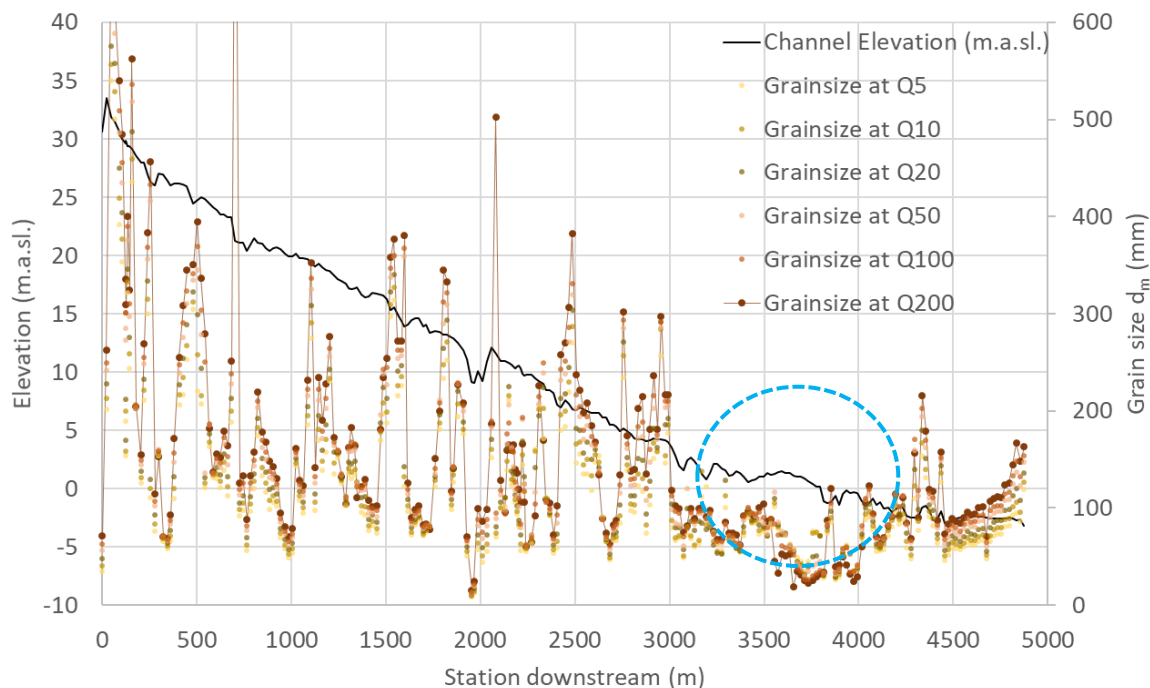
Flåmselvi har en lengde på 52 km målt fra munning til øverste del av vassdraget. Vassdraget er et typisk høyfjellsvassdrag med 90 % av arealet mellom 765 og 1764 moh. Anadrom elvestrekning er på 4.95 km og har en gjennomsnittlig gradient på 0.72 %. De nederste 2 km har en gradient på 0.33 %, det som ligger ovenfor har en gradient på 0.87 %. Dette gjenspeiler seg i substratsammensetning som i øvre del av elven er dominert av rullestein (40 %) og blokk (40 %) med innslag av grus (14 %), mens nedre delen har høyere andel rullestein (46 %), mindre blokk (20 %), mer grus (19 %), og betydelig mer sand (13 %).



Figur 2. Substratsammensetning i øvre og nedre elvestrekningen

Basert på flyfoto fra 1971, løsmassekart⁷ og helning forventes følgende naturlige elvetyper i nedre Flåmselva: Leinafossen var- og er fortsatt en lite endret kaskade på grunnfjell. Strekingen rett nedenfor var et variert stryk med overgang til jevnt stryk. Fra Leirungen dominerte et jevnt stryk ned til ca. Brekke bru der elven gikk over til kulp-stryk type. Ved munningen fantes et delta. Elven nedenfor Leinafossen består i hovedsak av fluviale sorterte sedimenter, selv om det finnes enkelte store kolluviale blokker på flere meters diameter slik som i Steinshølen. Det må regnes med bifurkasjoner (flere løp), rester finnes fortsatt nedenfor Steinshølen. Dagens morfologi i anadrom strekning er endret fra naturtilstand, men de opprinnelige elvetyperne er fortsatt synlig. I hovedsak er elven (aktivt elveløp) snevret inn og erosjonssikret på sidene. Elvetyperne er fortsatt gjenkjennelige, men overformet av kanalisering. Deltaet er forsvunnet og erstattet av en kanal med finsedimentbunn. Nydannete flomløp ble fylt igjen etter 2014-flommen.

⁷ https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/

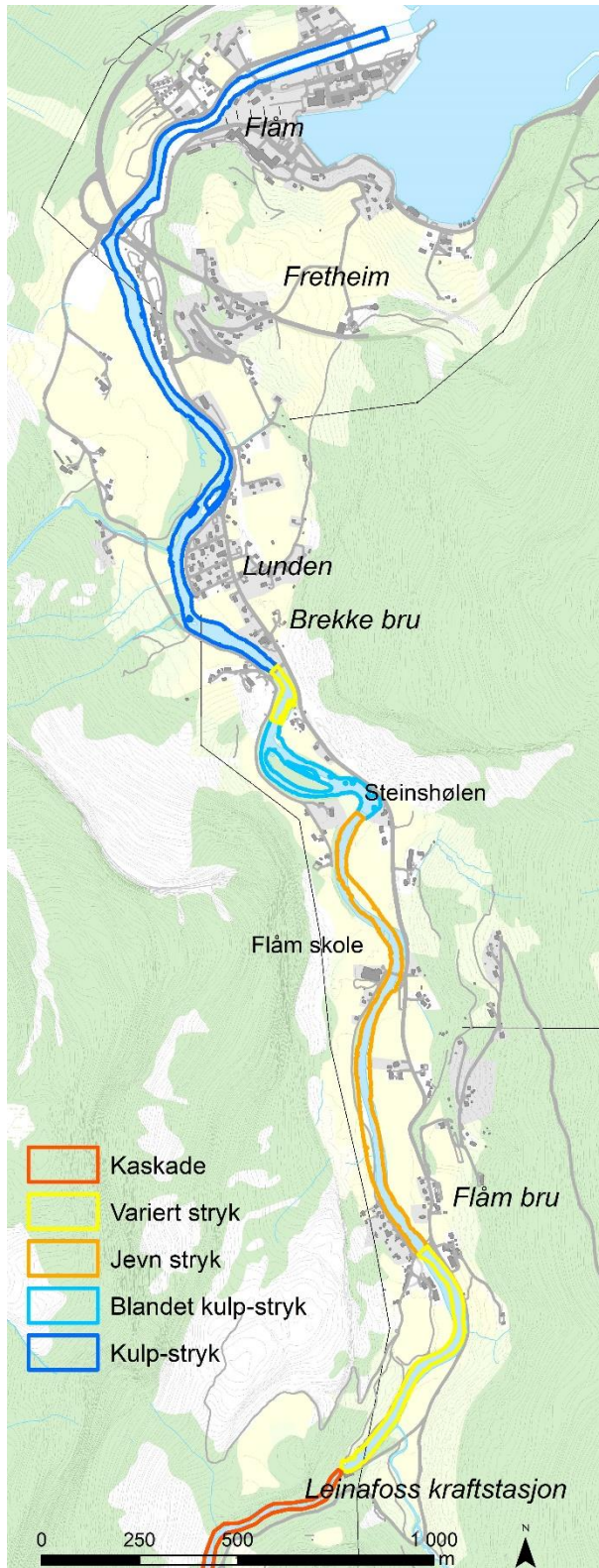


Figur 3. Lengdeprofil av anadrom strekning med transportkapasitet, steindiameter som elven klarer å flytte ved profilene basert på modelleringsresultater og Meyer-Peter & Mueller (1948), mer informasjon i appendiks. «0» representerer Leinafoss, elvemunning ligger ved 4800 m. Legg merke til området ved Aurøyadn (sirkel), ovenfor E16 bro med betydelig lavere transportkapasitet.

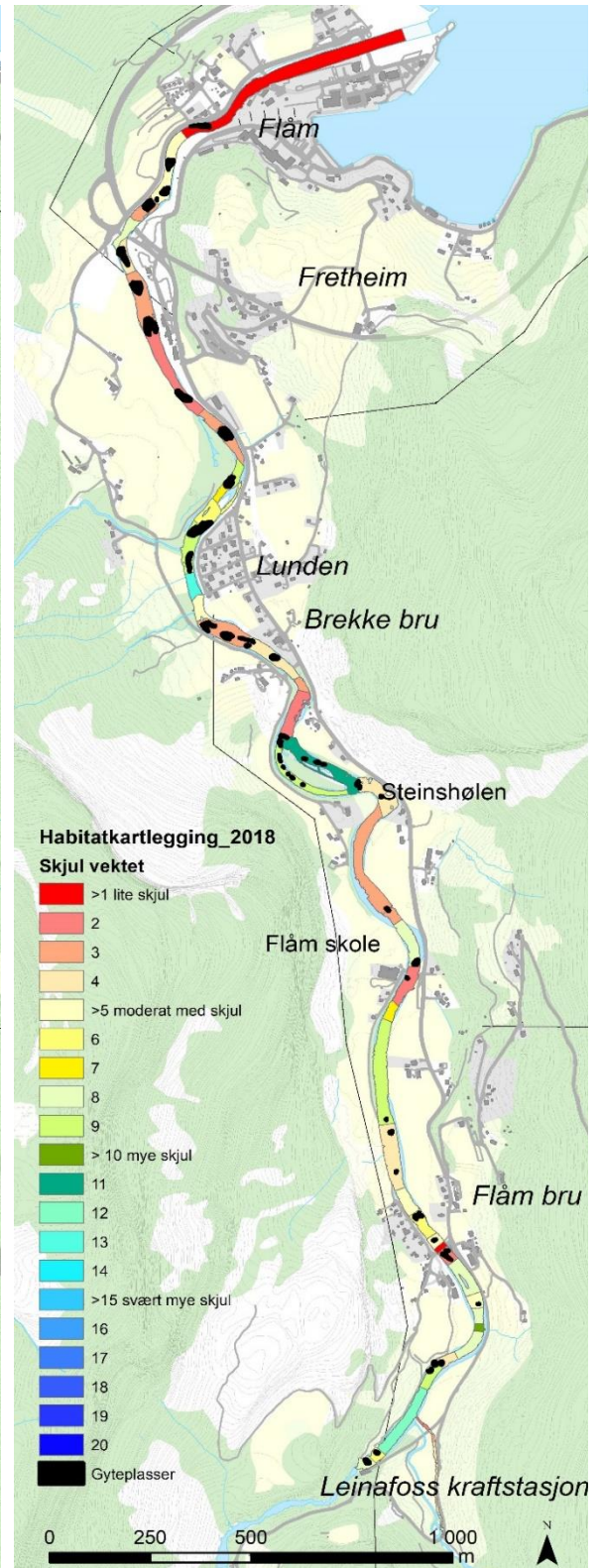
Det ble utført tiltak for å avbøte noen negative miljøvirkninger av kanaliseringen, slik som steinutlegg og delvis utvidelse av elveløp i arbeidet etter 2014 (Pulg et al. 2017). Kanalisering har ført til at elven har redusert massetilførsel fra sideerosjon. Samtidig virker Leinafoss dam som sedimenteringsbasseng, der grovere fraksjoner blir holdt igjen mens finere fraksjoner blir videretransportert. Over tid kan dette degradere gyteplasser ved at grusen spyles ut og/eller hulrom fylles opp med finmateriale (Hanssen-Bauer et al. 2016). Det kan derfor være behov for grustilførsel ved jevne mellomrom.

I den ikke- anadrome vassdragsdelen har elven til en høyde på ca. 300 moh gravd seg i berggrunn og glasiale avsetninger som danner typiske følger av fluviale og ikke-fluviale trinn. Lenger oppstrøms renner vassdraget i hovedsak på fjell, delvis med tynt løsmasselag, ofte i bratt terreng med lite potensiale for fordrøyning.

Nedbørsfeltet er dominert av Gneiss og Phyllit. Phyllitfraksjonen i sedimentene kan bidra til stor finsedimentandel (< 1 mm).



Figur 4. Forventede elvetyper i flåmselva basert på terrengform og sedimenter



Figur 5. Habitatkartlegging 2018 med vektet skjul og gyteplasser for laks og sjøaure

Elvegeometri før og etter flommen 2014

Under flommen i 2014 har elven forflyttet seg lateral i dalen og har utformet en mye bredere elveseng. Store mengder med sedimenter som ble erodert la seg i elvesengen. Under oppryddings og sikringsarbeidet 2014-2016 ble elven lagt tilbake i et noe modifisert og rettet løp. Noen strekninger ble innsnevret, andre strekninger ble utvidet, nesten hele elven ble sikret med langsgående erosjonssikring.

Erosjonssikringer er allerede dokumentert på bilder fra 1926 (Figur 6). Bildene tyder imidlertid på at elven var bredere i 1930. Basert på tilgjengelige flyfoto i norgebilder var bredden til det aktive elveløpet 41 m ved Leirungen i 1971 og i mai 2014. Etter flommen var bredden 85 m. Etter tilbakeflytting var bredden innsnevret til 29 m (-29 %).

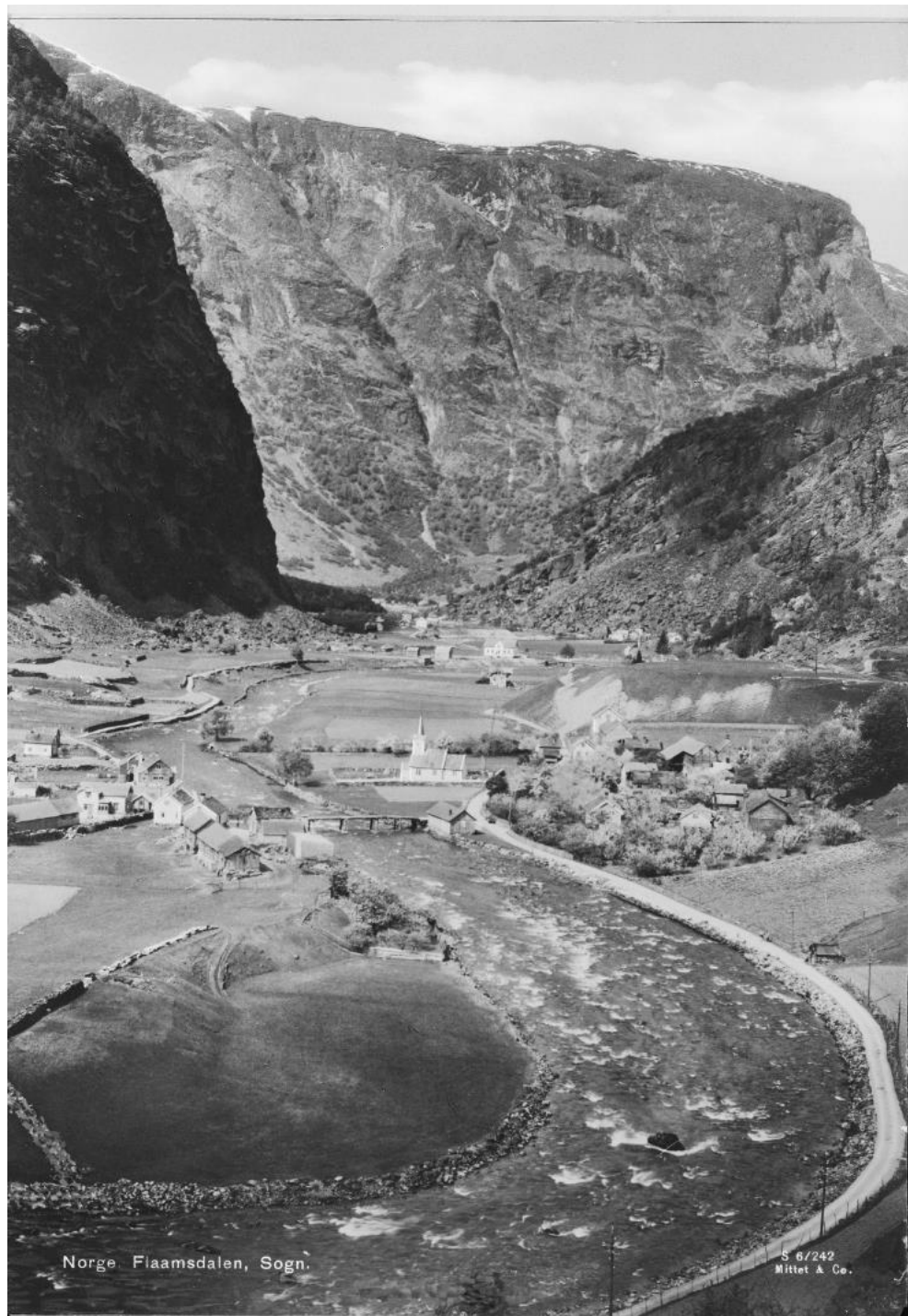
Figur 11 viser endringer i vannhastigheter i delstrekning rundt kirken med elvegeometri før- og etter skadeflommen og etter ny erosjonssikring. Det er påfallende at det nå finnes områder med høyere vannhastigheter enn før 2014-flommen. Se kapittel elvegeometri før og etter flom og elvegeometri 2018. Hauer et al. (2021) viser at erosjonspotensialet var rundt 30 % lavere etter 2014-flommen men var omtrent som før etter gjenkanaliseringen.

Erfaringen fra Flåmselva viser at det kan være stort press under straks- og sikringstiltak rett etter en stor flom slik som 2014-flommen som hadde medført morfodynamikk med erosjon av hus og dannelse av nye elveløp. Her var det ikke bare å reparere, men viktige avgjørelser måtte tas på svært kort tid: Hvor skal elven ligge? Skal nye side- og flomløp opprettholdes? Hvor skal breddene og høydenivå ligge? Skal broer bygges opp igjen på samme sted? Hva skal skje med massene? I tillegg kom mangfoldige ønsker fra grunneiere, vassdragsbrukere og kommune samt vernebestemmelser om varig vassdragsvern og nasjonalt laksevassdrag. Det sier seg selv at det ikke var en enkel oppgave, men disse avgjørelsene vil prege vassdraget langt over den akutte sikringsfasen og ha effekter for fremtidens flomrisiko og miljøtilstand.

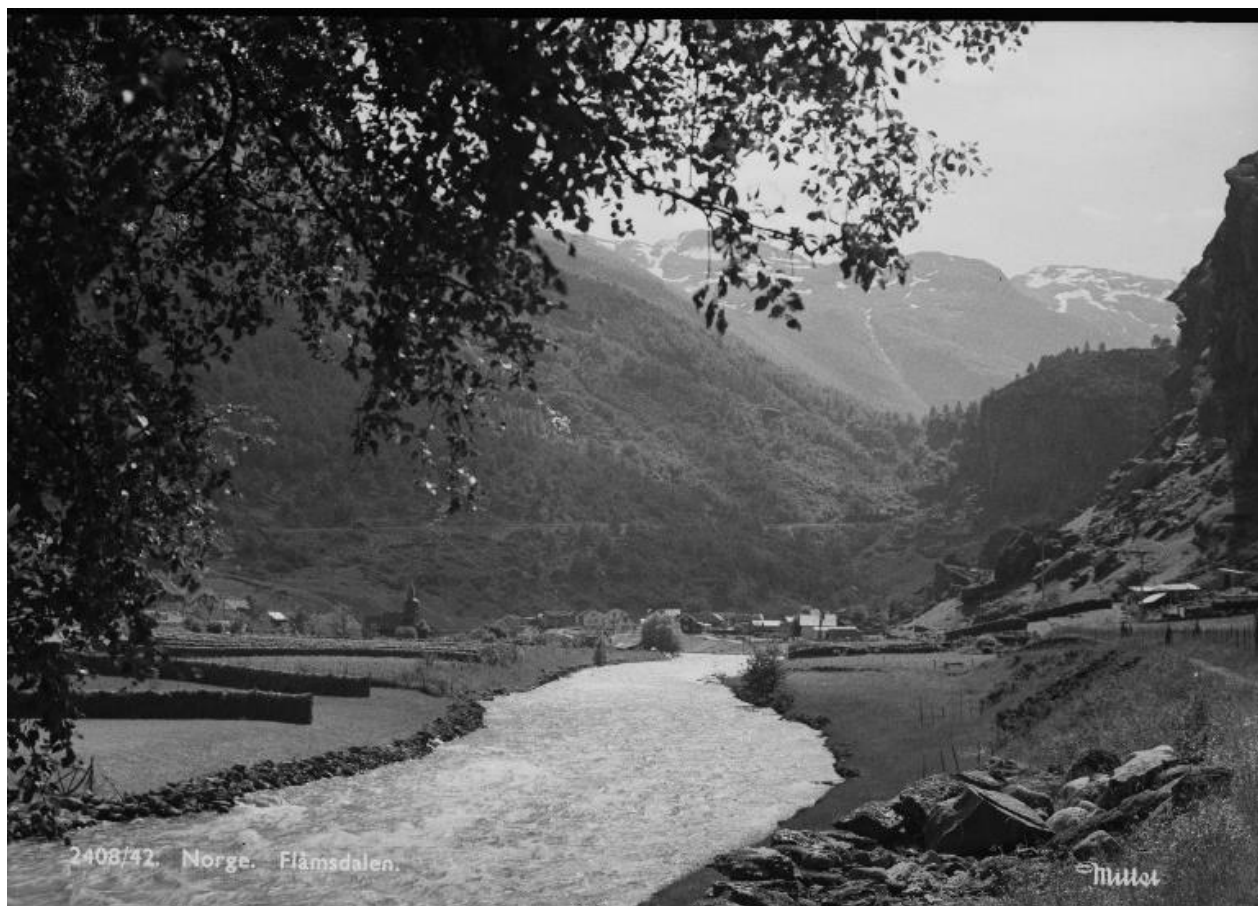
Våre analyser og scenarier viser at særlig innsnevringene vil være utsatt for risiko ved ny morfodynamikk i fremtidens flommer. Ved 200års flom + 40 % klimapåslag forventes dannelse av nye løp og utvidelser ca. på samme stedene som i 2014-flommen. Det er her vannet vil overtoppe sikringen og treffe på fluviale masser med overkritisk strøm (Froudetall >1) og høye vannhastigheter (>4 m/s) noe som sannsynligvis vil føre til erosjon bak sikringen, med følgende kollaps av sikringen og morfodynamisk utvikling i henhold til de naturgitte forholdene (vist i målbildet).

I flomrisiko-scenario 5 er det foreslått å kombinere flere metoder til fordel for trygghet og miljø samt hensyn til arealbruk, deriblant avsnittsvis elverestaurering med utvidelse av elveløp, fordrøyning av vann lengre oppe i nedbørsfeltet og delvis forsterkning av erosjonssikring.

Det hadde vært enklere å realisere en god del av dette direkte etter flommen 2014. Noen områder var allerede tilrettelagt og utformet av flommen, andre kunne blitt bygget direkte uten omveier. Hadde deler av elvesengen etter 2014-flommen blitt opprettholdt, kunne risikoen for ny morfodynamikk blitt lavere enn det er i dag, samt at miljøforholdene kunne blitt forbedret. Men kunnskapen om elvas erosjonskrefter forelå ikke i sin tid, og det fantes heller ingen ferdig plan om hvordan elva kunne bygges opp.



Figur 6. Flåmselva med langsgående erosjonssikring, 1926 ved Flåm kirke, Leirungen til venstre i bildet.
Kilde: nasjonalbibliothek/public domain



Figur 7. Flåmselva med blikk mot Flåm kirke 1951. Kilde: nasjonalbibliothek/public domain



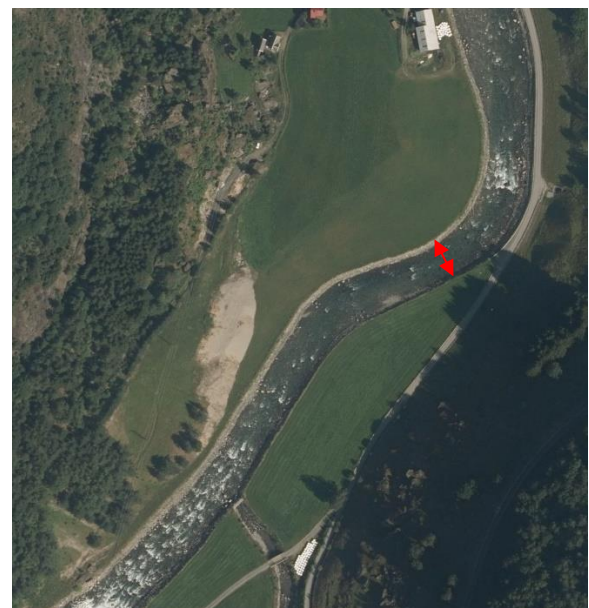
1971 Leirungen, 41 m bredde



2014, mai, Leirungen 41 m bredde



2014, november etter flommen ,
Aktiv elveløp: 44 m bredde
Aktiv elveslette, lys pil: 85 m bredde

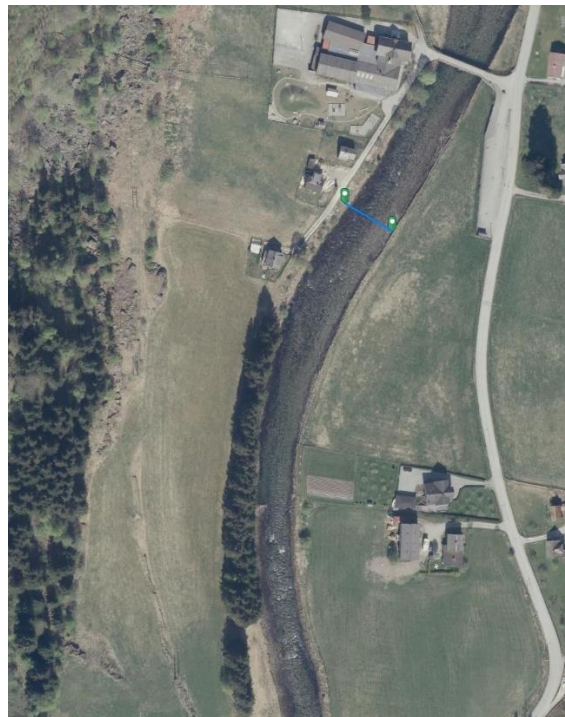


2019 Leirungen, 29 m bredde

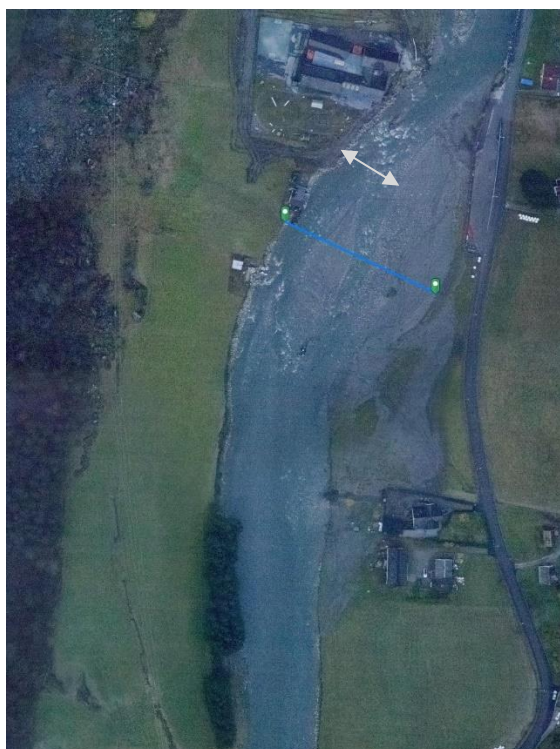
Figur 8. Bredde til aktivt elveløp 1971-2019 ved Leirungen (ndf. Leinafoss)



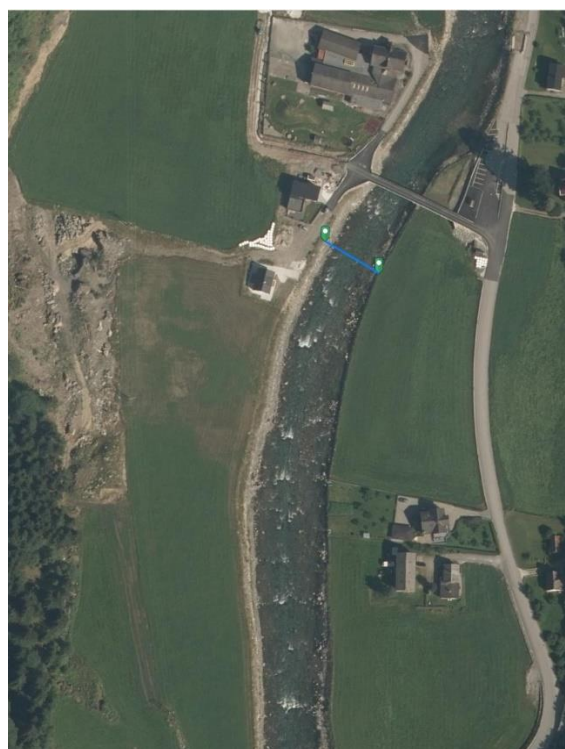
1971 Flåm skole, 30 m bredde



2014 Flåm skole, 30 m bredde

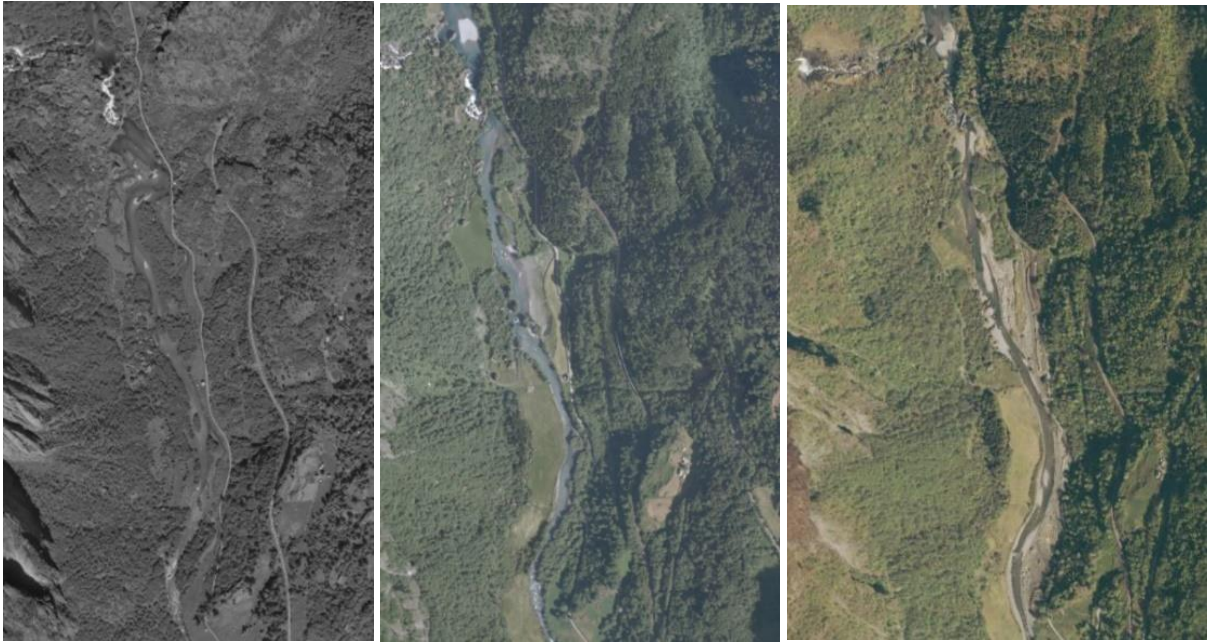


2014, november etter flommen,
Aktivt elveløp 37 m bredde
Aktivt elveslette 87 m bredde



2019, Flåm skole, 33 m bredde

Figur 9. Bredde aktivt elveløp 1971-2019 ved Flåm skole



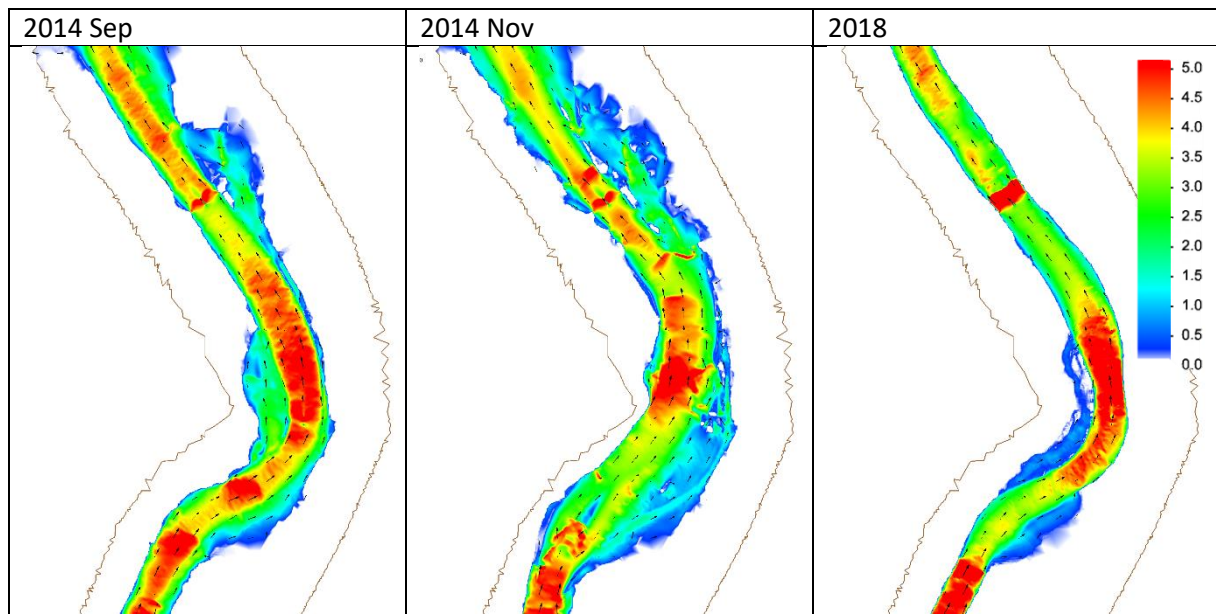
Figur 10. Også ovenfor Leinafossen har deler av den vernet elven blitt betydelig kanalisert og sideløp frakoblet i de siste årene. Her ortofoto fra 1973, 2014 og 2019.

Pulg et al. (2014) har anbefalt å utvide tverrprofil, bruke tilbaketrukket erosjonsikring, utvikle naturtypisk morfologi, stein- og grusutlegg og reetablering av kantvegetasjon. Flere av anbefalingene ble gjennomført, først og fremst stein- og grusutlegg, dessuten ble det utformet varierte elvebredder foran sikringsfoten. Naturtypiske holer, brekk og dypål ble etablert. Stedvis ble erosjonsikring trukket tilbake. Ovenfor Flåm skole ble det aktive elveløpet økt i bredden etter flommen og her ble det også mere plass til steinutlegg. Miljøtiltakene ble gjennomført i samarbeid mellom NVE og NORCE LFI i området mellom Leinafossen og nedover til litt ovenfor Lunde. Tiltak i nedre del av elven og treplanting gjenstår og er en del av et oppfølgingsprosjekt (kap. 4).

Flommen i 2014 hadde en estimert kulminasjonsvannføring på 247 m³/s som tilsvarer et gjentaksintervall på 50-100 år ifølge Holmqvist (2015). Med prognostisert klimautvikling (klimapåslag på 40 %) ville en slik flom ha gjentaksintervall på 5-10 år.

Nedenfor Leinafossen forflyttet hovedelven seg og elven har utvidet seg stedvis fra rundt 40 m til over 80 m med skader på veien og hus (Figur 8). Elven har gravd i glasifluviale masser og morenemasser som ble deponert i nedre elvestrekningen der gradienten avtar.

Figur 11 viser modellerte vannhastigheter i øvre delstrekningen i de forskjellige elvesengene før og etter flommen. Etter 2014-flommen var vannhastighetene lavere, noe som har minnet erosjonsfare sammenlignet med kanalisert tilstand.

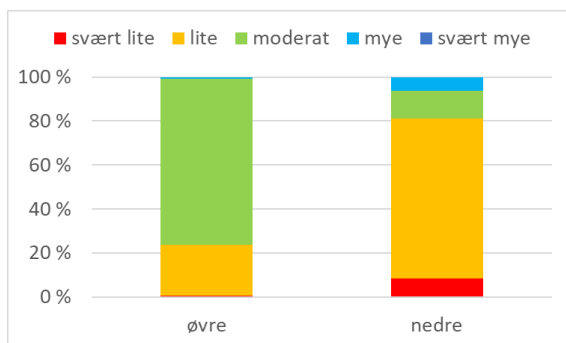


Figur 11. Modellerte vannhastigheter med HQ2014 (247 m³/s) i delstrekning fra Leirungen til Flåm bro basert på elvegeometri før flommen 2014, etter flommen og med geometrien som den fremstår i 2018. Høye vannhastigheter og overtopping i øvre del blir prognostisert for 2018-geometri.

3.3 Habitatkartlegging

I 2017 var arealet med svært dårlig skjulforhold samlet sett 4 %. 45 % av elvearealet hadde dårlige skjulforhold, derav hadde 28 % et vektet skjul på 4 eller 5 og var dermed på grensen til moderat skjul. 48 % av arealet hadde moderate skjulforhold, under 3 % hadde mye skjul. Det var ingen areal med svært mye skjul. Skjultilgang var betydelig mindre i nedre delen av elven (nedenfor Lunde). I nedre delen hadde 81 % av elven lite eller svært lite skjul, og 13 % hadde moderat skjul. I øvre delen hadde 24 % av arealet lite eller svært lite skjul, og 74 % hadde moderat skjul (Figur 5). Bare 3 % av elvearealet hadde mye skjul, det var ingen areal med svært mye skjul.

Mens øvre deler av Flåmselva var dominert av moderate skjul- og oppvekstforhold for ungfisk, hadde nedre deler av elven lite skjul og dermed dårligere oppvekstvilkår for ungfisk. Forskjellen i skjulforhold mellom øvre og nedre deler av elven kan delvis forklares med graveaktivitet og mobilisering av finsediment som fortsatt var en faktor ved kartleggingstidspunkt, og dessuten med lavere gradient samt mere fysiske inngrep (kanalisering). Dessuten ble miljøtiltak bare gjennomført i øvre del mellom Lunde og Leinafossen, deriblant tilbakesetting av erosjonssikring, steinutlegg og mer naturtypiske elvebredder samt dynamisk «selvrensende» elvesediment (fremfor glatt plastring, Pulg et al. 2016). Dette ble gjort for øke skjul i elvebunnen. Sammenlignet med nedre del (uten tiltak) og situasjonen før 2014 (Fig. X og Y og Z) tyder dette på at skjultilgang og med dette fysiske oppvekstforhold for ungfisk har blitt forbedret mellom Lunde og Leinafossen.

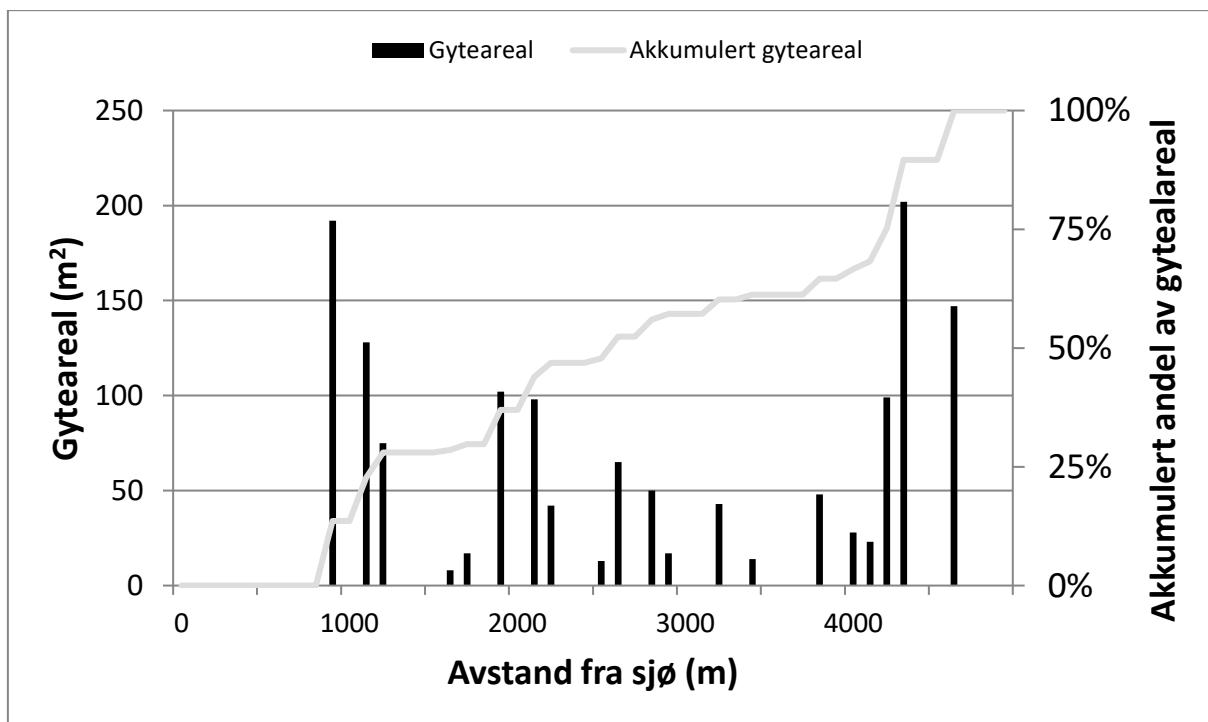


Figur 12. Skjulforhold i øvre og nedre strekningen av Flåmselva, delt ved Brekke bru

Gytehabitatet er bedre fordelt nå enn før flommen. Mens de øverste gyteplasser var 300 m nedenfor Leinafossen er det nå gyteplasser opp til øverste hølén i anadrom strekning (terskel Leinafoss kraftverk). Mens det i 2012-2014 ikke ble observert gytemoden laks i kulpen ved Leinafoss kraftverk under gytefisktellinger observeres det stimer mellom 20 og 40 fisker fra og med 2015.

En oversikt over gyteplasser er vist i Figur 13. Det ble funnet egnete gyteforhold langs hele elvestrekningen, også i øvre deler fra Leinafoss kraftverk og ned. Totalt utgjør gytearealet 7327 m², tilsvarende 6.6 % av samlet elvearealet. Kart i Figur 5 viser at det er god tilgjengelighet til gyteplasser langs hele anadrom strekningen og det klassifiseres dermed samlet som «mye gytemuligheter».

Grusprøvene fra øvre delstrekning har en finsedimentandel (< 1mm) mellom 4 og 6 % og en Dg (median diameter) mellom 25-40 mm. Etter Pulg et al. (2013) og Barlaup et al. (2008) vurderes dette som godt egnet for gyting av laks og ørret.



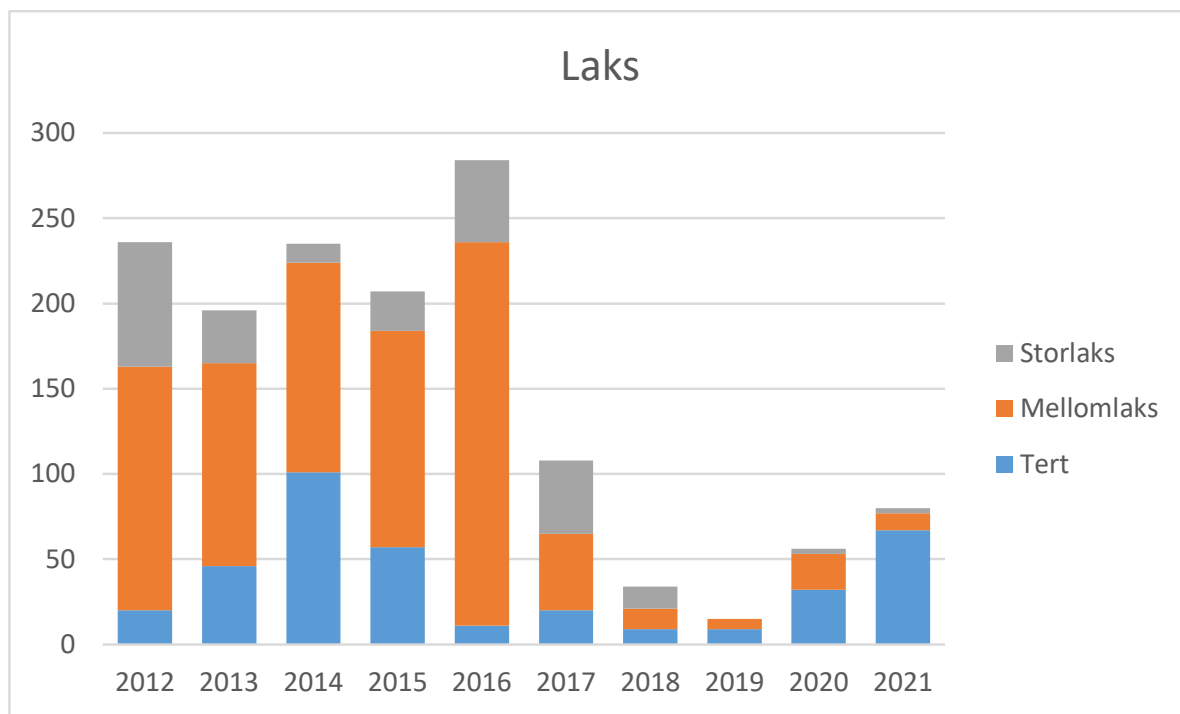
Figur 13. Gyteareal langs elvestrekningen

3.4 Laks og sjøaure

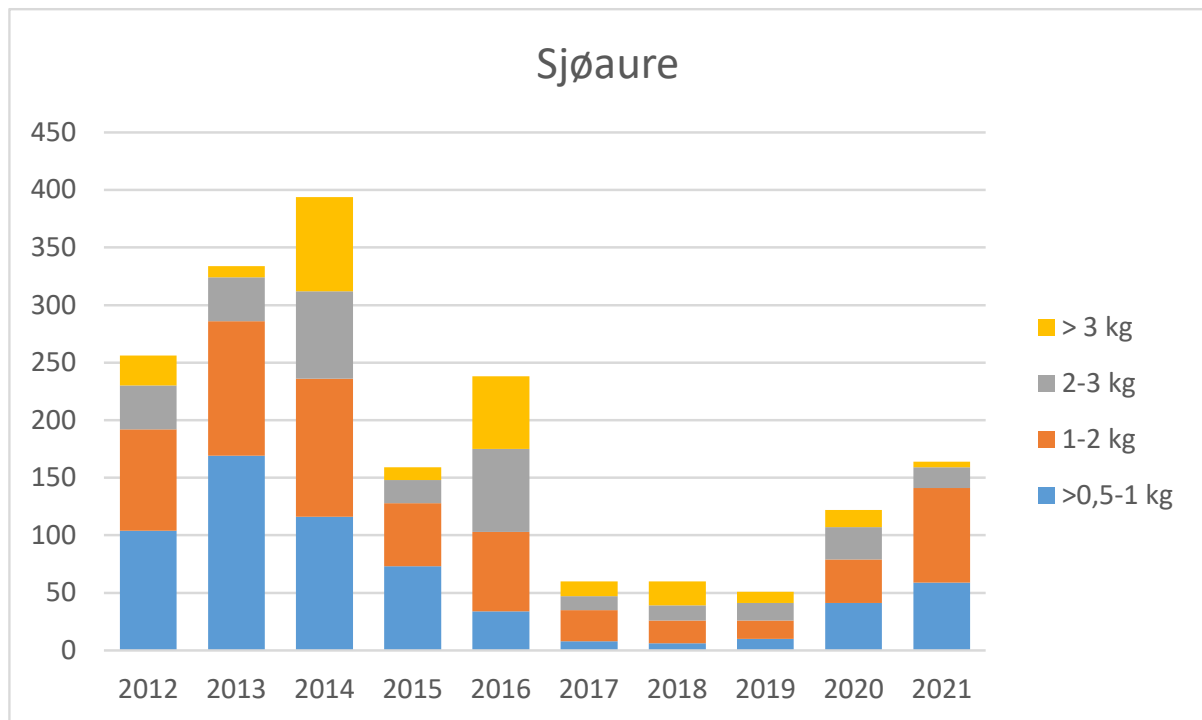
I Flåmselvi har LFI gjennomført gytefisktellinger i årene 2012 til 2021 (Figur 14 og Figur 15). Fra 2012 til 2016 var gytebestanden mellom 200 og 300 laks med et gjennomsnitt på 232 laks. Mellomlaks utgjorde den største andelen av gytebestanden. Fra 2017 observeres en sterk nedgang av populasjonen (108 gytefisk av laks). Den nedadgående trenden fortsatte med 34 laks i 2018, og kun 15 laks i 2019 som er det laveste antallet observert i tidsserien fra Flåmselvi. I 2020 ble det registrert en økning i gytebestanden da det ble telt 56 laks, fordelt på 32 tert, 21 mellomlaks og 3 storlaks. I 2021 var tallet 80, med 67 tert, 10 mellomlaks og 3 storlaks.

I hele perioden siden 2012 ble det registrert 15 rømte oppdrettslaks i Flåmselvi. Året med mest oppdrettslaks var i 2014, da det ble observert 7 rømte oppdrettslaks. I 2020 og 2019 ble det ikke registrert oppdrettslaks. Gytefisktellingen fra og med 2017 viser at nesten all gytefisk observeres i strekningen med miljøtiltak fra Lunde og opp til Leinafossen.

Tallene for sjøørret viser en lignende trend som laksebestanden (Figur 14). Mens det i årene mellom 2012 og 2016 ble telt mellom 150 og 400 sjøørret per år med et gjennomsnitt på 276 fisk, gikk tallene betydelig ned etter 2016. Det ble registrert 60 sjøørret i 2017, 60 i 2018 og kun 51 i 2019. I 2020 gikk tallene opp igjen til 122 sjøørret. Mens fisk under 1 kg utgjorde en betydelig andel av gytebestanden fra 2012 til 2015, gikk andelen av denne størrelsesklassen ned fra 2016 og var nesten fraværende i årene 2017 til 2019. I 2020 gikk andelen av de minste sjøørretene noe opp igjen, til 34 % av all observert sjøørret. Denne trenden fortsatte i 2021 med 165 sjøørret derav 59 mellom 0,5 og 1 kg.



Figur 14. Antall villaks observert i Flåmselvi under gytefisktelling fra 2012 til 2021

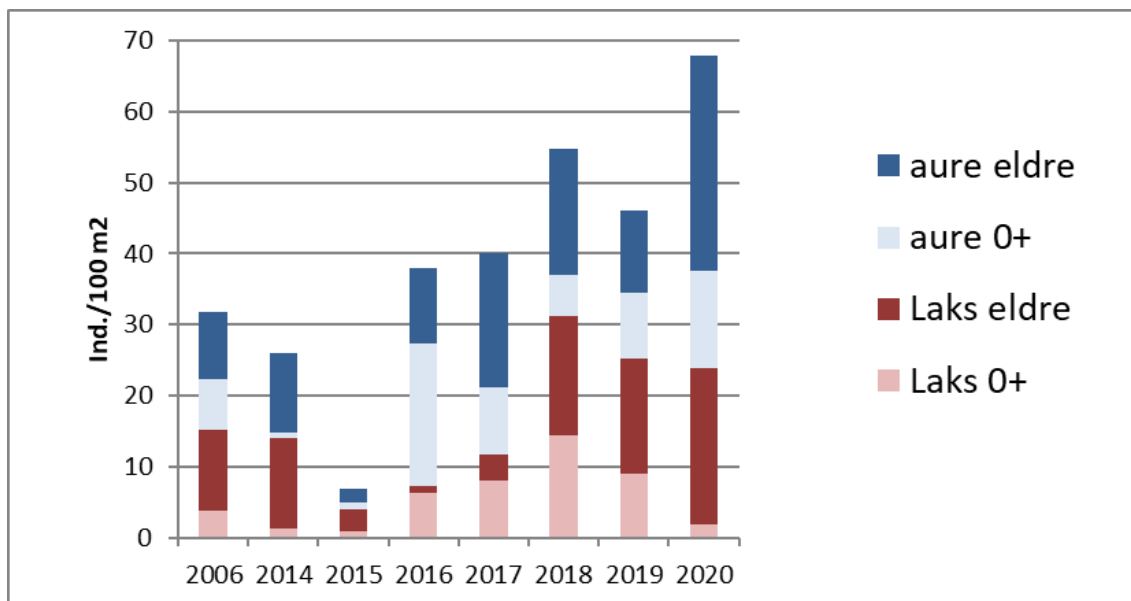


Figur 15. Antall gytefisk av sjøørret observert i Flåmselvi under gytefisktelling fra 2012 til 2021

Ungfisk

Det har blitt gjennomført ungfiskundersøkelser av NORCE LFI i Flåmselvi hvert år siden 2014 (Figur 16). I tillegg ble det gjort ungfiskundersøkelser av Rådgivende Biologer før 2007 og det vises til 2006 data derfra som siste publiserte målepunkt før 2014 (Hellen et al. 2007, gjennomsnittlige tettheter fra 1. gangs overfiske). Stasjonsnettet etter 2014 består av totalt 18 stasjoner derav ble det fisket på 8 stasjoner hvert år. Etter storflommen i 2014 var gjennomsnittlig tetthet av ungfisk kun marginalt mindre enn i 2006, de siste kjente dataene før det. Parrtettheter var større 2014 med henholdsvis 11 og 10 for laks og aure. Yngel var imidlertid sterkt redusert med gjennomsnittlig 1 aure- og 1 lakseyngel per 100 m². Dataene tyder på at selve flommen ikke hadde negativ påvirkning på parr, men mest sannsynlig på årsyngel av både laks og aure. Ungfisktettheter gikk sterk tilbake i 2015 med gjennomsnittlig 7 ungfisk per 100 m² (-78 % i forhold til 2006 og -73 % i forhold til 2014). Etter 2015 viser tallene en økning i ungfisktetthet opp til 68/100 m² i 2020. Forholdet mellom antall ørret og laks varierer mellom årene. Tettheter av årsyngel av laks gikk tilbake 2019 og 2020 etter lavt innsig av gytefisk i 2018 og 2019.

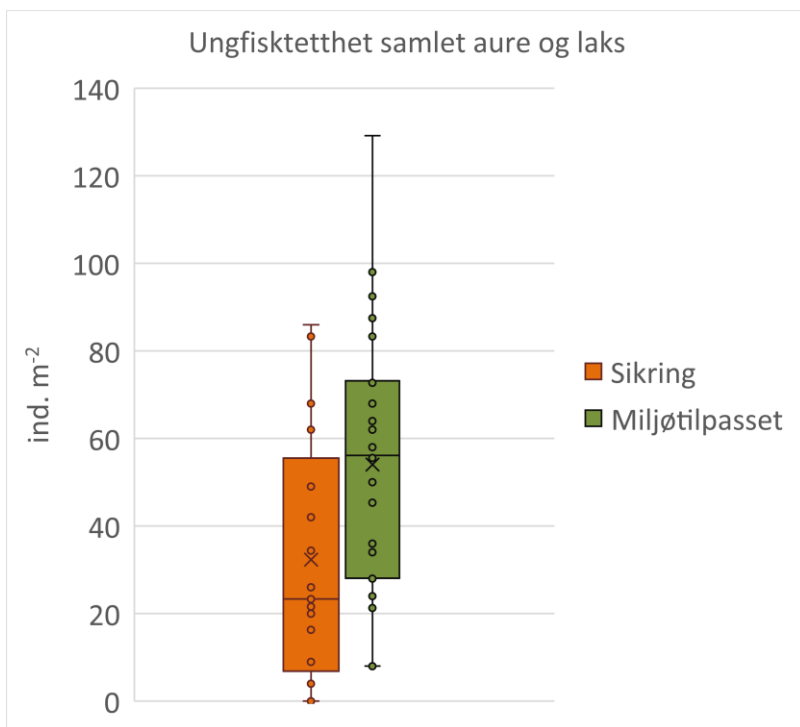
Ungfisktettheter 2016-2020 (Figur 17 og Figur 18) var signifikant større på stasjoner der det var heterogene steinutlegg foran sikringsfoten (miljøtilpasset sikring). Median tetthet (56 ind.) var mer en dobbel så høy sammenlignet med stasjoner der sikringsplastringen gikk direkte i vannet (23 ind.).



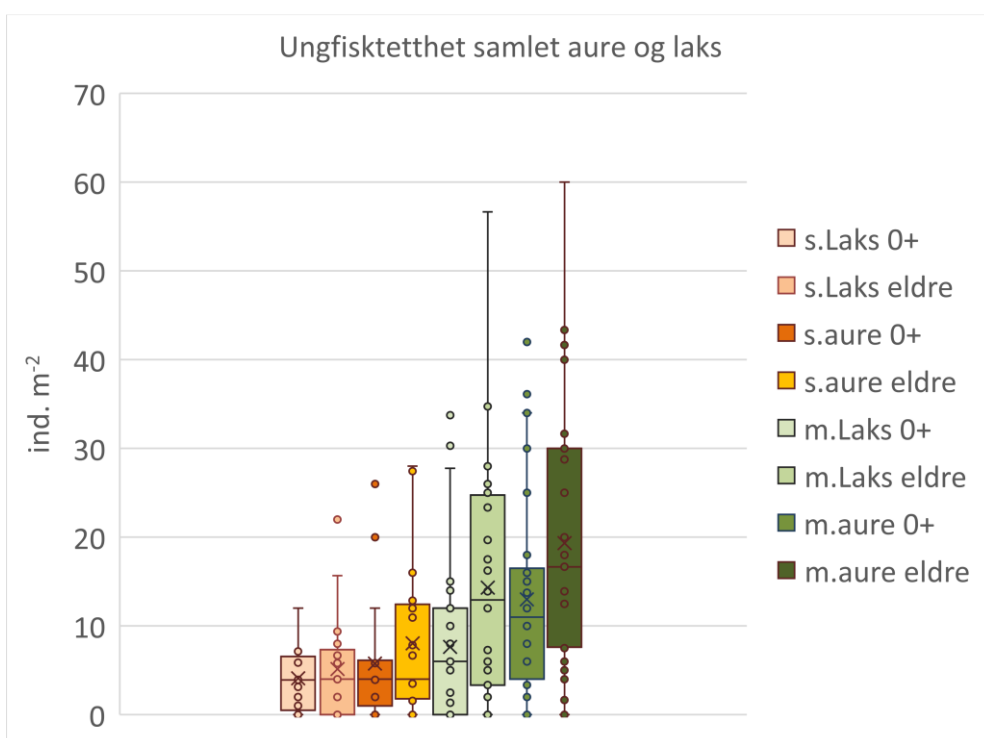
Figur 16. Gjennomsnittlig antall ungfisk/100 m² over alle stasjoner i Flåmselva i årene 2006 og 2014 til 2020. Fysiske miljøtiltak ble gjennomført i perioden 2015 og 2016 (dataene vises i tabell under).

Tabell 2. Gjennomsnittlige ungfisktettheter 2014-2020, 2006-data stammer fra Hellen et al. (2007)

	Laks 0+	Laks eldre	aure 0+	aure eldre
2006*	4	11	7	10
2014	1	13	1	11
2015	1	3	1	2
2016	6	1	20	11
2017	8	4	10	19
2018	15	17	6	18
2019	9	16	9	12
2020	2	22	14	30



Figur 17. Box-plots av samlede ungfisktettheter på stasjoner langs vanlig plastring (rød) og miljøtilpasset sikring (grønn, steinutlegg foran sikring), n = 49, 2016-2020



Figur 18. Box-plots av ungfisktettheter på stasjoner langs vanlig plastring («s.» rød) og miljøtilpasset sikring («m.» grønn), n = 195 2016-2020

Diskusjon – utvikling av laks- og sjøaurebestanden

Ungfisktettheter gikk sterkt tilbake i 2015 – for alle fire årsklasser av ungfisk. Årsaken til dette er mest sannsynlig det pågående gravearbeidet i elvebunnen i over ett år og i hele den anadrome elevstrekningen. Arbeidet medførte delvis tørrlegging og fylling, fysisk utgraving og langvarig finsedimenttransport. Dette rammet både rogn og ungfisk av alle alder som befinner seg i elvebunnen store deler av året og da særlig om vinteren. Dessuten tyder dataene på at 2014-flommen trolig hadde medført en reduksjon av en årsyngel-kullet i 2014.

Reduksjonen av ungfisk i 2015 med bortfall av 4 årsklasser kan forklare nedgangen i innsig av laks som ble observert i de følgende årene. Siste utvandring av smolt som ikke var påvirket av flom og flomsikringen skjedde våren 2014. Dette skulle tilsi upåvirket innsig av tert, mellomlaks og storlaks 2015, men mindre tert fra og med 2016, mindre tert og mellomlaks 2017 og færre laks av alle aldersklasser 2018 og 2019. Ungfisktetthetene i Flåmselva økte igjen med en sterk årsklasse fra 2016 og så gradvis mere eldre ungfisk. Med dette kunne det forventes en økning i smoltutvandring 2019 (3-årsmolt) og særlig 2020 (4+3 -årsmolt) og en gradvis økning av lakseinnsiget deretter, med en liten økning 2020 og en større økning fra og med 2021 (først med mye tert). Gytefisktellningene tilsvarer denne forventningen ganske nøyaktig (Figur 14). For fremtiden forventes et større innsig av mellom- (2022) og storlaks (2023). Fra og med 2023 skulle lakseinnsiget være representert med alle aldersklasser igjen, men det svake innsiget av gytefisk i 2019, som følge av flomsikringen 2015, vil trolig føre til lavt innsig av henholdsvis en sjøaldersklasse i tidsrommet 2023-2025. Også deretter kan denne effekten forplante seg, men det forventes en gradvis demping og utjevning over tid grunnet tetthetsavhengig ungfiskproduksjon, og mulig overlapp i smolt- og sjøaldersklasser – forutsatt at ikke nye inngrep fører til ytterligere reduksjoner. Flomsikringsarbeidet 2014-2015 vil med dette minst ha en 10 års effekt på laksebestanden. Selve flommen ville trolig bare redusert et årskull, noe som hadde ført til reduksjon av en (av tre) sjøaldersklasser innsig 2019-2021 – men ikke et tilnærmet bortfall av alle sjøaldersklasser (tert, mellom- og storlaks) samtidig og uten forplantning av bestandsreduksjonen til neste laksegenerasjon.

Ungfiskestanden ble også påvirket av andre faktorer i elva. Ved siden av naturlig variasjon i vær og vannføring forekom en rekke inngrep i perioden, deriblant mobilisering av finsediment under rehabilitering av dammen til kraftverk Leinafoss i 2018, under grunneiernes grave- og kanaliseringsarbeid i elva ovenfor Leinafoss 2018 og ved rehabilitering av en jernbanekulvert i Tverrelva.

At ungfiskbestanden økte etter 2016 kan forklares med høyt innsig av gytefisk i 2015, gjennomføring av miljøtiltak slik som reetablering av gyteplasser og steinutlegg samt at elvebunnen ble mindre forstyrret. Fra høsten 2015 la de fleste gyteplasser stabile og ble ikke ytterligere endret i gjenoppbygging av elven. Gytefisk fra 2015 kunne derfor reprodusere og dette gjenkjennes i økte 0+ tettheter av både aure og laks i 2016. I strekninger med miljøtilpasset sikring, naturtypiske steinutlegg foran sikringen, var median ungfisktettheter mer enn dobbelt så høy som på stasjoner ved vanlige plastringer og homogen, kanalaktig preg (Figur 17, Figur 18).

Lakseinnsiget er påvirket av en rekke andre faktorer utenfor elven i tillegg, særlig sjøoverlevelsen (Jonsson & Jonsson 2011). Her er det naturlige svingninger, men også en rekke menneskeskapte

faktorer. Fra og med 2014 ligger smoltdødelighet som følge av påvirkning fra lakselus og fiskeoppdrett betydelig høyere enn i årene før med en forventet dødelighet på 59 % i 2017 mot 19 % i 2013 (Johnsen & Karlsen 2021). Fjordene og kystområdet Flåmsmolt må passere hører til regionen (PO4) som er blant de mest påvirket fra lakselus og oppdrett i Norge (Johnsen & Karlsen 2021). Innkryssing av oppdrettslaks er høy i regionen og laksebestanden i Flåmselva er i «dårlig» tilstand i denne kategorien. Samlet bestandsstatus er «svært dårlig» (VRL 2021). En annen menneskeskapt faktor i sjøen er fiske, i motsetning til elva der fisk har vært fredet siden 2015.

Fra og med 2017 har laksebestanden vært i en kritisk fase og har vært svært sårbar med bare noen titalls gytefisk igjen (15 individer i 2019). Innkryssing av oppdrettsfisk, sjøfiske, forurensing o.l., men også naturlige faktorer som predasjon og ekstremvær - og særlig sumvirkningen av disse - kan nå påvirke Flåmselvas laksestamme slik at den kan forsvinne. Situasjonen illustrerer hvor fort en laksepopulasjon kan falle på et lavere bestandsnivå gjennom menneskelig påvirkning, til tross for to av de sterkeste vernebestemmelser som finnes for laks i Norge, vassdragsvern med villaksstammen blant hovedverneformålene og nasjonalt laksevassdrag. Ytterligere menneskeskapte faktorer (oppdrett, sjøfiske, finsedimentutslipp, mfl.) kan holde bestanden på det lave nivået og i verste fall føre til en utryddelse av populasjonen. At denne faren ikke er ubegrunnet viser utviklingen i nabovassdragene Aurlandselva og Vosso. Her finnes det laksepopulasjoner der sumvirkningen av menneskeskapte inngrep har ført til en vedvarende kritisk bestandssituasjon over flere tiår. Her har det vært nødvendig med genbanker og langvarig utsetting for å bevare stammene fra utryddelse (Barlaup et al. 2015; Anon 2013; Ugedal et al. 2019).

Underveis ble myndighetene varslet om den kritiske situasjonen og en mulig utryddelse av populasjonen. Det ble gjennomført en rekke miljøtiltak av NVE i arbeidet 2014, 2015 og 2016, deriblant flytting av fisk og rogn, utforming av gytebrekk og steinutlegg, samt delvis utvidelse av aktivt elveløp (Pulg et al 2016). Dette hadde mest sannsynlig en positiv effekt på laksebestanden etter 2015. Men som nevnt ovenfor, forekom en rekke nye inngrep etter 2015, hovedsakelig utslipp av finsediment. I regi av fylkesmannen ble det derfor vurdert en rekke strakstiltak og avholdt et «krisemøte» om villaksen i Flåmselva i 2019. Her var relevante myndigheter, Aurland kommune, grunneiere, tiltakshavere og regulanter representert. Det ble oppfordret til å minimere inngrep i og langs elva og å utsette nødvendige arbeider til et senere tidspunkt når laksestammen hadde nådd mere bærekraftige nivåer, dvs. gytebestandsmålet. Så vidt som kjent har dette reelt bidratt til at større inngrep i Flåmselva ble unngått fra 2019. Det ble vurdert genbank, men grunnet en rekke ulemper med langvarig kunstig reprodusering (Hagen et al. 2019) og en stabilisering i ungfisktetthet i elva ble denne løsningen ikke valgt inntil videre.

Villaksstammen i Flåmselva vil kunne gjenoppbygges, men det forutsetter at negative påvirkninger unngås, særlig i den kritiske pågående gjenoppbyggingsfasen. Mange tidligere påvirkningsfaktorer i elva har blitt sterkt redusert eller fullstendig unngått etter 2019, deriblant finsedimentutslipp fra Leinafossen, Jernbaneverket og grunneiere. Fiske i elva har blitt stoppet fra 2015. Miljøtiltak i elva skal fortsettes inkludert reetablering kantvegetasjon. Sjølaksefiske har blitt redusert siden 2021. Det gjenstår utfordringene med fiskeoppdrett i sjøen. Til tross for «trafikklyssystemet» som er i kraft siden 2017 har smoltdødeligheten ligget langt over 30 % for de indre elvene i Sognefjordssystemet (Johnsen & Karlsen 2021). Risiko for ytterligere innblanding av rømt fisk er stor fordi villaksbestanden er så lav og rømmingshendelser fortsetter. Disse gjenstående påvirkningsfaktorene vil kunne holde

bestandsstatus på et kritisk lavt nivå og i verste fall bidra til at populasjonen forsvinner, særlig når ugunstige naturlige faktorer som predasjon og svingninger i oppvekstforhold kommer i tillegg.

Diskusjonen har fokusert på laks fordi arten er blant verneformålene og var grunnlag for statusen som nasjonale laksevasdrag. Ved siden av laks er det andre fiskearter og det har det blitt fanget aure og enkelte ål, stingsild og skrubbe. Vassdraget er dessuten kjent for å ha røye i høyereliggende fjellvann (Spikkeland 1999, Fylkesmannen i Sogn og Fjordane 2000).

Aurebestanden er anadrom til Leinafossen og under gytefisktelinger ble det observert 250 til 390 sjøørret i perioden 2012-2014. Tellingene deretter var lavere med 150 individ (2015) , 240 (2016) og mellom 50 og 60 individ i perioden 2017-2019 (Figur 15) . Nedgangen 2017-19 samsvarer med laksens nedgang i samme periode og kan forklares med redusert ungfiskbestand i 2015 (Figur 16). I motsetning til laksen ble det imidlertid også observert betydelig lavere bestander i 2015 og 2016. En nedgang ble også observert i naboelver (Ugedal et al. 2019) men mindre omfattende enn i Flåmselva 2015. Det er en rekke påvirkninger som kan spille inn her, og en viktig faktor er at adulte og subadulte sjøaure oftest overvintrer i elven i motsetning til laksen som befinner seg til havs. Overvintringsmulighetene mellom høst 2014 og vår 2016 var trolig sterkt redusert grunnet pågående gravearbeid, flytting av elveløp og masser. Det er derfor mulig at dette arbeidet har påvirket overlevelsen av overvintrende fisk og bidratt til lavere gytebestander 2015 og 2016. Rett etter 2014-flommen ble det talt mest sjøaure (390).

Fra og med 2020 ble det registrert en svak økning i gytebestanden preget av unge rekrutter (0.5-2 kg). Dette sammenfaller med laksens gradvise oppsving og kan forklares med økende ungfiskbestand fra og med 2016. For de neste årene forventes en videre økning og også flere større gytefisk, men dette forutsetter tilstrekkelig overlevelse i sjøfasen.

3.4.1 Flommodellering for Flåmsvasdraget

Modellert flomvannstand og vannhastigheter ved Q200 og Q200+40 % basert på flomberegningene fra Holmqvist (2015) er vist i Figurene (Figur 20). Resultater av modelleringen danner grunnlag for vurdering av flomscenariene.

Sammenlignet elveløp før flommen 2014 er oversvømmelsesfare redusert i 2018-utformingen (opp til ca. Q200). Men særlig ved 200års flom pluss klimapåslag må det regnes med store oversvømmelsesarealer, delvis også ved bosetting (Flåm kirke, Flåm ndf. E 16 bro). Generelt vil elven ha høyere vannhastigheter og flere strekninger med superkritisk strøm under flommer i dagens elvegeometri (Figur 20). Dette øker skadepotensialet og sannsynligheten for erosjon der elven topper over forbygningen eller når forbygningen svikter (Hauer et al. 2021). I den delvis innsnevrete strekningen mellom Flåm kirke og Leinafossen viser modelleringen høye vannhastigheter og overtopping av erosjonssikringen allerede fra Q200, og særlig når klimapåslaget legges til. Siden det er glasifluviale og fluviale masser med høy sandandel bak erosjonssikringen er det høy risiko for erosjon og morfodynamikk når overtopping sammenfaller med høye hastigheter (> 2 m/s). Dette gjelder også flere steder nedover elven først og fremst området ovenfor Steinshølen og ved Aurøyadn (fra Q200) og ved Flåm kirke og nedover til skolebro samt nedenfor E 16 bro. Et kritisk smalt punkt med lite hydraulisk kapasitet finnes også ved Kleivi i Flåm sentrum.

Nedenfor Lunde og særlig ved Aurøyadn (motsatt samfunnshus) og i Flåm sentrum har elva lavere helning enn ovenfor og her må det regnes med avsetning av masser (Figur 3) dersom det skjer erosjon og morfodynamikk ovenfor. Høyt vannivå ved flo kan forsterke denne effekten. I så fall vil avløpskapasitet kunne reduseres og oversvømmelsesfare for bebyggelsen i Flåm økes.

For denne geometrien ble det også gjennomført modellering av Q200 + 40 % klimapåslag. Modelleringen viser potensiale for erosjon grunnet overtopping og høye vannhastigheter på begge sider i svingen ovenfor kirken (samløp Geilagrovi), rundt kirken, på vestsiden ovenfor Flåm skole, på vestsiden ovenfor og nedenfor Steinshølen, ved bruene ved Lunde og nedenfor Lunde. Generelt blir vannhastighetene såpass høye i trapezprofilen at forbygningen må være veldig stabil for å motstå elvekraftene.

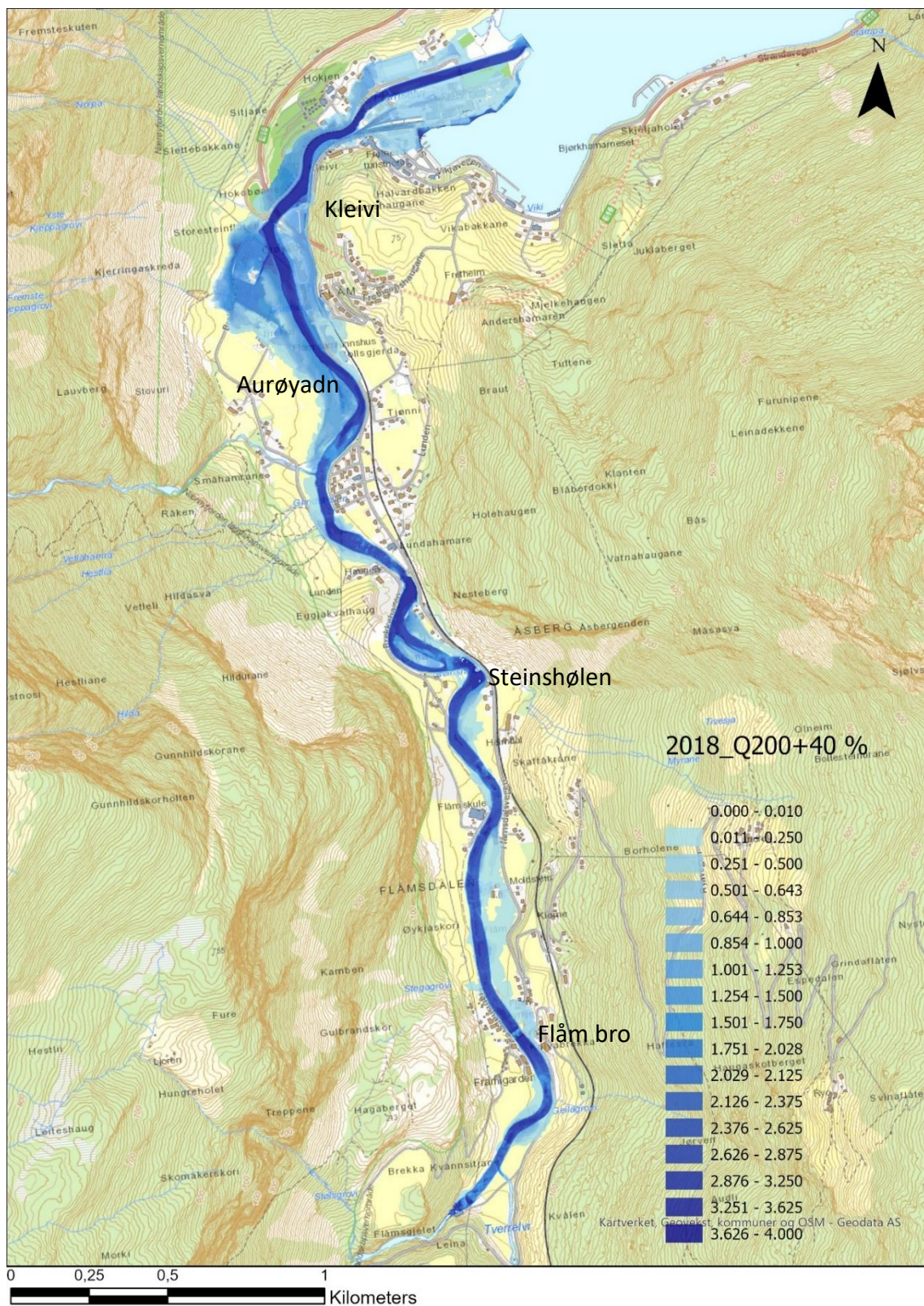
Ifølge Glover (2016) er det usikkert om sikringen bygget 2014-15 er tilstrekkelig for å unngå skader som under 2014-hendelsen. Han fremhever blant annet fare for oppstuvning bak veibro under E16-bro, havari av brudekket og erosjon/undergraving av hus, veier, jernbane og mark. Han fremhever også usikkerheter angående effekten av tidevann på vannstanden og deponering av sedimenter. Modelleringer gjennomført i dette prosjektet viser også at vannhastigheten synker med økt tidevann som kan føre til uprognostisert avleiring av sedimenter og oversvømmelser der dette skjer.

En flomhendelse i høst 2018 (14.10.2018) hadde en kulminasjonsvannføring på 192 m³/s og har gjentaksintervall mellom 10 og 20 år med dagens flommer, og tilsvarer middelflom med klimapåslag på 40 %. En befaring etter flommen viste graving bak forbygningen nedenfor Leinafoss.

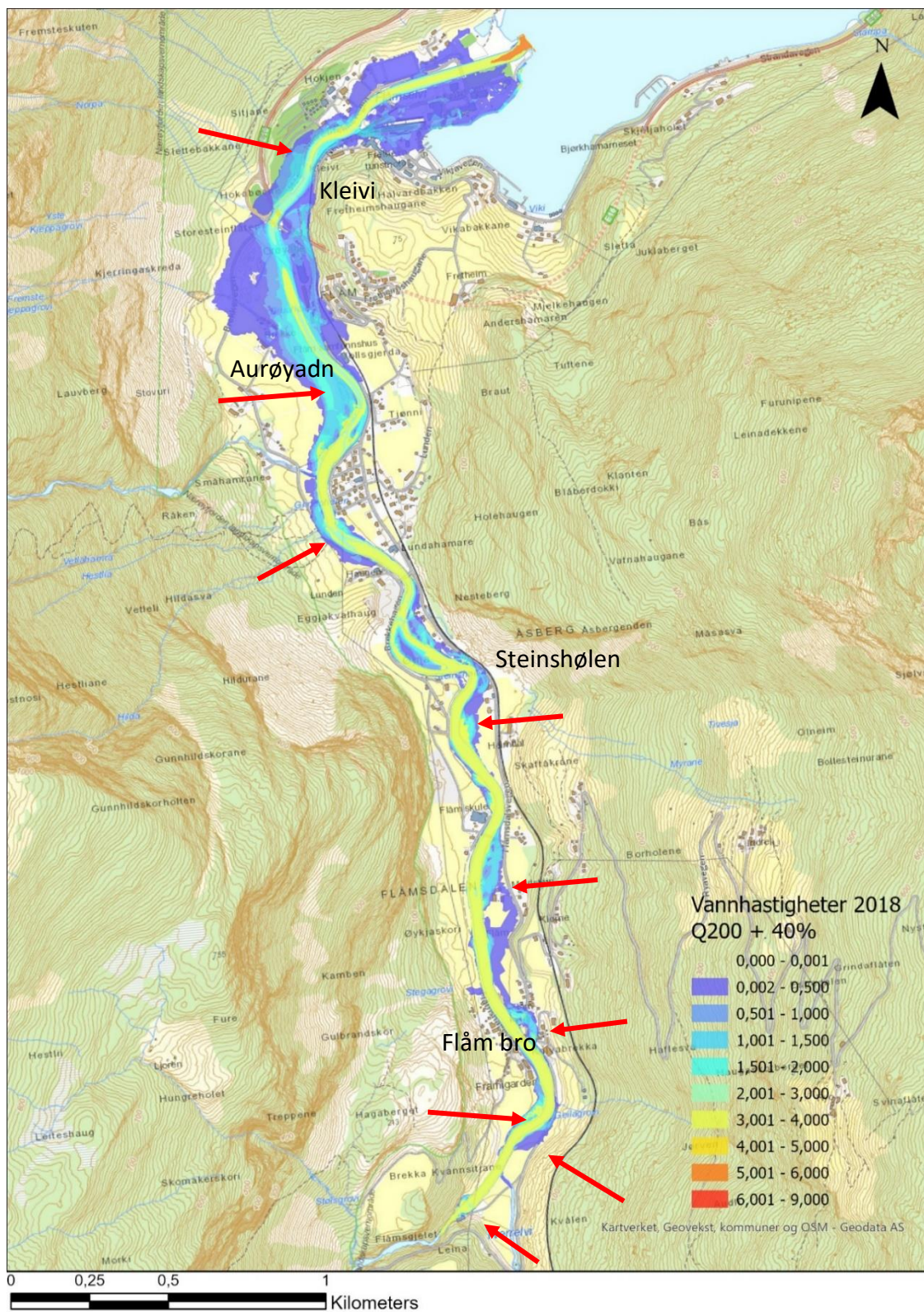
11.-12. november 2022 kulminerte vannføringen ved 227 m³/s, noe som tilsvarer en flom med gjentaksintervall mellom 20 og 50 år i henhold til Holmquists beregninger (2015). Med klimapåslag tilsvarer vannføringen en 5-års flom. Også ved denne flommen ble de nevnte faremomenter tydelig, for eksempel ved høy vannstand ved Kleiven der boligbebyggelse ble beskyttet med mobil flomsikring.

Jernbanedam Høga

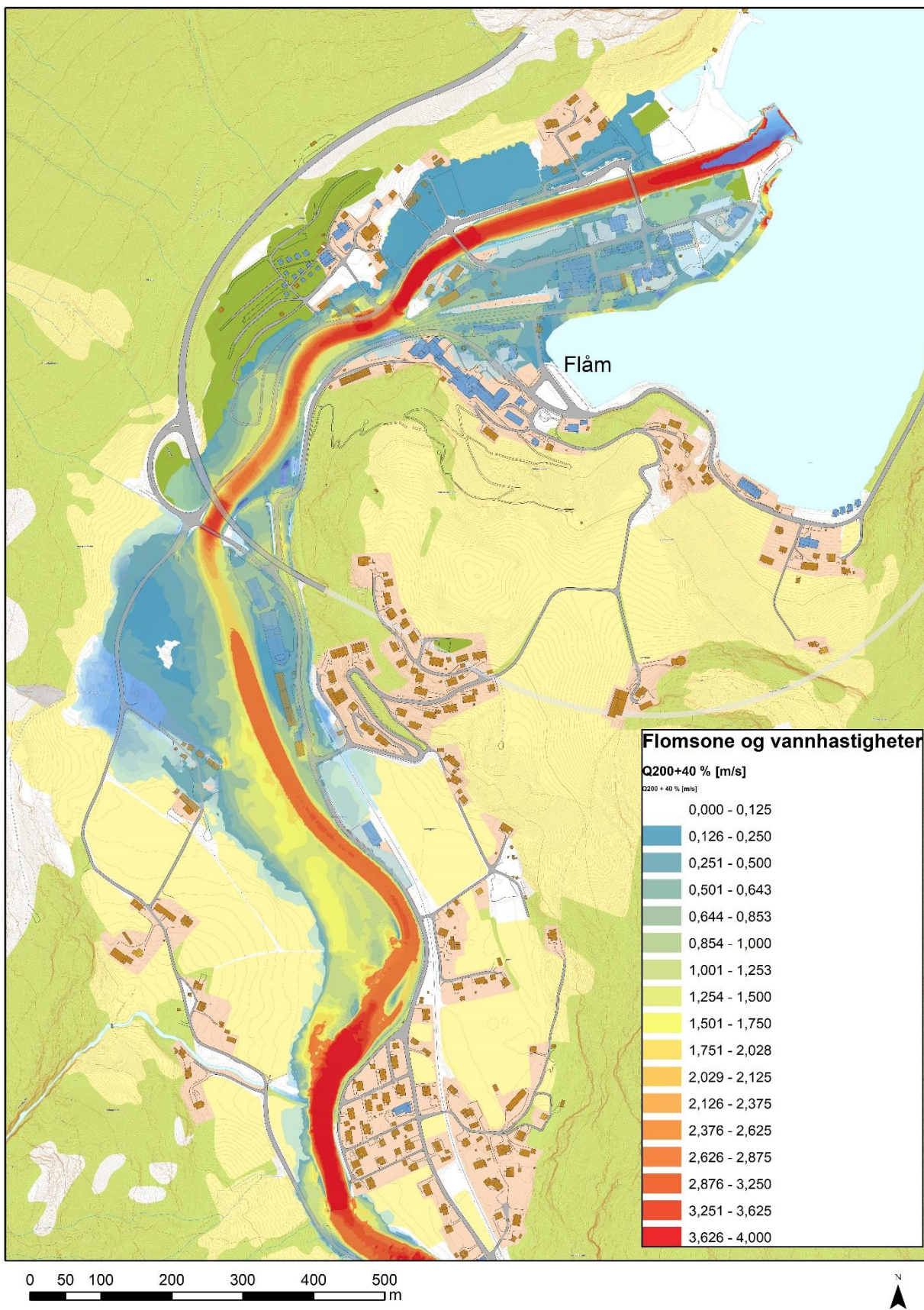
Jernbanedammen ved Høga ligger ca. 3 km oppstrøms Leinafoss kraftverk ved krysningpunkt av Flåmsbanen og Flåmselva. Dammen går over hele dalbredden og elven renner gjennom en sprengt tunnel under. Dammen er en risikofaktor i store flommer siden den ikke er laget for å holde igjen vann. Den trange tunellen kan imidlertid forårsake oppstuvning grunnet begrenset avløpskapasitet. I store flommer kan vann stues opp ovenfor og jernbanedammen kan kollapse. Dette ville føre til en flodbølge med stor risiko for liv og helse i Flåmsdalen nedenfor helt til munningen i fjorden. Tunnelens hydrauliske kapasitet er estimert til ca. 320 m³/s (Domaas et al. 2018), men kan være mindre enn det, ikke minst fordi det kan forekomme ras og massetransport i slike situasjoner. Lokale (Terje Hilstad pers. med.) har meldt om ras og kortvarig mindre oppstuvning under flommen i 2014 (247 m³/s). En 200 årsflom med 40 % klimapåslag tilsvarer 400 m³/s.



Figur 19. Modellerte vanndybder i elvegeometrien fra 2018 ved Q200+40 %



Figur 20. Modellerte vannhastigheter for Q 200+40 % i elvegeometrien før flommen i 2014. Pilene indikerer områder med høy erosjonsrisiko.



Figur 21. Modellert flomsonekart for nedre Flåmselva fra Flom&Miljø

3.4.2 Flomscenarier

I det følgende diskuteres fem forskjellige tilnærminger til flomrisikohåndtering og miljøforhold i Flåmselva. Det er det integrative scenario 5 som gir grunnlag for tiltaksdelen i kap. 4.

Scenario 1 – Naturlig utvikling

I dette teoretiske scenarioet legges til grunn en forventning om den opprinnelige naturtilstanden basert på en geomorfologisk analyse av terrengformen basert på LIDAR data, løsmassekart og med gamle foto (før 1931) og flyfoto (1971). Scenarioet representerer en forventning om naturtypisk elvemorfologi og habitatkvalitet uten hydromorfologiske inngrep og tilsvarer et «målbilde». Slik vil elven og elvesletten kunne utvikle seg uten menneskelige inngrep. Store flommer med morfodynamikk vil utforme elv og elveslette i denne retningen.

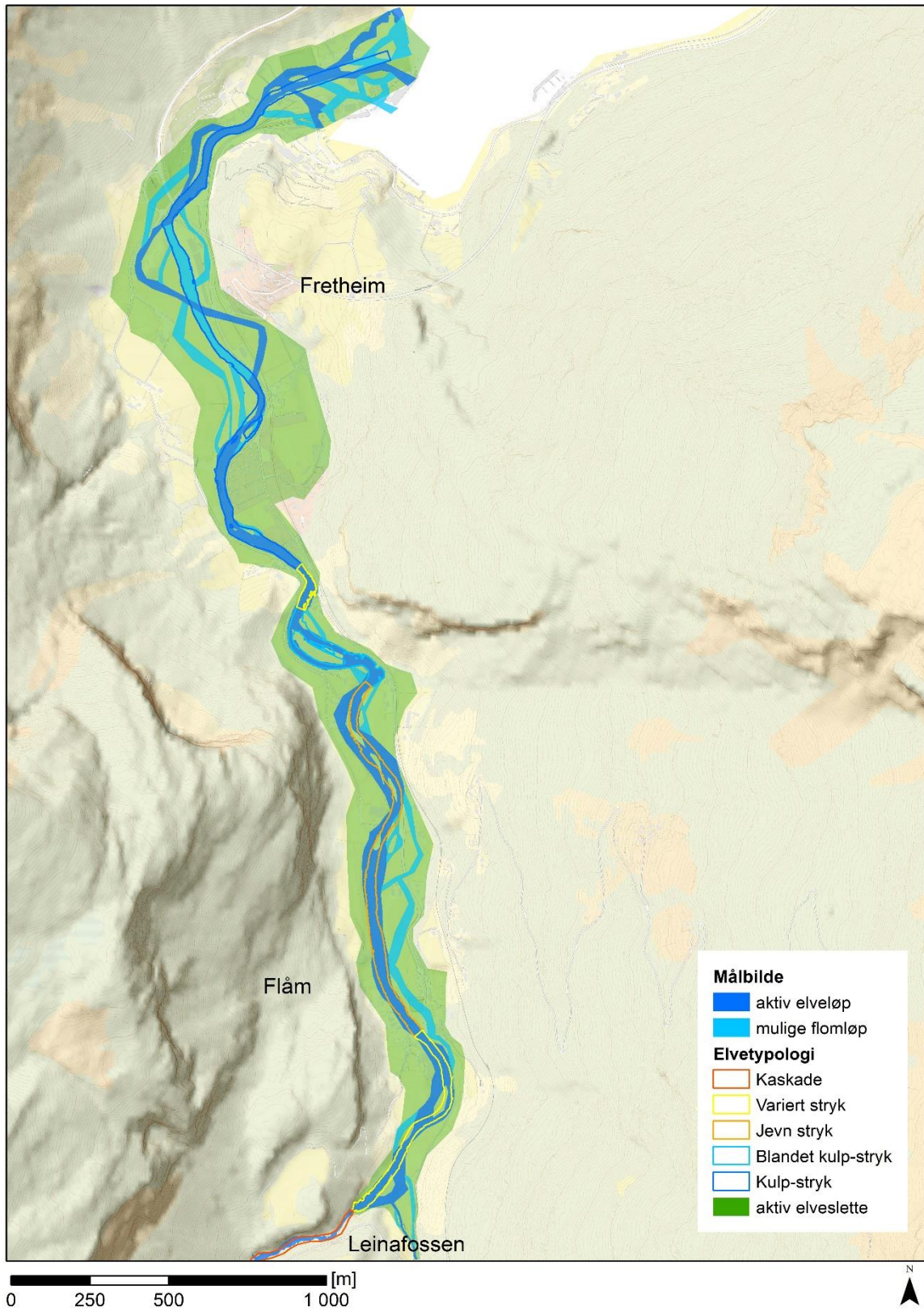
Figur 23 viser forventet naturlig utvikling av elveløpet. Det som fremstilles er det aktive elveløpet med potensielle sideløp. Elvesletten på kart er området som kan bli rammet av store flommer (Q50-1000), både gjennom morfodynamikk eller oversvømmelse (active floodplan). Elveløp/flomløp illustrerer områder som kan ha morfodynamisk utvikling under storflommer, dvs. områder med potensial for at det dannes/reaktiveres løp.



Figur 22. Flåm ndf. Leinafossen ca. 1930. Kilde: nasjonalbibliothek/public domain

Bunnen i elvesletten i den anadrome delen er dominert av elve- og bekkavsetninger med noe innblandet skredmateriale, samt glasifluviale avsetninger mot Leinafossen. Elven kommer ut av juvet på grunnfjell ved Leinafossen (ikke fluvial) med høy energi, og treffer på glasifluviale og fluviale avsetninger nedenfor med stort potensiale til å «kaste» seg rundt i elvesletten. Det må forventes dannning av bifurkasjoner i hele løpet og særlig ved Aurøyadn og det gamle delta. Her begynner elven å bli transportbegrenset, det finnes relikter av delta og bifurkasjoner som har blitt fylt igjen. Særlig ved store flommer og flo sjø vil elven nederst ha en tendens til sedimentasjon og å danne bifurkasjoner eller delta igjen. Aktiv flomslette dekker store deler av dalbunnen.

Scenarioet tilsvarer en forventet naturtilstand med naturtypisk elvemorfologi og vil gi forutsetninger til det som i dag defineres som svært god økologisk tilstand. Samtidig vil et slikt scenario med stort morfologisk aktivitet gi sterkt reduserte arealbruksmuligheter. Scenarioet visualiserer i hvilken retning det vil utvikle seg til dersom sikringer fjernes, svikter eller overtoppes.



Figur 23. Flåmselva scenario 1 – Målbilde med forventet naturlig utvikling.

Scenario 2 – Retensjon

Basert på topografien finnes det tre opsjoner for å bruke retensjon i forskjellig omfang for flomsikring i Flåmsdalen. Disse er 1) Jernbanedam/Holten, 2) Melhus og 3) Seltuftvatnet og/eller Klevavatnet (Figur 25). Effekt av retensjon er avhengig av volum og andel av totalnedbørsfelt. Dessuten krever scenarioet egnete damkonstruksjoner, styringsluker og tappearrangementer.

Opsjon 1

I kap. 3.4.1 er det nevnt at Jernbanedam Høga medfører risiko for kollaps ved store flommer over ca. 250-320 m³/s – noe som kan føre til en flombølge med fare for liv og helse.

Det anbefales derfor å vurdere dam sikkerheten samt konstruksjon av en sikringsdam med kontrollert overløp for å unngå dambrudd. Det vil kunne sikre jernbanedammen i slike situasjoner samtidig som dalbunnen ovenfor brukes til retensjon. Lokasjonen har en stor andel av nedbørsfeltet 75 % noe som er gunstig for flomdempingspotensialet. Samtidig har dalbunnen ovenfor veldig begrenset retensjonsvolum grunnet terrengform (40.000 m³) og kan derfor bare virke som supplerende flomdempingstiltak i samspill med andre tiltak.



Figur 24. Tunnel for elven forbi Flåmsbanen ved Høga, ca. 1940. Bildet tyder på at jernbanedammen kan bestå av løsmasser. Kilde: nasjonalbibliothek/public domain

Opsjon 2 er et teoretisk scenario for å illustrere potensialet for flomdemping med retensjonsbasseng. Estimert innebærer bygging av en ny demning med 22 m høyde og 150 m³/s bunn tappingskapasitet ved Melhus. Grunnet manglende detaljdata om nedbør eller flombølgen i delnedbørsfeltet ble hele flombølge fra 2014 (23.10.2014 - 09.11.2014) lagt til grunn for å se om volumet kan være tilstrekkelig for å holde tilbake vannføringer over 150 m³/s. Lokasjonen fanger opp 69 % av totalnedbørsfeltet. Retensjonsbassenget dvs. dalbunnen ovenfor ville hatt et retensjonsvolum på 1,9 mill. m³ og kunne dempet flommer slik som 2014-flommen med god margin (magasin-fylling modellert til ca. 700.000 m³).

Ser man bare på kulminasjonsvannføring uten flombølgeformen er det sannsynlig at et retensjonsbasseng på Melhus kan dempe $Q_{200+40\%}$ (400 m³/s) til ca. Q_{200} (290 m³/s). Dagens Q_{200} vil trolig kunne dempes til ca. Q_{50} og mindre. Opsjon 2 betraktes derfor som lovende med tanke på flomdempingspotensiale, men vil alene trolig ikke være nok til å dempe $Q_{200+40\%}$. For en detaljert vurdering av dempingseffekten anbefales en nedbør-avløpsmodell for hele nedbørsfeltet slik at det blir mulig å ta hensyn til reelle flomforløp og varighet.

Opsjon 3 består av flomdemping i eksisterende magasiner for å holde tilbake vann. Aktuelt kan være Seltuftvatnet (1.6 mill. m³) og Klevavatnet (opptil 7.7 mill. m³) til retensjon. Disse dekker henholdsvis 54 % og 39 % av totalnedbørsfeltet. Begge løsninger forutsetter ombygging og oppgradering av tappearrangementene.

Ifølge regulanten (Bane Nor, Erling Nesbø pers. komm 20.12.2018) er Seltuftvannet ikke lenger i bruk pga. at tappeluken sitter fast og det er bare overløp over demningen. Seltuftvannet tar også imot vann fra Vindedøla delnedbørsfeltet (Figur 52). Grovestimat av flomtoppen fordelt på delnedbørsfeltet viser at Seltuftvannet (1.6 mill. m³ retensjonsvolum) kan ha potensiale for å dempe HQ200 + klimapåslag (400 m³/s) til HQ200 (290 m³/s) og dagens HQ200 til HQ50 dersom tappekapasiteten økes til 110 m³/s og vannet bygges om til et rent retensjonsbasseng. Igjen er dette estimatet bare basert på kulminasjonsvannføring og retensjonsvolum, ikke på et flomforløp.

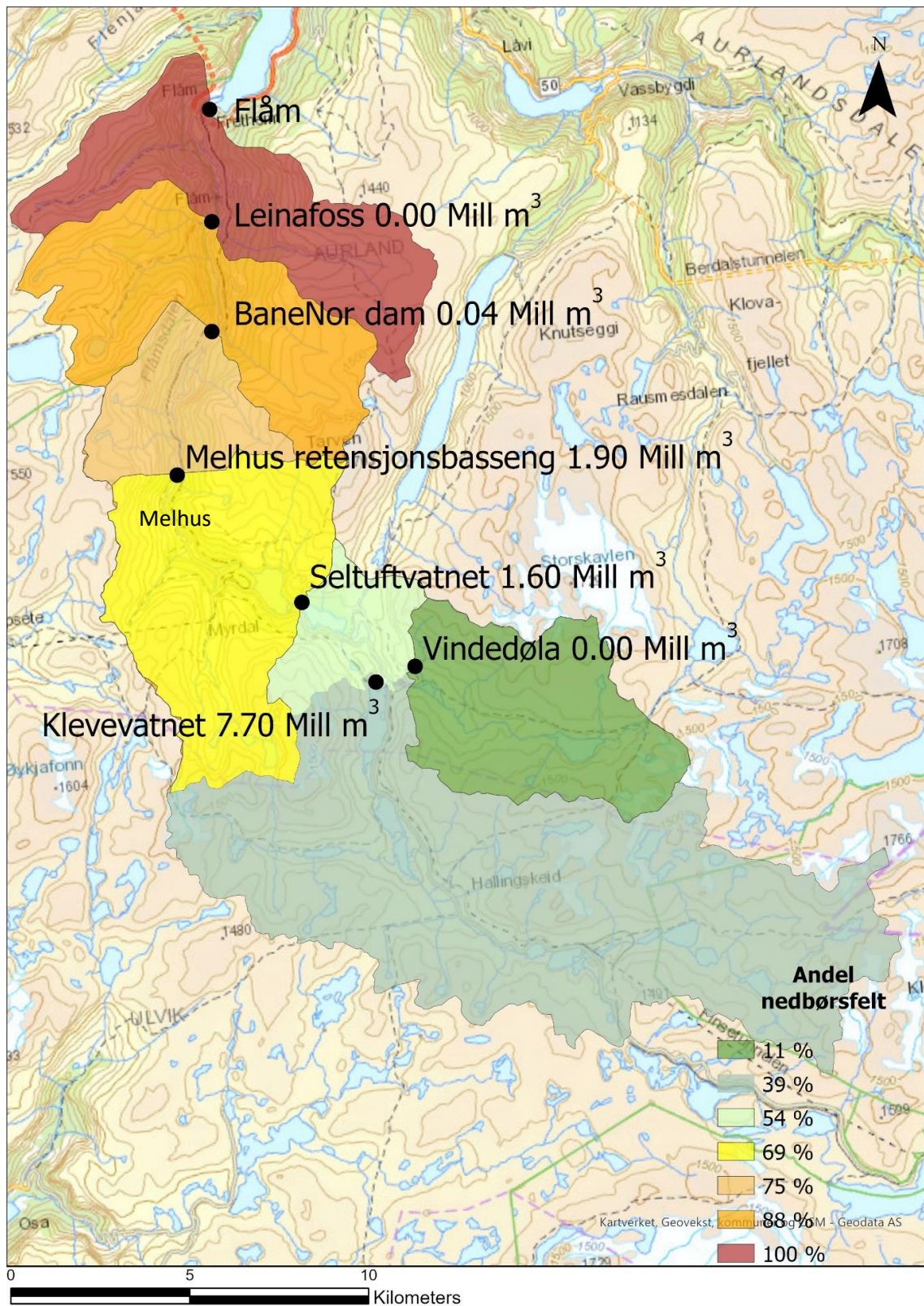
Reinungavatnet har teoretisk et ytterligere magasineringspotensial på 1.2 mill. m³ men siden det er svært begrensede styringsmuligheter er dette ikke inkludert. Her er det ytterligere muligheter til flomdemping ved mer omfattende ombygginger av tappemuligheter.

Brukes Klevavatnet (39 % av nedbørsfelt) som retensjonsbasseng som anbefalt av Multiconsult (Glover 2016) må magasinet tappes ned med 3 m for å kunne redusere flomtoppen ut av Klevavatnet med 25 m³/s og utsette kulminasjonstidspunktet med 5 timer (basert på 2014-flombølgen). Dette og overføring av vann til Viddalsmagasinet ville redusert 2014-flomtoppen ved Brekke Bru fra 247 til 210 m³/s. Løsningen vil ikke kunne bidra til demping fra Vindedøla siden Klevavatnet har et annet nedbørsfelt. Nedtappingskrav for flomvern begrenser imidlertid muligheter forkraftproduksjon. Videre er tappelukene ikke dimensjonert for demping av storflommer. NVE (Langsholt et al. 2015) skriver at «I Flåm ble det store skader etter flommen. Det er tre mindre magasiner i Flåmsvassdraget. Ved disse var det overløp under flommen, og de bidro derfor i liten grad til å redusere flomvannføringene i vassdraget. Selv om magasinene hadde vært nedtappet en uke før flommen, var tilsiget så stort i dagene før, at magasinene ville vært fylt før flommen kulminerte.» Det kreves altså nye tappearrangement med langt større kapasitet og ytelse.

Flomdemping i øvre nedbørsfeltet ved alle 3 opsjoner medfører behov for fysiske sikringstiltak kombinert med avbøtende miljøtiltak i nedre delen av Flåmselva siden det også kommer flomvann fra

nedre deler av nedbørsfeltet. Til dette hører utvidelse av elveløp, tilbaketrukket erosjonssikring og solid erosjonssikring rundt bruer og ved bosetting (se scenario 5). Avbøtende miljøtiltak (grus- og steinutlegg, elveutvidelser, tilbaketrukket erosjonssikring, miljøvennlige erosjonssikring) vil gi forutsetning for god økologisk tilstand i elva og oppnåelse av formålene til vassdragsvernet.

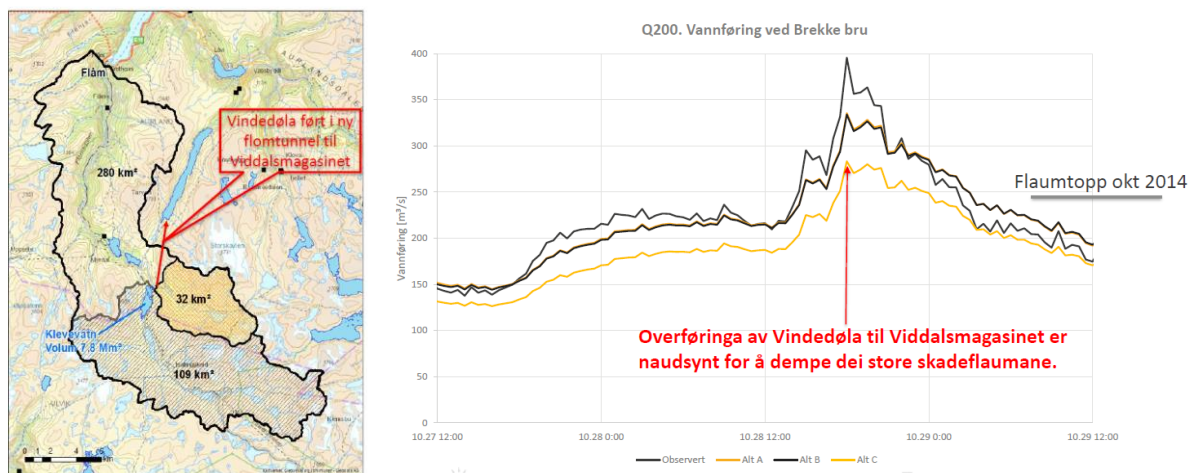
Retensjonsscenarioet innebærer bl.a. omfattende oppgraderinger av tappearrangementene i magasinene og vurdering av damsikkerhet. Det kreves mer detaljerte studier og oppmålinger for å kunne kvantifisere effekt og kostnader i detalj, men estimatene viser at retensjon har potensial til å bli et viktig tiltak for å kunne håndtere flomrisikoen i nedre Flåmselva. Dette gjelder særlig når flere retensjonsmuligheter kombineres slik som Klevavatnet og Seltuftvatnet eller Melhus. Et annet viktig fasit fra scenarioet er at Jernbanedammen ved Holten og flombølgen den kan forårsake må håndteres uansett også i de fleste andre løsningsscenarier dersom denne risikoen skal reduseres.



Figur 25. Scenario 2 retensjon: Potensial for retensjon i forskjellige lokasjoner av dammer og magasiner samt retensjonspotensial i dalbunnen ved Melhus og jernbanedammen

Scenario 3 – Kombinert tapping Klevevatnet og overføring til Viddalsmagasinet i Aurlandsvassdraget

Scenario 3 ble utarbeidet av Multiconsult på oppdrag for Aurland kommune og kombinerer overføring av vann fra Flåmsvassdraget til Aurlandsvassdraget i en tunnel med kapasitet på 20 m³/s, senkning av vannspeilet i Klevevatnet på 3 m hele høsten for å skape plass til magasinering (retensjon) og oppgradering av tappetunnel i Klevevatn til 20 m³/s (Glover 2016). I tillegg til flomdemping ved retensjon og overføring i øvre nedbørsfelt legges til grunn omfattende fysiske erosjons- og flomsikringer i nedre del av elven.



Figur 26. Prinsippet av overføring og dempingseffekt vist for en vannføring slik som oktober 2014. Fra Glover (2016)

Dette scenarioet hadde redusert flomtoppen med ca. 100 m³/s (ved Q200 +40% = 400 m³/s) noe som nesten tilsvarer klimapåslaget (110 m³/s). En viktig forutsetning er imidlertid at nedbøren er fordelt jevnt over nedbørsfeltet eller sterkere i Vindølas og Klevevatnets nedbørsfelt. Siden løsningen ligger relativt langt oppe i nedbørsfeltet er den mindre effektiv når mesteparten av nedbøren kommer i vest og nord i nedbørsfeltet. Multiconsult (Glover 2016) henviser til at «Vindedøla ved kote 975 utgjør ca. 12 % av feltarealet ved Brekke bru, men sannsynligvis omtrent 15-20 % av flomvolumet i 2014». Det er ikke gitt at neste hendelsen har samme nedbørsfordeling. Dessuten må det være nok plass for vannet i Viddalsmagasinet og Aurlandsvassdraget. Dette er ofte tilfelle, men det finnes også perioder med høy fyllingsgrad i Aurlandsmagasinene og hvis ekstremflommer sammenfaller, vil det være en begrenset mulighet til overføring.

Miljømessig må det regnes med lignende effekter og avbøtende tiltak som ved dagens sikring i Flåm siden en slik sikring forutsettes. Sikringen hindrer naturlig elveutvikling, men dette kan delvis kompenseres for ved steinutlegg, grustilførsel og kantvegetasjon samt utvidelse av tverrsnitt og restaurering av sideløp der det er mulig. Scenarioet innebærer dessuten overføring av vann til et annet nedbørsfelt og med dette endringer i hydrologi og vannføring. I tillegg medfører overføring av vann til Aurlandsvassdraget økt risiko for spredning av arter, som for eksempel røye som ikke finnes i Aurlandsvassdraget, men i høyt liggende fjellvann i Flåmsvassdraget (Spikkeland 1999, Fylkesmannen i Sogn og Fjordane 2000).

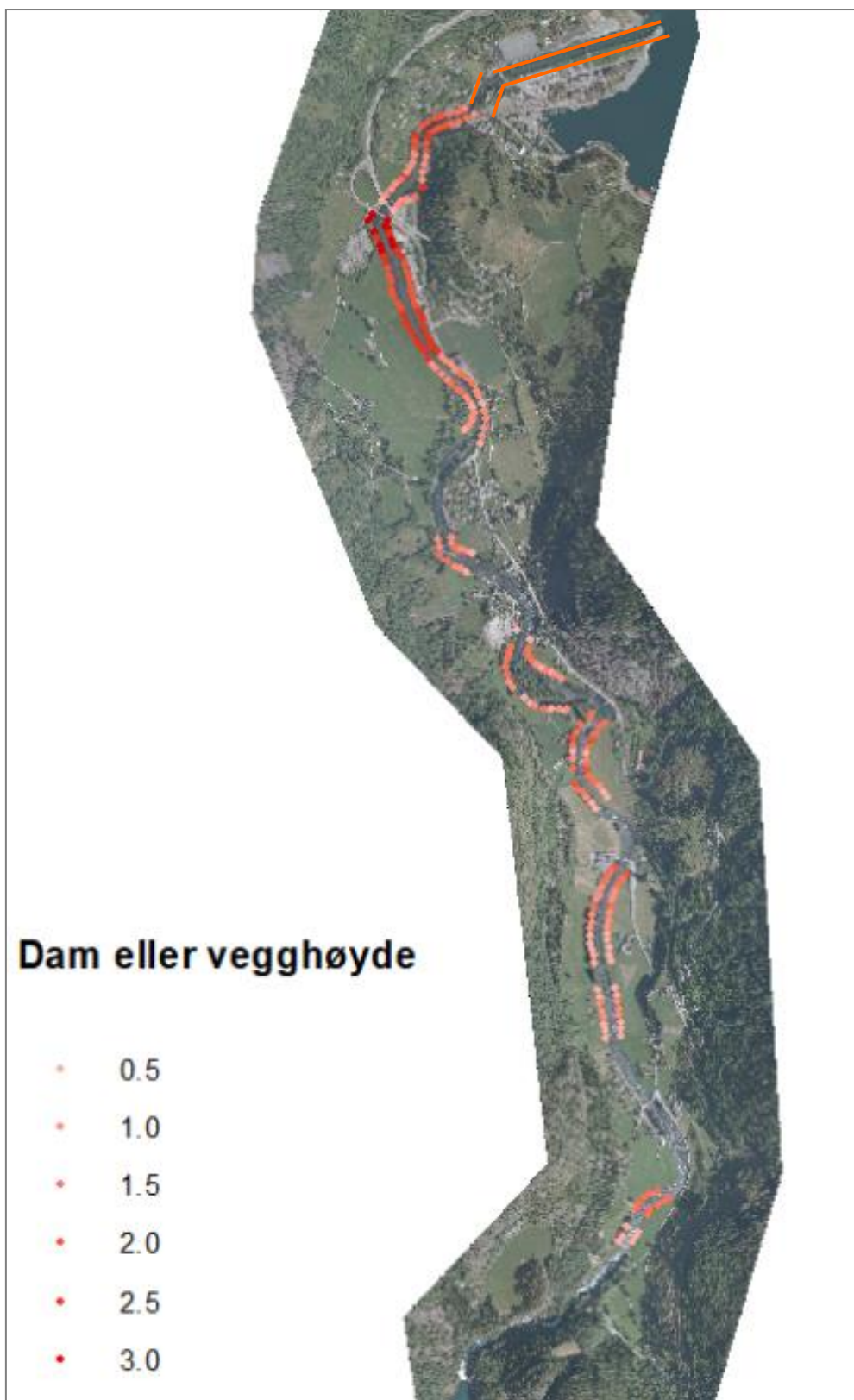
Med de nevnte avbøtende tiltak forventes at god økologisk tilstand vil kunne bli nådd i nedre Flåmsvassdraget. En usikkerhetsfaktor er imidlertid omfanget av vannoverføringen som kunne ført til reduserte vannføringer i Flåmselva. Spredning av arter vil dessuten ha stort skadepotensial i Aurlandsvassdraget med mulig sterk reduksjon i aure- og lakseproduksjon samt nedgradering av «økologisk tilstand» der.

Scenario 4 – Kanalisering og flomvoller

Scenario 4 er et hypotetisk alternativ som skal vise hva som skjer dersom man utelukkende satser på kanalisering og flomvoller som virkemidler. Her forutsettes at det bygges en flomvoll og delvis flomvegg langs hele elva nedenfor Leinafossen dimensjonert for 200 års flom og 40 % klimapåslag.

Beskyttelse mot oversvømmelse opp til Q200 krever en flomvoll/-vegg langs elven med opptil minimum 2 m høyde, mens det ved Q200 + klimapåslag er nødvendig med en flomvoll/-vegg på opptil minimum 3 m høyde (Fig). I tillegg måtte det tilføyes et sikkerhetspåslag. Dette scenarioet hadde medført omfattende anleggsarbeid og terrengendringer samt en forsterket erosjonssikring av hele nedre del av elven. Elven hadde blitt innsnevret i flommer noe som hadde ført til større vannhastigheter og skjærspenninger ved storvannedyp. Derfor hadde det vært nødvendig med delvis plastring av elvebunn og bygging av terskler for å motvirke bunnerosjon og innskjæring. Fra mange ståsteder hadde elven ikke vært synlig for mennesker på land. Med løsningen er det teoretisk mulig å hindre oversvømmelse og morfodynamikk til den dimensjonerende vannføringen. Men ved svikt av sikring eller overtopping hadde farepotensialet vært svært stort siden erosjonskreftene hadde vært akselerert og tilbakerenning av vannet hadde vært stedvis hindret. I tilfelle massetransport hadde det dessuten vært stor fare for sedimentasjon i Flåm sentrum og med dette forhøyet oversvømmelsesfare. Denne tilsynelatende sikre varianten medfører altså store faremomenter, dersom forutsetningen endrer seg i liten grad, og er med dette lite robust mot endringer.

En slik løsning hadde hatt store konsekvenser for landskapsbildet og miljøforhold. Mange steder hadde elven ikke vært synlig fra bredden, bebyggelse, veier og jernbane. Den svært omfattende kanaliseringen med delvis bunnplastring hadde sørget for utspyling av gyttegrus og mindre hulrom i elvebunn med redusert ungfiskproduksjon og lavere bestander av laks og sjøaure som sannsynlig følge. Dessuten hadde det vært svært redusert plass for kantvegetasjon og økologiske interaksjoner mellom elveslette og elv. Basert på lignende strekinger forventes dårlig økologisk status ved valg av en slik løsning (Pulg et al. 2018). Viktige verneverdier slik som landskapsbilde og villakspopulasjonen hadde blitt sterk redusert uten at tilstrekkelige avbøtende tiltak kunne blitt gjennomført i det trange tverrsnittet med høye skjærspenninger.



Illustrasjon av vegg/damhøyder for flomsikring for Q200. Behov for forbygninger opptil minimum 3 m høyde.

Scenario 5 – Integrativt løsnig

Scenario 5 har som mål å kombinere det beste fra de andre scenarioene samt å integrere mest mulig av innspillene fra befolkning (som fremmet på workshop). Dessuten skal lovbaserte mål og retningslinjer angående flomsikring, miljø og vernebestemmelser oppnås og overholdes.

De grunnleggende tiltakene er: Retensjon og sikring jernbanedam Holten, delvis elverestaurering, delvis sikring, sedimentforvaltning samt miljøtiltak.

Elverestaurering og utvidelse av aktiv elveslette

Aktivt elveløp og elveslette utvides der modelleringen viser morfodynamikk og oversvømmelse (ved Q200 +40 %) og der det ikke er bebyggelse. I disse områdene flyttes erosjonssikringen tilbake inntil det er plass nok til flomvannet (grønne soner med tilbaketrukket erosjonssikring som stiplet linje). Disse arealene gir rom til flomvannet og tillater morfodynamikk. Med dette bidrar de til å senke oversvømmelsesfare og erosjonsfare for området rundt.

Arealene vil vanligvis ikke være oversvømt og gir plass til en naturtypisk utforming med side- og flomløp, kantvegetasjon, grusbanker (som ordet Aurøyadn viser til). Med dette kan miljøtilstanden bedres og bl.a. produksjonsforhold for fisk økes. Arealene ved Aurøyadn og deltaområdet kalles «elvepark» i skissene (Figur 27) som vil kunne gi attraktive arealer for beboere og turister langs elven som attpåtil gir bedre miljøforhold og flomhåndtering. Men arealbruket er bare et forslag. Arealene kan også brukes til landbruk, f.eks. som beiteområde, delvis også som slåttemark.

En hydraulisk flaskehals er i Flåm sentrum, her anbefales en utvidelse av hydraulisk tverrsnitt som krever en nærmere detaljering.

Forsterket sikring

Der flommodelleringen viser risiko for morfodynamikk og oversvømmelse (ved Q200 +40 %) og der det er bebyggelse, broer eller infrastruktur forsterkes erosjonssikringen (rød linje, f.eks ved Flåm bro og i Flåm). Også rett nedenfor Leinafossen er det et kort stykke med forsterket sikring før utvidet område, for å unngå ukontrollert massemobilisering i dette området. Forsterket sikring må detaljeres stedsavhengig og innebærer økt dimensjonering av erosjonssikring og flomvoll, eller i trange områder flomvegg. Lokalt slik som på veier i Flåm sentrum, vil det være mulig med mobil flomsikring.

Sedimentforvaltning

Det er risiko til morfodynamikk og massetransport under flommer i vassdrag som Flåmselva. Ved dagens utforming er det fare for at massene sedimenteres i Flåm sentrum der helningen avtar. Denne effekten forsterkes ved flo sjø i fjorden. En slik avsetning vil kunne redusere avløpstverrsnittet og øke oversvømmelsesfare i Flåm sentrum betraktelig.

For å redusere denne risikoen anbefales å bruke elverestaureringsområdet ved Aurøyadn elverpark som sedimenteringsområde ved eventuell massetransport. Dette fungerer ved å utnytte terrengformen og å senke elvesletten ca. fra munning til Tverrelvi – slik som vist i Figur 27. Sedimentering og høydenivåer bør overvåkes og etter flommer med massetransport bør sedimentene håndteres slik at det igjen er plass til avsetninger ved ytterligere flommer. Grus og steinfraksjoner kan med fordel tilføres nedenfor Leinafossen der det er en kunstig reduisering av disse fraksjonene grunnet Leinafossen dam (Stranzl & Postler 2021). Sand- og finsedimentmasser kan tas ut og nyttes til bruk.

Retensjon

En forutsetning i scenario 5 er at jernbanedammen ved Holten sikres slik at den tåler oppstuing (se scenario 2). De andre flomdempingstiltakene fra scenario 2 vil ikke være nødvendig men svært fordelaktig: Jo mere flomdemping ved retensjon desto mindre omfattende trenger elveutvidelser, sikringer og flomvoller å bli for å kunne sikre mot 200 års flom + klimapåslag. En kombinasjon med retensjonstiltakene fra scenario 2 vil dessuten gi en buffer dersom klimaeffekter er større enn forventet, ved langvarige flommer og flommer større enn dimensjonerende flom.

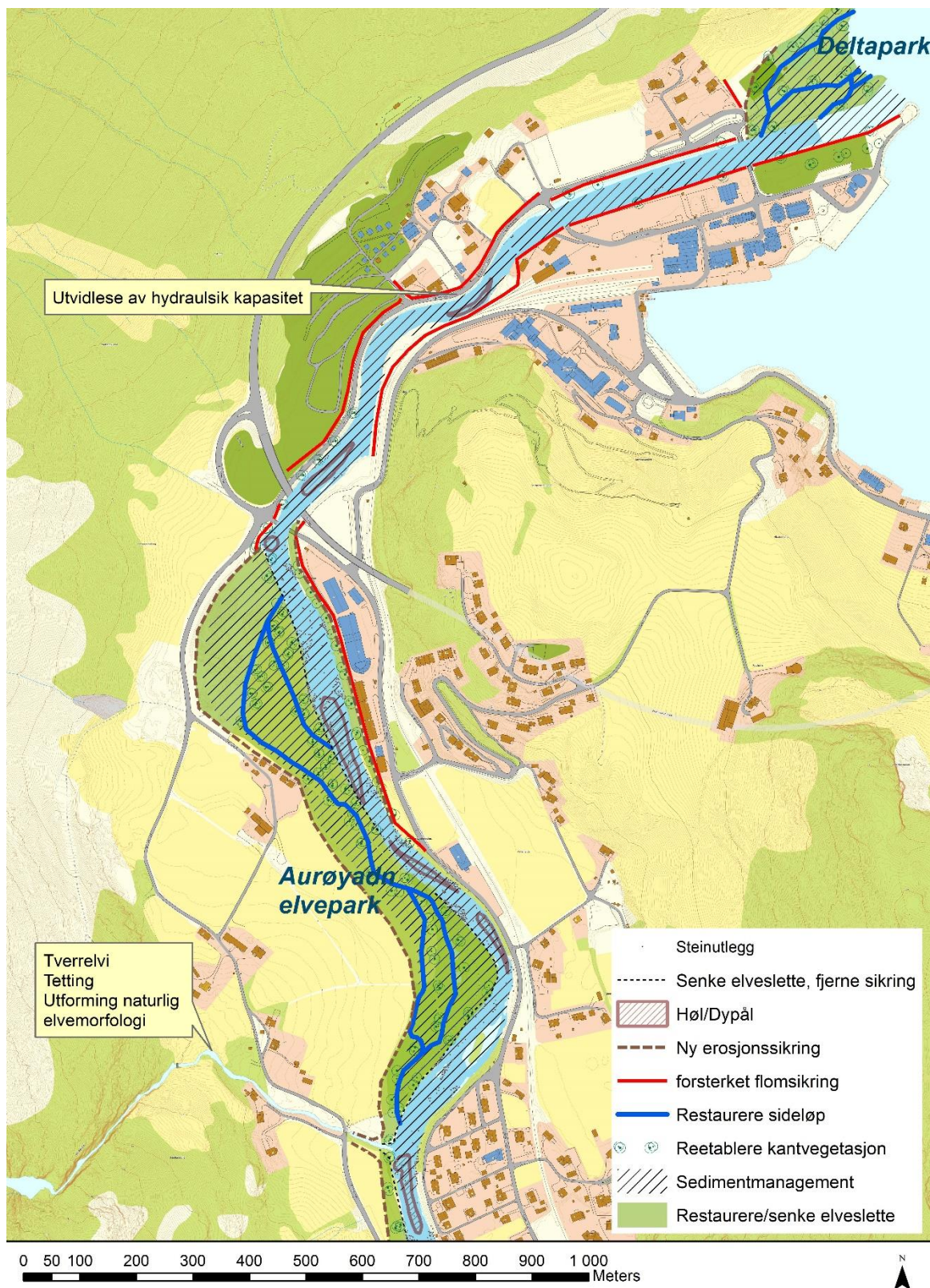
Miljøtiltak

Elverestaurering med utvidelse av aktiv elveslette vil i seg selv kunne bli et miljøtiltak og bedre forhold for vassdragsmiljøet inkludert fauna og flora av kantsoner og elveslette. Dette forutsetter imidlertid at arealene ikke brukes til andre formål. Dessuten legges til grunn miljøtiltak i de sikrete strekningene slik som miljøtilpasset erosjonssikring, planting av kantvegetasjon, restaurering av sideløp og tilløpselver, steinutlegg og sedimentforvaltning som bl.a. vil sikre gyteforholdene for laks og sjøaure.

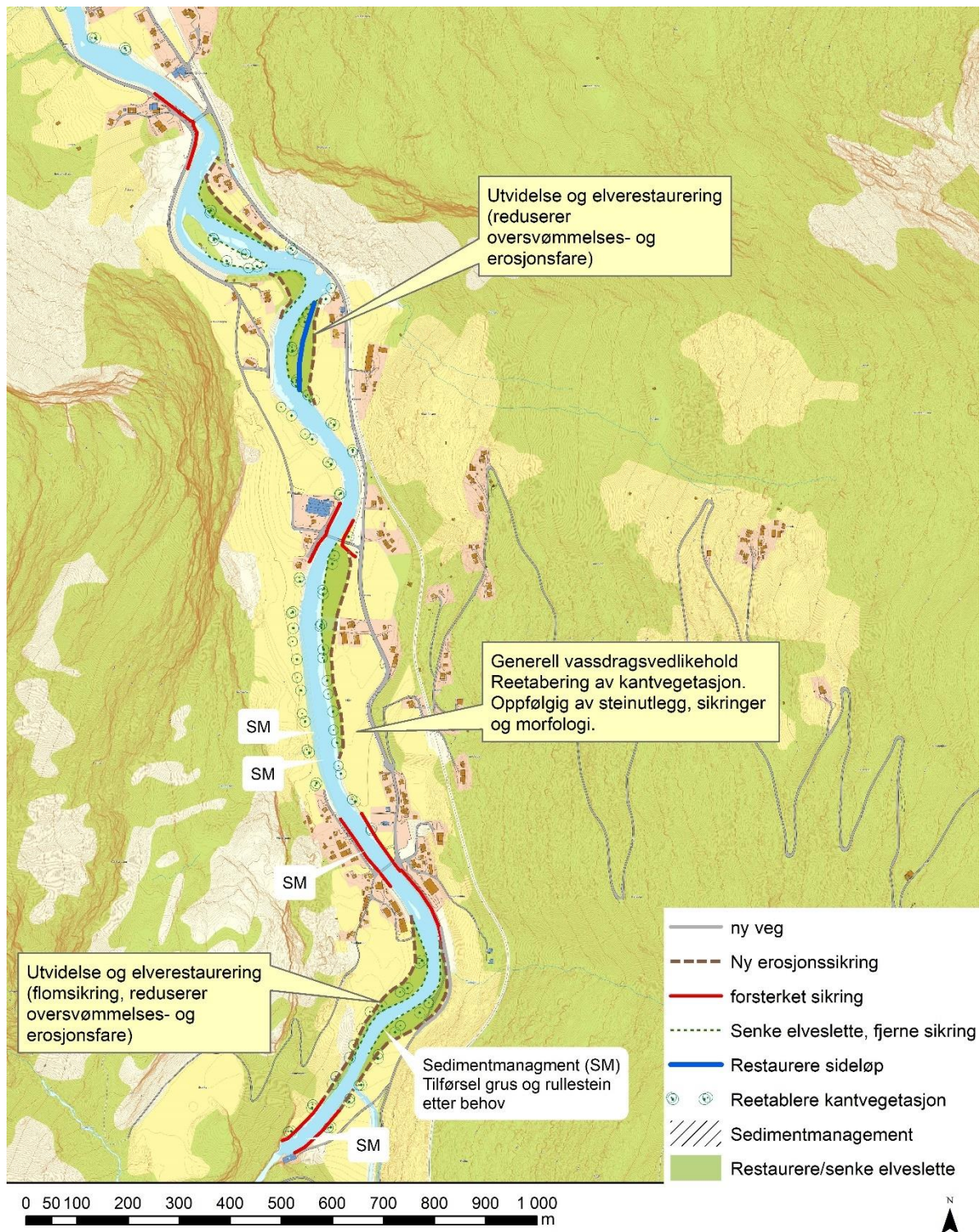
Vurdering

Scenario 5 er et kompromiss mellom flomrisikohåndtering og miljøhensyn. Den betraktes som tilstrekkelig for å sikre mot flommer opp til Q200 + klimapåslag. Hovedprinsippet er en kombinasjon av sikring og restaurering.

Med retensjon i øvre Flåmsdalen vil dette scenarioet også kunne sikre mot flom med klimapåslag.



Figur 27. Integrativ plan til flomrisikahåndtering og miljøtiltak for nedre Flåmselva. Elveutvidelsene gir rom for elverestaurering og kan brukes som elveparker og miljøtiltak slik so tegnet her – men kan også utformes som beite- eller slåttemark.



Figur 28. Integrativ plan til flomrisikåhåndtering og miljøtiltak for Flåmselva Leinfossen-Lunden.. Elveutvidelsene gir rom for elverestaurering og kan brukes som elveparker og miljøtiltak – men kan også primært utformes som beite- eller slåttemark.

Tabell 3. Tiltaksoversikt Scenario 5 Flåmselva

Tiltak	Flomrisiko- håndtering	Miljøtilstand	Naturbasert	Tiltakstype MD ⁸	Beskrivelse	Kostnads-estimat NOK (eks. mva) så vidt som mulig
Demping av flommer ved hjelp av eksisterende magasiner	++		4		Flomdemping gjennom magasinering av vann i regulerbare kraftmagasiner. Krever fornyelse og ombygging av tappeluker	Avhengig av valgt løsning
Fysiske flomsikringstiltak	++		3,4		Forsterkning av lokale flomvoller, flomvegger og miljøtilpasset erosjonssikring for bebyggelse som er utsatt ved 200 års flom + 40 %. Tiltaket gjelder for Flåm sentrum men også enkelte steder ovenfor der det ikke er plass til utvidelser, f.eks. ved broer og ved endringer i elvetype.	Avhengig av valgt løsning
Utvide elveløp og elveslette aktivt og	+	+	2	MT10, MT5, MT 8	Tilbaketrekke erosjonssikring for å øke avløpskapasitet, gi plass til morfodynamikk og forbedre miljøtilstand. Senke elveslette innenfor sikring. Tiltaket vil kunne redusere skaderisiko ved erosjon og morfodynamikk samt redusere oversvømmelsesfare. Det vil dessuten gi mer naturtypiske elvebredder og kantsone. Arealbruk i disse områdene kan rekke fra rekreasjon og turisme (elvepark) til miljøvern (naturområder) til landbruk (beite, eng) m.m.	Avhengig av valgt løsning

⁸ DIREKTORATSGRUPPEN FOR GJENNOMFØRING AV VANNFORSKRIFTEN: Tiltak og virkemidler i vannforvaltningen 2021.

<https://www.vannportalen.no/sharepoint/downloaditem?id=01FM3LD2RZTL3X2KJU3VHZW7CAG6RVECQN>

Sediment-management	±	±	2,3	MT 356, 16, 10, 5	Massetransport 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 reduseres ved å bruke området ved Brekke (Aurøydn elvepark) som mulig sedimenteringsområde. Det forutsetter utvidelse av elveløpet, senkning og tilkobling av elveslette (se tiltak ovenfor). Etter sedimenteringshendelser fjernes massene og av disse brukes grus og rullestein til behovsstyrt tilførsel nedenfor Leinafossen o.l. (sedimentmanagement). Her er den naturlige sedimenttransporten redusert grunnet Leinafoss dam og sedimenttuttak i oppdemmet område. Tiltaket krever altså vedlikehold etter store flommer, men reduserer risiko for Flåm sentrum samt at det legger til rette for en naturtypisk elv og elveslette i det område.	
Åpne sideløp	+	++	2	MT10, MT4	Tilkoble og restaurer sideløp i nedre delen av Flåmselva for å forbedre fiskehabitat og avløpskapasitet ved flom. Kombineres med restaurering av elveslette.	600.000
Reetablere og skjøtsel av kantvegetasjon		++	2,3	MT 5	Aktiv (planting av trær) og passiv (beskytte vegetasjon, inngjerde) langs elvebredder. Dette tiltaket vil øke biologisk mangfold, insektlivet og også næringsgrunnlaget for fisk betydelig.	200.000 (reetablring)
Habitattiltak mellom Lunde og elvemunning		++	3	MT10, MT4	Fortsettelse av miljøtiltak Leinafoss-Lunde: Utforming av naturtilpasset elvebredd, steinutlegg, buner og naturtypisk morfologisk variasjon. Med dette skapes habitater i den innsnevrede og sikrede elvestrekningen, f.eks. gyteplasser, brekk, stryk, høler, dypål og bakevjer.	2.000.000
Miljøtilpasset vannføring		++	4	MT 37	Sikring av en minste vannføring og unngåelse av raske dropp og finsedimentmobilisering ved drift av magasiner og kraftverk (omløpsventil, driftsrutiner, sedimentmanagement)	Avhengig av valgt løsning

4 Tiltaksplan

I dette kapittelet beskrives tiltakene i plan og tekst. De baseres på det integrative scenario 5 beskrevet i Figur 27, Figur 28 og Tabell 3 og presenterer tiltakene for delområder i større målestokk for bedre lesbarhet.

Tiltaksplanen fokuserer i første omgang på de miljøtiltakene som lar seg gjennomføre i rammen av gjeldene reguleringsplan og vassdragsvedlikehold (A-tiltak). Her blir ikke elvesengens beliggenhet eller oversvømmelsesareal endret. Det siktes mot gjennomføring av disse A-tiltakene i 2023. Disse tiltakene er sammenfattet under punkt 1 og beskrives detaljert følgende kapittel. Tiltakene har som formål å forbedre miljøforhold i henhold til naturlige referanser, vannforskriften, kvalitetsnorm villaks og verneformålene (vassdragsvern). Samtidig skal tiltakene ta hensyn til flomrisikohåndtering og være forenlig med mer omfattende og flomsikrings- og miljøtiltakene som er beskrevet i punkt B). Det er usikkert om og i hvilket omfang disse B-tiltakene blir gjennomført og de forutsetter dessuten mer omfattende planlegging og planprosesser. Uansett skal 2023-tiltakene (A) ta høyde for en mulig realisering av de mer omfattende flomdempings og -sikringstiltakene (B). Dersom en del av de mer langsiktige tiltakene allerede lar seg gjennomføre i 2023 med tanke på planprosesser, godkjenninger og budsjett står ingenting i veien for å integrere disse.

A) Miljøtiltak 2023

Tiltakene består i utforming av mer naturtypisk elvemorfologi i den homogeniserte delvis kanaliserte og innsnevrete elvesengen. Kulp-stryk sekvenser forsterkes ved å ta ut masser der det er merket «høl/dypål» i henhold til den naturlige forventete kulp-stryk typen. Kantene ved erosjonssikringen utformes i henhold til miljøtilpasset sikring (Pulg et al 2022) med et heterogent, skjulrikt steinutlegg samt enkelte små klynger med kampesteiner (1-2 m). En slik utforming har gitt både større ungfisktettheter og bunndyrdiversitet (Pulg et al. 2022). I tillegg foreslås planting av kantvegetasjon med seljearter og orarter bak sikringen.

B) Mer omfattende sikrings- og miljøtiltak

I kap. 3.4.1 og 3.4.2 vises til behovet for mer omfattende sikring og det foreslås flomdemping i eksisterende magasiner, delvis restaurering og utvidelse av elveløp og elveslette, sedimentforvaltning, samt delvis forsterkning av sikringer og flomvoller/-mur. Dessuten pekes på sikringsbehovet av jernbanedam Høga.

Utvidelse av elveløp og elveslette vil gi hydraulisk og morfodynamisk avlastning ved flom og vil bedre miljøforhold inkludert plass til sideløp og kantvegetasjon. Kan forbindes med arealbruk som elvepark, landbruk, friområde, naturområde mm. Forutsetter planprosesser. Forsterkning av sikringstiltak betraktes som nødvendig der det ikke er rom for utvidelse av elven og der bygninger og infrastruktur skal beskyttes. Nedenfor Lunde anbefales flomvoller eller flommur der det er trangt (røde linjer i Figur 27). Deler kan også utformes som mobil flomsikring. Høyde og dimensjonering avhenger av andre tiltak. Større elveutvidelser og flomdemping i magasiner vil redusere behov og dimensjonering for sikringstiltak.

4.1 Delstrekninger for miljøtiltak 2023

4.1.1 Strekning 1: Grindahølen

Nedenfor Grindahølen foreslås på sikt å begynne med en utvidelse av elveslette og flomsone med tilhørende sideløp. Elvesletten strekker seg til elvesvingen ved veibro og Nigardstudneau (Aurøydn elvepark, Figur 27 og Figur 29). En slik utvidelse vil avlaste vei og bosetting ved flom og dessuten vil den være forutsetning for sedimentforvaltningen og redusert risiko for avsetning av sediment med tilhørende flomrisiko under flommer i sentrum.

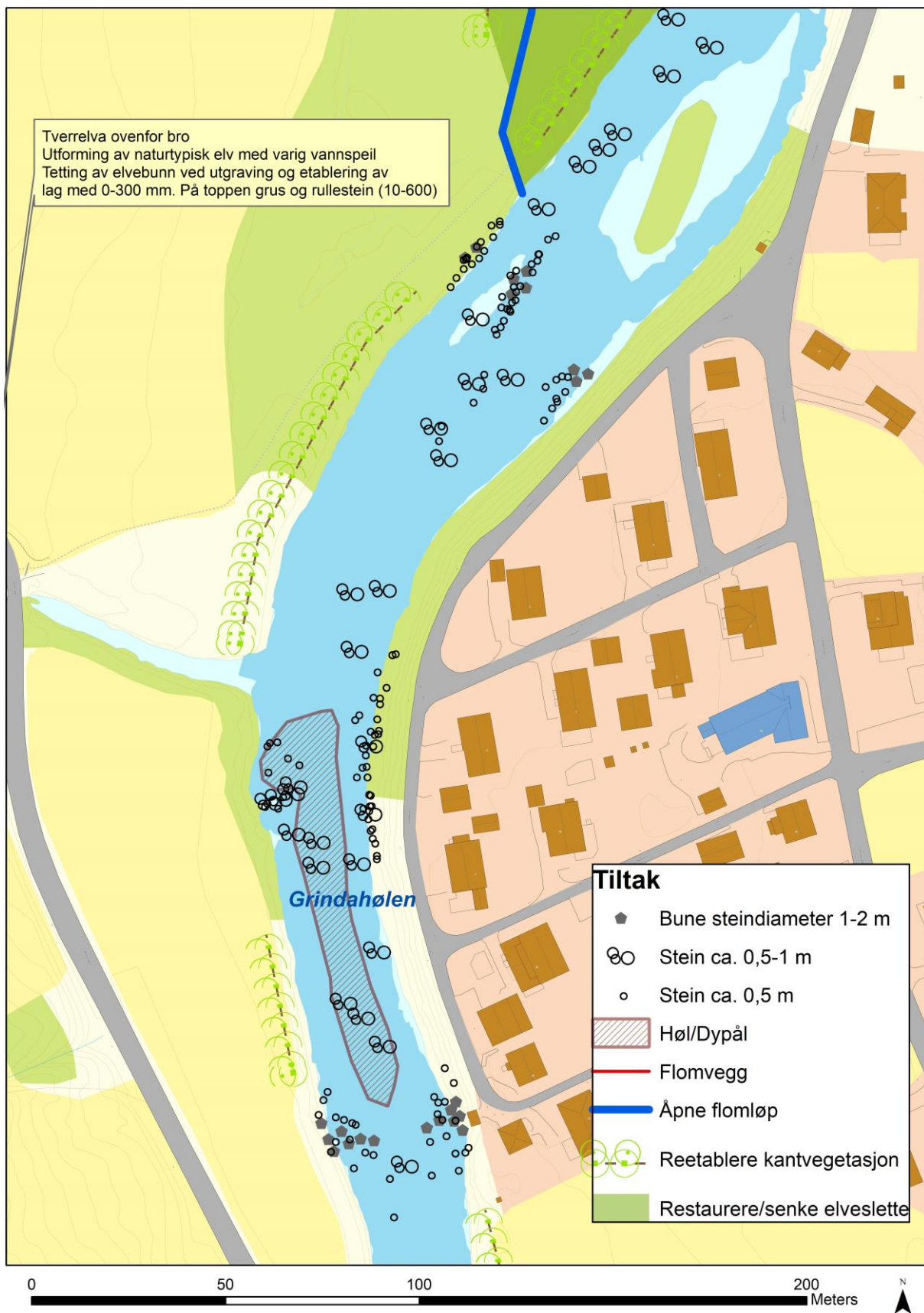
Miljøtiltak 2023

Grindahølen er per i dag delvis fylt igjen av løsmasser, hvilket både har redusert standplasser for fisk samt redusert avløpstverrsnittet. Her anbefales det å reetablere en kulp/dyprenne samt å legge ut stein (0.5-1,5 m) og reetablere kantvegetasjon. Like oppstrøms der kulpen reetableres bør det legges ut bunesteiner (1-2 m) for å lede hovedstrømmen inn i- og opprettholde kulpen. De resterende steinutleggene vil være en blanding av større (D 0,5 – 1,5 m) og mindre (~0,5 m) stein for å skape standplasser, skjul, hydromorfologisk variasjon, brekk og for å opprettholde dypålen. Masser i Grindahølen består i stor grad av rullestein (5-50 cm) kan brukes i strekningen. Det regnes med et masseoverskudd på ca. 50 m³ (5-50 cm) som kan fjernes og brukes i rammen av sedimentforvaltning (koordinert tilføring i øvre deler). Kantvegetasjonen langs vassdraget bør reetableres, da denne generelt er delvis fjernet eller redusert langs store deler av elven. Her ved Grindahølen er det relativt mye kantvegetasjon igjen og det er nok med planting og beskyttelse av ca. 20 trær. Vi anbefaler stedeegne seljearter og gråor med planting og inngjerding våren 2023.

Tverrelvi som munner ut på den vestlige elvebredden av området ved Grindahølen, er delvis tørrlagt oppstrøms veibroen som følge av graving og sikringstiltak etter flom, vannet sildrer delvis gjennom løsmasser. Ved siden av at elven tørrfaller her, hindrer massene også oppvandring for laksefisk. Her foreslås at det graves ut masser og elvebunnen tettes med finmasser (0-200 mm), for at man skal gjenopprette et varig vannspeil i bekken. Elvebunnen reetableres med naturtypisk substrat (grus/rullestein) over tetningsmassene.

Material:

Material	Størrelse /diameter	Antall
Bunesteiner (avrundet)	1-2 m	20 stykk
Storstein (avrundet)	0.5-1.5 m	10 lass a 8 m ³
Rullestein (avrundet)	Ca 0.5 m	Stedeegne masser
Masseoverskudd	5-50 cm	ca. 50 m ³
Småtrær (selje og or) med inngjerding	0.5-1 m	20 stykk



Figur 29. Kart med tiltaksbeskrivelser av tiltaksområde Grindahølen.

4.1.2 Strekning 2: Samfunnshuset

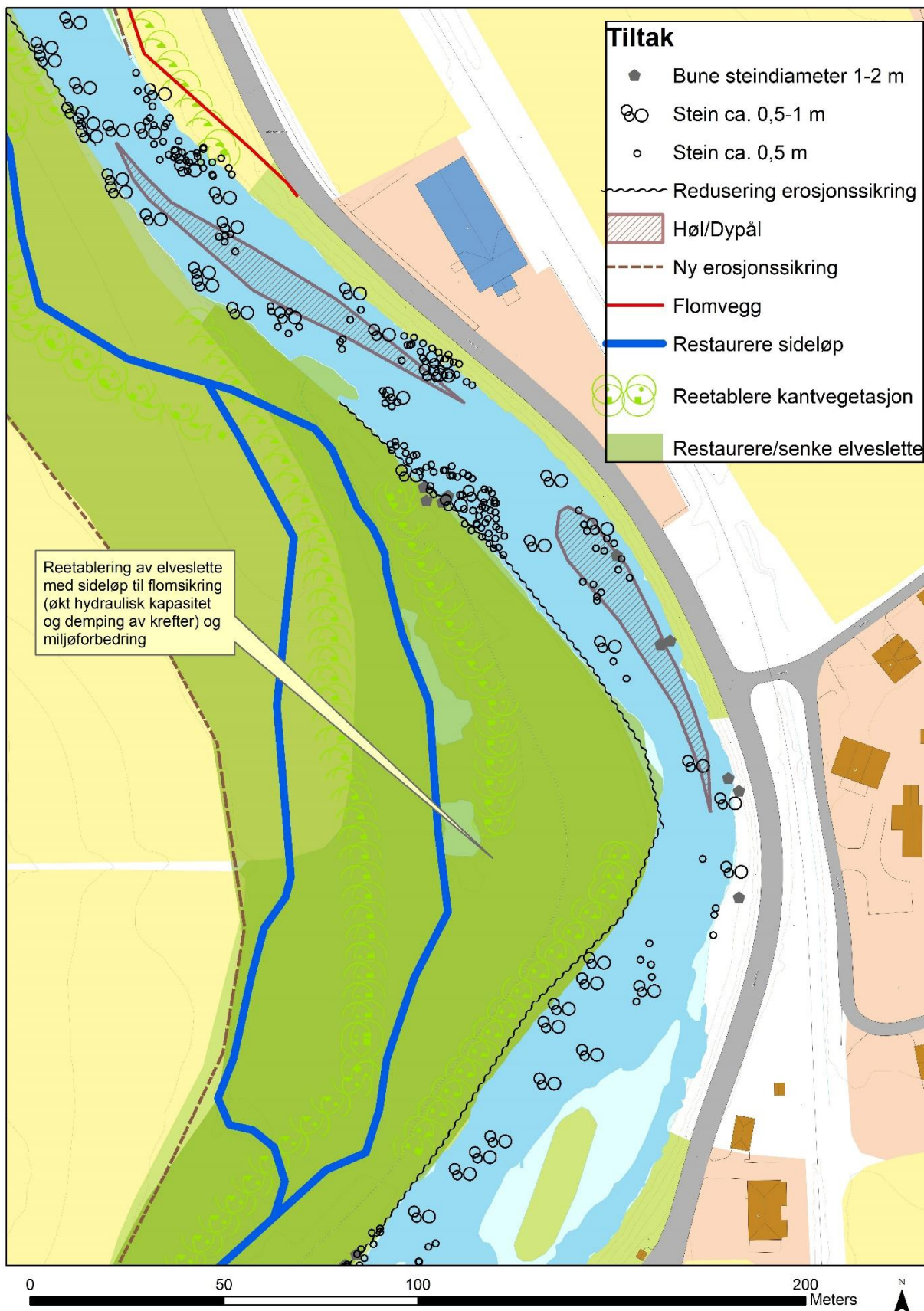
Ved Samfunnshuset er det på sikt anbefalt å gjenopprette elveslette og et sideløp på vestsiden av hovedløpet. Dette vil skape mer tilgjengelig habitat for fisk og i tillegg redusere flomfaren gjennom at den hydrauliske kapasiteten økes. Tiltaket krever også at man reduserer dagens erosjonssikring og lager ny erosjonssikring i bakkant av elvesletten (langsiktige tiltak, B).

Miljøtiltak 2023

For 2023 anbefales å forsterke dagens hølér/dypåler i hovedelven. Massene består av rullestein og grus (1-50 cm) kan brukes i strekningen for å utforme mer naturtypiske elvebredder. I tillegg gjennomføres utlegg av stein for å bedre standplasser og skjultilgang, samt for å opprettholde dypåler. Kantvegetasjon bør reetableres særlig i nedre deler av strekingen (se Figur 30). Her regnes med et behov på 40 småtrær (stedegne selje og or) med beskyttelse.

Material:

Material	Størrelse /diameter	Antall
Bunesteiner (avrundet)	1-2 m	10 stykk
Storstein (avrundet)	0.5-1.5 m	10 lass a 8 m ³
Rullestein (avrundet)	Ca 0.5 m	Stedegne masser
Masseoverskudd	5-50 cm	ca. 50 m ³
Småtrær (selje og or) med inngjerding	0.5-1 m	40 stykk



Figur 30. Kart med tiltaksbeskrivelser av tiltaksområde Samfunnshuset.

4.1.3 Strekning 3: Bruahølen

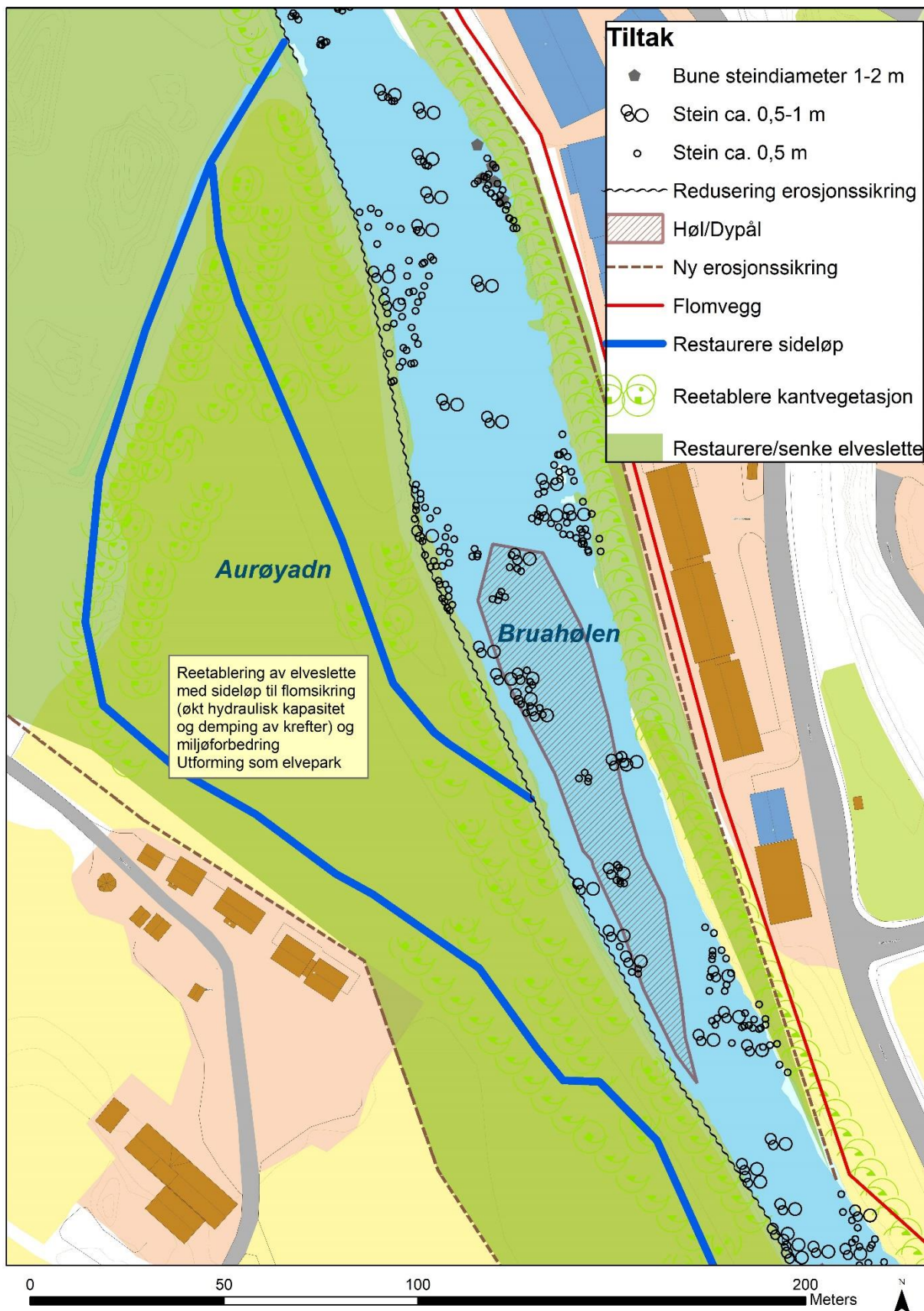
Også ved Bruahølen er det på sikt anbefalt å etablere elveslette med sideløp for å bedre både miljøforhold og redusere flomfare. I store flommer vil området kunne fange opp store løsmassemengder ovenfra – noe som vil redusere risikoen for avsetning i tett bebyggete sentrum (sedimentforvaltning). Her vil masser bli liggende i en sånn flomsituasjon pga. lavere helning (Figur 3). Elvesletten kan utformes som en elvepark som også vil gi rekreasjonsmuligheter for turister og fastboende. Tiltaket innebærer også her at dagens erosjonssikring reduseres og at det etableres ny erosjonssikring i bakkant av elvesletten (B).

Miljøtiltak 2023

Selve Bruahølen har rikelig med tilgjengelig gyteareal, men har relativt homogen hydromorfologi med få standplasser i et kanalisert tverrsnitt. Det anbefales derfor å variere ved å forsterke dypålen, samt gjennomføre utlegg av store stein og steingrupper av mindre stein langs land. Kantvegetasjonen bør reetableres langs elvebreddene.

Material:

Material	Størrelse /diameter	Antall
Bunesteiner (avrundet)	1-2 m	10 stykk
Storstein (avrundet)	0.5-1.5 m	8 lass a 8 m ³
Rullestein (avrundet)	Ca 0.5 m	Stedegne masser
Masseoverskudd	5-50 cm	ca. 50 m ³
Småtrær (selje og or) med inngjerding	0.5-1 m	60 stykk



Figur 31. Kart med tiltaksbeskrivelser av tiltaksområde Bruahølen.

4.1.4 Strekning 4: Nigårdstudneau

Det anbefales en flommur i området eller forsterkede erosjonssikringer som reduserer oversvømmelsesfare (røde linjer i Figur 32). Disse kan helt eller delvis kombineres med mobile elementer for å opprettholde veiforbindelser, tilkomst og sikt ved vanlig vannføring (langsiktige tiltak, B). Innsnevring ved veibroen bør dessuten detaljvurderes og utvides ved behov.

Miljøtiltak 2023

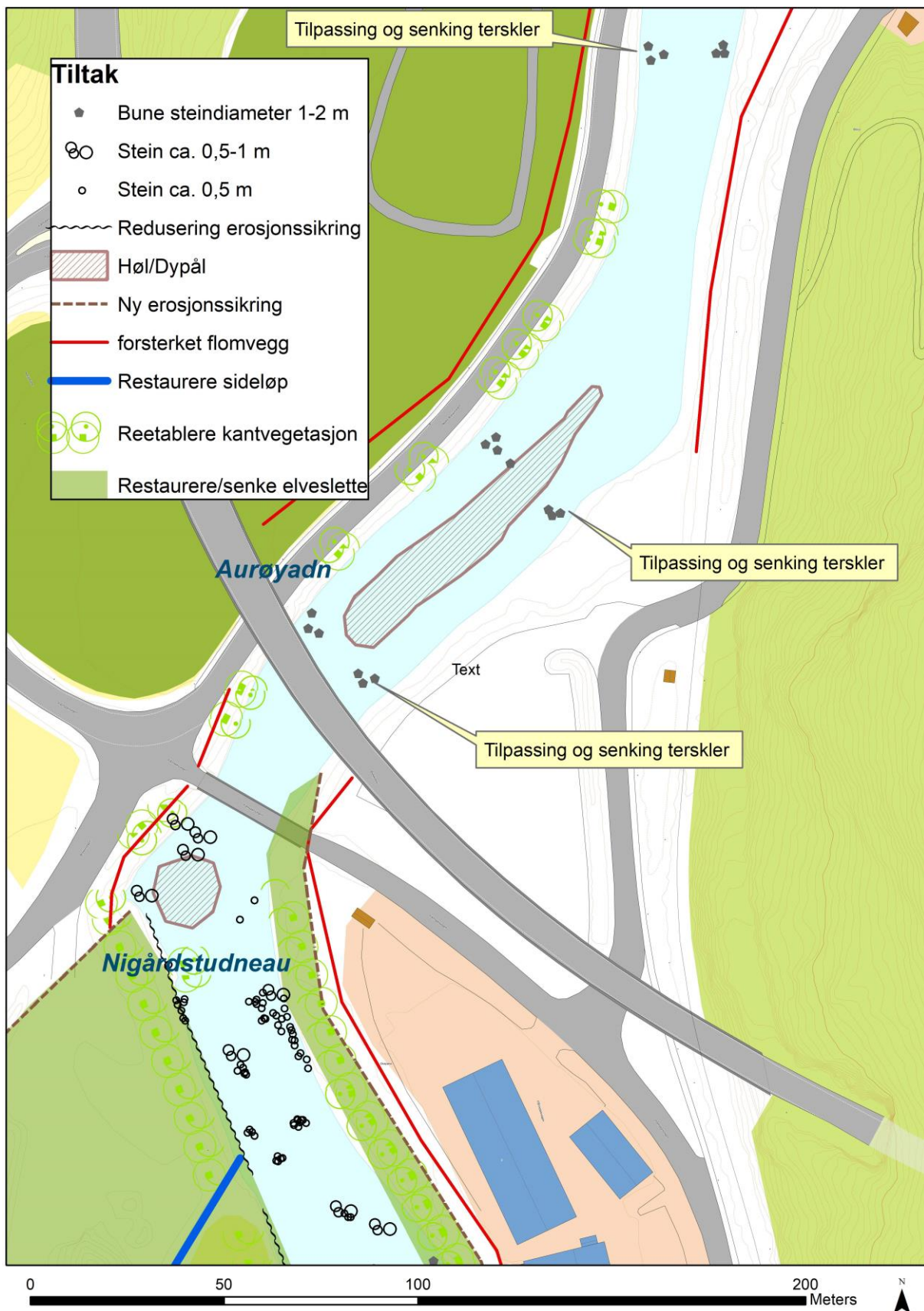
Kantvegetasjon finnes her i en smal stripe langs vassdraget mellom elv og vei. Den bør bevares og vedlikeholdes etter behov. Det anbefales å plante 20 småtrær med beskyttelse der det er gap i kantvegetasjonen, se Figur 32).

I den øvre delen av denne strekningen er det anbefalt å reetablere og sikre «Nigårdstudneauen» (kulp med bakevje oppstrøms veibroen) som er delvis fylt igjen av masser. Det anbefales også å legge ut stein ovenfor, både for å opprettholde kulpen og skape skjul, standplasser og variasjon. Nedenfor broen finnes det i dag en terskel. Det anbefales her å løse opp denne terskelen og skape en mer naturtypisk høl med et brekk. I denne forbindelse kreves det bunesteiner for å lede hovedstrømmen inn i midten av kulpen og opprettholde denne. Videre bør det legges ut stein og steingrupper for å skape skjul/standplasser og opprettholde dypålen.

Området nedenfor Nigårdstudneauen holdes uten nye steinutlegg for å unngå ytterligere reduisering av elvesengens allerede begrensede hydrauliske kapasitet ved flommer. Steintersklene anbefales oppløst, dvs. at det etableres en dyprenne i midten og at steinene legges enkeltvis. På denne måten vil avløpskapasiteten økes i liten grad samt at naturlig morfologisk variasjon i elvebunnen delvis gjenskapes.

Material:

Material	Størrelse /diameter	Antall
Bunesteiner (avrundet)	1-2 m	Stedegne masser (fra terskler)
Storstein (avrundet)	0.5-1.5 m	3 lass a 8 m ³
Rullestein (avrundet)	Ca 0.5 m	Stedegne masser
Masseoverskudd	1-50 cm	Opptil ca. 100 m ³
Småtrær (selje og or) med inngjerding	0.5-1 m	20 stykk



Figur 32. Kart med tiltaksbeskrivelser av tiltaksområde Nigårdstudneau.

4.1.5 Strekning 5: Flåm sentrum

I Flåm sentrum ved Kleivi (Figur 33) er elven smal og avløpstverrsnittet er lite. Denne er en flaskehals ved flomsituasjoner (se kap. 3) og det anbefales derfor å holde denne fri for utlegg av steinmasser. Flomsikring mot jernbanen bør vurderes for å hindre erosjon her. En flommur forslås for å redusere oversvømmelsesfare. Den kan helt eller delvis kombineres med mobile elementer for å opprettholde veiforbindelser, tilkomst og sikt ved vanlig vannføring (langsiktige tiltak, B).

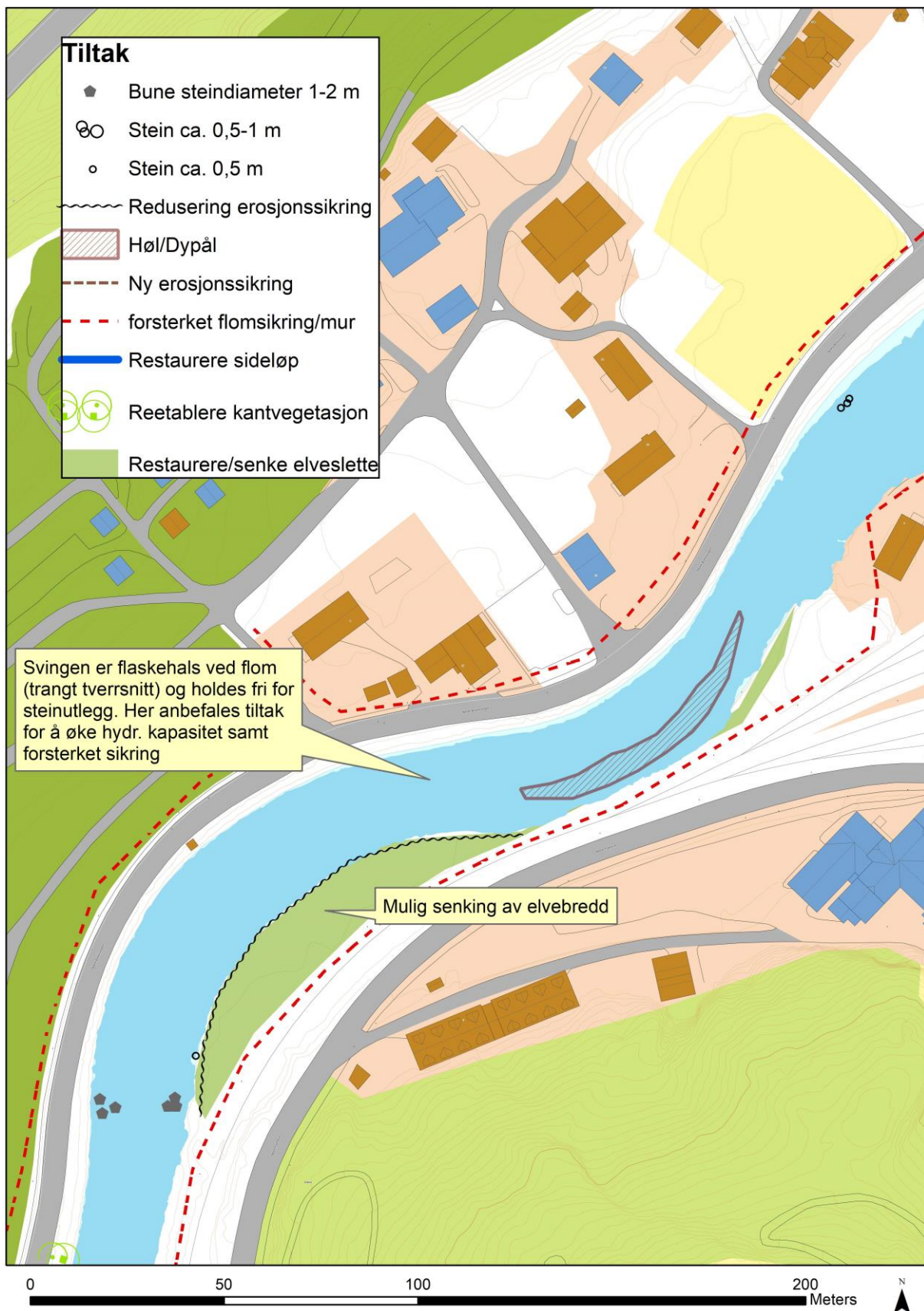
Det foreslås dessuten økning av hydraulisk kapasitet ved utvidelse av flomløpet. Dette er mulig på østbredden mellom elva og jernbanelinje. Det bør detaljutredes om det er nok eller om også deler av vestbredden bør utvides ved eller under veien. En slik vurdering er også avhengig av hvilke løsninger som velges ang. flomdemping i eksisterende magasiner. Jo større dempingseffekt, jo mindre blir dimensjoneringsbehovet for sikringstiltak og utvidelse ved Kleivi.

Miljøtiltak 2023

Det vurderes forsiktig utgraving av en høl som vist Figur 33, hvis ikke dette er formet av elven innen 2023. Tiltaket vil bidra til den naturtypiske morfologien i den ellers homogene munnings kanalen og vil også øke avløpstverrsnittet i liten grad.

Material:

Material	Størrelse /diameter	Antall
Rullestein (avrundet)	Ca 0.5 m	Stedegne masser
Masseoverskudd	1-50 cm	Opptil ca. 50 m ³



Figur 33. Kart med tiltaksbeskrivelser av tiltaksområde Flåm sentrum.

4.1.6 Strekning 6: Deltaområdet

Ved utløpet av Flåmselvi (Figur 32) til sjøen er et opprinnelig deltaområde endret av forbygning og kanalisering. Å delvis reetablere et deltaområde her vil bidra å bedre miljøtilstand og nærmiljøet for folk, men også bidra øke hydraulisk kapasitet. Deltaområder kan være viktige habitater for blant annet fisk og en rekke fuglearter. Området kan bygges opp som en elvepark som gir rekreasjonsmuligheter for både turister og fastboende i Flåm. For å gjenskape et deltaområde må det graves ut flere små sideløp og dagens sikring må reduseres i selve elvemunningen (se Figur 34). Uønsket sedimentasjon i munningen kan håndteres ved passende utforming av elvekanten til deltaområdet. En ny sikring legges i bakkant av det restaurerte deltaet i områdene hvor det er nødvendig med beskyttelse (mer langsiktige B-tiltak). Etter samtale med Aurland kommune ble arealet til elvepark valgt mindre i denne omgangen (Figur 34) enn foreslått i det opprinnelige overordnede scenarioet (Figur 27).

Miljøtiltak 2023

I elveløpet anbefales det spredte variasjoner i steinbunnen (uten å endre erosjonssikring eller innsnevre avløpstverrsnitt) for å bryte opp det kanaliserte preget og skape litt variasjon – men uten å tilføye masser og endre hydraulisk kapasitet. Kantvegetasjonen bør reetableres langs hovedelven som vist i Figur 32.

Material	Størrelse /diameter	Antall
Rullestein (avrundet)	Ca 0.5 m	Stedegne masser
Småtrær (selje og or) med inngjerding	0.5-1 m	40 stykk



Figur 34. Kart med tiltaksbeskrivelser av Deltaområdet.

Strekning 6: Deltaområdet

4.1.7 Sammendrag

Tabellen under viser sammendrag av materialbehov fra enkeltstrekningene. Det anbefales en felles befaring med valgt entreprenør før tiltakene begynner for å kunne ta hensyn til lokal utvikling (erosjon i elv, morfologiske endringer, vegetasjon), massebehov og materialkvalitet (steintype og avrunding, trær).

Masseoverskuddet vil delvis bestå av sand, delvis av grus og rullestein. Sanden anbefales solgt eller brukt av entreprenør eller grunneiere for andre formål. Grovmassene anbefales brukt i elva som del av sedimentforvaltning med målrettet tilførsel i øvre elv mellom Steinshølen og Leinafoss (se Figur 28).

Sammendrag materialbehov og masser 2023, Lunde - elvemunning.

Material	Størrelse	Enhet	Strekning						Sum
			1	2	3	4	5	6	
Bunesteiner (avrundet)	1-2 m	stykk	20	10	10	0	0	0	40 st.
Storstein (avrundet)	0.5-1.5 m	m ³	80	80	64	24	0	0	248 m ³
Rullestein (avrundet)	ca 0.5 m	m ³	Stedegne masser						
Masseoverskudd	5-50 cm	m ³	50	50	50	100	50	0	300 m ³
Småtrær med inngjerding	0.5-1 m	stykk	20	40	60	20	0	40	180* st.

*sammen med strekning Lunde-Leinafoss (200 stk.) vil det samlede behovet ligge ved 380 stk.

4.1.8 Øvre strekning Lunde-Leinafoss: Vedlikehold og kantvegetasjon

Ovenfor Lunde ble det gjennomført fysiske miljøtiltak i Flåmselva i årene 2015-2017 i regi av NVE og denne strekningen er i utgangspunktet ikke del av forespurt tiltaksområde i det foreliggende prosjektet. Likevel vil vi anbefale å se delstrekningene i sammenheng fordi fisk vandrer mellom de strekningene, det er sedimenttransport fra det området og fordi forslaget om en sedimentforvaltning inkluderer hele strekningen nedenfor Leinafossen. Dessuten gjenstår reetablering av kantvegetasjon i øvre del og det lar seg med fordel kombinere med treplanting i nedre del.

Først og fremst foreslås følgende tiltak i øvre strekningen:

Miljø

Vedlikehold av eksisterende miljøtiltak dvs. oppfølging og ved behov mindre justeringer i og grusutlegg og steinutlegg i henhold til opprinnelige planer (Pulg et al. 2016) og vanlige vedlikeholdsrutiner (Pulg et al. 2018). Det vanlige vil være etterfylling av grus og rullestein siden naturlig massetransport ovenfra (dam Leinafossen) og fra siden (erosjonssriking) er redusert. Dessuten vil uønsket opphoping av sedimenter i flaskehals (f.eks. ved broer) kunne justeres. Også plastring og erosjonssikring bør sjekkes og vedlikeholdes ved behov. Ved Flåm kirke, nedenfor Leinafossen og Brekke bru ble det

allerede observert erosjon i sikring. En slik vedlikehold kan gjennomføres etter større flommer eller i 5-10 års intervaller og vil bidra til å sikre miljømessig funksjonsevne, men vil også kunne sikre avløpskapasitet og flomverk og med dette redusere flomfare.

Kantvegetasjon: Siden 2015 er det bare enkelte steder der busker og trær har fått vokse opp. Mangel på næringstilførsel fra trær (blader, kvister og insekter) bidrar mest sannsynlig å begrense fiskeproduksjon i den næringsfattige Flåmselva. El-fiskedata viser at de høyeste ungfisktettheter finnes i strekninger med kantvegetasjon og variert skjulrikt bunnsubstrat inkludert store stabile stein (eksempler på stasjonen «Ægir» og «Grindahølen»). Det anbefales å gjennomføre en styrt reetablering av kantvegetasjon, ved inngjerding av kantsoner som beskyttelse mot beitedyr og planting av stedeegne trearter slik som selje- og orarter. For hele strekningen mellom Lunde og Leinfossen foreslås å plante 200 trær med tilhørende sikring.

Flomrisikohåndtering

Basert på analysene og hydraulisk modellering (se kap. 3) foreslås på sikt å utvide aktivt elveløp og elveslette på utvalgte kritiske steder (Figur 28). Dette vil bidra til hydraulisk avlastning av infrastruktur og bosetting. Andre erosjonsutsatte områder foreslås bedre sikret (røde linjer i planen). I hovedsak gjelder det en forsterkning av erosjonssikringen slik at erosjon ved underspyling eller overtopping unngås.

5 Referanser

- Pulg U., Stranzl S., Gabrielsen S-E. (2014). Miljøvennlig utforming av Flåmselva ved strakstiltak etter flommen oktober 2014. LFI Uni Miljø - Notat 15.11.2014
- Pulg, U. (2015) Ekstremflom – katastrofe eller..?, web-artikkel Norske Lakseelver, tilgjengelig fra: <https://lakseelver.no/nb/news-2015/ekstremflom-katastrofe-eller>
- Pulg U., Stranzl S., Olsen E. (2016). Habitatforbedrende tiltak i Flåmselva 2015-2016. Notat 7/2016
- Pulg, U., Hauer, C., Floedl, P., Skoglund, H., Postler C., Stranzl, S., Espedal, E.O, Velle, G. 2022: Flom og miljø i et endret klima. NORCE LFI rapport 358. Norwegian Research Center LFI, Bergen.
- Hellen B.A. , Sægrov, H. , Kålås, S., Urdal, K. 2007: Fiskeundersøkelser i Aurland og Flåm. Rådgivende Biologer rapport Nr. 976. Bergen
- Domaas, U. Høyda Ø. G. 2018: Vern av liv og helse i Flåm I Aurland kommune Flom, erosjon, flomskred og varsling. NGI. Foredrag på flomseminar 13.04.2018, Aurland kommune