

2021:00197 - Åpen

# Rapport

## Miljøkartlegging Nyset

### Forfatter(e)

Ana Adeva-Bustos (SINTEF)

Knut Alfredsen (NTNU)

Bendik Hansen (SINTEF)

Mahmoud Awadallah (NTNU)



*Hans-Petter Fjeldstad*



# Rapport

## Miljøkartlegging Nyset

**VERSJON**

5

**DATO**

2021-02-16

**FORFATTER(E)**

Ana Adeva-Bustos (SINTEF)

Knut Alfredsen (NTNU)

Bendik Hansen (SINTEF)

Mahmoud Awadallah (NTNU)

**OPPDRAGSGIVER(E)**

Østfold Energi

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Magne Netland

**PROSJEKTNR**

502002597

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

27+ vedlegg

**SAMMENDRAG**

Grunnet flom i Nysetelva på senhøsten 2018 gjorde representanter fra grunneierne, Østfold Energi (ØE) og NVE en befaring i 2019 for å vurdere konsekvensene med hensyn til endringer/gjengroing i elveløpet og terskler i nedre del av elva. Med dette som bakgrunn ønsker ØE en oppdatert kartlegging og vurdering av miljøforholdene i Nysetelvi via en analyse av hydrologiske forhold, samt hydrauliske analyser for å evaluere fiskehabitat og hvordan økt vegetasjon og flomsikring påvirker flom i vassdraget.


Resultatene indikerer svært reduserte lavvannføringer etter regulering, som i de hydrauliske simuleringene periodevis gir tilnærmet tørre elveleier og ugunstige forhold for fisk.

Det var ingen indikasjon på at den økte vegetasjonen langs og i elveleiet påvirket flommen i 2018. Flommen førte til mobilisering og redistribusjon av løsmasser i elven, og hadde også nok krefter til å flytte større blokker. Vannføringen ble regnet ut til å være relativt lav, godt under vannføringen for årsflom før regulering. En hydraulisk simulering av flommen i 1971 viste at vannet ikke gikk over vollene på den vestlige siden av elven, men modellen indikerer at vann trenger gjennom vollene på den østlige siden. Det vil kreve mer detaljerte studier for å komme til en konklusjon om hva som forårsaker det.

Basert på studiene i rapporten anbefaler vi fjerning av noe av den døde vegetasjonen i og rundt elveleiet for å forhindre flomproblematikk, samt overvåking og muligens begrensning av gjengroingen som finner sted i elveleiet. Modifisering, fjerning eller bygging av ytterligere terskler i nedre del av elva virker ikke som et tiltak som kan forbedre tilstandene for fisk med det nåværende hydrologiske regimet i elva.

**UTARBEIDET AV**

Ana Adeva-Bustos

**SIGNATUR**

Ana Adeva-Bustos (Feb 17, 2021 12:29 GMT+1)

**KONTROLLERT AV**

Oddbjørn Bruland

**SIGNATUR****GODKJENT AV**

Knut Samdal

**SIGNATUR**

Knut Samdal (Feb 19, 2021 08:58 GMT+1)

**RAPPORTNR**

2021:00197

**ISBN**

978-82-14-06454-4

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1	2020-12-020	Oversendt til kvalitetssikrer på NTNU
2	2021-01-26	Oversendt oppdragsgiver for kommentarer
3	2021-02-09	Oversendt oppdragsgiver etter kommentarer
4	2021-02-12	Oversendt oppdragsgiver etter kommentarer fra NVE
5	2021-02-16	Endelig versjon

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning og bakgrunn .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Metode og resultater.....</b>	<b>7</b>
2.1	Hydrologisk modellering og vurdering av vannføringsforhold og flomstørrelser .....	7
2.2	Oppsett av hydraulisk modell for evaluering av habitat med lavvannføring .....	15
2.3	Oppsett av hydraulisk modell for evaluering av effekten av vegetasjon og flomsikring på flom .....	19
<b>3</b>	<b>KONKLUSJON.....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>Vedlegg .....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>REFERANSER.....</b>	<b>32</b>

## 1 Innledning og bakgrunn

Senhøsten 2018 var det flom i Nysetelvi, som ifølge grunneiere har medført endringer i nedre del av elva, spesielt i form av nye grusmasser som har lagt seg opp på strekningen mellom Veidehølen og sjøen, en strekning på omkring 3.8 km og med et samlet fall på ca. 275 meter (Figur 2). For å vurdere konsekvensene av den nevnte flommen ble det 19. mars 2019 gjennomført en befaring med representanter fra grunneiere, regulant (Østfold Energi) og NVE. Hovedtema for befaringen var:

- endringer og gjengroing i elveløpet
- terskler i nedre del av elva (2 stykker)

Konsesjon til erverv og regulering av Nyset-Steggjevassdragene ble gitt 19.12.1983, og det ble samtidig satt i gang arbeid med en terskelplan med følgende mål:

- *etablering av kulpar som med elva sitt minimums-vassnivå held oppe eit stabilt vassvolum*
- *eit auka vassdekt areal ved det som årvisst er lægste vasstand i elva*
- *at kulpane får eit vassvolum som er tilstrekkeleg til at både større og mindre fisk kan overleve om vinteren*
- *betre tilhøve for reproduksjon og oppvekst av fisk*
- *betre tilhøve for utøving av fisket*
- *reetablering av eit «levande elveløp»*

I alt ble det kun bygget 2 terskler i 1992, som regulanten deretter skulle ha vedlikeholdsansvar for (Figur 1). Disse skulle i utgangspunktet danne grunnlag for å bygge ytterligere 3 terskler, men disse har ikke blitt bygget.



**Figur 1** Skyggerelieff fra laserkartlegging av Nedre del av Nysetelvi (nedenfor bilveien) som viser de to tersklene fra 1992

Problemområder beskrevet i historisk korrespondanse:

- Løsmasseoppfoping. Redusert transportevne i elveleiet
- Gjengroing og høyvokst skog fra Naddvik kraftstasjon og ned til sjøen (flomfare)
- Spørsmål om trefjerning nedenfor brua kan være hensiktsmessig
- Uklart hvilket ansvar Østfold Energi (ØE) har for tersklene, og hvilken funksjon de har
- Reproduksjon av fisk ønskelig. Nedre terskel for høy

I etterkant av flommen reiser grunneierne følgende spørsmål

- Hva var årsakene til flommen
- Hvilke konsekvenser har denne flommen fått
- Hvilket ansvar har de ulike aktørene for og i denne situasjonen

Videre ønsker de:

- En vurdering av tiltak for gjenoppretting av elveløpet
- Hogst langs elveløpet sør for brua
- Fjerning av grusmasser i elveløpet
- Vurdering av flomløpskapasiteter
- Vurdering av jordbruksvanningsanlegget i tilknytning til elveløpet
- Vurdering av forebyggingstiltak, f.eks. om plastring av elva er tilfredsstillende i elveløpet

Med bakgrunn i teksten over ønsker Østfold Energi å gjennomføre et prosjekt som på bredt faglig grunnlag utfører en oppdatert kartlegging og vurdering av miljøforholdene i Nysetelvi. For å oppnå dette målet blir følgende aktiviteter utført i dette prosjektet:

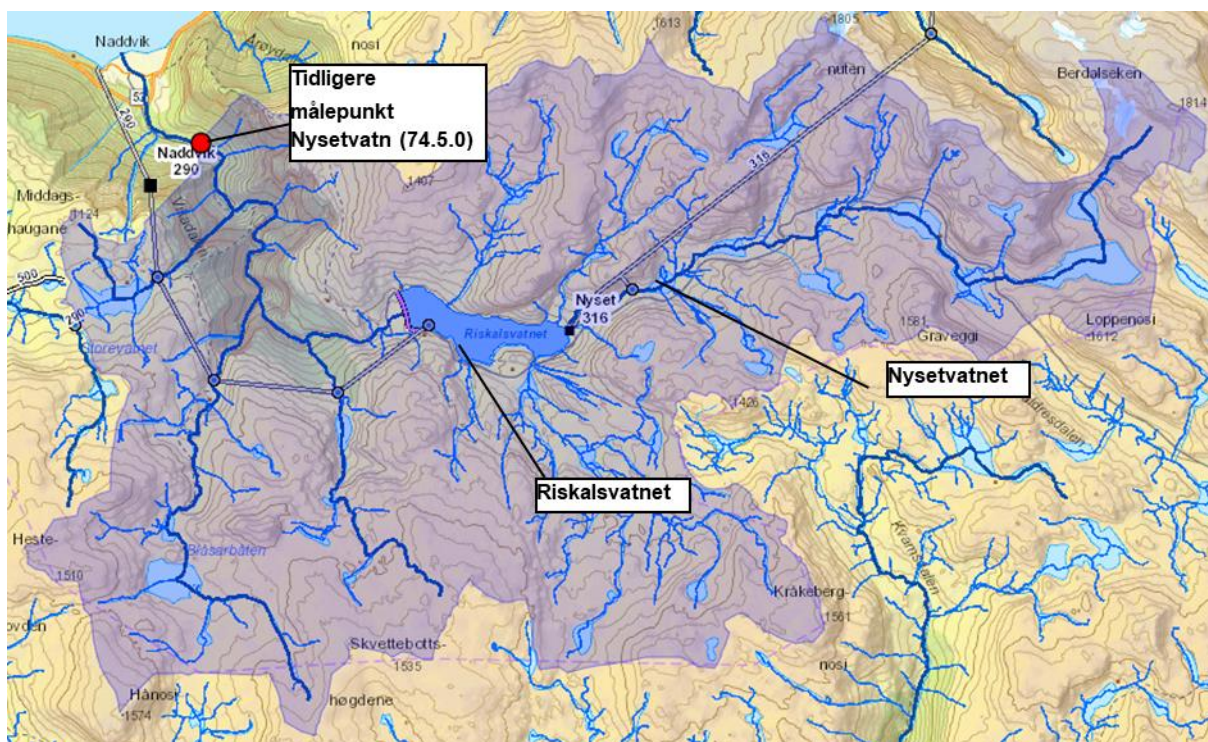
1. Hydrologisk modellering og vurdering av vannføringsforhold og flomstørrelser
2. Oppsett av en hydraulisk modellering for:
  - evaluering av habitat med lavvannføring
  - evaluering av effekten av vegetasjon og flomsikring.

## 2 Metode og resultater

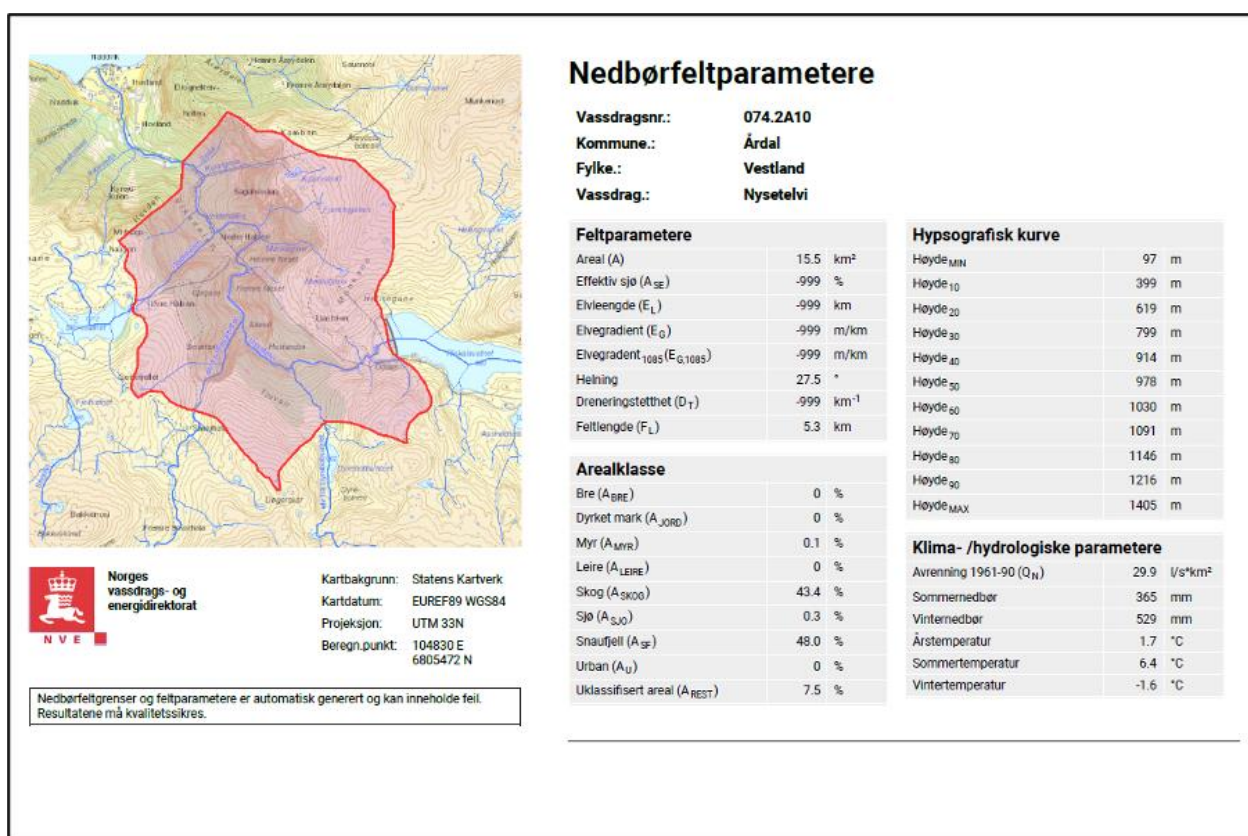
### 2.1 Hydrologisk modellering og vurdering av vannføringsforhold og flomstørrelser

For å kunne vurdere vannføringen i lavvanssperioder i Nysetelvi har vi etablert en vannføringsserie for restfeltet nedstrøms Riskalsvatnet og for bekkeinntakene til Naddvik kraftverk. I perioden 1956 – 1989 var målestasjonen Nysetvatn (74.5.0) i drift i Nysetelvi. Denne ble lagt ned få år etter reguleringen. Data fra stasjonen i regulert periode fra 1987 – 1989 virker heller ikke pålitelige på grunn av veldig skarpe endringer og langt høyere vintervassføring enn før regulering. Fra 1990 er det opprettet en ny stasjon Nysetvatn (74.24.0) som ligger oppstrøms Riskalsvatnet. For å finne en lang nok serie etter regulering for det uregulerte feltet for Nysetelvi må vi derfor hente denne fra et annet felt.

Restvannføringen i Nysetelvi etter reguleringen består av lokaltilsiget fra restfeltet nedstrøms Riskalsvatnet og bekkeinntakene ved Dyrebotnsvatnet, Smørholeelvi og Veidelsgrovi, i tillegg til overløp i bekkeinntak og overløp og forbitapping i Riskalsvatnet. Restfeltet ble funnet ved å bruke NVE sitt program Nevina. Overløp og forbitapping ifra Riskalsvatnet og bekkeinntak vil i all hovedsak skje i flomsituasjoner. Når man i dette prosjektet først og fremst er interessert i vannføring i lavvanssperioder så vil ikke dette få betydning. Dataene er likevel sjekket for slike hendelser ved at prosjektet har tilgang til informasjon om overløp fra Riskalsvatnet fra Østfold Energi. Disse tyder på at overløp herifra og fra bekkeinntakene sjelden oppstår. Det uregulerte lokalfeltet til gamle Nysetvatn målestasjon er vist i Figur 3. Det totale feltarealet til restfeltet til Nysetelvi er på 15.5 km<sup>2</sup>.



Figur 2 Oversikt over Nyselva nedbørfelt.



Figur 3 Nedbørfelt og feltparametre for det uregulerte restfeltet i Nyselvi.



For å finne avrenningen fra restfeltet ble tre ulike metoder undersøkt:

1. kalibrering av modell for Nysetvatn før regulering og så bruk av denne modellen til å simulere restfelt etter regulering.
2. skalering av tilsiget fra sammenlignbare felt.
3. simulert tilsig basert på hydrologisk modell med parametere hentet fra kalibreringer utført i felt med observert tilsig og sammenlignbare karakteristikk (regionalisering).

Skalering er en vanlig måte for å flytte data til umålte felt ved å finne et nabofelt som ligner på det umålte og så skalere tilsiget fra dette basert på forholdstallet mellom spesifikk avrenning og arealet for de umålte og målte feltene. Disse dataene hentes fra NVE sine avrenningskart i NEVINA.

$$Q_{m\ddot{a}lt} = \frac{F_{m\ddot{a}lt} \cdot A_{m\ddot{a}lt}}{F_{um\ddot{a}lt} \cdot A_{um\ddot{a}lt}} Q_{um\ddot{a}lt}$$

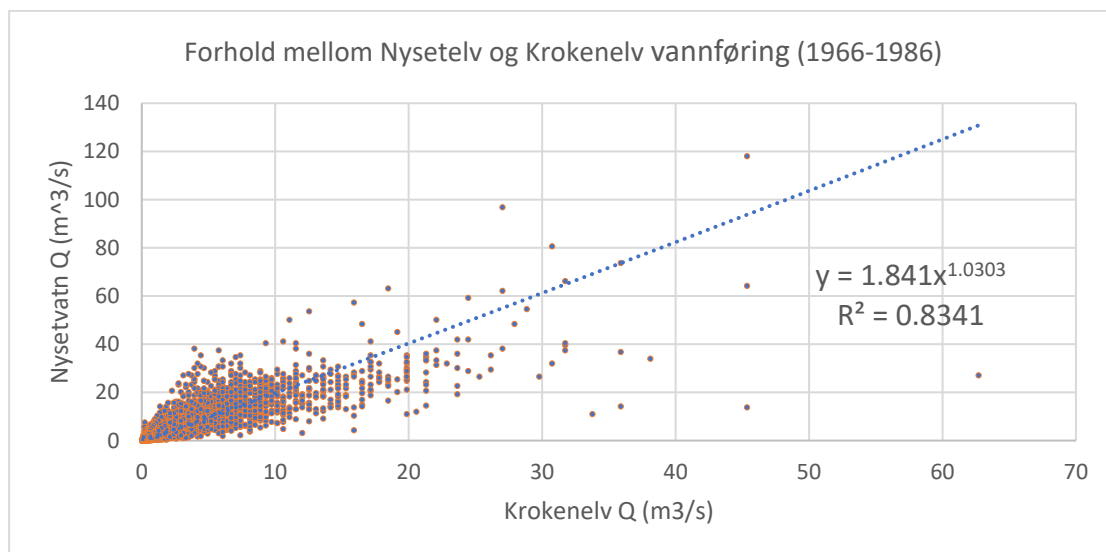
Der Q er vannføring, F er spesifikk avrenning og A er feltareal.

### Kalibrert HBV modell

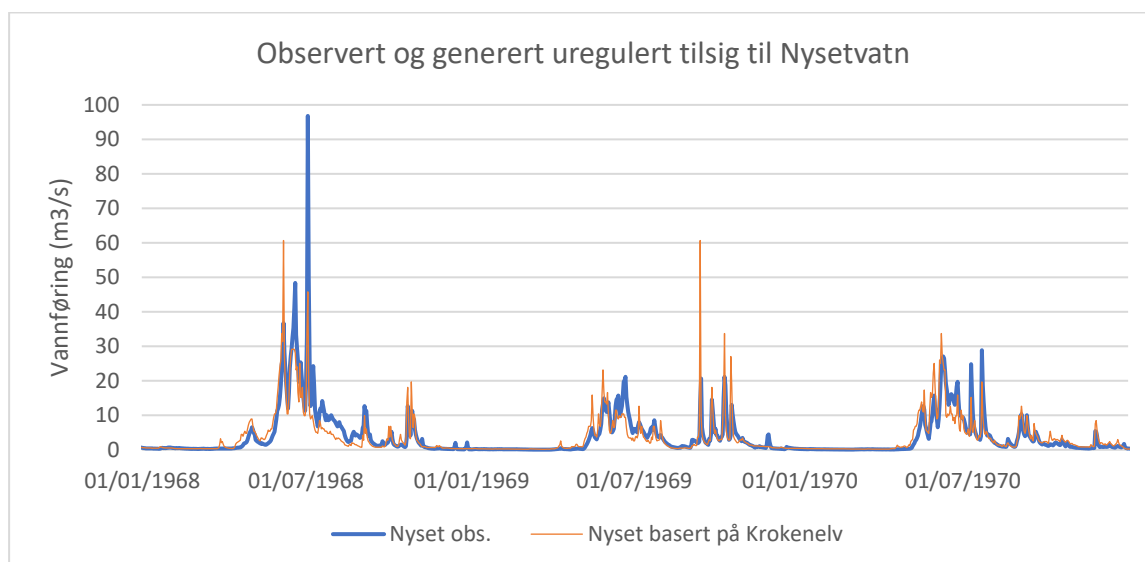
HBV modellen er kalibrert og validert for Nysetvatn for perioden fra 1971 – 1981. Kalibrering ga forklart varians på 0.72. Vi brukte så denne modellen til å simulere perioden fra 1990 til 2020 for feltet, og så skalerte vi denne til restfeltet ved å bruke samme metode som for skalering fra nærliggende felt.

### Skalering basert på Krokenelv

For skalering av tilsig brukte vi feltet Krokenelv (75.23.0) i Luster. Dette feltet har relativt lik høydefordeling og arealbruk, men større spesifikk avrenning og areal. For å få mest mulig utbytte av den observerte dataen fra den nedlagte målestasjonen Nysetvatn fant vi først forholdet mellom uregulert tilsig til Nysetvatn og Krokenelv (Figur 4). Dette forholdet ble så brukt for å generere en uregulert tilsigsserie for Nyset (1966-2020) basert på den observerte vannføringen ved Krokenelv. Denne tilsigsserien for Nyset ble så skalert ned til det uregulerte feltet basert på skaleringsligningen ovenfor for å generere uregulert resttilsig. Tilsigsserien ble også skalert til feltene for bekkeinntakene. Denne metoden presterer godt for lavvannføring (Figur 5), men flomvannføringer må valideres før de kan bli anvendt, ettersom det kan være store lokale variasjoner i nedbør. Resultatene ble brukt for IHA analysen med fokus på lavvannsindeks og for skalering av flommen i 2018 (med ekstra validering for å sjekke at flommen i Krokenelv ikke undervurderte vannføringen i Nysetelvi). Den observerte uregulerte tilsigsserien for Nyset ble ikke direkte anvendt i IHA analysen ettersom det er viktig å sammenligne regulerte/uregulerte serier som er generert med samme metode.



**Figur 4** Forhold mellom observert vannføring i Krokenelv og Nysetelvi.



**Figur 5** Sammenligning av observert og generert vannføring for Nysetelvi, basert på observert vannføring i Krokenelv (utsnitt). NSE for perioden 1966-1986 = 0.65.

Vi ser at metoden ikke alltid treffer på flom, mens for lavvann stemmer skaleringa rimelig bra (total NSE = 0.65 for 29 år med observert vannføring før regulering). I og med at vi først og fremst er ute etter å finne verdier for lavvann, så ser vi dette som en rimelig skalering siden perioden med lavvann stemmer bra mellom observert og skalert og vi bruker så dette for å lage en langtidsserie for restfeltet til Nysetelvi.

### Regionaliseringsmetode

Den alternative måten er å bruke en regionaliseringsmetode basert på fysisk likhet. Ved NTNU er det laget en database som inneholder feltparametre for 101 uregulerte, målte små nedbørfelt som alle er kalibrerte ved hjelp av HBV modellen (Abdalla, 2019). Vi kan da finne felt som likner på Nysetelvi i denne databasen for så å modellere Nysetelvi med parametre hentet fra de like feltene. Metoden kan brukes både gjennom å overføre modellparametre fra et enkelt felt eller ved å overføre fra flere like felt. I det siste tilfellet bruker vi et gjennomsnitt av modellparametrene fra de like feltene eller vi midler vannføringen simulert med alle parametersettene.

Likhet mellom felt er målt gjennom en likhetsindeks:

$$SI = \sqrt{\sum_{j=1}^N \frac{(x_{a,j} - x_{b,j})^2}{\sigma_{x,j}}}$$

SI er likhetsindeksen, den skal være så liten som mulig.  $X_a$  er verdi på feltparameter for umålt felt,  $X_b$  er verdi på feltparameter for målt felt og  $\sigma$  er standardavviket for alle målte felt. Feltparametrene som er brukt i sammenligninga er vist i Tabell 1.

**Tabell 1 Feltparametre brukt i sammenligning av felt.**

Gruppe	Param	Beskrivelse	Enhet	Kilde
Geometri	A	Areal	km <sup>2</sup>	GIS
	As	Synsvinkel (aspect)	-	
	Re	Relieff	-	
	Mg	Helning	-	
	Me	Snitthøyde	m	
Arealbruk	L	Sjøprosent	%	NEVINA
	G	Breprosent	%	
	F	Skogprosent	%	
	CL	Jorbruksland	%	
	M	Myr	%	
	B	Fjell	%	
	U	Bebyggd/Urban	%	
	EL	Effektiv sjøprosent	%	
Klima	Mp	Årsnedbør	mm	SeNorge
	Mt	Gjennomsnittstemperatur	°C	
	SR	Spesifikk avrenning	l/s*km <sup>2</sup>	Nevina
Elv	SD	Tetthet elvenettverk	km/km <sup>2</sup>	GIS

Vi har så tatt ut tilsvarende feltparametere for feltet til Nysetelvi og funne de 10 feltene i databasen som er mest like. Vi har videre simulert avrenning for Nysetelvi basert på 10 parametersett og vektet sammen disse til den endelige vassføringsserien for Nysetelvi. Vekt faktoren er sett opp slik at det feltet som er mest likt får størst vekt.

$$w_j = \frac{SI_{(N-j)}}{\sum SI}$$

J – rangnummer for nedbørfelt (j=0 .. N), N – rangnummer for feltet som har best likhetsindeks SI, (N=9 i dette tilfellet, SI – likhetsindeksen).

Temperatur- og nedbørdata for HBV modellering er hentet fra SeNorge (<http://www.senorge.no/>) som et rutenett. Det er antatt at data fra cellen som ligger i midten av nedslagsfeltet vil være representativt for hele feltet. Dataene i SeNorge blir funnet ved å interpolere de nærliggende klimastasjonene.

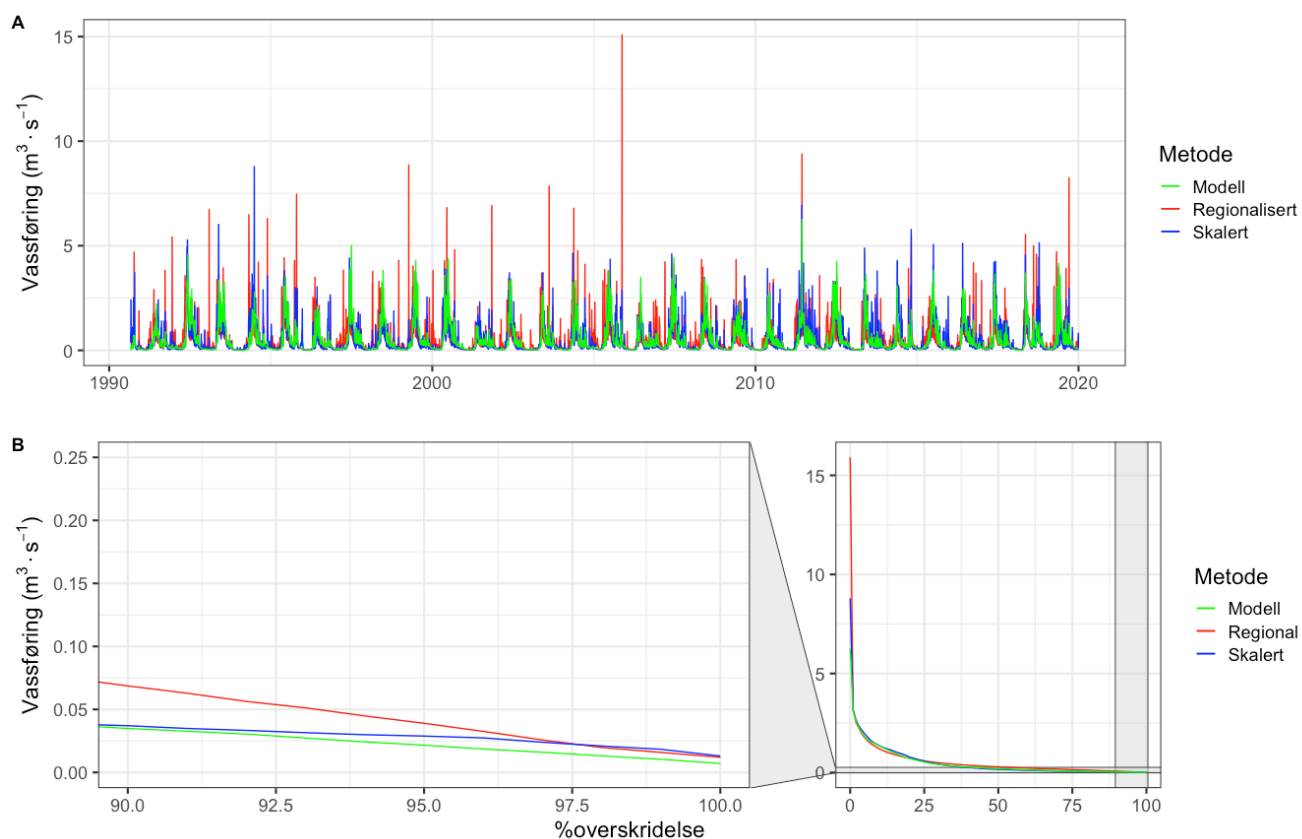
Trenger også maksimums- og minimumstemperatur, i tillegg til gjennomsnittstemperaturen. Siden disse ofte ikke måles eller beregnes, ble de erstattet med gjennomsnittstemperaturen.

### Sammenligning

Tilsiget til Nysetvatn for studieperioden for de tre metodene er vist i Figur 6, med hydrogrammet i panel a) og varighetskurve i panel b). Vi ser at det er en del avvik mellom hydrogrammene metodene produserer, hovedsakelig for høye vannføringer, men og noe på når vannføringer oppstår. Vi ser blant annet at serien som er basert på likhetsindeksen finner en flomepisode i november 2005 som vi ikke ser i den skalerte serien. Dette er forventet, ettersom det kan oppstå lokale flommer i Nysetelvi uten at det finnes tilsvarende flommer i Krokenelv.

Et vanlig mål på lavvann er Q95 (som tilsvarer 5% percentilen) og fra varighetskurven så finner vi denne til å være 21 l/s fra serien som er modellert for restfettet, 27 l/s basert på den skalerte tidsserien fra Krokenelv og 38 l/s basert på den regionaliserte verdien. Dette er årsverdier basert på hele serien. En mulig sammenligning er nabofeltet i Årøydalen som etter NVE sine regresjonsformler i Nevina gir 1.1 l/s\*km<sup>2</sup> for et felt som er mindre men har lik høydefordeling. Om vi bruker samme spesifikke avrenning for Nysetelvi skulle dette tilsvare 17 l/s. En annen mulig sammenligning er å bruke NVE sine verdier for hele feltet til Nysetelvi. Her har vi en årsverdi på 2.1 l/s\*km<sup>2</sup>, noe som vil tilsvare en vannføring på 33 l/s.

Sammenligningene over er alle gjort på årsverdier, men ifølge Nevina er det vinter som er sesong for lavvann i dette området. Det betyr en noe lavere verdi for Q95.



**Figur 6** Genererte serier for Nysetvatn, med varighetskurve (1990-2020).

### Indicators of Hydrologic Alteration (IHA)

For å vurdere vannføringsforholdene ved lavvann i vassdraget er det gjort en hydrologisk indeksanalyse (IHA) (Richter et al., 1996, se også Forseth and Harby, 2014 Miljødesignhåndboken) Vi har brukt den skalerte tilsigsserien (basert på Krokenelv) for restfeltet for den uregulerte perioden 1966-1986 og den regulerte perioden 1986-2020. Resultatene fra denne analysen er oppsummert i Tabell 2. I denne analysen er ikke overløp lagt til i den regulerte serien så det er kun lavvannsverdier som er relevante for sammenligning

**Tabell 2 Hydrologisk variasjonsanalyse for Nysetelvi.**

	Nysetelvi, skalert fra Krokenelv		
	Før regulering (m <sup>3</sup> /s)	Etter regulering (m <sup>3</sup> /s)	Endring (%)
Gjennomsnittlig vannføring hele året	4.75	0.47	-90%
Gjennomsnittligvannføring på sommeren	8.42	0.85	-90%
Gjennomsnittligvannføring på vinteren	1.63	0.16	-90%
Gjennomsnittligvannføring i gyteperioden*	4.46	0.28	-94%
Q95 hele året	0.21	0.02	-90%
Q95 sommer	0.91	0.08	-91%
Q95 vinter	0.18	0.02	-89%
Minste ukemiddelvannføring, sommer	1.18	0.12	-90%
Minste døgnsmiddelvannføring, sommer	0.97	0.09	-91%
Minste ukemiddelvannføring, vinter	0.23	0.03	-87%
Minste døgnsmiddelvannføring, vinter	0.22	0.03	-86%
Minste ukemiddelvannføring i gyteperioden*	2.23	0.16	-93%
Minste døgnmiddel vannføring i gyteperioden*	1.30	0.09	-93%
Minste vannføring i tidsserien	0.08	0.003	-96%
<i>Vannføring for årsflom</i>	<i>61.32</i>	<i>4.62</i>	<i>-92%</i>
<i>Vannføring for tiårsflom</i>	<i>96.51</i>	<i>6.80</i>	<i>-93%</i>

\*25.10 - 11.11

Fra Tabell 2 ser vi at alle lavvannsføringer er sterkt redusert etter regulering. Minste vannføring over året er på kun 3 l/s. Fra varighetskurven som er basert på 30 år finner vi en minsteverdi på 2 l/s, så vi ser at i flere perioder er elven tilnærmet tørr. Lokale observasjoner av tilnærmet tørr elv bekrefter dette. Den relativt høye prosentvise nedgangen i den laveste målte vannføringen før og etter regulering kommer av at det tilfeldigvis var noen år i perioden etter regulering hvor Krokenelv hadde en spesielt lav verdi for den laveste målte vannføringen, men konklusjonen om at den absolutt laveste vannføringen går fra flere titalls l/s til noen få l/s vil uansett stemme. Q95 basert på de ulike metodene ligger på 20 – 30 l/s som er en verdi som ikke vil gi vanndekket areal over hele elvestrekningen, se kapittel 2.2.

### Hovedfunn for lavvannføring fra IHA-analysen:

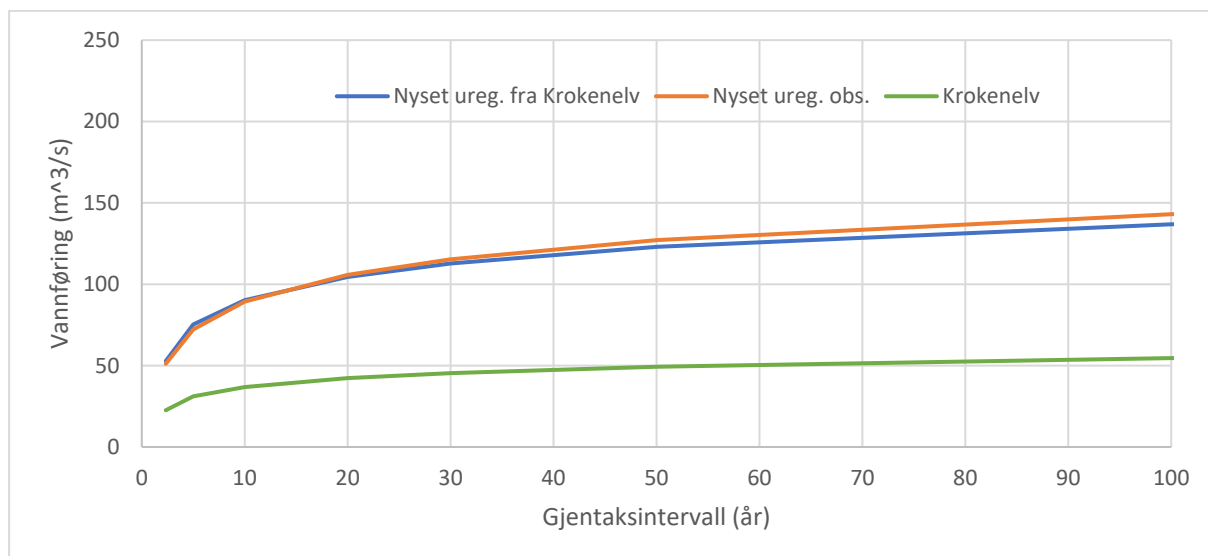
- Alle indikatorene har blitt redusert med ca. 90%
- Den absolutt laveste vannføring i to de analyserte periodene går fra flere titalls l/s til noen få l/s.
- Lavvannføring generelt er redusert fra flere hundre liter i sekundet til noen få titalls liter i sekundet

### Flom 2018

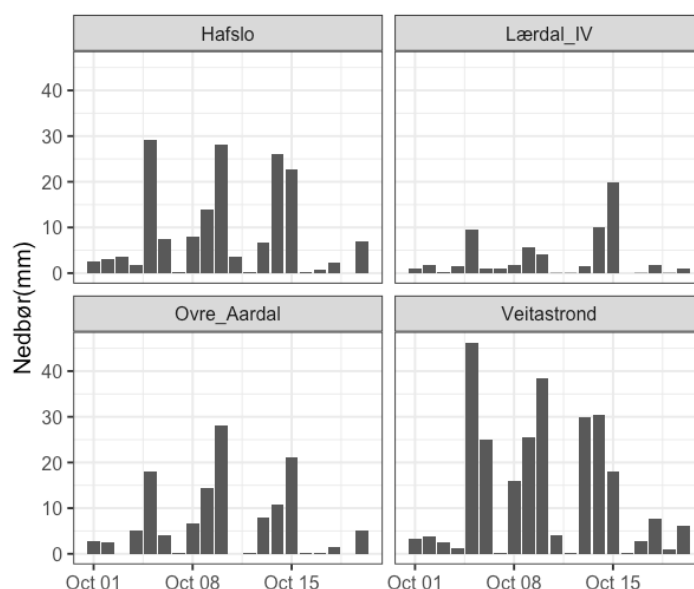
*Merknad: vi valgte å bruke den genererte tidsserien for Nysetelvi basert på Krokenelv som basis for flomberegningen. HBV-modellen kalibrert på den observerte uregulerte dataen fra Nysetvatn reproduserte ikke flommene tilstrekkelig, og det var usikkerhet rundt simuleringene med den regionaliserte metoden. En undersøkelse av den målte nedbøren rundt Krokenelv og Nysetelvi (Figur 8) viste at det er liten sannsynlighet for at denne tidsserien undervurderte flommen.*

En del av dette oppdraget var en vurdering av flommen i Nysetelvi høsten 2018. Østfold Energi registrerte en vannstand på 980.67 i Riskalsvatnet den 15/10. Dette tilsvarer et overløp på ca. 17 m<sup>3</sup>/s. Det uregulerte tilsiget til den nedlagte målestasjonen Nysetvatn ville vært 50 m<sup>3</sup>/s basert på tilsiget til Krokenelv. Skalert resttilsig til Nysetelvi med døgnoppløsning er 4.9 m<sup>3</sup>/s den 14/10 og 2.2 m<sup>3</sup>/s den 15/10. For å finne en momentanverdi som kan koples til timesverdien fra overløpet har vi brukt sammenhengen mellom momentanverdi og døgnmiddelverdi for Krokenelv som er gitt i retningslinjene for flomberegninger (Midttømme et al., 2011). Dette gir en skaleringsfaktor på 1.59. Etersom det er mangel på data angående slukeevnen til bekkeinntakene har vi simulert to scenarier: ett uten spill fra bekkeinntakene, og ett der alt tilsiget til bekkeinntakene spilte forbi. I det første scenarioet er den høyeste vannføringen beregnet som summen av det høyeste overløpet fra dammen (17 m<sup>3</sup>/s) og den høyeste kulminasjonsvannføringen i resttilsiget ( $4.9 \text{ m}^3/\text{s} * 1.59 = 7.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , 14/10). Vi brukte vannføringen fra 14/10 med antakelsen om at vannføringen var høy også i de første timene den 15/10, men at det ikke ble reflektert i døgnmiddelverdien. Dette gir en flomvannføring med en momentanverdi på 25 m<sup>3</sup>/s. I det andre scenarioet er den høyeste vannføringen beregnet som summen av overløpet fra dammen (17 m<sup>3</sup>/s), resttilsiget i det uregulerte feltet ( $4.9 \text{ m}^3/\text{s} * 1.59 = 7.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) og tilsiget til bekkeinntakene ( $12 \text{ m}^3/\text{s} * 1.59 = 19.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Dette gir en flomvannføring med en momentanverdi på 44 m<sup>3</sup>/s.

Flomfrekvensanalysen (Figur 7) viser at den beregnede døgnmiddelverdien for flommen i 2018 (50 m<sup>3</sup>/s), dersom den var uregulert, tilsvarer en årsflom før regulering. Den beregnede momentanverdien for flommen i regulert tilstand er altså lavere enn døgnmiddelsverdien for den uregulerte årsflommen, selv i det mest konservative scenarioet (44 m<sup>3</sup>/s). Den observerte vannføringen ved Krokenelv var 24.6 m<sup>3</sup>/s, som også tilsvarer en årsflom i det feltet. Det er usikkerhet rundt beregningen av denne flommen, men en undersøkelse av den målte nedbøren viste at verdiene rundt Krokenelv var høyere enn rundt Nysetelvi. Dette, sammen med metoden for utregning av momentanverdier, antyder at den beregnede flommen for Nysetelvi basert på målt vannføring i Krokenelv sannsynligvis er et konservativt estimat og det er usannsynlig at flomstørrelsen er undervurdert i scenarioet med spill fra bekkeinntakene. Det har ikke blitt gjort en analyse av hvordan Riskalsvatnet ville bidratt til flomdemping i en uregulert tilstand, så vi kan derfor ikke si om vannføringen ut av magasinet ville vært lavere/høyere uten reguleringen. Det vi derimot kan si, er at det ikke er noe i dataene som tyder på at det var en stor flom til å begynne med, og at selv med overløpet fra magasinet ble kulminasjonsvannføringen relativt lav i forhold til selv små og hyppige flommer før regulering.



**Figur 7** Flomfrekvensanalyse for Nysetelvi. Observert vannføring er fra Nysetvatn målestasjon fra før regulering.



**Figur 8** Sammenligning av observert nedbør for meteorologiske målestasjoner i nærheten av Nysetelvi. Årdal og Lærdal ligger nærmest Naddvik, mens Hafslo og Veitastrand ligger nærmere Krokenelv.

## 2.2 Oppsett av hydraulisk modell for evaluering av habitat med lavvannføring

Modellen HEC-RAS ble brukt for å beskrive hydrauliske forhold i vassdraget. Modellen er satt opp for en strekning fra 1.5 km nedstrøms Veidehølen til sjøen. Modellen er basert på en terrengmodell (Figur 9) fra en oppmåling med laserdata fra 2017 fra Høydedata ([www.hoydedata.no](http://www.hoydedata.no)). Terrengmodellen ble kombinert med GPS-punkter som ble tatt under feltarbeidet for å forbedre området rundt de to tersklene.

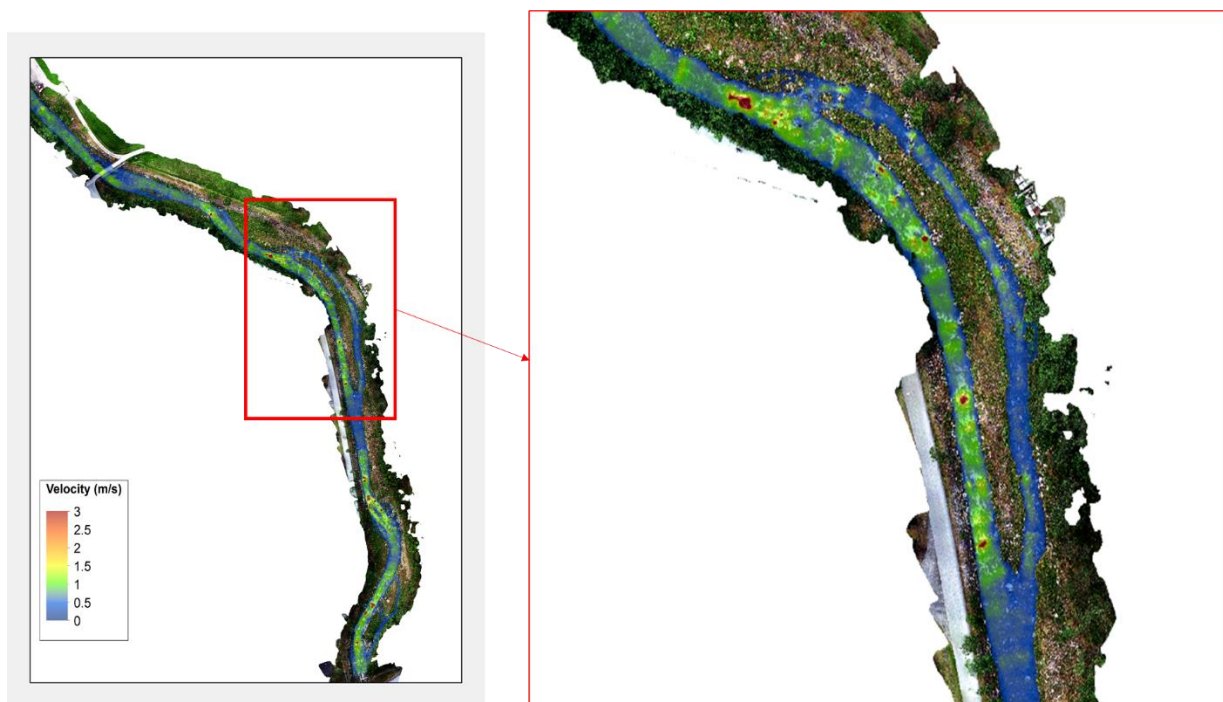


**Figur 9 Venstre: Terskel 1. Høyre: Terrengmodell fra Høydedata kombinert med GPS-punkter fra feltarbeid.**

Den hydrauliske modellen har en oppløsning på 1x1 meter fra nedstrøms broen hvor Fv. 53 krysser elven for detaljert simulering for lavvannføring, og en oppløsning på 1x1 meter og 4x4 meter for flomsimulering oppstrøms. For å gjøre en ytterligere vurdering av modellen har vi sammenliknet simulert vanndekket areal mot en ortofotomosaikk fra drone utført av NTNU i juni 2020. Denne viser at modellen simulerer det vanndekte arealet nøyaktig (Figur 10).

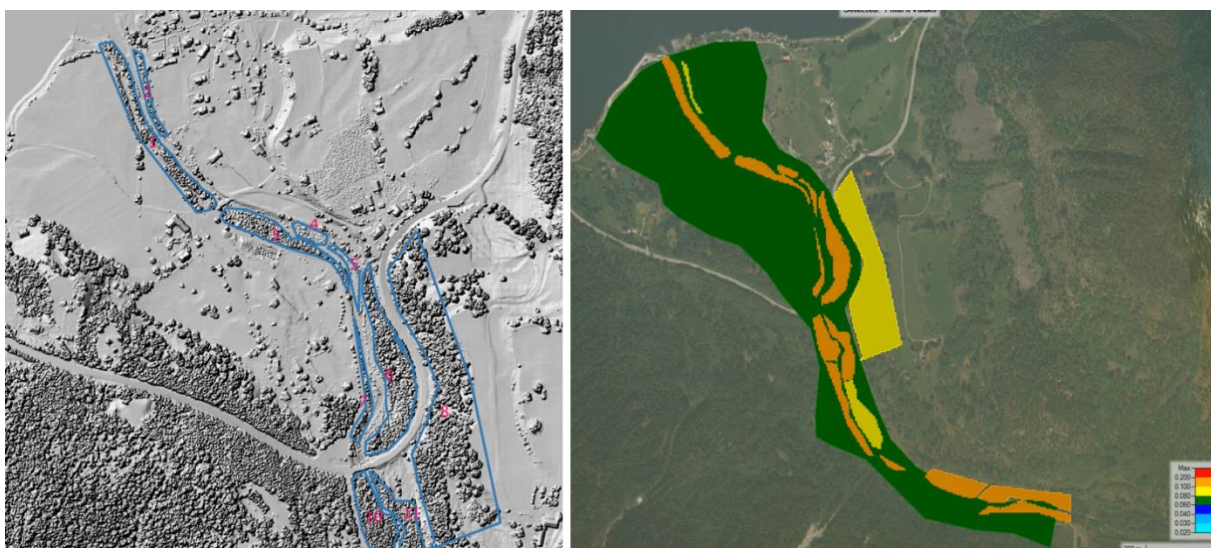






**Figur 10 Sammenligning av observert og simulert vanddekt areal. Den rosa linjen i den øverste figuren viser det simulerte vanddekte arealet lagt oppå bildet av den samme vannføringen. Bildet nederst viser at simulert vannhastighet passer godt med stein o.l. i elva.**

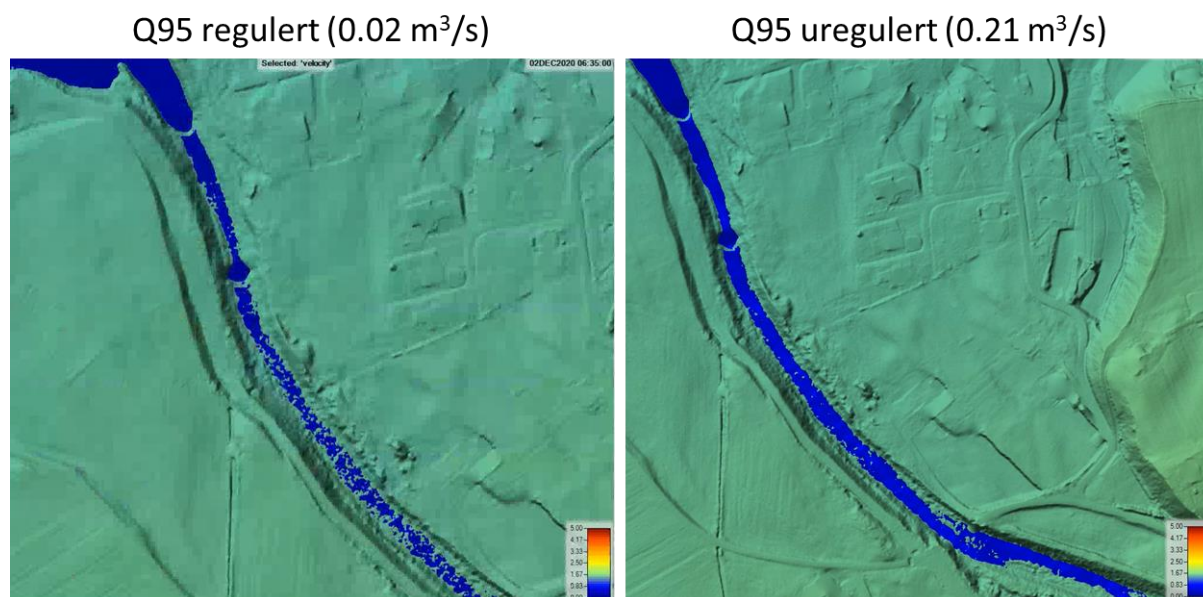
Flere simuleringer ble utført med forskjellige vannføringer: Q95 i dag ( $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$ ), Q95 før regulering ( $0.21 \text{ m}^3/\text{s}$ ), vannføring ved feltarbeid ( $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ), flom i 2018 ( $25 \text{ m}^3/\text{s}$  og  $44 \text{ m}^3/\text{s}$ ), en verdi litt over årsflommen før regulering ( $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ) og flom i 1971 ( $118 \text{ m}^3/\text{s}$ ). I tillegg har vi simulert flommen i 2018 med og uten vegetasjon. For å gjøre det sistnevnte, la vi inn forskjellige Mannings n-verdier i henhold til den estimerte vegetasjonstettheten med bruk av overflateterrengmodell fra høydedata (Figur 11). Mannings-verdier varierer fra 0.06 i midten av elvebunnen (elvekanal i fjell med grus og brostein) til 0.08 og 0.1 i elvekant med busker og høyere motstand (Chow, 1959, HEC-RAS, 2008).



**Figur 11 Definerings av Mannings n-verdier for vegetasjon rundt elva. Bildet til venstre viser områder klassifisert etter vegetasjonstetthet, og bildet til høyre viser de gitte manningsverdiene (grønn = 0.06, gul = 0.08, oransje = 0.1).**

### Lavvannføring

Figur 12 viser resultater fra simuleringen av lavvannføring og en kan se at med Q95 i regulert tilstand er vanndekt areal fragmentert og vannhastigheten veldig lav. Ved Q95 i uregulert tilstand er vannstanden mindre fragmentert og vannhastigheten litt høyere. Selv om habitat basert på skjul ble klassifisert som middels til mye i denne strekningen av NORCE (Gabrielsen et al., 2019), er andre fysiske faktorer som påvirker habitat, som hastigheter og dybder, veldig lave ved så lav vannføring etter regulering ( $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Det er verdt å merke seg at simuleringene med så lav vannføring ikke har vært mulig å validere eller kalibrere, så det kan være at fragmenteringen er større og elveleiet enda tørrere med en vannføring på  $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$ .

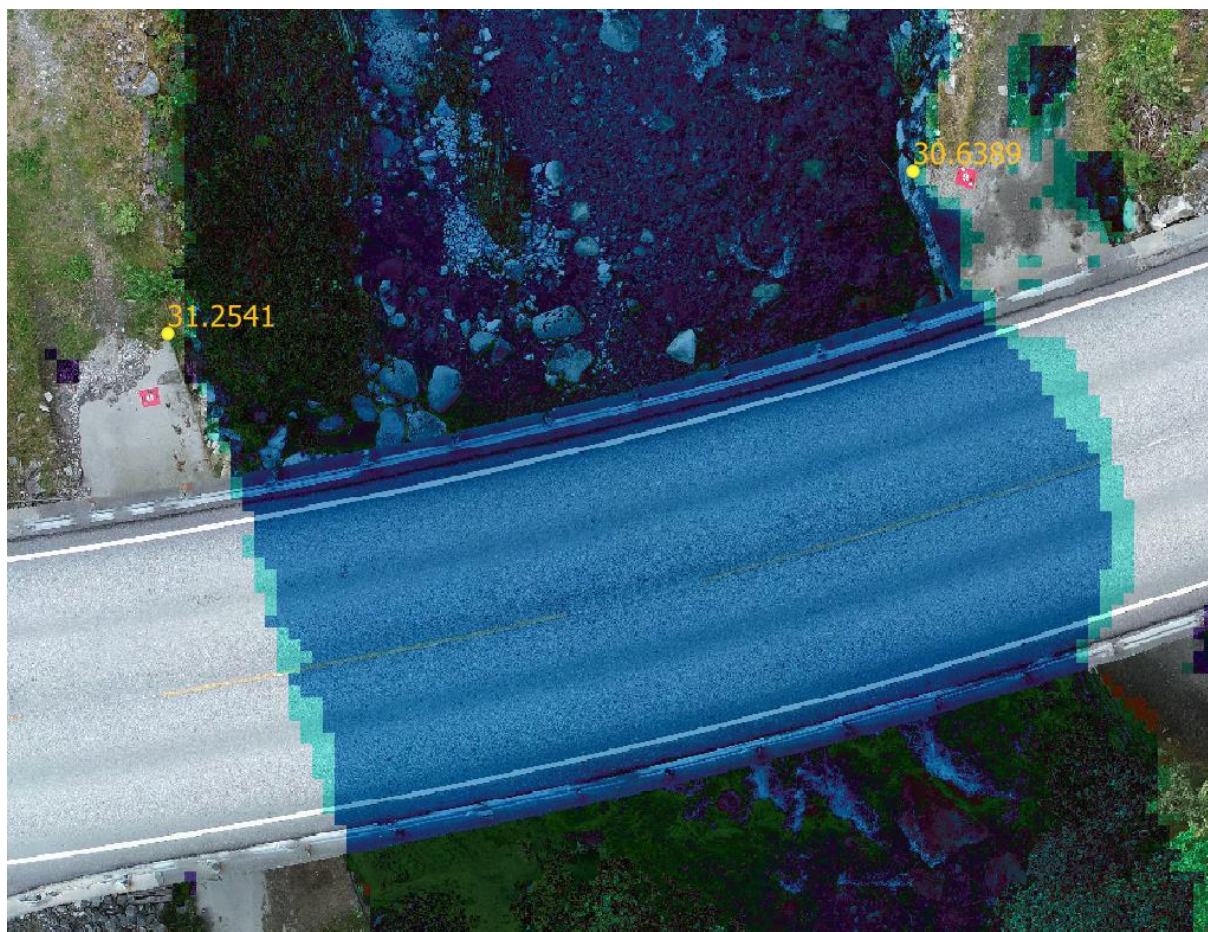


**Figur 12 Simulert vannhastighet og vanndekt areal med Q95 etter og før regulering.**

## 2.3 Oppsett av hydraulisk modell for evaluering av effekten av vegetasjon og flomsikring på flom

### Modelloppsett og validering

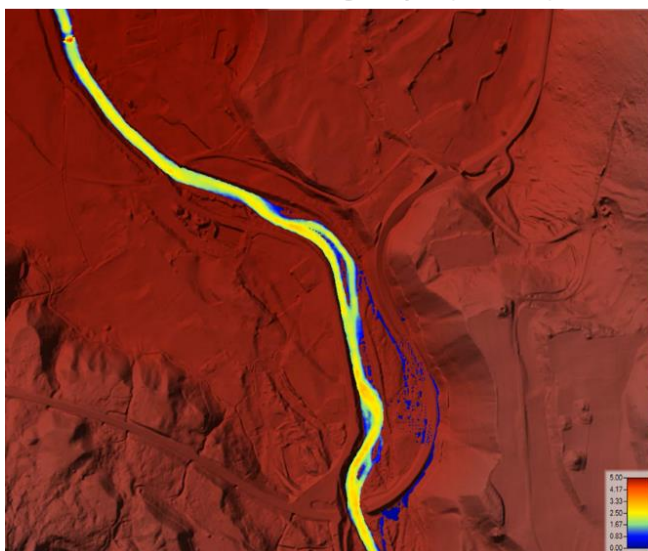
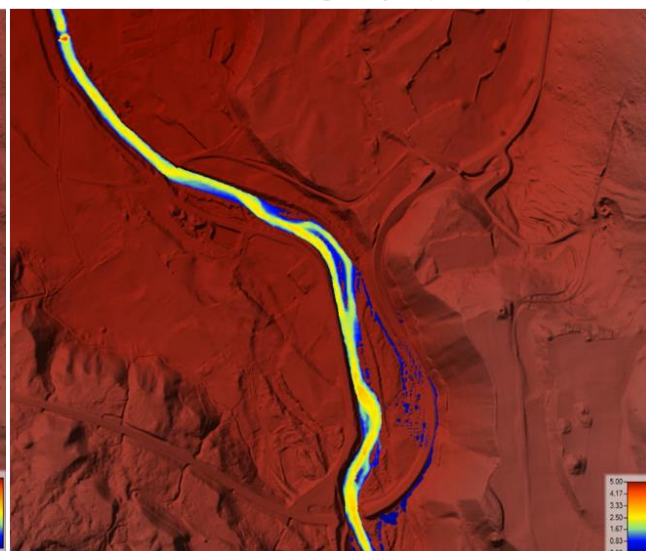
For å verifisere resultatene fra modellen med høyere vannføring (flommen fra 2018), ble den simulerte vannstanden sjekket mot GPS-punkter med "observerte" vannstander fra grunneierne (fra feltarbeid, Figur 13). Resultatene indikerte at modellen for flommen gir lignende og tilstrekkelige resultater for formålet med denne studien.



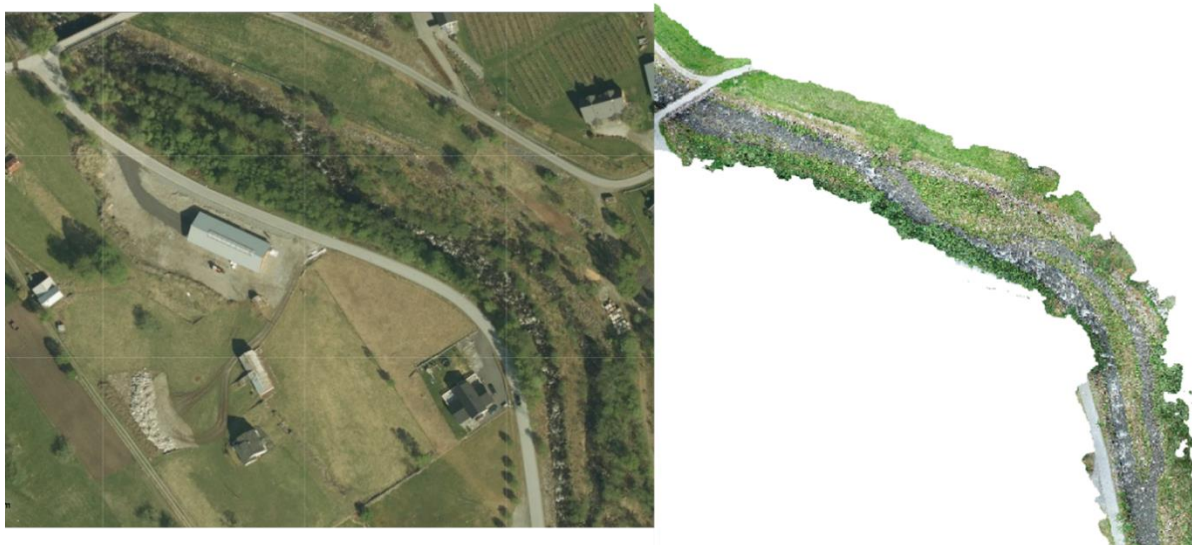
**Figur 13** Sammenligning av GPS-lokaliteter med "observert" vannstand (gule punkt) og simulert vannstand for flommen i 2018: 25 m<sup>3</sup>/s (blå) og 44 m<sup>3</sup>/s (turkis).

### Påvirkning fra vegetasjon

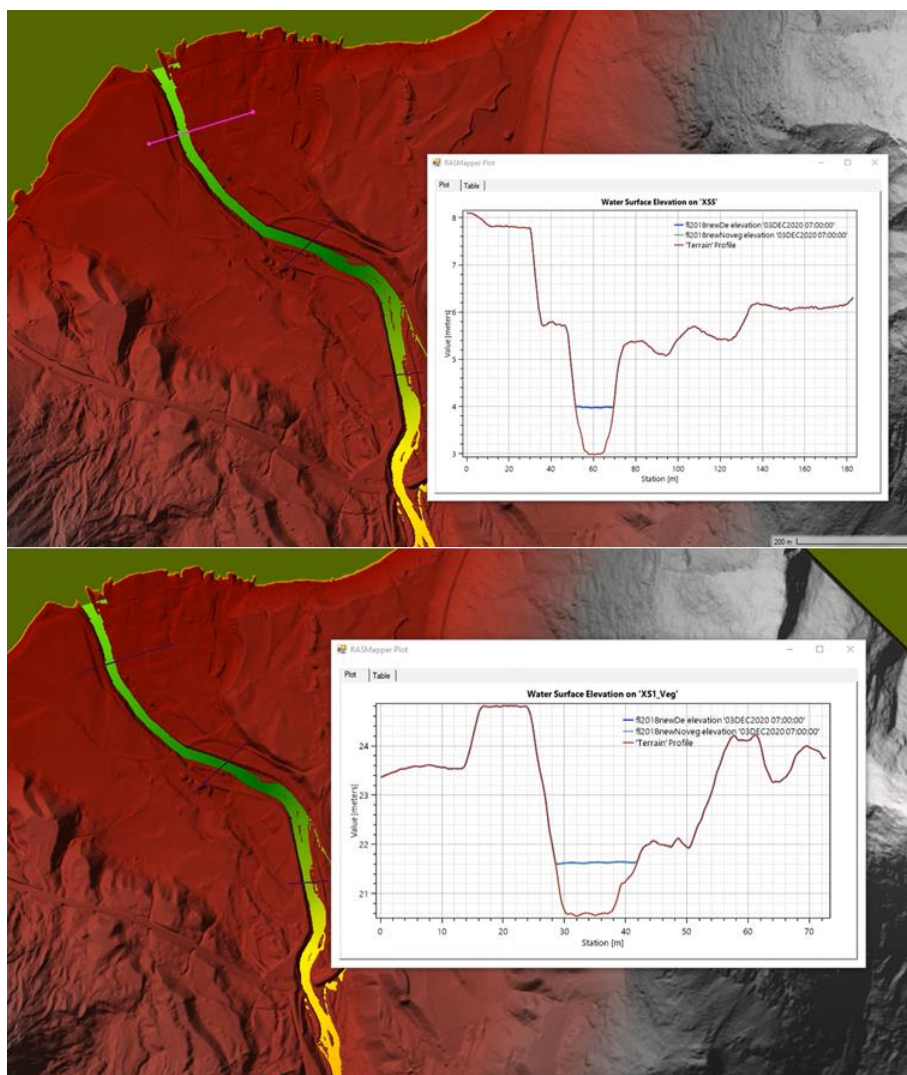
Det er ikke en stor forskjell mellom hastigheten/vannoverflaten med og uten vegetasjon under flommen i 2018 (Figur 14 og Figur 16). Figurene viser resultatene for 25 m<sup>3</sup>/s, men de samme simuleringene ble også gjort for 44 m<sup>3</sup>/s uten at de viste noen større endringer. Vegetasjon langs elvebreddene er mer utsatt ved høye vannføringer enn normalt. Trær som rives med av elvestrømmen kan forårsake uforutsette utfordringer nedstrøms og spesielt der elveløpet tilsier at materialer elva transporterer vil hope seg opp. Trær som står utsatt til (spesielt trær i selve elveleiet) ved høye vannføringer og på lett eroderbar grunn, samt død vegetasjon og løse gjenstander langs elvebredden bør til en viss grad fjernes for å unngå nedstrøms oppstuvning ved flom (Figur 15). Trær og vegetasjon har også en viktig miljøeffekt i og langs vassdraget og unødvendig og overdreven fjerning av vegetasjon bør derfor unngås.

2018 Flom uten vegetasjon ( $25 \text{ m}^3/\text{s}$ )2018 Flom med vegetasjon ( $25 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Figur 14 Simulert vanddekt areal og hastighet for flommen i 2018 med og uten hensyn for høyere mannings n-verdi for vegetasjon.



Figur 15 Vegetasjon langs og i elveleiet i Nyssetelvi før flom i 2018 (venstre) og etter flom i 2018 (høyre).



**Figur 16 Sammenligning av tverrsnitt i elva for flommen i 2018 med og uten hensyn for høyere mannings n-verdi for vegetasjon. Det er to linjer på hvert tverrsnitt, men de er nesten identiske så det er ikke mulig å se på bildet.**

### Mobilisering av løsmasser og blokkstein

Vi ser på den kritiske skjærspenningen som en indikasjon på mulig transport av sedimenter (Figur 18). Skjærspenningen er høyere i den øvre delen av elva, som er dominert av blokkstein (Figur 17). Blokkstein fra 0.5 m til 1 m kunne blir transportert ved en kritisk skjærspenning mellom 200 og 550 N/m<sup>2</sup> basert på (Van Rijn, 2019). Litteraturen viser at blokker av og til kan transporteres med en reduksjonskoeffisient for kritisk Shields-parameter på 0.04, som tilsier at den den kritiske skjærspenning er 0.02.

Shields-kurven representerer overgangen fra en tilstand av stabilitet til ustabilitet av granulært materiale. Granulært materiale er stabilt hvis:

$$\theta \leq \theta_{cr} \text{ or } \frac{\tau_b}{[(\rho_s - \rho_w)gD_{50}]} \leq \theta_{cr}$$

$\tau_b$  = skjærspenning (fra modellen maksimum er mellom 200 og 550 N/m<sup>2</sup>)

$\rho_s$  = massetetthet av sedimenter (2650 kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_w$  = massetetthet av vann (1000 kg/m<sup>3</sup>)

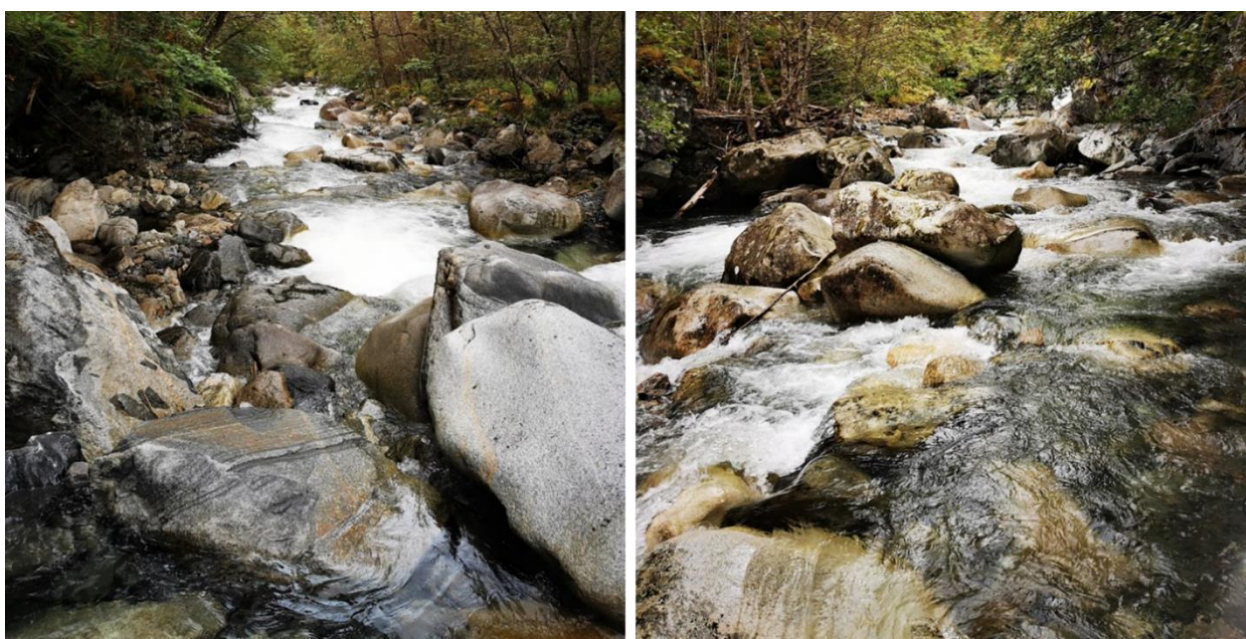
$g$  = gravitasjonsakselerasjon ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$D_{50}$  = steinstørrelse ( $0.50 \text{ m}$ )

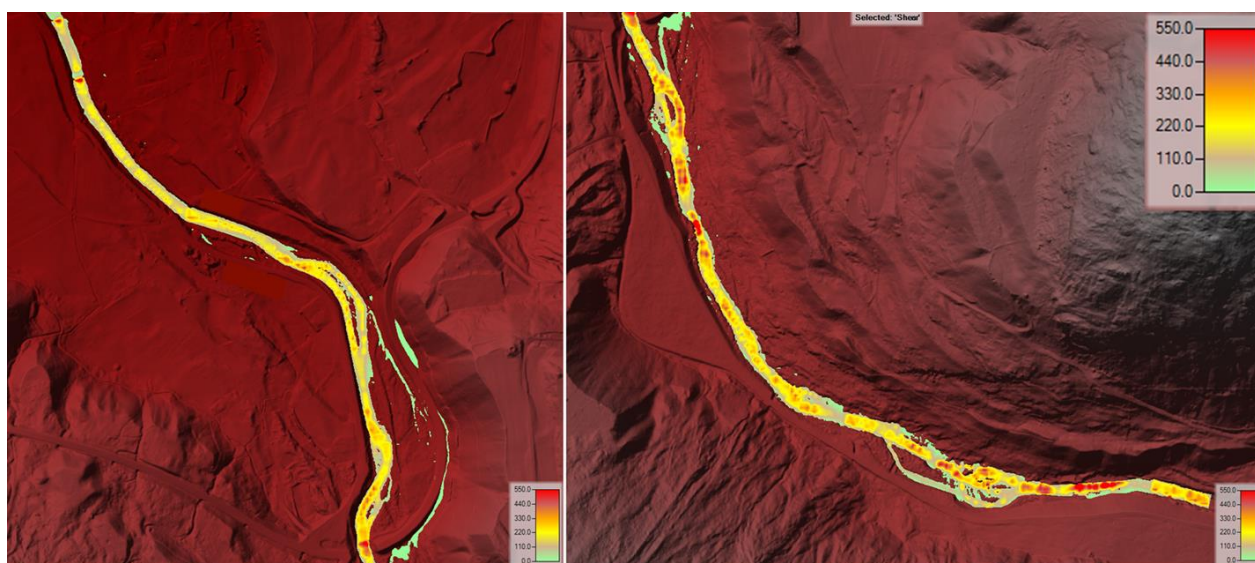
$\theta_{cr}$  = kritisk Shields parameter (-)

Resultatene viser at  $\theta (0.025) \leq \theta_{cr} (0.02)$  som indikerer at bevegelse av blokker kan forventes. Det er viktig å tenke på at dette er gyldig for frittstående steiner, men vi har brukt konservative verdier; lavere verdier av skjærspenning, lavere verdier for steinstørrelse og den lavere verdien for vannføring i flommen (som gir lavere skjærspenning). Derfor forventes det, under de simulerte forholdene, tidvis transport av blokker i den øvre delen av elva.

Grus og stein transporteres også. De har en kritisk skjærspenning på  $112\text{-}223 \text{ N/m}^2$  (Berenbrock and Tranmer, 2008). Ettersom de røde områdene i Figur 18 er over  $200 \text{ N/m}^2$  er det forventet at grus og stein blir transportert ved vannføringer tilsvarende flommen i 2018 ( $25\text{-}44 \text{ m}^3/\text{s}$ ).



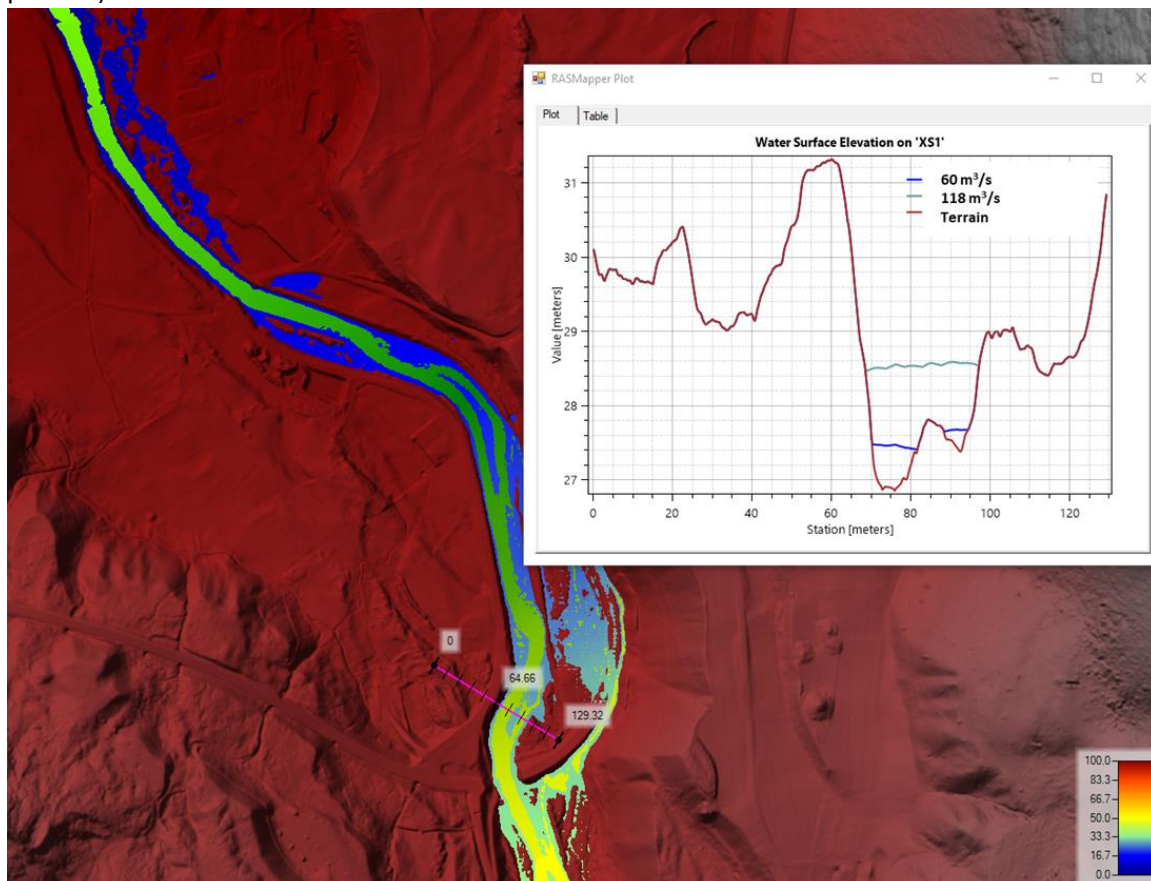
Figur 17 Blokksteiner i øvre del av Nyssetelvi.



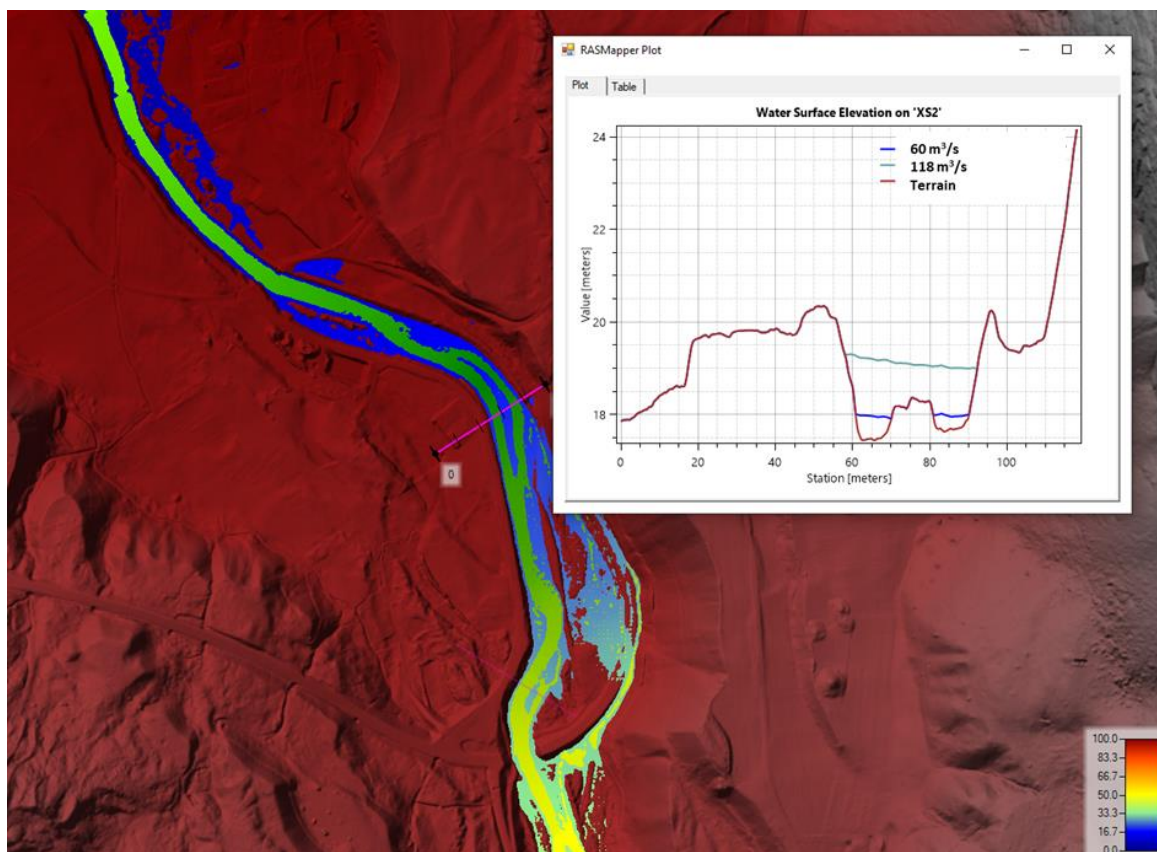
Figur 18 Skjærspenning i Nyssetelvi under flommen i 2018 nedstrøms (venstre) og oppstrøms (høyre), med grønn farge for laveste skjærspenning og rød for høyeste.

### Erosjons- og flomsikring

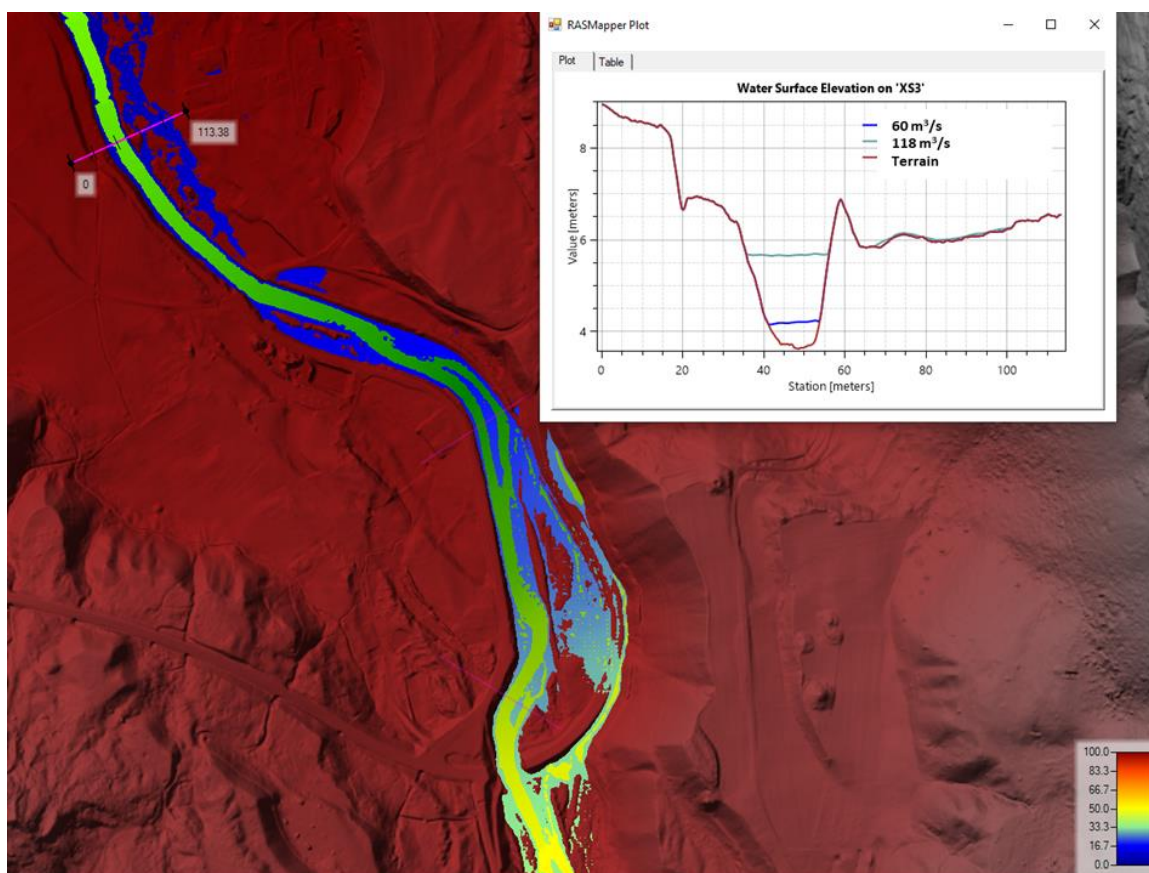
Erosjons- og flomsikring på venstre side av elven blir ikke oversvømt selv ved høyere vannføringer (60 og 118 m<sup>3</sup>/s) (Figur 19 og Figur 22). Høyre side ser ut til å ha noen områder oversvømt ved 118 m<sup>3</sup>/s, men det vil være behov for mer detaljerte studier for å få mer nøyaktige resultater om årsaken. Det er viktig å legge merke til at 118 m<sup>3</sup>/s betraktes som en flom med et gjentaksintervall på 30 år i den uregulerte perioden. Dette er en vannføring som selv i uregulert tilstand oppstår relativt sjeldent, og etter regulering enda sjeldnere med mindre flere faktorer slår inn (fult magasin, kort eller ingen varsel på flom).



Figur 19 Simulert vanddekt areal for flom på 60 (grønn) og 118 (blå) m<sup>3</sup>/s, tverrsnitt 1.

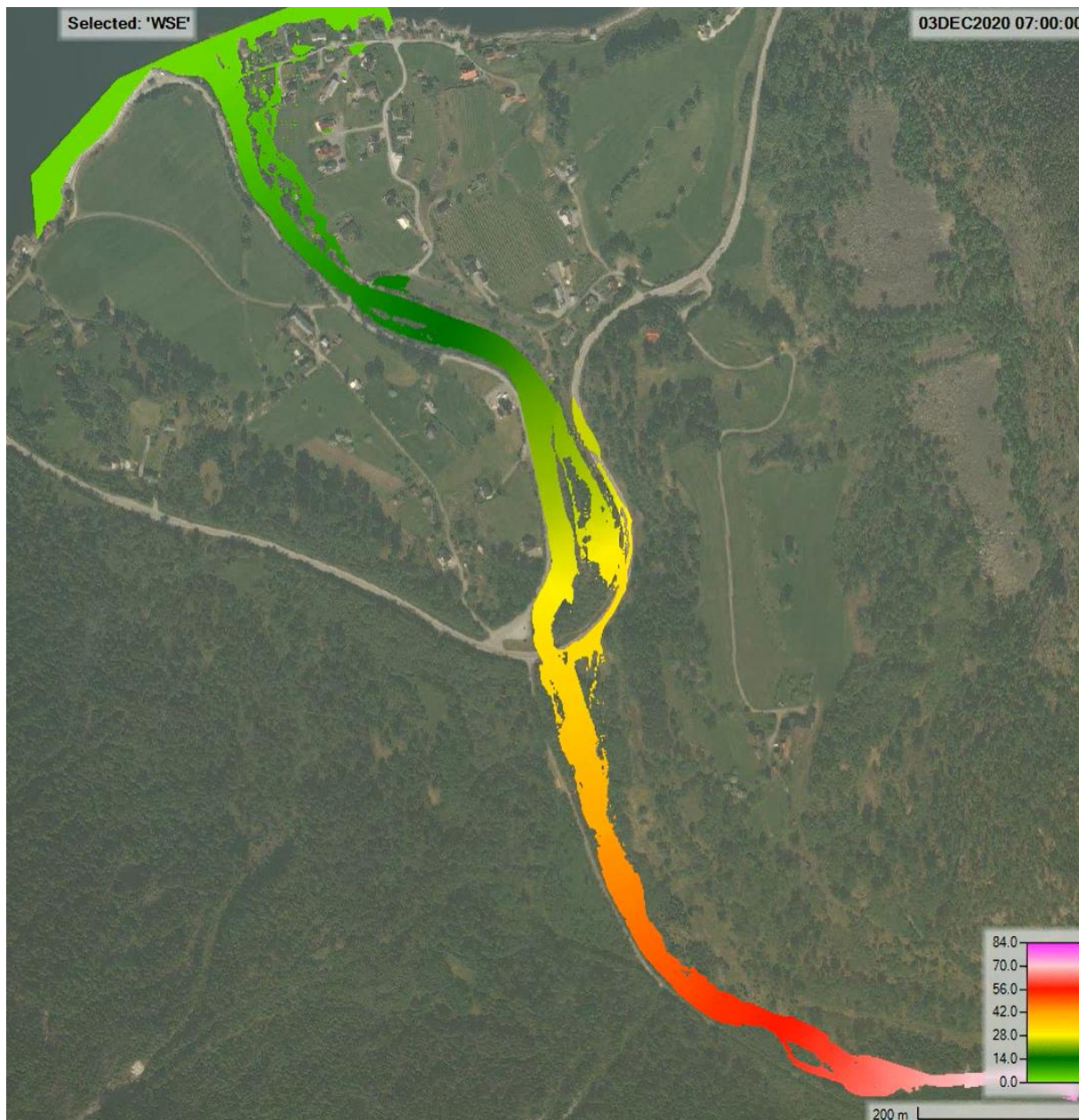


Figur 20 Simulert vanddekt areal for flom på 60 (grønn) og 118 (blå) m<sup>3</sup>/s, tverrsnitt 2.



Figur 21 Simulert vanddekt areal for flom på 60 (grønn) og 118 (blå) m<sup>3</sup>/s, tverrsnitt 3.





**Figur 22 Vannstand og vanndekt areal for flommen i 1971 ( $118 \text{ m}^3/\text{s}$ ) med dagens geometri.**

### 3 KONKLUSJON

Lavvannføringen har blitt betydelig redusert etter regulering, fra 200-1000 l/s til 20-100 l/s. Dette har ført til at elveleiet i perioder er tilnærmet tørt. De hydrauliske simuleringene bekrefter dette og viser et fragmentert og delvis tørt elveleie for Q95 etter regulering.

Simuleringene viste ingen indikasjon på at flommen i 2018 var påvirket av økt vegetasjon i den nedre delen av elva (nedstrøms broa over riksveien). Den observerte økte vegetasjonen kan være forårsaket av at det ikke lenger kommer hyppige flommer på størrelse med de som var før regulering. Mangelen på flommer kan også føre til at grener og døde trær blir liggende i elva slik at de blir et potensiale for problemer når det først kommer en større vannføring og skyller alt nedover (f.eks. en propp ved en bru). I tillegg kan gjengroing av elveleiet forverre flomproblematikk i fremtiden. Vi anbefaler derfor at regulantene holder øye med og tar ansvar for å fjerne død vegetasjon og svært utsatte trær i og rundt elveleiet (med spesiell oppmerksomhet på områder foran broene).

Flommen i 2018 førte til mobilisering og redistribusjon av løsmasser (Figur 23). Dette ville også skjedd i uregulert tilstand, men forskjellen er at løsmassene ville blitt vasket ut igjen raskere på grunn av perioder med høy vannføring hvert år som gir en mer naturlig dynamikk i vassdraget. Angående blokker som ble flyttet av flommen, kan en vannføring på 25.4-44 m<sup>3</sup>/s, føre til mobilisering av blokker på størrelse med de som er observert i elven. Denne mobiliseringen ville også oppstått i uregulert tilstand, men mye oftere grunnet hyppigere høye vannføringer.

Undersøkelsene i denne rapporten finner ingen data som tyder på at det var en spesielt stor flom i Nysetelvi i 2018 om vi sammenligner med flomfrekvensanalysen fra målestasjonen i vassdraget før regulering. De hydrologiske resultatene tyder på at flommen i 2018 hadde kulminasjonsvannføring godt under kulminasjonsverdien for en historisk årsflom for elven. Vi har ikke undersøkt hvordan Riskalsvatnet ville bidratt til flomdemping i en uregulert tilstand, og har heller ikke data for slukeevnen til bekkeinntakene, så vi kan ikke si noe om effekten reguleringen hadde på denne flommen.

Simuleringen av flommen i 1971 viste at vannet ikke gikk over vollene på venstre (vestlige) side av elven, men av deler av feltet på høyre (østre) side ble oversvømt. Det ser ut som vann kommer inn gjennom vollene like nedstrøms brua ved Fv. 53, men det vil kreve mer detaljerte studier og feltarbeid for å kunne komme til en konklusjon angående dette. Denne problematikken er ikke forårsaket av reguleringen av vassdraget.

Intervjusvarene fra grunneierne (i vedlegg) viser at de mener elva pleide å være en god elv for både laks og sjøørret. Grunneierne forstår ikke formålet med tersklene, og har inntrykk av at mye løsmasser ble transportert i flommen i 2018.

Den nedre terskelen kan være et hinder for vandring ved lav vannstand/fjære sjå (Schedel et al., 2015)<sup>1</sup>, men funn av fisk oppstrøms tyder på fisk kan passere ved gunstige forhold. Funksjonen til tersklene i nedre del virker ellers uklart. Schedel et al. (2015) konkluderte med at økt vannføring eller andre tiltak som terskler kunne øke det vanndekkede området i elva og at dette har potensial til å bedre forholdene for fisken i elva. Det er foreslått å bygge tre ekstra terskler i elva, men gitt den nåværende hydrologiske tilstanden i elva med perioder med svært lav vannføring så mener vi ikke dette tiltaket vil kunne forbedre tilstanden for fisk i noen stor grad. I en bratt elv som Nyset vil ytterligere bygging tre terskler bidra med et begrenset vanndekket areal ved svært lav vannføring om en tenker seg en tilsvarende utforming som de tersklene som i dag er bygget i vassdraget. Schedel et al. (2015) konkluderte også at

---

<sup>1</sup> Mer detaljert info om konklusjoner fra disse to rapporten finnes det i Vedlegg

biooptiltak som utgraving av kulper og utlegging av gytegrus kan øke fiskeproduksjonen noe. Dette støttes i en rapport fra NORCE (Gabrielsen et al., 2019)<sup>1</sup> som skisserer detaljerte fysiske tiltak, men som peker på at årssikker vannføring må til for at habitattiltak skal være effektive. Men som den hydrologiske analysen viser så er det perioder med svært lav vannføring i elven i dag og i perioder kan den være tilnærmet tørrlagt, så ytterligere habitattiltak vil sannsynligvis ikke ha full effekt med det vannføringsregimet som i dag er i elven.

### **Handlingsplan:**

Basert på funnene i rapporten anbefaler vi det følgende:

- Fjerning av død vegetasjon i og rundt elveleiet for å forhindre opphoping og tilstopping ved flom, dette gjelder spesielt ved broene, i forbindelse med fremtidige flomsituasjoner. Det er gunstig å la noe død vegetasjon ligge ettersom det kan være bra for økosystemet i elva (f.eks. mikrohabitat for bunndyr).
- Overvåkning av gjengroing i elveleiet og mulig fjerning av vegetasjon om denne vokser inn i elveløpet. Denne fjerningen bør ikke overdrives, ettersom kantsonevegetasjon spiller en viktig rolle for økosystemet i og rundt elva. Vegetasjon på flomvollene bør få stå.

---

<sup>1</sup> Mer detaljert info om konklusjoner fra disse to rapporten finnes det i Vedlegg

## 4 Vedlegg

### Intervjuet

1. **Hvordan var fiskebestandenes status før vannkraften ble bygget, har du data som kan brukes eller henvises til?**

- Dette er rekna for å vere eit lakseførande vassdrag, Vassdraget hadde ein god sjøaureførekost før utbygginga.
- Hei, det vart tatt mykje fisk i elva før utbygging
- Elven var en god sjørret elv, egnet for markfiske og med fisk opp til 4kg.

• **2. Ble de to tersklene bygd for å forbedre fiskehabitat?**

- Vet ikke, men de har trolig bidratt til at mindre fisk kommer seg opp elven.
- Vi meiner at dei to tersklane var lekk i eit prøveprosjekt for betre fiskeoppgang og vannspegl, 2 av 5 tersklar i prøveprosjektet er gjennomført.
- Mener planen her var å bygge flere av disse oppover i vassdraget for at fisken skulle ha mulighet for å komme opp. Det vart kun laget to og eg vet ikke hvorfor set ikke ble bygget flere. Tragisk at det ikke ble laget til en avtale om minstevassføring i vassdraget da det faktisk hadde en meget god sjørretbestand.

**3. Har du noen gammel/ historisk bilde fra de to tersklene? (e.g. fra 1992)**

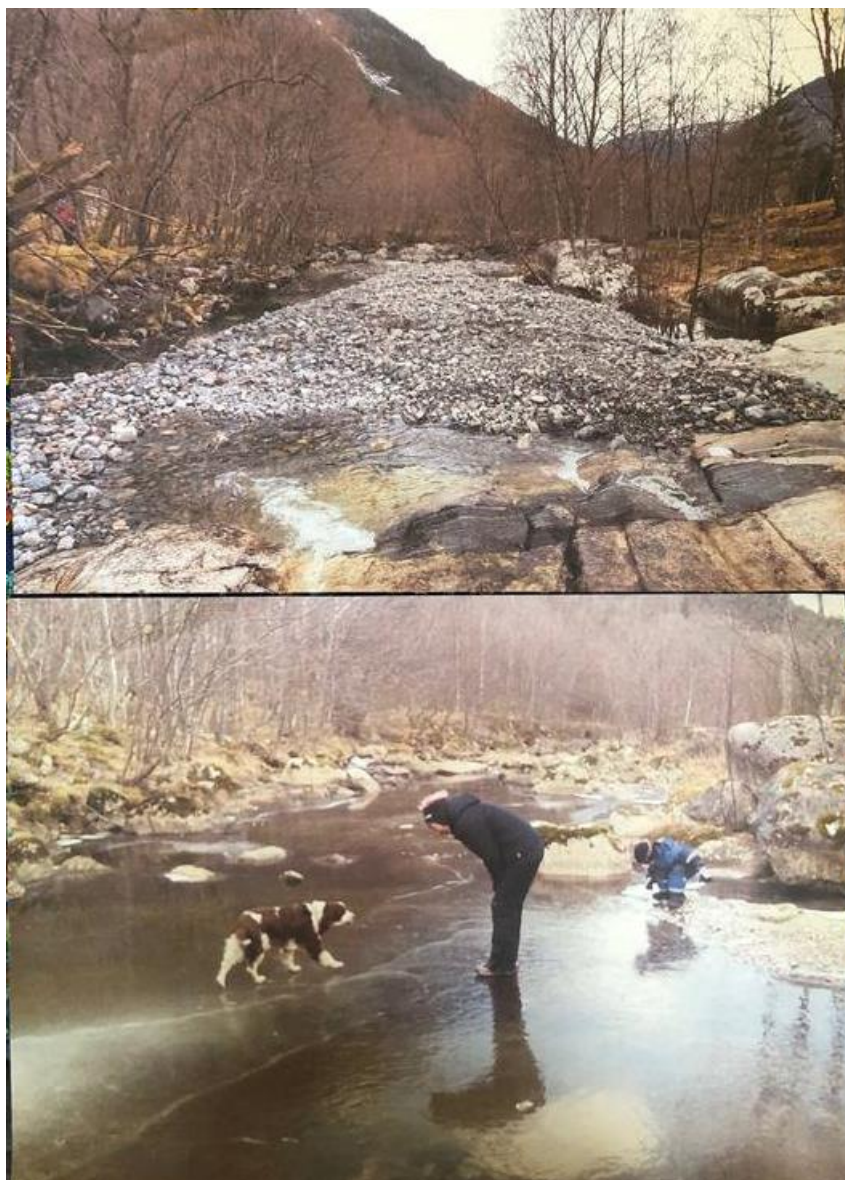
- Det har vi dessverre ikke
- Vi er usikre på kva de spør om. Tersklane var bygd etter utbygginga og tersklane står no som dei vart bygd. Elvebotnen vart heilt endra når dei bygde tersklane. Meiner de eigentleg å spørje etter bilete frå elva før terskelbygginga?
- Nei, men tersklene ser like ut som når de ble bygget

• **4. Tror du etter flommen fra 2018 var det store mengder masse transportert i elven?**

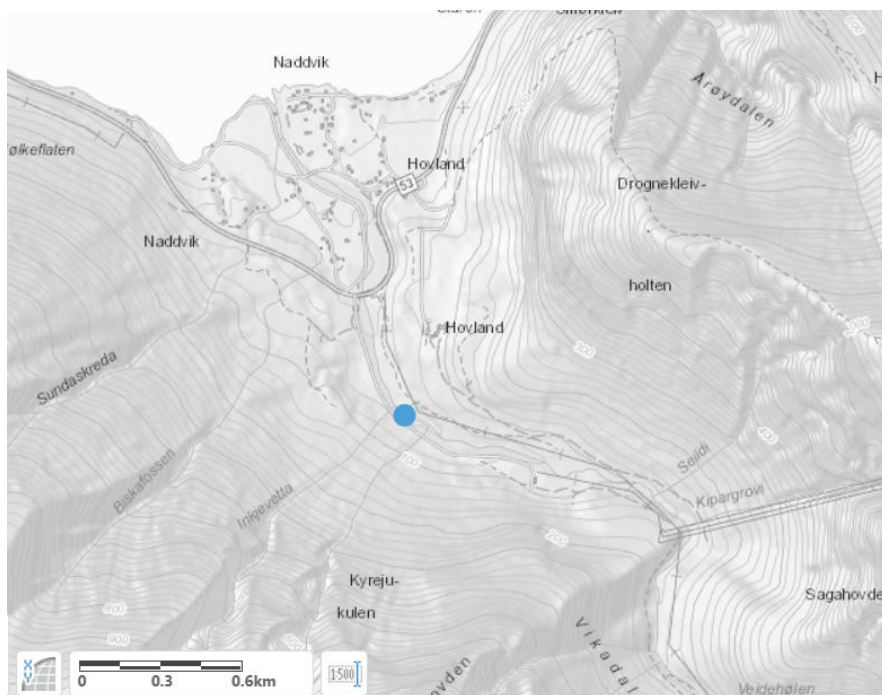
- Ja det var flere høler som ble ødelagt på grunn av dette. Sender et bilde som viser før og etter på vår teig fremme i dalen (Figur 23)
- Ja, store mengder masse.
- Det var store volum masser transportert i elva i flommen 2018, det ligg ny masse i elva langs heile strekningen fra Veidehølen fremst i dalen og ned mot til brua over fylkesvegen. Vi reknar med at flaumen og har endra/vaska ut i elvebotnen og med det gytetilhøva.

**5. Vi ser etter bilder eller videoer fra flommen (2018), kan du behage hvis du har noen å dele det med oss?**

- Skal sende/laste opp noen video.
- Vi har teke bilete og video. Dette materialet vert ettersendt.
- Sender om jeg finner



**Figur 23 Sammenligning av hvordan kulpen i Hovland (Figur 24) har sett ut historisk (nederst) og etter flommen i 2018 (øverst).**



**Figur 24** Lokaltet for observasjon av opphoping av løsmasse i en kulpe i Hovland.

## Konklusjoner sitert fra tidligere rapporter

SCHEDDEL, J. B., HEIBO, E. & HANSSSEN, K. 2015. Ungfiskregistreringar i regulerte elvar frå 2009 til 2014 i Sogn og Fjordane.

«I Nysetelva var det ein middels høg tettleik av aure og ingen laks. Vasskvaliteten var relativt god, men det var ein del nitrat i vatnet. Auka vassføring eller andre tiltak som aukar det vassdekte arealet i elva kan gjere tilhøva betre for fisken i elva.

Eventuelle tersklar kan auke det vassdekte arealet i periodar med låg vassføring og auke overlevinga blant dei tidlege stadia hos aure, ved at ein unngår tørrlegging og frysing av gytegroper. Andre biotopiltak som utgraving av kulpar og utlegging av gytesubstrat kan og kanskje auke produksjonen noko. Utlegging av gytegrus har vorte gjennomført i fleire elvar, og det har vorte vist at fisk har teke i bruk dei nye gyteområda etter kort tid (Berger mfl. 2001). Elva kan vere litt for stri og ustabil til at gytegrus vert verande. Dette er noko ein må vurdere før eit slikt tiltak vert gjennomført.»

GABRIELSEN, S.-E., SKÅR, B., ESPEDAL, E. O. & POSTLER, C. 2019. Kartlegging av habitatforhold, fiskeundersøkingar og tiltaksanalyse av utvalgte vannforekomster i Sogn og Fjordane. In: MILJØ, N. (ed.).

### «Vurdering og tiltaksanalyse

#### Vassdraget som ungfisk -og gytehabitat

Skjulverdiene varierer mye innad i elven men tilgangen til skjul er sannsynligvis ikke en begrensende faktor for fiskeproduksjon i vassdraget. De store kulpene og det høye innslaget av blokk og stein tilsier at den hydromorfologiske variasjonen i Nysetelvi også fungerer som skjul for ungfisk. Med det relativt høye innslaget med grus og vurderinger av tilgjengelighet, er det sannsynlig at tilgang på gytearealer er en flaskehals for fiskeproduksjonen i vassdraget.

### **Økologisk potensial**

Nysetelvi blir vurdert til å ha et dårlig økologisk potensial. Årsaken er tersklene helt nederst i vannforekomsten og dammen som er 2.4 km fra utløpet. Den øverste av de to tersklene er et vannføringsavhengig vandringshinder (middels påvirkning), mens dammen er et permanent hinder for fisk (stor påvirkning). Dette reduserer det naturlige produksjonsarealet betydelig. Det er ikke innført en minstevannføring, og dette kna være en flaskehals for fiskeproduksjonen.

### **Aktuelle tiltak og kostnadsoverslag**

Tiltaket som bør stå øverst på prioriteringslisten, er å justere de to nederste tersklene som i dag fungerer som vandringshinder. Ved de fleste vannføringer, kommer ikke fisk seg fordi den øverste terskelen. I tillegg må det lages en fiskepassasje forbi dammen som er etablert rett oppstrøms Naddvik kraftverk. En vurdering av nødvendigheten av denne demningen bør i tillegg gjøres for å eventuelt se på muligheten for å fjerne denne total. Om tiltakene fungerer som forventet, vurderer vi at vannforekomsten kommer i et god økologisk potensial (GØP). Dette avhenger selvsagt av at elva har årssikker vannføring og der bør etableres en kunnskapsbasert minstevannføring om detter ikke er etablert. »

## 5 REFERANSER

- ABDALLA, E. M. H. 2019. *Evaluating approaches to estimate runoff from small ungauged catchments in Norway*. NTNU.
- BERENBROCK, C. & TRANMER, A. W. 2008. Simulation of flow, sediment transport, and sediment mobility of the Lower Coeur d'Alene River. *In: SURVEY, U. G. (ed.)*. Reston, ID, USA: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2008–5093.
- CHOW, V. T. 1959. Open-channel hydraulics. *Open-channel hydraulics*. New York City, USA: McGraw-Hill.
- FORSETH, T. & HARBY, A. (eds.) 2014. *Handbook for environmental design in regulated salmon rivers.*, Trondheim: NINA.
- GABRIELSEN, S.-E., SKÅR, B., ESPEDAL, E. O. & POSTLER, C. 2019. Kartlegging av habitatforhold, fiskeundersøkelser og tiltaksanalyse av utvalgte vannforekomster i Sogn og Fjordane. *In: MILJØ, N. (ed.)*.
- HEC-RAS 2008. User manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis Version.
- MIDTTØMME, G., PETTERSON, L., HOLMQVIST, E., NØTSUND, Ø., HISDAL, H. & SIVERTSGÅRD, R. 2011. Retningslinjer for flomberegninger–Guidelines for flood estimation. *NVE retningslinjer*, 4, 2011.
- RICHTER, B., BAUMGARTNER, J., POWELL, J. & BRAUN, D. 1996. A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conservation Biology*, 10, 1163-1174.
- SCHEDER, J. B., HEIBO, E. & HANSSSEN, K. 2015. Ungfiskregistreringar i regulerte elvar frå 2009 til 2014 i Sogn og Fjordane.
- VAN RIJN, L. C. 2019. Critical movement of large rocks in currents and waves. *International Journal of Sediment Research* 34, , no. 4: 387-398.





Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)