

# Rapport

## Miljødesign Mandalselva – Fysiske biotopiltak på strekningen fra Kavfossen til utløpet av Bjelland kraftverk

### Forfattere

Hans-Petter Fjeldstad og Peggy Zinke, SINTEF

Ana Adeva Bustos (NTNU)

Torbjørn Forseth (NINA)

Sven Erik Gabrielsen og Bjørnar Skår (UNI Miljø, Bergen)





# Rapport

## Miljødesign Mandalselva – Fysiske biotoptiltak på strekningen fra Kavfossen til utløpet av Bjelland kraftverk

**EMNEORD:**

Laks  
Terskel fjerning  
Miljødesign  
Vannkraft  
Fiskevandring  
Minstevannføring  
Biotoptiltak

**VERSJON**

1

**DATO**

2016-12-15

**FORFATTERE**

Hans-Petter Fjeldstad og Peggy Zinke, SINTEF  
Ana Adeva Bustos (NTNU)  
Torbjørn Forseth, (NINA)  
Sven Erik Gabrielsen og Bjørnar Skår (UNI Miljø, Bergen)

**OPPDRAGSGIVER**

Agder Energi

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Svein Haugland

**PROSJEKTNR**

502000574

**ANTALL SIDER:**

32

**SAMMENDRAG**

I denne rapporten vurderes mulige tiltak på minstevannføringsstrekningen mellom Kavfossen og utløpet av Bjelland kraftverk, med vekt på effekten av å fjerne de to betongtersklene på strekningen (Sundet og Fossekilen). Det er gjort en hydrologisk analyse av årene 2000-2013 for å beskrive hvordan vannføringen har variert over året på studiestrekningen. Basert på målinger av vannivå og topografi er det laget hydrauliske modeller for to delstrekninger tilsvarende en elvestrekning på ca. 2100 meter. Modellene gir en beskrivelse av hvordan minstevannføringsstrekningen framstår med og uten tersklene. Det er gjennomført simuleringer ved tre vannføringer ved dagens forhold, og deretter ved tilsvarende vannføringer uten dagens to terskler. I tillegg er forekomsten av gyteområder og skjul for ungfisk på strekningen kartlagt som grunnlag for en diagnose etter miljødesignmetoden, og smoltproduksjon før og etter tiltak er estimert. Fjerning av tersklene vil redusere vanddekt areal betydelig, særlig i Fossekilen, men samtidig øke vannhastighetene i innløpene til dagens terskelbasseng slik at det oppstår nye gytearealer og bedre oppvekstmuligheter for laks. Fjerning av tersklene og noen andre mindre habitattiltak vil trolig øke smoltproduksjonen på strekningen med mellom 35 og 60 %, avhengig av vannføring, lette oppvandringen av gytefisk og bedre sportsfiskemulighetene på strekningen.

**UTARBEIDET AV**

Hans-Petter Fjeldstad

**SIGNATUR**

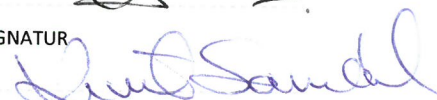
**KONTROLLERT AV**

Håkon Sundt - *Jule Charmasson*

**SIGNATUR**

**GODKJENT AV**

Knut Samdal

**SIGNATUR**

**RAPPORTNR**

TR A7600

**ISBN**

978-82-594-3674-0

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Bakgrunn</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Mål</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Metodikk</b> .....	<b>6</b>
3.1	Topografiske målinger .....	7
3.2	Habitatflaskehalsler .....	9
3.3	Hydrauliske beregninger .....	10
3.4	Elveklassifisering .....	14
3.5	Habitatflaskehalsler - diagnose.....	14
<b>4</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>16</b>
4.1	Vanndekket areal .....	16
4.2	Fysisk habitat for fisk (vannhastigheter, vannoverflate og vanddyb).....	16
4.3	Gyteplasser og forslag til tiltak.....	22
4.4	Vandring og fiskemuligheter .....	29
<b>5</b>	<b>Diskusjon og anbefaling</b> .....	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>32</b>

## Vedlegg

Vedlegg 1: Mesohabitatklassifisering

## 1 Bakgrunn

Bjelland kraftverk ble satt i drift på midten av 1970-tallet og utnytter et fall på ca. 87 meter via en snaut 6 km lang tunnel fra inntaksmagasinet Tungesjø (Figur 1). Slukeevnen i Bjelland kraftverk er 79 m<sup>3</sup>/s. Mellom Tungesjø og utløpet av Bjelland kraftverk er det en minstevannføringsstrekning, der vannføringen nedstrøms samløp med Kosåna (målt ved Sundet) ikke skal være mindre enn henholdsvis 2 og 1 m<sup>3</sup>/s sommer (fom. mai, tom. september) og vinter. Minstevannføringen inkluderer vannføringen i det uregulerte sidevassdraget Kosåna, som med en feltstørrelse på 220 km<sup>2</sup> har et middeltilsig på 9,55 m<sup>3</sup>/s, og som dermed gir et betydelig bidrag på minstevannføringsstrekningen. For å tilfredsstille kravet om minstevannføring kan det i tørre perioder slippes vann fra dammen ved Tungesjø. I tillegg forekommer det flomspill over dammen når tilsiget overstiger kraftverkets slukeevne. Umiddelbart oppstrøms samløpet med Kosåna finner vi Kavfossen, som er laksens naturlige vandringshinder, ca. 47 km fra sjøen. Laksen kan også vandre og gyte på en kort strekning opp i Kosåna.

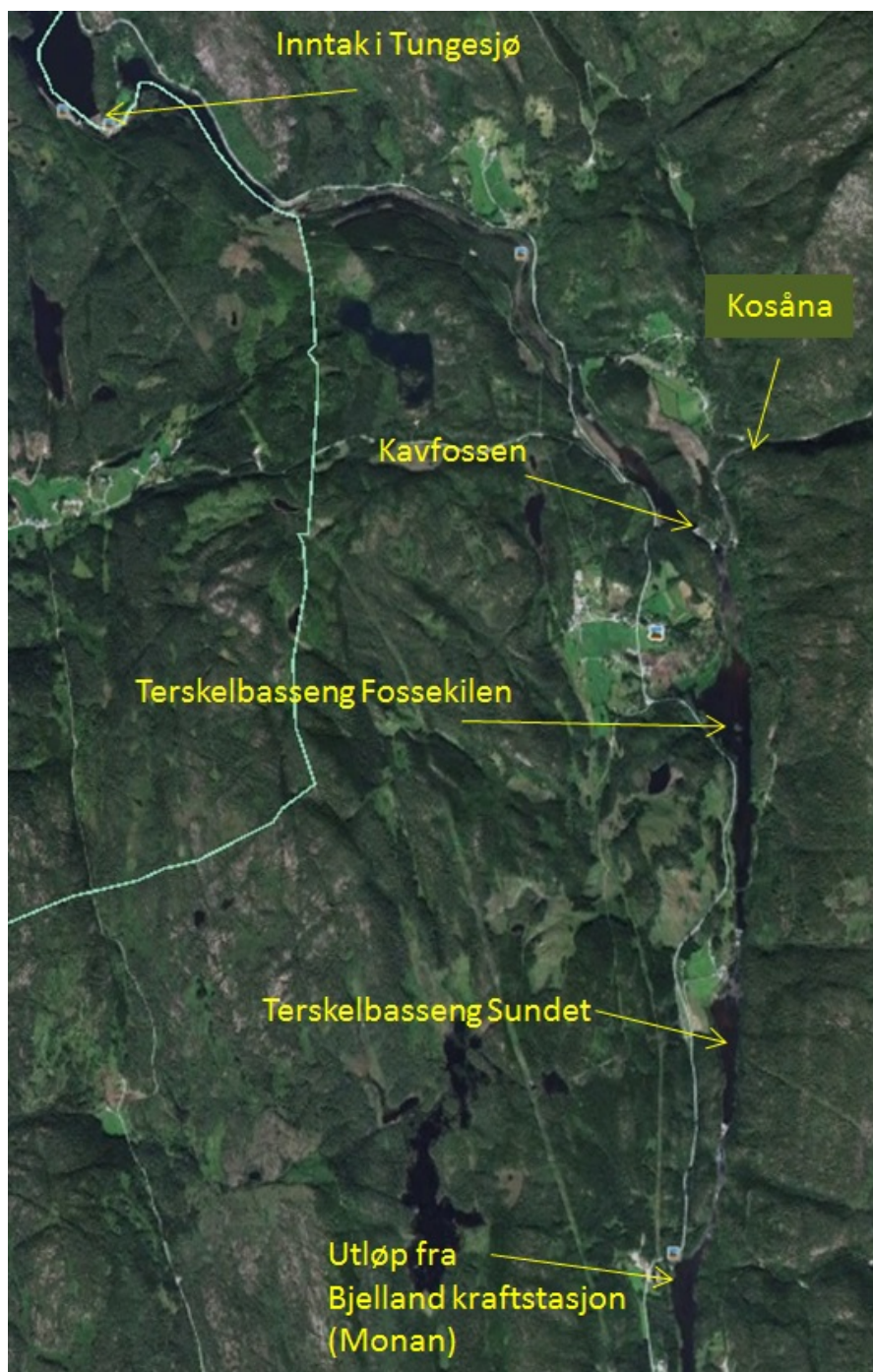
Strekningen fra samløpet med Kosåna og ned til utløpet av kraftverket er sterkt preget av to terskelbasseng; Fosseken, som er ca. 1500 meter langt, og Sundet som er ca. 670 meter langt. Begge bassengene er demmet opp med terskler av betong. Tersklene er forsynt med laksetrapp. Tersklene har gitt minstevannføringsstrekningen et økt vanddekket areal, spesielt på lave vannføringer, og dermed også en estetisk effekt, men samtidig svært lave vannhastigheter utenom perioder med flom. Dette er ugunstig for laks, som etter utbyggingen og forbedring av vannkvaliteten i vassdraget har etablert en ny, levedyktig bestand. Forøvrig består minstevannføringsstrekningen av naturlige stryk og kulper i relativt bratt terreng med bunnforhold preget av berg og stor steinblokk. De fysiske forholdene for laks i terskelbassengene er ugunstige på grunn av lave vannhastigheter. Derfor har det vært ønskelig å vurdere om bassengene i større grad kan utnyttes til gyting og oppvekst for laks ved at betongtersklene fjernes og vannhastighetene økes, til tross for en reduksjon av vanddekket areal. En analyse av terskelfjerning kan gjøres ved å modellere de hydrauliske forholdene med en ny bunntopografi (dvs. uten terskler). Resultatene kan deretter brukes inn i ulike biologiske modellverktøy (Forseth & Harby 2013) som kan forutsi hvordan terskelfjerningen påvirker lakseproduksjonen. I tillegg er det aktuelt å vurdere andre habitattiltak. Gjennom forsknings-, utviklings og tiltaksprosjektet "Miljødesign Mandalselva" ønsker Agder Energi å finne løsninger som optimalisere forholdene for laks i hele den lakseførende delen av vassdraget samtidig som vannressursene kan utnyttes i best mulig grad for vannkraftproduksjon. Prosjektet ledes av Norsk institutt for Naturforskning (NINA), og er et samarbeid mellom NINA, SINTEF, og UNI Miljø. Prosjektet bygger på gjennomførte undersøkelser og forskning i Mandalselva de siste 10-15 årene, samt internasjonal forskning innen fagfeltet. Prosjektpartnerne har et betydelig datagrunnlag å bygge videre på, i tillegg til lange tidsserier av fysiske variable, slik som vannføring og vanntemperatur, som til enhver tid registreres av blant annet regulanten, Agder Energi. Prosjektet har også hatt et tett samarbeid med øvrige interesser i vassdraget, slik som grunneiere og fiskeinteresser.

## 2 Mål

Denne rapporten er en delleveranse i prosjektet "Miljødesign Mandalselva", og oppsummerer resultatene av hydrauliske analyser på to delstrekninger av minstevannføringstrekningen mellom Kavfossen og utløpet av Bjelland kraftverk, en diagnose i henhold til miljødesignkonseptet (Forseth & Harby 2013), samt forslag til tiltak for å øke produksjonen av laks i denne delen av vassdraget. Målet med dette arbeidet er å finne en optimalisert løsning for produksjon og vandring hos laks på den ene siden, og vannkraftproduksjon i Mandalselva på den andre siden. Strekningen som omtales i denne rapporten er i utgangspunktet ikke i formell prosess for endret vannføringsregime, men er en del av den anadrome strekningen, og det er et mål å hente ut et størst mulig potensial for lakseproduksjon på alle delstrekninger av elva. Rapporten tar derfor utgangspunkt i metodikken i Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag (Forseth og Harby 2013). Kjernespørsmålet i analysene er hvordan vannføringen i kombinasjon med de andre fysiske forholdene i elva kan optimalisere fiskeproduksjonen, og om man kan benytte fysiske tiltak for å øke fiskeproduksjonen. Svaret på dette spørsmålet er viktig fordi produksjon av fisk kan bli redusert ved for lite vannslipp, mens det vil ha negative økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser om man slipper unødvendig store mengder vann forbi turbinene i vassdraget. Det finnes i dag ikke generelle, anerkjente metoder som kan benyttes for å fastslå miljøriktige vannføringer i regulerte laksevassdrag. Derimot finnes det gode metoder for å beskrive de fysiske forholdene for fisk, samt konsekvensene vannføring har på laksepopulasjoner. I disse metodene kan man vurdere biologisk respons på fysiske endringer som følge av forskjellig vannføring, men også tilsvarende endringer som følge av fysiske tiltak i elva, slik som økt tilgang på gyteplasser, og endringer i strømningsforhold gjennom endring av elvetopografien. I dette prosjektet er målet at kombinasjonen av fysiske tiltak og tilpasset vannføring kan gi en optimalisert løsning i stedet for ensidig økt vannføring i den eksisterende topografien.

### 3 Metodikk

Studiestrekningen er vist på deler av Figur 1 og omfatter for de hydrauliske studiene de to terskelbassengene Fossekilen og Sundet på minstevannføringsstrekningen mellom Kavfossen og utløpet av Bjelland kraftverk, dvs. ca. 2,1 km av den totale strekningen mellom Tungesjø og kraftversutløpet. Diagnosen og forslag til tiltak dekker imidlertid hele den 3,8 km lange strekningen fra Kavfossen til utløpet.



Figur 1. Oversikt over den studerte minstevannføringsstrekningen med de to terskelbassengene Fossekilen og Sundet.

Metodikken beskrevet i denne rapporten har tidligere blitt benyttet på strekningen nedenfor Mannflåvatn (Fjeldstad m. fl. 2014). Det er likevel forskjeller mellom de to strekningene som gjør at metodikken for å analysere strekningene har vært noe forskjellig. Mens strekningen nedenfor Mannflåvatn kan beskrives som en elvestrekning med mindre løsmasseterskler (typisk 0,5-1,0 meter høye), har vi i denne rapporten studert to innsjøliknende basseng skapt av to betongterskler. Oppmålingene i forbindelse med dette prosjektet, samt studier av historiske bilder indikerer at de to betongtersklene er plassert på opprinnelige, naturlige terskler, og at de to delstrekningene også før terskelbyggingen har bestått av dype, relativt stilleflytende leveområder (habitater) for fisk.

Lengre strekningen mellom Kavfossen og utløpet av Bjelland kraftverk kjennetegnes av at vannhastighetene er lave, noe som generelt er ugunstig for gyting og oppvekst hos laks. Dette skyldes delvis lav vannføring, men også effekten av naturlig topografi og oppdemming av bassengene Fossekilen og Sundet. I dette prosjektet har det vært et mål å se på om det fysiske habitatet i bassengene Fossekilen og Sundet kan bedres for laks dersom betongtersklene fjernes. Fjerning av tersklene vil direkte medføre at vannstanden senkes der tersklene befinner seg i dag. Topografien oppstrøms tersklene vil deretter avgjøre hvordan strømningsforholdene og det vanndekte arealet vil endre seg på forskjellige vannføringer. For å analysere og beskrive disse endringene har vi valgt å presentere det fysiske habitatet i elveklasser, og utbredelsene av disse (se Tabell 2 og Vedlegg 1). Elveklassene beskriver et områdes typiske egenskaper i forhold til dyp (dypt eller grunt), vannhastighet (raskt eller langsom), helningsgradient (bratt eller moderat) og overflatemønster (glatt eller turbulent). Elveklasse "C" betyr for eksempel "kulp", som kjennetegnes som dyp, langsomtflytende, moderat helningsgradient og med glatt overflate. Dette er en typisk og utbredt elveklasse på studiestrekningen, og den representerer et leveområde som ikke er spesielt godt egnet for gyting eller oppvekst for ungfisk hos laks.

Med utgangspunkt i de hydrauliske forskjellene som framkommer fra modellering av å fjerne tersklene, er det gjort analyser av hvilke tiltak som kan gjennomføres for å bedre forhold for oppvekst av ungfisk hos laks, samt gyting, ved bl.a. bedring av skjulforhold og utlegging av gyttegrus.

For å anslå effekten av terskelriving på gyting og oppvekst hos laks ble de hydrauliske konsekvensene studert ved endimensjonale hydrauliske analyser i programvaren HEC-RAS ved tre vannføringer (2, 6 og 15 m<sup>3</sup>/s), og resultatene visualisert ved bruk av GIS-verktøyet QGIS.

For å beregne fiskeproduksjon samt identifisere habitatmessige flaksehalser for fiskeproduksjon på strekninger ble diagnosesystemet i Forseth & Harby (2013) benyttet.

### 3.1 Topografiske målinger

For å gjennomføre gode hydrauliske beskrivelser av en elvestrekning er det avgjørende med en god beskrivelse av elvetopografien. Den 22. september 2014 ble det gjennomført topografiske målinger av elvebunnen i bassengene Sundet og Fossekilen. I følge vannføringsmålinger fra Agder Energi var vannføringen på den aktuelle strekningen 2,4 m<sup>3</sup>/s hele denne dagen. For å måle inn topografi i elveleiet og vannhastigheter for kalibrering av de hydrauliske beregningene ble det benyttet en Sontek M9 River

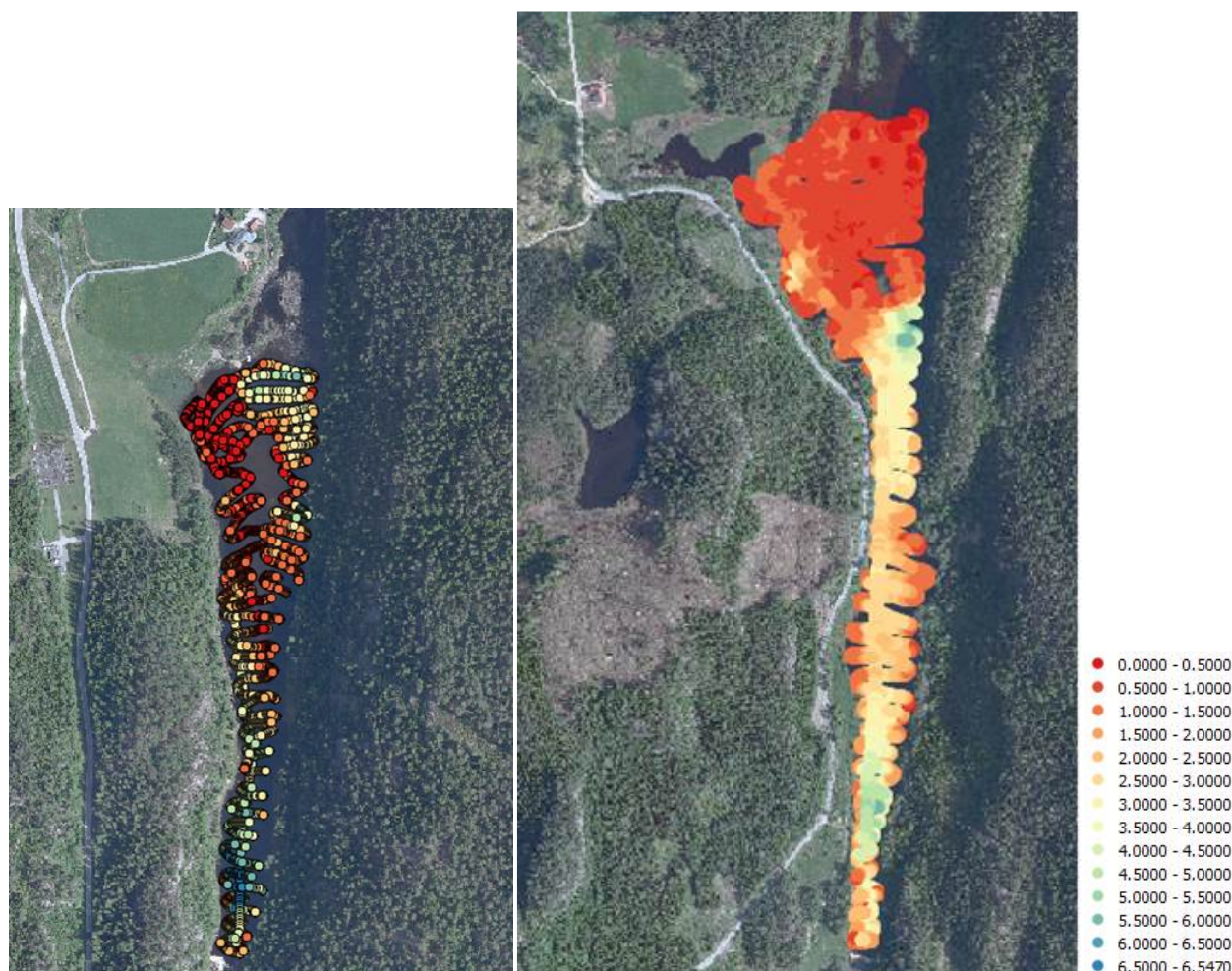


Surveyer med RTK GPS-funksjon. (RTK-GPS-målinger har en nøyaktighet på ca. 3 cm). Instrumentet logget dyp, posisjon og vannhastighet i tre dimensjoner hvert sekund, og ble montert foran en gummibåt med påhengsmotor, på en slik måte at målingene ikke skulle påvirkes av forstyrrelser fra gummibåten (Figur 2).



*Figur 2. Innsamling av data for posisjon, vannhastigheter og vanddyp med instrumentet Sontek M9 montert foran båten.*

Vi opprettet et GIS-prosjekt (QGIS) hvor alle data ble lagt inn i koordinatsystemet ETRS89/ETRS-TM32 og NN1954. Figur 3 viser et eksempel på innlagte GIS-datalag basert på eksisterende måledata for begge strekningene. Figuren viser innmålte dybder på strekningene som ble målt inn fra båt.



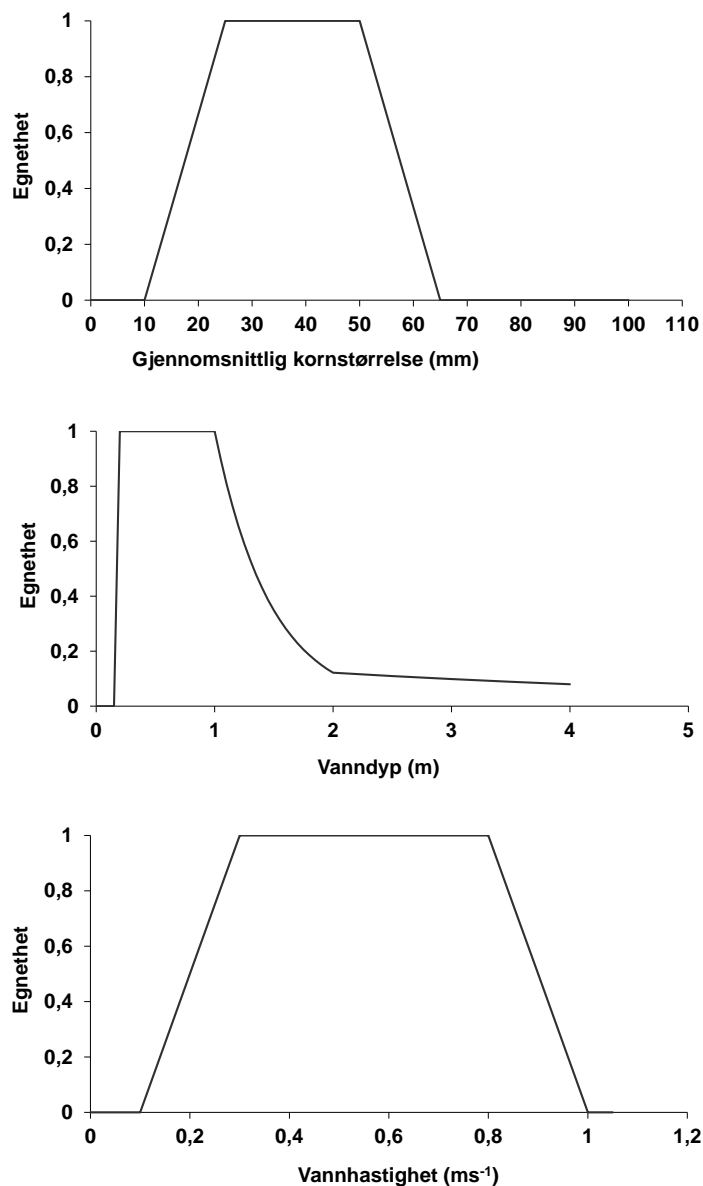
Figur 3: Visualisering av måledata. Bunntopografi, dyp (m) ved en vannføring på  $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$  vist for bassengene Sundet til venstre og Fossekiilen til høyre, med fargeskala for dybde angitt i egen tabell (m).

I tillegg til de nevnte målingene ble det 3. juli 2014 målt inn vannkant i øvre og nedre del av bassenget i Fossekiilen, samt i øvre del av bassenget ved Sundet. Målingene ble foretatt med to Topcon DGPS roverstasjoner og alle data ble lagt inn i det nevnte koordinatsystemet. Vannføringen denne dagen var  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$  på den aktuelle strekningen, og dataene kunne dermed brukes som støtte for den hydrauliske modelleringen.

### 3.2 Habitatflaskehals

Forekomsten av skjul (hulrom mellom steiner i elvebunnen) ble målt under en samlet feltinnsats i juli 2014. Skjul ble målt etter standard metodikk (Forseth & Harby 2013), dels i transekter fra land og så langt ut man kan vade, og dels av mannskap i dykkerdrakt i de dypere områdene. Samtidig ble det gjort registrering av gyteplasser ved hjelp av dykkere på hele strekningen. Gyteplasser som har vært benyttet av laks de siste årene, samt potensielle gyteområder ble koordinatfestet og arealene ble oppmålt. Potensielle gyteplasser innebærer at de kan tas i bruk dersom for eksempel vannhastighetene økes, men at de under dagens forhold ikke blir benyttet. I forbindelse med forslag til fjerning av tersklene ble det også vurdert hvilke av de

potensielle gyteområdene som kan bli tatt i bruk om tersklene fjernes. I denne vurderingen inngikk generell kunnskap om laksens preferanser for fysiske forhold på gyteplassen, slik som kornstørrelse på gytegrusen, vanddyb og vannhastighet (Figur 4).



Figur 4. Laksens generelle preferanser for kornstørrelse på gytegrus, vanddyb og vannhastighet. Y-aksen viser egnethet for den enkelte variabel, der verdien "1" angir den høyeste egnetheten. (Uni Miljø, egne data).

### 3.3 Hydrauliske beregninger

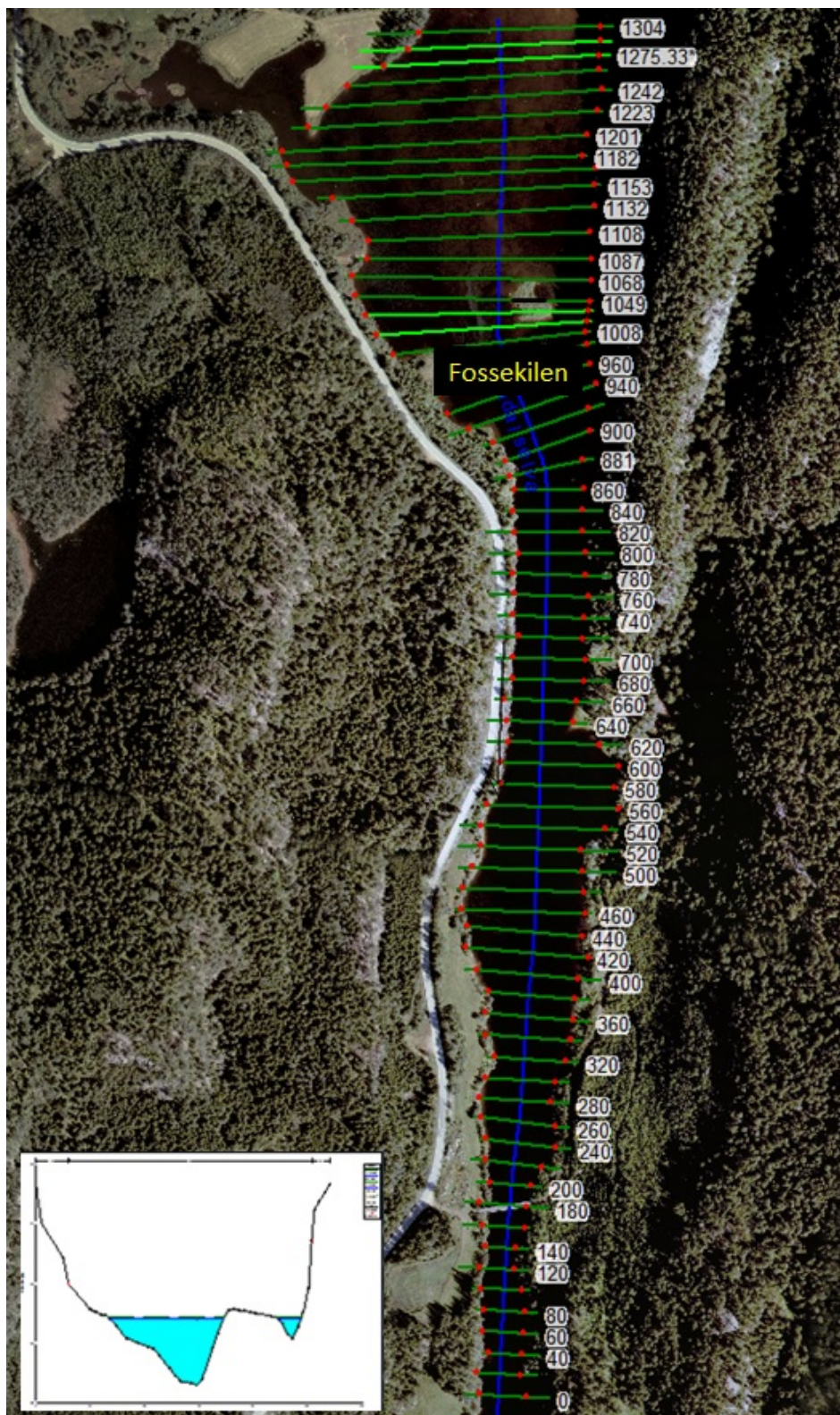
Grunnlaget for å analysere virkningene av de fysiske modifikasjonene (fjerning av terskler) i Mandalselva, var i hovedsak topografiske data for elvebunnen og elvebreddene, vannivå og vannføring. De ulike innsamlede data ble benyttet til kalibrering av hydrauliske modeller for de to delstrekningene i

studieområdet. Dette omfattet tre hovedtrinn, (1) HEC-GeoRAS pre-prosessering av data, (2) HEC-RAS modellering, og (3) HEC-GeoRAS etterbehandling. Fra innsamlede topografidata ble først et 2 meters celle-raster generert for elvebunnen ved hjelp av GIS-applikasjonen QGIS. HEC-GeoRAS (USACE 2010) ble benyttet til denne prosessen. Disse dataene ble videre importert til HEC-RAS, som gjorde det mulig å generere en endimensjonal (1D) modell av elva og simulere de hydrauliske effektene av fjerning av terskler. HEC-GeoRAS (USACE 2010) ble benyttet til å generere elvetverrsnitt fra terrengmodellen. Etter hydraulisk modellering i HEC-RAS ble dataene post-behandlet i GIS med HEC-GeoRAS for å analysere og visualisere resultatene. Figur 5 viser et eksempel på hvordan en delstrekningen blir modellert ved å dele inn strekningen i tverrsnitt.

Ved bruk av en endimensjonal modell blir både inngangsdata og resultater knyttet til tverrsnitt av elva. Beregningene vil for eksempel gi en gjennomsnittlig vannhastighet for hvert tverrsnitt i modellen for en bestemt vannføring og topografi. For å gi mer detaljert informasjon om forholdene for gyting og oppvekst hos laks har vi sammenholdt de hydrauliske beregningene med dybdekart for de enkelte tverrsnittene. Dette har gitt mulighet til å lage kart over elveklasser som i større grad gir informasjon for å tolke forholdene for fisken, og som gir mulighet for å planlegge fysiske tiltak, slik som nye gyteplasser.

De enkelte strekningene ble studert med hydrauliske modeller ved vannføringer på 2, 6 og 15 m<sup>3</sup>/s. De hydrauliske modellene ble kalibrert med målte vannlinjedata. Når modellen var kalibrert i den aktuelle situasjon (med terskler), var det neste trinnet å simulere fjerning av terskler. Tabell 1 viser vannivået (moh) i nedstrøms ende for hver av de modellerte strekningene.

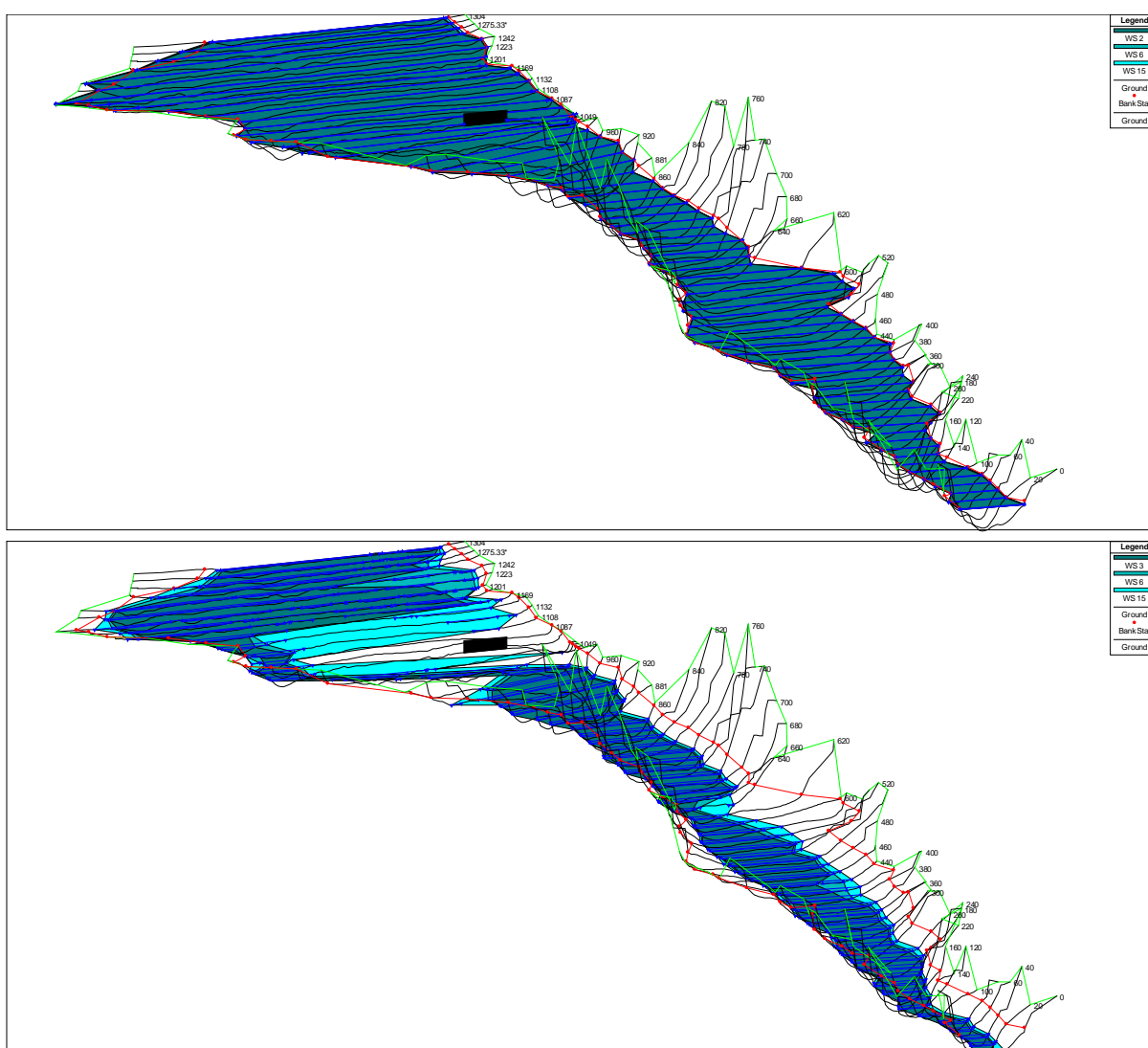
For å simulere fjerning av terskler måtte grensebetingelsene endres i nedstrøms del av hver strekning, ved at man ved forskjellige teknikker bestemmer seg for hvor mye terskelen hever vannivået ovenfor, og at man senker vannivået med en tilsvarende verdi. Den nedre randbetingelsen som ble brukt for situasjonen "etter fjerning av terskelen" var "normalstrømning" i første eller andre tverrprofil ovenfor terskelen. Hele beregningen ble kjørt for underkritiske strømningsforhold. Modellene kunne deretter kjøres på nytt for 2, 6 og 15 m<sup>3</sup>/s. Fra HEC-RAS kan man til slutt trekke ut data for vannoverflatens høyde, vanddekket areal, vannhastigheter, som ved hjelp av GIS-programvaren kan benyttes for å illustrere endringer før og etter fjerning av tersklene. Et eksempel er vist i Figur 6.



Figur 5. Tverrsnittsinndeling for den hydrauliske modellen på strekningen Fossekilen. Nederst til venstre vises et tverrsnitt fra modellen.

Tabell 1. Nedstrøms vannnivå (moh) ved forskjellige vannføring før og etter terskelfjerning.

Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Før terskelfjerning			Etter terskelfjerning		
	2	6	15	2	6	15
<b>Fossekilen</b>						
Nedstrøms tverrsnitt	91,50	91,52	91,54	88,71	88,99	89,32
Oppstrøms tverrsnitt	91,50	91,53	91,57	91,12	91,23	91,35
<b>Sundet</b>						
Nedstrøms tverrsnitt	86,80	86,80	86,81	86,00	86,01	86,05
Oppstrøms tverrsnitt	86,81	86,85	87,01	86,55	86,70	86,89



Figur 6. Perspektivskisse som viser eksempel fra arbeidet med den hydrauliske modellen av Fossekilen. Bildet viser modellert vanndekket areal ved en vannføring på 2, 6 og 15 m<sup>3</sup>/s før (øverst) og etter (nederst) fjerning av terskelen.

### 3.4 Elveklassifisering

De hydrauliske beregningene ble benyttet til å beskrive de to terskelbassengene ved hjelp av mesohabitatklasser (Borsányi m. fl. 2004, Vedlegg 1), og videre inn i elveklasser som beskrevet i Forseth og Harby (2013), se Tabell 2. Metoden har til hensikt å dele inn det vanndekte arealet i mindre arealer som hver for seg har homogene egenskaper med hensyn til hydrauliske variable, slik som vanddyb og vannhastighet (se Tabell 2). Metoden er utviklet med henblikk på å beskrive en elvestreknings viktige egenskaper for laks. Egne kart for mesohabitat ble laget for Sundet og Fossekilen ved de ulike vannføringene ved situasjoner med og uten terskel. Ved bruk av mesohabitatkart kan man for eksempel se hvordan utbredelsen av store vannhastigheter endrer seg med vannføring og hvordan den endrer seg når tersklene fjernes. Man får også se hvordan det vanndekte arealet endrer seg. Dette er avgjørende variable for å vurdere den biologiske responsen på fysiske endringer. Mesohabitatsystemet til Borsányi m. fl. (2004) er vist i vedlegg 1.

*Tabell 2. Oversikt over de aktuelle mesohabitatklassene i terskelbassengene Fossekilen og Sundet. Grensen mellom stort og lite dyp er 0,7 meter, mens grensen mellom stor og liten vannhastighet er 0,5 m/s. Turbulent overflate betyr at overflaten kjennetegnes ved bølger, mens glatt overflate ikke har bølger. (Hentet fra tabell 20 i Forseth og Harby (2013)).*

Elveklasse	Mesohabitat	Overflatemønster	Helningsgradient	Vannhastighet	Vanddyb
<b>Glattstrøm</b>	A1 +B1 +B2	Glatt	Moderat	Rask	Grunn/Dyp
<b>Kulp</b>	C	Glatt	Moderat	Langsom	Dyp
<b>Grunnområde</b>	D	Glatt	Moderat	Langsom	Grunn
<b>Kvitstryk</b>	E + F	Turbulent	Bratt	Rask	Dyp/Grunn
<b>Stryk</b>	H +G1 +G2	Turbulent	Moderat	Rask	Grunn/Dyp

### 3.5 Habitatflaskehals - diagnose

Første del av diagnosefasen i miljødesign innebærer å dele elvestrekningen (Kavfossen til kraftverksutløpet ved Monan) i mindre segmenter. Habitatforholdene (i elvebunnen) skal være relativt like innen hvert segment. På denne strekningen gir de to tersklene med tilhørende terskelbasseng og strykstrekninger opp- og nedstrøms en naturlig inndeling i fem elvesegmenter. Deretter klassifiseres (etter Forseth og Harby 2013) forekomst og spredning av gytehabitat etter tabell 3 og skjultilgang etter tabell 4. Disse klassifiseringene kombineres i tabell 5 som gir segmentenes produktivitet for laksefisk (fra lav til høy) og viktigste habitatflaskehals (skjul eller gytehabitat).

*Tabell 3. Et system for samlet klassifisering av gytehabitat basert på gytearealets størrelse (innenfor et elvesegment) og spredning (gjennomsnittlig avstand mellom gytehabitat på tvers av segmenter). Grenseverdier for lite, moderat og mye gytehabitat vil variere mellom vassdrag, og vil kunne bli justert når det foreligger flere erfaringstall.*

		Mengde gytehabitat som % av elvebunnsareal		
		Lite (< 1 %)	Moderat (1-10 %)	Mye (>10 %)
Avstand mellom gytehabitat (på tvers av segment)	Stor (>500 m)	Lite	Lite	Moderat
	Moderat (200-500 m)	Lite	Moderat	Mye
	Liten (<200 m)	Moderat	Mye	Mye

Tabell 4. Et system for klassifisering av skjultilgang basert på feltmålinger av skjul og beregning av veid (med dybden av skjul) gjennomsnittlig skjulmengde (antall) innenfor hvert elvesegment.

Skjultilgang (antall veid med dybde)		
Lite	Moderat	Mye
<5	5-10	>10

Tabell 5. Klassifisering av elvesegmentets produktivitet for laks (blått er lavproduktivt, gult er moderat produktivt og grønt er høyproduktivt) ut fra forekomst og fordeling av gytehabitat og skjul. Begrensende faktorer er Gyte = gytehabitat, Skjul = skjultilgang, eller Begge = både skjultilgang og gytehabitat. Ingen begrensende faktor betyr at verken skjultilgang eller gytehabitat er viktige begrensende faktorer.

		Gytehabitat		
		Lite	Moderat	Mye
Skjul	Lite (<5)	Begge	Skjul	Skjul
	Moderat (5-10)	Gyte	Begge	Skjul
	Mye (>10)	Gyte	Gyte	Ingen



## 4 Resultater

I de kommende delkapitlene med resultater fra de hydrauliske simuleringene er det viktig å bemerke at resultater for situasjoner uten terskler er basert på beregninger uten mulighet for kontroll av vannivå, mens situasjoner under dagens forhold med terskler er basert på modeller som er kalibrert for reelt vannivå (målinger). Det presiseres at vi ikke har vurdert hvordan terskelfjerning og ulike vannføringer påvirker produksjonen i elvestrekningene utenom terskelbassene, og at smoltproduksjonen i disse strekningene derfor er holdt konstant i beregningene.

### 4.1 Vanndekket areal

De hydrauliske analysene og målingene viser at tersklene resulterer i at forskjeller i vanndekket areal ved vannføringer på 2, 6 og 15 m<sup>3</sup>/s ikke er målbare (Tabell 6). Dette bekrefter hensikten med at tersklene skal opprettholde et visuelt vannspeil. Når tersklene fjernes reduseres det vanndekkete arealet i Fossekilen betydelig. Ved en vannføring på 2 m<sup>3</sup>/s er reduksjonen over 50 %, mens ved 15 m<sup>3</sup>/s er reduksjonen 35 %. For bassenget Sundet er reduksjonen mindre, med 19 % redusert vanndekket areal ved en vannføring på 2 m<sup>3</sup>/s og kun 8 % ved 15 m<sup>3</sup>/s.

Tabell 6. Vanndekket areal modellert ved forskjellige vannføring før og etter terskelfjerning oppgitt i m<sup>2</sup> i terskelbassene Sundet og Fossekilen. I radene for totalt areal er det angitt reduksjon av vanndekket areal uten terskel i forhold til situasjonene med terskel.

Vanndekket areal (m <sup>2</sup> )						
Fossekilen Mesohabitat	2 m <sup>3</sup> /s uten terskel	6 m <sup>3</sup> /s uten terskel	15 m <sup>3</sup> /s uten terskel	2 m <sup>3</sup> /s med terskel	6 m <sup>3</sup> /s med terskel	15 m <sup>3</sup> /s med terskel
B1	1049	2542	6101	0	0	0
B2	1642	1638	6388	0	0	0
C	44110	42620	45653	112008	112008	112008
D	29191	39733	48673	53174	53174	53174
<b>Areal totalt (m<sup>2</sup>)</b>	75992 (-54 %)	86534 (-48 %)	106815 (-35 %)	165182	165182	165182
Sundet Mesohabitat	2 m <sup>3</sup> /s uten terskel	6 m <sup>3</sup> /s uten terskel	15 m <sup>3</sup> /s uten terskel	2 m <sup>3</sup> /s med terskel	6 m <sup>3</sup> /s med terskel	15 m <sup>3</sup> /s med terskel
C	18733	19161	19325	29938	29938	29938
D	21392	18946	21163	19692	19692	19692
G1			2502			
G2		3905	2835			
<b>Areal totalt (m<sup>2</sup>)</b>	40125 (-19 %)	42012 (-15 %)	45825 (-8 %)	49630	49630	49630

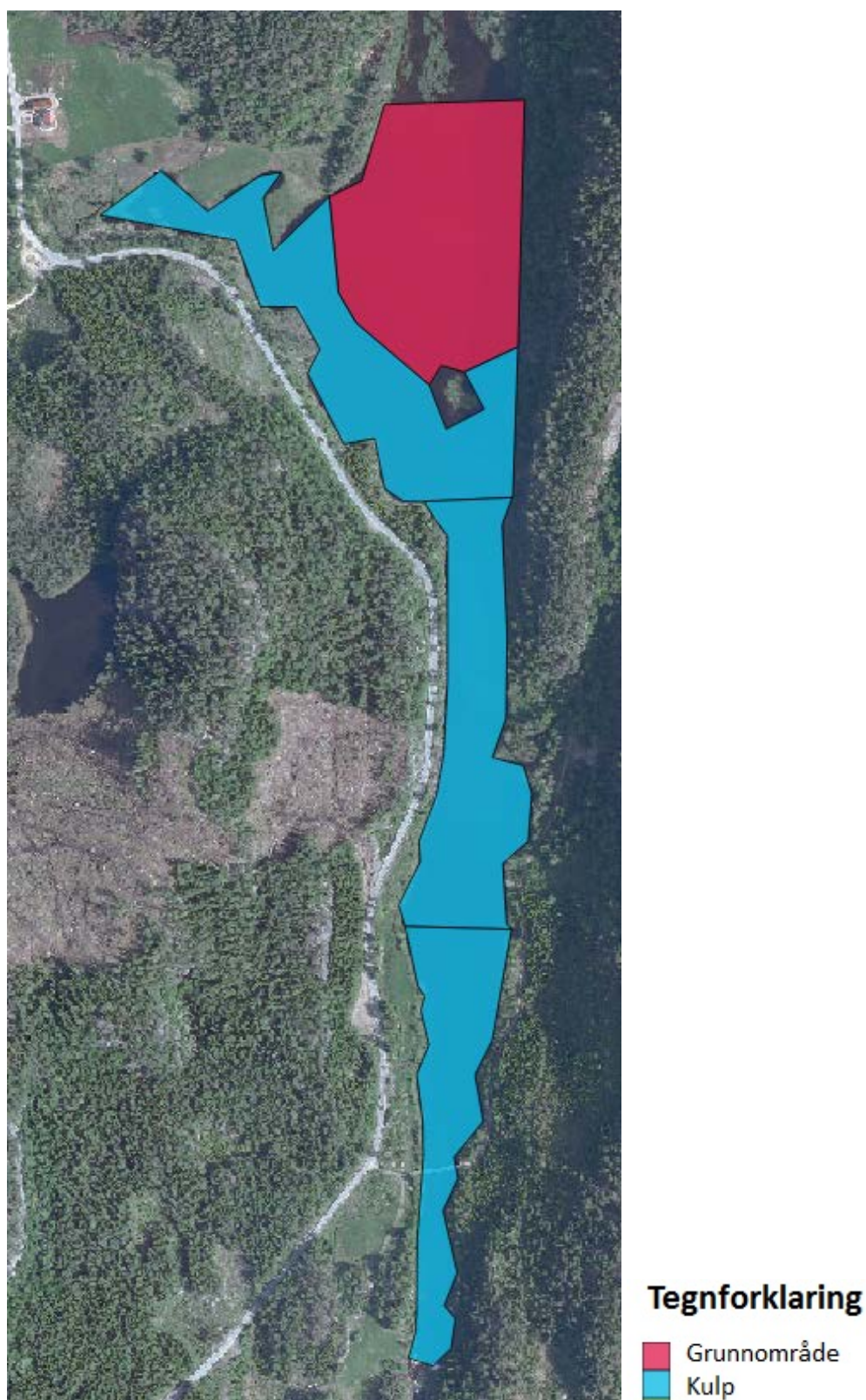
### 4.2 Fysisk habitat for fisk (vannhastigheter, vannoverflate og vanndyp)

Figurer 7-10 viser modellerte vannhastigheter, vanndyp og vanndekket areal i form av elveklassekart for de to strekningene Fossekilen og Sundet. Kartene er utarbeidet ved å benytte modellerte hydrauliske data for hvert enkelt tverrsnitt, kombinert med topografiske målinger av elvebunnen.

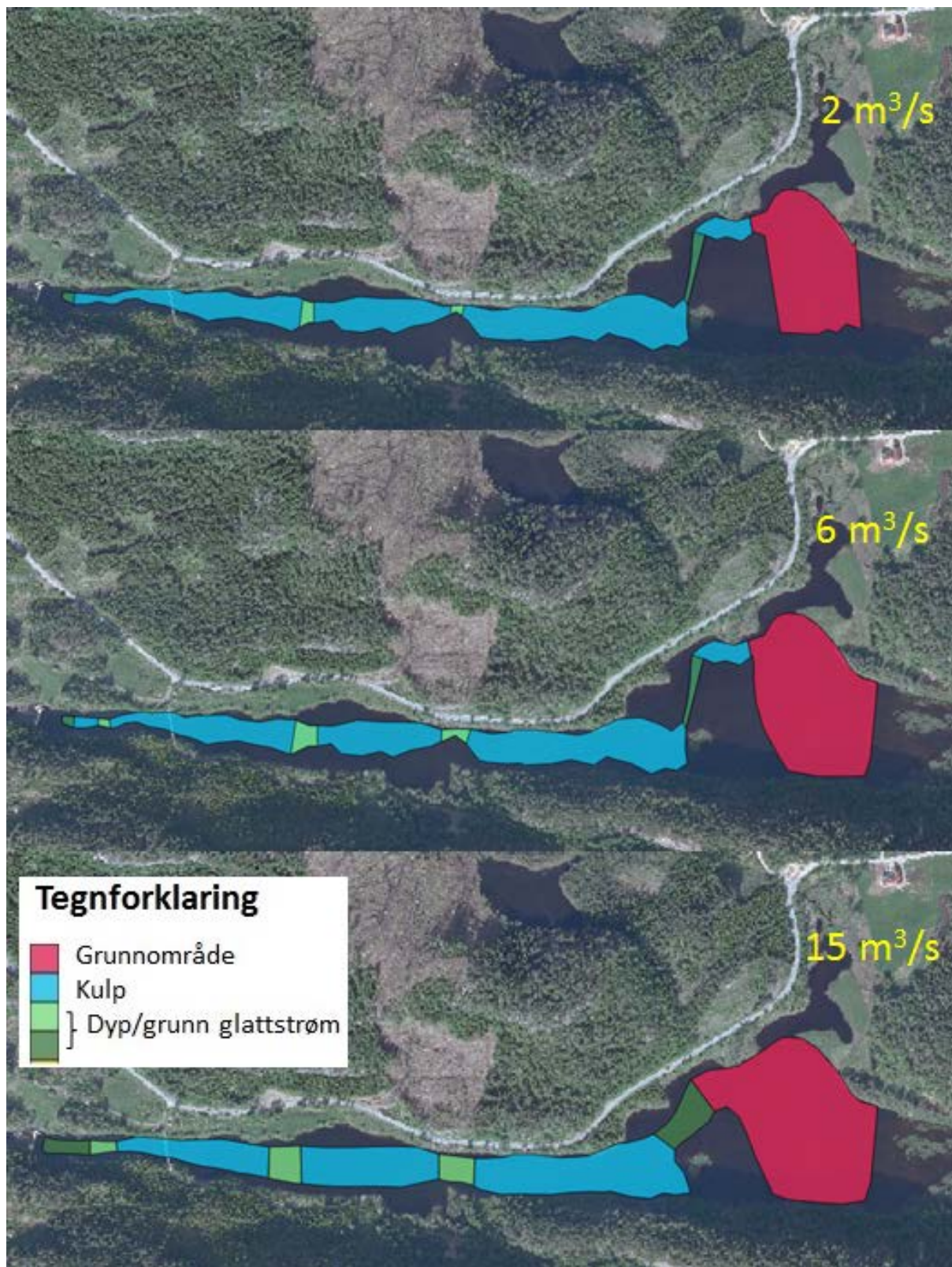
Figur 7 og figur 9 viser at de hydrauliske forholdene for fisk er like ved alle modellerte vannføringer ved dagens forhold med tersklene til stede. Dette skyldes at de studerte områdene har så store strømmingstverrsnitt at de minner om innsjøer ved de aktuelle vannføringene. Ved dagens forhold vil begge de modellerte strekningene kun bestå av leveområder med lav vannhastighet, noe som er ugunstig både for gyting og oppvekst av lakseunger.

Fjerning av terskelen som demmer opp bassenget Fossekilen fører til at det vanndekte arealet reduseres betydelig, og dermed at vannhastighetene øker. På elveklassekartene i figur 8 kommer dette fram ved alle de modellerte vannføringene, hvor det skapes hurtigstrømmende partier på fire forskjellige steder (se arealer i Tabell 6). De fire lokalitetene er jevnt fordelt på strekningen, og er dermed godt egnet for å skape nye gyteplasser for laks. De hurtigstrømmende arealene er minst ved lavest vannføring, men er viktige for gyting.

Figur 10 viser at fjerning av terskelen nederst i bassenget ved Sundet får noe av den samme effekten som i Fossekilen, men det er færre områder som får hurtigstrømmende vann. Ved en vannføring på 2 m<sup>3</sup>/s framkommer ikke de hurtigstrømmende arealene fordi grensen for hurtigstrømmende habitat er satt til 0,5 m/s. Beregningene viser likevel at det i den øvre tredjedelen av strekningen vil bli områder med vannhastigheter opp mot 0,5 m/s, og at disse potensielt kan fungere som gyteområder for laks også på denne vannføringen.



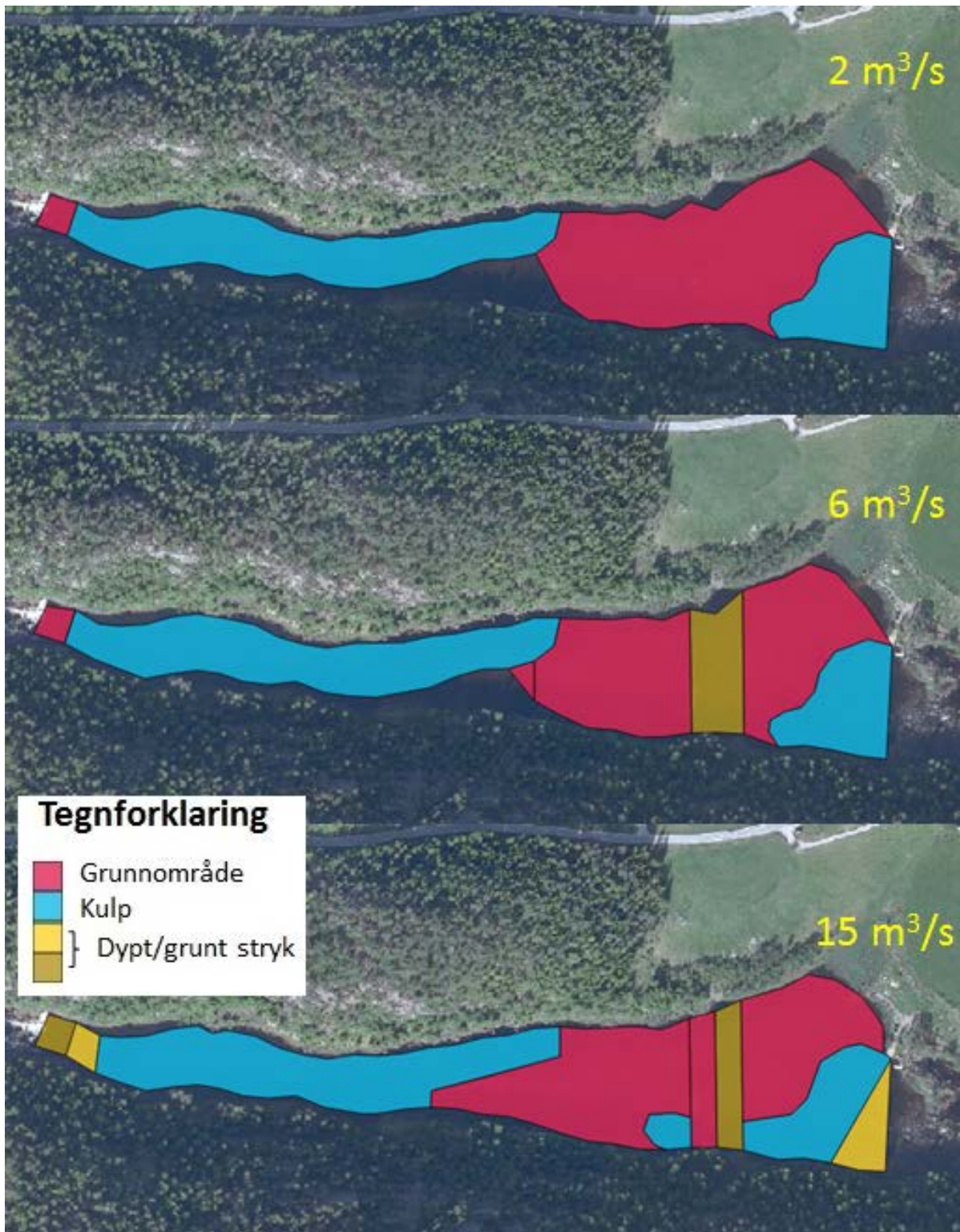
Figur 7. Elveklassekart for Fossekenilen modellert ved dagens situasjon ved vannføringer på 2, 6 og 15 m<sup>3</sup>/s. Tegnforklaringen til høyre angir de to aktuelle elveklassene (se tabell 2).



Figur 8. Elveklassekart for Fossekiln ved 2, 6 og 15 m<sup>3</sup>/s modellert uten terskel. Tegnforklaringen angir de fire aktuelle elveklassene (se tabell 2).



Figur 9. Elveklassekart for Sundet modellert ved dagens situasjon ved vannføringer på 2, 6 og 15 m<sup>3</sup>/s. Tegnforklaringen nede til høyre angir de to aktuelle habitatklassene (se tabell 2).



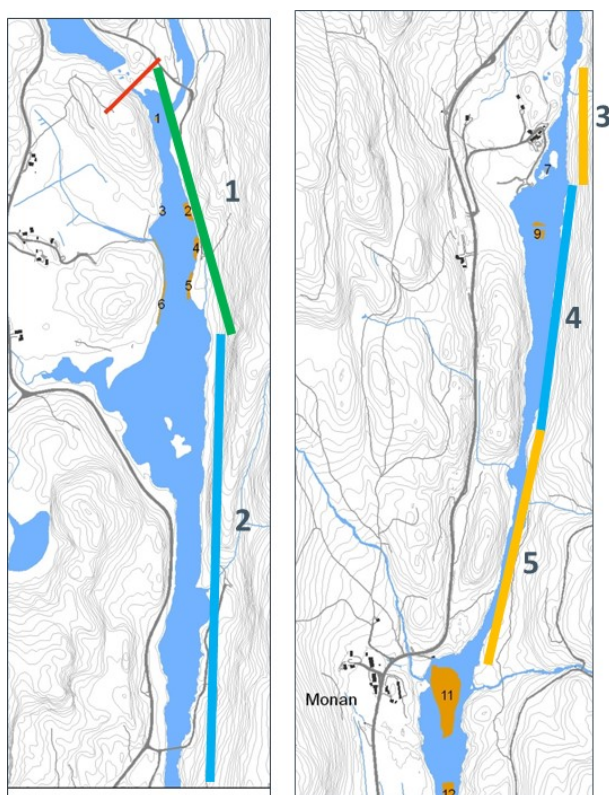
Figur 10. Elveklassekart for Sundet ved vannføringer på 2, 6 og 15 m<sup>3</sup>/s modellert uten terskel. Tegnforklaringen angir de fire aktuelle habitatklassene (se tabell 2).

### 4.3 Gyteplasser og forslag til tiltak

I tabell 7 gir vi diagnosen for strekningen fra Kavfossen til utløpet av Bjelland kraftverk ved dagens situasjon (når vanddekt areal er likt ved 2 og 6 m<sup>3</sup>/s). Inndelingen i segment er gitt i figur 11. Videre brukes diagnosesystemet og de hydrauliske beregningene til å estimere hvordan habitatforholdene og smoltproduksjonen vil bli om de to tersklene blir fjernet. Om tersklene fjernes vil vanddekt areal være avhengig av vannføringen, og effektberegningene er derfor gitt både ved vannføringer på 2 og 6 m<sup>3</sup>/s. Det finnes ikke gode data på tettheter av laksunger på strekningen som dekker både strykstrekningene og terskelmagasinene, og vi har derfor tatt utgangspunkt i standardverdier for smolttetthet ved ulik produktivitet gitt i Forseth & Harby (2013):

- Lavproduktive strekninger: 2-4 smolt/100 m<sup>2</sup>
- Mellomproduktive strekninger: 5-9 smolt/100 m<sup>2</sup>
- Høyproduktive strekninger: 7-13 smolt/100 m<sup>2</sup>

Disse erfaringstallene dekker ikke terskelmagasin, som er vurdert som spesielt lite egnet for lakseproduksjon (refs), og vi brukte derfor 1-2 smolt/100 m<sup>2</sup> i disse. I tillegg lagde vi, basert på skjønn, noen mellomliggende klasser der produktiviteten etter terskelfjerning mest sannsynlig vil havne mellom lav- og mellomproduktiv og mellom- og høyproduktiv. Det presiseres at estimatene for smoltproduksjon ikke nødvendigvis gjenspeiler dagens produksjon i de ulike segmentene eller for strekningen som helhet, men det er vår vurdering at de relative endringene etter terskelfjerning vil beskrives på en god måte. Vi har vært relativt forsiktige i våre vurderinger, for å ikke overvurdere effekten av tiltakene. Før vi omtaler estimatene av effektene av terskelfjerning ser vi nærmere på hvordan tiltaket vil påvirke skjultilgang og gytehabitat.



Figur 11. Inndeling av strekningen Kavfossen (rød strek oppe til venstre) til Monan (nede til høyre) i fem elvesegementer (1-5).

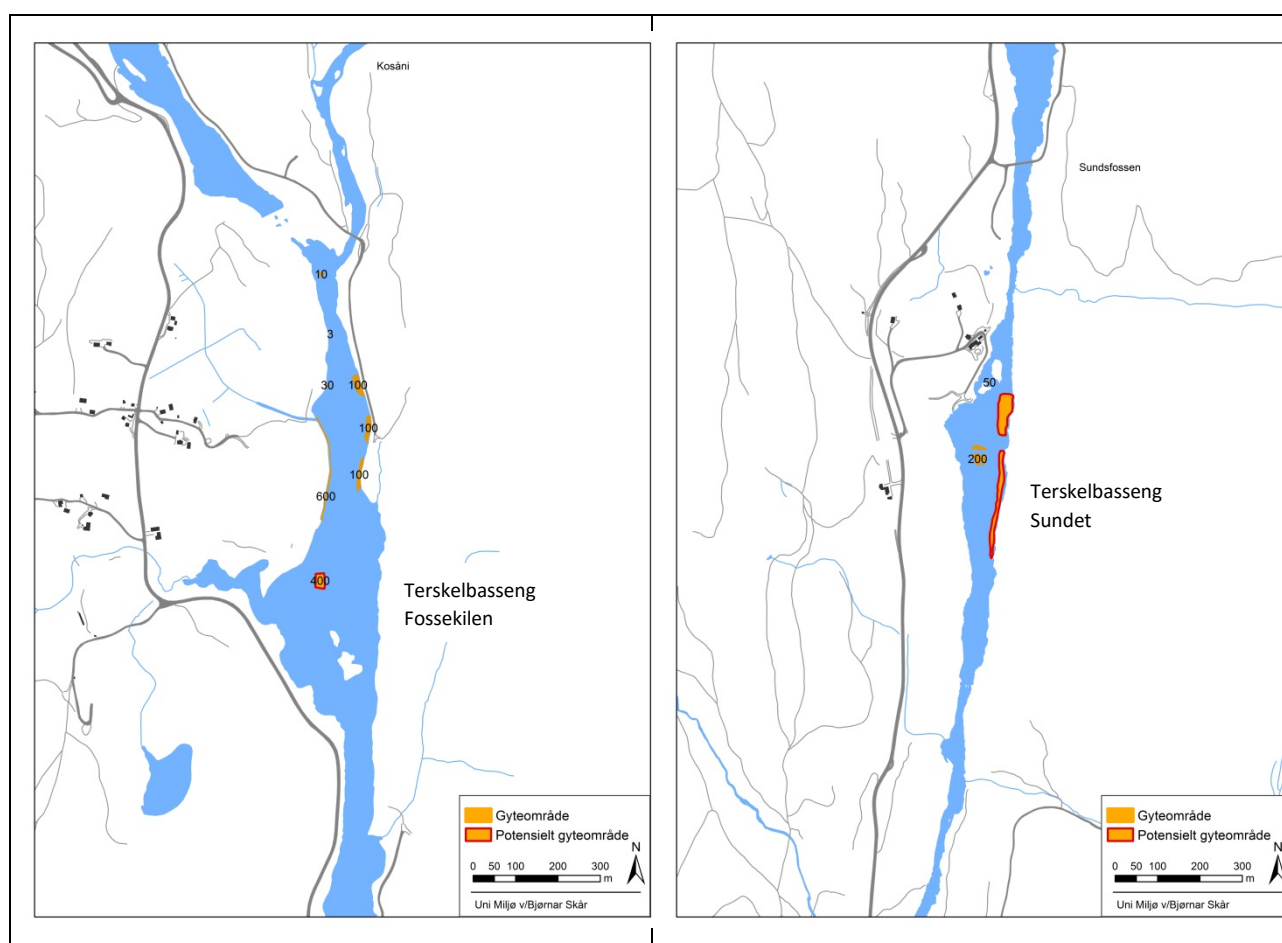
**Tabell 7.** Diagnose for strekning Kavfossen-utløp Bjelland Kraftverk i Mandalselva etter miljødesignmetoden (Forseth & Harby 2013), samt beregning av smoltproduksjon i dagens situasjon (Nå) og etter fjerning av tersklene ved en vannføring på 2 og 6 m<sup>3</sup>/s. Diagnosen er gitt for fem segmenter (Segm, se Figur 11). For hvert segment er følgende gitt: lengden (L), elvearealet på gitte vannføringer (A), arealet av gyteområder (Gyte), prosent gyteareal av totalareal (% Gyte), avstand mellom gyteområdene (Avstand), klassifisering av gytearealet (Gyte klasse), veid gjennomsnittlig skjulfrekommst (Skjul), klassifisering av skjulfrekommst (Skjul klasse), samlet klassifisering av produktivitet, begrensende habitatfaktor (Begrens), brukt minimum og maksimum smolttetthet (Smolt min og maks) og beregnet minimum og maksimum smoltproduksjon (Prod min og maks).

Nå															
Segm.	L. (m)	A. (m <sup>2</sup> )	Gyte (m <sup>2</sup> )	% Gyte	Gyte A. klasse	Avstand	Gyte klasse	Skjul	Skjul klasse	Produktivitet	Begrens	Smolt min	Smolt maks	Prod min	Prod maks
1	709	36873	943	2,56	moderat	liten	mye	10,8	mye	Høy	Ingen	7	13	2581	4793
2	1420	154582	0	0,00	lite	stor	lite	0,6	lite	Lav ÷	Begge	1	2	1546	3092
3	350	13140	50	0,38	lite	moderat	lite	21	mye	Moderat	Gyte	5	9	657	1183
4	677	49603	200	0,40	lite	stor	lite	6,2	moderat	Lav	Gyte	2	4	992	1984
5	683	22009	0	0,00	lite	stor	lite	14,4	mye	Moderat	Gyte	5	9	1100	1981
Sum	3839	276207	1193	0,43										6876	13032
Etter, ved 2 m <sup>3</sup> /s															
1	709	36873	943	2,56	moderat	liten	mye	10,8	mye	Høy	Ingen	7	13	2581	4793
2	1420	75992	400	0,53	lite	liten	moderat	0,6	lite+	Moderat ÷	Begge	4	8	3040	6079
3	350	13140	50	0,38	lite	moderat	lite	21	mye	Moderat	Gyte	5	9	657	1183
4	677	40125	700	1,74	Moderat	moderat	moderat	6,2	moderat+	Moderat	Gyte	5	9	2006	3611
5	683	22009	0	0,00	lite	stor	lite	14,4	mye	Moderat	Gyte	5	9	1100	1981
Sum	3839	188139	2093	1,11										9384	17647
Etter, ved 6 m <sup>3</sup> /s															
1	709	36873	943	2,56	moderat	liten	mye	10,8	mye	Høy	Ingen	7	13	2581	4793
2	1420	86534	400	0,46	lite	liten	moderat	0,6	lite+	Moderat	Begge	5	9	4327	7788
3	350	13140	50	0,38	lite	moderat	lite	21	mye	Moderat	Gyte	5	9	657	1183
4	677	42012	1200	2,86	Moderat	moderat	moderat	6,2	moderat+	Moderat +	Gyte	6	10	2521	4201
5	683	22009	0	0,00	lite	stor	lite	14,4	mye	Moderat	Gyte	5	9	1100	1981
Sum	3839	200568	2593	1,29										11186	19946



Fjerning av tersklene vil i seg selv ikke umiddelbart øke skjultilgangen slik dette er målt (som hulrom mellom steiner). Det er imidlertid andre habitatfaktorer som overflatebølger som kan gi hydraulisk skjul og vannhastigheter som bedrer fødetilgangen som tilsier at habitatforholdene blir bedre når terskelmagasin endres til naturlige elvestrekninger som veksler mellom stryk, glattstryk, kulper og grunnområder. Over tid kan mengden skjul mellom steinene også bedres, ved at flommer rensker substratet.

Gyteplassene, eksisterende og potensielle, på hele minstevannføringsstrekningen er vist i figur 12. For å vurdere om potensielle gyteområder vil tas i bruk når tersklene fjernes ble lokalitetene sammenholdt med elveklassekartene (se figurene 7 - 10).



Figur 12. Eksisterende gyteområder og gyteområder som kan tas i bruk ved fjerning av terskler på strekningen fra Kavfossen og ned til utløpet av Bjelland kraftverk.

Fra Kavfossen og ned til det første terskelbassenget (Fossekilen) var det svært gode gytemuligheter, stor variasjon i de hydromorfologiske forholdene og mye skjul. Strekningen ble klassifisert som høyproduktiv (Tabell 7). Det er ikke behov for tiltak med tanke på å øke gytemulighetene på denne strekningen.

I innløpet til terskelbassenget «Fossekilen» (grunnområde), vil vannhastigheten trolig bli egnet for gyting ved en terskelfjerning. Beregninger viser at området forblir vanndekket, men at det blir et grunt område. Dette betyr at det 400 m<sup>2</sup> store potensielle gyteområdet trolig vil bli tatt i bruk ved en fjerning av terskelen.

Det ble i tillegg observert flere flekkvise gytemuligheter på strekningen inn i terskelbassenget som ikke er vist på figur 12, som også får en bedre vannhastighet ved en fjerning. Dette vil styrke gyte tilbudet ytterligere på strekningen, men disse arealene er ikke tatt med i de videre beregningene. Det er behov for enkle biotopjusteringer etter at terskelen er fjernet. Dette kan være ledebuner (strømsettere), ripping av elvebunnen og utlegging av store blokker på gyteområdet eller andre steder i terskelbassenget. Vurdering av behovet for slike justeringer bør tas rett i etterkant av terskelfjerningen. Videre ble det observert en god del tømmer i elvebunnen, som kan virke som skjul for både ungfisk og voksenfisk, men ellers hadde elvebunnen i terskelbassenget et ørkenpreg med mye fin grus og sediment. På en kortere strekning oppstrøms terskelen, ble det observert store blokker med noen flekkvise partier med gytegrus som lå veldig dypt. Det er usikkert hvorvidt disse blir tatt i bruk ved en fjerning av terskel. Det er svært lite skjul, og strekningen ble klassifisert som «lavproduktiv minus» (tabell 7).

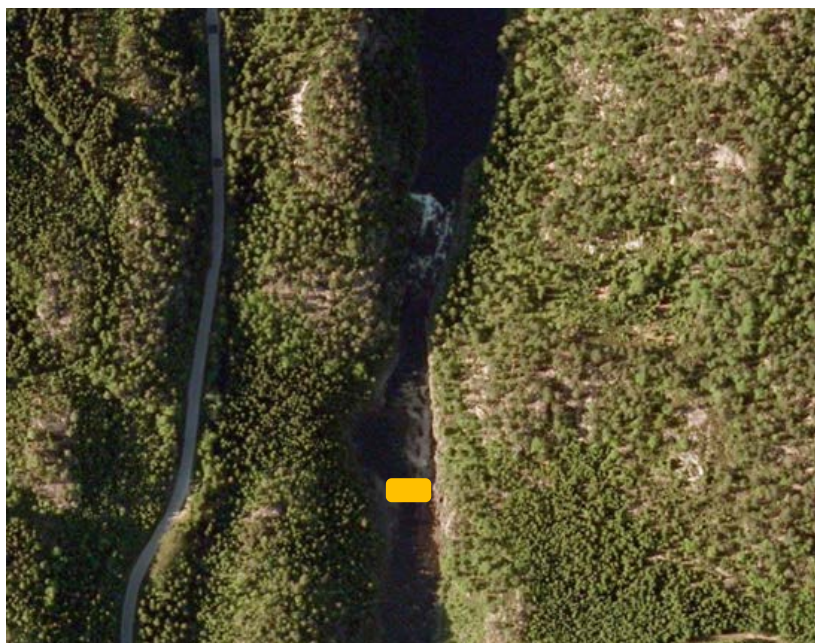


Figur 13. En renne i østre bredd vil sørge for økt vannhastighet over det nederste gyteområdet i terskelbasseng Sundet.

Mellom det to terskelbassenge er det en kort elvestrekning med et lite gyteområde, men mye skjul. Strekningen ble klassifisert som moderat produktiv (tabell 7).

I terskelbassenget Sundet, er det viktig at de to store gyteområdene blir realisert. Disse to gyteområdene vil øke gytetilbudet med ca. 1 000 m<sup>2</sup>, og det synes som at begge forblir vanddekket ved fjerning av terskelen og ved en vannføring på 2 m<sup>3</sup>/s. Det er imidlertid usikkert om begge områdene blir tatt i bruk ved 2 m<sup>3</sup>/s, men sikrere at de blir det ved 6 m<sup>3</sup>/s. Vi har derfor for å være konservative, antatt at det øverste området kan brukes ved 2 m<sup>3</sup>/s, mens begge områdene kan brukes ved 6 m<sup>3</sup>/s. For å sikre en økt vannstrøm over det nederste gyteområdet, kan det lages en dypere renne på østsiden gjennom det grunne området (figur 13). Dette vil trolig også øke vannhastigheten over det øverste potensielle gyteområde. Det vil forekomme flekkvis gytting utover de registrerte gyteområdene vi har kartlagt med en fjerning av tersklene. Disse er ikke tatt med i de videre beregningene. Det er moderat med skjul på strekningen, og produktiviteten i dag ble klassifisert som lav (Tabell 7).

Nedenfor den nederste terskelen (segment 5) er det ingen registrerte gyteområder. Det er mulig å etablere et mindre gyteområde på ca. 100 m<sup>2</sup> i hølen nedstrøms Lakskjerfossen (Figur 14). Området kan være utsatt for utspyling ved større flommer, og nærmere undersøkelser vil avdekke hvor godt lokaliteten er egnet til utlegging av grus. Vi anbefaler et 30 cm tykt lag, noe som skulle tilsvare et behov for ca. 32 m<sup>3</sup> med egnet gytegrus. Det er viktig at grusen anvises på riktig plass ved utlegg. Det må trolig benyttes helikopter med storsekker fylt med gytegrus til dette formålet da beliggenheten er nede i et relativt smalt juv. Det er mulig at noe ungfisk kan vandre opp fra det store gyteområdet nedstrøms utløpet fra kraftverket og bidra til smoltproduksjon i området. Det er mye skjul i dette området, men på grunn av manglende gytehabitat ble produktiviteten klassifisert som moderat (tabell 7). Etablering av et nytt gyteområde vil bedre produktiviteten noe, men fortsatt vil gyteareal være en begrensende faktor.

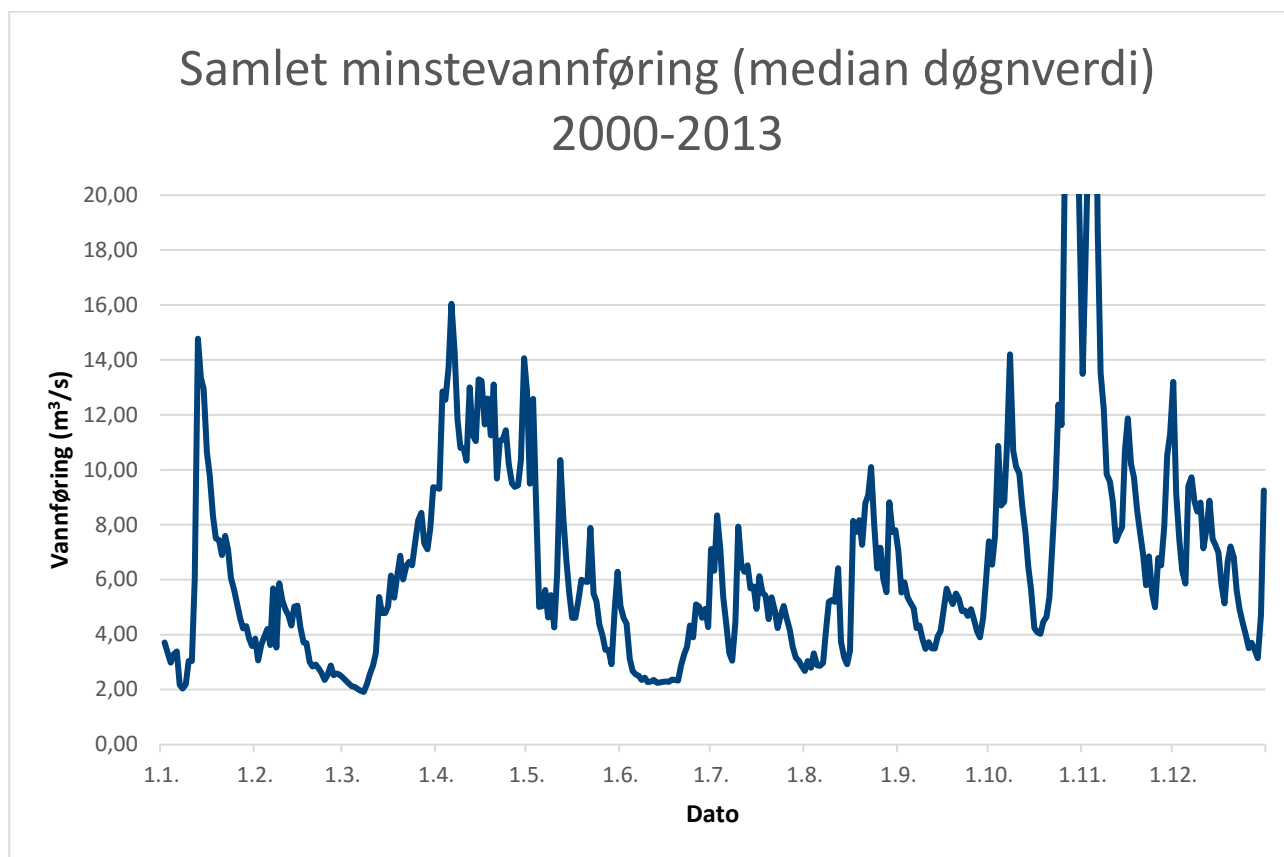


Figur 14. Det anbefales utlegging av gytegrus på utløpet av den store hølen nedstrøms Laksekjerfossen, i området som er skravert oransje.

Selv om vanddekt areal vil reduseres markant (særlig i Fossekilen; tabell 6 og 7) når vi sammenligner dagens situasjon med situasjonen etter fjerning av tersklene med en vannføring på 2 m<sup>3</sup>/s, tilsier våre beregninger at økt gytehabitat, bedre fordeling av gyteplassene og bedret habitat vil bidra til at smoltproduksjonen øker med ca. 35 % (mellom 2500 og 4600 smolt). Gevinsten blir enda større ved en vannføring på 6 m<sup>3</sup>/s, med en økning på 50-60 % i smoltproduksjon (mellom 4300 og 6900 smolt). Forskjellen mellom gevinsten på 2 og 6 m<sup>3</sup>/s oppstår fordi vi er sikrere på at hele det potensielle gytearealet i Sundet vil bli tatt i bruk ved den høyeste vannføringen. I tillegg vil oppvekstforholdene bedres ytterligere (men hovedgevinsten kommer etter fjerning av tersklene).

Beregnet fiskeproduksjon (tabell 7) er utført for konstante vannføringsverdier (2 og 6 m<sup>3</sup>/s), og de vanddekte arealer og vannhastigheter som er beregnet for disse to vannføringsverdiene. Her er det viktig å påpeke at vannføringen på denne strekningen varierer kontinuerlig, særlig påvirket av det uregulerte bidraget fra Kosåna, og at vannføringen målt ved Sundet derfor sjelden er så lav som den selvpålagte grensen på 2 m<sup>3</sup>/s. Beregningene er derfor ikke et mål for hvilken fiskeproduksjonsøkning man får ved å øke denne grensen fra 2 til 6 m<sup>3</sup>/s, men en illustrasjon på hvordan to lave vannføringer påvirker fiskeproduksjonen. Spesielt viser den at produksjonen med dagens terskler er nærmest uavhengig av om vannføringen er 2 eller 6 m<sup>3</sup>/s, mens den øker betydelig for begge vannføringer dersom tersklene fjernes.

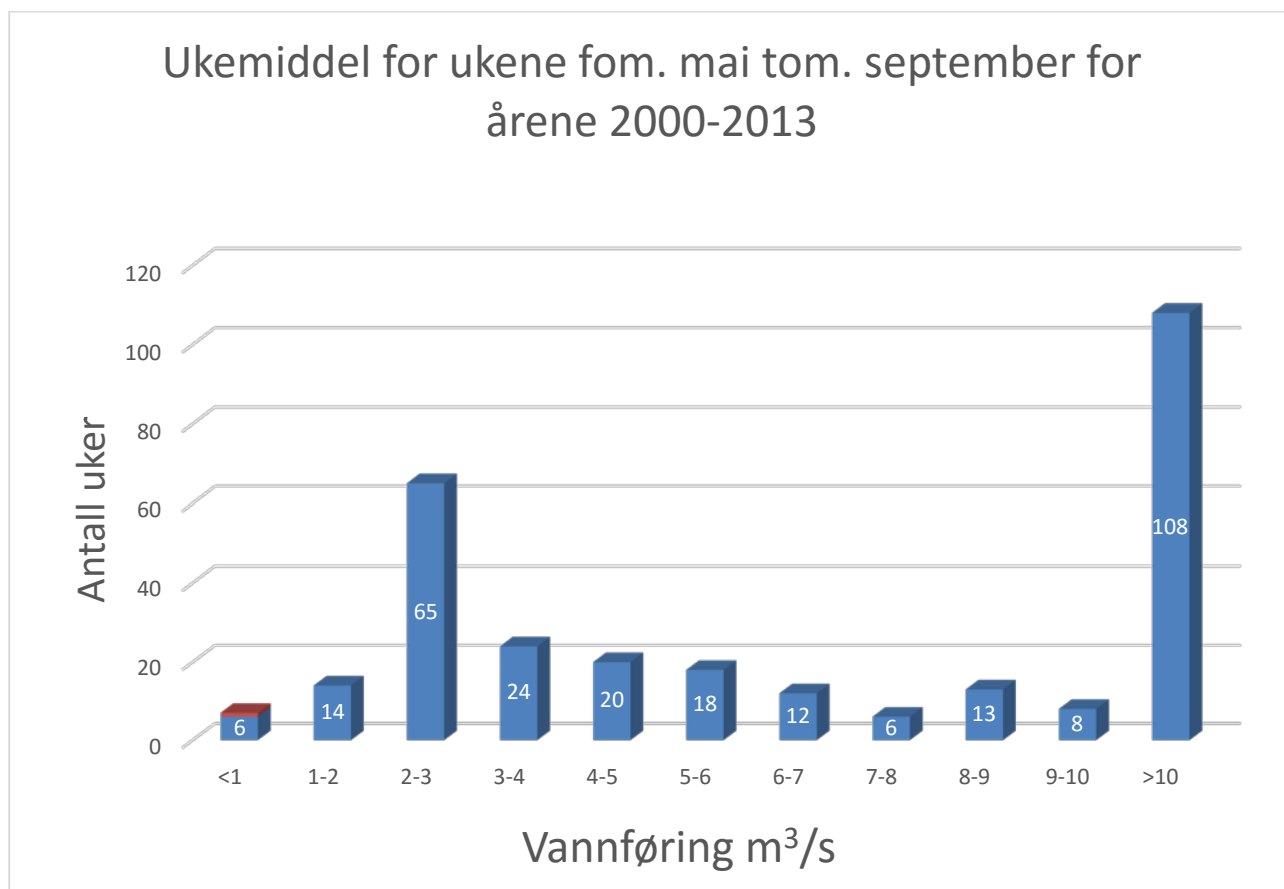
Med dagens vannslipp og naturlig avrenning fra Kosånafeltet er vannføringen om sommeren ofte lav, og i perioder ned mot 2 m<sup>3</sup>/s (Figur 15). I figuren benyttes data fra NVE's målestasjon Myglevatn, og data fra Agder Energi for vannslipp ved dammen på Tungesjø. Det er lagt til 30 % på alle data fra Myglevatn for at disse skal representere hele nedbørsfeltet til Kosåna ved utløpet i Mandalselva. Det er stor variasjon mellom år. Spesielt høst og vinter kan det være høy vannføring og flommer, og i år 2000 er det beregnet en flom på omkring 700 m<sup>3</sup>/s rundt den 1. november på strekningen med tersklene. Med potensielt høye vannføringer i gyteperioden er det også viktig at vannføringen etter gyting ikke blir så lav at eggene tørrlegges. Det er i dagene rundt 1. mars at den naturlige avrenningen statistisk er lavest i denne sammenheng.



Figur 15. Beregnet vannføring over året ved Sundet basert på måledata fra Myglevatn i Kosåna og data fra Agder Energi for vannslipp over dammen på Tungesjø for årene 2000-2013.

For sommerukene fra og med mai, til og med september, er det sett nærmere på ukemiddel for vannføring i de fjorten årene 2000-2013, dvs. totalt 294 ukemiddelverdier (Figur 16). Vi ser her at i 22 % av disse sommerukene er vannføringen mellom 2 og 3 m<sup>3</sup>/s, og i 50 % av ukene er middelvannføringen lavere enn 6 m<sup>3</sup>/s.

Av de 20 ukene med registrert vannføring lavere enn 2 m<sup>3</sup>/s målt ved Sundet, var 17 av disse før 2006, og etablering av automatisk innsamling av vannstandsdata på Sundet fra 2009 kan ha bidratt til at vannføringen siden dette tidspunktet sjelden eller aldri har kommet under 2 m<sup>3</sup>/s.



Figur 16. Frekvensfordeling av vannføring (ukemiddel) ved Sundet for sommerukene (mai-september) i årene 2000-2013 (tilsammen 294 uker).

#### 4.4 Vandring og fiskemuligheter

Terskler kan forsinke oppvandringen av laks (Thorstad m. fl. 1997, 1998) og det er vist at fjerning av terskler kan gi økt oppvandringshastighet hos laks (Fjeldstad m.fl. 2012). I miljødesignprosjektet er det gjort forsøk for å undersøke om tersklene i Mandalselva forsinke oppvandringen. Problemer med å skaffe nok fisk til radiomerking har dessverre medført at vi har fått for få fisk som har passert utløpet av Bjelland kraftverk til at vi kan trekke sikre konklusjoner for de to aktuelle oppstrøms tersklene. Nedstrøms Mannflåvatn framsto imidlertid betongterskelen ved Kleveland bru (fjernet i 2016) som et vandringsforsinkende område. De to tersklene som behandles her er også relativt høye betongterskler. Det er ikke urimelig å anta at disse også kan forsinke oppvandringen, i alle fall under noen vannføringer. Dette vil i så fall bedres når tersklene fjernes. Mer enn halvparten av strekningen mellom Monan og Kavfossen består i dag av terskelbasseng med svært lave vannhastigheter på de vanligst forekommende vannføringene i fiskesesongen. Disse strekningene er dårlig egnet eller uegnet til sportsfiske. Selv om store deler av magasinene vil være dype med lave vannhastigheter også etter at tersklene eventuelt fjernes, vil det også oppstå nye områder med høyere vannhastigheter. Det er således liten tvil om at området vil bli mer attraktivt for sportsfiske om tersklene fjernes, både fordi større områder blir fiskbare og eventuelt på grunn av tidligere og raskere oppvandring. De allerede gjennomførte tiltakene (vinteren 2016) på strekningen nedstrøms Mannflåvatn kan trolig også bidra

til tidligere oppvandring. Viktigst er det selvsagt at økt smoltproduksjon på strekningen vil øke antall voksenfisk som returnerer til og stopper i området.

## 5 Diskusjon og anbefaling

Over halvparten av minstevannføringsstrekningen mellom Monan og Kavfossen i øvre del av Mandalselva er dominert av terskelbassenger skapt av to betongterskler. Disse ble laget for å skape vannspeil ved lave vannføringer i en tid da laksebestanden var borte fra vassdraget på grunn av forsurening, men er dårlig egnet til fiskeproduksjon nå som laksen i vassdraget er reetablert. Gjennom oppmålinger og hydrauliske modellering har vi vist hvordan elvestrekningen mest sannsynlig vil framstå etter at tersklene eventuelt blir fjernet. Begge områdene vil fortsatt ha områder med dypt og stilleflytende vann, men det vil også oppstå mer hurtigflytende områder. Beregningene viser at fiskeproduksjonen med dagens terskler er nærmest uavhengig av om vannføringen er 2 eller 6 m<sup>3</sup>/s, mens den øker for begge vannføringer dersom tersklene fjernes. Selv om vanddekt areal blir redusert etter fjerning av tersklene, viser våre estimater at smoltproduksjonen på strekningen vil øke betydelig. Gevinsten vil være avhengig av vannføringen og varierer fra ca. 35 % ved 2 m<sup>3</sup>/s til 50-60 % ved 6 m<sup>3</sup>/s. Beregnet median sommervannføring med dagens minstevannbestemmelse varierer mellom 3,2 og 6,2 m<sup>3</sup>/s for sommermånedene (tabell 8). Det er viktig å bemerke at slike gjennomsnittsverdier maskerer perioder med lave vannføringer, som vist i Figur 15. En nærmere analyse av disse lavvannsperiodene kan identifisere perioder der eventuelle ekstra vannslipp kan gi størst gevinst.

Tabell 8. Sommervannføring (m<sup>3</sup>/s) ved Sundet, beregnet som gjennomsnitt av døgnmedianer for hver måned for årene 2000-2013.

Mai	Juni	Juli	August	September
6,17	3,23	5,17	5,70	4,77

Fjerning av de to betongtersklene vil med stor sannsynlighet bedre oppvandringsforholdene for laks, ved at fisken i mindre grad vil stanse under tersklene, slik man har sett blant annet fra en tilsvarende terskel på Kleveland lenger ned i elva. I tillegg vil fjerning av tersklene danne et antall nye strekninger med høyere vannhastigheter, noe som vil gjøre dagens terskelpåvirkede strekninger mer attraktive for sportsfiske.

Ved fjerning av tersklene vil gytemulighetene forbedres betydelig, ved at flere potensielle gyteplasser får økte vannhastigheter. Realisering av nye gyteplasser kan optimaliseres med fysiske tilpasninger på de enkelte lokaliteter, slik som tilpasning med steiner, grøfter eller buner. Dette må utføres på stedet etter at tersklene er fjernet, og i samarbeid mellom maskinfører og kvalifiserte eksperter. I tillegg anbefales utlegging av gytegrus med helikopter på et lite område nedenfor den nederste terskelen.

Fjerning av tersklene vil i seg selv ikke umiddelbart øke skjultilgangen slik dette er målt, men andre habitatfaktorer, slik som overflatebølger som kan gi hydraulisk skjul og vannhastigheter som bedrer fødetilgangen og som tilsier at habitatforholdene blir bedre når terskelmagasin endres til naturlige elvestrekninger som veksler mellom stryk, glattstryk, kulper og grunnområder.

Skjulmuligheter, utbredelse av egnet bunns substrat for gyting (og evt. fjerning av mudder og bunnvegetasjon) vil påvirkes over tid etter at tersklene eventuelt fjernes. Ytterligere justeringer og forbedringer vil være aktuelt, men bør skje etter at man har kunnet observere slike endringer en tid etter terskelfjerning.



## 6 Referanser

- Adeva, A. B. 2014. Modeling the trade-off between production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and power at Laudal Hydropower plant. Masteroppgave innlevert til Institutt for Vann og Miljøteknikk, NTNU. 1-71 s.
- Borsányi, P., Alfredsen, K., Harby, A., Ugedal, O. & Kraxner, C. 2004. A Meso-scale Habitat Classification Method for Production Modelling of Atlantic Salmon in Norway. *Hydroécologie appliquée* **14**: 119-138
- Fjeldstad, H. P., Barlaup, B. T., Stickler, M., Gabrielsen, S. E. & Alfredsen, K. 2012. Removal of weirs and the influence on physical habitat for salmonids in a Norwegian river. *River Research and Applications* **28**: 753-763.
- Fjeldstad, H. P., Zinke, P., Bustos, A.A., Gabrielsen, S. E., Skår, B. & Forseth, T. 2014. Fjerning av terskler ved Laudal i Mandalselva – Hydrologiske forhold og fysiske tiltak for laks. SINTEF-rapport TR F7450.
- Forseth, T. & Harby, A.(red.). 2013. Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag. NINA Temahefte **52**, 1-90 s.
- Hedger, R., Sundt-Hansen, L. E.B., Forseth, T., Diserud, O. H. Ugedal, O., Finstad, A. G. 2013. Modelling the complete life-cycle of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) using a spatially explicit individual-based approach. *Ecological Modelling*. Volum 248.
- OED 2013. (Endring av konsesjonsvilkår for Laudal kraftverk i Mandalsvassdraget). Kongelig resolusjon 14. juni 2013.
- Thorstad, E., Heggberget, T. G.. 1997. Vandring hos radiomerket laks i Mandalselva i for hold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking. NINA Oppdragsmelding 470
- Thorstad, E., Hårsaker, K. 1998. Vandring hos radiomerket laks i Mandalselva i for hold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking- videreføring av tidligere undersøkelser. NINA Oppdragsmelding 541
- USACE 2010. US Army Corps of Engineers. Hec-RAS River Analysis System. Users's Manual, Version 4.1. Lastes ned fra: [http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS\\_4.1\\_Users\\_Manual.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf).

## Vedlegg 1 Mesohabitatklassifisering

Mesohabitatsystemet til Borsányi m. fl. (2004). Den høyre kolonnen viser de ulike mesohabitatklassene som beskriver det fysiske habitatet for laks som funksjon av vannhastighet, vannndyp, helning på elva og overflateegenskaper (bølger eller ikke). Grensen for dypt og grunt område er 0,7 meter, og grensen for høy og lav vannhastighet er 0,5 m/s.

Criteria	surface pattern	surface gradient	surface velocity	water depth	Code
Decision	smooth/rippled	steep	fast	deep	A
			<i>slow</i>	<i>shallow</i> <i>deep / shallow</i>	
		moderate	fast	deep	B1
				shallow	B2
			slow	deep	C
				shallow	D
	broken / unbroken standing waves	steep	fast	deep	E
				shallow	F
			<i>slow</i>	<i>deep / shallow</i>	
		moderate	fast	deep	G1
				shallow	G2
			slow	<i>deep</i>	
shallow	H				





Teknologi for et bedre samfunn

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