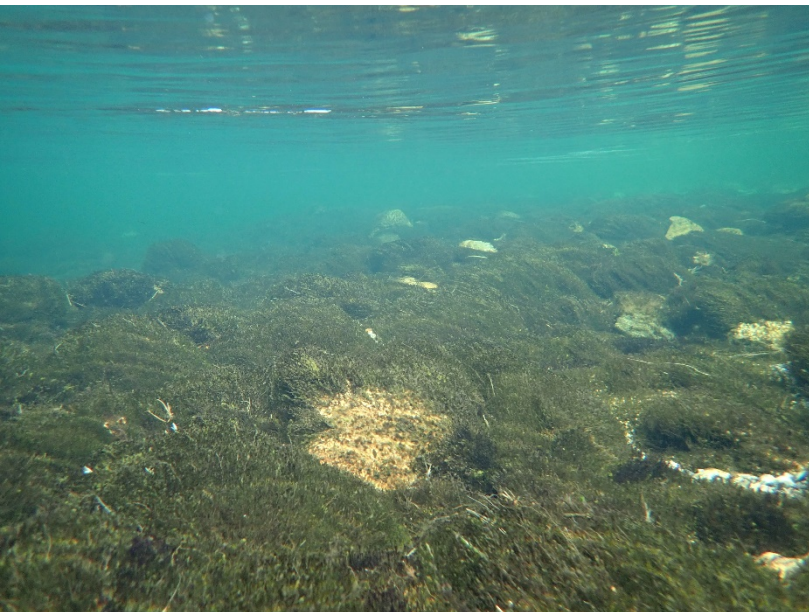


# Hellandsfoss kraftverk i Modalselva - effekter på fiskebiologiske forhold



**NORCE**

Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

# Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

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

**ISSN nr:** ISSN-2535-6623

**LFI-rapport nr:** 389

**Tittel:** Hellandsfoss kraftverk i Modalselva - effekter på fiskebiologiske forhold.

**Dato:** 05.07.2021

**Forfattere:** Sven-Erik Gabrielsen, Espen O. Espedal, Christoph Postler, Sebastian Stranzl, Bjørn T. Barlaup og Elisabeth Stöger.

**Bilder:** Fotografier er tatt av Norce LFI

**Geografisk område:** Vestland, Hordaland, Norge

**Oppdragsgiver:** BKK Produksjon AS

**Kontaktperson hos oppdragsgiver:** Sissel Hauge Mykletun

**Antall sider:** 47

**Emneord:** Leveområder for fisk, gyteområder, flaskehalsar for fiskeproduksjon, utvandring av smolt

# Innhold

---

<b>Sammendrag</b> .....	4
<b>1. Bakgrunn og hensikt</b> .....	7
<b>2. Beskrivelse av reguleringen av vassdraget</b> .....	7
3. Om lakseproduksjon og habitatforhold.....	9
3.1 Gyteområder .....	9
3.2 Skjulforhold for ungfisk.....	10
3.3 Habitatflaskehals og begrensede faktorer .....	11
3.4 Gassmetning.....	12
<b>4 Habitatkartlegging</b> .....	13
4.1 Elveklasser.....	16
4.2 Substrat .....	18
4.3 Skjultilgang .....	19
4.4 Gyteområder .....	20
4.5 Begroing.....	21
4.6 Vurdering av gyte- og oppvekstforhold i Modalselva .....	23
<b>5 Overvåking av gassmetning</b> .....	25
<b>6 Drift av Hellandsfoss kraftverk og vannføringsforhold i hovedløpet nedstrøms.</b> .....	28
<b>7 Status gytebestand</b> .....	33
<b>8 Status ungfiskbestand</b> .....	35
<b>9 Referanser</b> .....	37
<b>10 Appendiks</b> .....	39

---

# Sammendrag

Denne rapporten sammenstiller fiskebiologiske undersøkelser utført av NORCE LFI i Modalselva nedstrøms Hellandsfossen fra fisketrappen og ned til utløp sjø. Undersøkelsene omfatter habitatkartlegging, overvåking av gassmetning, effekter av vannføringsforhold ved driften av Hellandsfoss kraftverk og en oppdatert status for fiskebestandene.

## Habitatkartlegging

Modalselva, fra Hellandsfossen og ned til brakkvannssonen, har en lengde på 5,6 km og et elveareal på ca. 302 444 m<sup>2</sup> ved full elveseng. Denne strekningen er dominert av stryk (49 % av totalarealet), men er likevel relativt flat med en fallgradient på 0,3 %. Kvitstryk utgjør kun 1 % av det totale arealet. Det øvrige arealet er fordelt på sakteflytende områder som kulp (29 %) og glattstrøm (21 %). Substratet på denne elvestrekningen, er dominert av stein (52 % dekningsgrad av totalt areal) og grus (22 %). Blokk og sand utgjør 12 % hver mens det nesten ikke finnes områder med mudderbunn (2 %) eller grunnfjell (<1 %). Fra sjøen og opp til Hellandsfossen er 71 % av elvearealet klassifisert som områder med lite skjul for ungfisk, mens 24 % av elvearealet har middels skjul. Kun 5 % av det totale kartlagte arealet har mye skjul. Den gjennomsnittlige skjulverdien for hele den kartlagte strekningen er 4,4 (tilsvarende skjulkategorien «lite»). Gode skjulmuligheter i elvebunnen er en begrensende faktor for fiskeproduksjonen i Modalselva nedstrøms Hellandsfossen.

Den relativt lave gradienten på strekningen nedstrøms Hellandsfossen i Modalselva gjør at en i utgangspunktet må forvente at tilgangen på skjul for fisk er relativt lav. Imidlertid er det også lite skjul i områder som vanligvis har mye skjul. Dette skyldes både en stor andel finsedimenter i elvebunnen, samt begroing med tette matter av mose. Den store dekningsgraden av mose i strykpartiene indikerer mangel på sedimentdynamikk i elven. Manglende sedimentdynamikk er også trolig årsaken til at det finnes finsedimenter mellom steiner og blokker selv på elvestrekninger med relativt høy lokal gradient. Ved flommer forventes det at substratet beveger seg og at finmasser blir spylt ut, slik at substratet renses. Denne dynamikken ser ut til å mangle på flere strekninger i Modalselva, og da særlig i områder med grovt substrat, hvor bunnforholdene tilsynelatende er stabile. Unntaket er to områder hvor det kommer inn sideelver (Budalselva og bekken som kommer ned fra Botnane). Ved utløpet av disse ser elvebunnen annerledes ut og har grovt substrat uten begroing og hulrommene er ikke fylt igjen av finsedimenter. En del av finsedimentene som akkumuleres i Modalselva stammer sannsynligvis fra Sandtakene ved Nedre Helland. Ved sandtaket nede ved broen renner det en bekk som førte med seg mye finsedimenter som blant annet ser ut til å legge seg i kulpen like nedstrøms.

Totalt registrert mengde gyteareal for den kartlagte strekningen er ca. 5 700 m<sup>2</sup>. Dette utgjør 2,3 % av det totale elveareal og klassifiseres som at fisken har moderat tilgang på gyteareal. Gyteplassene er forholdsvis godt fordelt i hele elvens lengde, og avstanden mellom dem tilsier også at det er moderat med gyteplasser på den kartlagte strekningen i Modalselva.

Det er relativt mye vannvegetasjon i form av moser i Modalselva og 61 % av elvearealet har begroingen med en dekningsgrad som er 25 % eller høyere. Den gjennomsnittlige begroingsgraden over hele den kartlagte strekningen er 33 %. Stedvis reduserer mosen skjulmulighetene og flere steder er moselaget også så tjukt at det dekker alt av hulrom i elvebunnen.

## Gassmetning

I overvåkingsperioden 2013-2020 ble det dokumentert gassovermetning i Modalselva. Kortvarige topper nådde opptil 168 % TDG (Total Gass Pressure), mens de vanligste gassovermetningsbølgene var på mellom 115 % og 125 %. Bølger av den sistnevnte typen var generelt også mer langvarige. Siden gassmetningen forekom bare nedenfor Hellandsfoss kraftverk og ikke i referanseområdet ovenfor, konkluderes det med at gassovermetningen forårsakes av kraftverket. Overmetningsbølger fra Hellandsfoss kraftverk kan spores helt til brakkvannssonen, men gassmetningen luftes gradvis ut og er rundt 110 % eller lavere ved Mo bro, selv i perioder med høy luftmetning fra kraftverket. Med dette er trolig store deler av elva nedenfor kraftverket rammet av kunstig gassovermetning, mens nedre delen gradvis er mindre utsatt.

I tidligere analyse gjennomført med kraftverkseier (BKK) ble bekkeinntakene utpekt som en viktig årsak til luftinndrag og gassovermetning. Gassovermetning forekom særlig under høy vannføring i bekkeinntakene, typisk i vårløsningen og under flommer. Også etter at bekkeinntaket ble stengt, har det vist seg å forekomme gassovermetning i Modalselva. Bekkeinntaket forklarte derfor ikke all den observerte overmetningen. Det ble derfor besluttet å prøve ut en periode med stenging av bekkeinntakene. Resultatene tyder på at det ikke er like store overmetningsbølger i tiden etter stengingen av bekkeinntakene. Overmetningshendelsene har hatt lavere maksimumsverdier og kortere varighet. Særlig virker det som prosentmessig andel av tidsperioden med gassmetning over 110 % TDG (grenseverdi) er redusert som følge av dette tiltaket og situasjonen i vassdraget har bedret seg betydelig siden bekkeinntakene ble stengt. Det bør imidlertid gjøres en grundigere gjennomgang av all innsamlet data (både gassmetning, vannføring og drift) i samarbeid med BKK for å fullt ut forstå alle observasjoner og resultater, samt forsøke å finne løsninger for å redusere omfanget av overmetningen som fortsatt forekommer ved lave driftsvannføringer.

## Drift av BKK sitt kraftverk og vannføringsforhold nedstrøms i hovedløpet

Reguleringen av vassdraget påvirker vannføringsforholdene i hele elven, mens driften av Hellandsfoss kraftverk påvirker vannføringsforholdene nedstrøms kraftverket ved unormale hurtige endringer. Reguleringen har ført til mindre variasjon, reduserte flomtopper og generelt høyere median vannføring i hovedløpet. De høye flomtoppene og endringene i vannføringen om våren og høsten er dempet. Analyse av driften av Hellandsfoss kraftverk, viser at det forekommer hurtige vannføringsendringer i hovedløpet som en følge av denne driften. I tillegg hender det at kraftverket får ikke planlagte stans som fører til at endringene i vannføringen endres kjapt. I perioden 2015-2020 har kraftverket hatt 23 stans som ikke har vært planlagt der vannføringen reduseres ukontrollert. Det er registrert episoder der vannstanden reduseres med over 20 cm/t og den raskeste reduksjonen i vannstand

nedstrøms Hellandsfoss kraftverk som er målt, er 44 cm i timen. I en kunnskapsoppsummering av miljøeffekter av effektkjøring er det konkludert med at miljøeffekten av hurtige vannføringsreduksjoner er avhengige av en rekke forhold, som for eksempel senkningshastigheten, hvor stort areal som tørrlegges, hvor stor endringen i vannføringen er, hvor ofte de forekommer og hvordan de er fordelt gjennom året, og når i sesongen/døgnet de forekommer. Negative effekter av hurtige vannstandsreduksjoner vurderes som *svært stor* når senkningshastigheten, gitt som endring i vannstand per tidsenhet, overstiger 20 cm/t, *stor* ved senkningshastigheten mellom 13-20 cm/t og *middels* ved senkningshastigheten mellom 5-13 cm/t. Basert på denne kunnskapen er det sannsynlig at ikke planlagte stans i Hellandsfoss kraftverk kan ha en negativ effekt på fiskeproduksjonen. I kunnskapsoppsummeringen vurderes miljøeffekten i form av stranding av ungfisk som *svært stor* dersom mer enn 20 % av elvearealet tørrlegges ved nedkjøring, *stor* dersom 10-20 % tørrlegges, *moderat* dersom 5-10 % tørrlegges og *lite* dersom < 5 % tørrlegges.

Resultatene viser at det forekommer hurtige vannføringsreduksjoner på elvestrekningen nedstrøms Hellandsfossen kraftverk grunnet kraftverksdriften som kan føre til økt dødelighet som følge av at ungfisk strander. Imidlertid foreligger det ingen konkrete undersøkelser på dette i Modalselva. Følgelig er det ingen kunnskap om hvor stor effekt dette har på fiskeproduksjonen. Dette bør utredes nærmere ved å utføre mer detaljerte analyser og ved å kartlegge hvor stor del av elvearealet som tørrlegges. Det sistnevnte kan for eksempel undersøkes ved å utvikle en terrengmodell eller ved å kartlegge vanddekt areal på ulike vannføringer med drone.

# 1. Bakgrunn og hensikt

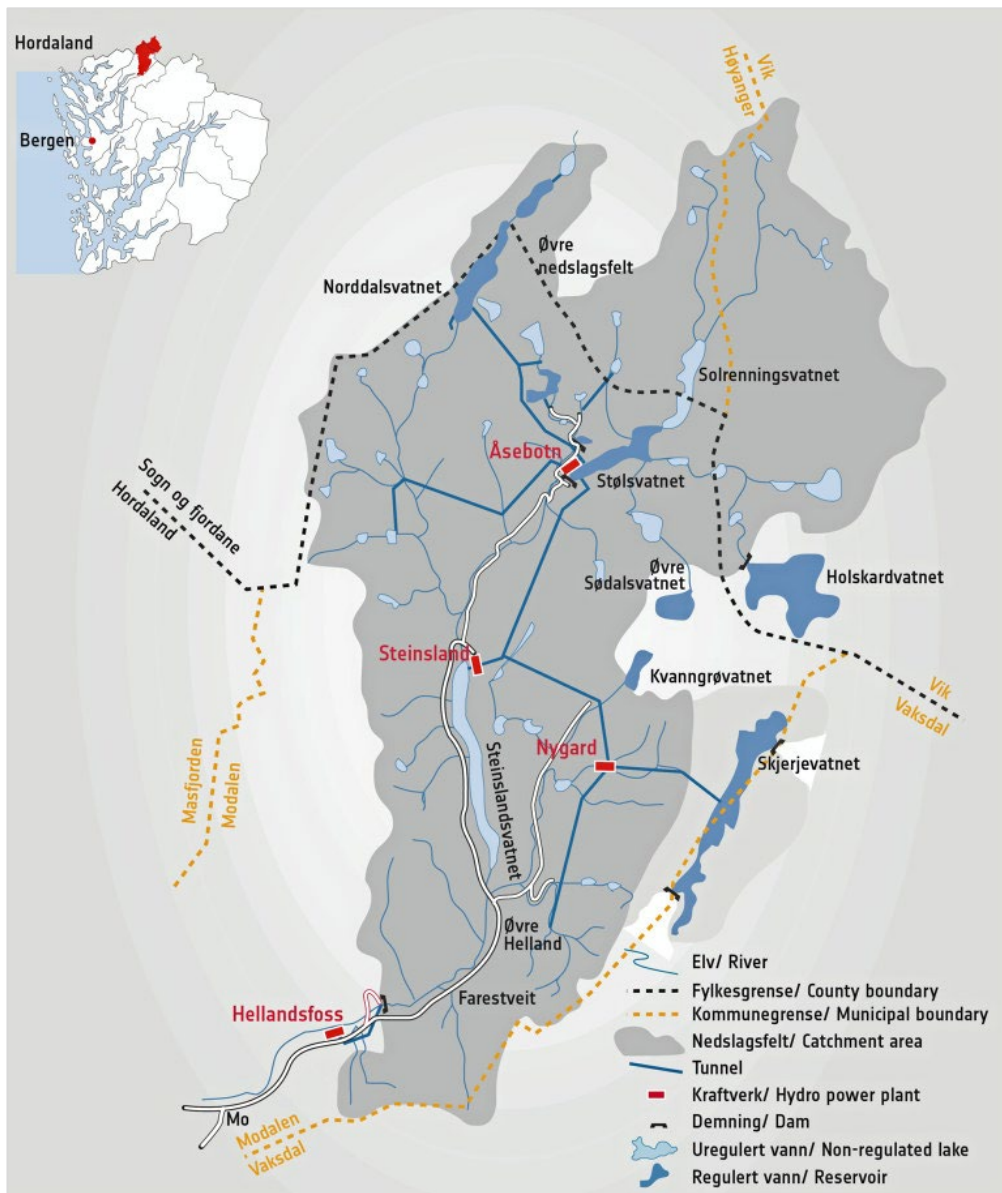
NORCE LFI fikk vinteren 2019 i oppdrag fra BKK å kartlegge deler av den anadrome strekningen av Modalselva fra Hellandsfossen til utløp i sjø. Hovedformålet med kartleggingen var å gjøre en vurdering av oppvekst- og gyteforhold for laks og sjøaure. Kartleggingen ble utført etter prinsippene beskrevet i *Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag* (Forseth & Harby 2013) og Pulg m.fl. (2011), der det settes søkelys på å beskrive gyteforhold og oppveksthabitat for ungfisk. Fysiske egenskaper som substratstørrelser, hulromkapasitet (skjul), mesohabitat og mulige gyteområder var hovedmålet med denne kartleggingen. I tillegg var det fokus på fysiske inngrep i elva som f.eks. terskler.

I tillegg inneholder rapporten resultater fra andre undersøkelser som har betydning for fiskebestandene i vassdraget. Dette gjelder overvåking av gassovermetning nedstrøms utløpet av Hellandsfoss kraftverk (BKK) som har pågått siden 2013, og en vurdering av hvordan kraftverksdriften påvirker vannføringsforholdene i Modalselva basert på målinger i perioden 2015-2020. I tillegg inneholder rapporten en beskrivelse av status for fiskebestandene basert på undersøkelser av ungfiskbestanden siden 1993 og gytefiskbestanden for årene 2004-2020.

## 2. Beskrivelse av reguleringen av vassdraget

Modalsvassdraget som hadde et naturlig nedbørsfelt på 387,8 km<sup>2</sup>, har sitt utspring i Stølsheimen. Etter reguleringene som er gjort i vassdraget er i dag arealet 381 km<sup>2</sup>, herav er 38,7 km<sup>2</sup> fraført det naturlige nedbørsfeltet og 32 km<sup>2</sup> er overført til vassdraget. Vassdraget består i hovedsak av Modalselva som renner fra Steinslandsvatnet og ut i Mofjorden ved Mo. Det er flere sideelver og bekker i vassdraget som inngår i reguleringene. Blant de største er Norddalselva og Stølselva som renner sammen oppstrøms Steinslandsvatnet og Krossdalselva som renner sammen med Modalselva like nedstrøms Steinslandsvatnet (**Figur 1**).

I 1975 ble det gitt konsesjon til utbygging og byggingen startet samme år. Steinsland kraftverk ble satt i drift fra 1981. Steinsland kraftverk har installert effekt på 2x 85 MW og slukeevne på 38,2 m<sup>3</sup>/s. Vannet til Steinsland kraftverk kommer fra to takrennetunneler, en fra nordsiden av området inntil Stølsvatnet, og en fra sørsiden av området som leder bekker inn på driftstunnelen. Stølsvatnet ligger som sentralt magasin i systemet. Holskardvatnet ble overført til Evanger kraftverk allerede i 1976 og Kvanngrøvatnet og Øvre Sjørdalsvatnet ble overført til Evanger fra 1984.

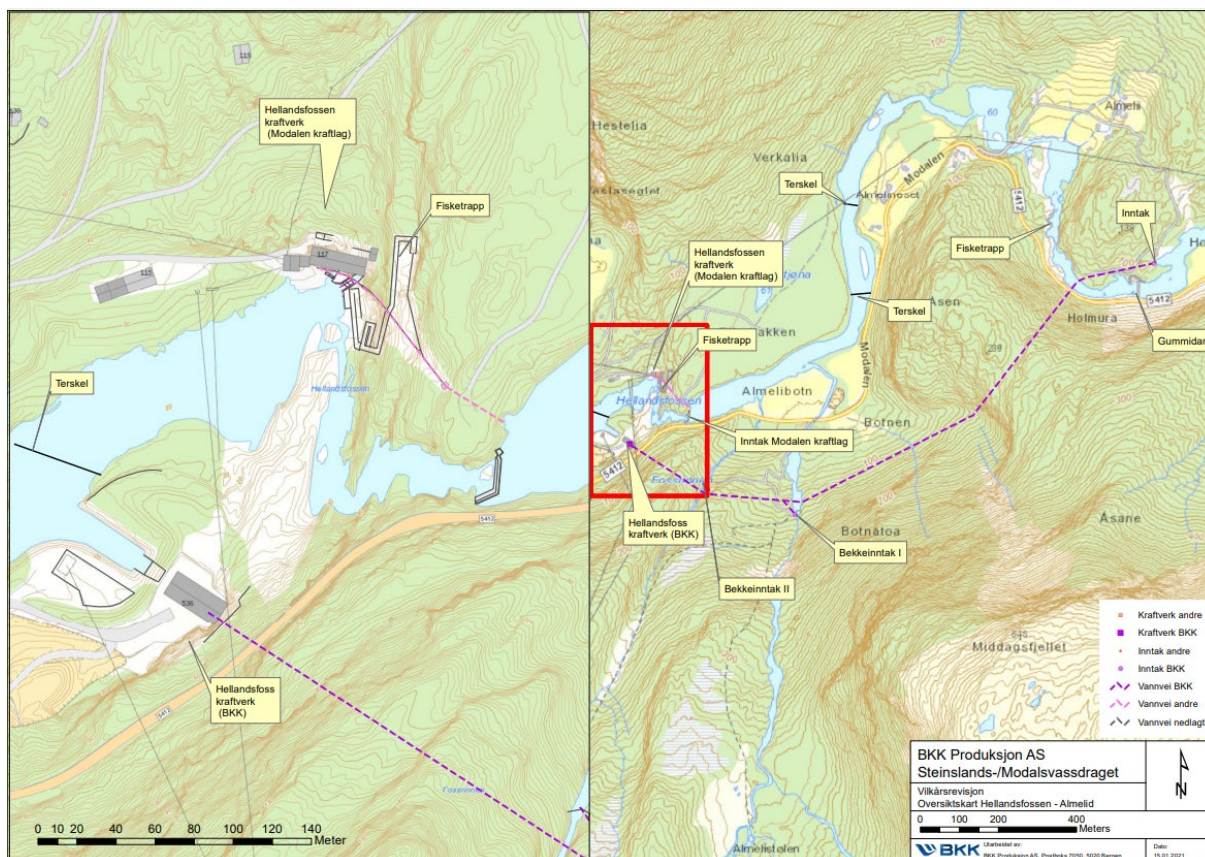


**Figur 1.** Oversikt over nedbørfelt og reguleringen av Modalsvassdraget.

Nygard pumpekraftverk ble satt i drift i 2005. Med denne utvidelsen av kraftproduksjonen i Modalen, fikk vassdraget overført magasinet Skjerjevvatnet fra Eksingedalsvassdraget. Alle reguleringsmagasin ligger ovenfor Steinsland kraftverk. Åsebotn kraftverk ligger også ovenfor Stølsvatnet og utnytter de øverste reguleringene.

Hellandsfoss kraftverk ble satt i drift i 1992. Kraftverket er det nederste i vassdraget og har inntak ved Almelid. Kraftverket er et elvekraftverk som utnytter den regulerte vannføringen gjennom Steinsland kraftverk og lokaltilsiget. Ved Almelid er det en gummiluke for å sikre stabil vannstand ved inntaket. Mellom Almelid og kraftverket er det 70 m fall. Kraftverket har en slukeevne på 50 m<sup>3</sup>/s og en installert effekt på 35 MW, og har en årsmiddelproduksjon på 151 GWh. Det er to bekkeinntak på driftstunnelen til Hellandsfoss kraftverk, kalt øvre og nedre bekkeinntak. Hellandsfossen kraftverk (Modalen kraftlag) utnytter fallet i Hellandsfossen og har inntak like oppstrøms fossen. Kraftverket har en samlet slukeevne på 11 m<sup>3</sup>/s og en installert effekt på 2,5 MW. Kraftverket ligger på nordsiden av elven, mens BKKs kraftverk ligger på sørsiden (**Figur 2**).





**Figur 2.** Oversikt over kraftverkene og fisketrappen i Hellandsfoss samt bekkeinntakene til BKK sitt kraftverk og terskler med fisketrapp på strekningen oppstrøms Hellandsfossen opp til gummidammen ved Almelid.

Det er krav om minstevannføring gjennom hele året fra inntaket ved Almelid. Fra 16. juli til 30. september slippes minimum 5,0 m<sup>3</sup>/s og fra 1. oktober til 15. april slippes minimum 2,2 m<sup>3</sup>/s. I perioden 16. april til 15. juli slippes minimum 3,0 m<sup>3</sup>/s. I tillegg til fisketrappene i Hellandsfossen og Almelidfossen, er det bygget noen terskler på strekningen mellom Almelid og Hellandsfossen.

### 3. Om lakseproduksjon og habitatforhold

Laks og sjøaure har ulike krav til habitatforhold gjennom livssyklusen. En rekke studier har i den senere tid påpekt at den romlige fordelingen av egne habitatforhold for ulike livsstadier kan ha stor effekt på vassdragets bærekapasitet for produksjon av laksesmolt. Særlig viktig anses tilgangen til gyteområder for voksen fisk og skjulforhold for ungfisk. Nedenfor er det gitt en kort beskrivelse av sammenhengen mellom gyteområder, skjul og lakseproduksjon. Det faglige grunnlaget for dette har blitt oppsummert i Aas et al. (2011), og er sammenfattet i Forseth & Harby (2013). Det henvises til disse for ytterligere informasjon og referanser.

#### 3.1 Gyteområder

Laks og sjøaure gyter ved at eggene graves porsjonsvis ned i elvegrusen i såkalte «gytegroper». Det er hunnfisken som graver ut gytegroppen, og en hunnfisk kan fordele eggene i flere groper. Områder med gyteaktivitet kan ofte ses som et lysere felt med omrørt

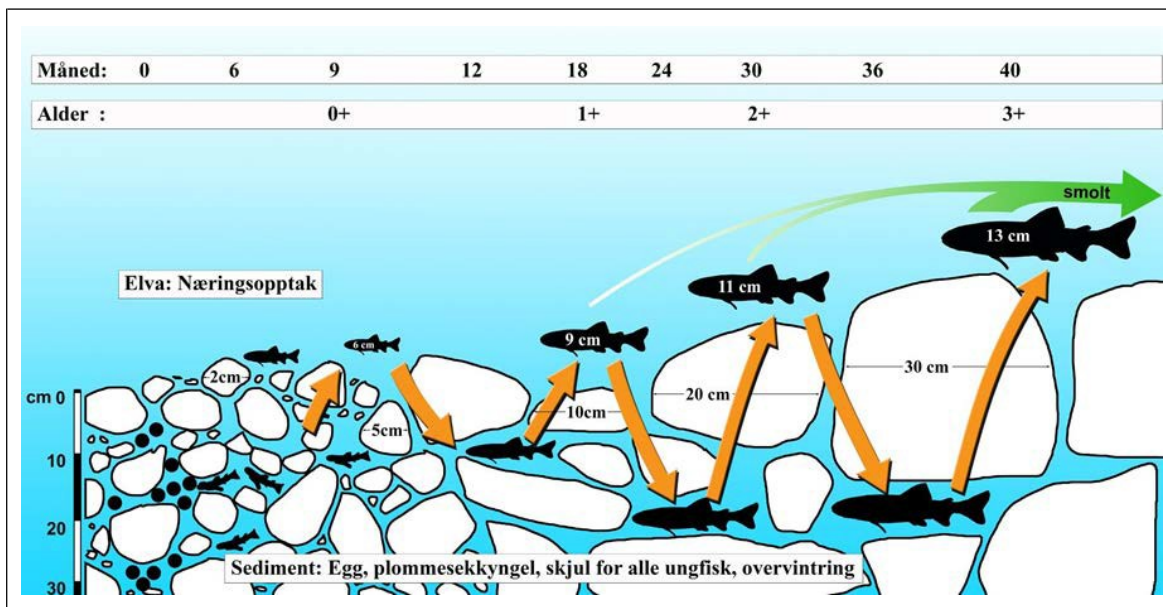
grus etter gyteperioden.

Laks og sjøaure stiller strenge krav til valg av gyteplass, der sammensetningen av bunnsstrat, vanddyb og vannhastighet synes å være de viktigste fysiske faktorene. Typisk finnes gyteområdene på forholdsvis grunne deler av elven (0,3-0,7 m, men også dypere) hvor elvebunnen består av grus og små stein, og på partier med akselererende vannhastighet (0,3-0,6 m/s). Utløpsområder («brekk») av kulper er ofte gode gyteområder. Fiskestørrelse spiller også en rolle, ettersom stor fisk gjerne benytter grovere grus og stein og større dyp enn mindre fisk. Som en følge av dette ser en også at laks ofte gyter på dypere områder og på grovere substrat enn det sjøaure gjør, men i praksis overlapper laks og sjøaure i stor grad og gyter ofte på de samme områdene. Det strenge kravet til valg av gyteplass resulterer i at det i mange tilfeller kun er et fåtall plasser i elven som har egnede forhold for gyting. Hvor slike områder finnes, vil være avhengig av både geologiske (sedimenttilførsel) og hydrauliske forhold (vannhastighet og sediment-transport) i vassdraget.

Fordeling og størrelse av gyteområder i vassdraget har stor betydning for rekruttering og produksjon av lakseunger. De første ukene etter at yngelen har brukt opp plommesekken og kommer opp av grusen for å starte næringsopptak, er ofte en flaskehals for overlevelse for laks. Yngelen etablerer tidlig territorier som forsvares aggressivt mot inntrengere. Dette resulterer i en sterk tetthetsavhengig dødelighet. Yngel som kommer tidlig opp av grusen vil ofte etablere territorier først i området i nærheten av gytegroppen. De som taper i konkurransen om territorier blir fortrent (ofte nedstrøms), og vil ha langt dårligere overlevelsesmuligheter. Dette resulterer i at fordelingen av yngelen i tidlig livsfase ofte er «klumpet» i nærheten av gyteområdene.

## 3.2 Skjulforhold for ungfisk

Etter å ha overlevd den første kritiske yngelfasen, vil overlevelse og vekst av lakseparr frem til smoltstadiet være avhengig av både næringstilgang og habitatforhold. Lakseparr foretrekker ofte grunne partier med hurtigrennende vann, men kan også finnes på sakteflytende og dypere elvepartier. I de senere årene har flere studier fremhevet viktigheten av skjulområder for å kunne hvile og å unngå predasjon, og dette har vist seg å være et viktig element for overlevelse og produksjon av ungfisk (Finstad et al. 2009, **Figur 2**). Lakseparr finner som regel skjul i hulrom mellom steiner eller i vegetasjon og andre fysiske strukturer på elvebunnen. Tilgangen til skjulmuligheter i hulrom er sterkt knyttet til kornstørrelse og sammensetningen av bunnsstratet. Det er hovedsakelig blokker og stein som gir gode skjulforhold, særlig for eldre ungfisk av laks, mens områder som er dominert av grus og sand vanligvis gir få muligheter til å skjule seg. I tillegg kan ungfisk finne skjul i tilknytning til vannvegetasjon, trær og andre strukturer i vannet.



**Figur 3.** Prinsippskisse for hvordan ulike livsstadier hos ungfisk hos laks og aure benytter bunnsubstratet (skisse utviklet av Ulrich Pulg).

### 3.3 Habitatflaskehals og begrensende faktorer

Et vassdrags potensial for lakseproduksjon påvirkes i stor grad av de fysiske habitatforholdene, og hvordan habitatressurser for ulike livsstadier er fordelt innad i vassdraget (se Einum & Nislow 2011). Vekst og overlevelse hos ungfisk vil være avhengig av bestandstetthet. Dersom antall fisk er høyere enn ressurstilgangen vil vekst og/eller overlevelse reduseres, slik at bestandsstørrelsen tilpasses bæreevnen. Vi sier da at bestanden har gått igjennom en tetthetsavhengig flaskehals. Ettersom lakseyngelen har begrenset evne (eller motivasjon) til å spre seg, vil mengden og fordeling av gytehabitat i stor grad være bestemmende for hvor mye yngel som vil rekrutteres til et område. Dersom mengden gytehabitat på et område er liten, og avstanden til nærmeste gyteområde er stor, vil mengden yngel som tilføres et område kunne bli for lavt til at områdets potensiale for ungfiskproduksjon (bæreevne) blir utnyttet. Vi sier da at tilgang til gyteområder er en begrensende ressurs, og dermed en flaskehals for fiskeproduksjonen. Hvor mange yngel som overlever frem til smoltstadiet vil på sin side være avhengig av kvaliteten på oppveksthabitatet. For lakseparr er tilgang til skjul regnet som den viktigste begrensende ressursen, og dermed habitatflaskehals for parr. En ideell lakseelv har gyteområder som er godt fordelt innad i elven og som i tillegg har god tilgang til skjulområder i nærheten av gyteplassene.



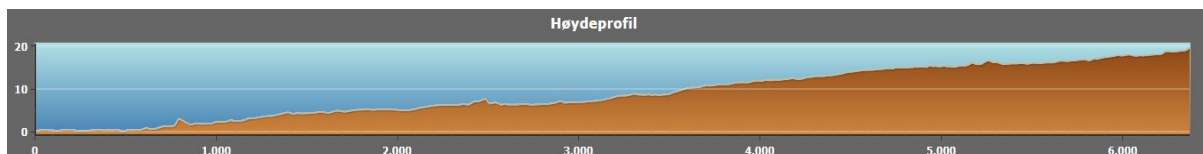
*Eksempel av dronebilde fra Modalselva ved nedre Helland som viser tydelige gyttiegroper som lysere flekker på elvebunnen. Dronefoto er et svært nyttig verktøy kombinert med fysisk kartlegging for beskrivelse av vassdrag.*

### 3.4 Gassmetning

Gassovermetning i vann kan oppstå når gass løses i vann under trykk og trykket deretter synker, samt ved raske temperaturforandringer i vannet. Overmetning kan skje naturlig i dype fossekulper, men også i vannkraftverk og i avløpsvannet ut av kraftverket. Årsak er vanligvis at luftbobler trekkes inn i fallrøret eller kraftverkstunnelen der luften løses i vannet under trykk. Underdimensjonerte bekkeinntak og delvis tilstoppete inntaksrister som trekker luft er kjente kilder for slike luftbobler (Stokkebø et al., 1986; Pulg et al., 2014). Peltonturbiner lufte vanligvis vannet godt, men en kan likevel ikke utelukke gassovermetning nedenfor. Overmetningen kan også oppstå i selve utløpskanalen dersom innpiskete luftbobler dras med i dypet der vannet står under hydrostatisk trykk (Pulg et al., 2015). Tegn på for høy gassovermetning er blakking av vann (mange små bobler) og akutt fiskedød. Gassmetningskonsentrasjoner under 120 % er vanligvis ikke synlige på vannet, men lave fisketettheter kan være en indikasjon på overmetning. Gassovermetning skader fisk ("gassblæresyke"), og verdier over 110 % kan være akutt dødelig (Heggberget et al., 1984; Jensen et al., 1986; Weitkamp, 2008). Over 120 % kan selv kort eksponeringstid (timer) være akutt dødelig. Også lavere verdier mellom 103 % og 110 % kan skade fisk og øke dødelighet, særlig i grunne habitater eller bassenger der fiskene ikke kan unngå til dypere områder for å kompensere for overmetningen. Gassovermetning kan også føre til en atferdsendring og endringer i habitatbruk siden fiskene kan kompensere overmetning ved å svømme dypere i vannsøylen. Med 1 m dyp vannsøyle kan ca. 10 % av gassovermetningen kompenseres. Har vannet 110 % metning vil en fisk på 1 m dyp oppleve ca. 100 % metning. Habitatforholdene, og særlig vanddyp, er derfor viktig for å kunne bedømme eventuelle effekter på fisk (Canadian Council of Ministers of the Environment., 1999; Beeman et al., 2006).

## 4 Habitatkartlegging

Kartleggingen ble utført 30. april 2020 med en vannføring på ca. 16,5 m<sup>3</sup>/s. Vannføringen var 13,5 m<sup>3</sup>/s i kraftverket og minstevannføringen var 3,0 m<sup>3</sup>/s i restfeltet. I tillegg kom det en ukjent mengde vann av tilsig fra innløpsbekker på vei ned kartlagt strekning. Kartleggingen omfattet en elvestrekning på i alt 5,6 km fra Hellandsfossen og ned til brakkvannsonen. Strekningen ble kartlagt med drone i tillegg, og elvearealet denne dagen basert på dronekartleggingen var 270 299 m<sup>2</sup>. Ifølge digitalisert vannflate med et FKB datasett, er elvearealet 302 444 m<sup>2</sup> og tilsvarer en tilnærmet full elveseng (Figur 5). Modalselva opp til Hellandsfossen er relativt slak med en fallgradient på 0,3 % (Figur 4).



**Figur 4.** Høydeprofil av den kartlagte strekningen i fra Hellandsfoss kraftverk og ned til utløp i fjorden ved Mo (hentet fra: hoydedata.no)



**Figur 5.** Vanndekt areal i Modalselva basert på dronekartlegging med en vannføring på 16,5 m<sup>3</sup>/s er 270 299 m<sup>2</sup> (vannflate drone) og tilsvarende er vanndekt areal 302 446 m<sup>2</sup> med et FKB datasett (vannflate FKB).

Kartleggingen ble gjennomført med utgangspunkt i metodene beskrevet i Forseth & Harby (2013). Fremgangsmåten er noe modifisert for å tilpasse forholdene i vassdraget. Arbeidet ble utført ved at to personer iført snorkleutstyr og tørrdrakt utførte observasjoner under

vann, mens en av disse personene noterte ulike habitatparametere på skjema og kart. Det ble brukt GPS for å stedfeste ulike interessepunkter, og i tillegg ble hele vassdraget fotografert med drone. Dronebilder komplimenterer den fysiske kartleggingen ved snorkling, da den gir en god oversikt i store vassdrag og bedre oppmåling av størrelsen av gyteområder enn subjektive estimater gjort på stedet.

Innenfor elvestrekninger som har forholdsvis like fysiske forhold (mesohabitatnivå) med tanke på strøm og bunnforhold, ble følgende habitatparametere registrert:

**Mesohabitat** og **elveklasser** ble kartlagt etter metode beskrevet av Borsányi et al. (2004), og ytterligere beskrevet i Forseth & Harby (2013) (**Tabell 1**). Overflaten regnes som turbulent når overflatebølgene er større enn 5 cm, helningsgrad regnes som bratt ved over 4 % helning, vannhastighet som hurtig dersom den overstiger 0,5 m/s og vanddyb over 0,7 m som dypt. Ved kartleggingen har det vært satt søkelys på å få frem de overordnede elvetyper og skiftninger i disse. Grenseverdiene for vanddyb og vannhastighet ble skjønsmessig vurdert på stedet, ettersom disse uansett vil variere mye med vannføringen. Basert på disse kriteriene ble deretter elveklassen klassifisert som glattstrøm (A+B1+B2), kulp (C), grunnområde (D), stryk (H+G1+G2) eller kvitstryk (E+F).

**Tabell 1.** Oversikt over klassifisering av mesohabitat basert på fysiske karakterer basert på Borsányi et al. (2004). Tabellen er hentet fra Forseth & Harby (2013).

Kriterier	Vannflate- struktur	Vannflate- gradient	Vannflate- hastighet	Vanddybde	Klasse
Avgjørelse	Glatt/Små riller	Bratt	Hurtig	Dyp	A
				Grunn	
			Sakte	Dyp	
		Grunn			
		Moderat	Hurtig	Dyp	B1
				Grunn	B2
	Sakte		Dyp	C	
			Grunn	D	
	Turbulent, brutt/ubrutte stående bølger	Bratt	Hurtig	Dyp	E
				Grunn	F
			Sakte	Dyp	
				Grunn	
		Moderat	Hurtig	Dyp	G1
				Grunn	G2
Sakte			Dyp		
			Grunn	H	

**Substrat** ble klassifisert innenfor hvert mesohabitatområde ved at dekningsgraden (% av overflatearealet av elvebunnen) av ulike substratkategorier ble estimert: Mudder (organisk fensediment), sand (<1 mm), grus (1-64 mm), stein (64-384 mm), blokk (> 384 mm) og fast fjell.

**Skjulforhold** for ungfisk ble målt ved å utføre skjulmålinger på utvalgte steder hvor substratforholdene var representativt for ulike substratkategorier. Dette gjøres ved å måle hvor mange ganger en 13 mm tykk plastslange kan føres inn i hulrom mellom steiner innenfor en stålramme på 0,25 m<sup>2</sup>. Størrelsen på hulrommene bestemmes ut ifra hvor langt

inn slangen kan stikkes, og deles inn i tre skjulkategorier: S1: 2-5 cm, S2: 5-10 cm og S3: >10 cm. For at skjulmålingene skal gjøres så representative som mulig med tanke på substratsammensetningen innenfor et område, foretas skjulmålinger i transekt ved at metallrammen kastes ut på «tilfeldige» punkt i elven innenfor et område med forholdsvis likt substratforhold. I hvert transekt ble det gjort målinger på minst tre punkt i elva. Vektet skjul ble deretter funnet ved å beregne gjennomsnittet av skjulmålingene for hver av de tre målingene etter følgende sammenheng:

$$S = S1 + S2 * 2 + S3 * 3$$

Med utgangspunkt i verdiene for vektet skjul klassifiseres skjulforholdene som svært lite (< 1), lite (1-5), middels (5-10), mye (10-15) og svært mye (>15). Det ble ikke vurdert som hensiktsmessig å utføre skjulmålinger innenfor alle mesohabitatområdene. I stedet ble skjulmålinger utført på utvalgte lokaliteter med representativt substrat. Innenfor hvert mesohabitatområde ble deretter skjulforhold klassifisert basert på en vurdering av de rådende substratforholdene på området og resultater fra skjulmålinger på område med tilsvarende substrat, samt en vurdering av skjultilgang i form av trær, vegetasjon og andre strukturer som kan gi skjul for ungfisk.



*Skjulforhold for ungfisk måles ved å kvantifisere antall og størrelse på hulrom i elvebunnen med en plastslange (substrat-o-meter) innenfor en rute på 0,25 m<sup>2</sup>. Slangen er markert med røde markører som brukes til å måle størrelsen (dybde) av hulrommene. Eksempel på skjulmålinger i substrat med mye fin grus og sand hvor det ikke finnes hulrom, og dermed svært lite skjul (t.v.), og i substrat med stein/blokk som gir mye skjul (t.h.).*

**Gyteområder** – ble kartlagt basert både på undervannsobservasjoner av bunnforholdene ved snorkling, og erfaringsmessig kjennskap til laksens krav til gytehabitat. De viktigste kriteriene vil være substratforhold, vannhastighet og vanddyp. Områder som tidligere har vært benyttet til gyting vil ofte kunne ses ved at substratet er lysere og annerledes enn substratet rundt. I mange tilfeller kan en også se rester av gytegroper som en «dyneform» på elvebunnen.

Gyteforholdene klassifiseres ut fra hvor stor andel av det totale elvearealet som er

tilgjengelig for gyting, samt hvor stor avstand det er mellom gyteområdene. Arealene beregnes ut fra ArcGIS, basert på inntegninger fra skisser under kartlegging og avmerking fra GPS. Arealene er derfor ikke basert på direkte oppmåling, og må derfor ses på som tilnærmete størrelser og ikke eksakte arealer. Mengden gytehabitat klassifiseres som lite dersom det utgjør <1 % av det totale elvearealet på strekningen, moderat ved 1-10 % og mye dersom mer enn 10 % av det totale elvearealet er tilgjengelig for gyting. Avstanden mellom gyteområder anses som stor ved over 500 m avstand, moderat ved 200-500 m og liten ved avstander kortere enn 200 m (**Tabell 2**).

**Tabell 2.** System for klassifisering av gytehabitat basert på gytearealenes størrelse (innenfor hvert segment) og spredning (gjennomsnittlig avstand mellom gytehabitat, på tvers av segmenter). Grenseverdiene for lite, moderat og mye gytehabitat er foreløpige, og kan bli justert når det foreligger flere erfaringstall fra norske vassdrag. Fra Forseth & Harby (2013).

		Mengde av gytehabitat som % av elveareal		
		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

**Vurdering av fysisk habitat** - Basert på kartleggingen av skjul og gyteområder, har vi gjort en vurdering av antatte produksjonsforhold i vassdraget, og hvorvidt gyteområder og skjul er begrensende faktorer og flaskehals for produksjon av fisk. Vurderingen er gjort med utgangspunkt i klassifiseringssystemet fra «håndboka» og er gjengitt i **Tabell 3**.

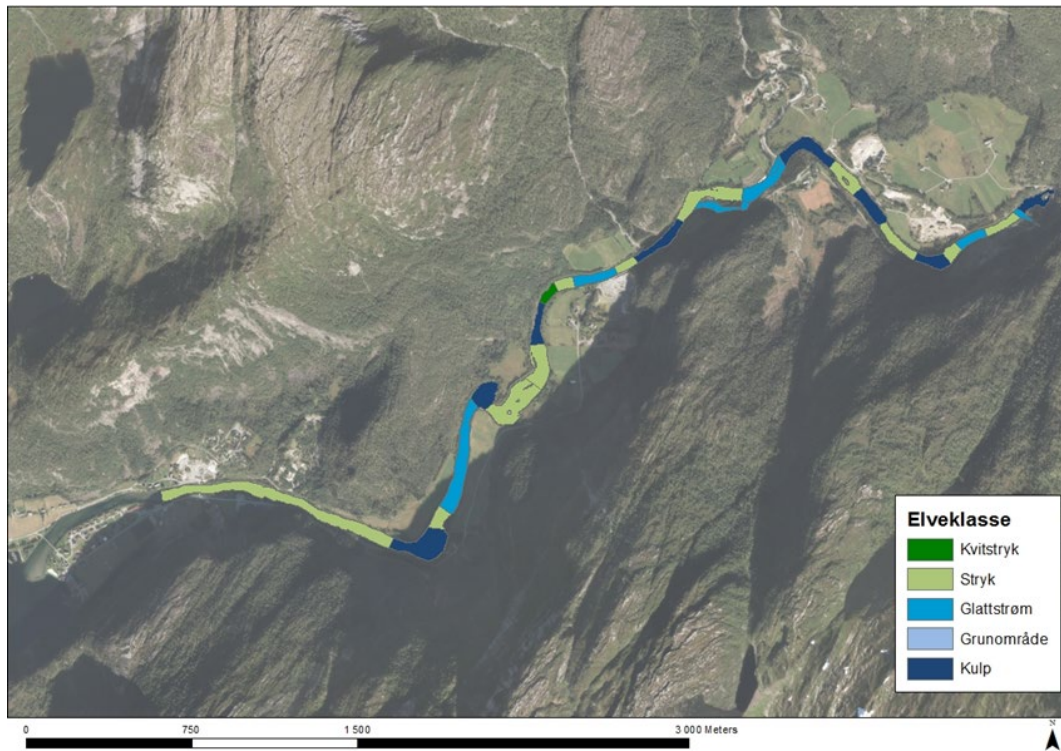
**Tabell 3.** System for klassifisering av habitatflaskehals og antatt produksjonspotensial i forhold til tilgang til gyteområder og skjul. Antatt produktivitet er angitt i parentes. Fra Forseth & Harby (2013).

		Gytehabitat		
		Lite	Moderat	Mye
Skjul	Lite	Begge (lav)	Skjul (lav)	Skjul (moderat)
	Moderat	Gyte (lav)	Begge (moderat)	Skjul (høy)
	Mye	Gyte (moderat)	Gyte (høy)	Ingen (høy)

## 4.1 Elveklasser

Den kartlagte strekningen (5,6 km) fra Hellandsfossen til blandsonen (like nedstrøms broen hvor Modalsvegen krysser elven) er dominert av stryk (49 % av totalarealet). Kvitstryk utgjør imidlertid kun 1 % av det totale arealet. Den andre halvdelen er fordelt på sakteflytende områder som kulp (29 %) og glattstrøm (21 %) (**Bilde 1**). En oversikt over sammensetningen av elveklasser i Modalselva er vist i **Figur 6**.





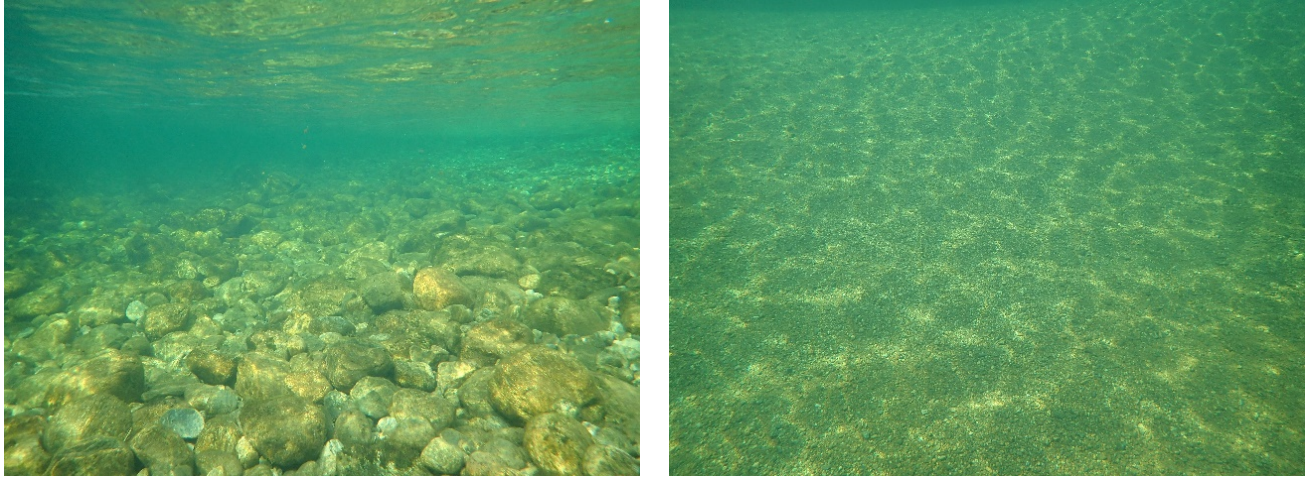
**Figur 6.** Elveklasser registrert under kartleggingen i april 2020 i Modalselva.



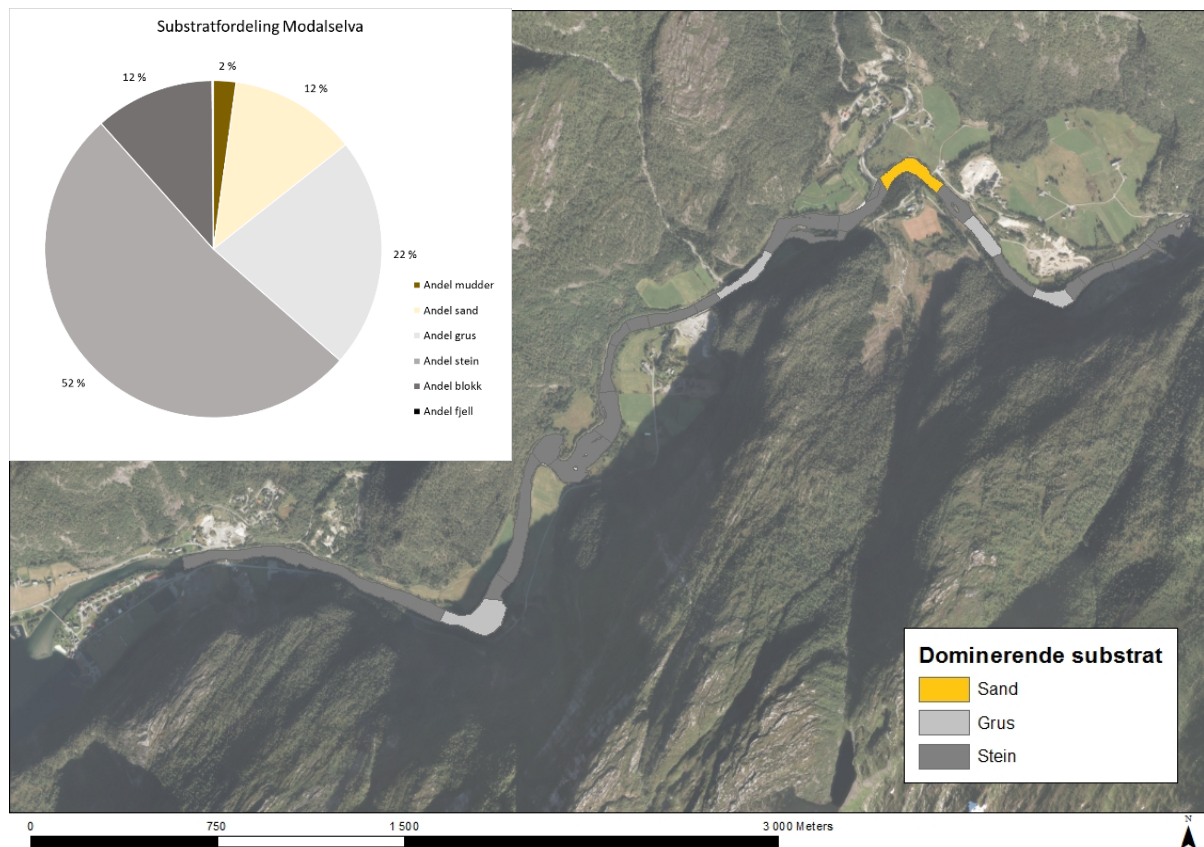
**Bilde 1.** Eksempelbilder av elveklasser i Modalselva. Øverst: Kulp like ved Nedre Helland (venstre) og strykparti noen hundre meter nedstrøms Hellandsfossen (høyre). Nederst: Glattstrøm i nedre halvdel av Modalselva (venstre) og stryk fra nederste partiet av elven mot utløp til sjø (høyre).

## 4.2 Substrat

Sammensetningen av bunnsbstratet i Modalselva er vist i **Figur 7**. Substratet på elvestrekningen er dominert av stein (52 % dekningsgrad av totalt areal) og grus (22 %) (**Bilde 2**). Blokk og sand utgjør 12 % hver mens det finnes nesten ingen mudder (2 %) og grunnfjell (<1 %).



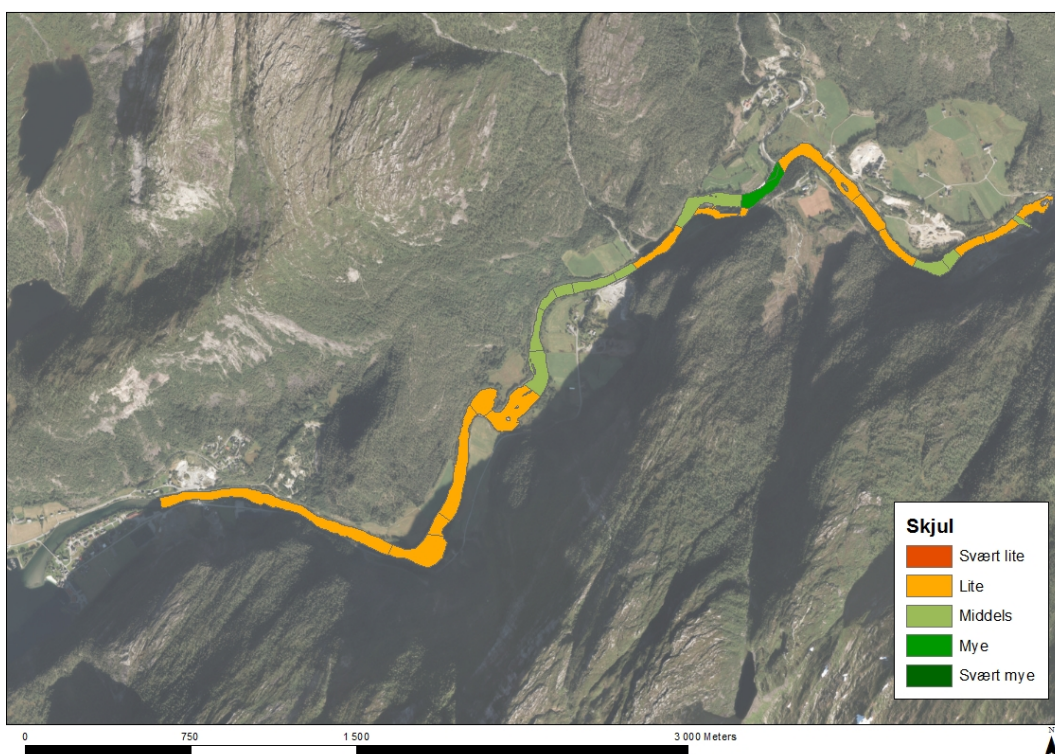
**Bilde 2.** Eksempelbilder av substrat i Modalselva. Venstre: Skjulrik rullestein og blokk ved utløpet av sidebekken Budalselva. Høyre: Sand og fingrus i kulpen ved Nedre Helland.



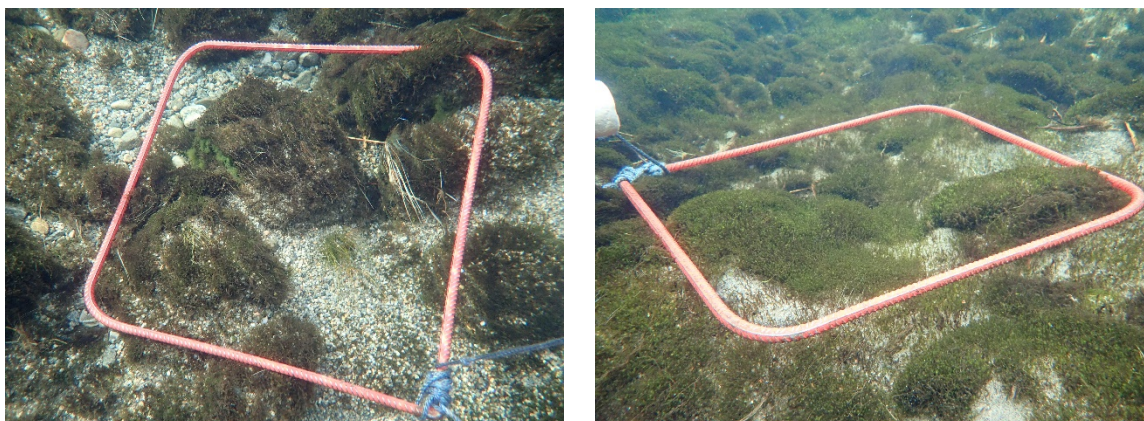
**Figur 7.** Dominerende bunnsbstrat registrert under kartleggingen i april 2020 i Modalselva. Paien viser substratfordelingen for hele den kartlagte strekningen med dominerende og subdominerende bunnsbstrat.

## 4.3 Skjultilgang

Resultatene fra skjulmålingene er vist i **Figur 8**, og viser at 71 % av elvearealet i fra sjøen og opp til Hellandsfossen har lite skjul for ungfisk, mens 24 % av elvearealet har middels skjul. Kun 5 % av det totale kartlagte arealet har mye skjul. Den gjennomsnittlige skjulverdien for hele den kartlagte strekningen er 4,4 (tilsvarer skjulkategori: Lite). Den kartlagte strekningen er relativt slak, og det er naturlig med lite skjul tilgjengelig for ungfisk med en slik slak fallgradient i elver. I Modalselva finnes imidlertid en rekke større områder i elva som er brattere (f.eks. i strykområdene) og hvor skjultilgangen er forventet å være høyere enn det vi registrerte. Grunnen til dette er at det finnes liten eller ingen skjultilgang som følge av finsedimenter og begroing i disse områdene (**Bilde 3**).



**Figur 8.** Skjulforhold kartlagt april 2020 i Modalselva.



**Bilde 3.** Eksempelbilder av mangel på skjul i Modalselva som følge av sand og begroing i form av tykk mosematte (teppemose).

## 4.4 Gyteområder

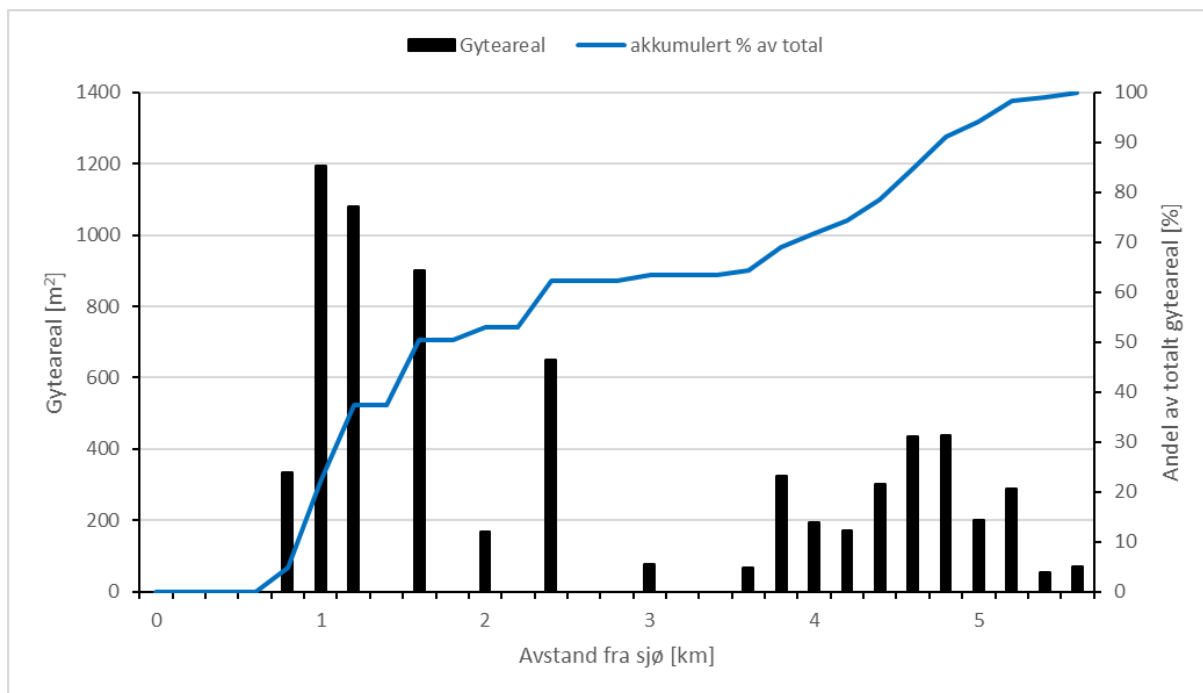
En oversikt over observerte gyteområder ved kartleggingen i 2020 er vist i **Figur 9** og **Figur 10**. Totalt registrert mengde gyteareal for den kartlagte strekningen på 5,6 km, er ca. 5 700 m<sup>2</sup>. Ut ifra **Tabell 2** er gytearealet klassifisert som moderat andel (2,3 %) i forhold til totalt elveareal (302 444 m<sup>2</sup>). Det ligger store gyteområder ved nedre Helland og i områder ca. 1,6 – 2,5 km fra utløpet som anses som svært viktige. I tillegg ligger det flere flekkvise gyteplasser i elva som ikke er vist på figuren og som ikke er en del av arealberegningene. Fordelingen av de ulike gyteområdene med hensyn til avstand fra sjø vises i **Figur 11**.



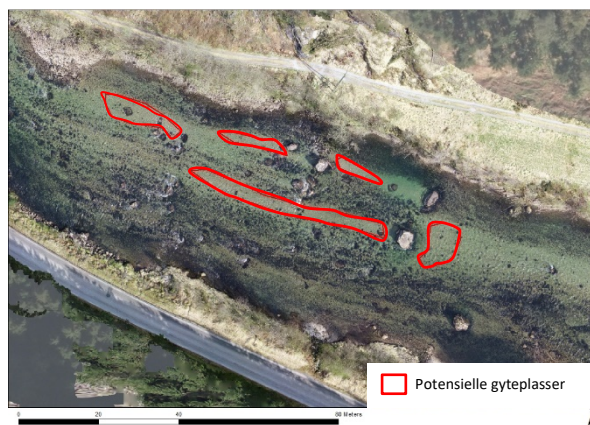
**Figur 9.** Oversiktskart over observerte potensielle gyteområder i øvre del av kartlagt strekning av Modalselva.



**Figur 10.** Oversiktskart over observerte potensielle gyteområder i nedre del av kartlagt strekning av Modalselva.



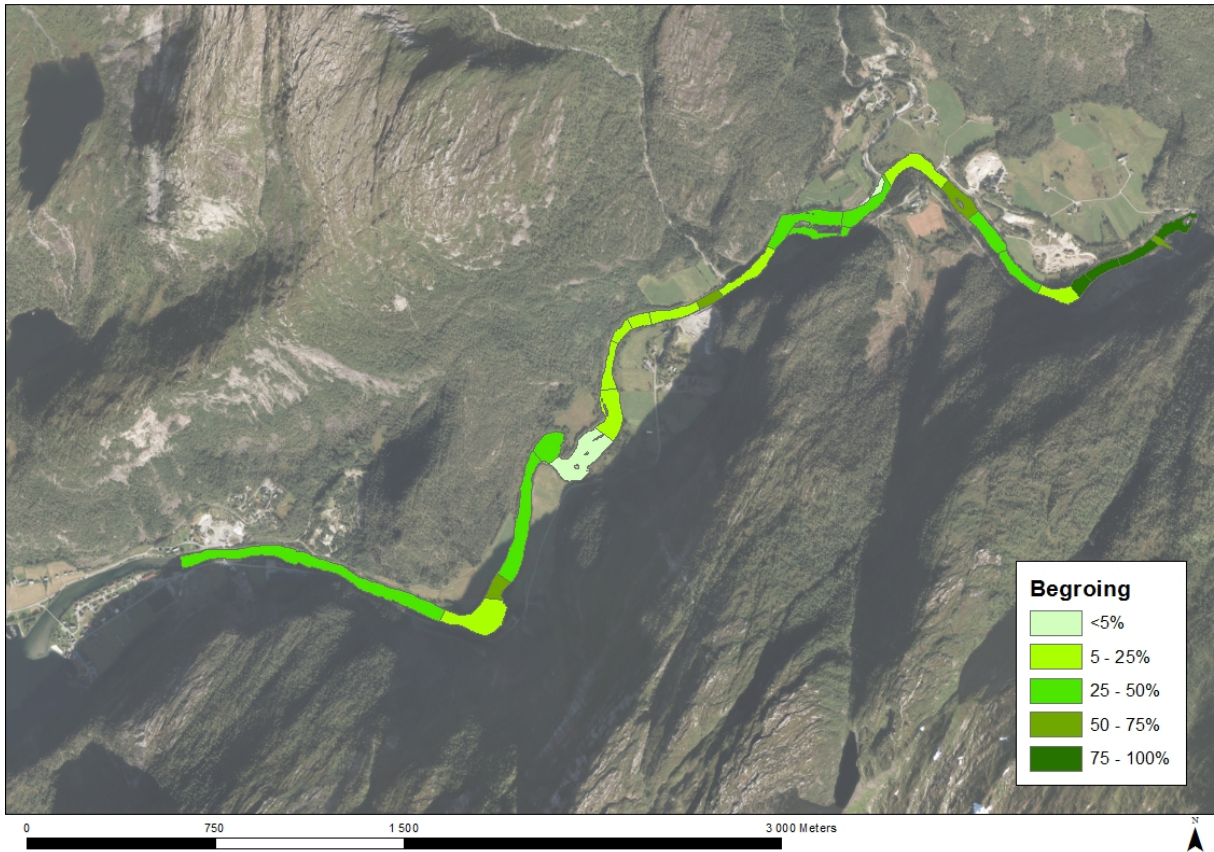
**Figur 11.** Fordeling av gyteområder delt inn i 200 m strekninger i Modalselva registrert ved kartleggingen i april 2020.



Potensielle gyteområder i Modalselva sett under vann ved snorking og fra luften ved droneflyving (innenfor røde linjer).

## 4.5 Begroing

Det er relativt mye vannvegetasjon i form av moser i Modalselva og i 61 % av kartlagt strekning har begroingen en dekningsgrad som er 25 % eller høyere (**Figur 12**). Den gjennomsnittlige begroingsgraden over hele den kartlagte strekningen er 33 %. Stedvis er moselaget så tykt at det dekker alt av hulrom i elvebunnen.



**Figur 12.** Begroing i Modalselva angitt som dekningsgrad i prosent (%).



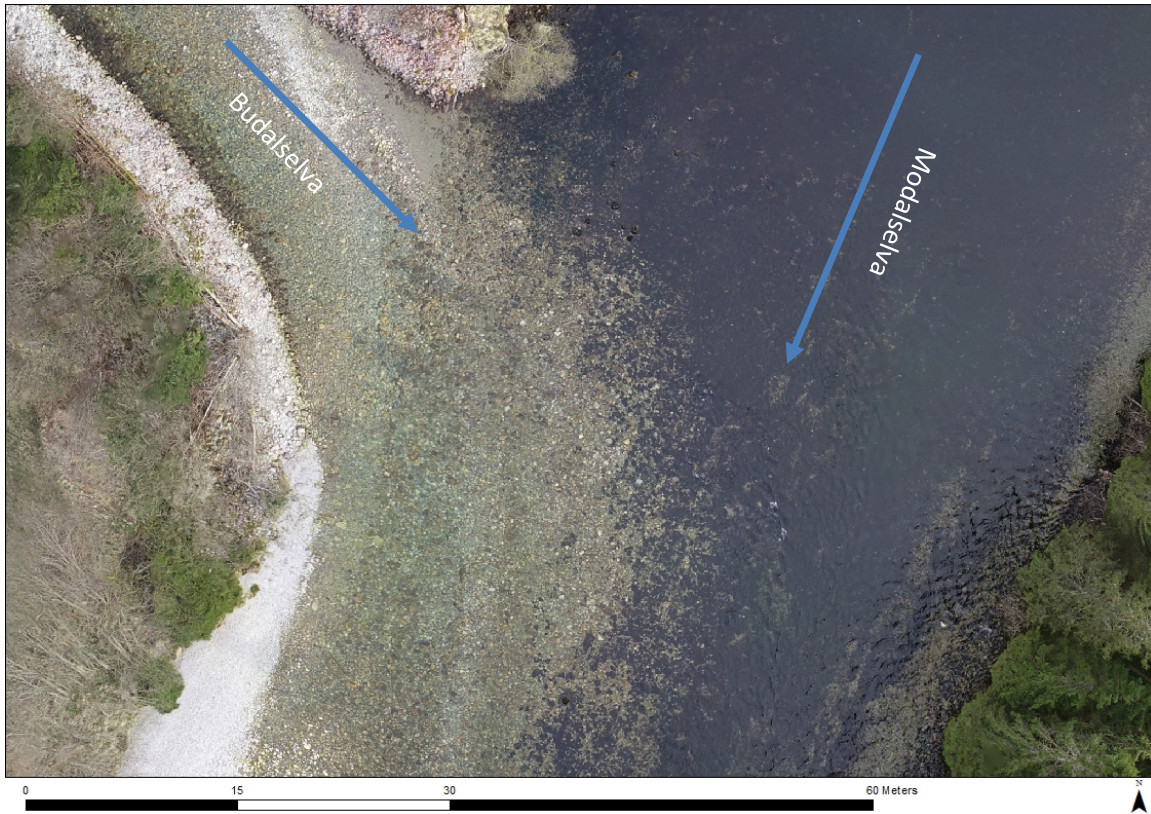
Tykk begroing i Modalselva sett fra over vann langs elvebredden og under vann ved snorkling i dyprenne.

## 4.6 Vurdering av gyte- og oppvekstforhold i Modalselva

Den kartlagte strekningen i Modalselva har generelt lite skjul i elvebunnen. Det finnes også lite skjul selv i områder med vannføringsforhold som ellers ville gitt forventning om mye skjul. Dette skyldes både en stor andel finsedimenter i elvebunn, samt begroing med tette matter av mose. Tilstedeværelse av stor andel mose i strykene indikerer mangel på sedimentdynamikk i elven. Også at det finnes finsedimenter innimellom steiner og blokker selv på steder med relativt høy lokal gradient tilsier at det er mangel på sedimentdynamikk i vassdraget. Generelt forventer man at flommer beveger substratet og at finmasser blir spylt ut slik at substratet renses. Dette ser ikke ut til å skje ved flere lokasjoner i Modalselva og elvebunnen, særlig i områder med grovt substrat, er tilsynelatende stabil. Unntaket er to lokasjoner hvor det kommer inn sidebekker (Budalselva og bekken som kommer ned fra Botnane). Ved utløpet av disse ser elvebunnen annerledes ut ved at den består av grovt substrat uten begroing og hulrommene er ikke fylt igjen av finsedimenter.



Budalselva (venstre) og bekken som kommer ned fra Botnane (høyre) har grovt substrat som følge av høy gradient, og har svært lite eller ingen begroing. Elvebunnen i Modalselva like ved- og nedstrøms for samløpet med disse ser også tilnærmet lik ut.



Modalselva ved samløpet med Budalselva. Legg merke til forskjellen i begroing av elvebunnen.

En del av finsedimentene som ble observert i Modalselva stammer sannsynligvis fra sandtakene ved Nedre Helland (**Bilde 4**). Dette er trolig av nyere dato, siden dette ikke har blitt påpekt ved tidligere undersøkelser. Ved sandtaket nede ved broen renner det en bekk som førte med seg mye finsedimenter som blant annet så ut til å legge seg i kulpen like nedstrøms (**Bilde 5**).



**Bilde 4.** Fra sidebekken nær sandtaket ved Nedre Helland, var det utlipp av finsedimenter.





**Bilde 5.** En del av sanden fra sidebekken så ut til å legge seg i en stor haug i kulpen nedstrøms og blir trolig fraktet videre nedstrøms.

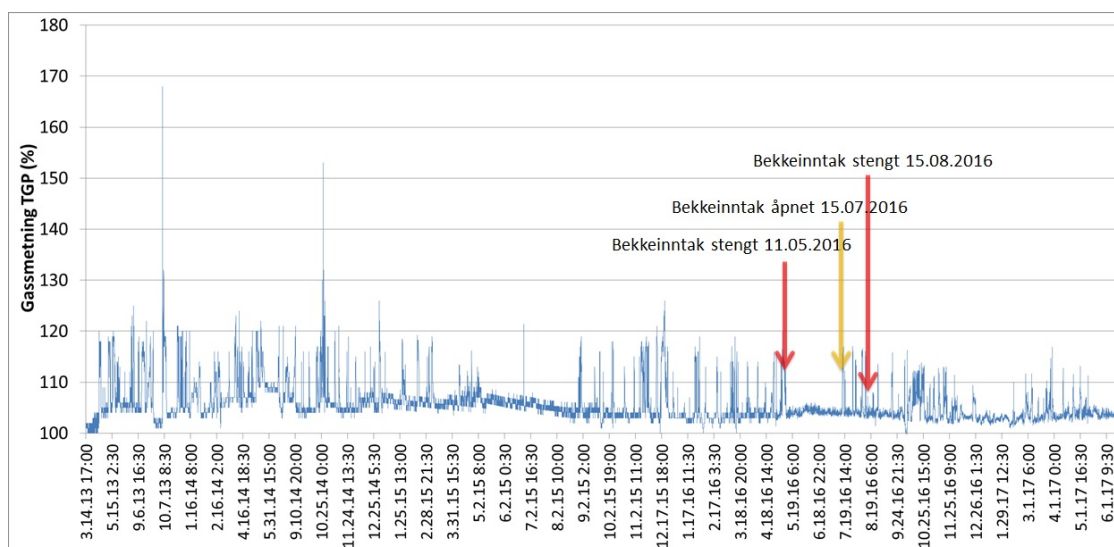
Omtrent 2-3 % av det totale elvearealet består av gyteområder. Dette tilsvarer som tidligere nevnt en «moderat» mengde gyteområder ut ifra veilederen i **Tabell 2**. Gyte plassene er forholdsvis godt fordelt i hele elvens lengde, og avstanden mellom dem tilsier også at det er moderat med gyte plasser på den kartlagte strekningen i Modalselva.

Basert på dette er det trolig mangel på skjul som er den begrensende faktoren for fiskeproduksjonen i Modalselva nedstrøms Hellandsfossen.

## 5 Overvåking av gassmetning

Logging av gassmetning ved Hellandsfoss kraftverk har pågått siden 14. mars 2013 og pågår fortsatt. Loggingen blir gjennomført ved bruk av robuste feltloggere som er tilkoblet internett (GSM modem) og strømnettet (230 V). Målemetoden er basert på et «Weiss-Saturometer» i sonden, og det som registreres er metning av alle gasser i vannet (Total Gass Pressure, TDG) relativt til atmosfærisk lufttrykk. Verdien gjenspeiler derfor gassmetningen som vannet ville hatt ved vannoverflaten selv om det er målt i varierende dyp (10-200 cm). Det ble lagret halvtimes-verdier av gassmetningen under hele perioden. Gassmetningen er gjengitt i prosent, der 100 % tilsvarer normal gassmetningsgrad. Lavere verdier betyr at vannet er undermettet med gasser, mens høyere verdier betyr at vannet er overmettet. Målerens nøyaktighet er på  $\pm 10$  hPa noe som tilsvarer ca.  $\pm 1$  % TDG. Ifølge kanadiske retningslinjer anbefales maksimalt 110 % TDG gassmetning i vassdrag som er dypere enn 1 m. I grunnere omgivelser og i klekkerier anbefales 103 % TDG som grenseverdi. Produksjonsdata fra Hellandsfoss kraftverk er levert av BKK.

Det er tidligere dokumentert høy gassmetning grunnet driften av kraftverket og i tidligere analyse gjennomført med kraftverkseier (BKK), ble bekkeinntakene utpekt som en viktig årsak til luftinndrag. Gassmetning forekom særlig etter at kraftverket hadde stått stille en stund og var fylt opp av vann fra bekkeinntakene, typisk i vårløslingen og under flommer (**Figur 13**).



**Figur 13.** Tidsserie av gassmetning ved Hellandsfossen fra mars 2013 frem til august 2017. De røde pilene indikerer tidspunkt for stenging av bekkeinntak, og den guloransje tidspunkt for åpning av bekkeinntakene. Det nedre bekkeinntaket ble stengt i forkant (22.04.2016) av den første røde pilen, og pilene viser tidspunkt for periodene hvor begge inntakene har vært stengt og åpnet samtidig.

En oppsummerende sammenstilling av gasdata fra hele overvåkingsperioden mellom 14.03.2013 – 15.05.2020 er gitt i **Tabell 4**.

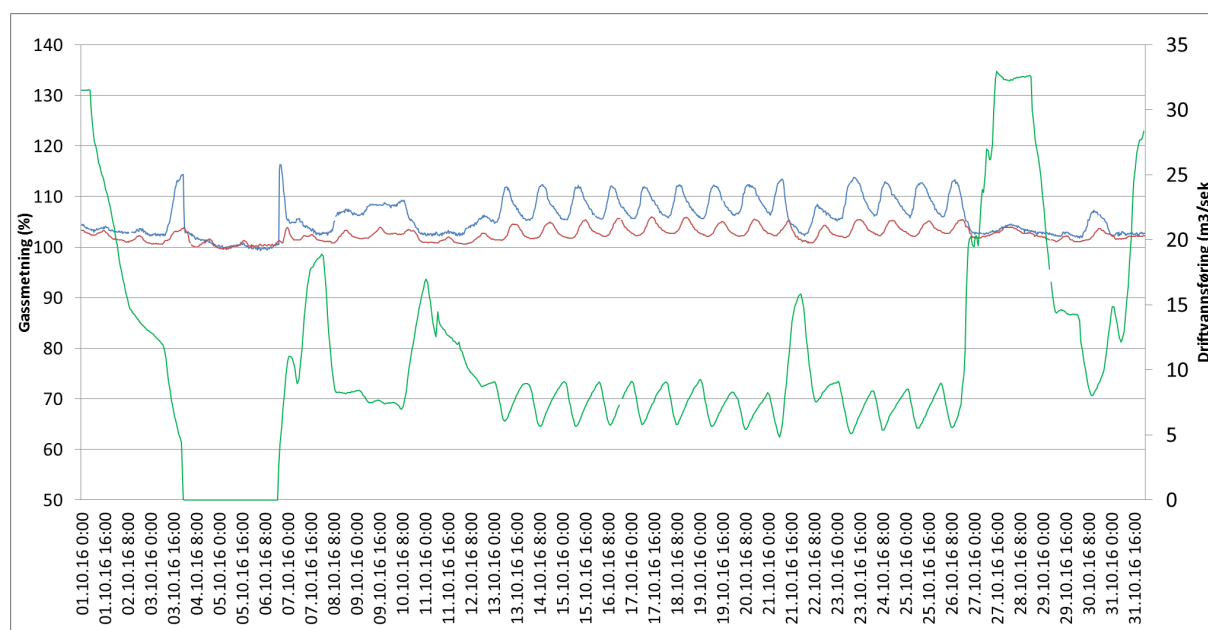
**Tabell 4.** Oversikt over gassmetningsverdiene i Modalselva fra mars 2013 frem til midten av august 2017. Tabellen viser persentiler (50, 75 og 95), antall gassmetningstopper med mer enn én times varighet over 110 % TDG og prosentandelen tid av det respektive årets overvåkingsperiode hvor det var over 110 % gassovermetning.

	2013 (fra 14. mars)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 (til 15. mai)
Min	100	101	97	99	100	99	99	99
Maks	168	153	126	120	119	122	121	118
Gjennomsnitt	107	105	105	105	103	105	103	103
x50	105	106	105	104	103	105	103	103
x75	108	108	106	104	104	106	104	103
x95	118	115	111	109	106	108	108	105
Antall topper over 110 % TDG	37	48	28	41	16	31	20	10
% tid over 110 % TDG	22 %	17 %	7 %	6 %	1 %	2 %	3 %	2 %

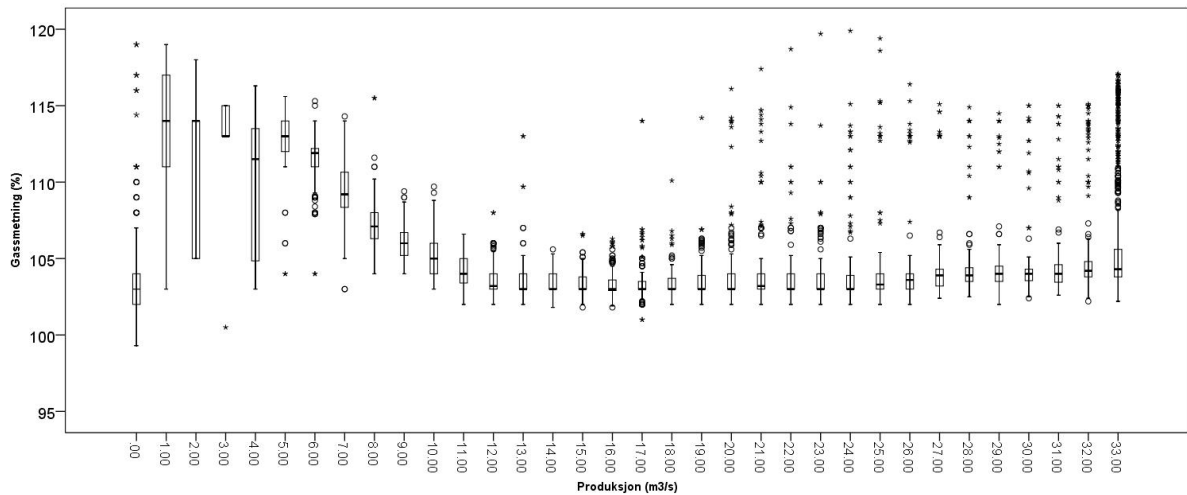
Som et tiltak for å forsøke å redusere gassmetningen i elven har BKK stengt bekkeinntakene i flere omganger siden 2014:

Øvre bekkeinntak		Nedre bekkeinntak	
stengt	åpnet	stengt	åpnet
22.08.2014	29.09.2014		
27.10.2014	30.10.2014	27.10.2014	31.10.2014
25.09.2015	29.10.2015		
11.05.2016	15.07.2016	22.04.2016	15.07.2016
15.08.2016	16.03.2020	15.08.2016	16.03.2020

Imidlertid har det vist seg at det også etter at bekkeinntaket ble stengt, har forekommet gassmetning i Modalselven (**Figur 14**). Bekkeinntakene kan derfor ikke forklare all den observerte metningen. Analyser av data etter stenging av bekkeinntakene har vist at regulær lufting av francisturbinen i Hellandsfoss kraftverk ved lave driftsvannføringer førte til metning på omtrent 112 – 117 % TDG (**Figur 15**). Dette var første gang man påviste at lufting av Francisturbin kan føre til gassmetning (Pulg m.fl., 2018).

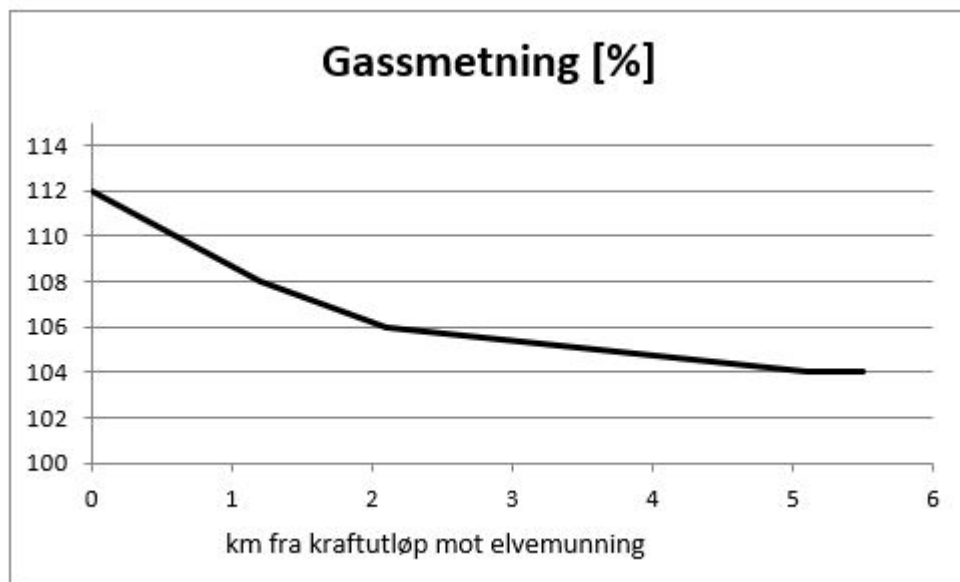


**Figur 14.** Gassmetning (TDG) i prosent ved utløpet av Hellandsfoss kraftverk (blå linje) og ved Modalen bru (rød linje), plottet sammen med driftsvannføring ( $m^3/sek$ ) i Hellandsfoss kraftverk (grønn linje). Perioden er med stengte bekkeinntak. Merk forholdet mellom gassmetning og driftsvannføring; ved driftsstans er gassmetningen 100 %, gassmetningen tenderer til å være høy (>110 %) ved lave driftsvannføringer (ca. 1 - 6  $m^3/sek$ ) og synker ned igjen ved høyere driftsvannføringer.



**Figur 15.** Boxplot som viser gassmetning (%) ved forskjellige driftsvannføringer ( $\text{m}^3/\text{sek}$ ). Legg merke til at median gassmetning er over 110 % ved driftsvannføringer mellom 1-6  $\text{m}^3/\text{sek}$ .

Det er bevist at metningen har vært målbar i hele elven nedenfor kraftverksutløpet. Ved en metningshendelse 08. juli 2013, var metningen målbar i hele elven nedenfor kraftverksutløpet (**Figur 16**). Metningen ble redusert med ca. 66 % på vei til sjøen (5,6 km).

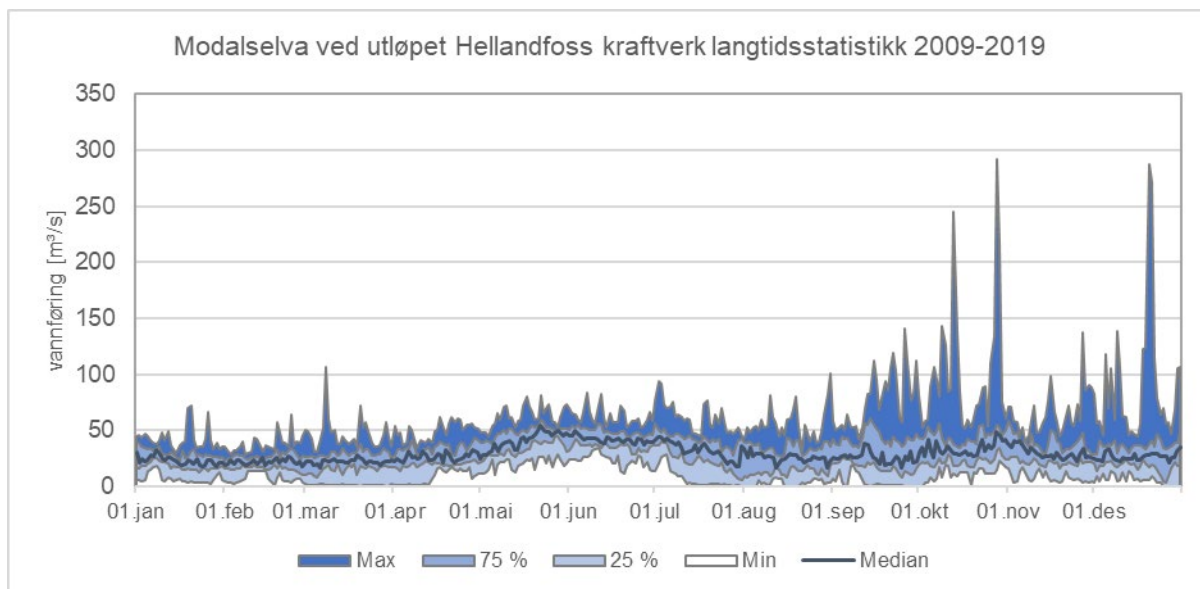
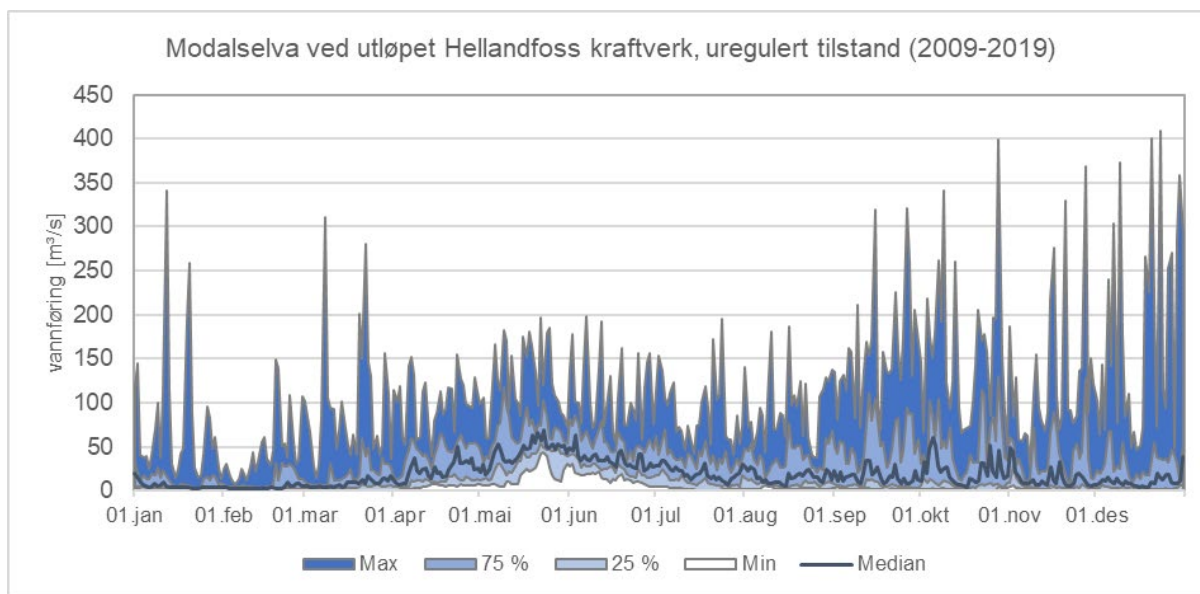


**Figur 16.** Håndmåling 8. juli 2013 nedover elven viste verdier mellom 112 og 104 %.

## 6 Drift av Hellandsfoss kraftverk og vannføringsforhold i hovedløpet nedstrøms.

Driften av Hellandsfoss kraftverk påvirker vannføringsforholdene på strekningen mellom inntak og utløp av kraftverket og nedstrøms kraftverket ned til utløpet av hovedelva ved Mo. I det påfølgende omtales vannføringsforholdene nedstrøms kraftverket. Vannføringsforhold på strekningen mellom inntak og utløp av kraftverket blir beskrevet i egen rapport (Gabrielsen et al. pågående rapport). Hovedinntaket til kraftverket er ved Almelid som ligger ca. 2,3 km

oppstrøms utløpet av kraftverket. Strekingen fra utløpet av kraftverket og ned til utløpet av Modalselva i sjøen ved Mo er 6,3 km lang inkludert en brakkvannssone på 700 m. Denne strekingen blir heretter omtalt som hovedløpet. Reguleringen av vassdraget påvirker vannføringsforholdene i hele elven, mens driften av Hellandsfoss kraftverk påvirker vannføringsforholdene nedstrøms kraftverket ved unormale hurtige endringer. Reguleringen har ført til mindre variasjon, reduserte flomtopper og generelt høyere median vannføring i hovedløpet. De høye flomtoppene og endringene i vannføringen om våren og høsten er dempet (**Figur 17**).



**Figur 17.** Vannføringsforhold for uregulert (øverst) og regulert (nederst). Figurene viser maksimum, 75 % og 25 % persentil, minimum og median vannføring for perioden 2009-2019. Figurene er hentet fra Andersen og Kirkhorn 2020 (BKK notat).

BKK har montert en egen vannstandslogger (Nedre Helland) som har logget vannstanden siden 2015. I perioden 2015-2020 har kraftverket hatt 23 ikke planlagte stans der vannføringen reduseres svært raskt (**Tabell 5**). Det er i denne perioden registrert episoder der

vannstanden reduseres med over 20 cm/t ved flere anledninger og den raskeste reduksjonen er 44 cm i timen (**Tabell 6**).

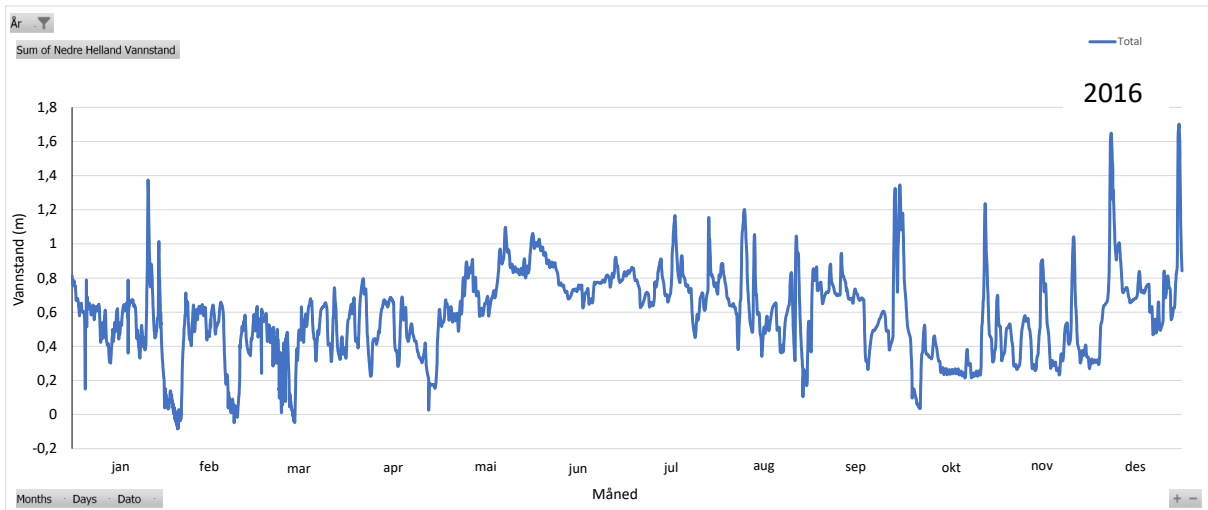
**Tabell 5.** Oversikt over planlagte og ikke planlagte stans i Hellandsfoss kraftverk i perioden 2015-2020. Tabellen er hentet fra Andersen og Kirkhorn 2020 (BKK notat).

År	Drifts-timer	Planlagt stans		Ikke planlagt stans		Prosent av tid med stans	Merknad
		[antall]	[timer]	[antall]	[timer]		
2015	8562	6	94	8	142	1,6 %	Opprinnelig vannføring nedstrøms kraftverket gjenopprettes alltid innen 2-3 timer da vannet renner i opprinnelig elveløp om kraftverket ikke startes innen denne tiden.
2016	8292	18	505	4	167	1,9 %	
2017	8728	6	88	1	1	0.0 %	
2018	7680	22	1265	3	32	0.4 %	
2019	6268	13	2152	5	341	3,9 %	Lav produksjon pga. arbeid med kraftledningen Modalen-Mongstad og arbeid på inntaksluke i Stølsvatnet
2020	5392	7	144	2	7	0,1 %	Til og med 20.august

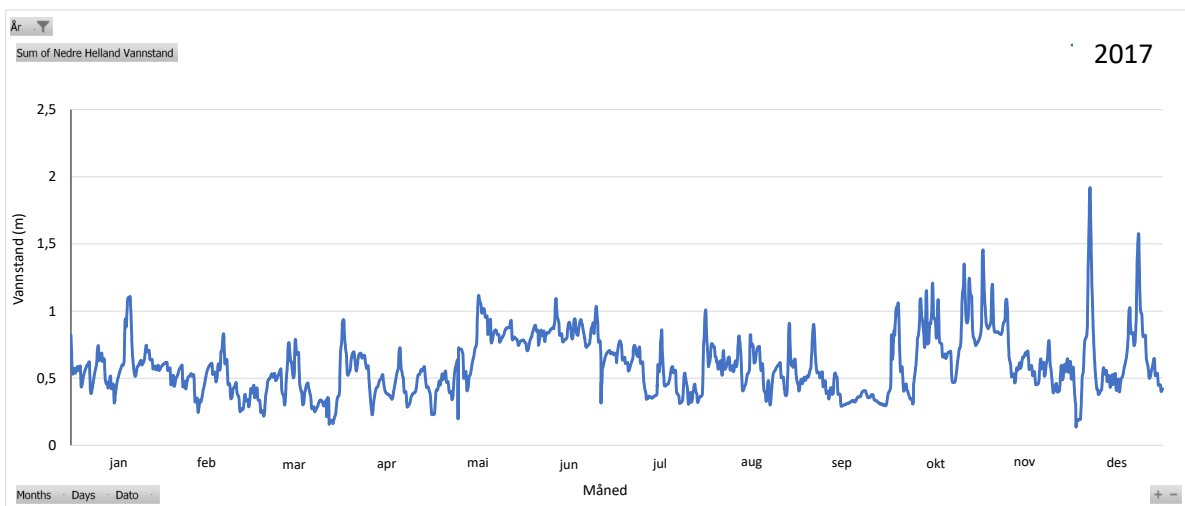
**Tabell 6.** Oversikt over episoder med vannstandsreduksjoner som har forekommet i hovedløpet i perioden 2016 - 2019. For hver episode er det angitt dato og klokkeslett, vannstand ved Nedre Helland ved start og slutt ved ikke planlagt stans i kraftstasjonen, antall timer for stans (basert på timesverdier), vannstandsending i elv fra start til slutt og hurtigste senkningshastighet per time i løpet av hendelsen.

Dato klokkeslett	Vannstand		Antall timer	Vannstands- ending (cm)	Hurtigste senknings- hastighet (cm/t)
	Start	Slutt			
05.01.2016 06:00	0.48	0.15	2	-33	-20
19.01.2016 11:00	0.79	0.36	1	-43	-43
11.03.2016 06:00	0.30	0.08	3	-22	-13
27.04.2016 13:00	0.20	0.03	1	-17	-17
28.08.2016 22:00	0.27	0.11	1	-16	-16
10.05.2017 08:00	0.64	0.20	1	-44	-44
27.06.2017 03:00	0.68	0.32	2	-36	-26
11.01.2018 07:00	0.49	0.34	1	-15	-15
29.06.2018 13:00	0.43	0.19	1	-24	-24

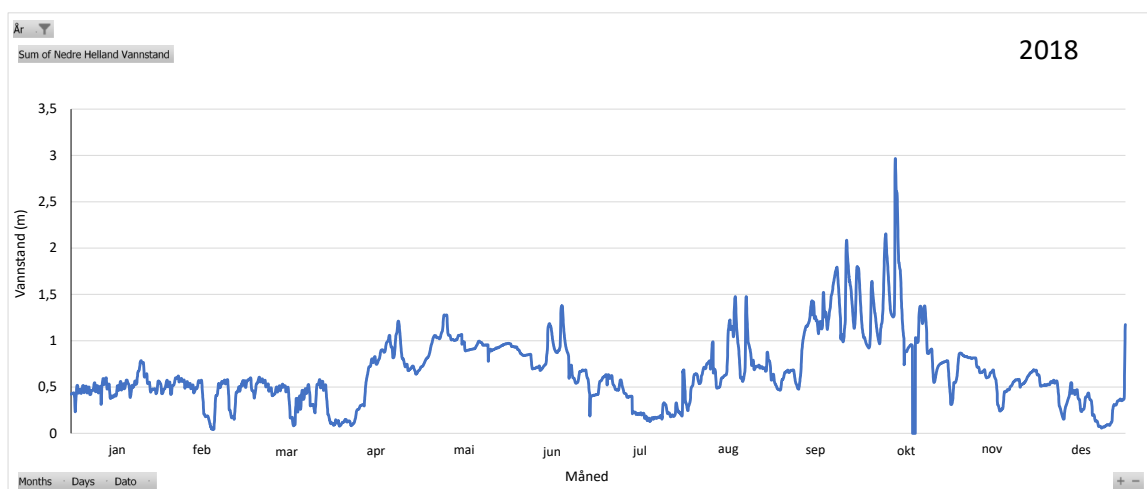
Analyse av den generelle driften av Hellandsfoss kraftverk, viser at det forekommer hurtige vannføringsendringer i hovedløpet som en følge av denne driften (**Figur 18 - Figur 22**).



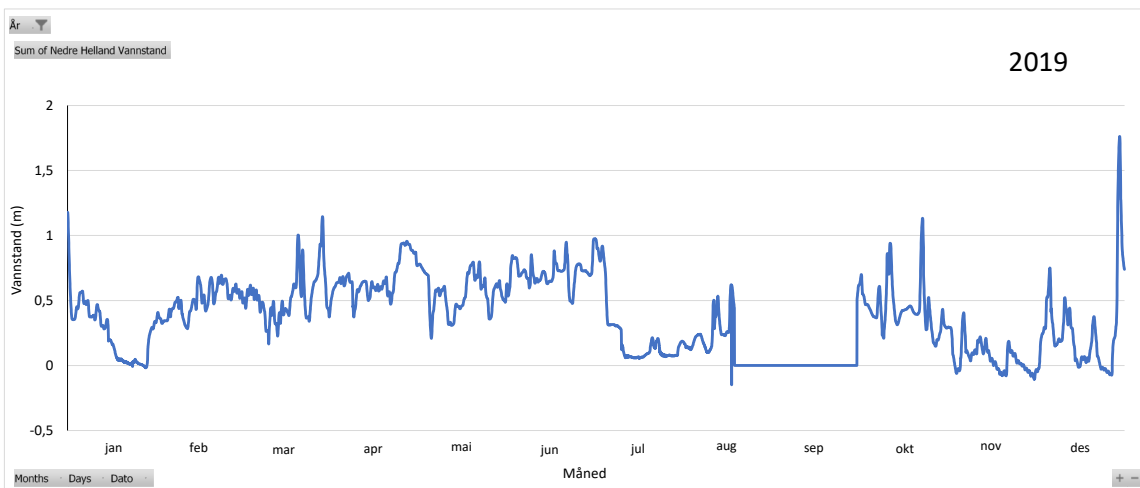
**Figur 18.** Vannstandsvariasjon målt ca. 700-800 m nedstrøms utløpet av Hellandsfoss kraftverk i 2016. Det absolutte nivået på vannstanden kan være unøyaktig, men grafen viser vannføringsvariasjonen i hovedløpet grunnet driften av kraftverket.



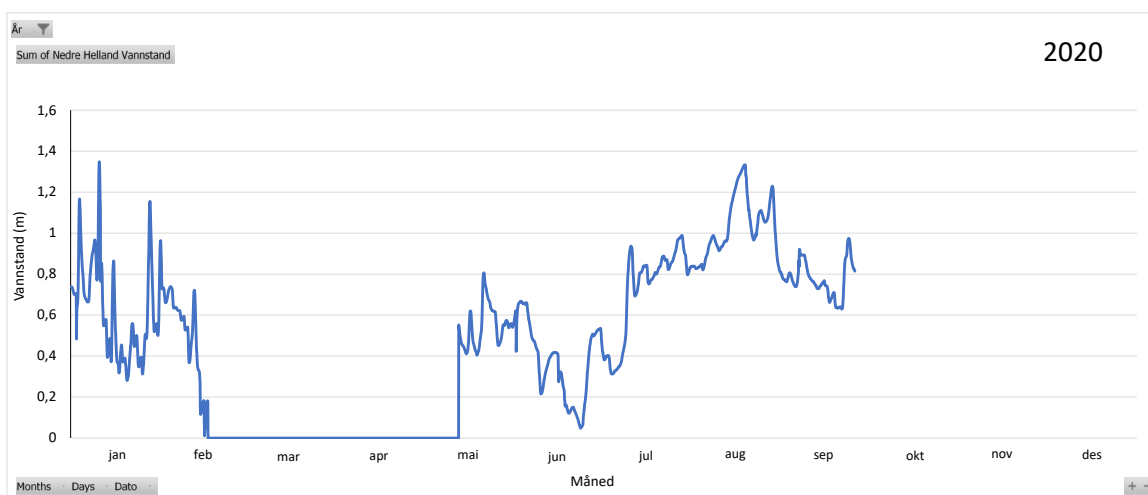
**Figur 19.** Vannstandsvariasjon målt ca. 700-800 m nedstrøms utløpet av Hellandsfoss kraftverk i 2017. Det absolutte nivået på vannstanden kan være unøyaktig, men grafene viser vannføringsvariasjonen i hovedløpet grunnet driften av kraftverket.



**Figur 20.** Vannstandsvariasjon målt ca. 700-800 m nedstrøms utløpet av Hellandsfoss kraftverk i 2018. Det absolutte nivået på vannstanden kan være unøyaktig, men grafen viser vannføringsvariasjonen i hovedløpet grunnet driften av kraftverket.



**Figur 21.** Vannstandsvariasjon målt ca. 700-800 m nedstrøms utløpet av Hellandsfoss kraftverk i 2019. Det absolutte nivået på vannstanden kan være unøyaktig, men grafen viser vannføringsvariasjonen i hovedløpet grunnet driften av kraftverket. Ved vannstand på 0 over en lengre periode har loggeren vært ute av drift.



**Figur 22.** Vannstandsvariasjon målt ca. 700-800 m nedstrøms utløpet av Hellandsfoss kraftverk i 2020. Det absolutte nivået på vannstanden kan være unøyaktig, men grafen viser vannføringsvariasjonen i hovedløpet grunnet driften av kraftverket. Ved vannstand på 0 over en lengre periode har loggeren vært ute av drift.

I en kunnskapsoppsummering av miljøeffekter av effektkjøring utført av Bakken mfl. (2016), ble det konkludert med at miljøeffekten av hurtige vannføringsreduksjoner er avhengige av en rekke forhold, som for eksempel senkningshastigheten, hvor stort areal som tørrlegges, hvor stor endringen i vannføringen er, hvor ofte de forekommer og hvordan de er fordelt gjennom året, og når i sesongen/døgnet de forekommer. I følge Bakken mfl. (2016) kan den negative effekten av hurtige vannstandsreduksjoner vurderes som *svært stor* når senkningshastigheten, gitt som endring i vannstand per tidsenhet, overstiger 20 cm/t, *stor* ved senkningshastigheten mellom 13-20 cm/t og *middels* ved senkningshastigheten mellom 5-13 cm/t. Tilsvarende vurderes miljøeffekten i form av stranding av ungfisk som *svært stor* dersom mer enn 20 % av elvearealet tørrlegges ved nedkjøring, *stor* dersom 10-20 % tørrlegges, *moderat* dersom 5-10 % tørrlegges og *lite* dersom < 5 % tørrlegges. Resultatene ovenfor viser at det forekommer hurtige vannføringsreduksjoner på elvestrekningen nedstrøms



Hellandsfoss kraftverk som kan føre til økt dødelighet som følge av at ungfisk strander. Hvor stor effekt dette har på fiskeproduksjonen på bestandsnivå, må utredes nærmere ved å utføre mer detaljerte analyser av vannføring, og å kartlegge hvor stor del av elvearealet som tørrlegges ved ulike vannføringer. Det sistnevnte kan for eksempel undersøkes ved å utvikle en terrengmodell eller ved å kartlegge vanndekt areal på ulike vannføringer med drone. Ved generelle hurtige vannstandsfluktasjoner ved høy vannstand, vil trolig ikke effekten på ungfiskproduksjonen være stor siden det vanndekte arealet da vil være tilnærmet 100 % i en slik situasjon.

## 7 Status gytebestand

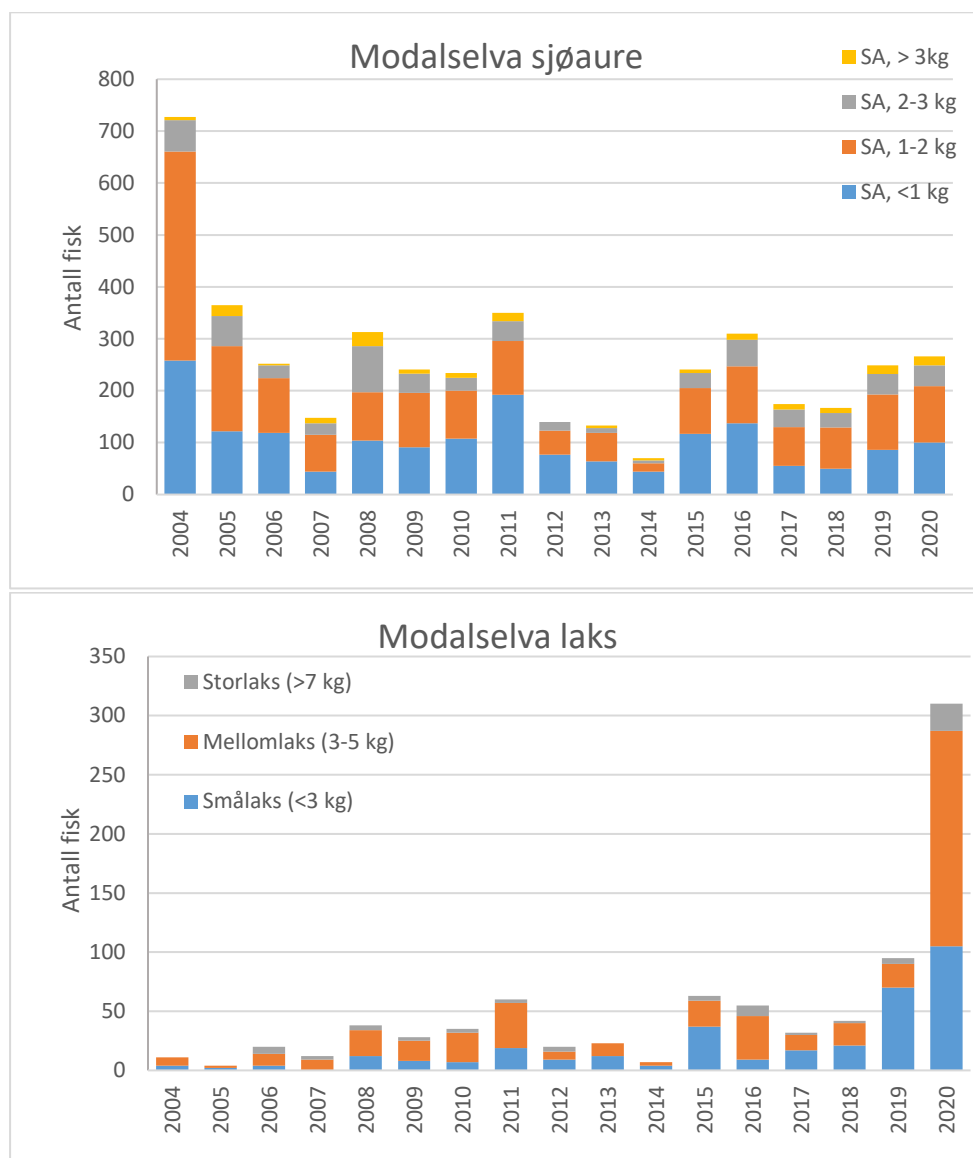
Gytefisktellingerne er utført årlig siden 1999 i Modalselva, men det er først fra 2004 at sjøaure er delt opp i størrelseskategorier. I denne rapporten er det laget figurer for tellingene fra 2004 for både laks og sjøaure (**Figur 23**). Tellingene siden 2004 har vært på strekningen fra Hellandsfossen og ned til utløpet av Modalselva til sjø. Det er tidligere observert en relativ høy gytebestand av sjøaure i Modalselva, men fra og med 2005 har gytebestanden avtatt. Basert på de siste års gytefisktelinger, er bestandsstatusen til sjøauren i Modalsvassdraget dårlig. Dette underbygges med at sportsfiske etter sjøaure ble stoppet fra og med 2012, uten at det har økt gytebestanden i perioden etter. Det er bare registrert i underkant av 200 sjøaure i snitt pr. år siden 2012. I perioden med sportsfiske har totalinnsiget av sjøaure vært langt høyere, og i 2003 var innsiget på 1093 fisk. Modalselva var tidligere kjent for å huse relativt stor sjøaure.

Antallet gytefisk av laks observert i perioden 2004 til 2018 har vært lavt, men viser en tydelig positiv endring fra 2019. Den positive endringen skyldes kalkingen igangsatt i 2016 og det tilhørende reetableringsprosjektet for å få laks tilbake i Modalselva. Vossolaksen er valgt for reetableringen og det er totalt plantet ut i overkant av 2 millioner lakserogn fra genbanken siden 2014. I tillegg er det siden 2016 benyttet smolt produsert ved Voss klekkeri. Smolten er satt i en merd i munningen av Modalselva og preget på ellevannet før den er slept ut fjordene og sluppet ute ved kysten. I perioden 2016 til 2019 er det årlig slept ut 8000 PIT-merket og fettfinneklippet smolt. I tillegg ble det i 2018 slept ut en tiltaksgruppe på 11 000 smolt som bare var fettfinneklippet. Utfra merkeforsøk er det særlig tilbakevandring av de slepte smoltene som har bidratt til oppbyggingen av gytebestanden i Modalselva i 2019 og i 2020.

Gytefisktellingen i 2020 speilet det høye innslaget av smålaks fra 2019 og det ble observert tre ganger så mange laks som i det beste av de andre årene siden 2004. Fordelingen på størrelsesgrupper var 34 % smålaks, 58 % mellomlaks og 8 % storlaks. Det ble ikke observert oppdrettslaks under gytefisktellingen i 2020. I årene 2018-2020 ble det også gjort drivtelling fra Almelid til Hellandsfoss. Det ble observert to laks på denne strekningen i 2019, men ingen laks i 2018 og i 2020. I 2020 sto all laksen i trappa i det øverste trinnet. Det tyder på at det er noe feil med trappen som gjør at laksen ikke klarer å gå det siste hinderet i trappa.

Gytebestandsmålet for laks i Modalselva er satt til 598 kg hunfisk, tilsvarende 2 egg per m<sup>2</sup> (elveareal nedstrøms Hellandsfossen). I 2020 er gytebestanden beregnet å være i overkant av 750 kg hunfisk, og dermed over gytebestandsmålet. I hele perioden frem til og med 2019 har

imidlertid gytebestanden vært vesentlig lavere enn gytebestandsmålet.



**Figur 23.** Antall sjøaure (øverst) og laks (nederst) registrert i gytefisktellinger i Modalselva i perioden 2004-2020. Fisk registrert ved tømning av fisketrappen ved Hellandsfossen er inkludert i figuren.

For første gang siden oppstarten av reetableringsprosjektet, ble det i begynnelsen av oktober 2020 utført et forsøksfiske med stang i elva. Før fisket startet ble det holdt et foredrag om metoder for fang og slipp, skjellprøver, og PIT-deteksjon for fiskerne. Fjorten fiskere var til stede i elva to helger fra 02.10-04.10 og fra 09.10-11.10. Fisketiden var 18:00-20:00 fredag, 07:00-13:00 og 15:00-20:00 lørdag og 07:00-13:00 søndag. Elva var delt i 7 soner med to fiskere i hver sone. Dette ga totalt 76 fisketimer. Totalt ble det fisket 53 laks, noe som gir 0,7 laks per fisketime. Under gytefiskteellingen, 02.10.2020, ble det observert 290 laks på strekningen fra Hellandsfossen og ned til sjøen. Vi vurderte observasjonsforholdene som gode og regner med at ca. 90 % av all fisk ble observert. Det gir en fangstandel under fisket på mellom 16,7 og 18,3 % av gytebestanden.

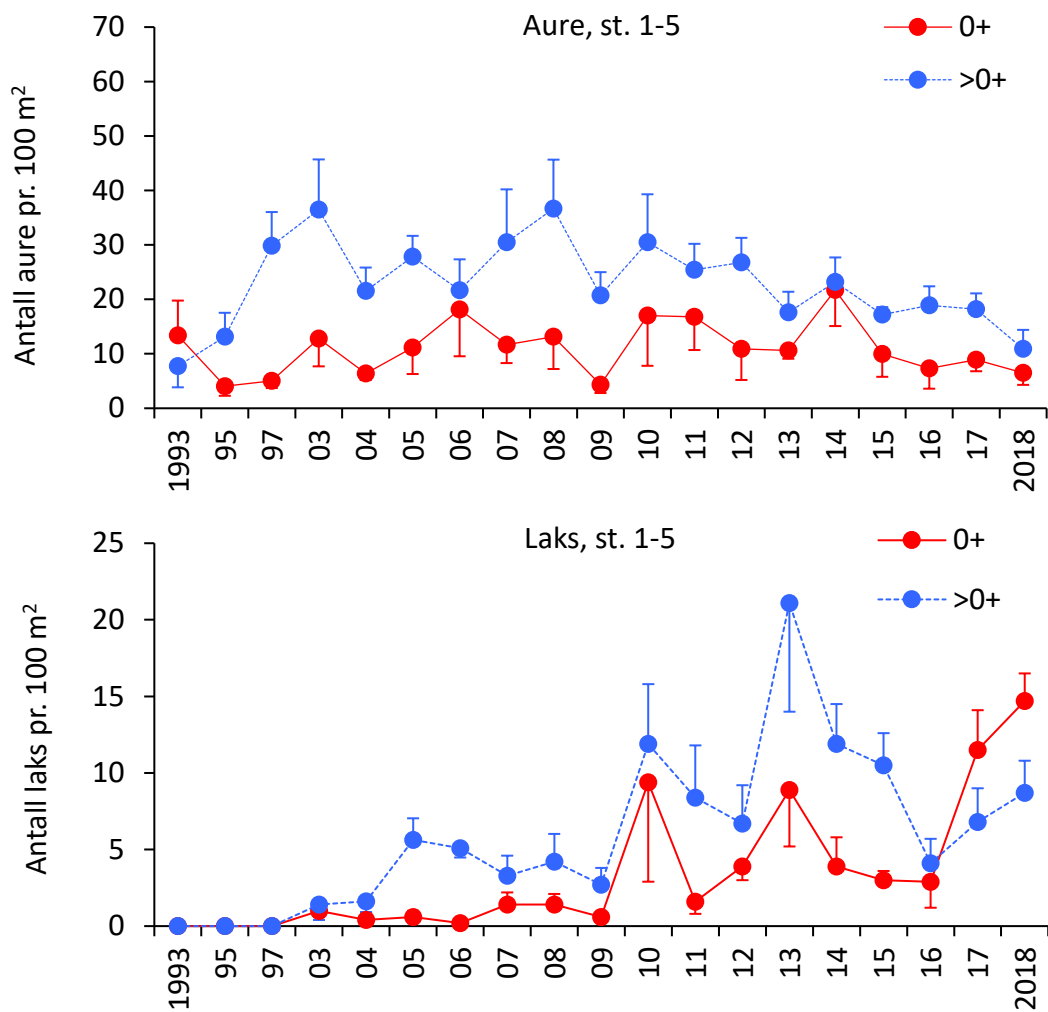
Av de 53 laksene fanget med stang under forsøksfisket, var 38 fra smoltslep, dvs. ca. 72 %. De

resterende 28 % stammet trolig fra smolt som naturlig har vandret ut fra Modalselva. Skjellanalysen av disse fiskene fra dette forsøksfisket, viser at 36 % var ensjøvinter, 58 % tosjøvinter og 6 % tre og femsjøvinter. Fordelingen av de kultiverte laksene var 26 % ensjøvinter, 69 % tosjøvinter og 5 % tresjøvinter. Fordelingen av de ville var 60 % ensjøvinter, 33 % tosjøvinter og 7 % femsjøvinter. For de kultiverte er fordelingen som forventet på grunn av at antallet smolt slept ut var en del høyere i 2018. Fordelingen av de ville er og som forventet, da en trolig vil se antall laks som stammer fra rognplanting og naturlig rekruttert laks bygge seg opp over tid.

## 8 Status ungfiskbestand

Tetthetene av ungfisk er målt som antall fisk per 100 m<sup>2</sup> på fem stasjoner nedstrøms Hellandsfossen i Modalselva (Gabrielsen et al 2019). Resultatene viser tydelig de negative effektene av kraftig forsuring på 1990-tallet da tetthetene av aure var lave, og laksen var utdødd og fraværende på stasjonene. Utover på 2000-tallet hadde forsuringen avtatt noe og en finner laksunger i lave tettheter. Dette er laksunger som trolig stammer fra vellykket gyting av feilvandret villaks og rømt oppdrettslaks. Fra 2010 økte tetthetene av laks til et høyere nivå (**Figur 24**). En positiv respons i antall ungfisk var forventet etter at reetableringsarbeidet med årlig rognplanting startet i 2014 og kalkingen kom i gang i 2016. Denne responsen målt som økning i tettheter av ungfisk kan så langt sees som en merkbar økning i tettheten av lakseyngel i 2017 og 2018, mens tettheten av eldre ungfisk ikke har vært like tydelig.

Til forskjell fra laksen, har tetthetene av aure vært generelt høyere og mer stabile gjennom perioden. Imidlertid viser utviklingen en negativ trend siden 2008 for tettheter av både årsunger og eldre aure (**Figur 24**).



**Figur 24.** Gjennomsnittlige tettheter av ungfisk av aure (øverst) og laks (nederst) på stasjonene 1-5 nedstrøms Hellandsfossen i Modalselva ved undersøkelsene i perioden 1993-2018. Det er skilt mellom årsunger (0+) og eldre ungfisk (> 0+).

## 9 Referanser

Andersen, L. & Kirkhorn, T. 2020. Vurdering av vannføringsforhold nedstrøms Hellandsfoss kraftverk. BKK Notat. IDA-nr.: 12636950.

Beeman JW, Maule AG (2006) Migration depths of juvenile Chinook salmon and steelhead relative to total dissolved gas supersaturation in a Columbia river reservoir. *Transactions of the American Fisheries Society* 135: 584-594.

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(1): 119–138.

Brooks, A. 1989. Alternative channelization procedures. Pp. 139-162 in: Gore, J.A. & Petts, G.E. (ed.). *Alternatives in regulated river management*. CRC Press, Florida, USA.

Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Dissolved gas supersaturation. In: *Canadian environmental quality guidelines, 1999*, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

Einum, S. & Nislow, K.H. (2011). Variation in population size through time and space: theory and recent empirical advances from Atlantic salmon. In: *Atlantic Salmon Ecology*, pp. 277-298 (eds. Ø. Aas, S. Einum, A. Klemetsen & J. Skurdal). Wiley-Blackwell.

Finstad, A. G., S. Einum, O. Ugedal, and T. Forseth. 2009. Spatial distribution of limited resources and local density regulation in juvenile Atlantic salmon. *Journal of Animal Ecology* 78:226–35.

Forseth, T. & Harby, A. (red.). 2013. Håndbok for miljødesign i regulerte laksevasdrag. NINA Temahefte 52. 90 s. <http://www.nina.no/archive/nina/PppBasePdf/temahefte/052.pdf>

Gabrielsen, S-E., Skår, B., Lehmann, G.B., Halvorsen, G.A., Wiers, T., Normann, E. & Skoglund, G. 2019. Modalseva – Langsiktige undersøkelser av laks og sjøaure i perioden 2006 – 2016. NORCE LFI Rapport nr. 340. 27s.

Heggberget TG (1984) Effect of Supersaturated Water on Fish in the River Nidelva, Southern-Norway. *Journal of Fish Biology* 24: 65-74.

Jensen, J. O. T., Schnute, J., and D. F. Alderdice. 1986. Assessing juvenile salmonid response to gas supersaturation using a general multivariate dose-response model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43(9): 1694-1709

Martin, T. L., N. K. Kaushik, J. T. Trevors, and H. R. Whiteley (1999). Review: denitrification in temperate climate riparian zones. *Water, Air, and Soil Pollution*, 111, 171–186.

McCarthy, D.T. 1985. The adverse effects of channelization and their amelioration. Pp. 83-97 in: Alabaster, J.S. (ed.) *Habitat modification and freshwater fisheries*. Symposium of the European Inland Fisheries Advisory Commission. Butterworth Publishers.

NVE, Fylkesmannen og Fylkeskommunen Rogaland (2010): Inngrep i vatn og vassdrag – ei rettleiing. Brosjyre 20, tilgjengelig fra: <https://www.fylkesmannen.no/globalassets/fm-rogaland/dokument-fmro/miljo/informasjonskriv/inngrep-i-vatn-og-vassdrag---ei-rettleiing.pdf>

Pulg, U., Gabrielsen S.-E. og Normann, E.S. (2013), Gassmetning i tre LIV-elver, Matreelva, Modalselva og Vossovassdraget, LFI notat 11/2013.

Pulg, U., Barlaup, B.T., Velle, G., Normann, E, Lehmann, G. 2014: Hydropower induced supersaturation - not in European rivers? Presentation at the 10<sup>th</sup> International Symposium on Ecohydraulics, NTNU Trondheim, June 23<sup>rd</sup>-27<sup>th</sup> 2014.

Pulg U. og Stranzl S. (2015), Gassmetning i Vetlefjordselva ved Mel kraftverk. Technical Report no. 258. Bergen, Norway: Uni Research Miljø LFI

Pulg U., Isaksen T.E., Velle G., Stranzl S., Espedal E.O., Vollset K.W., Bye-Ingebrigtsen E., Barlaup B.T. (2018), Gassovertmetning i vassdrag – en kunnskapsoppsummering. LFI-rapport nr. 312. Bergen, Norway: NORCE LFI

Pulg, U. Barlaup B.T., Skoglund H., Velle, G. Gabrielsen S-E., Stranzl S., Olsen E. E., Lehmann, G. Wiers, T., Skår, B. Nordmann E. & Fjeldstad, H.P. 2018: Tiltakshåndbok for bedre fysisk vannmiljø: God praksis ved miljøforbedrende tiltak i elver og bekker. LFI-Rapport 296.

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

Stokkebø G, Berdal B, Brox G, Fleischer E, Guttormsen G, Kjeldsen A, Tvinnereim K (1986) Bekkeinntak på kraftverkstunneler. Sluttrapport fra Bekkeinntakkomiteen (in Norwegian). Asker: Vassdragsregulantenenes forening.

Weitkamp DE (2008) Total dissolved gas supersaturation biological effects, review of literature 1980-2007. Bellevue, Washington: Parametrix, 65.

Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A. & Skurdal, J. (2011). Atlantic Salmon Ecology. Wiley-Blackwell, 467 pp.

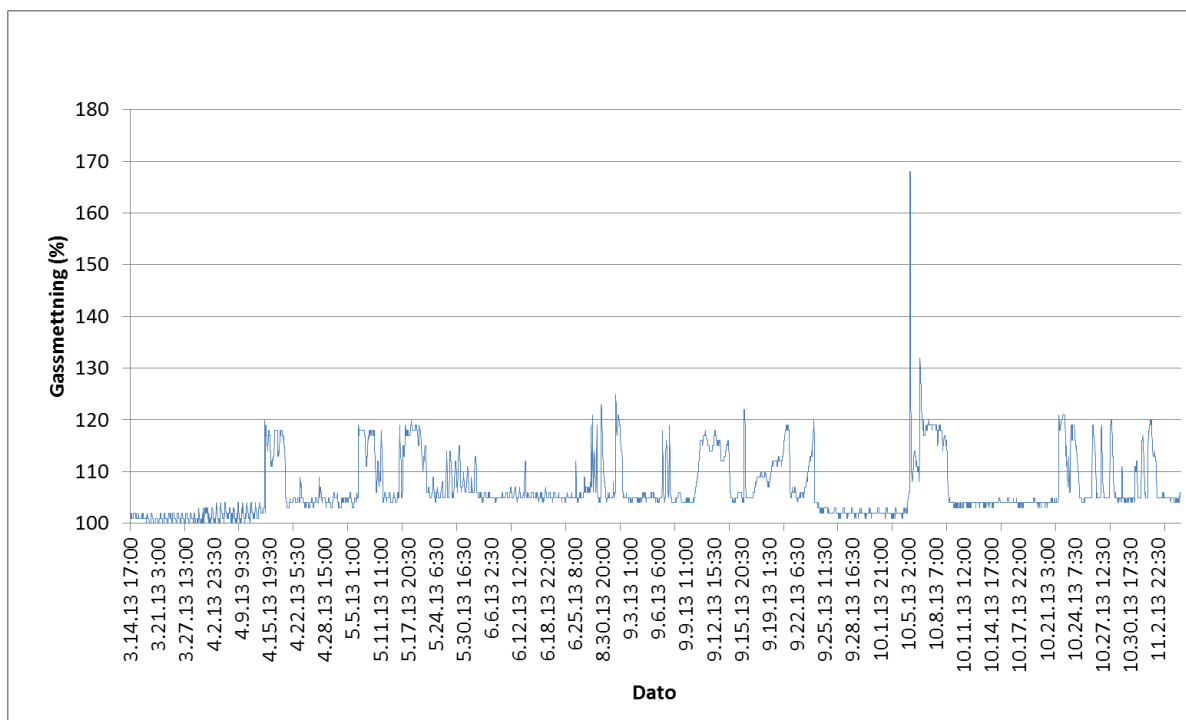
# 10 Appendiks

## Gassmetning 2013

Gassmetningen i kraftverksutløpet varierte mellom 100 % og 168 % TDG i tidsrommet 14. mars til 5. november 2013 (**Figur 1**). Medianverdien i denne perioden lå på 105 % TDG. Fra midten av mars til midten av april var det små variasjoner i verdiene og de fluktuerte i hovedsak mellom 100 % og 104 % TDG. I midten av april økte gassmetningen betydelig og lå i omtrent en uke på mellom 112-120 % TDG før verdiene igjen falt under 110 % i slutten av april og begynnelsen av mai. Etter første uken i mai og frem til starten av juni svingte gassmetningen igjen mellom 104 % og 120 % TDG. I juni stabiliserte TDG seg noe mellom 104 % til 107 %, men med to kortere overmetningsperioder opp mot 112 %. Utover høsten var det en rekke overmetningsperioder mellom 110 % og 125 %, etterfulgt av en mindre variabel periode i slutten av september og helt i starten av oktober der gassmetningen lå rundt 101 % til 103 %. 05.10.2013 inntraff imidlertid en kortvarig måling på hele 168 % TDG (1,5 timer) som ble etterfulgt av en uke preget av fortsatt høye nivåer godt over 110 %. Midten av oktober var igjen relativt stabil med nivåer mellom 103 % til 105 % TDG, før nye periodevise svingninger opp til i overkant av 120 % TDG preget slutten av måneden. I 95 % av overvåkingsperioden var gassmetningen under 118 %, 75 % av tiden under 108 %, 50 % av tiden (medianverdi) under 105 %, 25 % av tiden under 104 % og 5 % av tiden under 101 % (se **Tabell 1**).

**Tabell 1.** Varighet av gassmetning i 2013. Persentilene representerer tiden i prosent med gassmetningsverdier under tallet i samme rad.

Persentil	Gassmetning % TDG
95	118
75	108
50	105
25	104
5	101



**Figur 1.** Gassmetning (TDG) i prosent ved utløpet av Hellandsfoss kraftverk i perioden mellom 14.03.2013 – 02.11.2013.

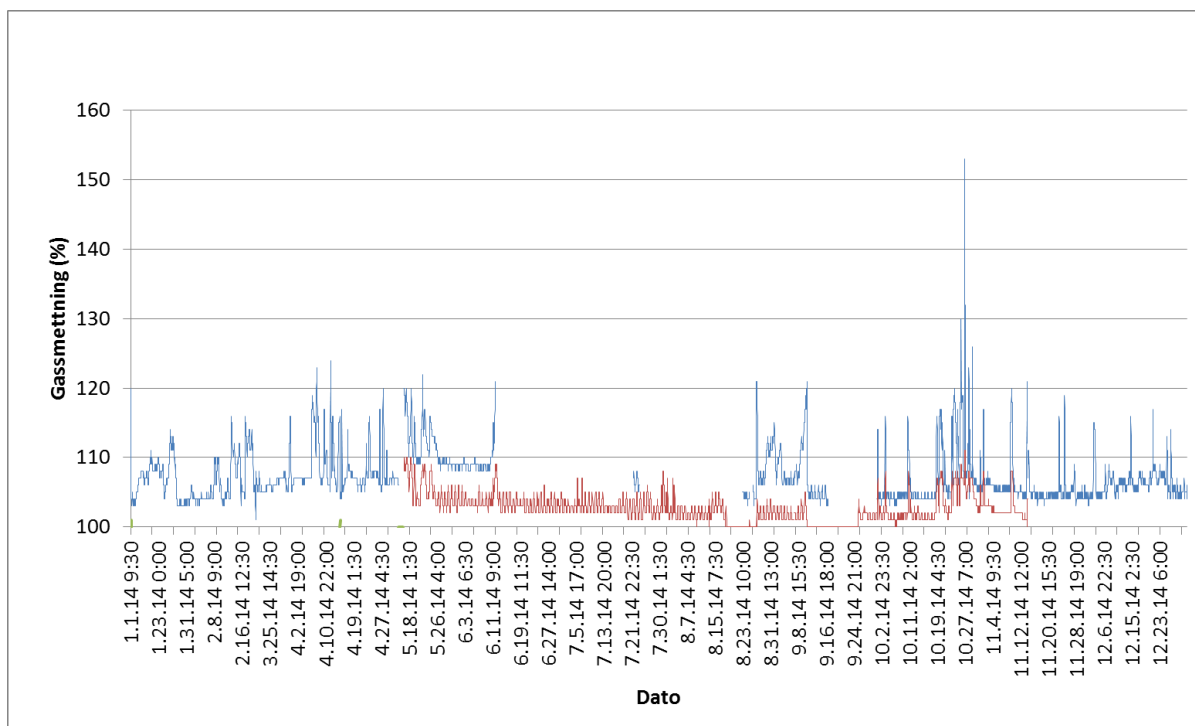
## Gassmetning 2014

I tidsrommet 1. januar til 23. desember 2014 varierte gassmetningen i kraftverksutløpet mellom 101 % og 153 % TDG (**Figur 2**). Vanligvis lå gassmetningen i denne perioden på 106 % TDG (medianverdi), altså 1 % høyere enn i 2013. Våren 2014 var det stor variasjon i gassmetning mellom 103 % og 124 % TDG. Særlig utover i april var det tidvis høy gassovermetning i vannet, med flere svingninger over 110 % og tidvis også over 120 % TDG. I sommermånedene juni, juli og august var utstyret utsatt for gjentatte lynnedslag som satte dette ut av spill. Målinger foretatt med gassmåler ved Modalen bru, kan benyttes til et estimat av overmetningsmønsteret i disse månedene. Ut ifra differansen i gassmetning og korrelasjonen mellom de to stasjonene kan man medregne at gassmetningen har variert mellom 106 % og 116 % TDG i denne perioden. Fra siste uken i august og første to ukene i september lå overmetningen i flere dager over 110 % og ved to anledninger også over 120 % TDG. Utover høsten og vinteren var det flere korte perioder med gassmetning over 110 %, og den 27. oktober inntraff en gassmetningstopp med høyeste måling på 153 % TDG. I 95 % av tiden i overvåkingsperioden var gassmetningen under 115 %, 75 % av tiden under 108 %, 50 % av tiden (medianverdi) under 106 %, 25 % av tiden under 105 % og 5 % av tiden under 104 % (se **Tabell 2**).



**Tabell 7.** Varighet av gassmetning i 2014. Persentilene representerer tiden i prosent med gassmetningsverdier under tallet i samme rad.

Persentil	Gassmetning % TDG
95	115
75	108
50	106
25	105
5	104



**Figur 2.** Gassmetning (TDG) i prosent ved utløpet av Hellandsfoss kraftverk (blå linje) i perioder mellom 01.01.2014 og 31.12.2014, og ved Modalen bru (rød linje) mellom 05.05.2014 og 14.11.2014.

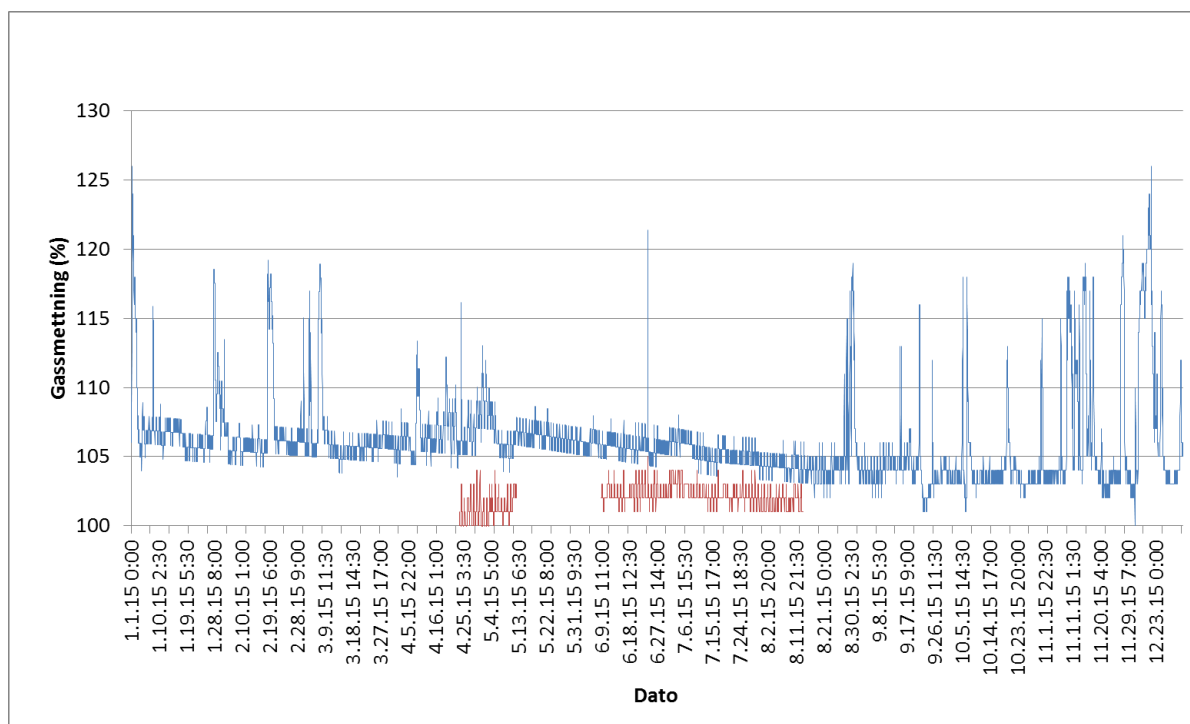
## Gassmetning 2015

I tidsrommet 1. januar til 31. desember 2015 varierte gassmetningen i kraftverksutløpet mellom 97 % og 126 % TDG (**Figur 3**). Vanligvis lå gassmetningen på 104 % TDG (medianverdi), ca. 2 % lavere enn året før. Starten av året fra januar til begynnelsen av mars var det en rekke perioder med overmetning over den anbefalte grenseverdien (110 % TDG). Resten av mars stabiliserte gassmetningen seg rundt ca. 106 % TDG før en ny periode med høy overmetning inntraff i april. Med unntak av en gassmetningstopp 24. juni, var sommermånedene relativt stabile, før det utover høsten og vinteren igjen inntraff en rekke store svingninger med tidvis høy gassovermetning. I 95 % av tiden i overvåkingsperioden var gassmetningen under 111 %, 75 % av tiden under 106 %, 50 % av tiden (medianverdi) under 105 %, 25 % av tiden under 103 % og 5 % av tiden under 101 % (**Tabell 3**). Mellom april og august oppsto det en gravis økende offset i sonden som førte til feilaktige dataregistreringer opp mot 110 % i den perioden. Sonden ble kontrollmålt og byttet i august. Det viste seg at trykkmålingene fungerte, men at offseten i kalibreringen ikke passet lengre. Verdiene bak til april kunne imidlertid korrigeres ved at feilen i offseten ble gradvis trukket fra.

Måleusikkerheten i denne perioden vurderes til  $\pm 2\%$ .

**Tabell 3.** Varighet av gassmetning i 2015. Persentilene representerer tiden i prosent med gassmetningsverdier under tallet i samme rad.

Persentil	Gassmetning % TDG
95	111
75	106
50	105
25	103
5	101



**Figur 3.** Gassmetning (TDG) i prosent ved utløpet av Hellandsfoss kraftverk (blå linje) i perioden 01.01.2015 til 31.12.2015, og ved Modalen bru (rød linje).

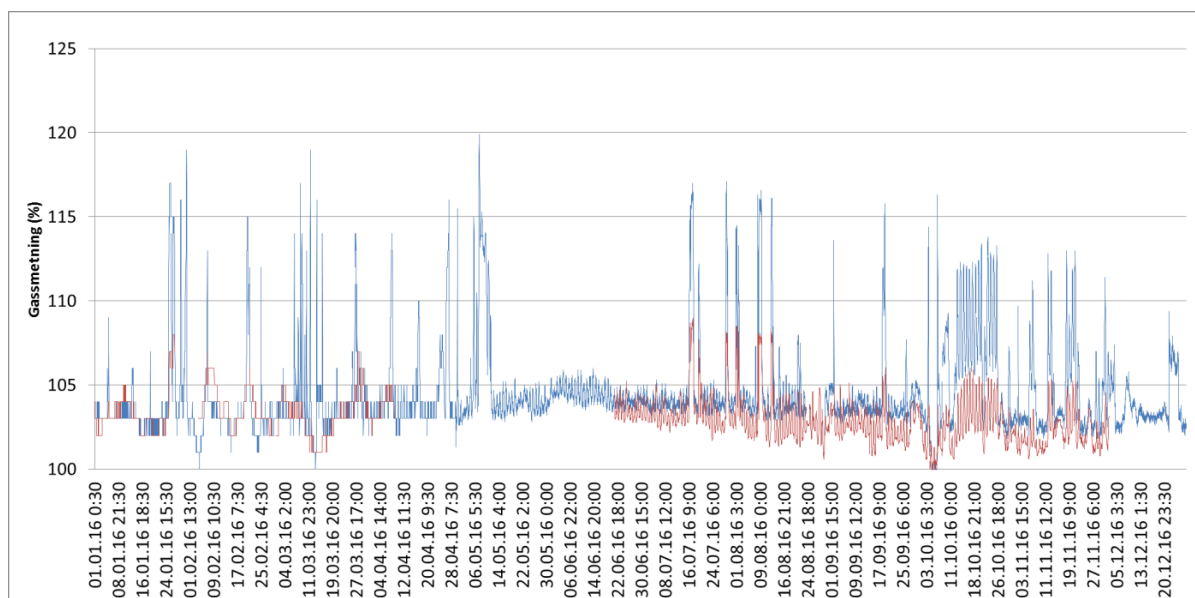
## Gassmetning 2016

I perioden mellom 1. januar til 31. desember 2016 varierte gassmetningen i kraftverksutløpet mellom 100 % til 120 % TDG (**Figur 4**). Vanligvis lå gassmetningen i kraftverksutløpet i underkant av 104 % TDG (medianverdi). I 95 % av tiden i overvåkingsperioden var gassmetningen under 109 % TDG, 75 % av tiden under 104 % TDG, 50 % av tiden under 103,5 % TDG, 25 % av tiden under 103 % TDG og 5 % av tiden under 102 % TDG (**Tabell 4**). Mellom slutten av januar og første halvdel av mai observerte vi en rekke topper med overmetning over den anbefalte grenseverdien (110 % TDG). Mellom mai og midten av juli var gassmetningen stabil med verdier mellom ca. 103 og 106 % TDG. Mot slutten av juli og frem til midten av august var det en rekke kortere overmetningsperioder til verdier mellom 110 % og 117 % TDG. Fra midten av august til oktober var det relativt få og kortvarige topper over anbefalt grenseverdi. Oktober 2016 var imidlertid preget av svært hyppige overmetningstopper som oversteg 110 % TDG. I hele 15,6 % prosent av denne måneden var gassmetningsverdien over 110 % TDG. Figur 14 viser forholdet mellom produksjonen i

Hellandsfossen kraftverk og gassovermetningen ved kraftverket og ved Modalen bru.

**Tabell 4.** Varighet av gassmetning i 2016. Persentilene representerer tiden i prosent med gassmetningsverdier under tallet i samme rad.

Persentil	Gassmetning % TDG
95	109
75	104
50	103,5
25	103
5	102



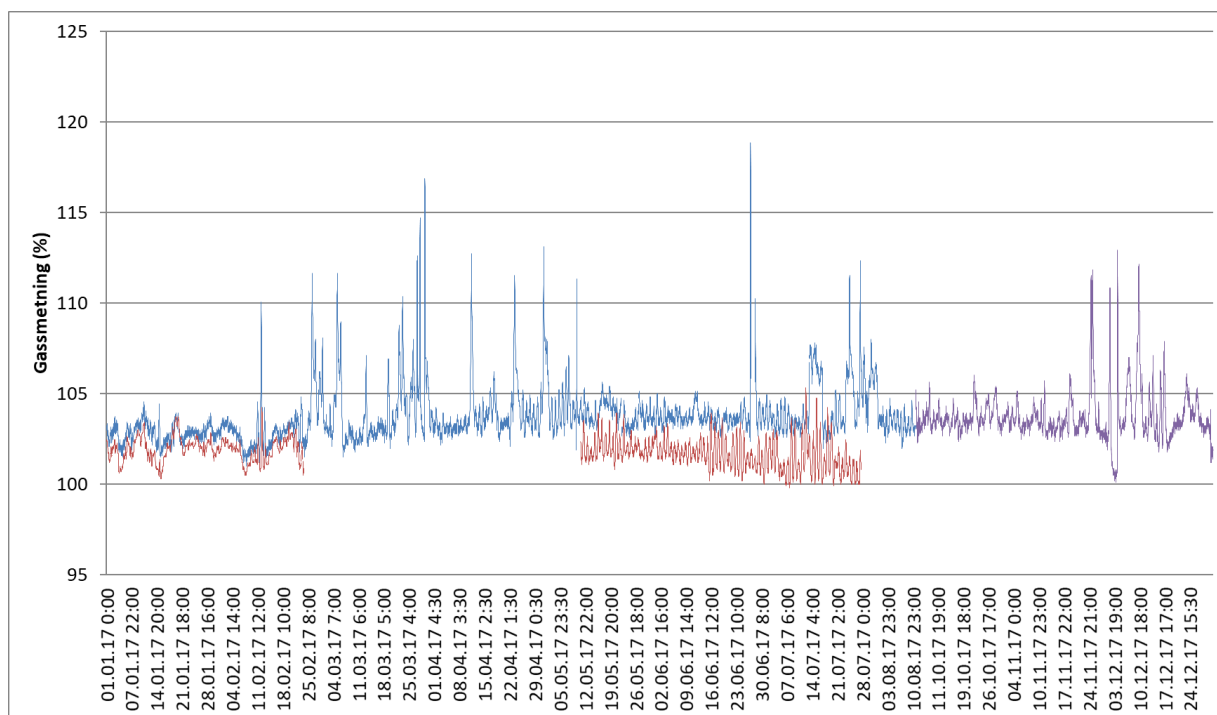
**Figur 4.** Gassmetning (TDG) i prosent ved utløpet av Hellandsfoss kraftverk (blå linje) i perioden 01.01.2016 til 31.12.2016, og ved Modalen bru (rød linje).

## Gassmetning 2017

I perioden 1. januar til 31. desember 2017 varierte gassmetningen ved kraftverksutløpet mellom 100 % til 119 % TDG (**Figur 5**). Vanligvis lå gassmetningen i kraftverksutløpet i underkant av 103 % TDG (medianverdi). I 95 % av tiden i overvåkingsperioden var gassmetningen under 106 % TDG, 75 % av tiden under 104 % TDG, 50 % av tiden under 103 % TDG, 25 % av tiden under 102 % TDG og 5 % av tiden under 101 % TDG (**Tabell 5**). Frem til midten av februar var gassmetningen relativt stabil mellom 101 % og 104 %. I slutten av februar og utover våren oppstod en rekke topper over 110 % TDG. Fra midten av mai stabiliserte nivåene seg igjen mellom ca. 102 % og 106 % TDG. I slutten av juni (27.06.2017) nådde gassmetningen sin maksimumsverdi dette året i form av en relativt kortvarig bølge opp til 119 % TDG. Etter denne toppen stabiliserte verdiene seg igjen mellom 103 % og 105 % TDG, før en serie av mindre bølger med topper på 111 % og 112 % TDG i slutten av juli. I første halvdel av august gikk nivåene tilbake til å variere mellom 102 % og 106 % TDG. Ved månedsskiftet november – desember kom en ny bølge med gassmetningsverdi over 110 % TDG, og som ble etterfulgt av ytterligere tre bølger med tilsvarende verdier utover i desember.

**Tabell 5.** Varighet av gassmetning i 2017. Persentilene representerer tiden i prosent med gassmetningsverdier under tallet i samme rad.

Persentil	Gassmetning % TDG
95	106
75	104
50	103
25	102
5	101



**Figur 5.** Gassmetning (TDG) i prosent ved utløpet av Hellandsfoss kraftverk (blå linje), og fra den nye stasjonen som ble plassert ut ved utløpet av Hellandsfoss kraftverk (lilla linje) i perioden 01.01.2017 til 31.12.2017, og ved Modalen bru (rød linje).

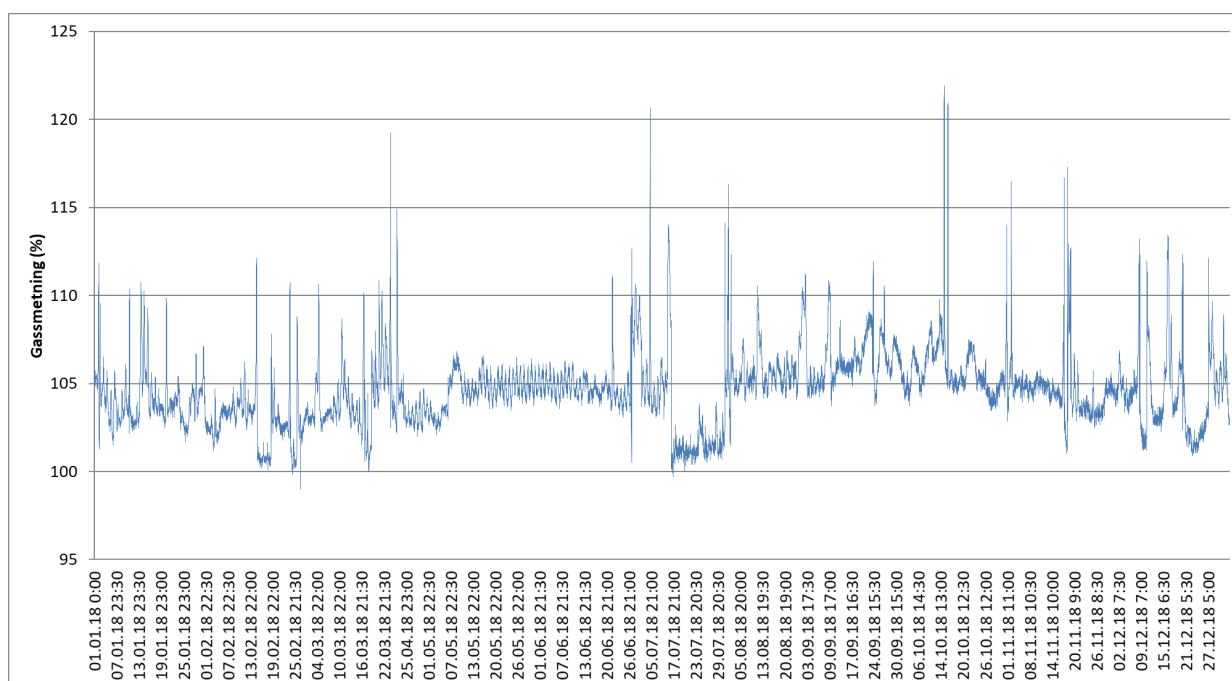
## Gassmetning 2018

I perioden 1. januar til 31. desember 2018 varierte gassmetningen ved kraftverksutløpet mellom 99 % til 122 % TDG (**Figur 6**). Vanligvis lå gassmetningen i kraftverksutløpet i underkant av 104,5 % TDG (medianverdi). I 95 % av tiden i overvåkingsperioden var gassmetningen under 108 % TDG, 75 % av tiden under 105,5 % TDG, 50 % av tiden under 104,5 % TDG, 25 % av tiden under 103 % TDG og 5 % av tiden under 101 % TDG (**Tabell 6**). I januar forekom en rekke mindre topper hvor gassmetningen tidvis steg over 110 % TDG. Verdiene varierte så mellom ca. 102 % og 106 % TDG frem til midten av februar hvor det oppstod en ny kortvarig topp over 110 % TDG. Mellom slutten av februar til ut i april kom det flere bølger som gikk over grenseverdien, der den høyeste ble målt til 119 % TDG. Fra slutten av april og utover i mai og juni stabiliserte verdiene seg rundt 105 % TDG. Mellom 22. juni og 12. juli oppstod nye bølger

over anbefalt grenseverdi, før metningen avtok ut juli. I starten av august forekom en noe lenger bølge med verdier opp til 116 % TDG, etterfulgt av en rekke mindre bølger utover høsten. Den høyeste målte verdien av overmetning i 2018 ble registrert 15. oktober og ble målt til 122 % TDG. Det forekom to bølger i november med verdi opp til 117 % TDG, og ytterligere fem bølger over 110 % TDG i desember.

**Tabell 6.** Varighet av gassmetning i 2017. Persentil representerer tiden i prosent med gassmetningsverdier under tallet i samme rad.

Persentil	Gassmetning % TDG
95	108
75	105,5
50	104,5
25	103
5	101



**Figur 6.** Gassmetning (TDG) i prosent ved utløpet av Hellandsfossen Kraftverk (blå linje) i perioden 01.01.2018 til 31.12.2018.

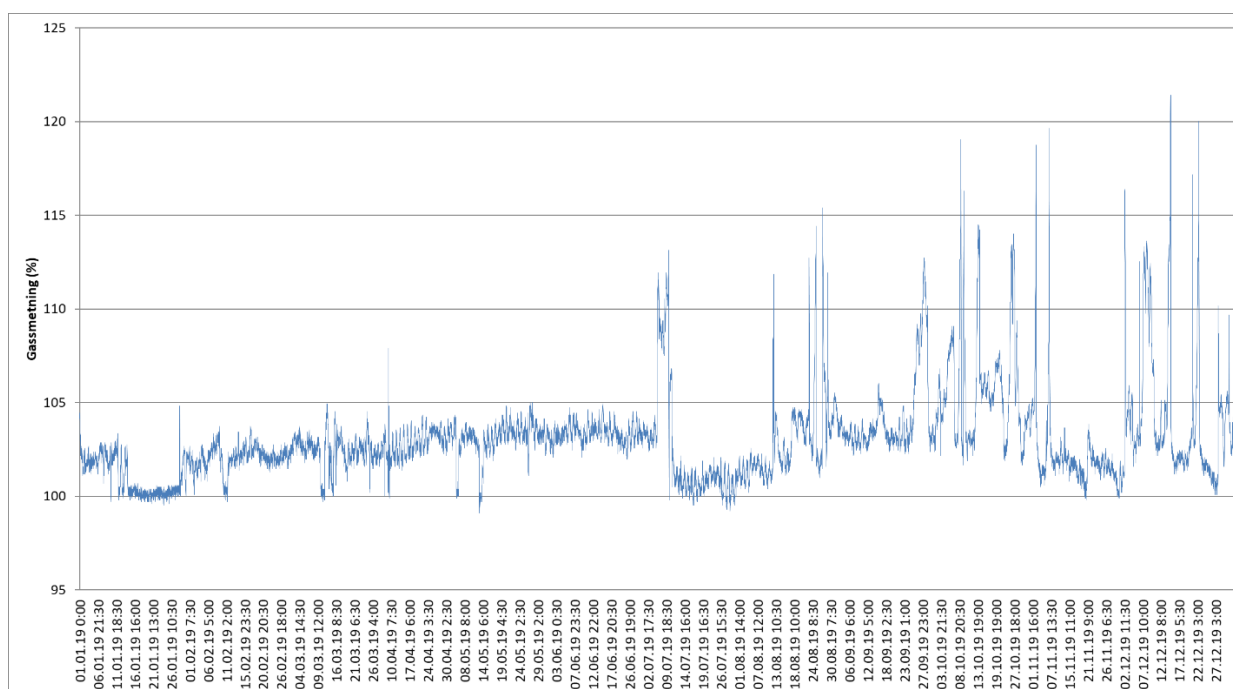
## Gassmetning 2019

I perioden 1. januar til 31. desember 2019 varierte gassmetningen ved kraftverksutløpet mellom 99 % til 121 % TDG (**Figur 7**). Vanligvis lå gassmetningen i kraftverksutløpet i underkant av 103 % TDG (medianverdi). I 95 % av tiden i overvåkingsperioden var gassmetningen under 108 % TDG, 75 % av tiden under 103,5 % TDG, 50 % av tiden under 103 % TDG, 25 % av tiden under 102 % TDG og 5 % av tiden under 100 % TDG (**Tabell 7**). I perioden mellom januar og juli 2019 lå verdiene stort sett mellom 100 – 105 % TDG. Den første overmetningshendelsen over den anbefalte grenseverdien ble i 2019 registrert mellom 6. juli og 10. juli. I denne bølgen gikk verdiene opp til 113 % TDG. Etter dette varierte gassmetningsverdiene mellom 99 % og

102 % frem til andre uke i august. Da oppstod en kortvarig bølge verdiene steg opp til 112 % TDG. Også i slutten av august ble det registrert 4 kortvarige bølger der verdiene steg opp til 115 % TDG. Etter dette varierte nivået mellom 102-106 % i en måneds tid før det oppstod en bølge i slutten av september av ca. 4 dagers varighet med verdi opp til 112 % TDG. Denne bølgen ble fulgt av ytterligere seks topper over 110 % TDG i perioden frem til andre uken i november. I november varierte verdiene mellom 100 % og 104 % TDG. Desember var preget av flere overmetningsbølger, der den høyeste ble målt til 121 % TDG.

**Tabell 7.** Varighet av gassmetning i 2019. Persentilene representerer tiden i prosent med gassmetningsverdier under tallet i samme rad.

Persentil	Gassmetning % TDG
95	108
75	103,5
50	103
25	102
5	100



**Figur 7.** Gassmetning (TDG) i prosent ved utløpet av Hellandsfossen Kraftverk (blå linje) i perioden 01.01.2019 til 31.12.2019.

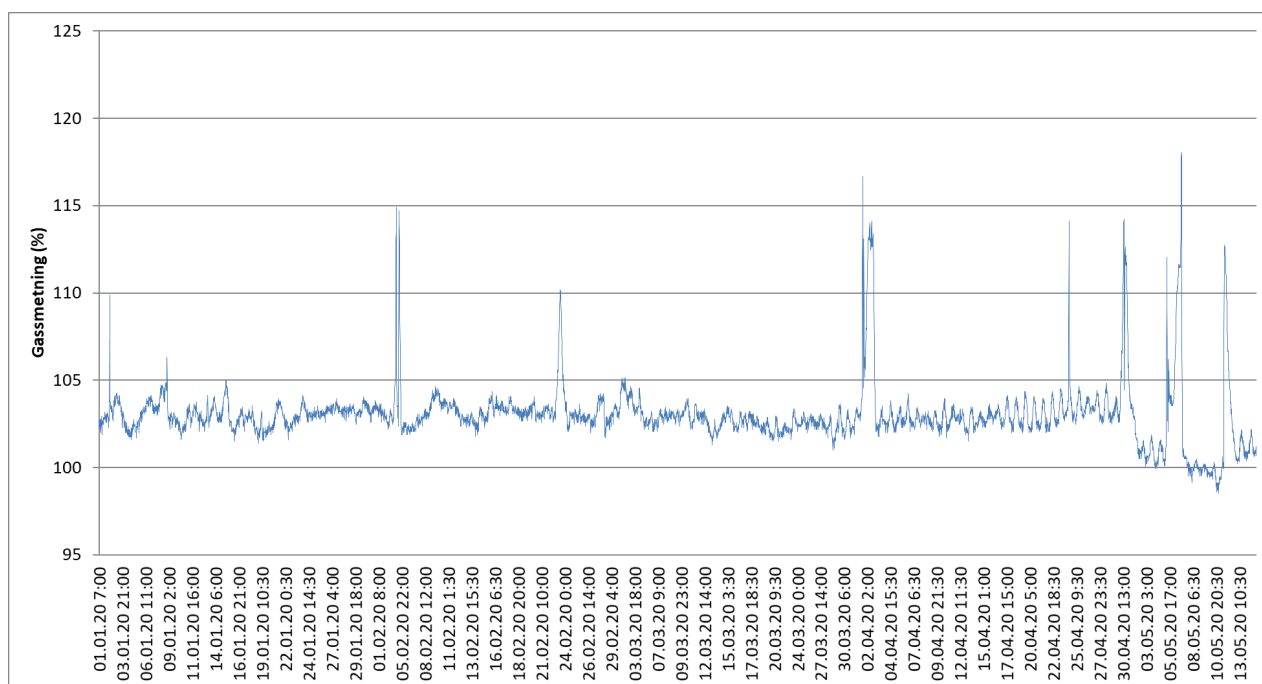
## Gassmetning 2020

I perioden 1. januar til 15. mai 2020 varierte gassmetningen ved kraftverksutløpet mellom 98,5 % til 118 % TDG (**Figur 8**). Vanligvis lå gassmetningen i kraftverksutløpet i underkant av 103 % TDG (medianverdi). I 95 % av tiden i denne overvåkingsperioden var gassmetningen under 104,5 % TDG, 75 % av tiden under 103, % TDG, 25 % av tiden under 102 % TDG og 5 % av tiden under 100 % TDG (**Tabell 8**). Med unntak av en kortvarig overmetningsbølge opp mot 110 % i starten av januar, lå verdiene stort sett mellom 101 – 105 % TDG i perioden januar -

februar. Den 5. februar kom en ny bølge hvor nivåene steg opp til 115 % TDG. Verdiene varierte så mellom 102-104 % frem til 23. februar, da verdiene steg opp til 110 % overmetning over en varighet av ca. ett døgn. Verdiene varierte så mellom 102-106 % TDG igjen frem til april. Mellom 1. og 2. april oppstod en ny bølge der verdiene ble målt opp til 117 % TDG. Fra siste uken av april og til 15. mai ble det registrert ytterligere 4 bølger med under en ukes mellomrom, der maksverdien nådde 118 % TDG den 6. mai.

**Tabell 8.** Varighet av gassmetning i 2020. Persentilene representerer tiden i prosent med gassmetningsverdier under tallet i samme rad

Persentil	Gassmetning % TDG
95	104,5
75	103
50	103
25	102
5	100,5



**Figur 8.** Gassmetning (TDG) i prosent ved utløpet av Hellandsfossen Kraftverk (blå linje) i perioden 01.01.2020 til 15.05.2020.