

Knut Alfredsen
Mahmoud Omer Mahmoud Awadallah

Vurdering av hydraulisk effekt av tersklar i Lærdalselva



Rapport B1-2022-2

Knut Alfredsen
Mahmoud Omer Mahmoud Awadallah

Vurdering av hydraulisk effekt av tersklar i Lærdalselva.

Rapport B1-2022-2

Trondheim, Februar 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige Universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

ISBN elektronisk: 82-7598-092-5

FORORD OG SAMANDRAG

Vi har i dette prosjektet brukt ein to-dimensjonal hydraulisk modell som opprinnelge vart sett opp for å simulere vassdekt areal i Lærdalselva til å simulere effekt av justeringar av tersklar. Det er bygd mange tersklar i Lærdalselva, både som pålegg etter regulering, i samband med skjønn og for å freiste å bygge bedre fiskeplassar i elva, og det har i dei seinare åra vore ein diskusjon om kva effekt desse har på ulike tilhøve i elva som habitat, sediment og fiske. Vi har laga ei metode for å fjerne desse tersklane og erstatte dei med ein flat elvebotn, og deretter køyrt simuleringar med ny geometri i modellen for å sjå på effekta av tersklane. Vidare har vi for tersklar på Øye, Grønnebank og Molde laga ein ny modell med finare oppløysing for hente ut meir detaljar for nokre utvalde område, og for å sjå på alternative måtar å justere tersklane på.

Resultata viser at ei fjerning av tersklar fører til redusert vassdjup og auka vasshastighet i området oppstraums terskelen. Endringane er størst for låge vassføringar, og vert redusert når vassføringa aukar. Vi ser derimot ikkje noko store endringar i vassdekt areal etter fjerninga av tersklane, noko som skil seg frå ein del tidlegare terskeljusteringsprosjekt. Vi meiner at dette heng saman med korleis profila i elva ser ut. Det er og gjort simuleringar med middelflom og 20-årsflom og Shields formel er gjort for å få eit overslag over om dette medfører endringar i kva sediment som kan mobiliserast. Resultata frå dette viser at det er svært små skilnadar mellom elv med tersklar og elv utan når det gjeld erosjonspotensial ved flom.

Dette arbeidet må sjåast på som eit grunnlag for å vurdere endringar i tersklane i Lærdalselva. For ei praktisk gjennomføring av eit slikt prosjekt trengs det nok ein meir detaljert spesifikasjon om korleis jobben skal gjerast for kvar enkelt terskel, og kva tersklar det kan vere nyttig å gjere noko med. Ei slik detaljert studie har ikkje vore ei målsetning med dette prosjektet og heller ikkje mogleg innanfor det omfanget arbeidet har hatt. Med dei erfaringane som vi har gjort meiner vi at modellen som er laga og kan brukast til detaljerte studiar dersom dette trengs, og at datagrunnlaget til å gjere slike vurderingar i Lærdal er svært bra med utgangspunkt i data frå skanninga med batymetrisk LiDAR.

Vi vil takke Østfold Energi og Lærdal elveigarlag for eit interessant prosjekt. Ein spesiell takk til Ola Petter Bøe for mange innspel og diskusjonar om elva og historia til tersklane. Takk og til NVE som har gjort data frå den batymetriske oppmålinga med laser tilgjengeleg.

INNHALD

FORORD OG SAMANDRAG	3
INNHALD.....	5
1. Bakgrunn	7
2. Data og metode	7
2.1 Data	7
2.2 Hydraulisk modell	9
2.2.1 Metode for fjerning og justering av tersklar.....	9
2.2.2 Modell frå Stuvane til sjøen.....	10
2.2.3 Detaljmodellar av tersklar	10
2.3 Analyse	10
3. Resultat.....	12
3.1 Terskelfjerning på strekninga Stuvane til sjøen.....	12
3.2 Detaljerte modellar for strekninga	15
3.2.1 Øye	15
3.2.2 Grønnebank.....	16
3.2.3 Molde	17
3.2.4 Effekt av flom på sediment i tersklar	19
3.3 Simulering av ulike metodar for justering av tersklar	20
4 Nedkøyring av Stuvane – effekt på vasstand i Båthølen	22
5. Diskusjon og Oppsummering.....	23
REFERANSER	26
VEDLEGG 1 – Resultat frå detaljsimulering av Grønnebank og Molde for 120 m ³ /s.....	27
VEDLEGG 2 – Fleire flomsimuleringar	29
VEDLEGG 3 – Figur 8, 9 og 10 i større format.....	32
VEDLEGG 4 – Samanlikning av djup og hastighet ved Øye og Molde.....	35

1. Bakgrunn

På lakseførande strekning i Lærdalselva er det bygd ein serie med tersklar. Nokon av desse er pålagde i samband med utbygginga, nokre er bygde i samband med skjønn og nokre er bygde av elveigarane (Anon 1994). Dei pålagde tersklane er i hovudsak bygde for å halde oppe vasspeilet etter at elva vart regulert for vasskraft, medan mange av dei andre tersklane er bygde for å freiste å gjere laksefisket betre. Tersklane er delvis bygde som rette tersklar og delvis som motstraums Syvdetersklar med varierende opning og utforming. I miljøstudia som vart gjort for Lærdalselva (Fjeldstad et al. 2019) er det diskutert kva effekt tersklane har på akkumulering av finmasse og habitat for ungfisk, og i tiltaksplanen for Lærdalselva er det foreslått å justere tersklane for å utbetre tilhøve for ungfisk og sedimenttilhøve i området oppstraums terskelen (Gabrielsen 2020).

Bruk av hydrauliske modellar for å beskrive endringar i tersklar har vore gjort tidlegare. Fjeldstad et al. (2012) brukte den hydrauliske modellen River2D til å simulere korleis endringar av to betongtersklar i Nidelva påverka hydrauliske tilhøve i eit terskelbasseng i Nidelva nedstraums Rygene kraftverk. Dette innebar senking av vasstand mellom 0.5 og 1.6 meter. Simuleringane viste endringar i tørrlagt areal og i djup og hastighet i det gamle terskelbassenget, noko som var målet her for å betre habitat for laksefisk og for å få raskare oppvandring av fisk gjennom det gamle terskelbassenget. Brekke (2020) vurderte ulike former for terskeljusteringar på minstevassføringsstrekninga i Nea i Trøndelag gjennom å simulere både fjerning og ombygging ved bruk av HEC-RAS og ein terrengmodell som kombinerer batymetrisk LiDAR og eigne målingar. Resultata av fullstendig fjerning er tilsvarande funna til Fjeldstad et al. (2012) med redusert vassdekt areal og auka hastighet, medan ombygging gir mindre effekt på hastighet men fører til større vassdekt areal. Ytterlegare informasjon om terskeljusteringar som tiltak og eksempel på bruk finst i Pulg et al. (2018). Bustos et al. (2017) referer og til effekt av terskelfjerning i Mandalselva for betring av gytehabitat på strekningar som er fråført vatn.

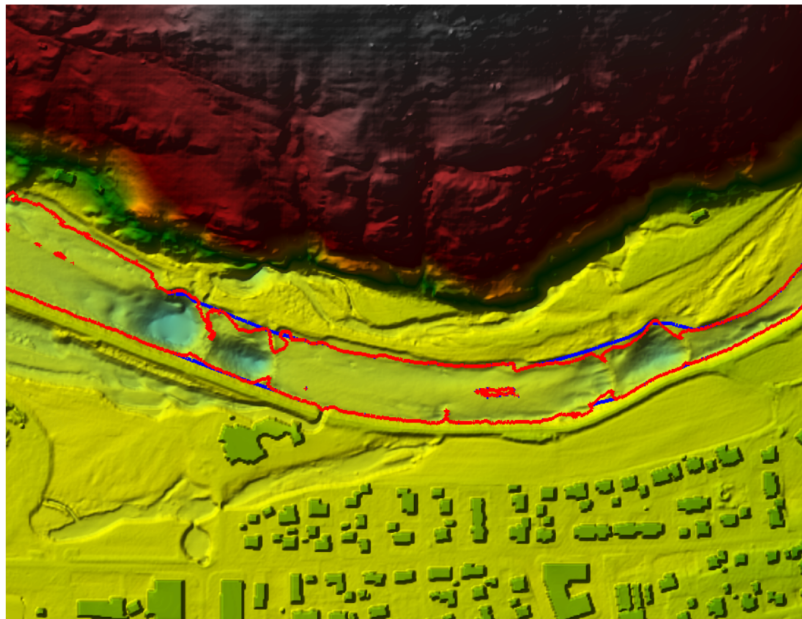
Føremålet med dette prosjektet var å bruke ein hydraulisk modell til å sjå på effekt av fjerning eller endring av tersklar, og korleis dette påverkar vassdekt areal, djup og hastighet. Gjennom prosjektet har vi freista å generere informasjon som kan vere nyttig ved planlegging av justeringar eller utbetringar av tersklar, og lage eit verkty som kan brukast til å vurdere effekt av ulike endringar på hydrauliske tilhøve i elva. Det er ikkje eit mål med dette prosjektet å gi noko råd om kva som bør gjerast, eller å gjere ei vurdering av korleis tersklar påverkar habitat for laks.

2. Data og metode

2.1 Data

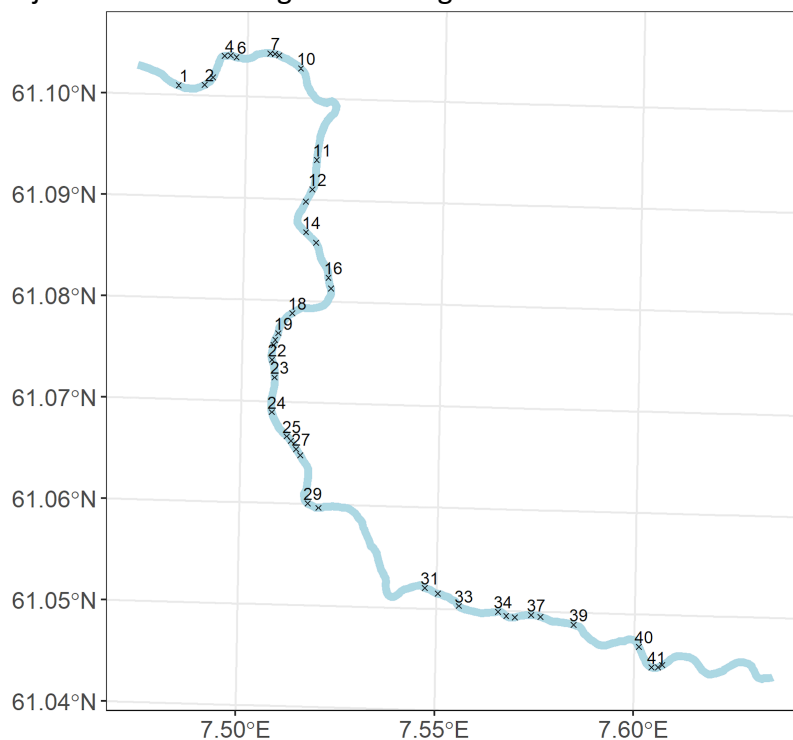
Datagrunnlaget for simuleringane er oppmålingar gjort med laser frå fly. Det er brukt topografisk laser (raud LiDAR) for måle inn dalsider og dalbotn, men denne har ikkje kapasitet til å måle terrenget under vassflata. I mai i 2018 vart det gjort ei oppmåling med batymetrisk laser som trenger gjennom vassflata og kan måle nivået på botnen av elva. Begge desse datasetta er lagra på kartverket si løysing for digitale terrengdata www.hoydedata.no. Vi lasta ned punktskyene frå desse målingane og interpolerte ein integrert terrengmodell som dekkjer både dalbotn og batymetrien til elva med ein storleik på gridcellene på 0.35 x 0.35 m. Grunnen til den store modellen er at den gjer det mogleg å

simulere flomvasstand (Seguin Garcia 2019). I dette prosjektet har vi brukt ein hydraulisk modell som har denne terrengmodellen som utgangspunkt og som opprinneleg vart laga for simulering av vassdekt areal (Alfredsen et al. 2019). Modellen dekkjer elva frå eit stykke nedstraums Stuvane kraftverk til sjøen, og dekkjer sjølve elva utan flomsletter. I samband med at denne modellen vart laga så målte vi opp nokre kontrollflater og sjekka om målingane stemte med målingar med GPS og tidlegare målingar med topografisk LiDAR, og denne samanlikninga viste at det batymetriske datasettet stemmer bra med andre målingar (Alfredsen et al. 2019; Seguin Garcia 2019). Oppløysinga på terrengmodellen er så fin at vi tydeleg ser tersklane i elva, så den er godt tilpassa problemstillinga i prosjektet (Figur 1).



Figur 1 Terskel i den digitale terrengmodellen

Tersklane som er justerte i simuleringa er vist i Figur 2.



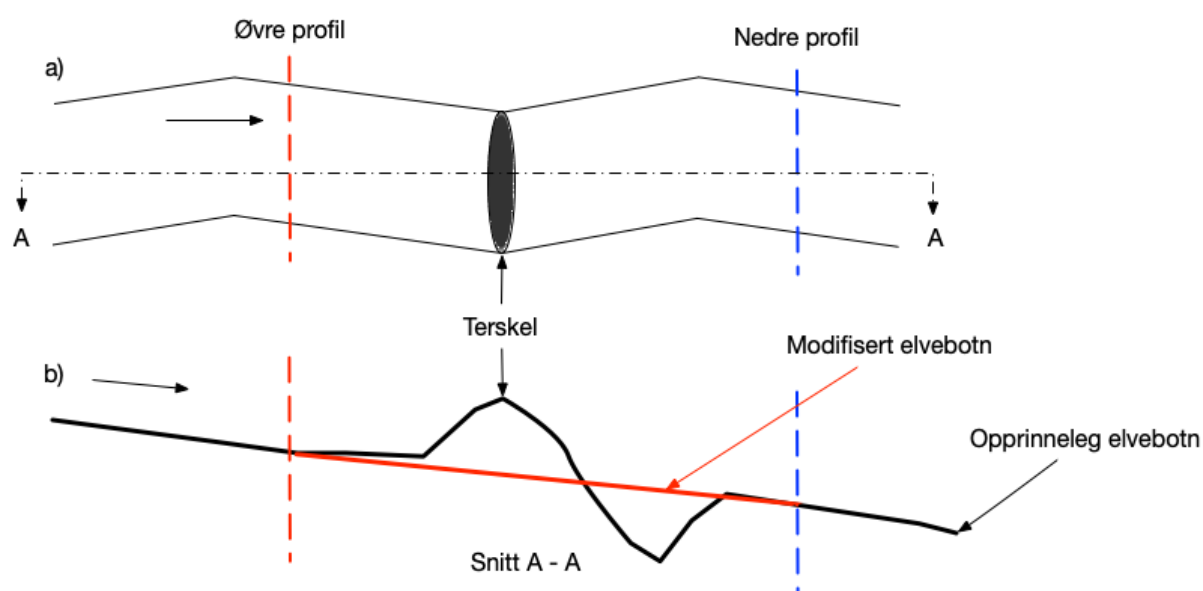
Figur 2 Tersklar som er justerte i modellen av heile strekninga.

2.2 Hydraulisk modell

2.2.1 Metode for fjerning og justering av tersklar

Det finst mange måtar ein kan justere tersklar på, og i dei fleste tilfelle må desse tilpassast kvar enkelt terskel. Det er vanskeleg innanfor rammene av dette prosjektet å gjere ei form for individuell tilpassing av kvar av dei ulike tersklane, så vi har valt å sjå på to ulike scenario. I det eine fjernar vi terskelen heilt og i det andre justerer vi opninga på ulike måtar. Det første scenarioet har vi gjennomført både for heile elvestrekninga og for ein meir detaljert modell av enkelte tersklar. Det andre scenarioet har vi gjort for terskelen i Grønnebank for å illustrere korleis slike studiar av detaljar kan gjennomførast og kva resultat vi kan få ut. Om tersklar skal fjernast i praksis så illustrerer dette korleis modellen kan brukast for å teste ut ulike utformingar av den nye terskelen.

Ved fjerning av terskelen har vi tatt utgangspunkt i eit tverrprofil oppstraums terskelen og eit tverrprofil nedstraums terskelen (Figur 3a). Mellom desse profila interpolerer vi så ein jamt hellande elvebotn, og vi fjernar dermed både terskelkrona og det djupe området som vi ofte finn rett nedstraums krona i tersklar i Lærdalselva (Figur 3b). Vi går utifrå at vi har tilsvarende ruhet i modellen i det nye området som i områda rundt.

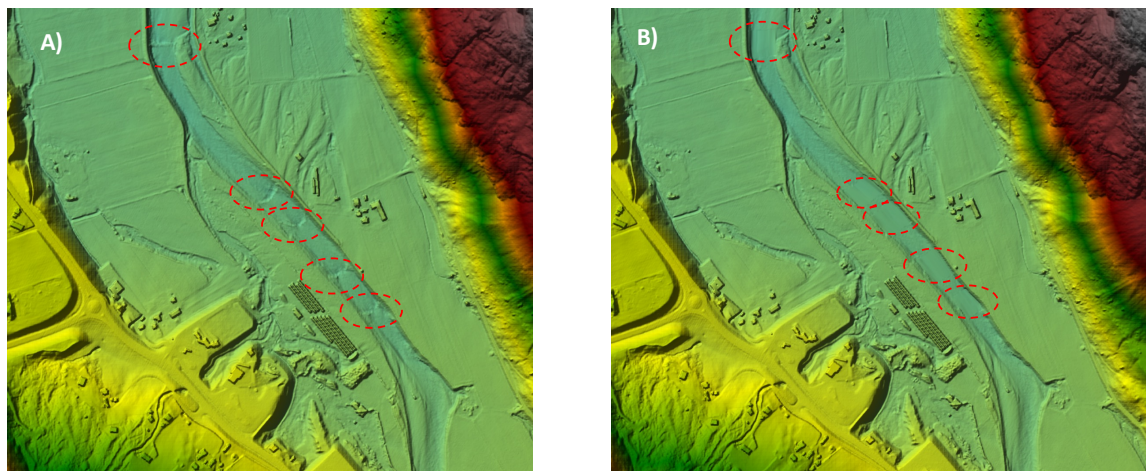


Figur 3 Prinsipp for justering av terskel, a) sett ovanfrå, b) lengdesnitt A-A.

Ved justering av terskel har vi i prinsippet brukt same metode, men gjennomført fjerninga på delar av terskelen. Resten av terskelen er brukt slik den er i terrengmodellen. Dette er ein måte å endre terskelen på. Det kunne og tenkast å gjere endringane på andre måtar, t.d. gjennom å senke botnen frå øvre til nedre profil for å få meir fall gjennom arealet der terskelen ligg i dag. Dette kunne og vore gjort for å fjerne finmasse frå områda nær terskelkrona. Val av metode må nesten tilpassast kvar terskel, og for den vurderinga vi har gjort her har vi valt løysinga som vist i Figur 3 for alle tersklane. Figur 4 viser korleis endringane ser ut i praksis.

Vi har ikkje sett på dei ingeniørmessige sidene ved terskelfjerning. Sjølv om at Lærdalselva er regulert så har den eit potensiale for stor flomvassføring, og det vil vere naudsynt å dimensjonere den justerte terskelen eller den nye elvebotnen for å handtere

flomsituasjonar. Vi har ved fjerning gått utifrå at dette vert gjort utan å rekne på detaljane i korleis dette kan gjerast.



Figur 4 A) elv med tersklar, B) elv med tersklar fjerna ved hjelp av metoda vist i Figur 3.

2.2.2 Modell frå Stuvane til sjøen

For å simulere full fjerning har vi brukt modellen som vart sett opp for elveigarlaget og brukt for å simulere vassdekt areal (Alfredsen et al. 2019). Denne modellen dekker elva frå eit stykke nedstrøms Stuvane til sjøen, og modellen er sett opp for elva og dekker ikkje flomslettene sidan simulering av vatn på flomslettene ikkje er aktuelt i dette prosjektet. Modellen har eit nettverk av gitterceller på 2 x 2 meter. Modellen er kalibrert for tre ulike vassføringar, og simulering av vassdekt areal er sjekka mot flybilete og dronfoto (Alfredsen et al. 2019; Bustos et al. 2020). Det er køyrt simuleringar frå 10 – 70 m³/s med intervall på 5 m³/s samt 120 m³/s for elva slik den er i dag og for scenarioet der alle tersklar er fjerna. I tillegg er det køyrt simuleringar med 230 og 530 m³/s som tilsvarer middelflom og flom med 20-års gjentaksintervall (Holmquist 2000) som utgangspunkt for å vurdere potensiell erosjon.

Programmet HEC-RAS versjon 6.1 (<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras>) er brukt for alle simuleringar. Simuleringane er i dei aller fleste tilhøve gjort med konstante vassføringar for kvart eksempel, og løysing av likningane med «Diffusive wave» tilnærming.

2.2.3 Detaljmodellar av tersklar

For å gjere ei meir detaljert analyse av enkelte tersklar har vi laga ein meir finoppløyst modell av tersklar på Øye, Grønnebank og Molde. Her er det brukt ei nettverk av gitterceller på 0.5 x 0.5 meter for å få ei fin oppløysing av terskelkrona og terskelbasseng. Desse modellane er brukte for full fjerning, og for ulike eksempel på terskeljusteringar i Grønnebank. Detaljmodellane er rekna for vassføringar på 10 og 120 m³/s.

2.3 Analyse

For å sjå effekten av endringar i tersklane har vi sett på eit område frå terskelkrona og oppstrøms (Figur 5). Både for modellen av heile elva og for dei detaljerte simuleringane har vi tatt ut endring i vassdekt areal og endring i djup og hastighet for kvar vassføring.

Endringane for kvar variabel er rekna som tilstand før regulering – tilstand etter regulering slik at positiv differanse viser at variabelen før endringar hadde større verdi enn det den har

etter regulering, og motsett, negativ differanse viser at variabelen etter endringa hadde større verdi enn før endring. Så til dømes viser positivt differanse i djup at det var djupare i området før endringa vart gjort i modellen.

Alle endringar er vist gjennom differanseplott og histogram som viser fordeling av variablane etter endringa er gjort.

For å gjere eit overslag over mogleg erosjon av sediment har vi brukt skjerspenning frå HEC-RAS saman med Shields formel for å rekne ut kor store sediment som kan bli mobilisert ved ulike vassføringar. Kritisk skjerspenning er rekna ut etter følgjande formel (Guo 2002):

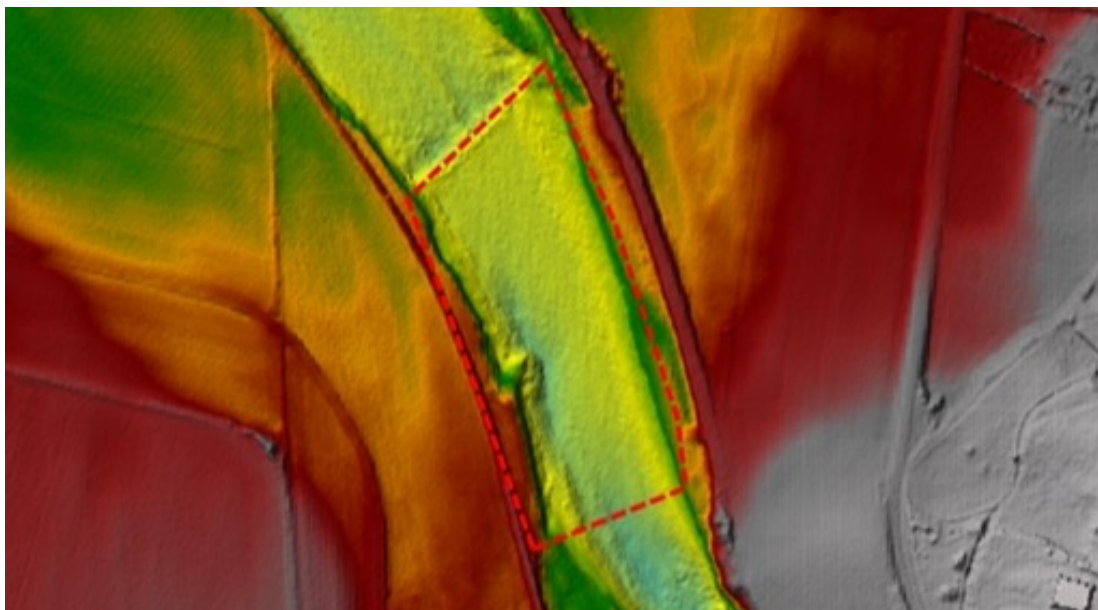
$$\frac{\tau_c}{(S-1)\rho g d} = \frac{0.11}{Re_{*c}} + 0.054 \left[1 - \exp\left(-\frac{Re_{*c}^{0.52}}{25}\right) \right]$$

$$Re_{*c} = \frac{du_{*c}}{\nu}, \quad u_{*c} = \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}}$$

Der τ_c – kritisk skjerspenning (N/m^2), S – spesifikk vekt av sediment (2.65), ρ – tettheit av vatn (kg/m^3) g – tyngdeakselerasjonen (m/s^2) og d – storleik på sediment (m), Re_{*c} – kritisk Reynoldstal for ein sedimentpartikkel, u_{*c} – kritisk skjerhastighet, ν - kinematisk viskositet til vatn (m^2/s).

Skjerspenninga er henta frå simuleringar med middel og 20-års flom.

Det siste som er gjort er ei simulering av ein serie med vassføringar som illustrerer ulike reduksjonar av vassføring gjennom kraftverket. Det er deretter henta ut kor stor reduksjon i vasstand dette medfører i Båthølen. Dette er brukt til å vise ein samanheng mellom reduksjon av vassføring i kraftverket og tilsvarande reduksjon i vasstand i elva.

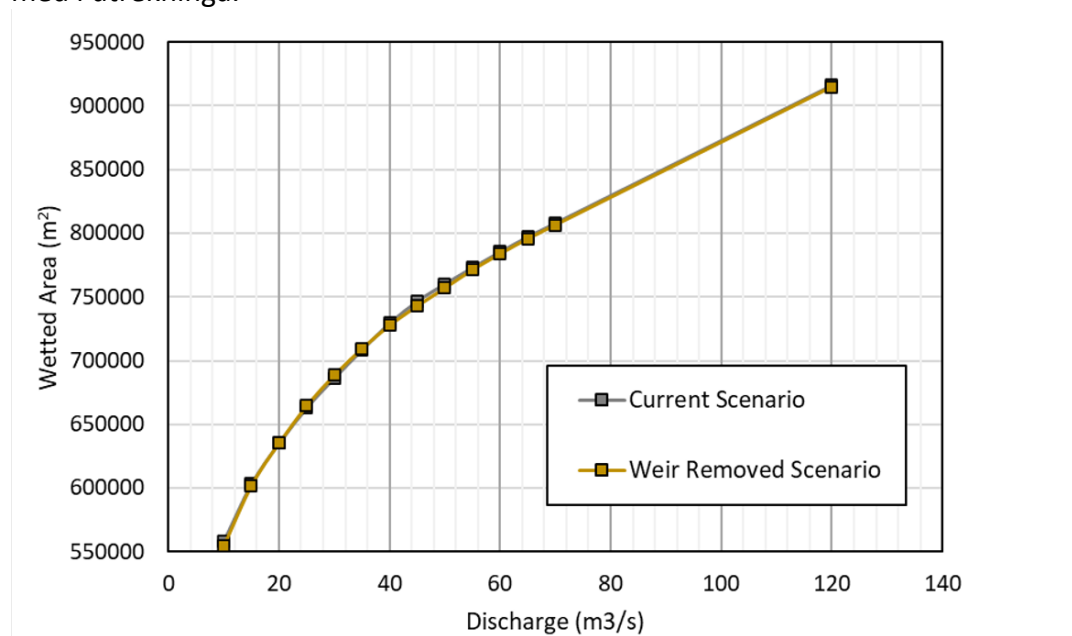


Figur 5 Området som er analysert når terskel vert fjerna vist som eit rektangel. Alle samanlikningar er basert på data henta frå dette området frå terskelkrona og oppstrøms.

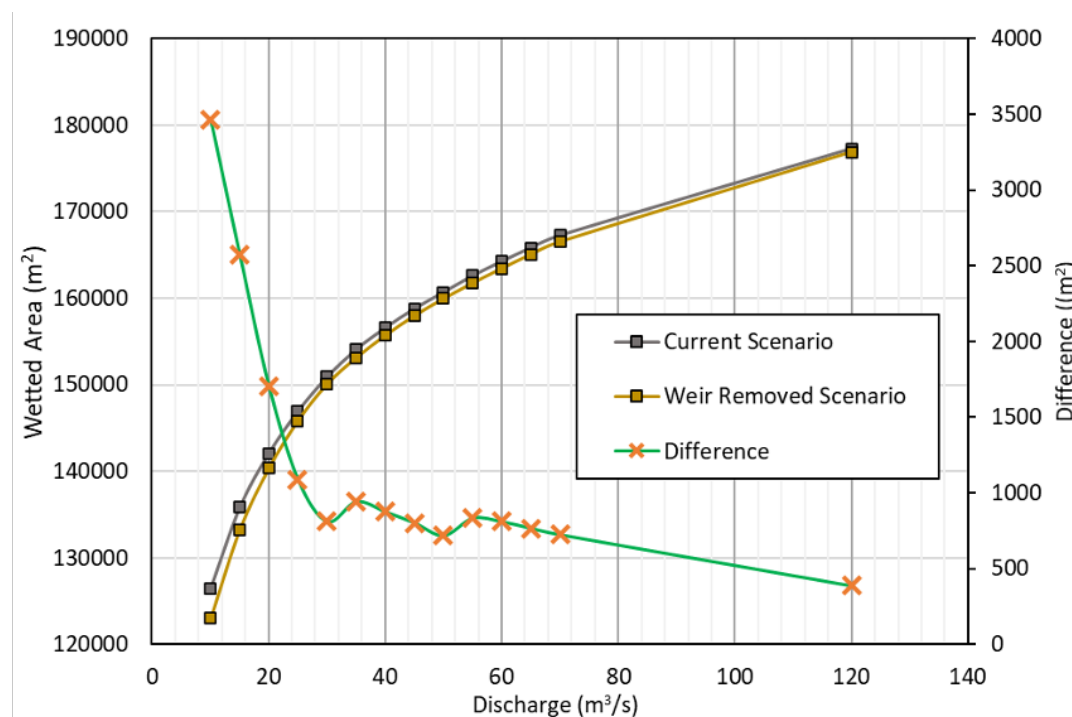
3. Resultat

3.1 Terskelfjerning på strekninga Stuvane til sjøen

Vassdekt areal i kvadratmeter er vist for simulering av alle vassføringar med og utan tersklar på Figur 6. Vi ser at dette medfører svært små endringar då det er ein langt mindre del av elva som er påverka av tersklar enn den delen der tersklane ikkje har verknad. Så vi har laga ei tilsvarande oversikt i Figur 7 der det berre er områda oppstrøms terskelkrona som er tatt med i utrekninga.



Figur 6 Vassdekt areal med tersklar (svart kurve) og utan tersklar (gul kurve)

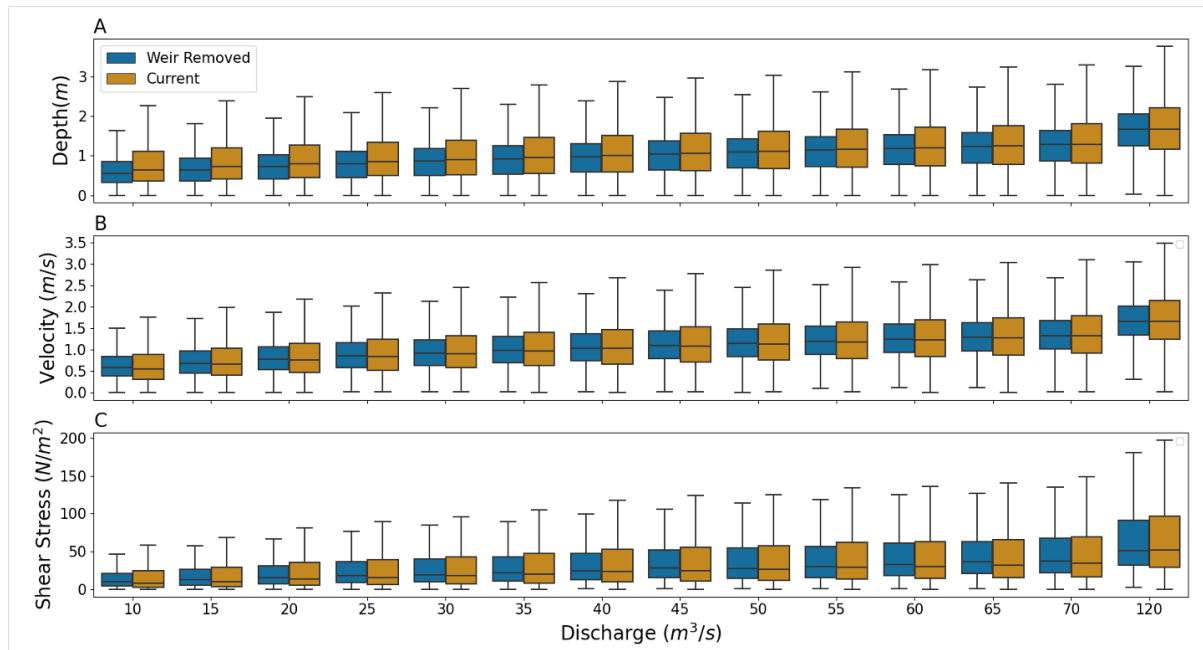


Figur 7 Vassdekt areal med tersklar (svart kurve) og utan tersklar (gul kurve). Grøn kurve viser endring i vassdekt areal.

Frå Figur 8 ser vi at det vert ein reduksjon i vassdekt areal når tersklane vert fjerna, men at denne endringa vert mindre desto høgare vassføring vi har i elva. Vi ser òg at vi har ei lita

auke i vassdekt areal for eit par av vassføringane, og dette skuldast at vi fjernar dei steinmassane langs land som er lagt ut ved enkelte av tersklane, noko som gjer at vatnet før større utbreiing i desse områda. På desse vassføringane ser vi då ganske små effektar av terskeljusteringar på vassdekt areal.

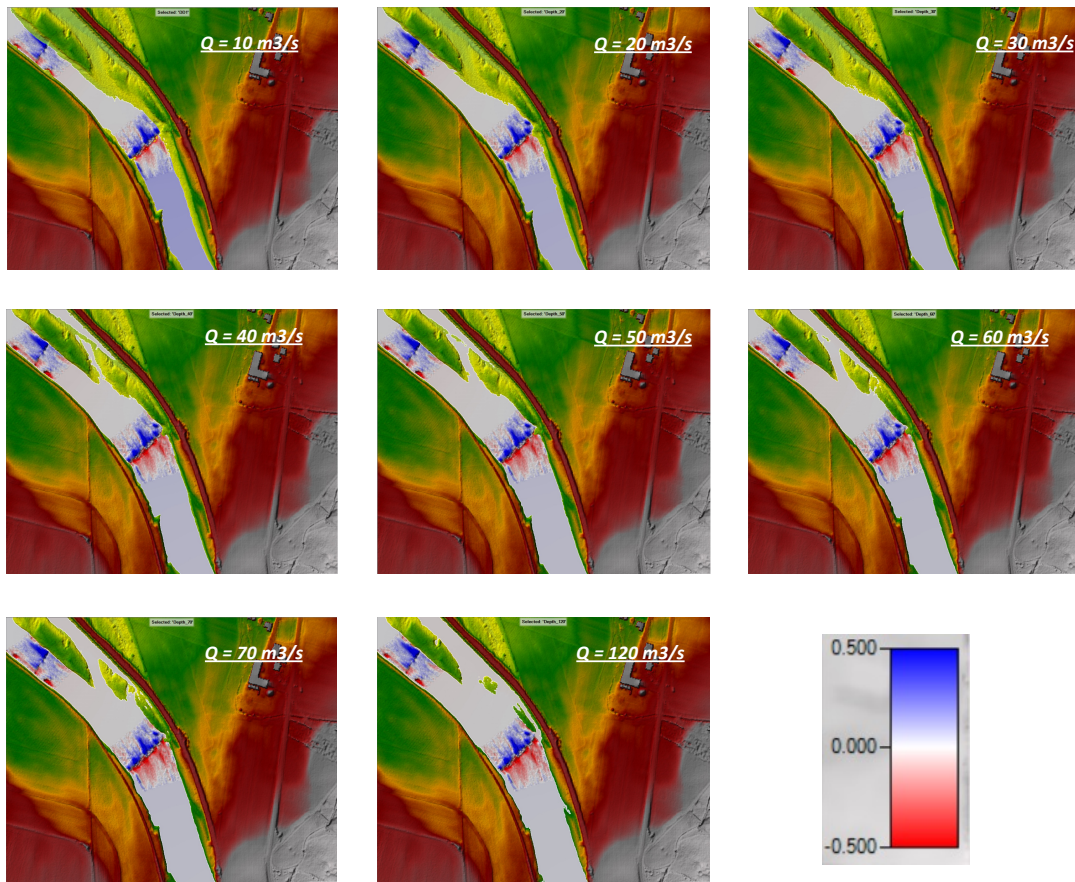
Endringar i djup, hastighet og skjerspenning er vist i Figur 8. Her har vi og sett på berre det området som er direkte påverka av terskeljusteringane.



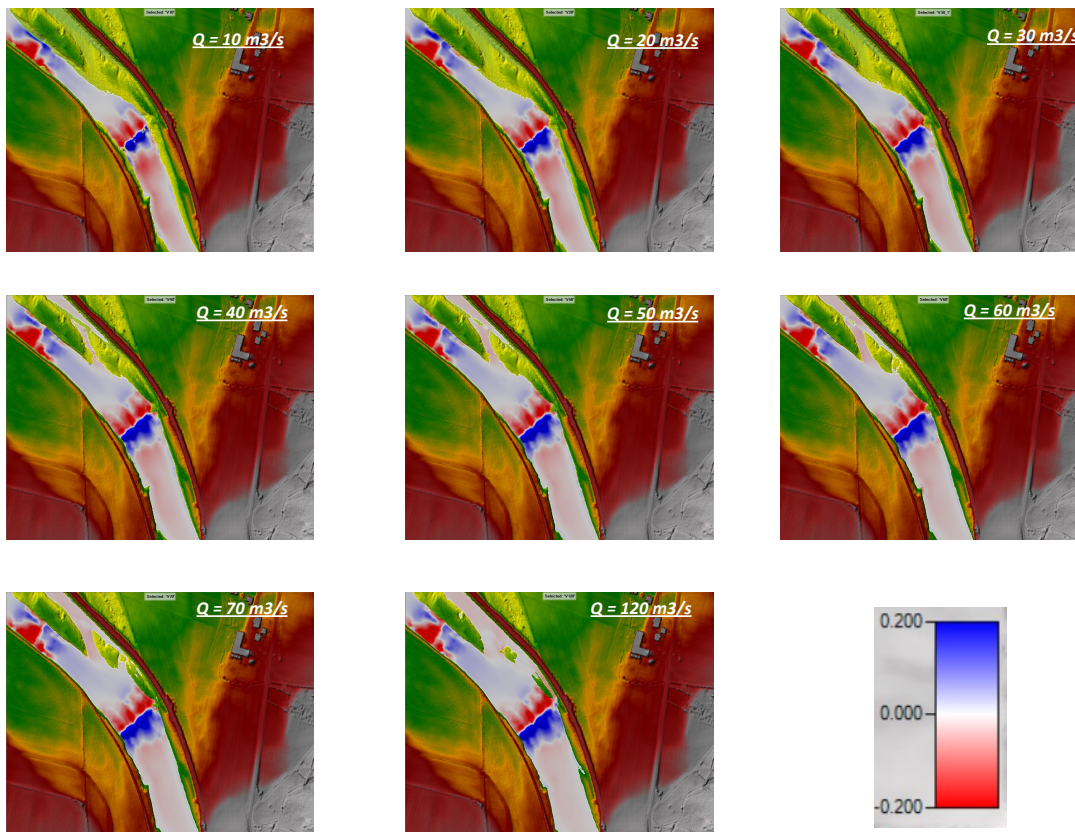
Figur 8 Samla endring i djup (A), hastighet (B) og skjerspenning (C) for terskelområda. Horizontal linje i boks viser median, medan breidde på boksa viser området som dekker 50% av data (25% - 75% percentilen). Utstikkarane viser 1.5*breidde på boksa.

Vi ser her ein reduksjon i vassdjup og auke i median vasshastighet når terskelen vert fjerna. Reduksjonen er ikkje signifikant for nokon av vassføringane, og er større for lave vassføringar som vi og ser for vassdekt areal. Median skjerspenning aukar litt etter at tersklane er fjerna, men denne skilnaden er og avhengig av vassføring. Vi ser og at variasjonen i skjerspenning var større før endringa, noko som er relatert til at det er høg hastighet på vatnet over terskelkrona før denne vert fjerna. Dette er tilsvarende det vi ser for hastighet før terskelen er justert.

Kva endringar vi får vil variere frå terskel til terskel og vi har difor henta ut data frå terskelen på Grønnebank som eit eksempel. Figur 9 viser endringar i djup, blåtonar viser at det vert grunnare etter fjerning av terskel og raud farge viser at det vert djupare. Vi ser at det er store endringar akkurat rundt terskelen der det naturleg nok vert djupare der terskelkrona var plassert og grunnare i djupområdet bak terskelen som resultat av den fysiske endringa som er vist i Figur 3. Vi ser og at arealet oppstraums vert grunnare men denne endringa vert gradvis redusert med aukande vassføring. I Figur 10 ser vi tilsvarende resultat for endring i hastighet. Igjen ser vi store endringar akkurat der terskelen vert endra, men vi ser og ei auke i hastighet gjennom terskelbassenget som vert redusert med aukande vassføring, men vi ser denne endringa og ved 120 m³/s. For å sjå meir på detaljane her har vi laga meir detaljerte modellar som vi kjem tilbake til i neste kapittel.



Figur 9 Endring av djup i Grønnebank for ulike vassføringar. Positiv Verdi på endring tyder at vi får ein reduksjon etter terskeljusteringa, raud farge ei auke etter justering.

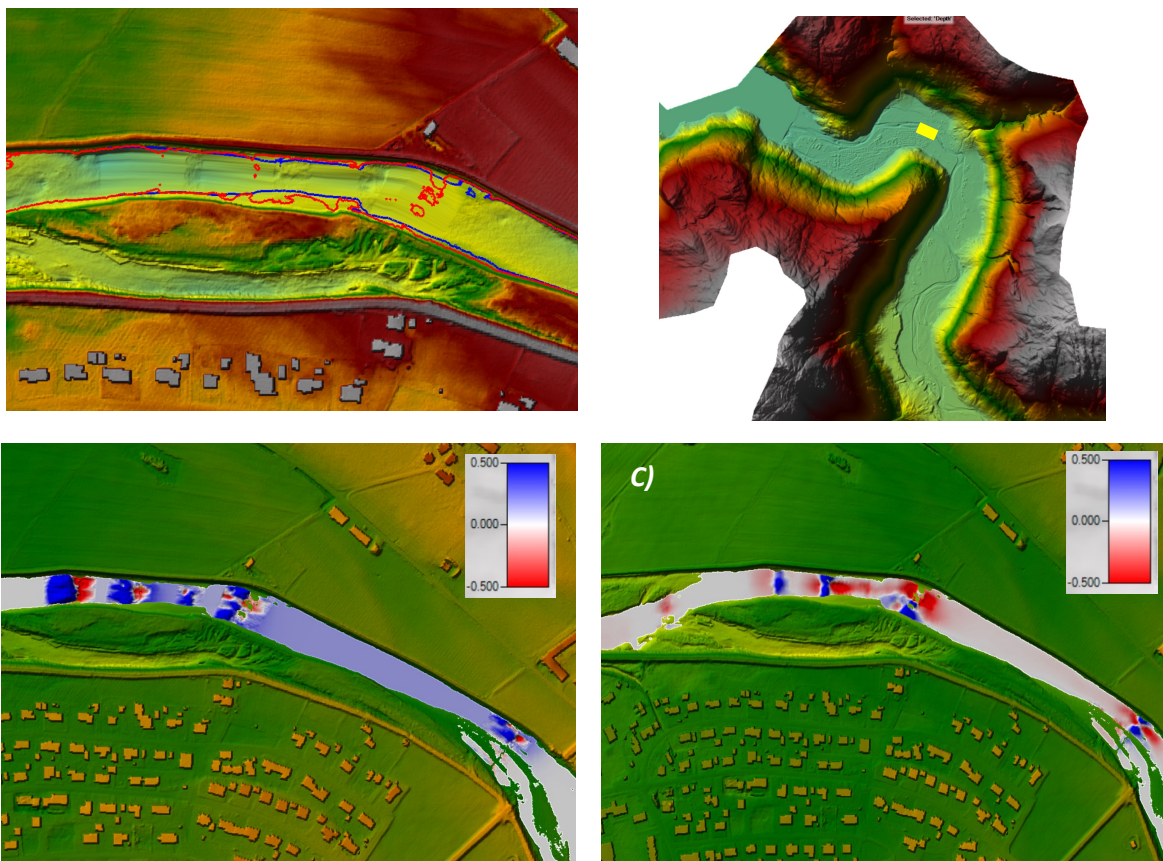


Figur 10 Endringar i hastighet i Grønnebank for ulike vassføringar. Fargekoder som i Figur 10.

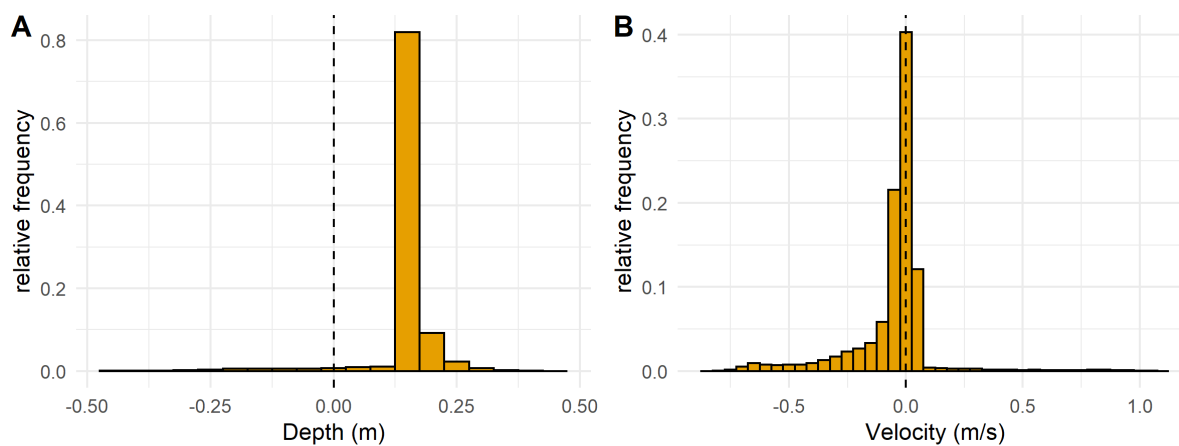
3.2 Detaljerte modellar for strekninga

3.2.1 Øye

På Øye er terskelen i Bruhølen fjerna saman med dei to tersklane rett nedstrøms. I Figur 11 ser vi endringane for ei vassføring på $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Vi ser at vi får ein reduksjon i vasstand i alle terskelbassenga og ei auke i vasshastighet. Den blå linja i Figur 9A viser vasskanten etter fjerning, og her ser vi og noko reduksjon i vassdekt areal i høve til situasjonen med terskel (raud linje). Endringane i djup og hastighet er kvantifisert i Figur 12 i form av eit histogram. Vi ser at den største andelen av endringar ligg i området $12.5 - 17.5 \text{ cm}$, med ein mindre del mellom $17.5 - 22.5 \text{ cm}$. Hastighetsauka er størst i området frå $2.5 - 7.5 \text{ cm/s}$.

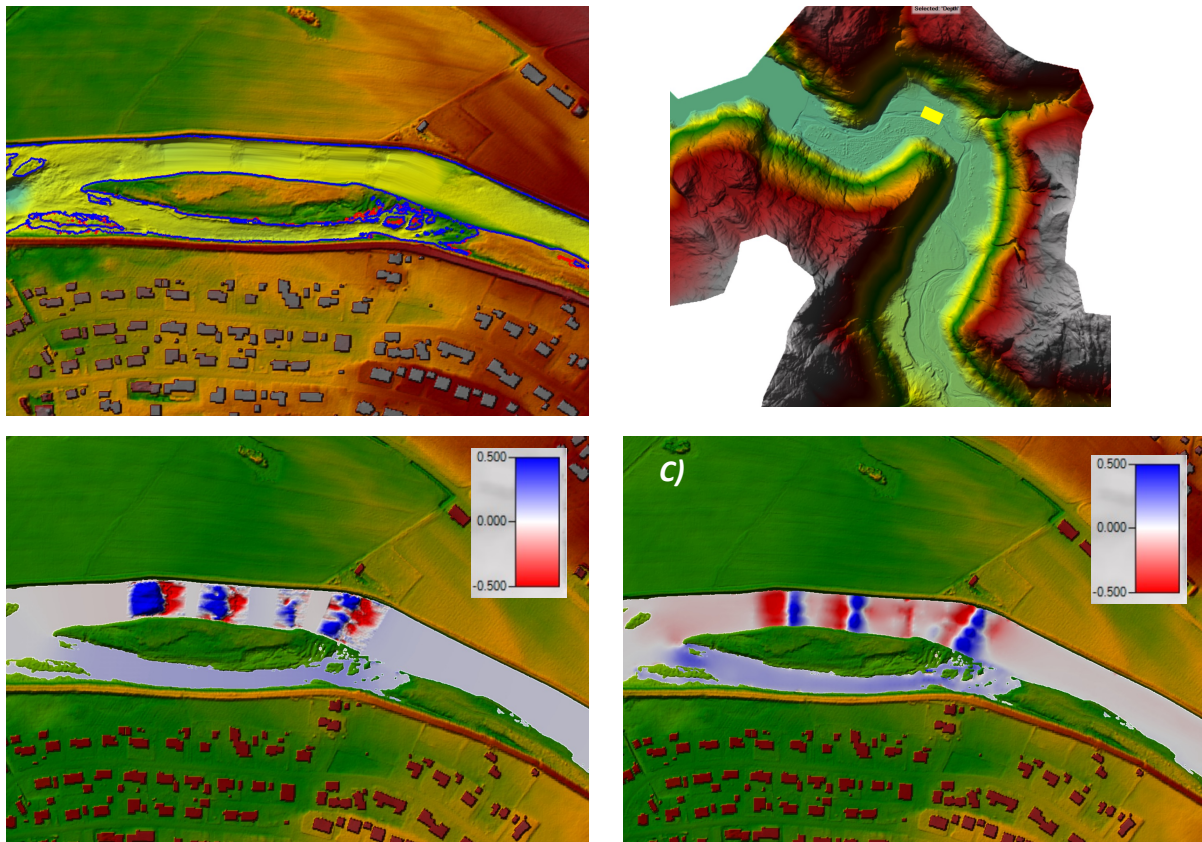


Figur 11 Endringar på Øye ved justering av tersklar i den detaljerte modellen for ei vassføring på $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Positiv Verdi på endring tyder at vi får ein reduksjon etter terskeljusteringa, raud farge ei auke etter justering.

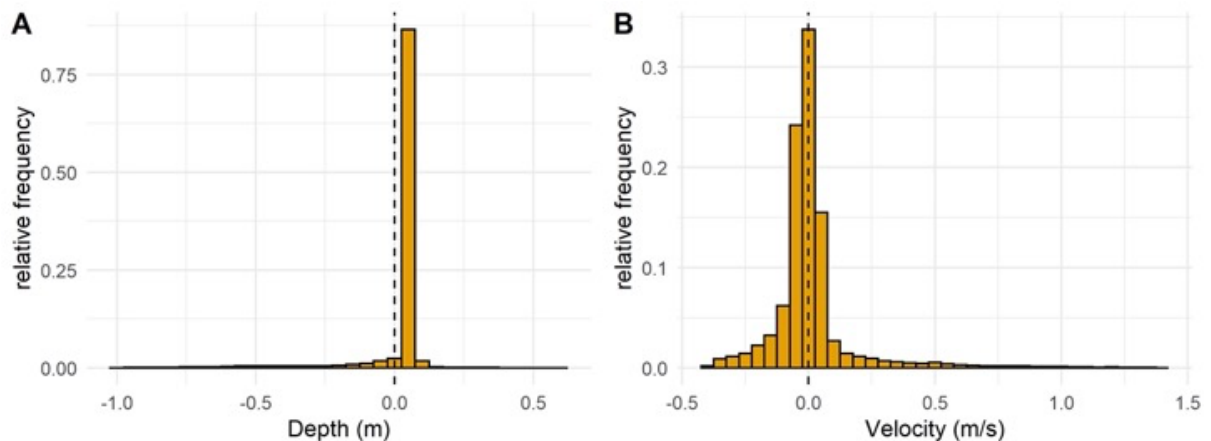


Figur 12 Histogram over endringar i djup (A) og hastighet (B) ved Øye for ei vassføring på $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figur 13 og 14 viser tilsvarende endringar ved ei vassføring på 120 m³/s. Figurane viser det same som vi ser i totalmodellen, aukande vassføring reduserer effekten av terskeljusteringar.



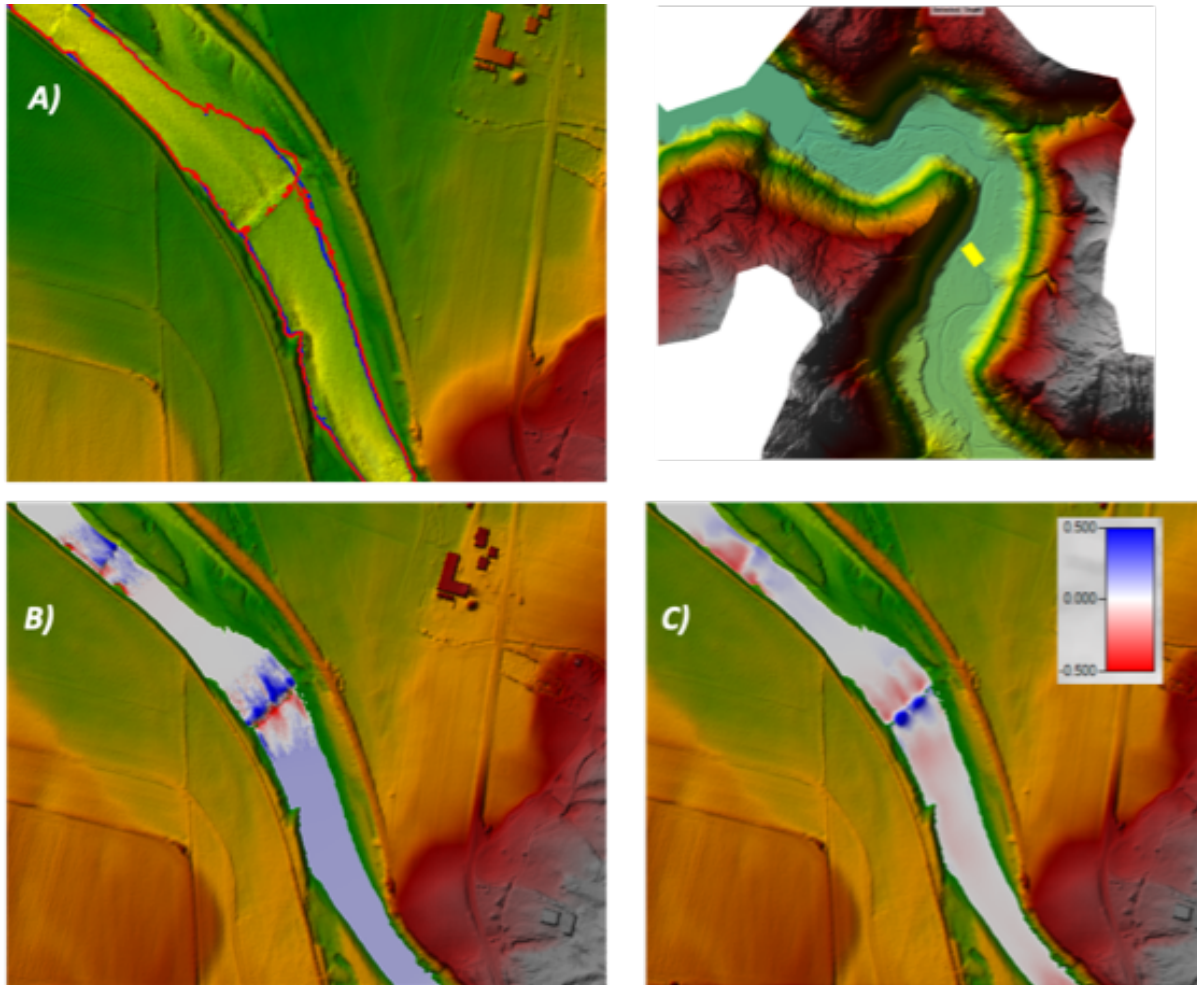
Figur 13 Øye ved 120 m³/s. Vassdekt areal (A), djup (B) og hastighet (C)



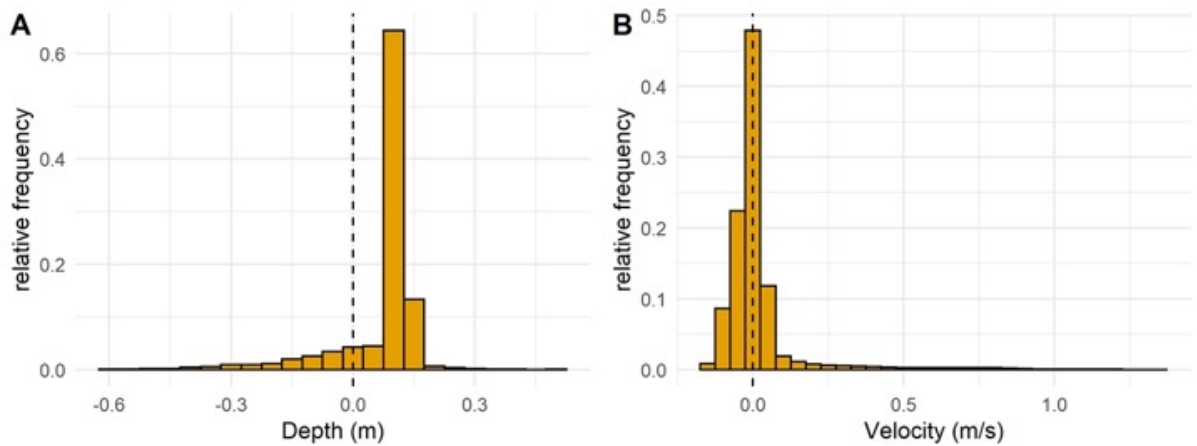
Figur 14 fordeling av endringar i djup (A) og hastighet (B) ved 120 m³/s ved Øye.

3.2.2 Grønnebank

Ved fjerning av terskelen i Grønnebank ser vi same mønster som ved Øye. Ved 10 m³/s får vi grunnare elv etter fjerning (Figur 15 B), hovudtyngda av endringar er ein reduksjon mellom 7.5 og 12.5 cm. Hastighet aukar i terskelbassenget, og vert redusert over terskelen (Figur 15 C og 16 B), hovudtyngda av auka ligg i området 2.5 – 7.5 cm/s, så det er relativt lite skilnad. Det er små endringar i vassdekt areal.



Figur 15 Endringer i vassdekt areal (A), djup (B) og hastighet (C) ved Grønnebank ved ei vassføring på $10 \text{ m}^3/\text{s}$



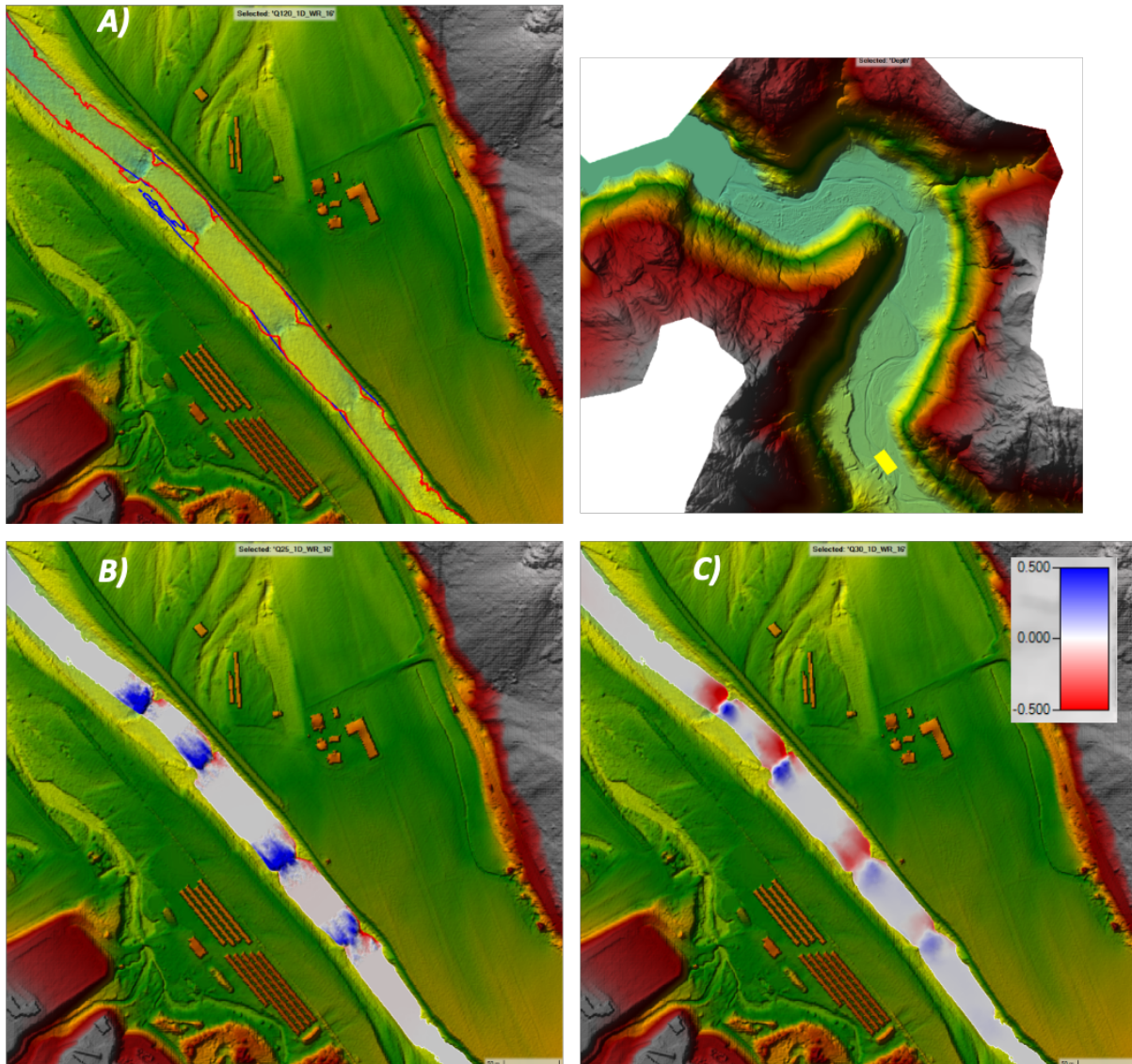
Figur 16 Endring i djup (A) og hastighet (B) ved Grønnebank.

For ei vassføring på $120 \text{ m}^3/\text{s}$ er det som for Øye og den totale modellen mindre endringer. Resultata er vist i vedlegg 1.

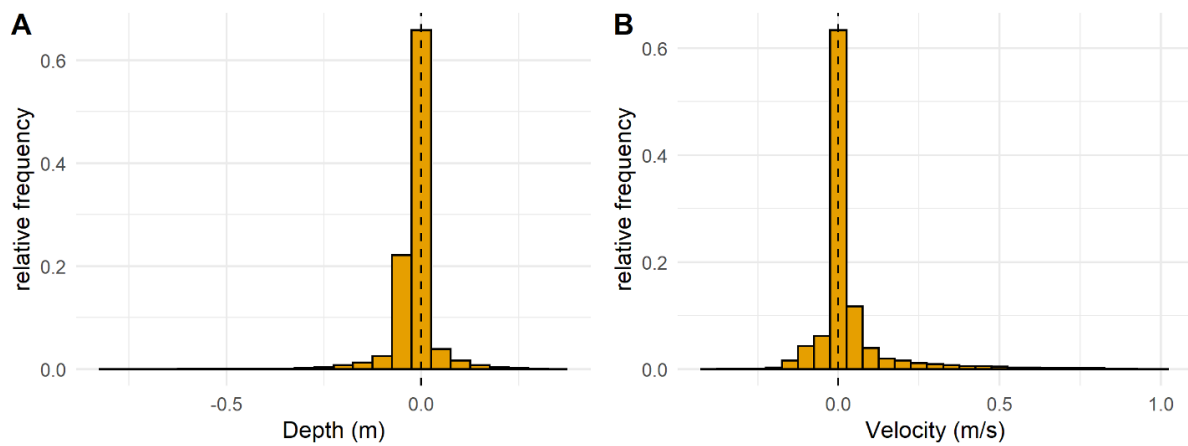
3.2.3 Molde

Fjerning av tersklar ved Molde gir lite endring i både djup og hastighet med unntak av akkurat rundt terskelen der fjerning av det djupe området nedstrøms gir utslag (Figur 17 og 18). I sjølve terskelbassenget er det lite endring sjølv ved $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Samanlikna med Øye og

Grønnebank er tersklane ved Molde meir utprega Syvdetersklar med større opening i midten og føremålet er vel i større grad å skape tilhøve for fiske rundt terskelen enn å heve vasspeilet oppstrøms.



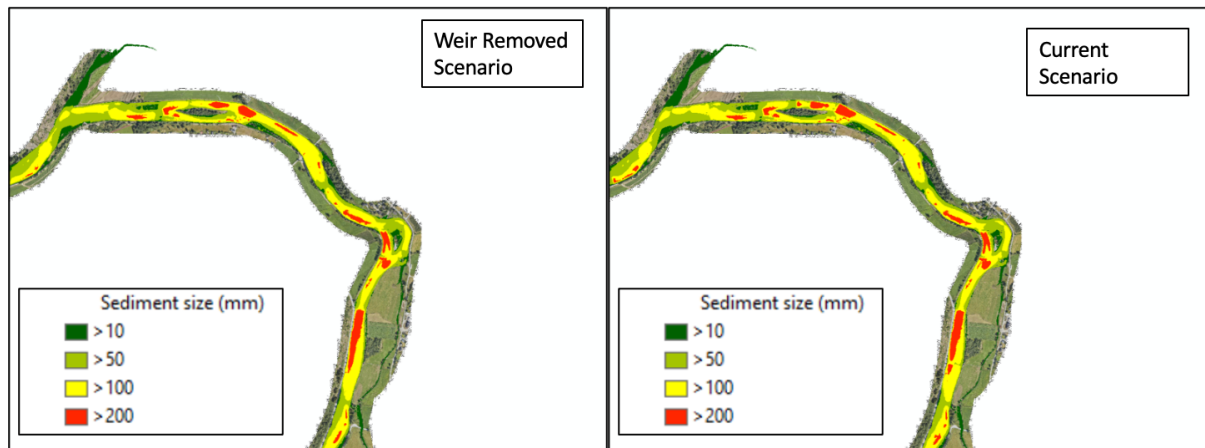
Figur 17 Endringar i vassdekt areal (A), djup (B) og hastighet (C) ved Molde for ei vassføring på $10 \text{ m}^3/\text{s}$.



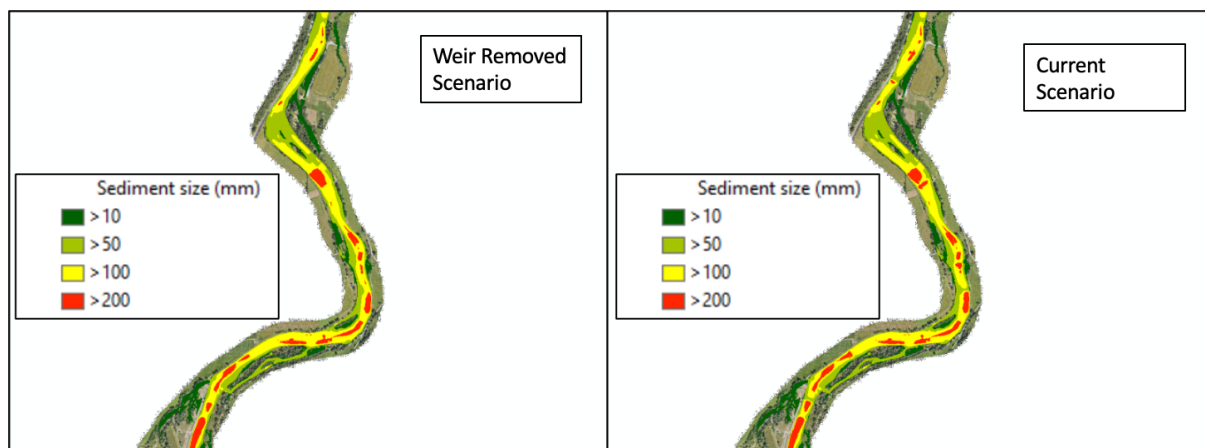
Figur 18 Fordeling av endringar i djup (A) og hastighet (B) ved Molde. Vassføring $10 \text{ m}^3/\text{s}$

3.2.4 Effekt av flom på sediment i tersklar

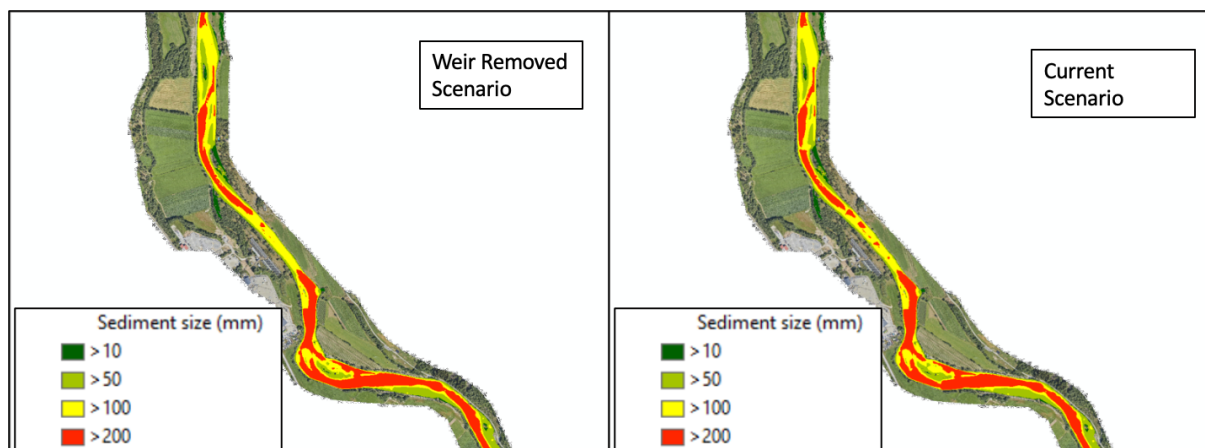
Flomsimulering for ei vassføring på 230 m³/s er vist i Figur 19 – 21 for strekningane Hunderi – Øye, Eri – Hauge og Voll – Molde. Vi ser at det er små skilnader mellom scenarioet med ingen tersklar og situasjonen i dag. Lokalt ser vi nokre stader at storleiken på material som kan flyttast aukar litt akkurat i front av terskelen, t.d. Grønnebank og Bjørnøy, men vi ser ikkje større verknader av terskeljusteringar på så store vassføringar. Verdier for 20-års flom er tatt med i vedlegg til rapporten.



Figur 19 Mogleg mobilisering av sediment på strekninga Hunderi – Øye ved middelflom, 270 m³/s



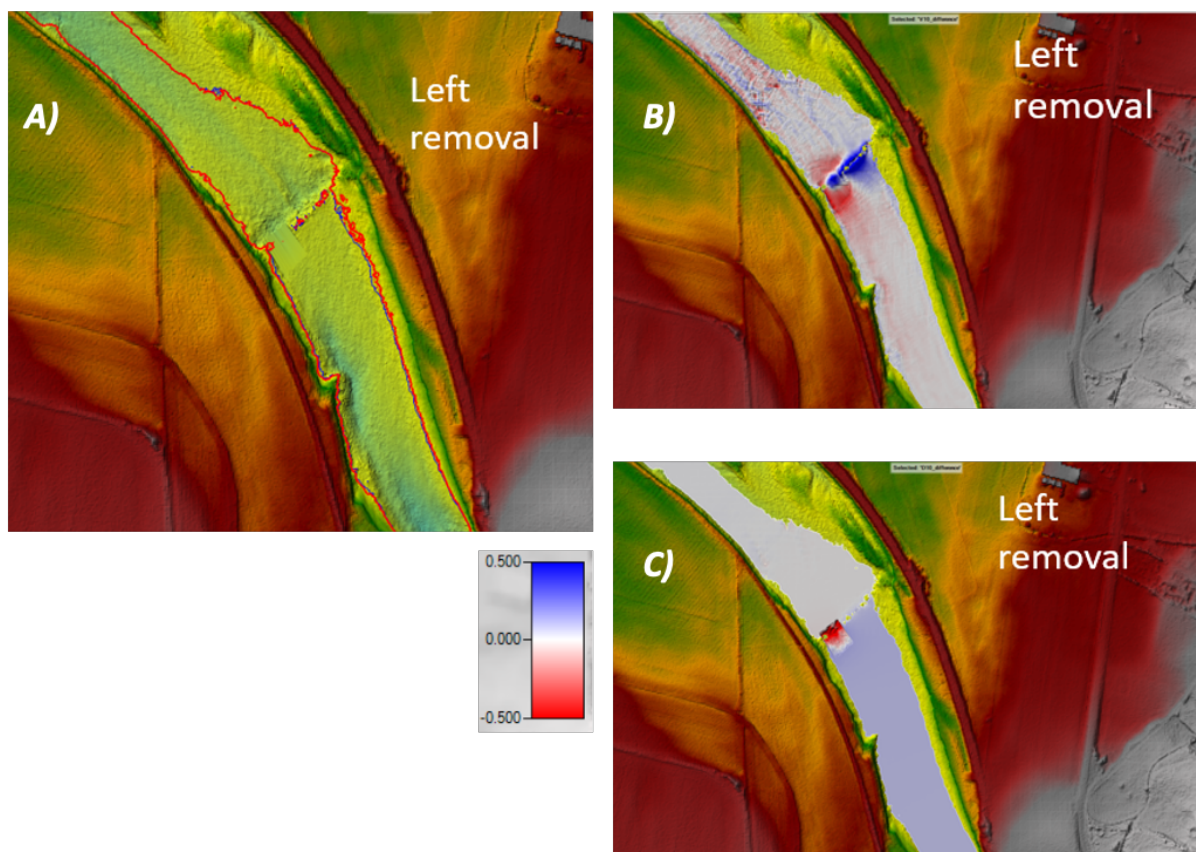
Figur 20 Mogleg mobilisering av sediment på strekninga Hauge – Eri ved middelflom, 270 m³/s.



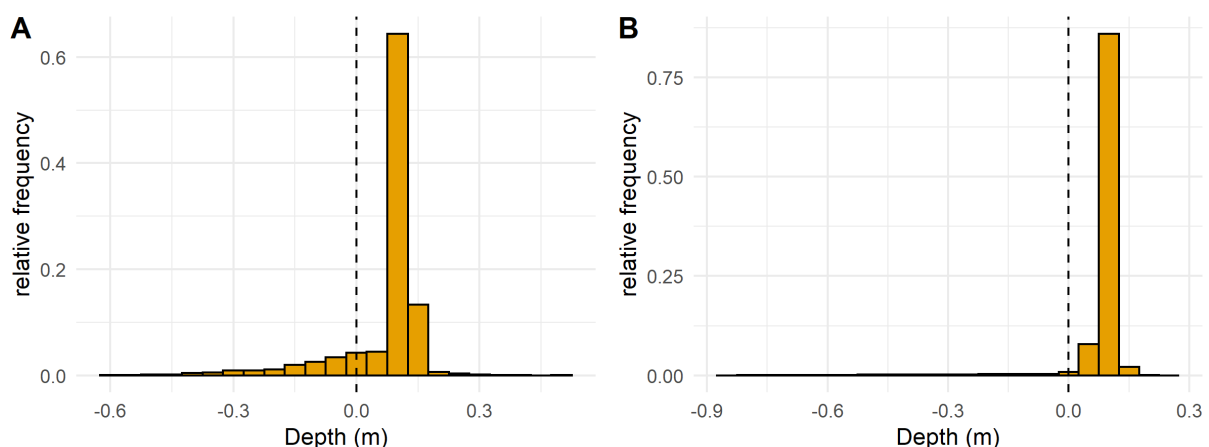
Figur 21 Mogleg mobilisering av sediment på strekninga Molde – Voll ved middelflom, 270 m³/s.

3.3 Simulering av ulike metodar for justering av tersklar

Så langt har alternativet vore full fjerning av terskelen. For å illustrere moglege andre endringar har vi først sett på ein situasjon der vi fjernar 1/3 av terskelen på venstre side av elva og lar resten vere som i dag (Figur 22 A). Dette endrar straumtilhøva i utløpet av hølen og fører til litt mindre endring i djup og hastighet samanlikna med full fjerning av terskelen.



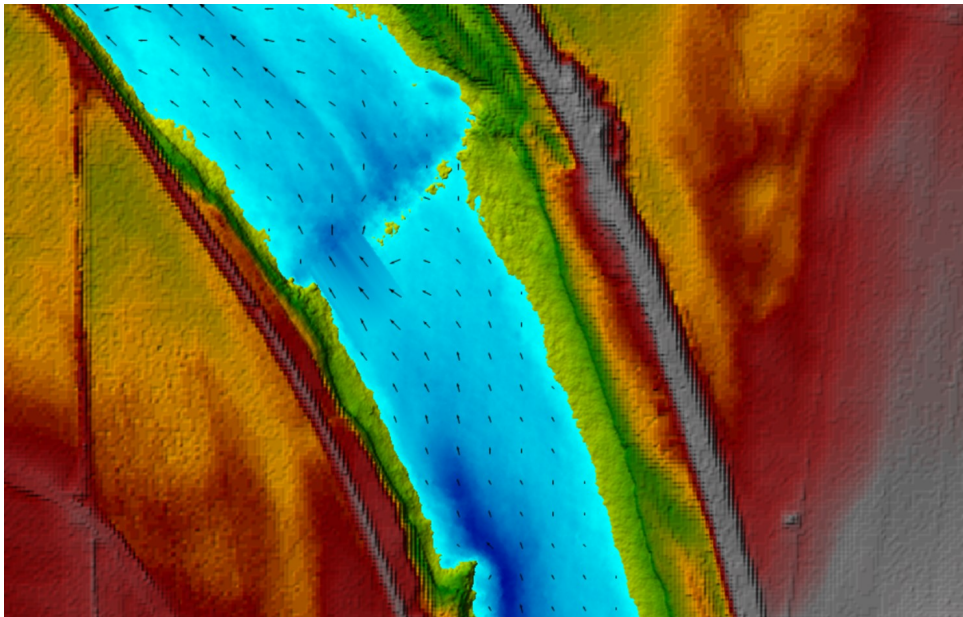
Figur 22 Example of alternative adjustment of the weir at Grønnebank with 1/3 removed. Discharge $10 \text{ m}^3/\text{s}$. I A) ser vi endringa i terskelen og simulert vassdekt areal, B) endring i hastighet og C) endring i djup.



Figur 23 Endringar i djup frå full fjerning av terskel (A) til opning på venstre side (B).

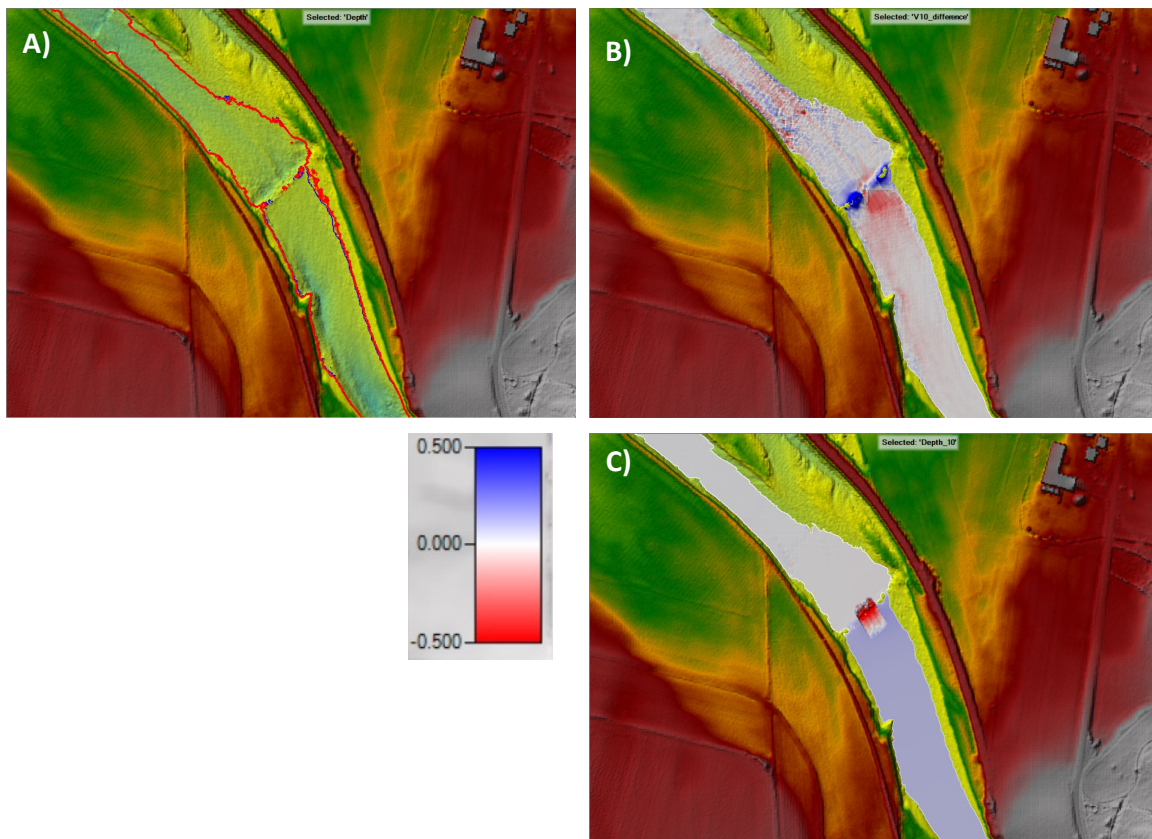
Vi ser frå Figur 22C at vi får ei endring i vassdjup og når vi opnar terskelen i 1/3 av lengda på venstre side. Om vi samanliknar dette med situasjonen ved full fjerning (Figur 23), så ser vi at reduksjonen er mindre. I talverdiar så har vi median endring i djup ved full fjerning på

11.9 cm så er tilsvarande for fjerning av 1/3 av terskelen 8.7 cm. Så vi får mindre reduksjon i vassdjup om vi fjernar delar av terskelen. Dette gir og endra straumingsmønster gjennom terskelen (Figur 24).



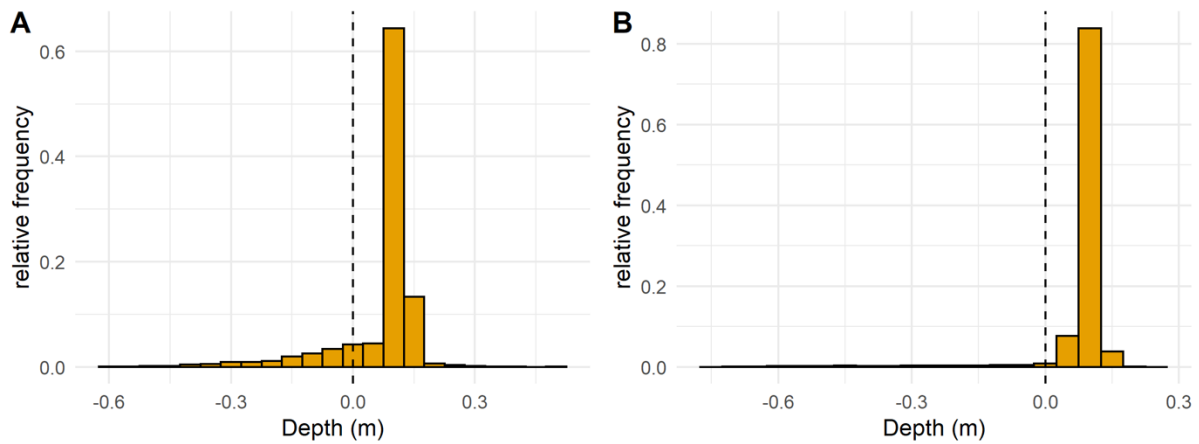
Figur 24 Straum gjennom terskel med 1/3 opning. Vassføring 10 m³/s.

Eit anna eksempel på terskeljustering er vist i Figur 25. Her er midten av terskelen fjerna og elles er dei same analysane gjort.



Figur 25 Endring av terskel med opning i midten, A) vassdekt areal, B) hastighet og C) djup. Vassføring 10 m³/s.

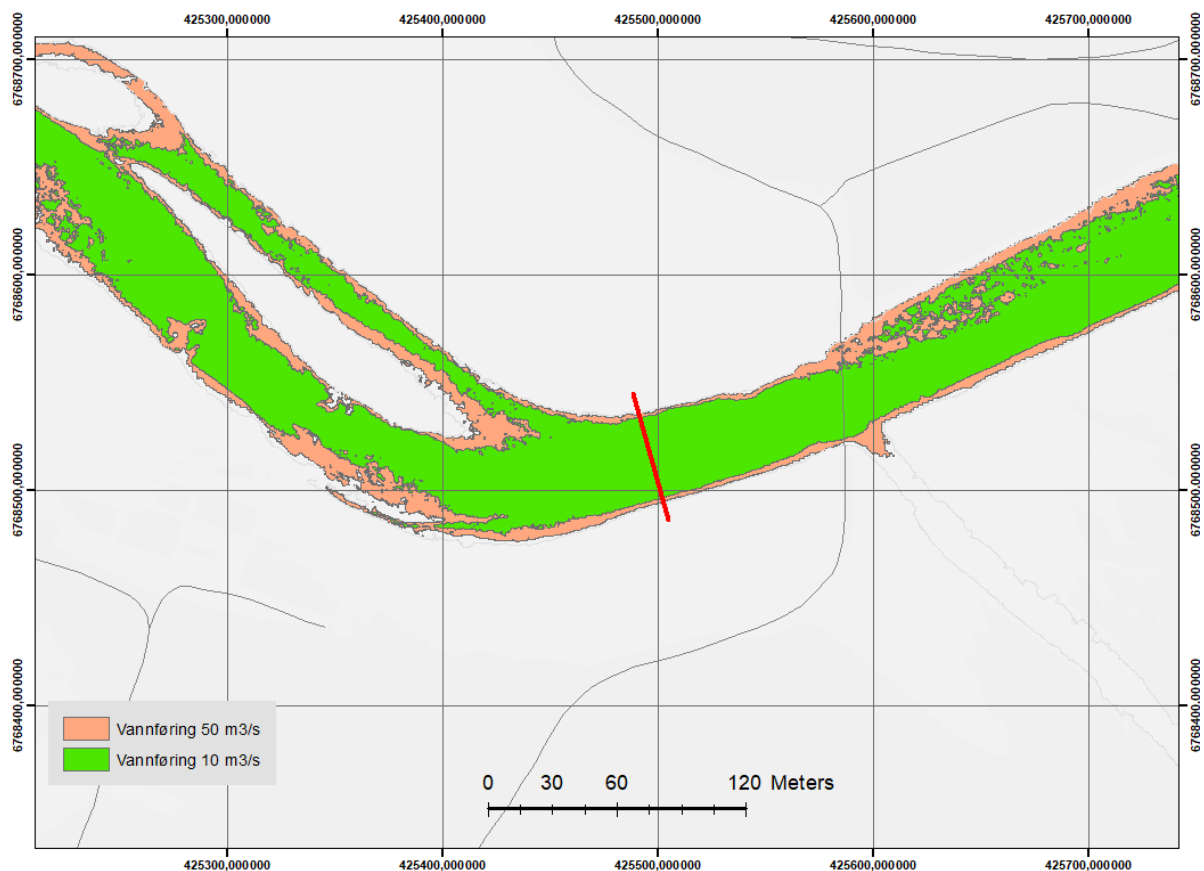
Vi ser det samme mønsteret som for endring på venstre side av elva. Vi får høgare vasstand oppstrøms terskelen. Fordeling av djup er vist i Figur 26.



Figur 26 Fordeling av djup ved full fjerning (A) og fjerning i midten av terskelen (B). Vassføring 10 m³/s.

4 Nedkøyring av Stuvane – effekt på vasstand i Båthølen

For å finne effekt av ulike nedkøyringar på reduksjon i vasstand i Båthølen er det gjort ei rekke simuleringar for ulike vassføringar og vasstand er henta ut frå eit profil i der hølen er på det breiaste (Figur 27).



Figur 27 Plassering av profil i Båthølen der endring i vannstand er hentar ut. Fargekoder viser vassdekt areal ved 10 og 50 m³/s.

Tabell 1 Reduksjon i vannstand i cm ved nedkøyring av kraftverket med ulike intervall. Kolonner med x – ingen Verdi.

Vassføring (m ³ /s)	Reduksjon i vannstand for reduksjon i vassføring (m)					
	0.03	0.06	x			
15	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	x
20	0.02	0.05	0.07	0.09	0.12	0.15
25	0.02	0.04	0.06	0.09	0.11	0.14
30	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.13
35	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.13
50	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09
70	0.00	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08
100	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
150	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05
Reduksjon (m ³ /s)	-1.3	-2.6	-3.9	-5.2	-6.5	-7.8

Tabell 1 viser reduksjon i vannstand i meter ved ein reduksjon i vassføringa frå kraftverket (første kolonne i tabellen) med ei steg i vassføring som vist i siste rad i tabellen. Så verdien på 0.03 øvst i andre kolonne er reduksjon i vassføringa når vassføringa går ned frå 15 m³/s til 13.7 m³/s (reduksjon på 1.3 m³/s). Vi ser frå tabellen at størst reduksjon skjer ved dei største reduksjonane når vi har låg vassføring som utgangspunkt. Effekten av reduksjon minkar når vassføringa i elva er stor i utgangspunktet. Endringa som vist i Tabell 1 er tatt ut i eit punkt i vassdraget og kan variere avhengig av geometrien til elva og med avstand til utsleppspunktet, så denne samanhengen er stadbunden.

5. Diskusjon og Oppsummering

I dette prosjektet har vi brukt den hydrauliske modellen for Lærdalselva til å simulere fjerning av tersklar på strekningar frå nedstraums Stuvane til sjøen, og henta ut kva effekt dette har på hydrauliske tilhøve. Vi har og laga modellar med finare oppløysing for eit utval av tersklar og sett på effekt av justeringar i meir detalj. Vi ser at vi får redusert djup og auka hastighet på vatnet i det gamle terskelbassenget, spesielt for dei lågaste vassføringane. Vassdekt areal vert derimot relativt lite påverka av desse justeringane, noko som kanskje er overraskande sett utifrå tidlegare erfaring med slike prosjekt. Frå terrengmodellen og profil frå den hydrauliske modellen ser vi at dette heng saman med at vi har relativt få slake bredder med grunt vatn i elva. Det er mange forbyggingar langs elva, og mange område med relativt djupt vatn heilt inn til elvebredda.

Resultata vil henge saman med val av metode for å justere terskelen. I den metoden som er brukt i dei fleste av våre simuleringar har vi definert eit oppstraums og eit nedstraums profil og så interpolert ein jamn hellande elvebotn mellom desse profila. Plasseringa av desse profila vil påverke både geometrien og dei hydrauliske tilhøva i den «nye» elva. Vi har freista å legge øvre profil slik at vi tar ut noko masse som har lagt seg opp oppstraums terskelen, og vi har lagt nedre profil slik at det djupe partiet som er laga til nedstraums dei aller fleste tersklane og vert fjerna. Vi har gjort dette for å få ein konsistent metode for å justere alle tersklane og sjå på den totale endringa på. Den metoden vi har valt å bruke er ein måte å gjere dette på, og vi har i tillegg freista å vise eit par eksempel på andre metodar der vi

justerer delar av terskelen eller tar ut meir masse i terskelbassenget ved fjerning. Det finst mange ulike måtar å gjere desse justeringane på, og det ville vere nesten umogleg å dekke alle tenkelege endringar i eit prosjekt som dette. Men modellen er på plass og vi har ei grei metode for justering av elvebotnen, så spesifikke endringar på enkelt tersklar kan simulerast med relativt liten innsats. Eit eksempel på at andre metodar kan vere naudsynt er t.d. ved Molde der metoden vi har brukt for å justere tersklar nok sterkt reduserer den funksjonen som tersklane ved Molde har ved å skape djupare vatn og fiskeplassar.

Føresetnadane for justeringane er at vi har same breidd på elva og ein flat botn der terskelen tidlegare var plassert. Vi har ikkje sett på om endringar i elveprofilet som samlar vatn tilsvarende konseptet om «elv i elva» (Pulg et al. 2018) kan vere ei løysing på lave vassføringar. Vi har vel sett dette som å ligge utanfor oppgåvene i prosjektet og kanskje er det heller ikkje ein aktuell måte å utforme elva på i Lærdal.

Vi har kontrollert geometrien mot måledata for å sikre at vi har eit godt utgangspunkt, og vi ser at modellen både kalibrerer bra og ser ut til å simulere vassdekt areal på ein god måte over fleire ulike vassføringar. Men vi kan ikkje garantere at det ikkje kan vere noko avvik i enkelte område eller at det har skjedd endringar i elva sidan oppmålinga vart gjort i 2018. Eit eksempel på dette er området nedstraums Voll bru som er endra etter at oppmålinga vart gjort, noko som er tydeleg når vi samanliknar modellen med den dronekartlegginga som NORCE gjorde i samband med tilleggsrapporten som vart laga i 2020 (Bustos et al. 2020). Dette området er difor ikkje med i denne analysen.

Vi har gått utifrå at området der terskelen vert justert vert erosjonssikra på ein sikker måte og at terskelkrona vert erstatta med ei steinsetting som hindrar erosjon i området. Det er ikkje gjort noko ytterlegare vurderingar av kva dette måtte innebære av arbeid eller kostnader, og vi har heller ikkje gjort noko forsøk på å bruke resultat frå modellen til å dimensjonere dette. I området der terskelen vert fjerna har vi i modellen gått utifrå at vi får same ruhet som før fjerning, og vi har ikkje tatt omsyn til endringar i substrat og kva innverknad dette kan ha på hydrauliske tilhøve.

Når vi simulerer middel og 20-årsflom og brukar Shields formel for å vurdere kva storleik sediment som kan verte aktivert så ser vi lite forskjell på elva med og utan terskeljusteringar. Små endringar akkurat der terskelen var plassert er observert, men generelt får vi ikkje noko effekt av justeringane når elva er flomstor.

Alle resultat her er basert på hydraulisk modellering, og sjølv om modellen er kalibrert for ulike vassføringar så er det verdt å minne om at det er ein modell. Sjølv med god kalibrering vil der kunne vere avvik mellom simulerte resultat og den verkelege tilstanden sidan vi òg har ein viss uvisse i den kalibrerte modellen. Men for vassføringar i området som modellen er kalibrert for meiner vi at vi får eit realistisk bilete av endringane som skjer og skilnadane mellom dei ulike tiltaka.

Oppsummert viser resultatata frå simuleringane:

- Fjernar ein tersklar vert det grunnare og raskare i utløpet av mange av hølane. Men modellen tyder ikkje på at det vert store endringar i vassdekt areal slik som vi har

sett i andre prosjekt der tersklar er justert. Dette fordi mange av tersklane i Lærdal er mindre og fordi dei ikkje har same oppdemmingseffekt som t.d. i eksempla frå Fjeldstad et al. (2012) og Brekke (2020). Fjerning av store, rette tersklar får større effekt enn typiske opne Syvdetersklar.

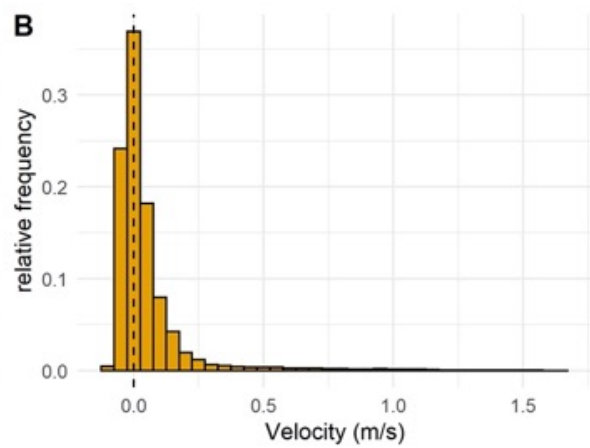
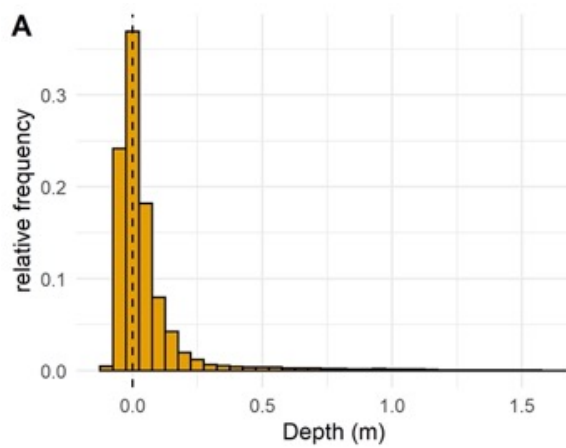
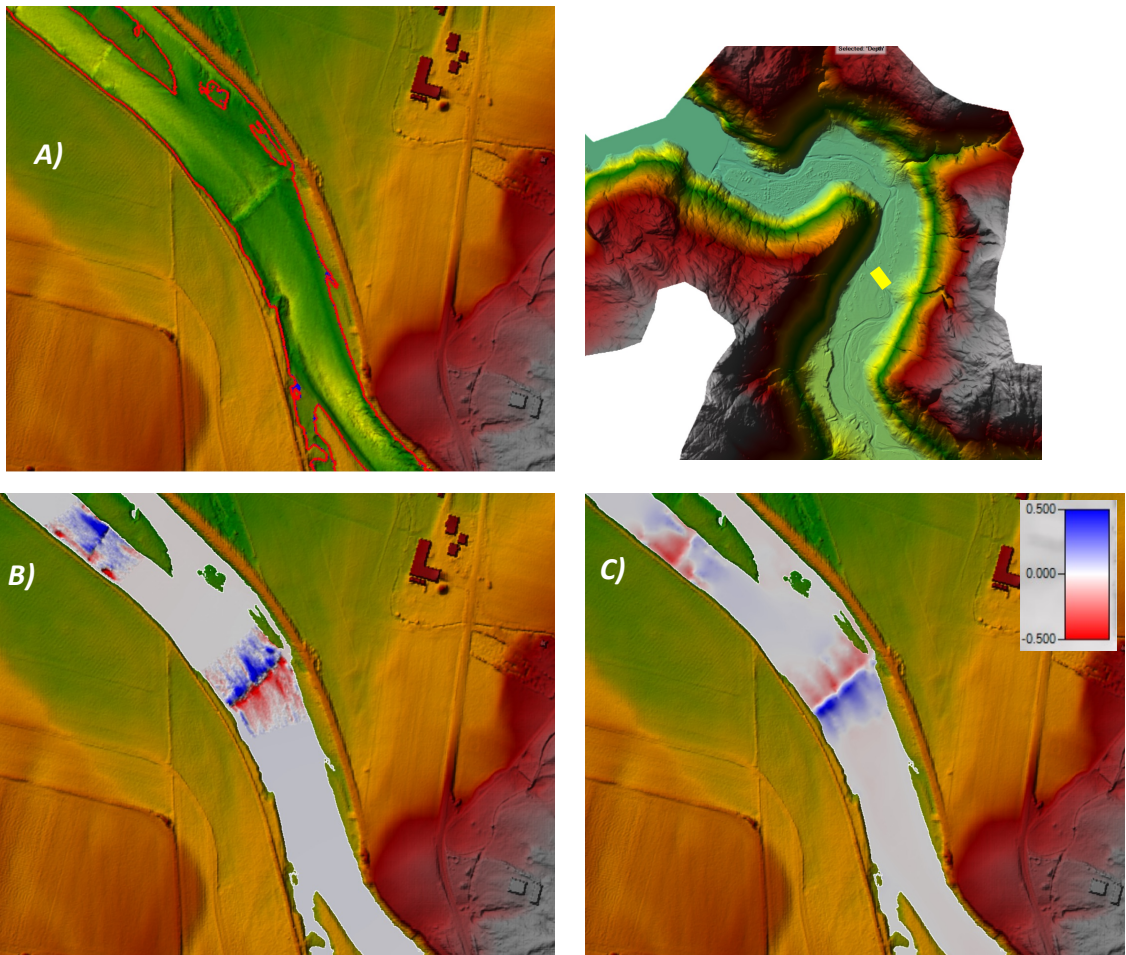
- Simuleringane viser at potensialet for fjerning av sediment ved høge vassføringar er svært lite påverka om der er tersklar eller ikkje.
- Ei terskeljustering kan innebere at ein tar ut ein del finmasse oppstraums terskelen i prosessen, noko som potensielt kan gi meir habitat for ungfisk. Noko høgare hastighet i dette området kan kanskje føre til meir transport av fint sediment etter justeringa, men resultatene tyder ikkje på store endringar i denne kapasiteten for lågare vassføringar slik justeringane er gjort i dette prosjektet. Individuelle tilpassingar til kvar enkelt terskel bør vurderast. Vi har brukt ei metode som legg opp til ei naturleg helling på elvebotnen gjennom den fjerna terskelen. Større helning kan gi større hastighet og potensielt betre fjerning av finstoff, men kan og føre til mindre vassdjup.
- For ein del av Syvdetersklane vil justeringa føre til rettare og meir naturleg straum og mindre bakevjer som kan påverke sedimentering ved terskelen. Men dette er det vanskeleg å kvantifisere med ein 2D modell. Merk og at det djupe området bak mange av Syvdetersklane vert fjerna slik vi har gjort det, noko som vil påverke den funksjonen terskelen har i dag.
- Ved endring i tersklar bør dette gjerast slik at stabiliteten i elvebotnen der terskelen er fjerna vert sikra for å hindre uønskt erosjon.

REFERANSER

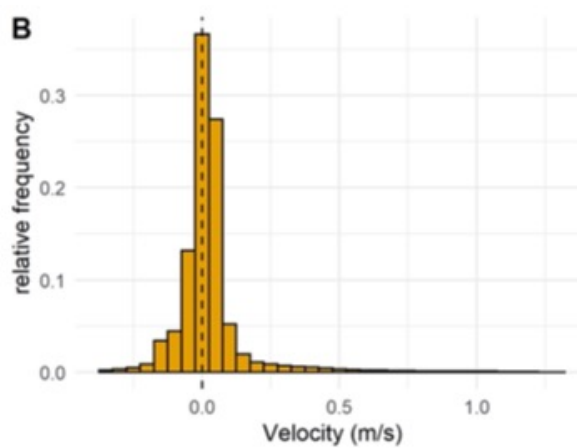
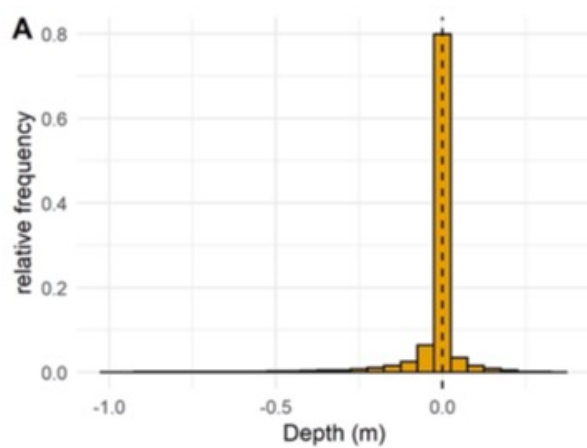
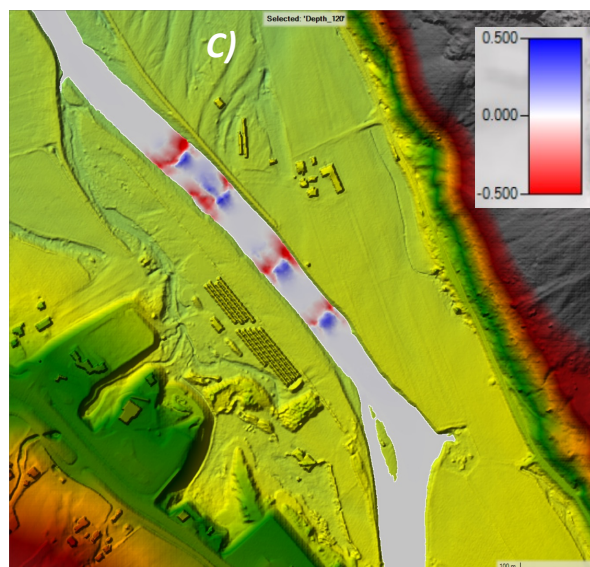
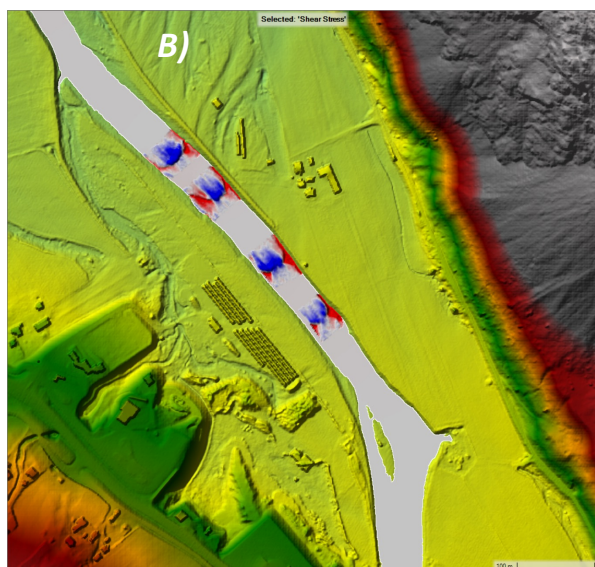
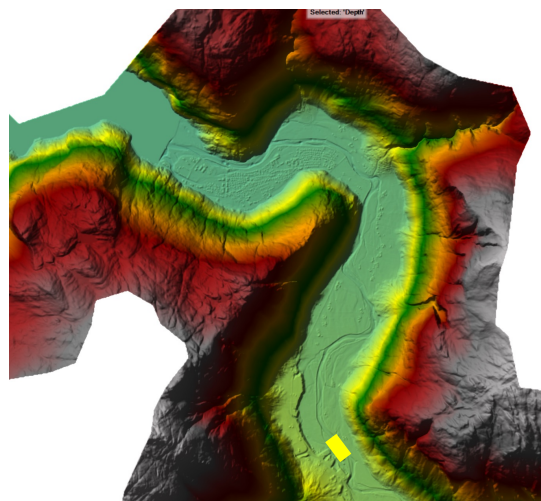
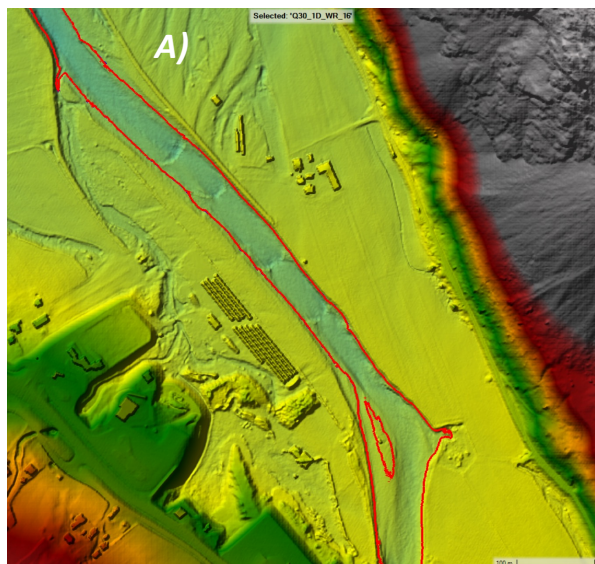
- Alfredsen, K., A. Juarez, E. Limpens and A. Sivakumar(2019).Simulering av vassdekt areal i Lærdalselva. (Simulation of water covered area in Lærdalselva) (In Norwegian) Norwegian University of Science and Technology B1-2019-5
- Anon(1994).Registrering av tersklar, utstikkarar, o.l. i Lærdalselv (del 1 og 2)
- Brekke, I. (2020). Modellering av terskelfjerning og terskelendringer i Nea. MSc, NTNU.
- Bustos, A., K. Alfredsen, L. Schöenfelder, S. Stranzl, B. Hansen and S.-E. Gabrielsen(2020).Supplerende undersøkelser i Lærdalselva SINTEF Energi AS 2020:01196 47
- Bustos, A., R. Hedger, H.-P. Fjeldstad, K. Alfredsen, H. Sundt and D. Barton (2017). Modeling the effects of alternative mitigation measures on Atlantic salmon production in a regulated river. Water Resources and Economics doi:10.1016/j.wre.2017.02.003
- Fjeldstad, H.-P., B. T. Barlaup, M. Stickler, S. E. Gabrielsen and K. Alfredsen (2012). Removal of weirs and the influence on physical habitat for salmonids in a Norwegian river. Rivers Research and Applications: an international journal devoted to river research and management doi:<http://dx.doi.org/10.1002/rra.1529>
- Fjeldstad, H.-P., S. Gabrielsen, G. Robertsen and B. Skår(2019).Miljødesign i Lærdalselva SINTEF 2019:00915 149
- Gabrielsen, S.-E.(2020).Overordnet tiltaksplan for Lærdalselva, januar 2020 NORCE LFI
- Guo, J. (2002). Hunter rouse and shields diagram. Advances in Hydraulics and Water Engineering: Volumes I & II. Singapore, World Scientific: 1096 - 1098.
- Holmquist, E.(2000).Flomberegning for Lærdalselva (73.Z) NVE 21
- Pulg, U., B. Barlaup, H. Skoglund, G. Velle, S.-E. Gabrielsen, S. Stranzl, E. Olsen, B. Lehmann, T. Wiers, B. Skår, E. Nordmann, H.-P. Fjeldstad and F. Kroglund(2018).Tiltakshåndbok for bedre fysisk vannmiljø: God praksis ved miljøforbedrende tiltak i elver og bekker. NORCE LFI Rapport 296
- Seguin Garcia, S. (2019). Hydraulic modelling of the Lærdal river. MSc, NTNU.

VEDLEGG 1 – Resultat frå detaljsimulering av Grønnebank og Molde for 120 m³/s

Endringsplott og histogram for Grønnebank ved ei vassføring på 120 m³/s
A) Vassdekt areal, B) Djup, C) Hastighet.



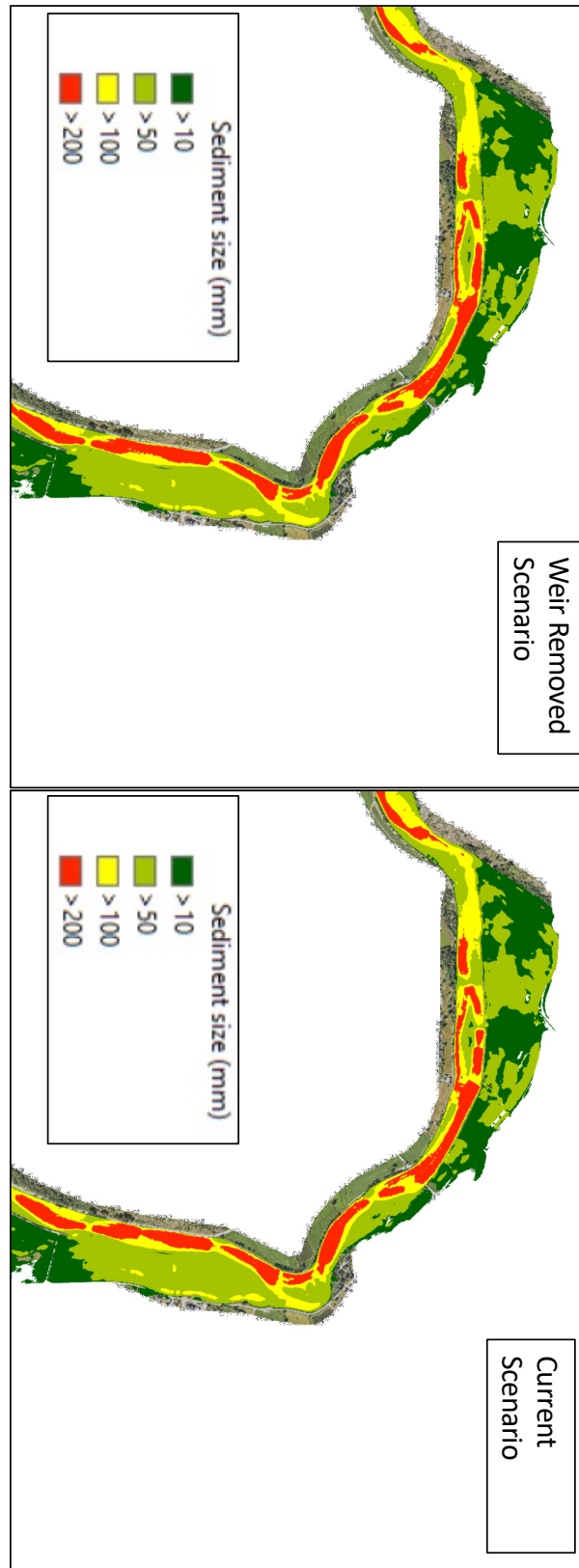
Endringsplott og histogram for Molde ved ei vassføring på 120 m³/s
 A) Vassdekt areal, B) Djupe, C) Hastighet.

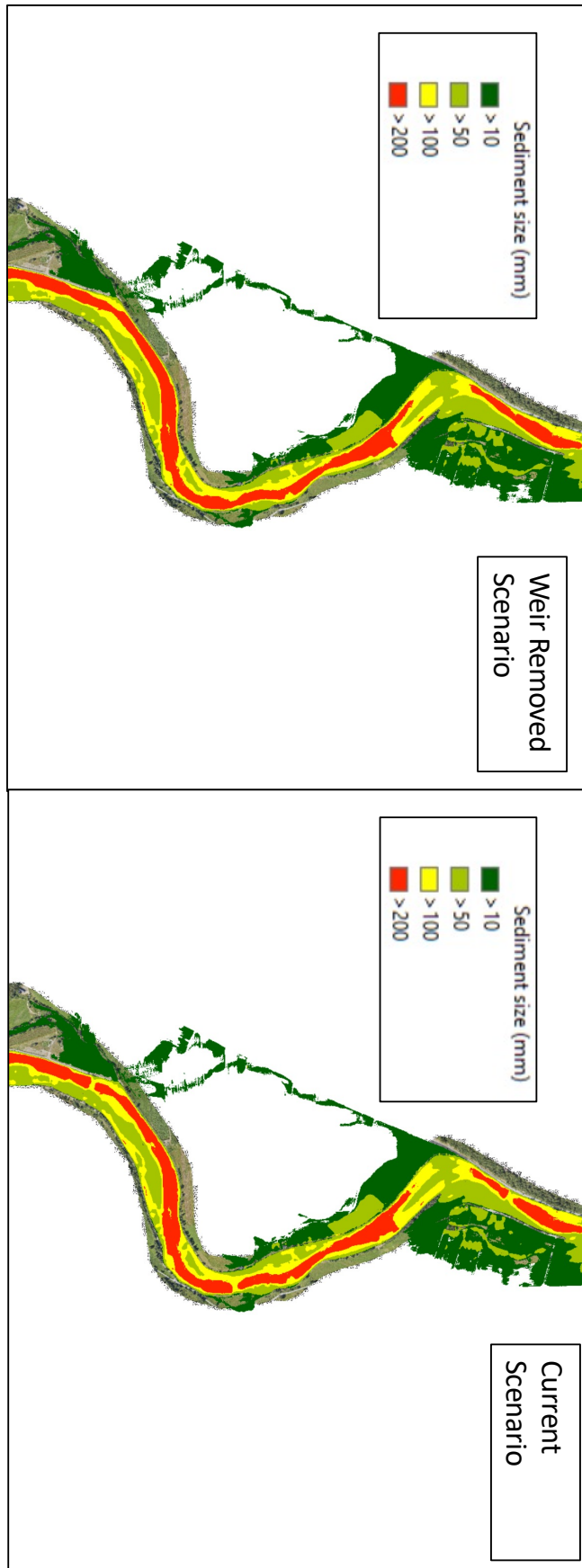


VEDLEGG 2 – Fleire flomsimuleringar

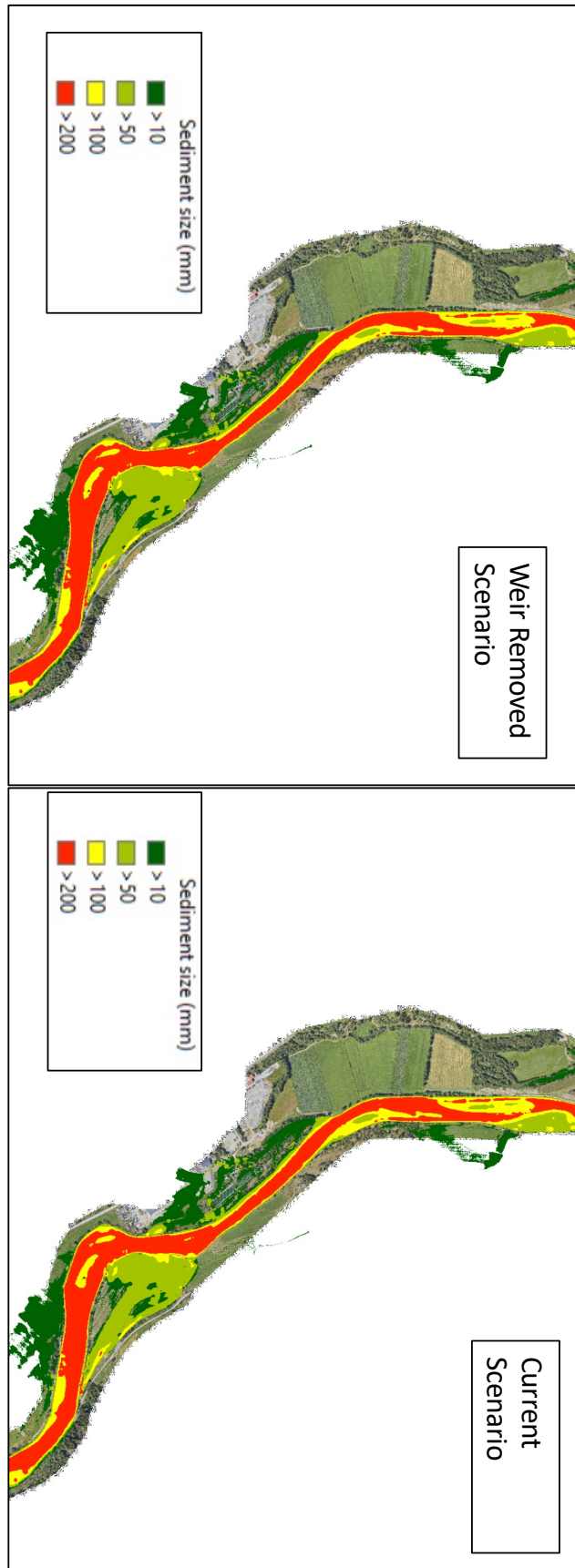
Simulering ved 20-årsflom, 530 m³/s

Øye - Hunderi



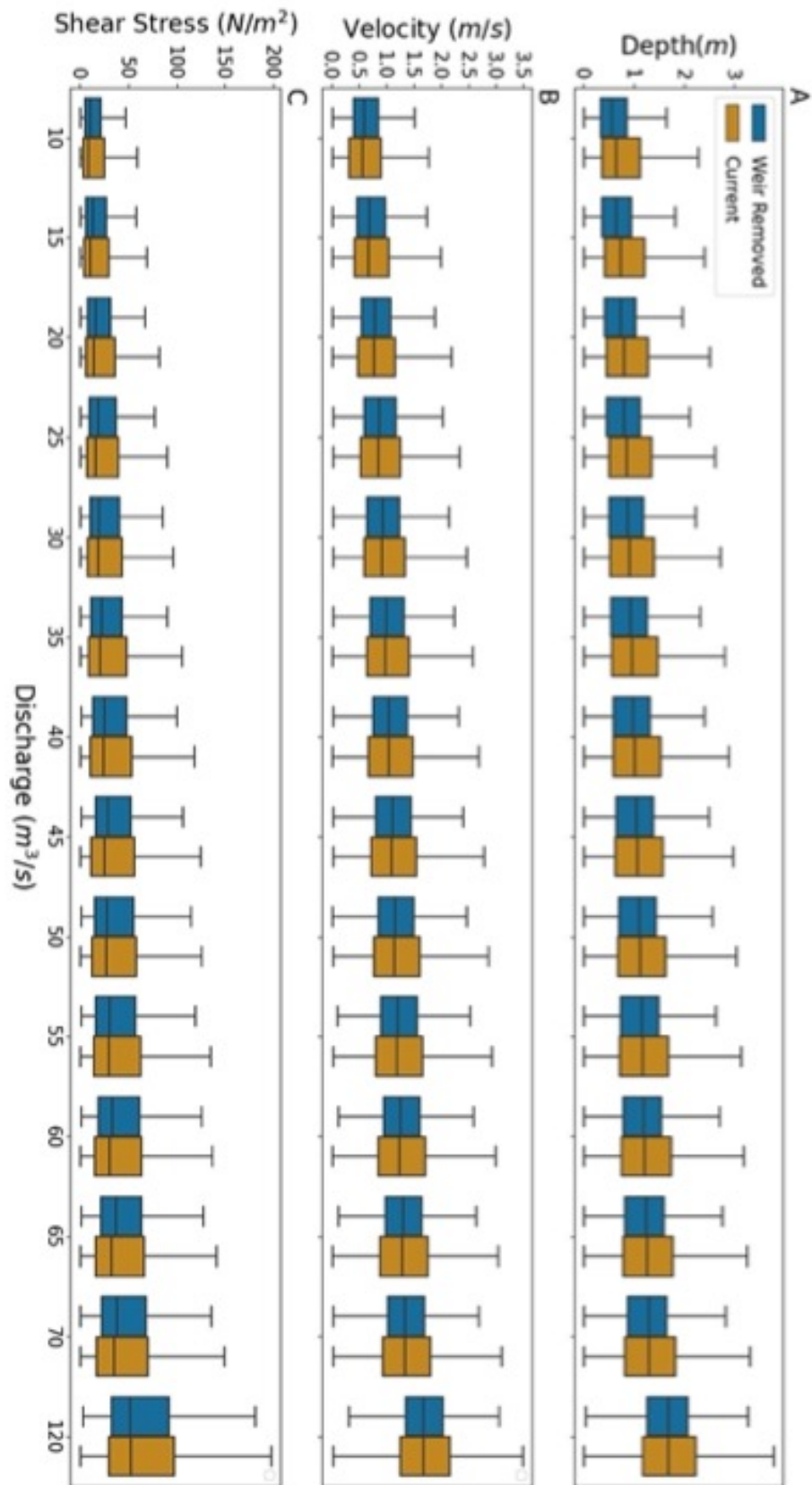


Molde

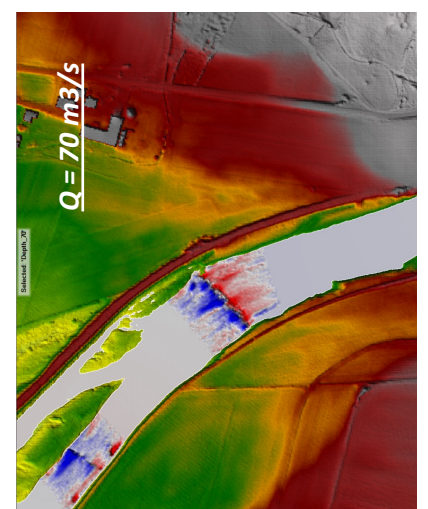
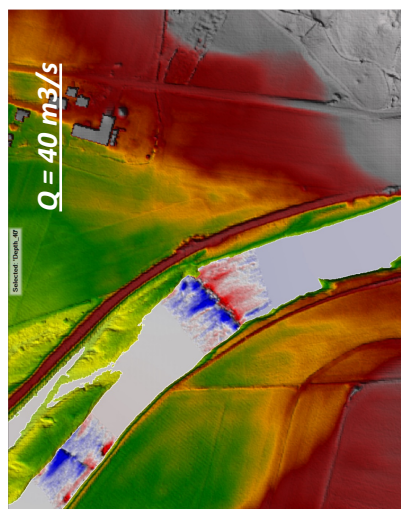
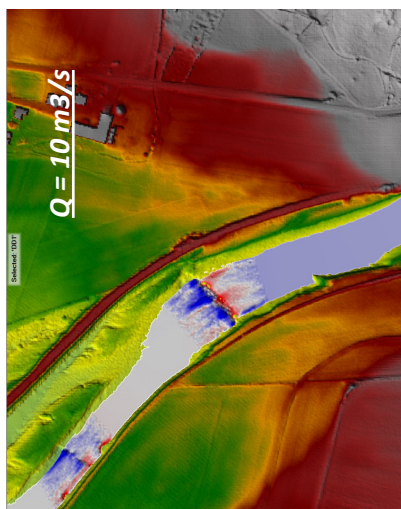
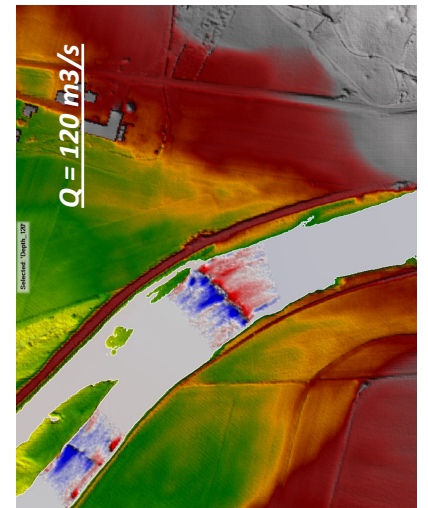
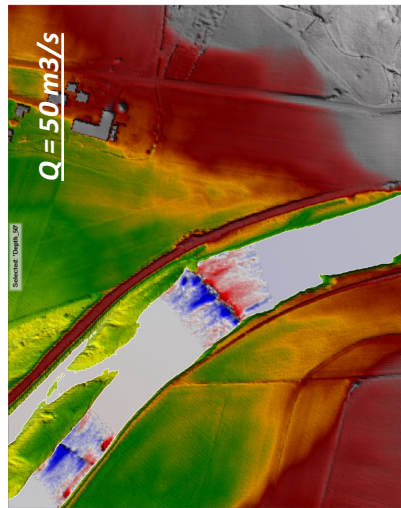
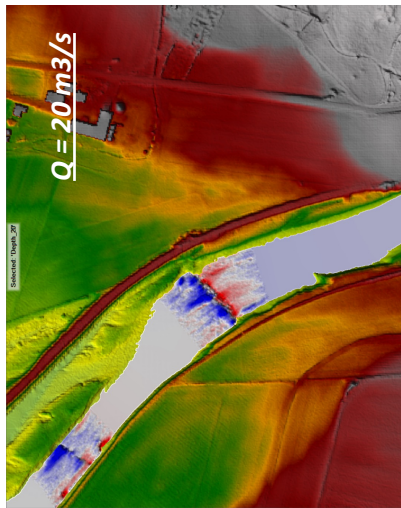
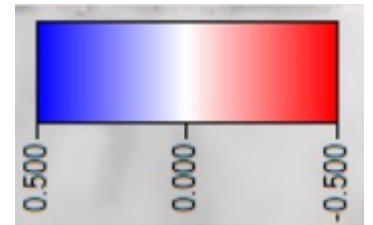
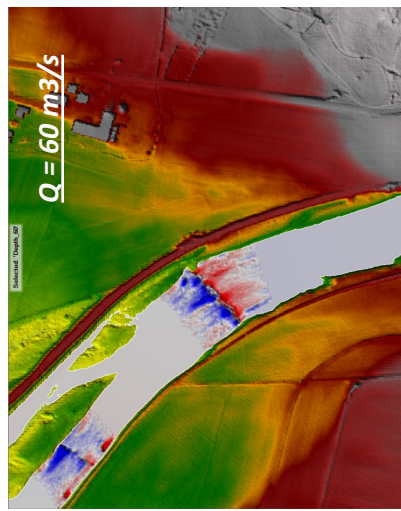
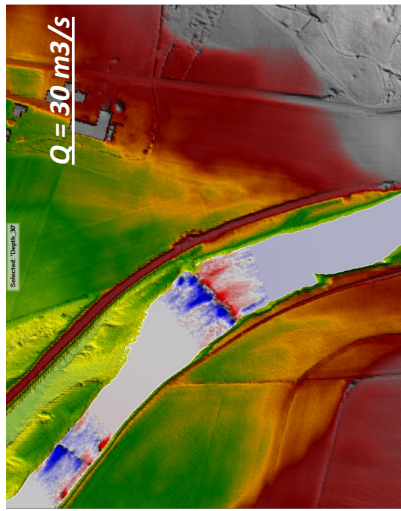


VEDLEGG 3 – Figur 8, 9 og 10 i større format.

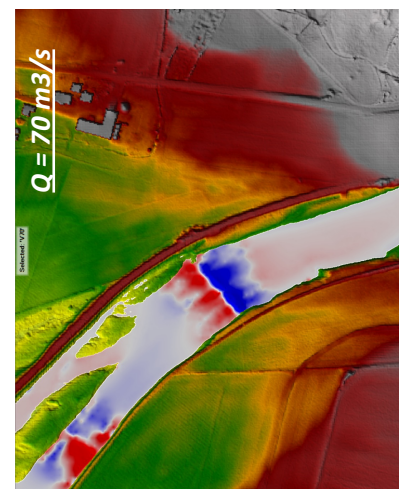
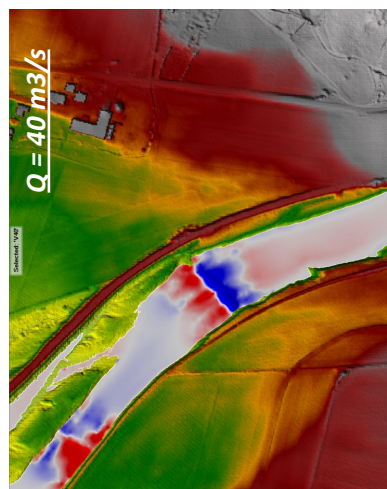
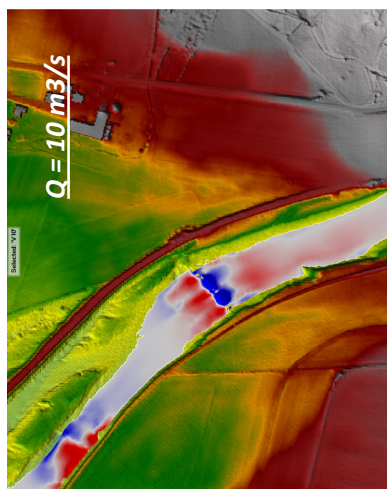
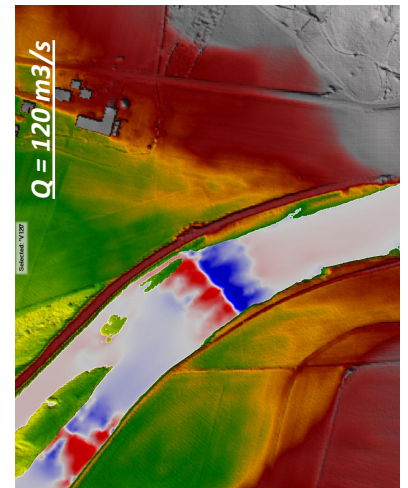
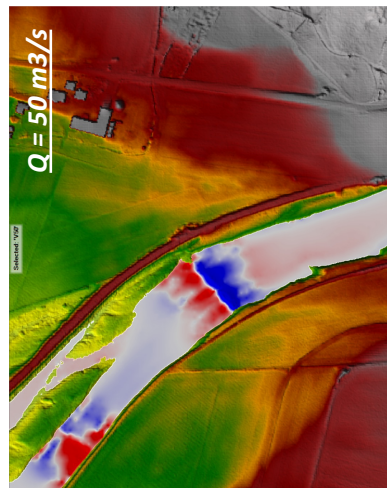
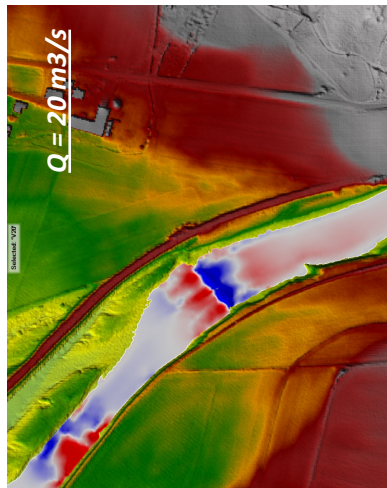
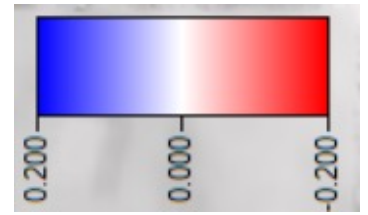
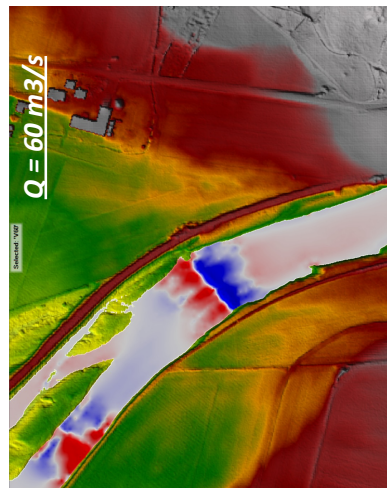
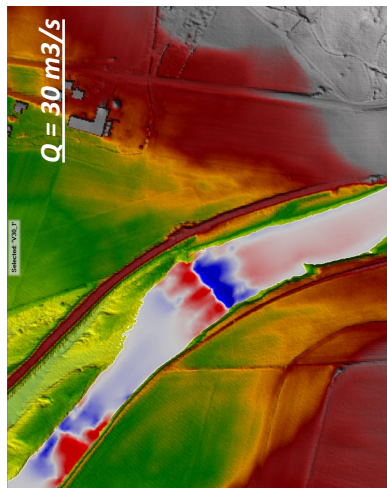
Boksplot over endringer i dyp hastighet og skjerspenning ved full fjerning (Figur 8)



Endringar i djup i Grønnebank – Tilsvararar Figur 9.

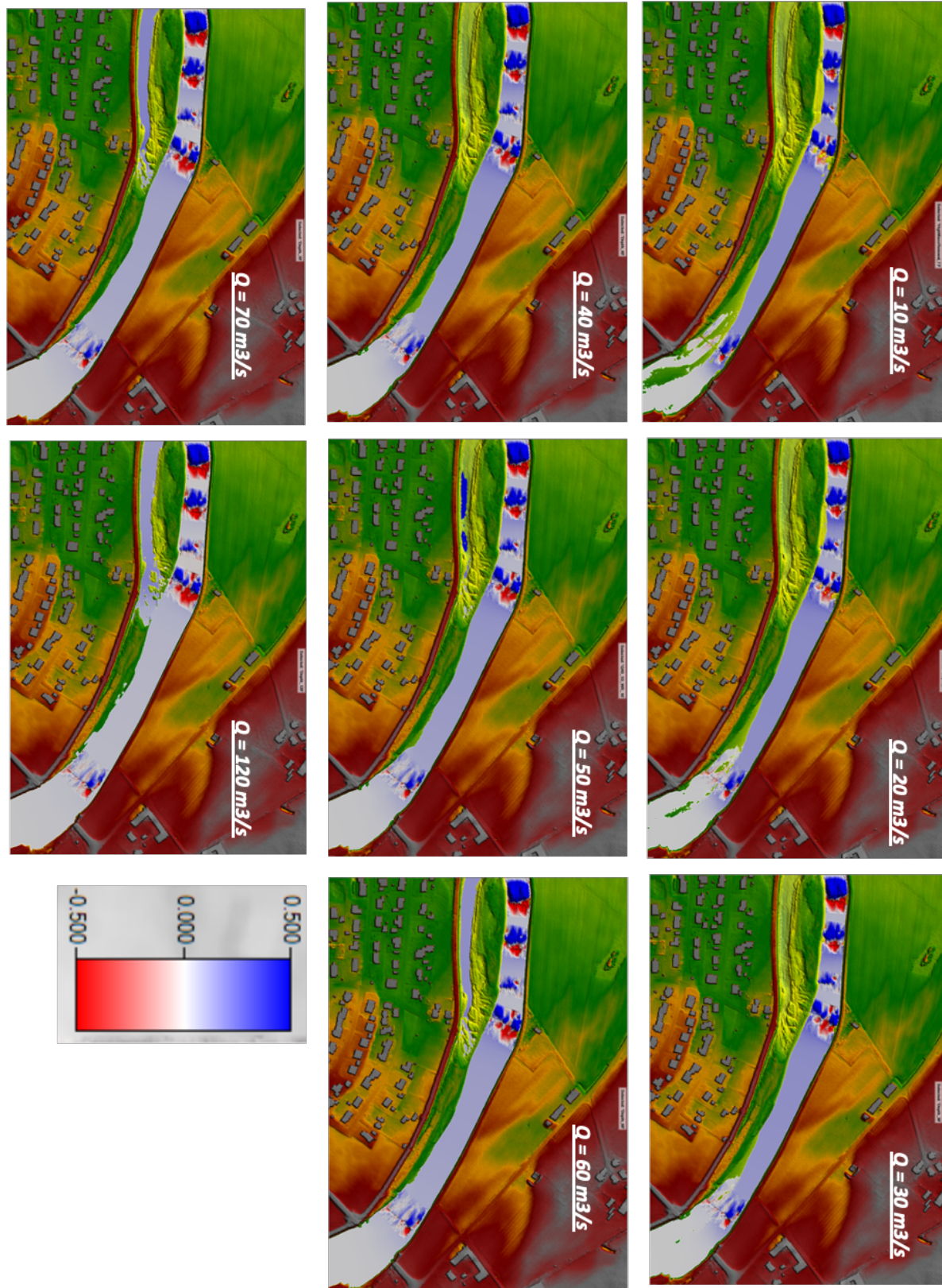


Endring av hastighet i Grønnebank (Figur 10).

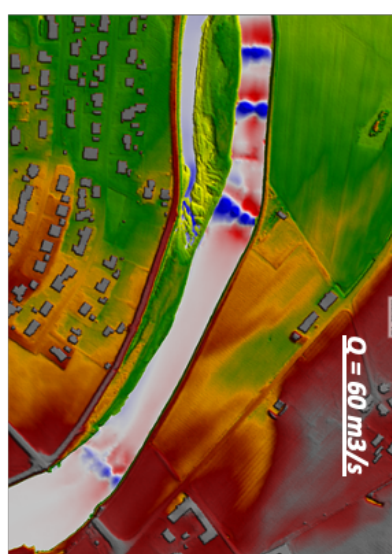
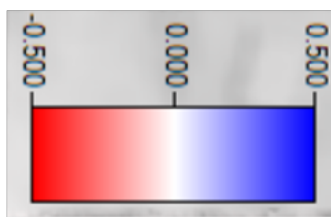
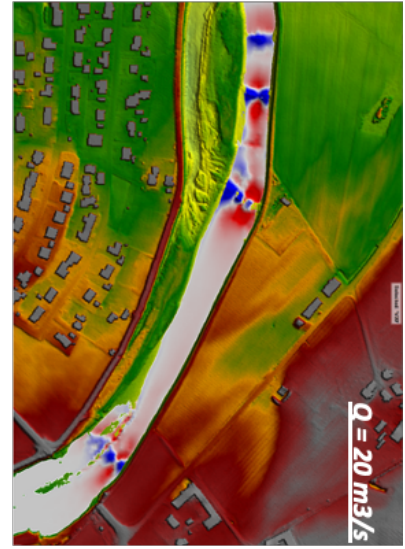
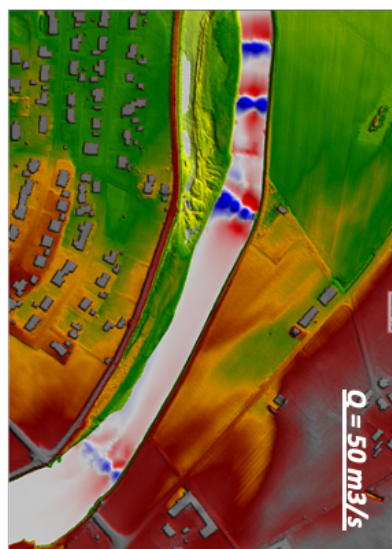
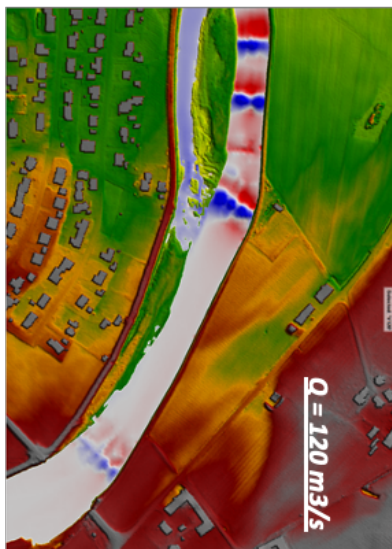
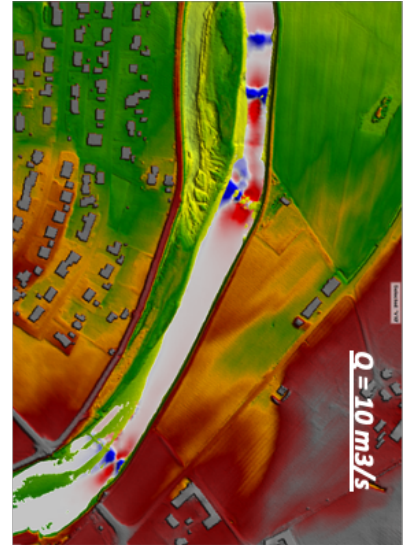
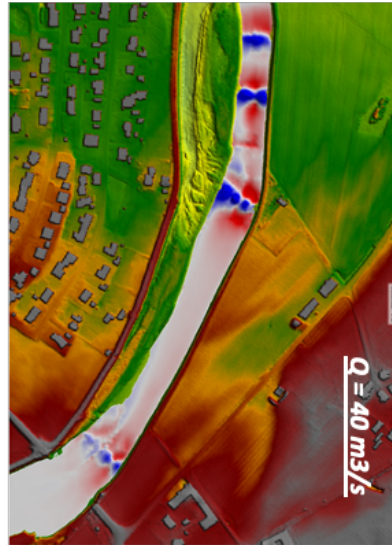
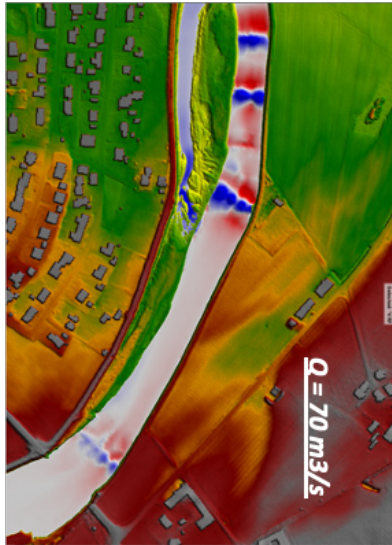


VEDLEGG 4 – Samanlikning av djup og hastighet ved Øye og Molde

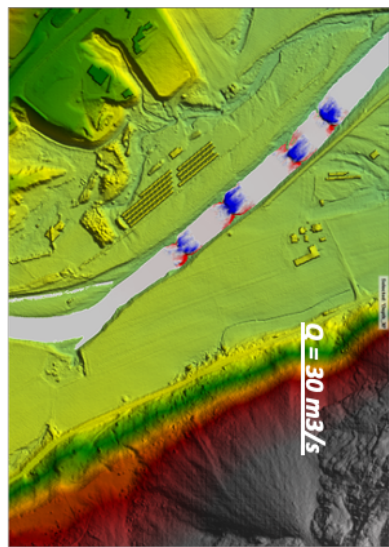
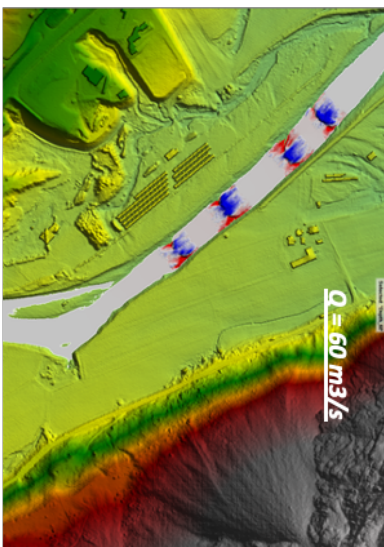
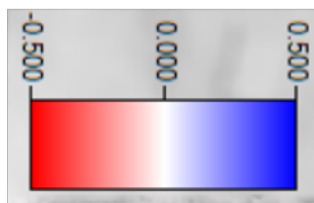
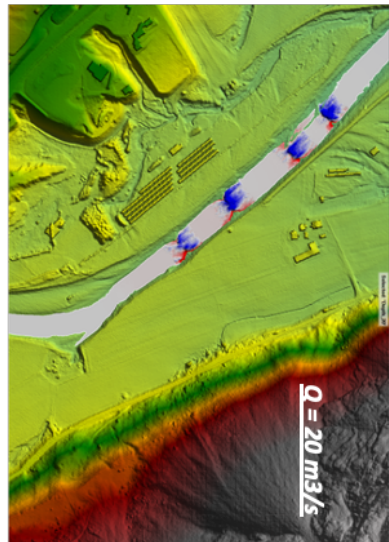
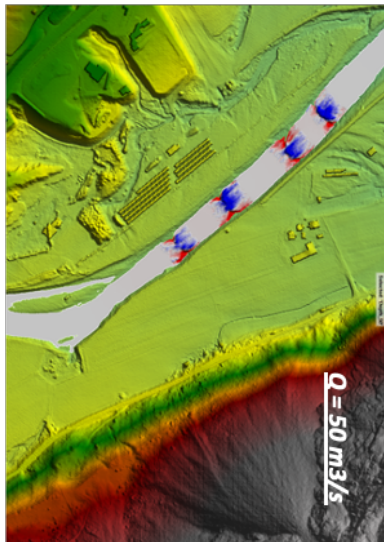
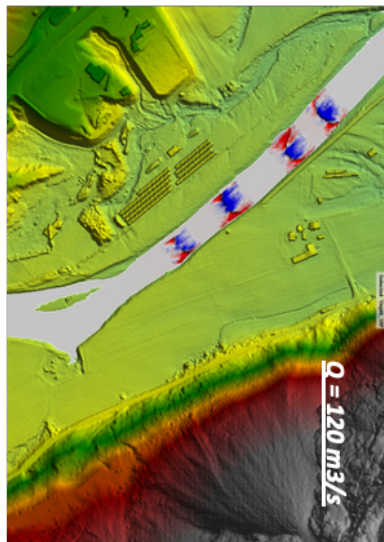
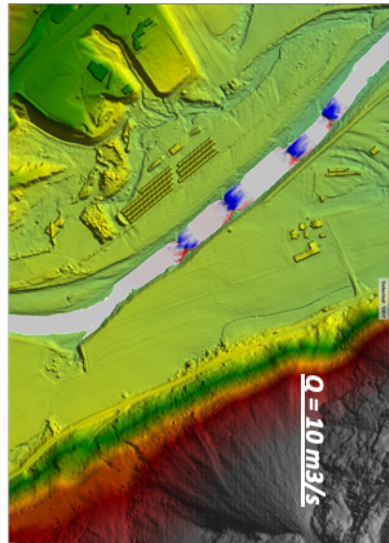
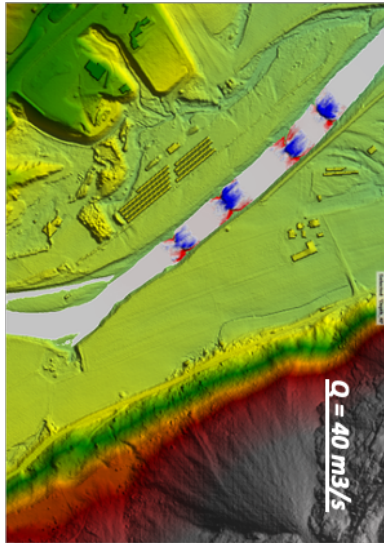
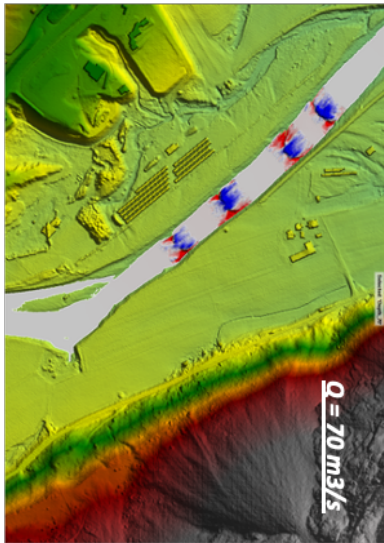
Endring i djup ved Øye.



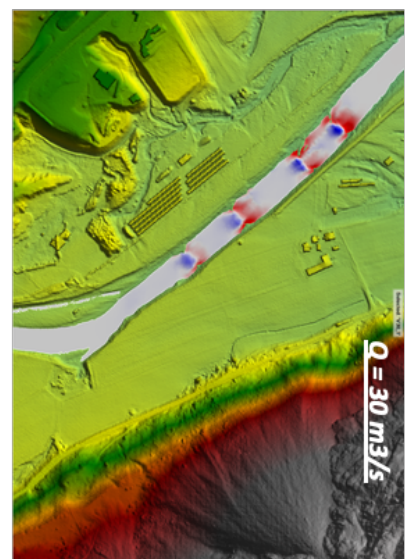
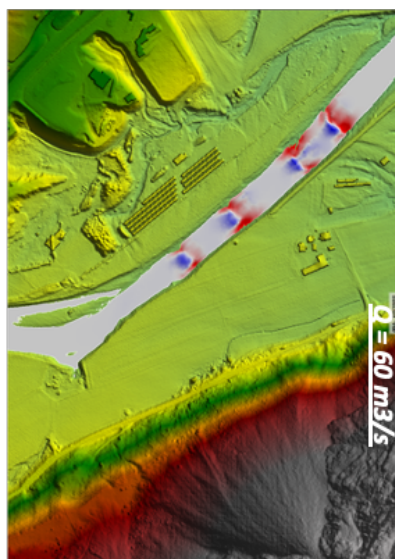
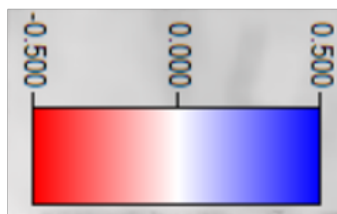
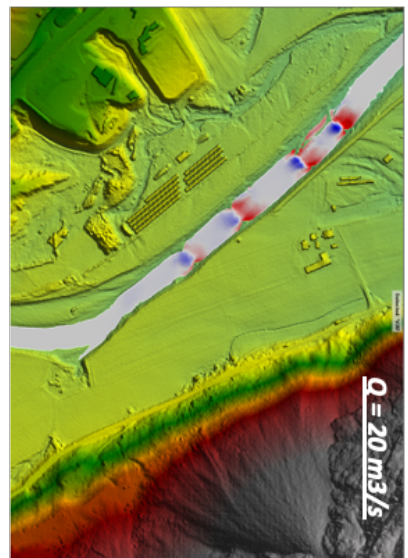
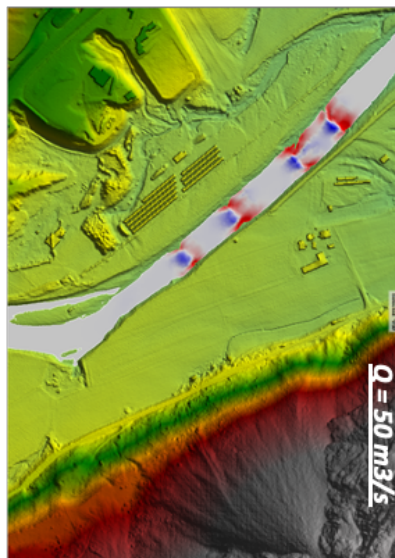
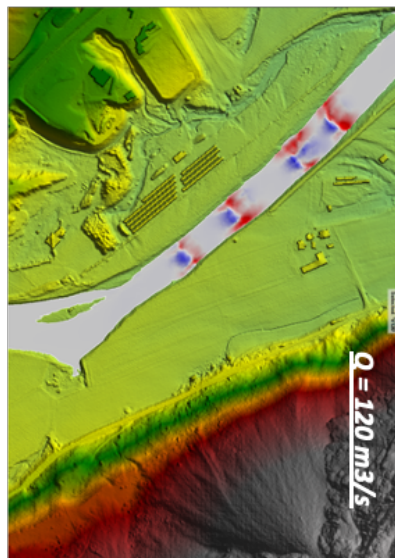
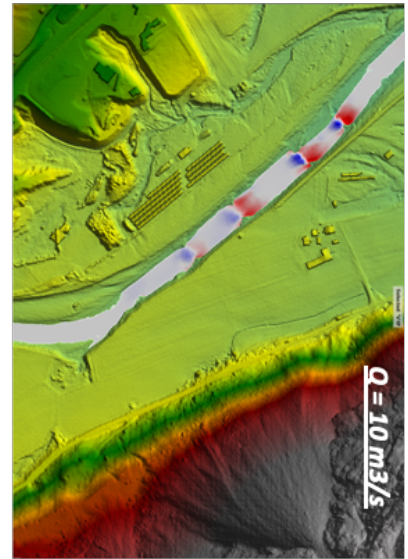
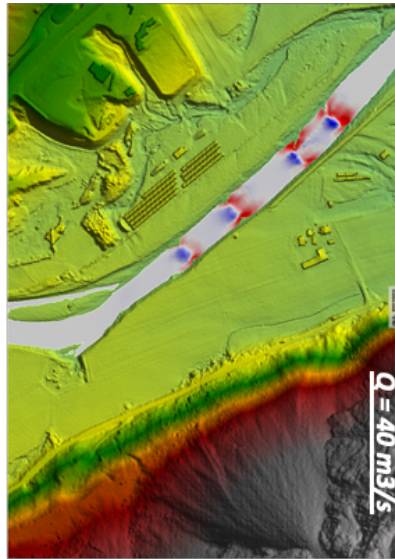
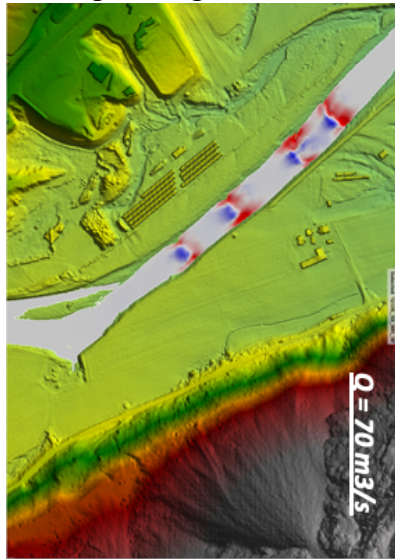
Endring i hastighet ved Øye



Endring i djup ved Molde



Endring i hastighet ved Molde



ISBN 82-7598-092-5

