

Hydrologiske og hydrodynamiske forhold i Tokkeåi

Konsekvenser for fiskehabitat



NORCE

Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

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

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

ISSN nr: ISSN-2535-6623

LFI-rapport nr: 350

Tittel: Hydrologiske og hydrodynamiske forhold i Tokkeåi – konsekvenser for fiskehabitat.

Dato: 05.09.2019

Forfattere: Sebastian Stranzl, Espen Olsen Espedal, Christoph Postler Ulrich Pulg, Peter Flödl* og Christoph Hauer*.

*Institute of Hydraulic Engineering and River Research (IWA), University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Bilder: Alle foto uten kildehenvisning er tatt av Norce LFI.

Geografisk område: Telemark, Norge

Oppdragsgiver: Statkraft

Kontaktperson hos oppdragsgiver: Jostein Kristiansen

Antall sider: 61

Emneord: Vannføringsendring, fiskevandring, fiskepassasje

Innhold

Sammendrag	4
Tokkeåi nedenfor Lio kraftverk	4
Fiskepassasje forbi Helvetesfossen	5
Strekningen ovenfor Helvetesfossen (Restfelt)	6
1. Bakgrunn og målsetting	7
2. Materiale og metoder	10
Nedenfor Lio kraftverk	10
Helvetesfossen	11
Strekning ovenfor Helvetesfossen (restfelt)	11
3. Resultater	13
Nedenfor Lio kraftverk	13
Nedkjøringsforsøk	13
Vanndekket areal	16
Gjesshylen	16
Lindøy	20
Buøy	24
Helvetesfossen	28
Restfelt	33
Vurdering av fiskevandring	34
Persentiler og ganglinjer	43
Ovenfor Lio	46
Omdalsbru	49
Ravnejuv	52
4. Oppsummering	55
Tokkeåi nedenfor Lio kraftverk	55
Fiskepassasje forbi Helvetesfossen	56
Strekningen ovenfor Helvetesfossen (Restfelt)	57
5. Referanser	59
6. Vedlegg	60

Sammendrag

Denne rapporten sammenstiller grunnlagsdata til vurdering av vannførings- og arealforhold samt nedkjøring av vannføring i Tokkeåi. Dessuten vurderes vandringsforhold og en mulig passesjeløsning over Helvetesfossen.

Tokkeåi nedenfor Lio kraftverk

Vanddekt areal

Endringer i vanddekket areal er vurdert i 3 representative elvestrekninger nedenfor Lio (Gjesshylen, Buøy, Lindøy).

Beregningene viser at strekningen ved Gjesshylen (variert stryk, juv) reagerer litt forskjellig på vannføringsendringer enn de 2 nedre mer fluviale og flatere strekningene. Ved Gjesshylen er endring i vanddekt areal per m^3/s vannføring $\sim 4\%$ fra $2\text{--}3\text{ m}^3/\text{s}$, $\sim 2\%$ fra $3\text{--}5\text{ m}^3/\text{s}$ og $< 1\%$ over $5\text{ m}^3/\text{s}$. En reduksjon av vannføringen fra 10 til $6\text{ m}^3/\text{s}$ vil redusere vanddekt areal med 4% (421 m^2). En reduksjon fra 20 til $6\text{ m}^3/\text{s}$ reduserer arealet med 9% (1080 m^2).

I de to nedre strekningene, Buøy og Lindøy, er endring i vanddekt areal per m^3/s vannføringsendring: $2\text{--}4\text{ m}^3/\text{s} \sim 4\%$, $4\text{--}10\text{ m}^3/\text{s} \sim 2\%$ og $> 10\text{ m}^3/\text{s} < 1\%$. Reduseres vannføringen fra 10 til $6\text{ m}^3/\text{s}$, vil vanddekket areal i de to nedre strekninger reduseres med 6% (6036 m^2 Lindøy, 4621 m^2 Buøy), fra 20 til $6\text{ m}^3/\text{s}$ med 12% (13222 m^2 Lindøy, 9356 m^2 Buøy).

Vannføring

En reduksjon i vannføringen fra 22.34 til $16.30\text{ m}^3/\text{s}$ hadde en maksimal vertikal senkningshastighet på 10.8 cm/time i Gjesshylen, 5.4 cm/time ved Biblioteket og 3.6 cm/time i Asiahyl.

Nedkjøring fra $15.99\text{ m}^3/\text{s}$ til $10.33\text{ m}^3/\text{s}$ i løpet av 2 timer 15 min, førte til en maksimal vertikal senkningshastighet på 8.5 cm/time i Gjesshylen, 6.0 cm/time ved Biblioteket og 4.0 cm/time i Asiahyl. Denne nedkjøringen tilsvarer dagens selvpålagte restriksjoner.

Nedkjøring fra 14.97 til $9.80\text{ m}^3/\text{s}$ førte til en maksimal vertikal senkningshastighet på 4.2 cm/time i Gjesshylen, 2.7 cm/time ved Biblioteket og 2.2 cm/time i Asiahyl. Dette tilsvarer ca. 2x den selvpålagte nedkjøringstiden.

Nedkjøring fra 8.48 til $6.61\text{ m}^3/\text{s}$ hadde en maksimal vertikal senkningshastighet på 3.3 cm/time i Gjesshylen, 1.3 cm/time ved Biblioteket og 1.0 cm/time i Asiahyl.

I både grafisk og beregnet analyse av måledata, er det dokumentert effekter av flytende retensjon dvs. at vannstandsendringer (cm/time) blir mindre og bølgen er forsinket og endret med avstand fra kraftstasjonen.

I Norge og internasjonalt blir vertikal vannstandsending brukt som vesentlig indikator for strandingsrisiko for fisk.

Bakken et al. 2016 anbefaler nedkjøringshastigheter lavere enn 10 cm/time med fokus på anadrome vassdrag. Rapporten sier også at det fortsatt er fare for stranding av årsyngel om sommeren selv på lavere senkningshastigheter. I vassdrag der fiskebestandene er rekrutteringsbegrenset, konkluderer rapporten med at denne regelen er for svak og at «det bør vurderes i hvilken grad effektkjøring er tilrådelig».

I overvåkningstidsrommet var vertikale senkningshastigheter (3 nedkjøringsepisoder) ved alle loggere innenfor den nasjonale anbefalingen med 10 cm/time, unntatt en episode i Gjesshylen der nedkjøringshastighet var på 10.8 cm/time. Denne nedkjøringen stoppet derimot på vannføring over 10 m³/s.

Nye publikasjoner viser at også laterale senkningshastigheter (Hauer et al. 2017) og høy ruhet/grov kornstørrelse (Hauer et al. 2014) er vesentlige faktorer for strandingsrisiko. Det betyr at ved stor endring arealandel pga. endring i vannføring, er det høyere sannsynlighet for stranding hvis det er grovt substrat. Det henvises til grov kornstørrelse i strekningen fra Lio kraftverk til Buøy strekning (Pulg et al. 2018).

I en samlet vurdering av nedkjøringen bør disse faktorene inkluderes samt resultater fra el-fiske og overvåking av fiskebestanden inkludert andre arter.

Fiskepassasje forbi Helvetesfossen

For å utforme en passasjeløsning som er gunstig for storørret, foreslås en kulpetrapp med 53 cm høydeforskjell mellom kulpene. Med dette vil mindre fisk og andre arter ha vanskelig for å komme seg gjennom passasjen mens stor ørret kan passere. Passasjen kan enten bestå av en ca. 55 meter lang åpen kulpetrapp gjennom jettegryten i Helvetesfossen, eller en 50 meter lang tunnel rundt fossen. Begge de skisserte løsningsforslagene vil føre til behov for sprenging av ca. 300 m³ med masser. Kulpetrapp gjennom jettegryten i fossen vil ha best funksjonsevne ved vannføringer på mellom 1 – 8 m³/s, mens kulpetrapp i tunnel på mellom 1 – 15 m³/s. En åpen løsning vil sannsynligvis ha enklere men mer vedlikehold enn en løsning i tunnel. Begge løsningsforslag vil fungere for storørret og det anbefales å vurdere dette i samråd med myndigheter og etter praktiske forhold som tilkomst og fjellkvalitet.

Strekningen ovenfor Helvetesfossen (Restfelt)

Vandringsforhold:

Ovenfor Helvetesfossen finnes to vannføringsavhengige vandringshinder og en absolutt vandringsbarriere ca. 8 km oppstrøms fossen. De to vannføringsavhengige vandringshinderne storørreten vil møte på sin vandring oppstrøms Helvetesfossen, er en foss som er ca. 2.6 meter høy og et bratt fossestryk med ca. 10 % fallgradient.

Fossen (vandringshinder 1) er passerbar ved enkelte vannføringer, og ved estimert vannføring på 7 m³/s forventes det at storørreten kan svømme opp fossen. Dette hinderet krever derfor trolig ikke lokale tilpasninger for fiskevandring, men det anbefales å undersøke om fisken faktisk kommer seg opp her ved kun spesielle vannføringer.

Fossestryket (vandringshinder 2) har høy ruhet og en gradient som storørreten forventes å kunne vandre opp. Det finnes imidlertid mye trange spalter mellom blokkene som befinner seg i stryket, som kan medføre vansker på lav vannføring. Ut i fra dronofilm er det overfall av vann over blokkene ved vannføringer på 2.8 og 4 m³/s, hvilket indikerer at stryket er passerbart på disse vannføringene. Det kreves i så tilfelle heller ikke utforming av vandringsløsning ved dette hinderet. Det absolutte vandringshinderet er i form av en foss med ca. 4.6 meter høyde. Oppstrøms denne fossen er det ikke registrert gytemuligheter og ca. 500 meter oppstrøms denne finnes en minst 9 m høy foss som gjør at det ikke virker hensiktsmessig å gjennomføre tiltak ved det absolutte vandringshinderet.

Vannføring og vanddekt areal:

Tokkeåni ovenfor Helvetesfossen er dominert av varierte stryk og ligger i et juv. Det vanddekte arealet er ved 1 m³/s, ca. 90 % av middelvannføringens areal. Ved en kartlegging i restfeltet gjennomført på ca. 1.3 m³/s, ble det ikke registrert tørrlagte potensielle gyteområder (Pulg m.fl, 2018). Det ble ikke modellert vannføringer mindre enn 1 m³/s i dette forsøket.

1. Bakgrunn og målsetting

Tokkeåi ligger i Tokke og Vinje kommuner, og renner mellom innsjøene Totak og Bandak. Nedre Tokkeåi er viktig gyteelv for en kjent storørrestamme i Bandak/Vestvatna som har bevaringsbiologiske interesser. Tokkeåi er et kraftpåvirket vassdrag med endringer i det naturlige vannføringsregimet.

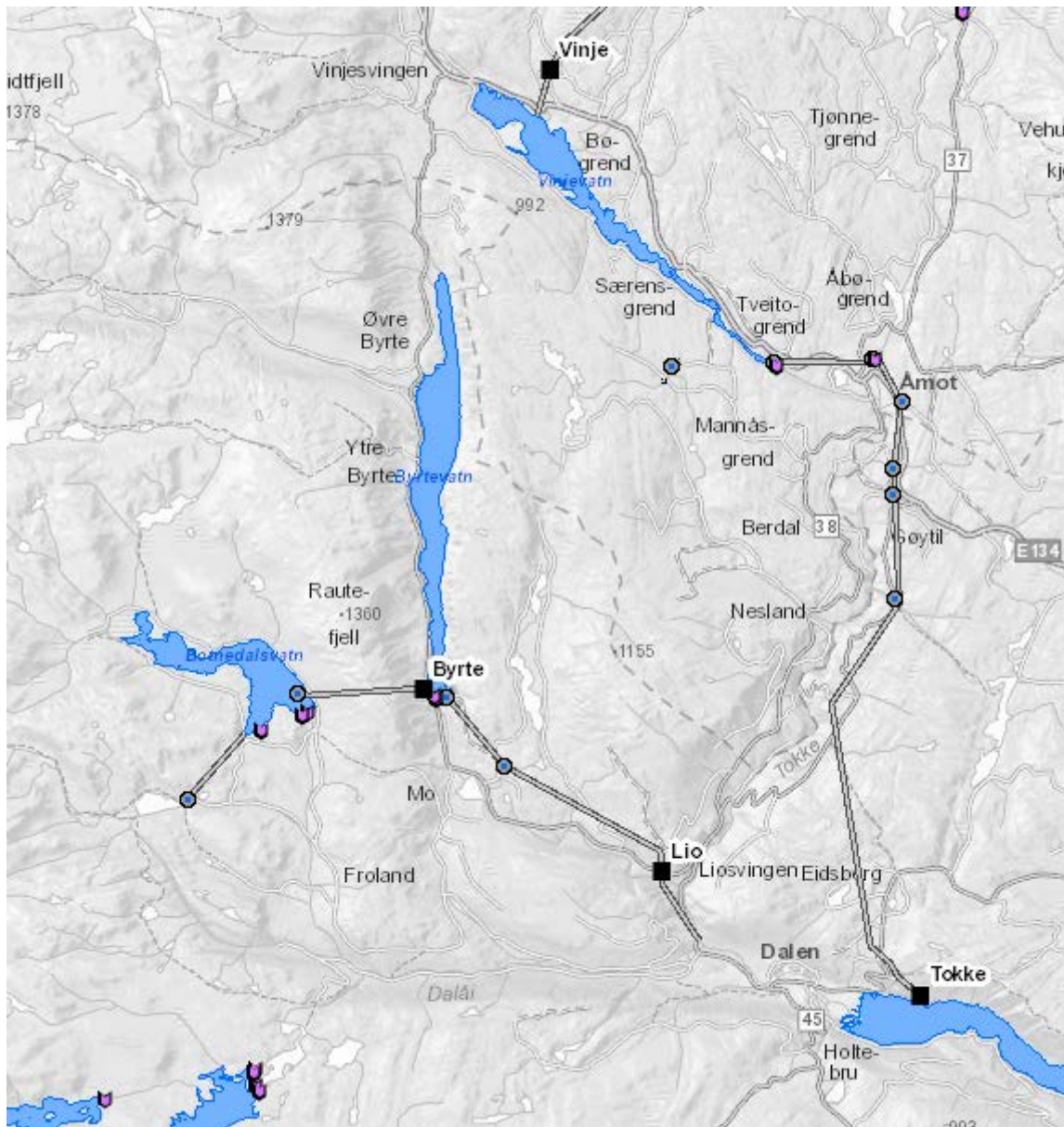
I restfeltet fra Vinjevatnet (Tveito dam) til Lio kraftstasjon, er vannføringen betydelig redusert. Det er ingen slipp av minstevannføring og vannføringen kommer fra naturlig tilsig i restfeltet.

Det er usikkerhet knyttet til spørsmål om restfeltet oppstrøms Helvetesfossen historisk har vært brukt som gyte- og oppvekstareal for storørret fra Bandak. Det er tidligere dokumentert endringer i terrenget i og nedstrøms Helvetesfossen som kan ha ført til økt fallhøyde. Dagens foss anses som et vandringshinder.

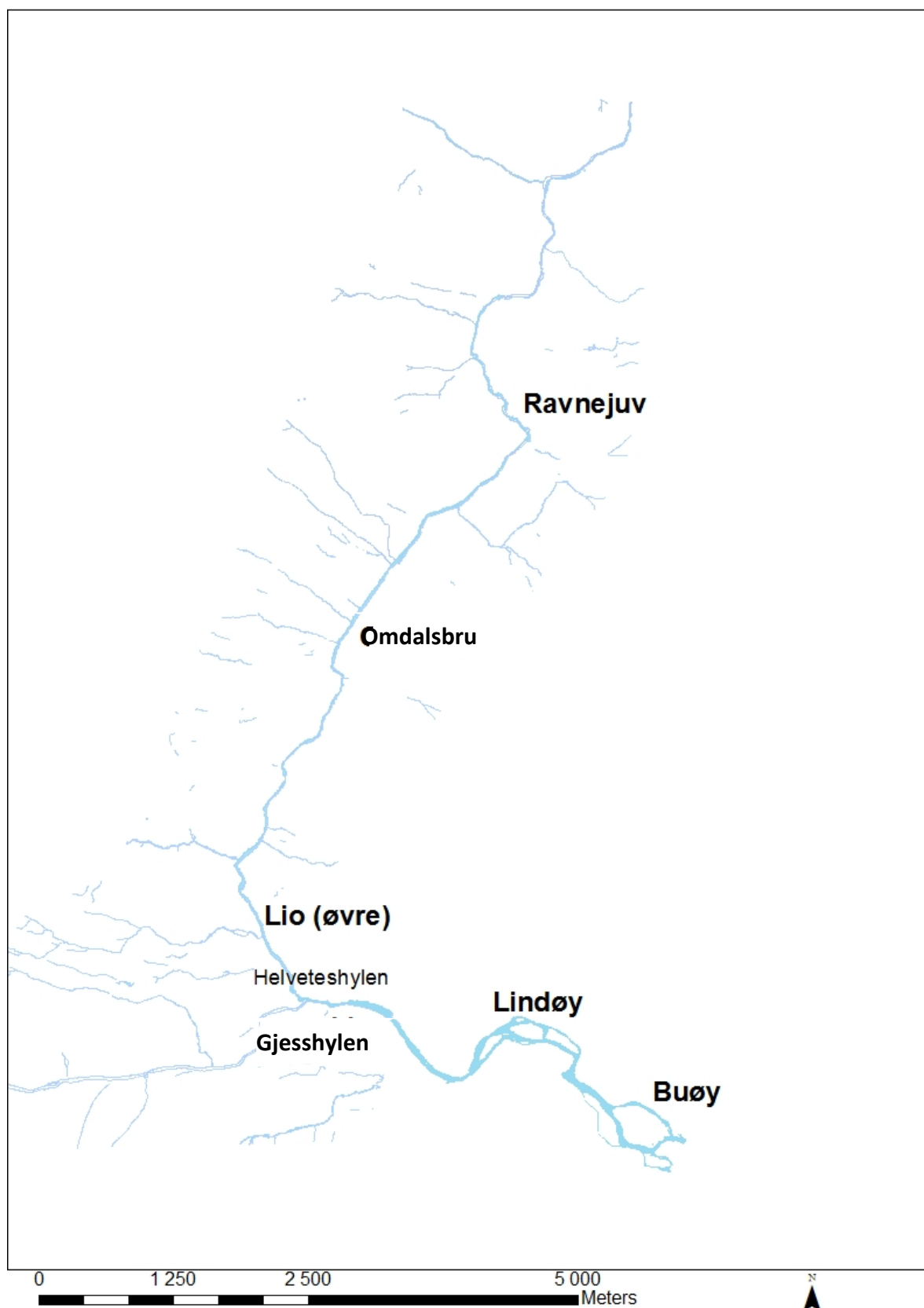
Utløpet av kraftstasjonen i elven ved Helvetesfossen, gjør at det kan forekomme endringer i vannføring og vannstand avhengig av kraftproduksjon (oversikt over utbygget vannkraft i **Figur 1**). Raske vannførings- og vannstandsendringer (nedkjøring) kan føre til blant annet stranding av fisk og bunndyr. Skeie (2017) konkluderer at den 5 km lange strekningen fra Lio kraftstasjon ned til Bandak er moderat påvirket av effektkjøring. **Figur 2** viser et kart over studieområdet og strekning som ble diskutert som historisk potensielt storørrethabitat.

Rapporten inneholder

- 1) Dokumentasjon av nedkjøringshastighet basert på sanntidsmåling av vannføring og vannstand. Modellering av forhold mellom vanndekket areal og vannføring i strekningen nedenfor Lio kraftverk.
- 2) Vurdering av vandringsmuligheter forbi Helvetesfossen med fokus på storørret.
- 3) Modellering av forhold mellom vanndekket areal og vannføring i strekningen ovenfor Helevetsfoss.
- 4) Vurdering av vandringsmuligheter i restfeltet ved forskjellige vannføringer med fokus på storørret. Få mer kunnskap om areal og forhold ved ulike vannføringer i restfeltet. Vurdere verdien for fisk (gyting, ungfisk) av områdene oppstrøms Helvetesfossen ved ulike vannføringer



Figur 1. Oversikt over utbygget vannkraft i Tokkeåi. Kilde: NVE Atlas

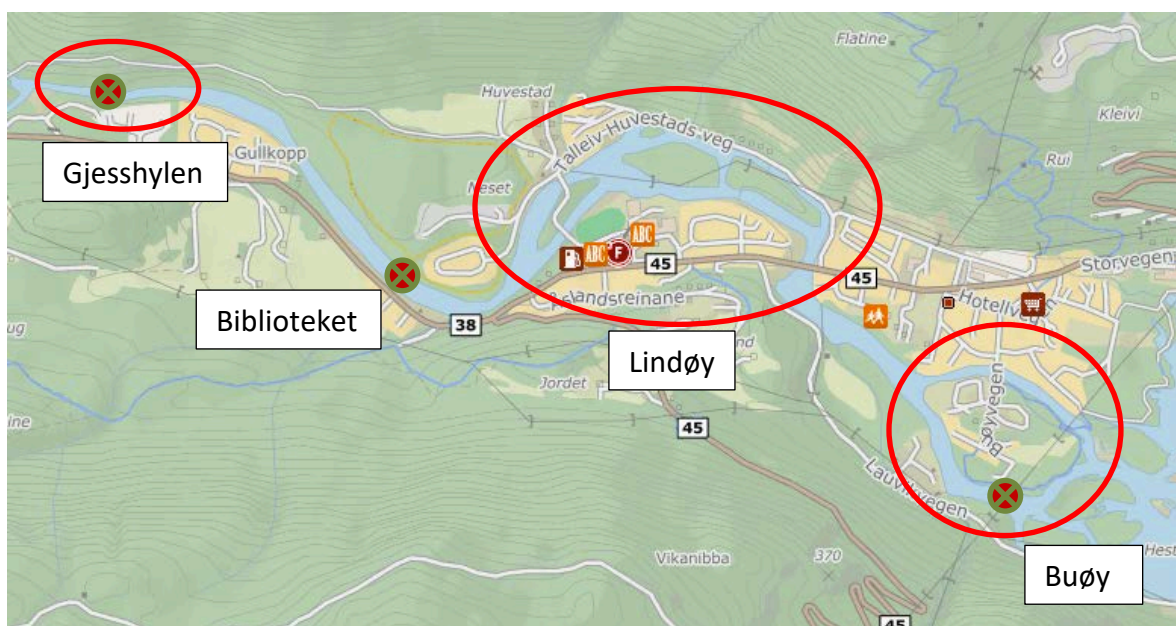


Figur 2. Kart over det som er diskutert som potensiell storørrestrekning med Helvetesfossen som dagens vandringshinder, restfelt og kraftpåvirket strekning.

2. Materiale og metoder

Nedenfor Lio kraftverk

Statkraft kjørte 2 forsøk med nedkjøring med forskjellige hastigheter. Den 30.6.2019 ble nedkjøringen utført etter dagens selvpålagte restriksjon som er over 2 timer og 15 min, mens det den 4.7.2019 ble benyttet dobbel nedkjøringstid. Det ble lagt ut vannstandsloggere (Solinst Levellogger, lufttrykkkompensert) i 3 høler langs Tokkeåni (Gjesshylen, Biblioteket, Asiahylen). Loggerne registrerte vannstanden hvert 5. minutt. Loggere ble lagt ut den 11.6. og har i tillegg registrert en nedkjøring kvelden 11.6.2019. Vannføringsdata ble målt ved Elvarheim, og disse finnes bare som timesverdier for totalvannføring og produksjonsvannføring i Lio kraftverk. For vurdering av endringer av vanddekket areal, ble det valgt 3 delstrekninger som anses som representative for elven (**Figur 3**). Delstrekning 1 er fra Lio kraftverk til stryket nedenfor Gjesshylen. Morfologisk sett er det variert stryk (Pulg et al. 2018). Delstrekning 2 er fra Hovedstadhylen til ca. Riksvei 45 bruene og tilsvarer en overgang mellom variert stryk og kulp-stryk type. Delstrekning 3 er deltaområdet rundt Buøy og tilsvarer kulp-stryk typen. Med dette er alle morfologiske typer til nedre Tokkeåni representert (se kartlegging i Pulg et al. 2018b). Resultater fra delstrekningene kan brukes for oppskalering til hele strekningen.



Figur 3. Oversikt over modellerte områder i kraftpåvirket strekning. Lokasjon av vannstandsmålere merket med grønt kryss.

Det ble modellert 15 ulike vannføringer (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 50 m³/s) med hydrodynamisk modelleringsapplikasjon HydroAS (Hydrotec). Modelleringen ble gjennomført todimensjonalt med 2 kalibreringsvannføringer (7 m³/s, 13.1 m³/s).

Det ble brukt grønn laser data (airborne laser bathymetry, ALB, levert av Statkraft) fra 2016 som grunnlagsdata for modelleringen. I områdene rundt habitattiltakene (terskeljusteringer) ble høydemodellen supplert med manuelle oppmålinger med RTK GPS (Trimble R6) og batymetri laget med structure from motion. Modellen ble kalibrert med vannflater (7.0 m³/s, 13.1 m³/s) som ble digitalisert fra structure from motion postprosessert ortofoto basert på droneflygning (DJI Phantom 4 RTK, Agisoft Metashape Pro). Middelvannføringen er ifølge Skeie (2017) 20 m³/s, og denne verdien ble brukt til å lage kurvene med prosentvis endring i vanddekket areal.

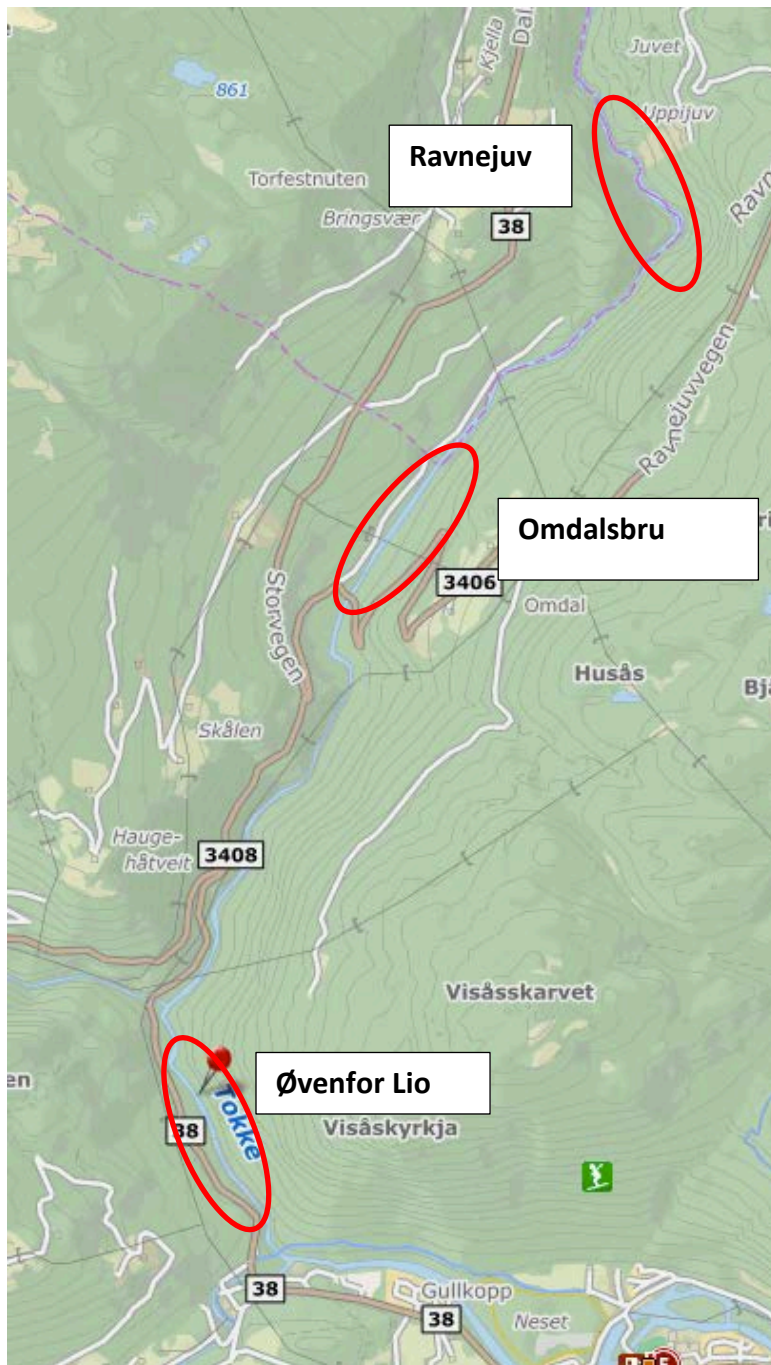
Helvetesfossen

Rød laser data fra kartverket (høydedata.no) og structure from motion postprosesserte dronebilder som ble tatt med Phantom 4 RTK drone (1.7.2019), ble brukt for å lage høydemodell og ortofoto som grunnlagsdata for vurdering av fiskevandring.

Strekning ovenfor Helvetesfossen (restfelt)

2d modellering og kalibrering med Hydro As ble brukt sammen med grunnlagsdata fra structure from motion postprosessert ortofoto og batymetri basert på droneflygning (DJI Phantom 4 RTK, Agisoft Metashape Pro). Vannføring ved droneflygning i restfeltet (2.7.2019) ble målt av NORCE LFI/Sebastian Stranzl med saltfortynningsmetoden (NaCl, 7 kg) med WTW 3430 ved Omdals bru. I tillegg ble det levert dronefilm tatt av Statkraft for kalibrering av modellen og vurdering av fiskevandring.

Det ble modellert 3 områder og 15 vannføringer (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 50 m³/s) i restfeltet som anses som representative for hele strekningen (**Figur 4**). Middelvannføring i de siste 10 årene (2.98 m³/s) ble brukt til å lage kurvene med prosentvis endring i vanddekket areal i restfeltet. Vannføringsdata for hydrologiske analyser ble laget av Statkraft hydrolog Asgeir Petersen-Øverleir ved å estimere andel av vannføring i strekning ovenfor Lio kraftverk til 44 % av tilsig av hele restfeltet ved Elvarheim målestasjon og inneholder vannføringsdata fra 2008 til 2018. I følge Statkraft kan modellert vannføringen være betydelig større i perioder med mye nedbør grunnet overløp ved bekkinntakene eller når vann slippes fra Tveito eller Byrtevatn.



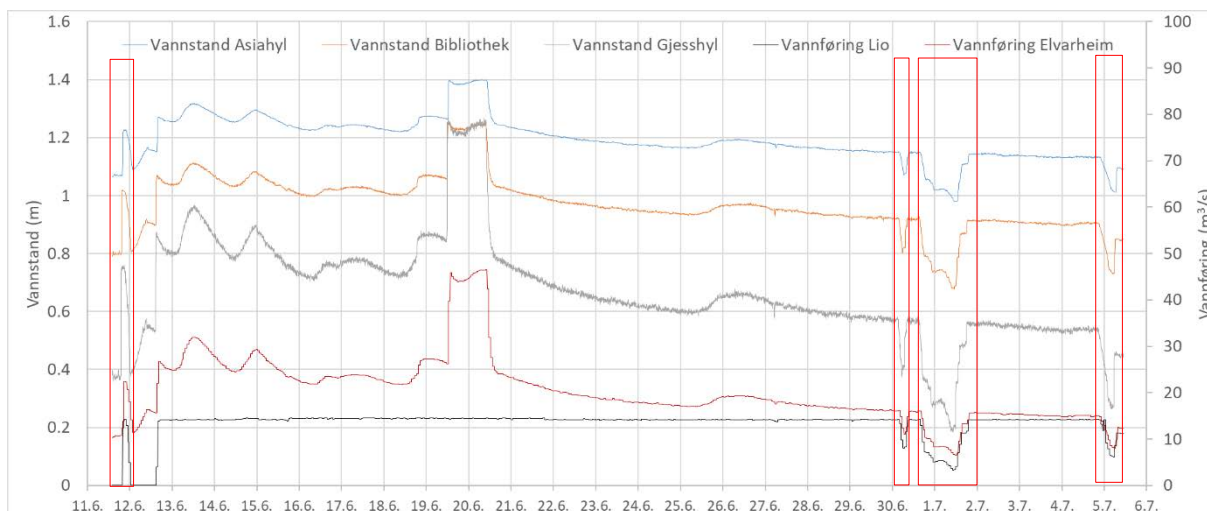
Figur 4. Oversikt over modellerte områder i restfeltet.

3. Resultater

Nedenfor Lio kraftverk

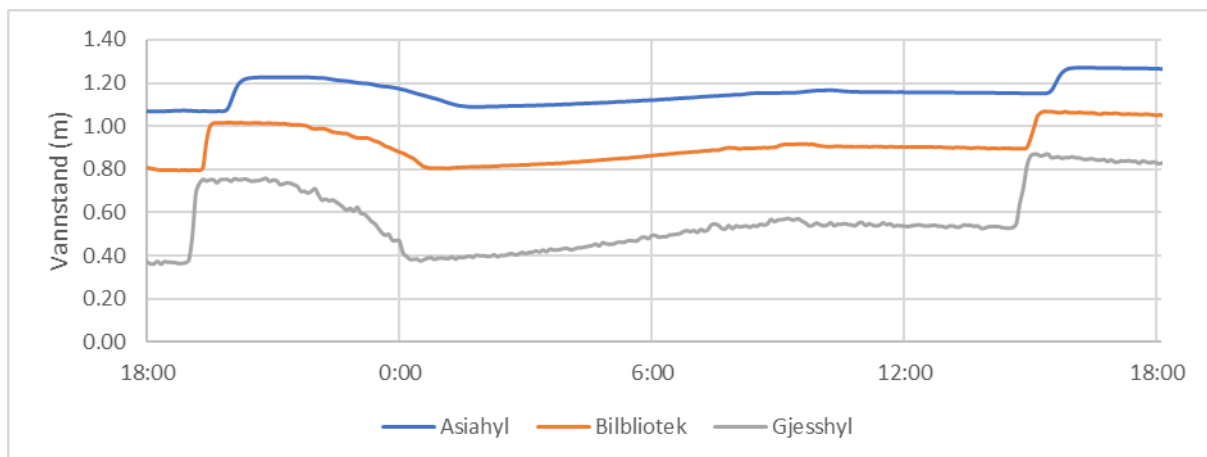
Nedkjøringsforsøk

I overvåkingsperioden mellom 11.6. til 6.7.2019, ble det registrert vanlig kraftverksdrift og de to nedkjøringsforsøkene (innenfor selvpålagte restriksjoner i vassdraget i de siste årene) (**Figur 5**). Det ble også registrert variasjon i vannføring uten endring av produksjon i kraftverket. Spesielt utpreget er variasjonen den 19.6. (11:30, 26.21 m³/s) der vannføring stiger bratt til 43.84 m³/s. Vannføringen synker så igjen den 20.6. kl. 11:00 fra 42.38 til 24.05 m³/s kl. 16:30.



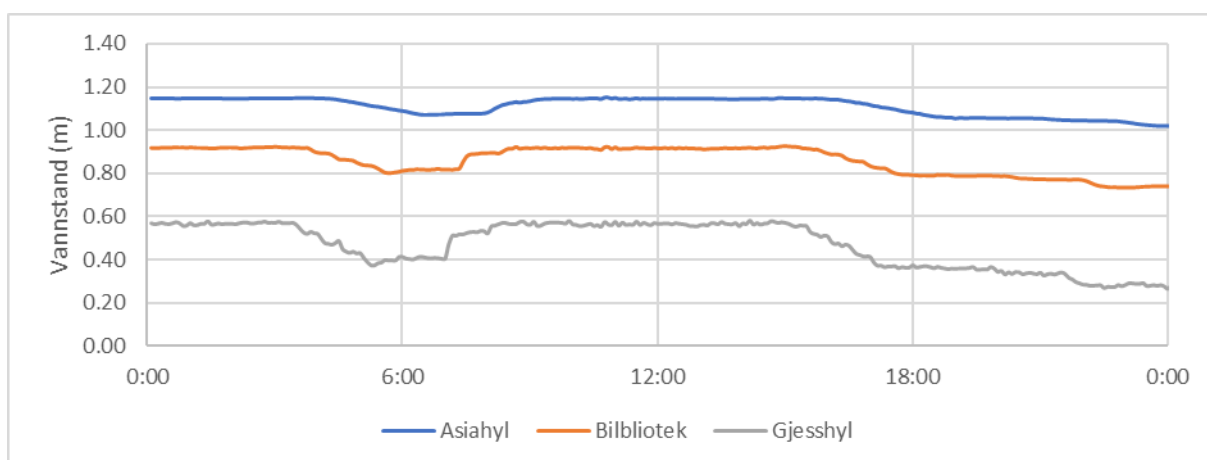
Figur 5. Oversikt over vannføringsdata og vannstand i overvåkingsperioden. Nedkjøringsepisoder er merket med rødt.

Første nedkjøring (11.6.2019 21:00 – 12.6.2019 02:00) er vist i **Figur 6**. Vannføring (ved Elvarheim) ble i denne perioden redusert fra 22.34 til 11.44 m³/s. Vannstandsloggerne registrerte i denne perioden en nedkjøringshastighet på 3.6 cm per time i Asiahyl, 5.4 cm per time ved biblioteket og 10.8 cm per time ved Gjesshylen.



Figur 6. Nedkjøring mellom 11.6.2019 21:00 – 12.6.2019 02:00.

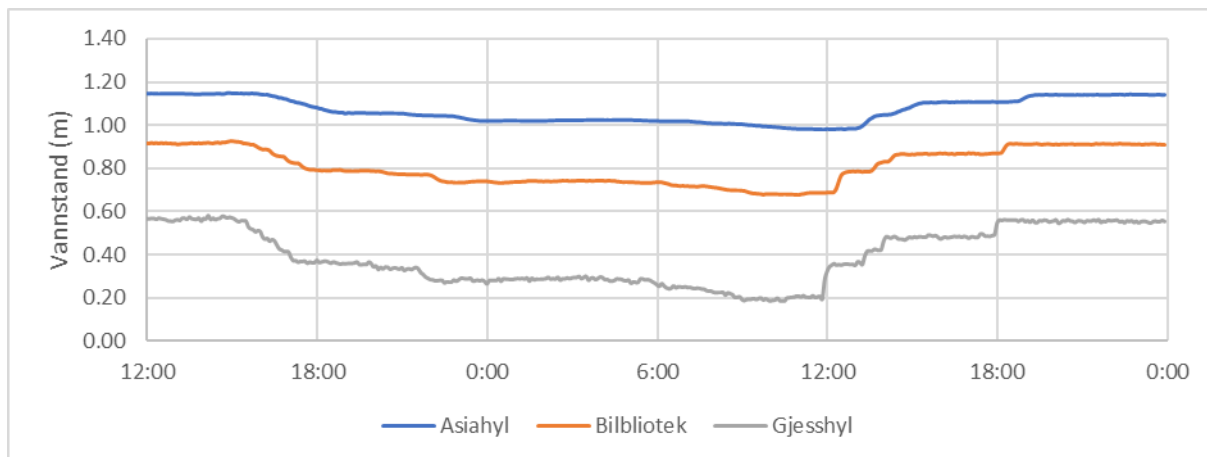
Den 30.6.2019 var det 3 nedkjøringsepisoder. Den første var fra 03:30 til 06:30 der vannføringen ved Elvarheim ble redusert fra 16.13 m³/s til 11.05 m³/s. Vannstandskurven er vist i **Figur 7**. Vannstandsloggerne registrerte i denne perioden en nedkjøringshastighet på 1.8 cm per time i Asiahyl, 2.4 cm per time ved biblioteket og 5.4 cm per time ved Gjesshylen.



Figur 7. Vannstandskurve for første nedkjøring 30.6.2019.

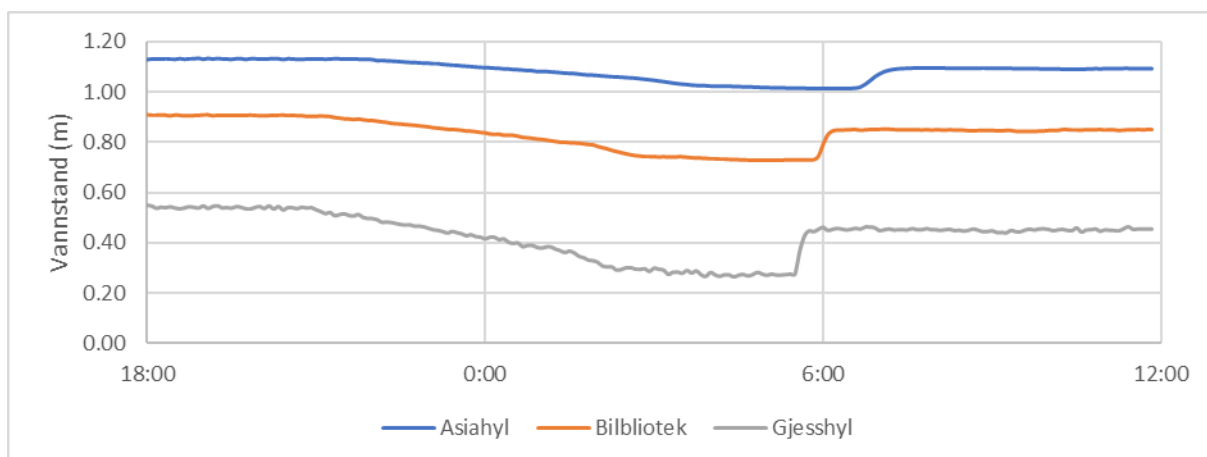
Ved den andre nedkjøringen (første nedkjøringsforsøk av Statkraft), 30.6.2019, var det planlagt å kjøre kraftverket ned fra vanlig drift (15.99 m³/s den dagen) til selvpålagt minstevannføring (6 m³/s) med dagens nedkjøringsregime. Grunnet styringsfeil ble vannføringen redusert fra 15.99 til 10.33 m³/s mellom 15:00 og 17:15 som tilsvarer selvpålagt regimet. Nedkjøringshastighet i denne perioden var 4 cm per time i Asiahyl, 6 cm per time ved biblioteket og 8.5 cm per time ved Gjesshylen. Nedkjøringen videre skjedde saktere enn selvpålagt regimet: 21:30 til 22:30 fra 10.04 til 8.3 m³/s, tilsvarende 2 (Asiahyl), 2.5 (Biblioteket) og 5 (Gjesshylen) cm per time (**Figur 8**).

Den tredje trinn i denne nedkjøringen varte fra 1.7.2019 kl. 05:00 til 09:00 der vannføringen ble redusert fra 8.48 til 6,61 m³/s. Nedkjøringshastigheten var da 1.0 cm per time i Asiahyl, 1.3 cm per time ved biblioteket og 3.3 cm per time ved Gjesshylen.



Figur 8. Vannstandskurve for andre og tredje nedkjøring 30.6.2019.

Den 4.7.2019 ble det andre nedkjøringsforsøket gjennomført av Statkraft (**Figur 9**). Vannføring ble redusert fra 14.97 til 9.8 m³/s. Det ble registrert nedkjøring mellom 4.7.2019 kl. 21:00 og 5.7.2019 kl. 02:00. Nedkjøringshastigheten var 2.2 cm per time i Asiahyl, 2.7 cm per time ved biblioteket og 4.2 cm per time ved Gjesshylen, som tilsvarer ca. dobbelt nedkjøringstid. Etter kl. 02:00 til kl. 04:00 ble vannføringen videre redusert til 8.02 m³/s, med senkningshastighet på 0.0 cm per time i Asiahyl, 1.0 cm per time ved biblioteket og 1.5 cm per time ved Gjesshylen.



Figur 9. Vannstandskurve for nedkjøring den 4.7.2019.

Vanndekket areal

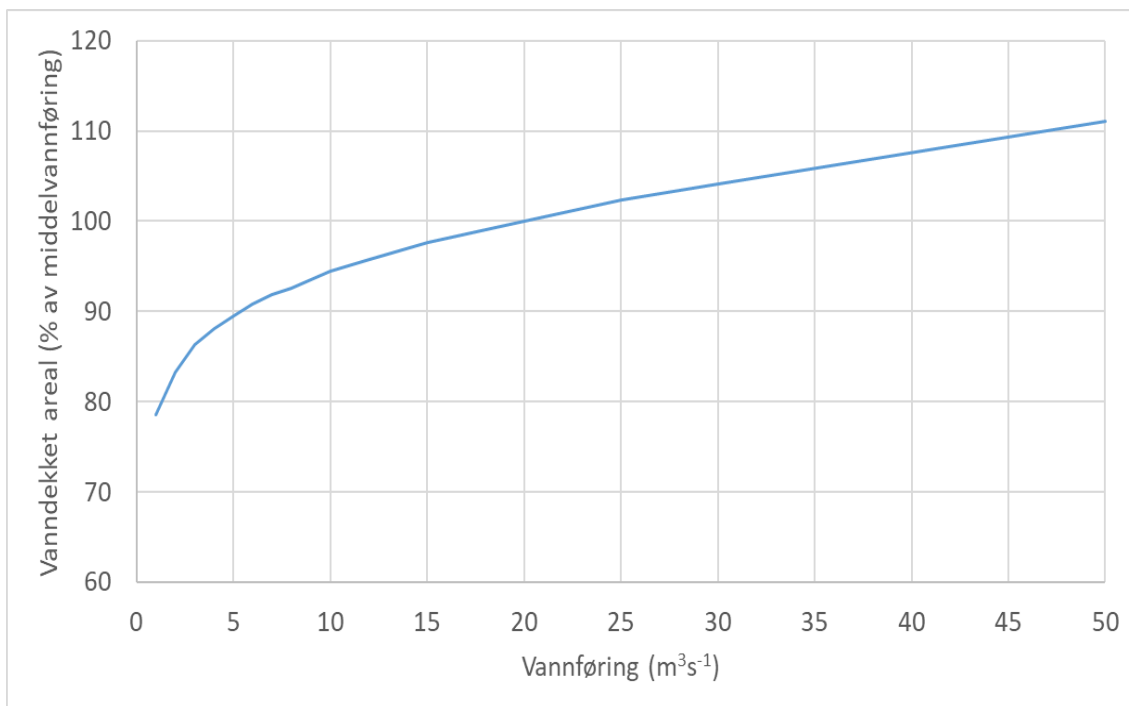
Gjesshylen

Resultatene fra den hydrauliske modelleringen av vanndekket areal er vist i **Tabell 1**. Modellen er kalibrert med to dronebaserte oppmålinger (se kap. metoder). Vanndekket areal øker med 3-4 % per m³/s når vannføring øker fra 1 til 3 m³/s. Videre opp til 5 m³/s er det en økning med rundt 2 % per m³/s. Over 5 m³/s er arealøkningen ca. 1 % per kubikk og fra 10 m³/s er arealøkningen lavere enn 1% (**Figur 10, Tabell 1**). Vannlinjer og områder med mye tørrlegging er vist i **Figur 11** og **Figur 12**.

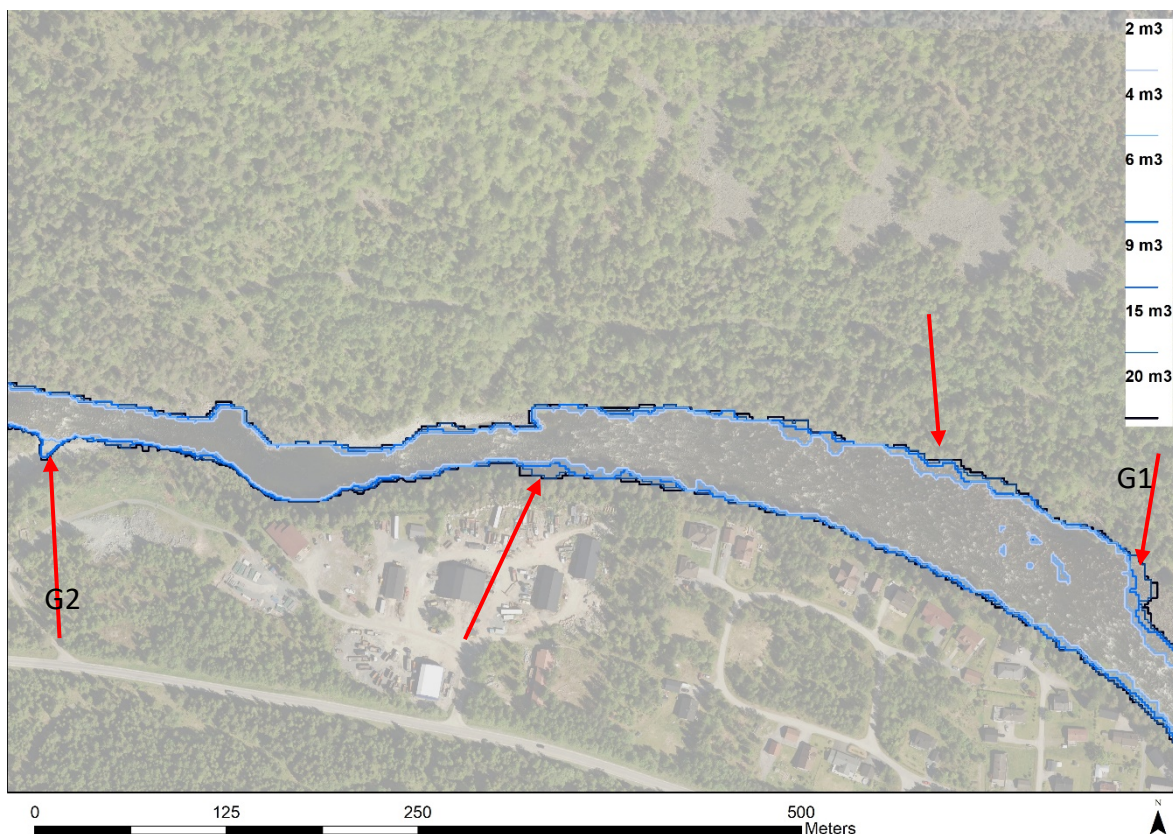
Areal-vannføringsforhold følger tilnærmet ($R^2 = 0.982$) logaritmisk forløp ($y = \text{areal (m}^2\text{)}$, $x = \text{vannføring (m}^3\text{/s)}$) med formel $y = 924.61 \ln(x) + 9057.5$.

Tabell 1. Vanndekket areal ved gitt vannføring (merk at vannføring over 10 m³/s i tabell har ulike avstander), prosentvis arealandel i forhold til middelvannføring og arealendring i m² per 1 m³/s endring i vannføring.

Q (m ³ /s)	Areal (m ²)	Arealandel i forhold til middelvannføring (%)	Arealendring (m ²) per 1 m ³ /s endring i vannføring
1	9227	79	
2	9785	83	558
3	10138	86	353
4	10351	88	212
5	10518	90	167
6	10669	91	151
7	10795	92	126
8	10868	93	74
9	10987	94	119
10	11090	94	103
12	11247	96	78
15	11470	98	74
20	11749	100	56
25	12017	102	54
30	12237	104	44
50	13051	111	41



Figur 10. Arealandel i % av arealet av middelvannføring

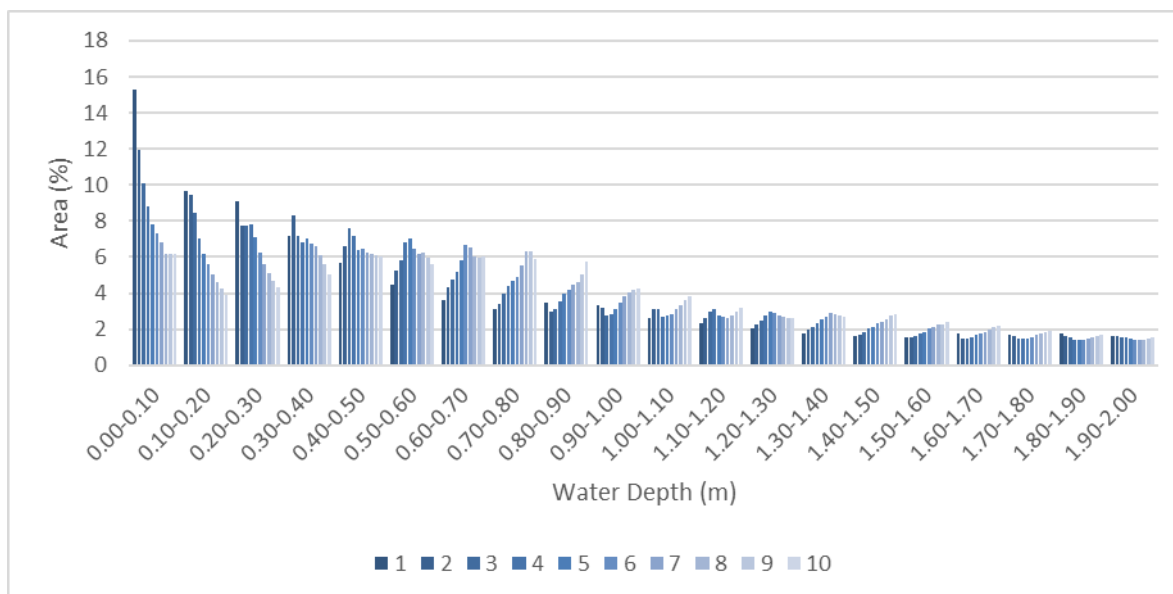


Figur 11. Vannlinjer modellert for 6 forskjellige vannføringer ved Gjesshylen. Områder som er utsatt for tørrlegging er merket med røde piler. G1 og G2 også merket i **Figur 12**.



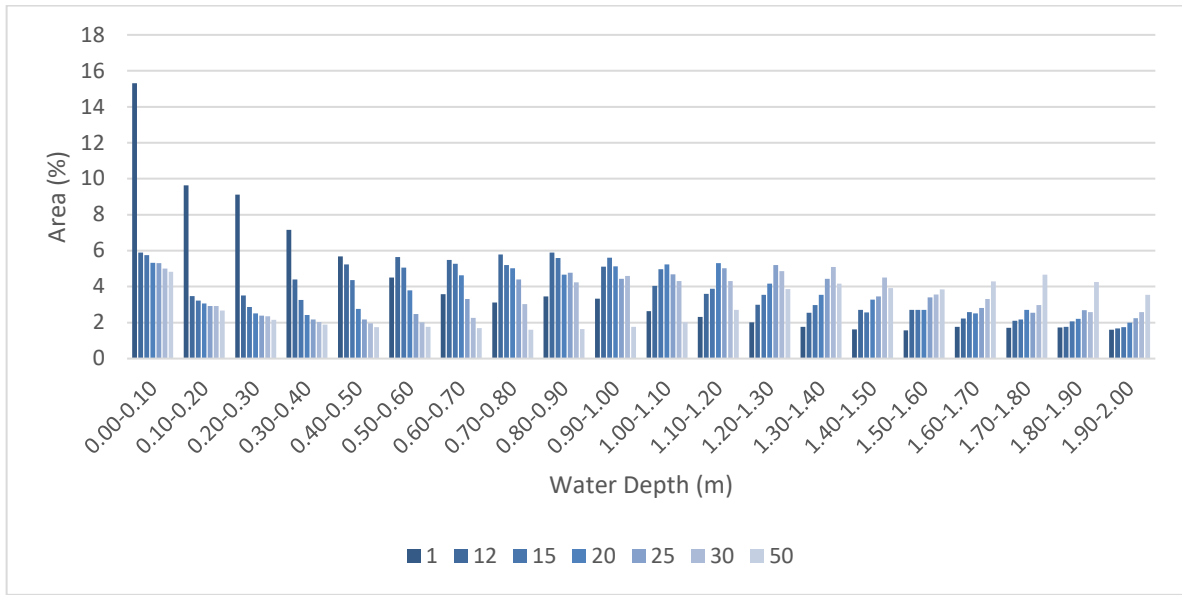
Figur 12. Flybilde av strykområdet nedenfor. Gjesshylen tatt av Statkraft ved $6.81 \text{ m}^3/\text{s}$ (14.3.2019). Venstre: Bakevje G2 faller tørt under $6 \text{ m}^3/\text{s}$, ellers lite endring i vanddekket areal (bratte kanter). Høyre: G1 ligger under vann ved høyere vannføringer.

Ved Gjesshylen medfører vannføringer fra $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ til $5 \text{ m}^3/\text{s}$ hovedsakelig vanndybder mellom 0 og 0,5 m, men dybden kan være mer enn 2 m i kulper. Ved økt vannføring øker også vanndybde. Mellom $5 \text{ m}^3/\text{s}$ og $10 \text{ m}^3/\text{s}$ øker den gjennomsnittlige vanndybden til omtrent 1 m (**Figur 13**).



Figur 13. Arealandel med vanndybder fra modellering ved Gjesshylen på vannføringer mellom 1 – $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

I sammenligning mellom lav vannføring ($Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$) og de høyere vannføringene ($Q = 12 \text{ m}^3/\text{s} - 50 \text{ m}^3/\text{s}$), er det klare forskjeller i vanndybde. Mens de første 4 klassene (0 - 0,4 m vanndybde) dominerer i lavt vann, er de dominerende klassene for høyere vannføringer 0,8 m - 2 m (**Figur 14**).

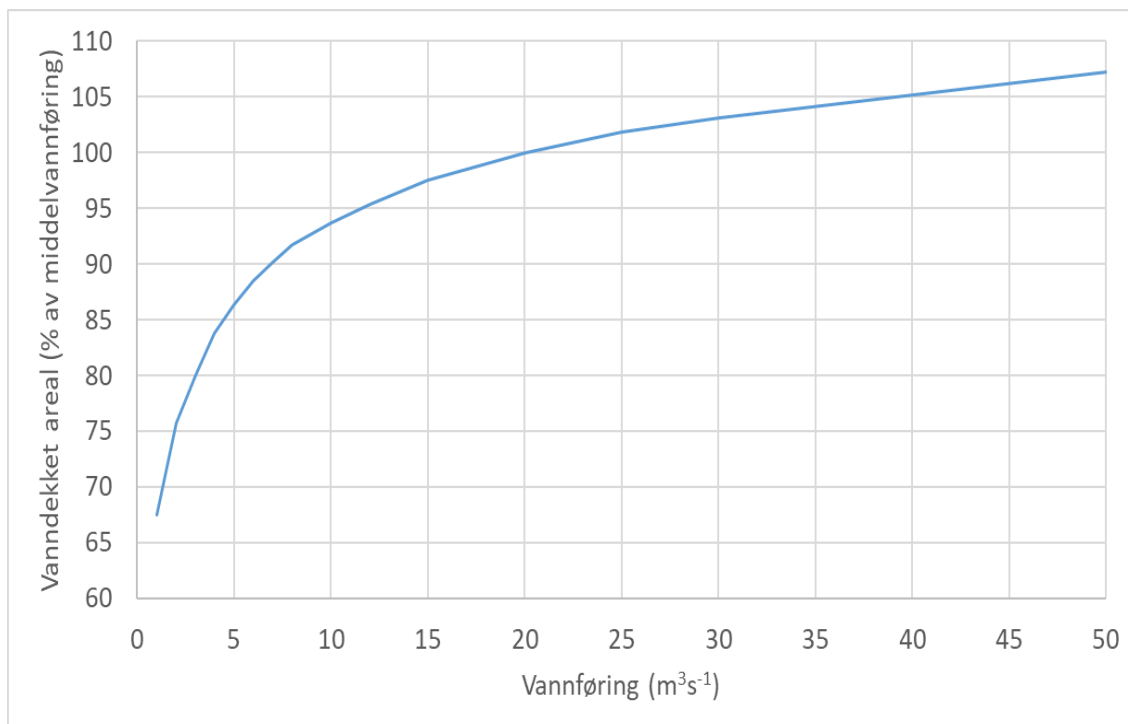


Figur 14. Vanddekt areal og vanddybde fra modellering ved Gjesshylen på vannføringer 1, 12, 15, 20, 30 og 50 m³/s.

Lindøy

Analysen av det vanndekte arealet ved Lindøy gir følgende areal-vannføringsforhold formel: $y=11707\ln(x) + 79431$ og $R^2 = 0.9908$ (y = areal (m^2), x =vannføring (m^3/s)). Dette tilsvarer en endring på 4 % arealendring per m^3/s mellom $1 m^3/s$ og $4 m^3/s$. Det er en økning på ca. 2 % opp mot $9 m^3/s$ før det avtar gradvis til ca. 1 % og mindre (**Figur 15, Tabell 2**).

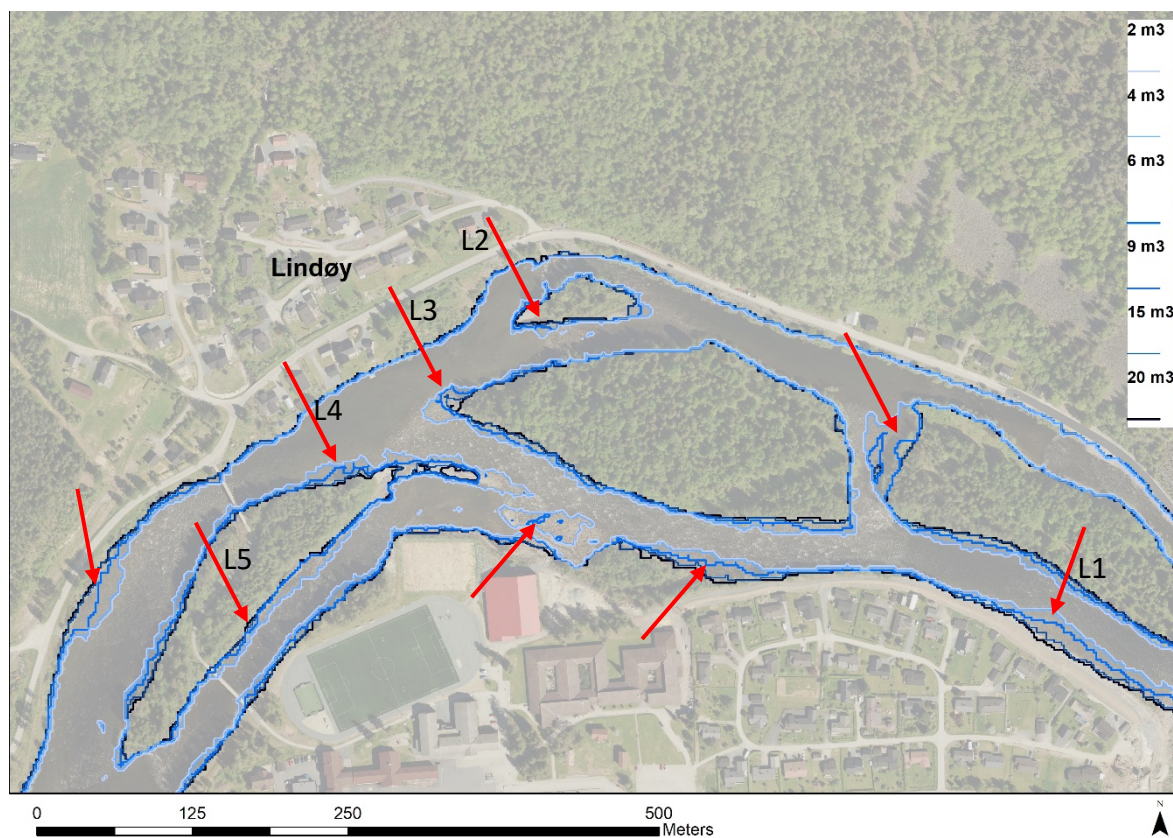
Figur 16 og **Figur 17** viser vannlinjer og særlig utsatte områder ved nedkjøring.



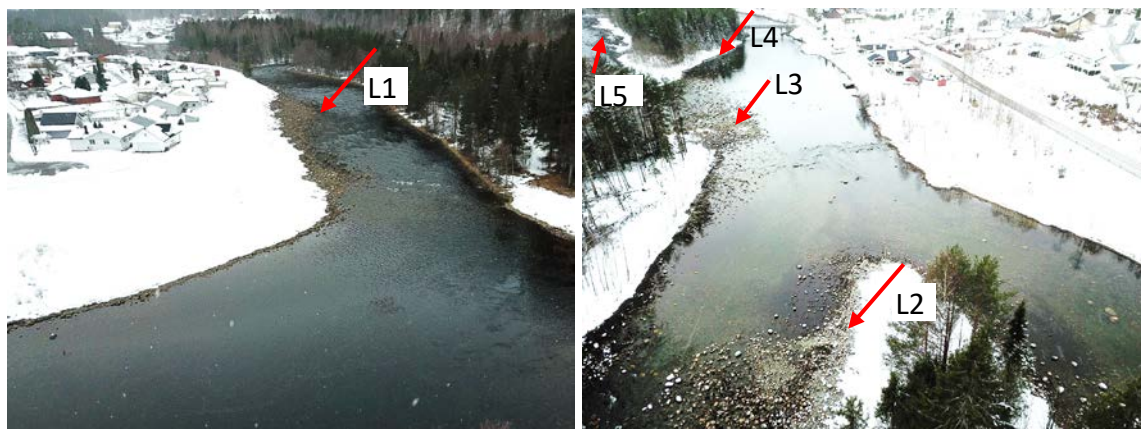
Figur 15. Vanndekt areal sett i forhold til vannføring ved Lindøy.

Tabell 2. Vanndekket areal ved gitt vannføring (merk at vannføring over 10 m³/s i tabell har ulike avstander), prosentvis arealandel i forhold til middelvannføring og arealendring i m² per 1 m³/s endring i vannføring.

Q (m ³ /s)	Areal (m ²)	Arealandel i forhold til middelvannføring (%)	Arealendring (m ²) per 1 m ³ /s endring i vannføring
1	77249	67	
2	86728	76	9480
3	91676	80	4948
4	95964	84	4288
5	98886	86	2922
6	101323	88	2437
7	103312	90	1989
8	105033	92	1721
9	106224	93	1192
10	107359	94	1135
12	109281	95	961
15	111751	98	823
20	114545	100	559
25	116624	102	416
30	118094	103	294
50	122855	107	238

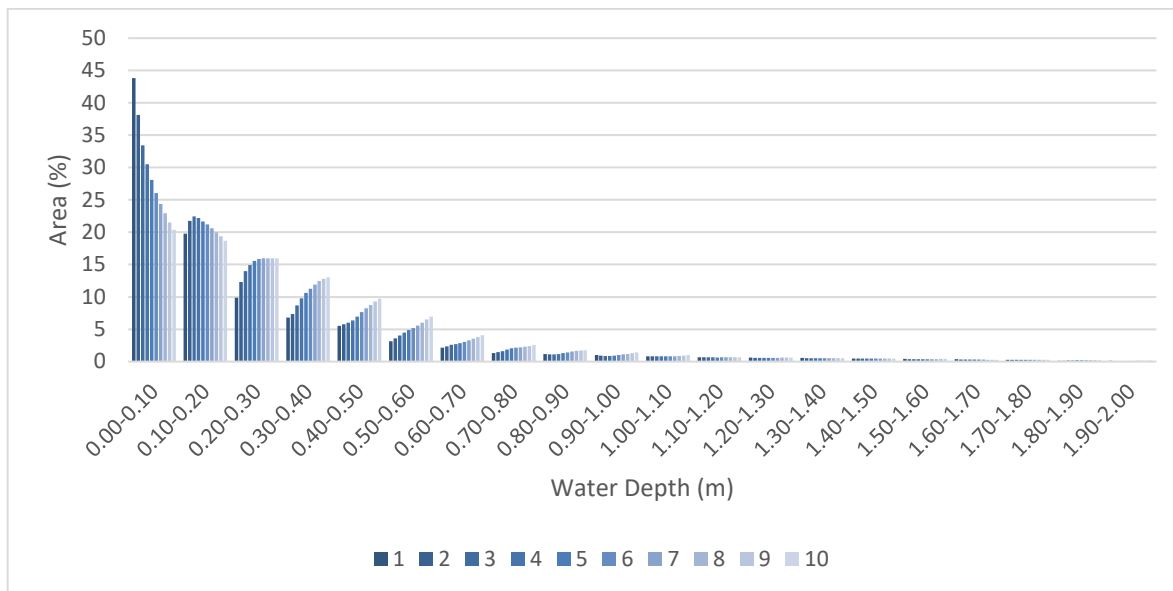


Figur 16. Vannlinjer modellert for 6 forskjellige vannføringer ved Lindøy. Pilene viser områder som er særlig utsatt for tørrelegging ved nedkjøring av Lio kraftverk. Flybilder av L1-L5 i **Figur 17**.



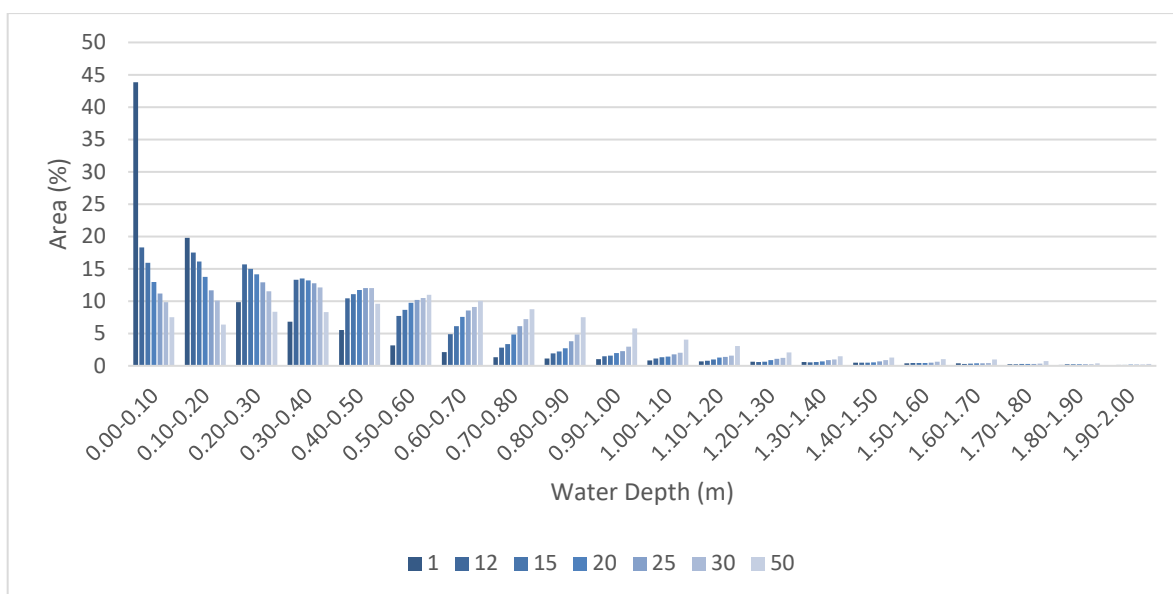
Figur 17. Venstre: stor flate med rullestein (L1) som faller tørt på 6 m³/s. Høyre: Grusbanker L2-L4 og rullesteinkant (L5) som faller tørt på 6 m³/s. Flybilde tatt av Statkraft på 6.81 m³/s (14.3.2019).

Ved analyse av vanndybde ved Lindøy, vises den største forskjellen i vanndybdefordelingen mellom vannføringer på 1 m³/s og 3 m³/s. Mens vanndybde mellom 0,1 m og 0,2 m dominerer ved de minste vannføringene, registreres hovedsakelig vanndybde mellom 0,3 – 0,9 m ved vannføringer fra 3 m³/s (**Figur 18**).



Figur 18. Vanndekt areal og vanndybde fra modellering ved Lindøy på vannføringer 1 - 10 m³/s.

Et lignende bilde viser seg i sammenligningen av lavvannsituasjoner (Q = 1 m³/s) og høyere vannføringer (Q = 12 – 50 m³/s). Ved lavvann dominerer klassene 0,0 - 0,2 m. Ved høyere vannføringer finnes det imidlertid vanndybde mellom 0,4 m og 1,1 m (**Figur 19**).

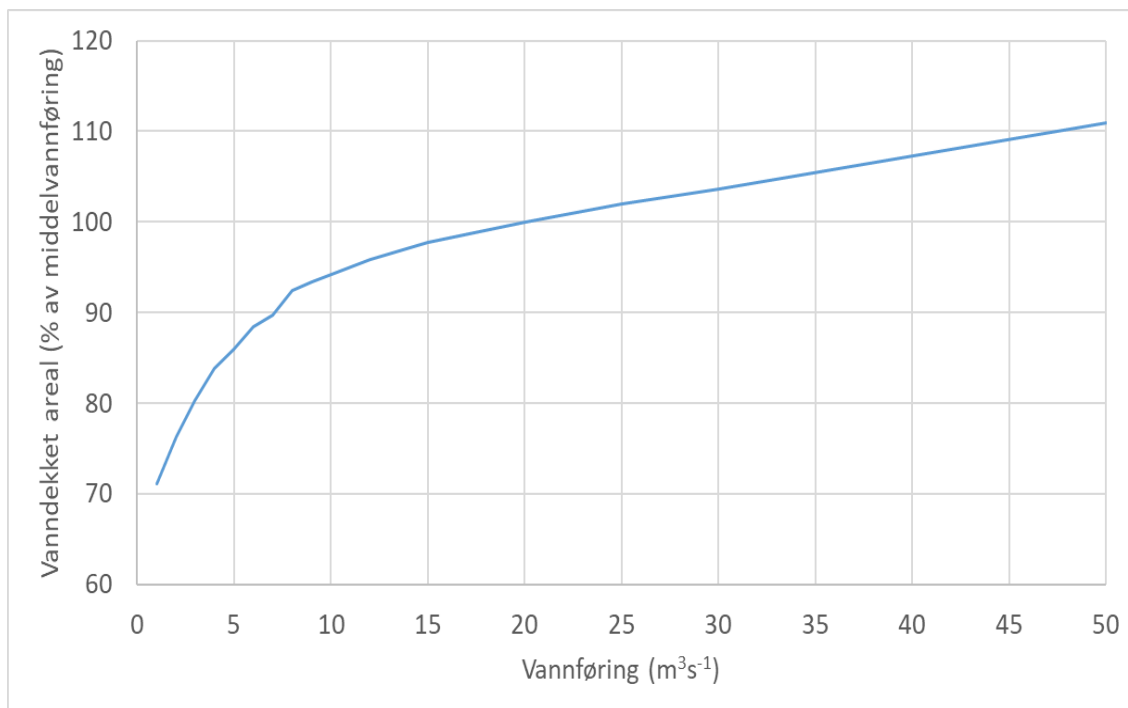


Figur 19. Vanndekt areal og vanndybde fra modellering ved Lindøy på vannføringer 1, 12, 15, 20, 30 og 50 m³/s.

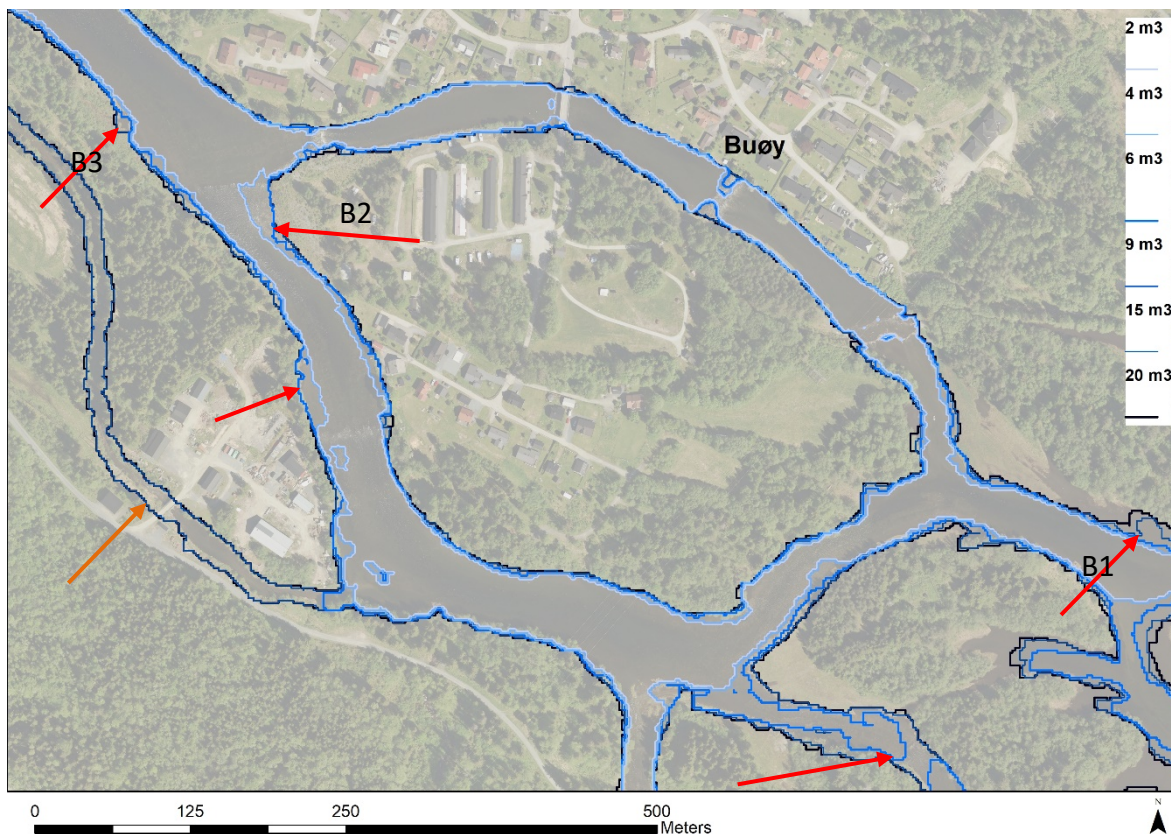
Buøy

Forholdet mellom vanndekt areal og vannføring ved Buøy tilsvarer formel: $y=8265.4\ln(x)+56881$ og $R^2 = 0.9944$, y = areal (m^2), x =vannføring (m^3/s).

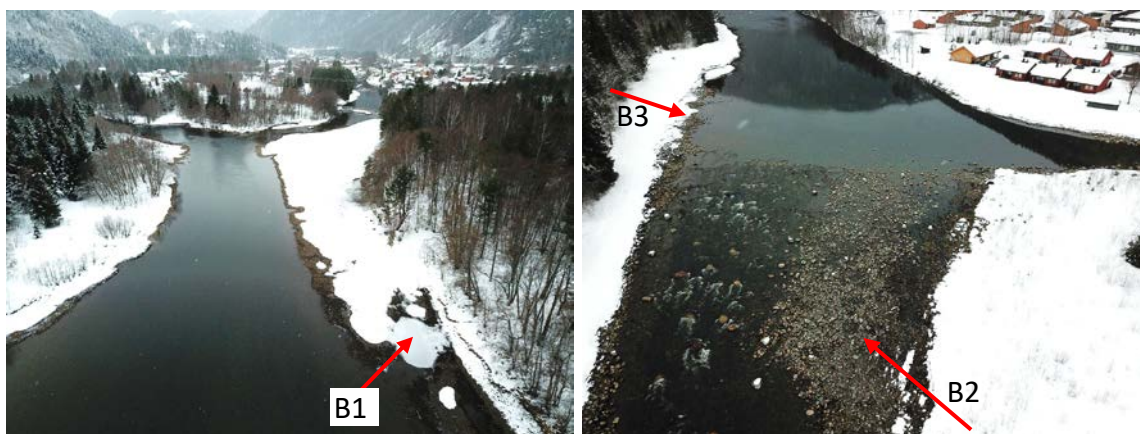
Modellen viser en økning av vanndekket areal over 4 % per m^3/s ved en vannføringsendring fra 1 m^3/s til 4 m^3/s . Opp til 9 m^3/s er det en økning på 2 % per m^3/s . Deretter avtar økningen gradvis (**Figur 20, Tabell 3**). Vannlinjer og områder som er særlig utsatt til tørklegging ved nedkjøring, er vist i **Figur 21** og **Figur 22**.



Figur 20. Vanndekt areal i forhold til vannføring ved Buøy.



Figur 21. Vannlinjemodeller for 6 forskjellige vannføringer ved Buøy. Pilene viser områder som er utsatt for tørrlegging ved nedkjøring av Lio kraftverk. Den nedre pilen viser sideløp som faller helt tørt under $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Sideløpet merket med oransje pil faller tørt trolig grunnet feil i høydemodell og er derfor tatt ut av analysen.

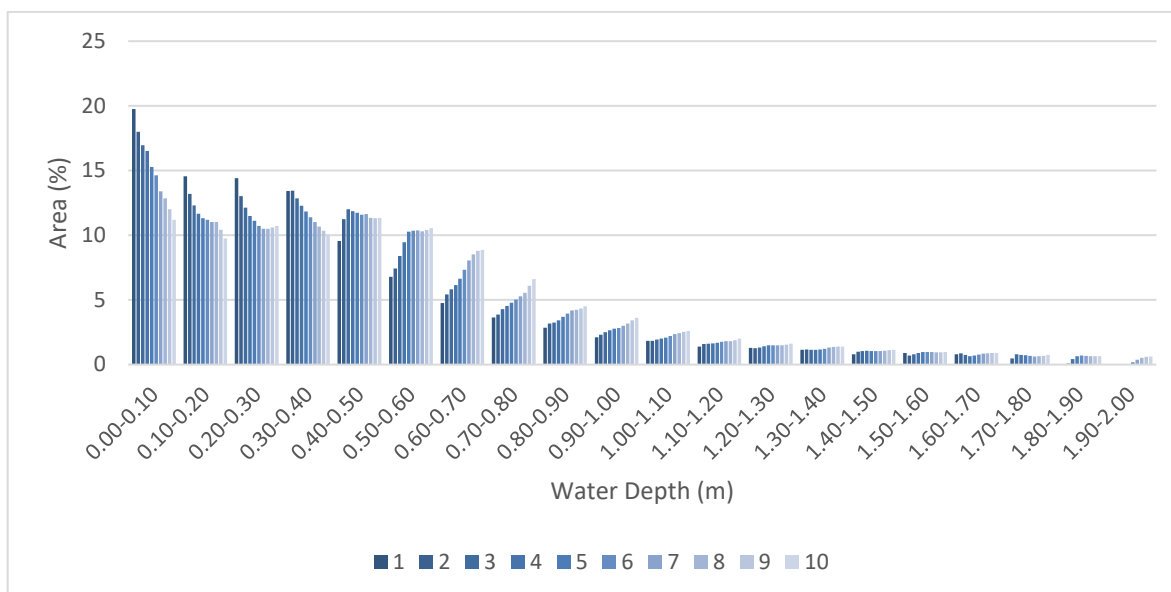


Figur 22. Venstre: flate med grus (B1) som faller tørt ved $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Høyre: Steinbanker B2 og B3 faller tørt på $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Flybilde tatt av Statkraft på $6.81 \text{ m}^3/\text{s}$ (14.3.2019).

Tabell 3. Vanndekket areal ved gitt vannføring (merk at vannføring over 10 m³/s i tabell har ulike avstander), prosentvis arealandel i forhold til middelvannføring og arealendring i m² per 1 m³/s endring i vannføring.

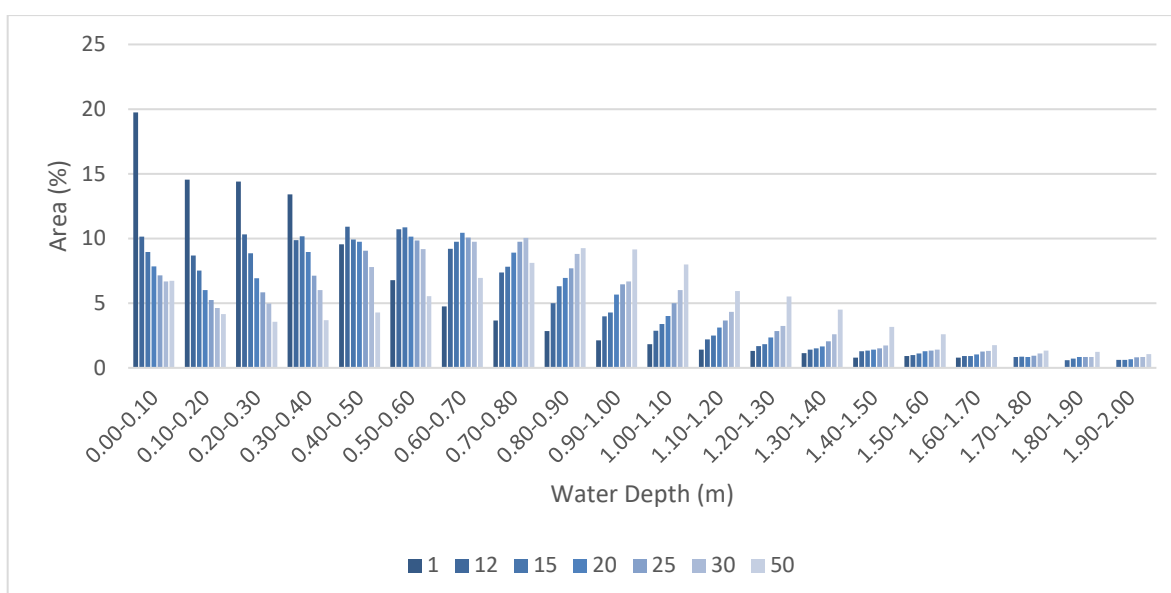
Q (m ³ /s)	Areal (m ²)	Arealandel i forhold til middelvannføring (%)	Arealendring (m ²) per 1 m ³ /s endring i vannføring
1	57665	71	
2	61900	76	4235
3	65181	80	3281
4	68028	84	2847
5	69768	86	1740
6	71806	88	2037
7	72863	90	1058
8	75007	92	2143
9	75824	93	817
10	76427	94	603
12	77773	96	673
15	79341	98	523
20	81162	100	364
25	82804	102	328
30	84105	104	260
50	90026	111	296

Analysen av vanndybder ved Buøy, viser hovedsakelig vanndybder mellom 0,1 m og 0,6 m ved vannføringer opp til 5 m³/s. Vannføringer over 6 m³/s medfører vanndybder på mellom 0,3 m til 1,1 m. Maksimumsverdier finnes i kulper på over 2 meters vanndybde.



Figur 23. Vanndekt areal og vanndybde fra modellering ved Buøy på vannføringer 1 - 10 m³/s.

Sammenligningen av lavvannssituasjoner og de høyere vannføringene, viser en tydelig forskjell i vanndybdefordelingen. Ved lavvann dominerer vanndyp opp til 0,4 m, mens ved høyere vannføringer finnes det hovedsakelig vanndybder mellom 0,5 m og 1,1 m. I kulper kan vanndybden være mer enn 2 m (**Figur 24**).



Figur 24. Vanndekt areal og vanndybde fra modellering ved Buøy på vannføringer 1, 12, 15, 20, 30 og 50 m³/s.

Helvetesfossen

Toppen av Helvetesfossen ble målt til kote 113.26 med drone. Vannspeil i kulpen ovenfor denne fossen der det kan være aktuelt med vanninntak til fiskepassasjen, er på kote 113.40 for begge overflygninger med drone. Vannføringen i restfeltet ble målt til 887 L/s ved Omdalsbru, i tillegg kommer noe naturlig tilsig fra restfeltet.

Droneflygningen viste at ved produksjonsøkningen i Lio kraftstasjon fra 3 til 11 m³/s, så økte vannspeilet nedenfor fossen (i Helvetshylen) fra kote 95.61 til kote 96.09, dvs. en økning på 48 cm i overflaten.

Med dette ble høydeforskjellen mellom vannspeilene ovenfor og nedenfor Helvetesfossen, målt til 7.17 m og 7.65 m avhengig av vannføringen nedstrøms fossen. Dette stemmer bra overens med tidligere målinger gjort på oppdrag for Tokke Kommune, der fossen ble målt til 7.03 m (Stranzl et al. 2018). Verdiene illustrerer at det forekommer relevante endringer i foss høyde allerede for små endringer i vannføringen.

Hvis det skal bygges fiskepassasje i Helvetesfossen, bør inngangen (nederst) ligge langs hovedstrømmen fra fossen. Den ideelle inngangen hadde vært nært kraftutløpet, men dette lar seg ikke gjøre topografisk ettersom det ikke er verken tilkomst eller plass der. Med en vannstrøm langsmed hovedstrømmen fra fossen, vil storørreten lettere finne veien til inngangen av passasjen. Inngangen bør også ligge slik at den minst mulig er utsatt for massetransport under flommer. Det ble derfor valgt å flytte den ut av området der droneflybilder viser sedimentering av grus. Det ble valgt kulpetrapp siden det var ønske om å planlegge en trapp som har fordeler for storørret. Niøye, små ørret og ål vil ikke kunne passere.

En kulpetrapp vil kunne lages slik at det hovedsakelig er store gytefisk som vil kunne passere trappen. Løsningen er også gunstig med tanke på at det er trangt og bratt terreng i området, og vil holde sprengningsbehovet lavt.

Figur 25 viser 2 mulige traseer for en fiskepassasje forbi Helvetesfossen. Det ble vurdert kulpetrapp i fossen gjennom jettegryten og tunnel forbi fossen. **Figur 28** viser lengdesnitt gjennom kulpetrapp. Avhengig av spranghøyde mellom kulpene og vannspeilforskjellen man dimensjonerer trappen for, vil det være behov for ca. 12-15 kulper for å passere Helvetesfossen. 13 kulper vil sørge for passerbarhet fra medianvannføring og økte vannføringer. Dette gjelder både kulpetrapp i foss og i tunnel.

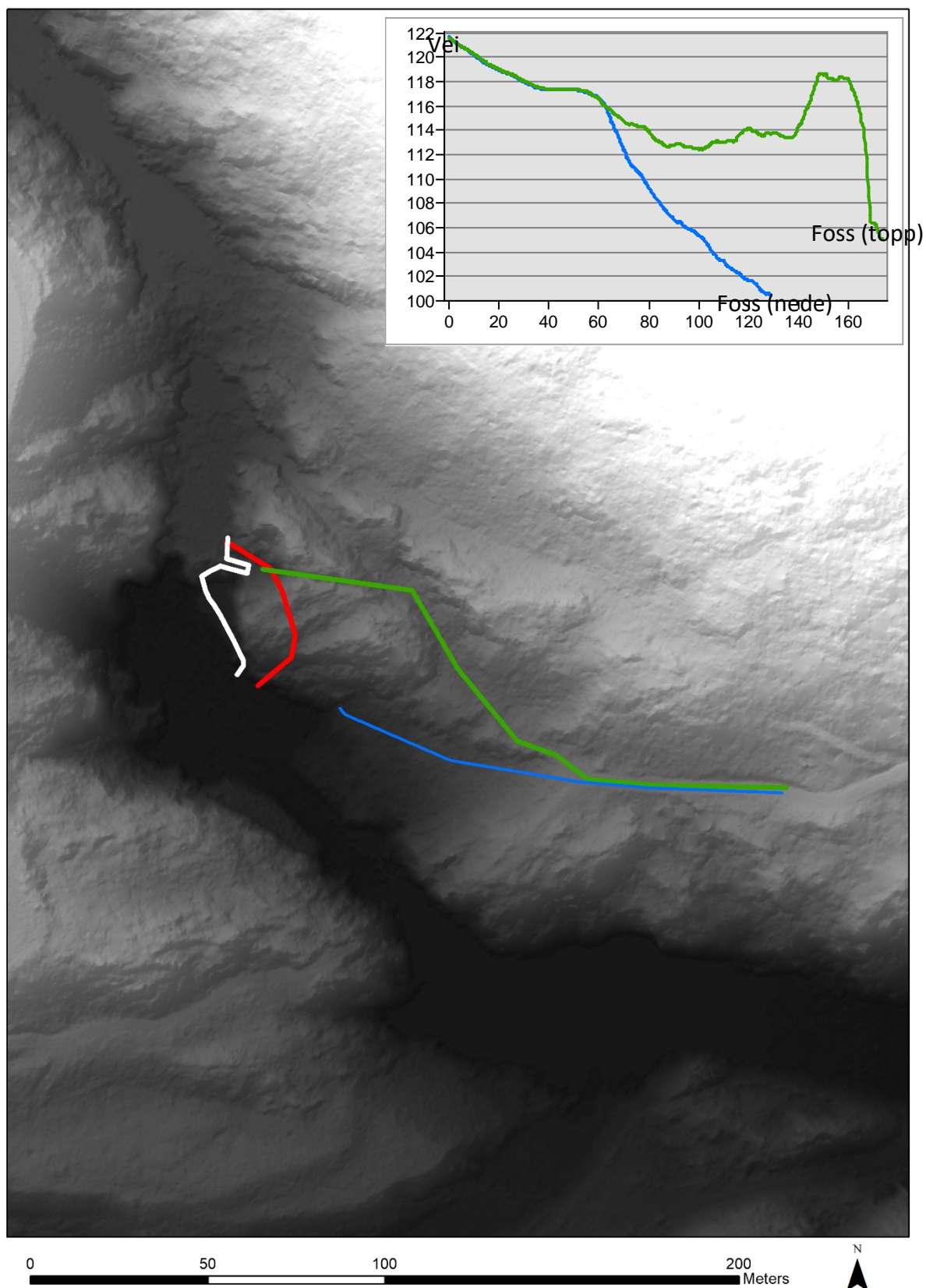
Med 14 sprang vil trappen i selve fossen ha en lengde på 55 m, der en del av traseen går gjennom jettegryten. I jettegryten er det trolig ikke behov for sprengning, men det kan være nødvendig med noe støp. Lages passasjen med en bredde på 2.5 m og kulper med minst 0.8 m dybde, vil det være behov sprenging av ca. 200 m³ masser i fjellet ovenfor jettegryten. I tillegg må det sprenges ca. 100 m³ masser nedenfor jettegryten. Samlet sett gir dette

behov for sprengning av ca. 300 m³ med masser. Denne løsningen vil kunne dimensjoneres slik at den virker fra 1 til ca. 8 m³/s. Ved høyere vannføringer vil vann strømme over passasjen og det blir trolig for stor energitetthet i passasjen for oppvandring av fisk. Denne løsningen vil trolig ha mer vedlikeholdsbehov enn tunnelløsningen siden det kan legge seg trær og stein i passasjen under flommer.

Løsning i tunnel må være minst 50 m lang for at fisken skal kunne passere fallhøyden. Det støpes kulpetrapp i sprengt tunnel, med spranghøyder på 0.5 m og 3 m lange kulper. Med en bredde på minst 2.5 m vil det være behov for ca. 300 m³ med masser. Om det er behov for vedlikehold inne i tunnelen, må man ta ut mer masse (estimert 420 m³) og mer støp. Det trengs massiv inntaksstruktur som hindrer skader ved storflommer. Løsningen vil kunne dimensjoneres slik at den virker fra 1 til ca. 15 m³/s hvis det lages spalteformet inntak. Ifølge Statkraft vil denne løsningen bli mer krevende grunnet sikkerhetsrettlinjer ved arbeid og vedlikehold i tunnel.

Begge løsninger har behov for sprengning av ca. 300 m³ masser. Basert på erfaringer i andre fiskepassasjer, kan det estimeres ca. 10.000 NOK per m³ konstruksjonsvolum. Dette tilsvarer 3.000.000 NOK. Siden det er usikkerhet med tanke på tilkomst og fjellkvalitet i dette prosjektet, regner vi med at kostnader for å lage en fiskepassasje forbi Helvetesfossen kan doble seg. Vi antar derfor at en passasje vil kunne lages for ca. 6 millioner kroner med en usikkerhet på +/- 50 %. Det anbefales å lage permanent tilkomstvei for vedlikehold.

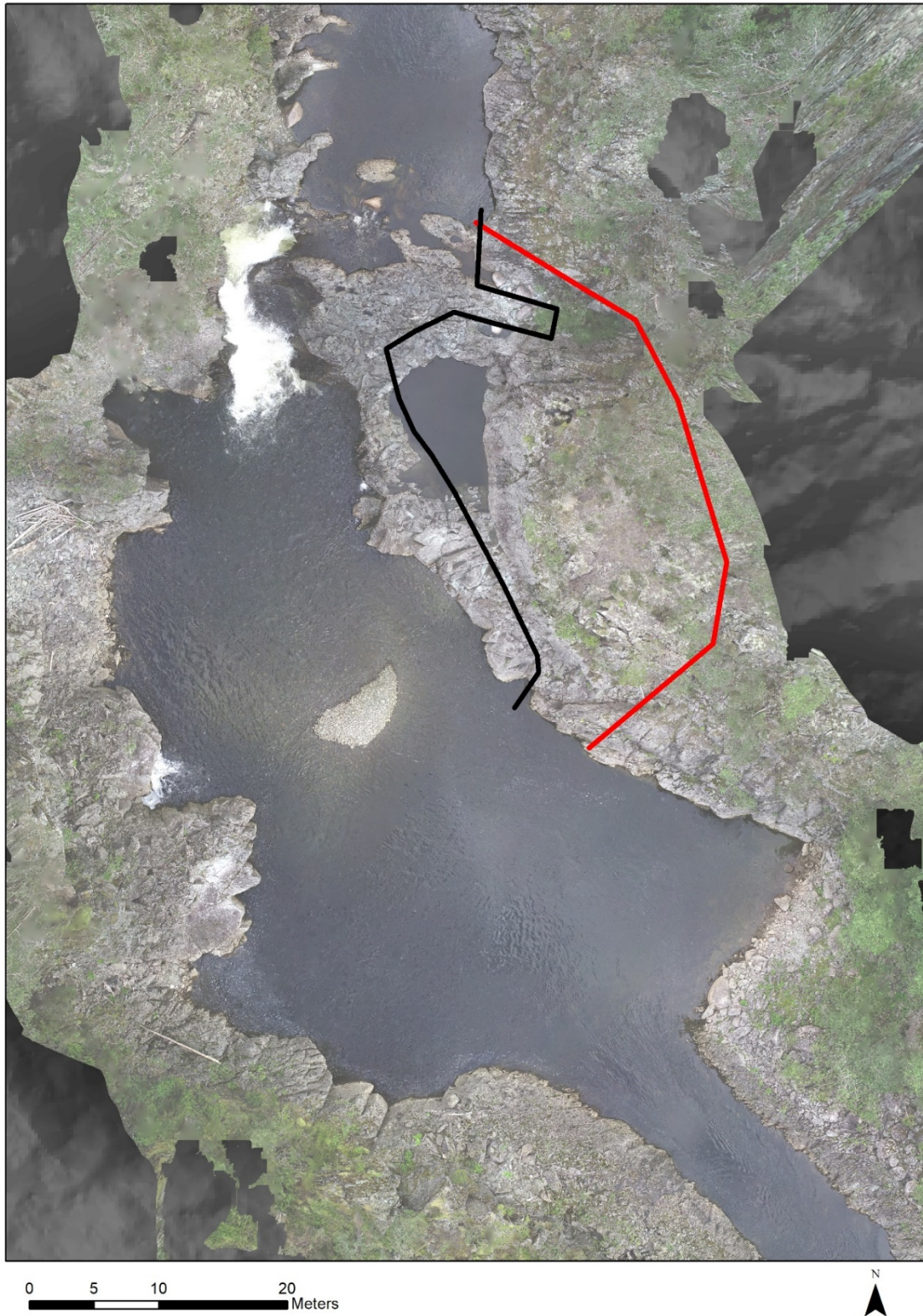
To mulige tilkomstveier finnes via Huvestadveien på østsiden av fossen. Huvestadveien er kjørbær med lett utstyr, men ikke f. eks. med betongbil (Jostein Kristiansen, pers. kom. 27.8.2019). Plan av tilkomstveier og lengdeprofiler er vist i Figur 26 og Figur 27. Velges vei til toppen av fossen (grønn profil), er det behov for sprengning av rampe/tunnel for å komme seg over/under berget. For veien til nedsiden av fossen er det behov for å lage rampe og noen terrengtilpasninger. Tilkomst med utstyr og materialer kan sannsynligvis også gjennomføres med helikopter eller flåte via Helvetshylen. Det forventes at arbeidet må gjennomføres om vinteren grunnet sikkerhetshensyn (flommer). Det er derfor lagt inn 50 % usikkerhet i kostnadsestimat. Detaljene rundt tilkomst og timing må drøftes med entreprenør og de rette myndigheter.



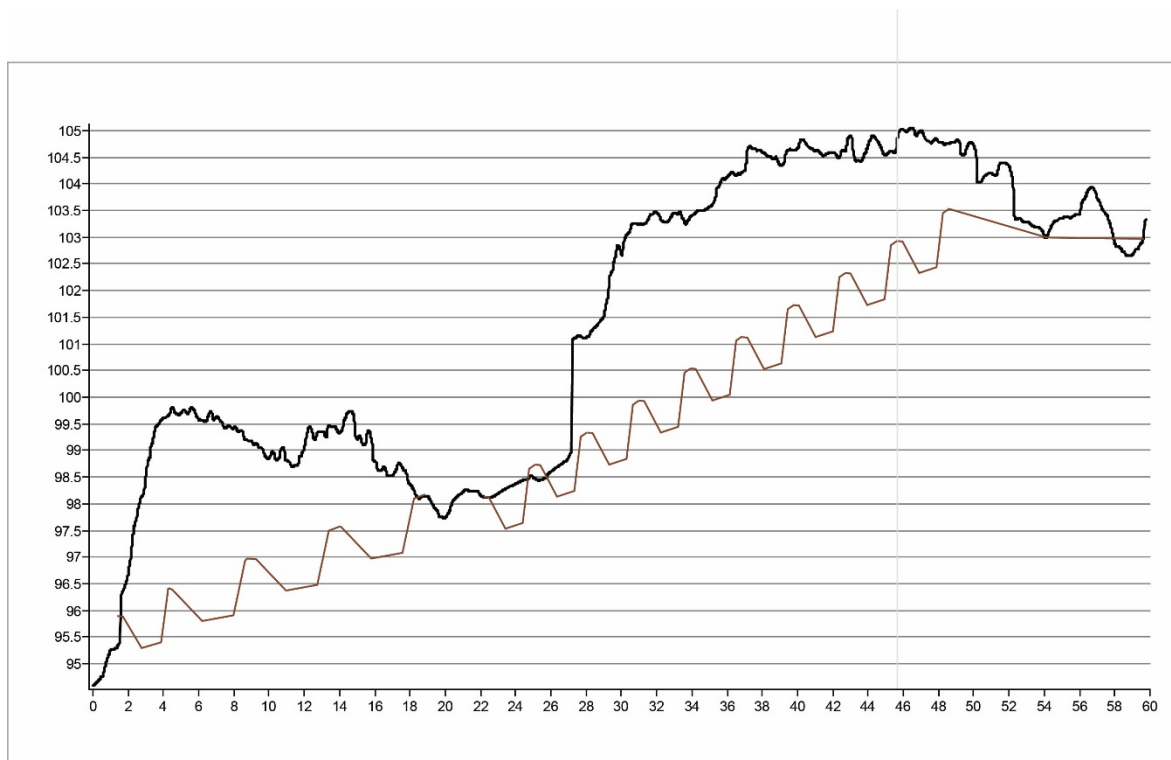
Figur 25. Skyggerelief av området med mulig tilkomstvei til toppen av fossen (grønt) eller nedenfor fossen (blått) i plan og lengdeprofil. Traseer for fiskepassasjer i hvitt og rødt. Fiskepassasje i tunnel (rødt) kunne også hatt utgang litt nærmere blå tilkomstvei hvis en del av sprengmassene brukes for justering av hølén nedenfor fossen.



Figur 26. Tilkomsveier og traseer av fiskepassasjene.



Figur 27. Mulig trase for kulpetrapp sprengt i fossen (svart) eller tunnel sprengt forbi fossen (rødt).



Figur 28. Lengdesnitt gjennom trase av kulpetrappen.

Tabell 4 viser antall dager med vannføring over 5, 10, 20 og 30 m³/s for 24 timer i vandringsperioden (juli-september) i restfeltet. Det er gjennomsnittlig 14 dager med 24 timer over 10 m³/s, 6 dager med over 10 m³/s, 1 dag med over 20 m³/s og ingen dag med over 30 m³/s. Det er enkelte år med topper langt over 30 m³/s (**Figur 42**). I årene med lav vannføring kan det være behov for å kjøre kunstige lokkeflommer for å fremme fiskevandring.

Tabell 4: Antall dager med vannføring over 10, 20 og 30 m³/s for 24 timer i vandringsperioden (juli-september) i restfeltet

År	dager med Q>5m ³ s ⁻¹	dager med Q>10m ³ s ⁻¹	dager med Q>20m ³ s ⁻¹	dager med Q>30m ³ s ⁻¹
2008	0	0	0	0
2009	15	7	1	0
2010	9	3	0	0
2011	39	18	3	0
2012	9	2	0	0
2013	11	4	1	0
2014	10	2	0	0
2015	21	13	4	1
2016	6	1	0	0
2017	17	9	3	1
2018	13	7	1	0
gjennomsnitt:	14	6	1	0

Restfelt

Ved oppmålingstidspunkt med dronen, ble vannføringen målt til 887 L/s. Kalibreringskurve og konsentrasjonskurve er gitt i **vedlegg**.

Vurdering av fiskevandring

Oppstrøms Helvetesfossen, som anses som dagens vandringsbarriere (absolutt vandringshinder), finnes det to større vannføringsavhengige vandringshindre på veien opp til neste absolutte vandringsbarriere (**Figur 29**, Pulg et al. 2018b).

Vandringshinder 1 er en 2.6 m høy foss med trinn (**Figur 30** til **Figur 33**). Det er mulig at fisken kommer seg opp trinnene ved store vannføringer. Stiger vannføringen til rundt 7 m³/s, kan trolig fisken svømme forbi fossen på venstre side i **Figur 33**. Det er trolig ikke behov for tiltak for å gjøre fossen passerbar for fisk. Det anbefales overvåkning og eventuelt senere tiltak dersom dette er feil.

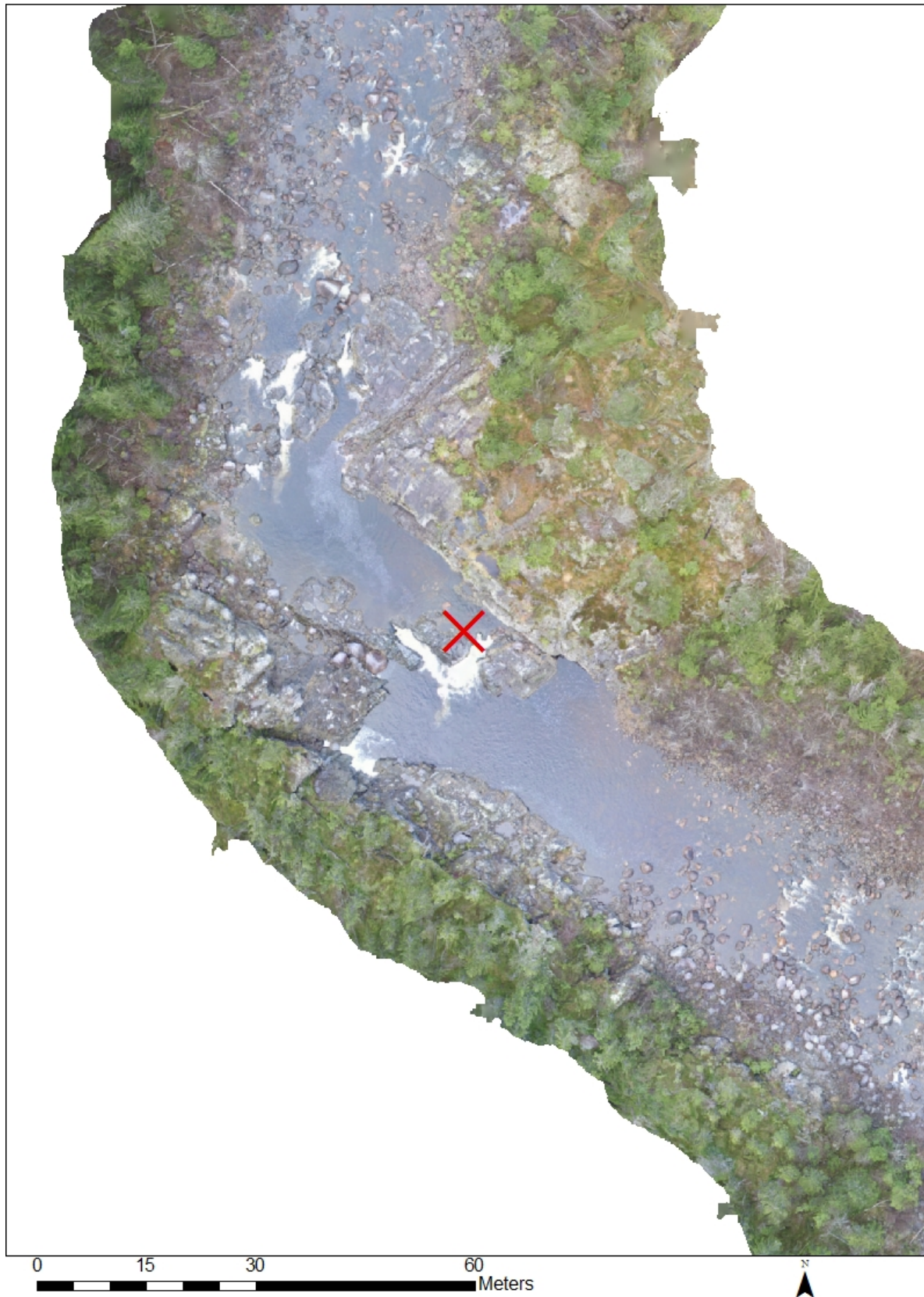
Vandringshinder 2 er et fossestryk laget av blokker som ser ut til å ha rast ned fra sidene av juvet (**Figur 34** til **Figur 37**). Ved lave vannføringer siger vannet gjennom spalter mellom blokkene (**Figur 34**). Det er usikkert om fisken kommer seg gjennom samtlige av spaltene. Fossestryket har en høyde på ca. 10 m, en gradient på 10 % og høy ruhet, og anses derfor som passerbart ved høyere vannføringer (**Figur 35**). Dronebilder fra Statkraft (**Figur 36**, **Figur 37**), viser at det er overfall over blokkene ved 2.8 og 4 m³/s, slik at fisk skal kunne svømme opp her på disse vannføringene.

Det er trolig ikke behov for tiltak for å gjøre vandringshinder 1 og 2 passerbar for storørret. Det anbefales overvåkning og eventuelt senere tiltak dersom det viser seg at dette er feil.

Den endelig og tredje vandringsbarrieren er en foss med ca. 4.6 m høyde (**Figur 38**, **Figur 39**).



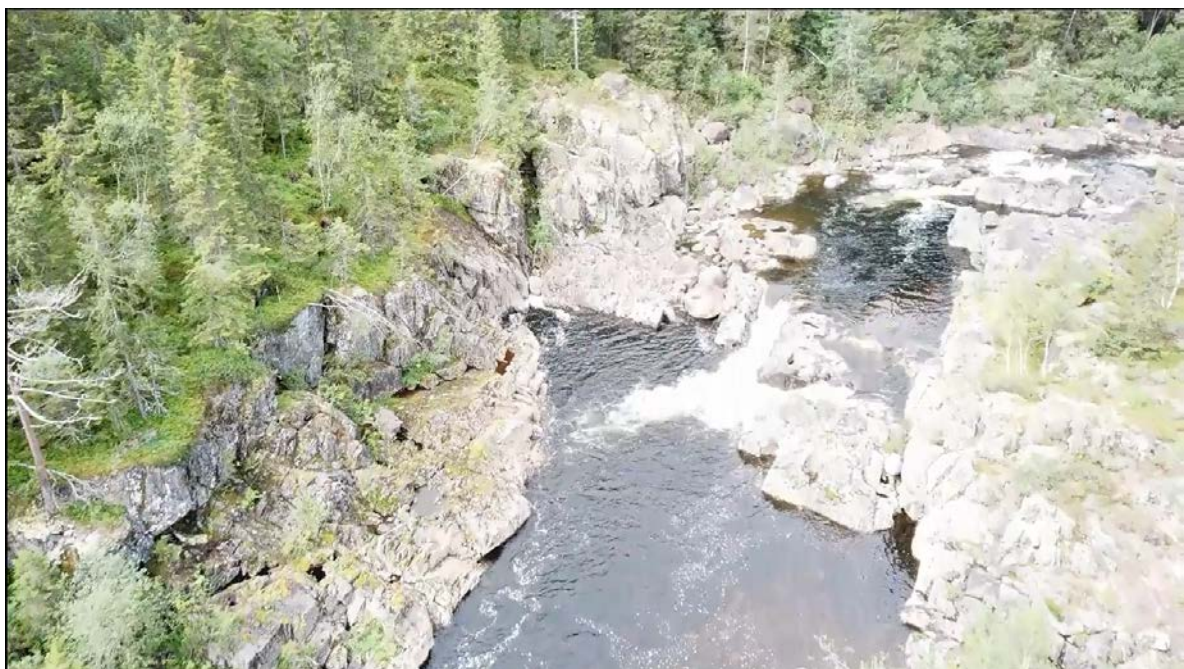
Figur 29. Oversikt over vandringshinder 1 og 2 oppstrøms Helvetesfossen og endelig vandringsbarriere.



Figur 30. Flybilde av Vandringshinder 1.



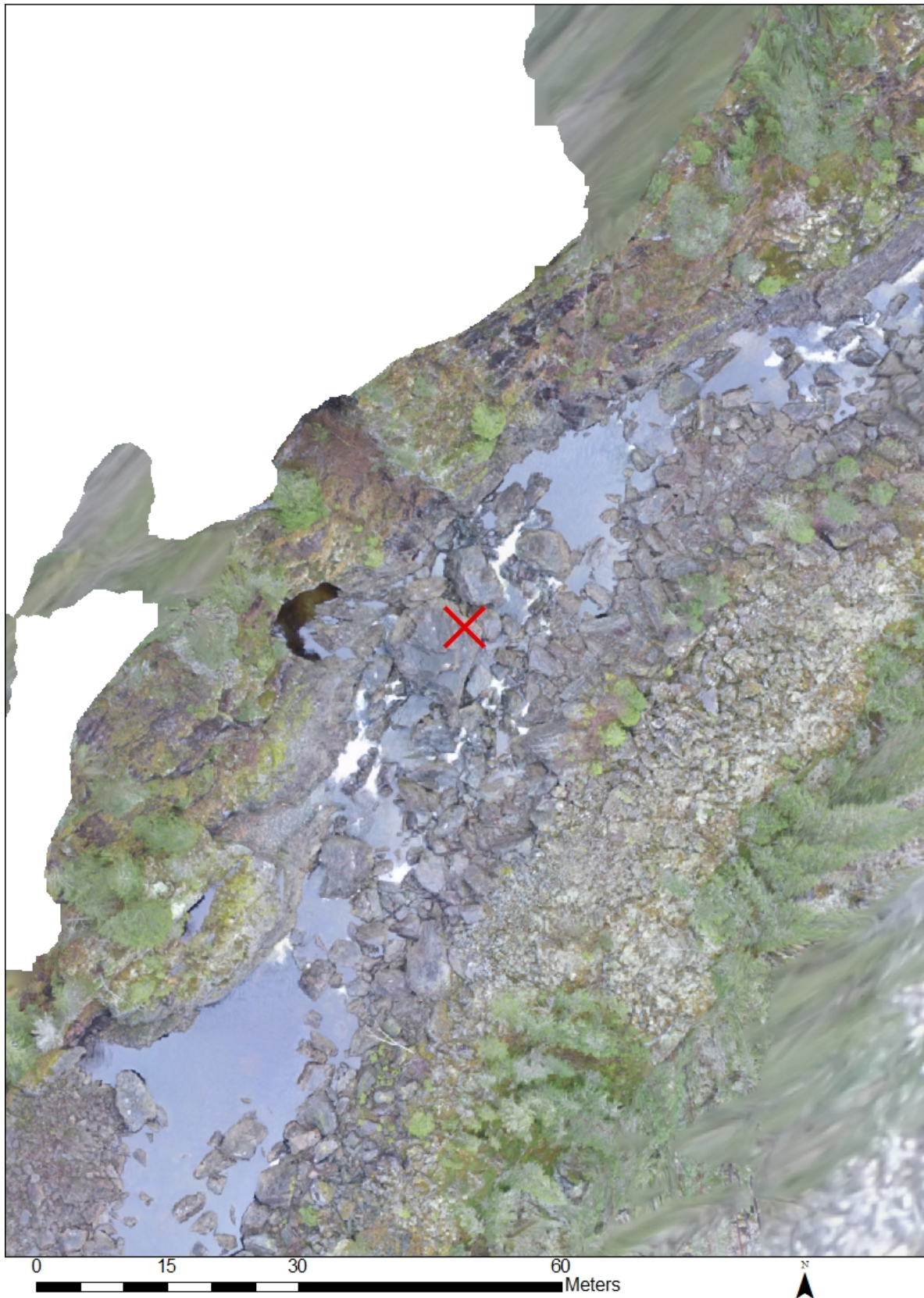
Figur 31. Høydeprofil vandringshinder 1 (kilde: kartverket). Trinnene er ca. 1 m høye. Det vanskeligste partiet (nedre foss) har en høyde på 2.6 m.



Figur 32. Dronebildefilm av Statkraft ved $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 33. Dronebildet av Statkraft på 4 m³/s. Det estimeres at fossen får overfall over merket området ved ca. 7 m³/s. Det kan heller ikke utelukkes at fisk kommer seg opp de andre fossene ved lavere vannføringer.



Figur 34. Flybilde av vandringshinder 2.



Figur 35. Høydeprofil av vandringshinder 2.



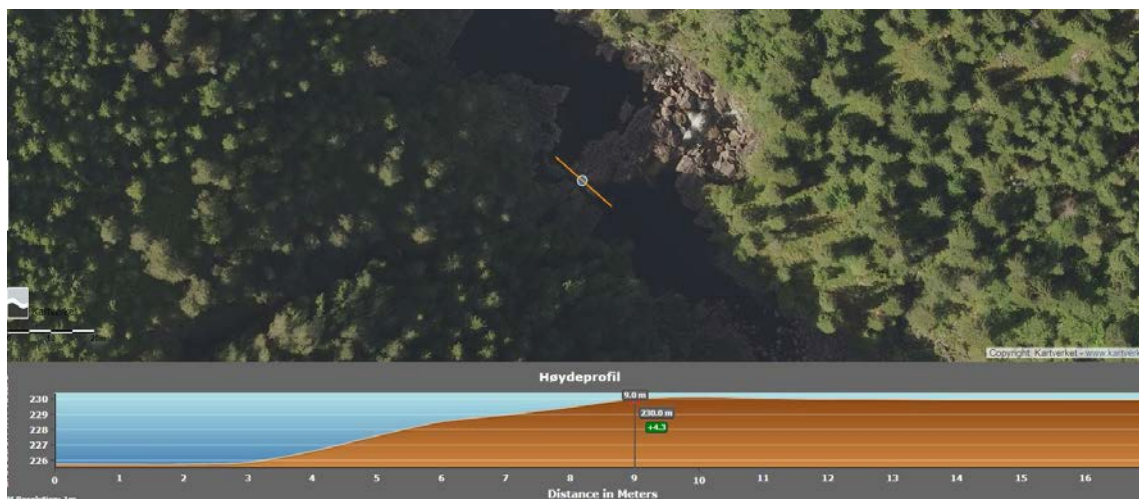
Figur 36. Dronebilde fra Statkraft tatt ved $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ved vandringshinder 2 viser overløp over fossestryket. Ved lavere vannføringer siger vannet mellom blokker, og det er usikkert om fisk klarer å svømme opp gjennom spaltene ved denne vannføringen.



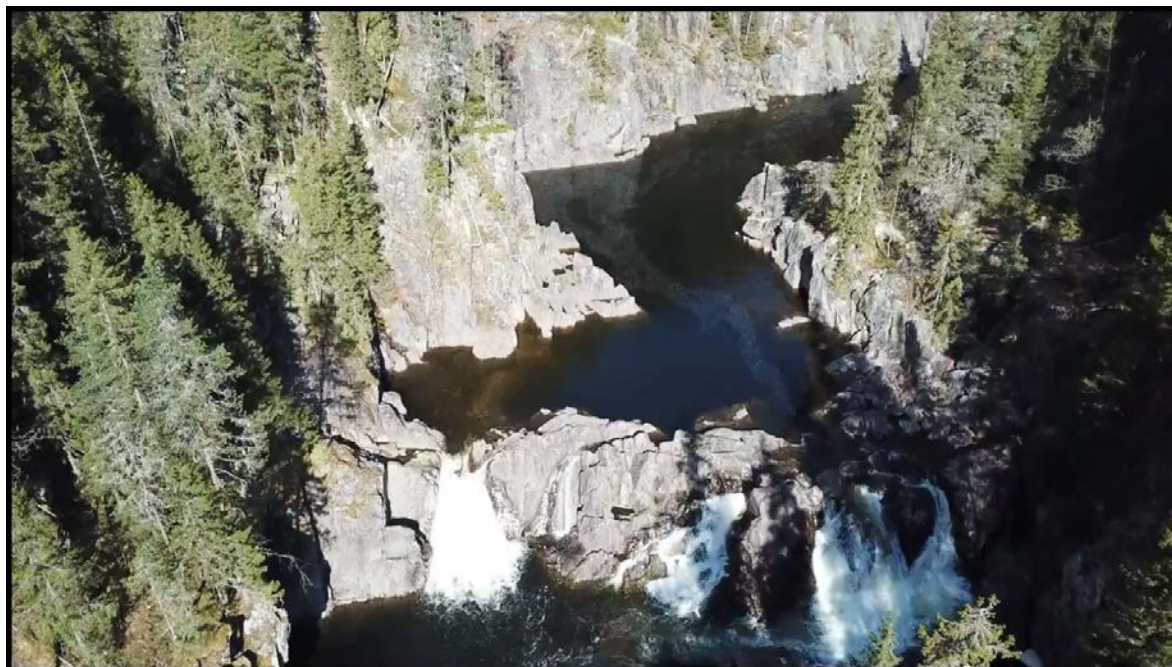
Figur 37. Dronebilde fra Statkraft tatt på 4 m³/s. Hele fossestryket antas å være passerbart på denne og høyere vannføringer.



Figur 38. Vandringshinder 3 anses som absolutt vandringshinder.



Figur 39. Høydeprofil av vandringsbarriere (kilde: kartverket).



Figur 40. Dronebilde av vandringsbarriere ved $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Selv om fisk hadde kommet seg forbi denne, finnes det ikke gyteplasser mellom denne og neste vandringsbarriere.

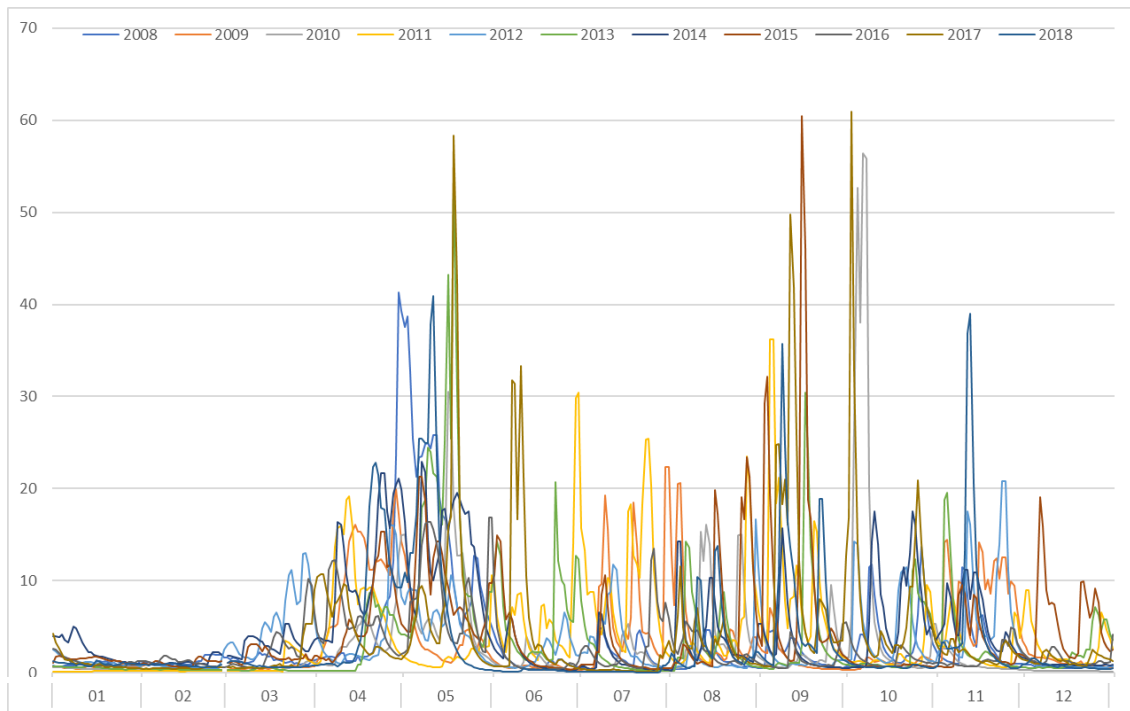
Persentiler og ganglinjer

I halvparten av vandringsperioden for storørret (antatt juli til september), er vannføringen over $1.42 \text{ m}^3/\text{s}$. Radioakustikkrapport viste at gytevandringen av storørret til Tokkeåi sannsynligvis starter ved første flom på ettersommeren/høsten (Heggenes et al. 2017).

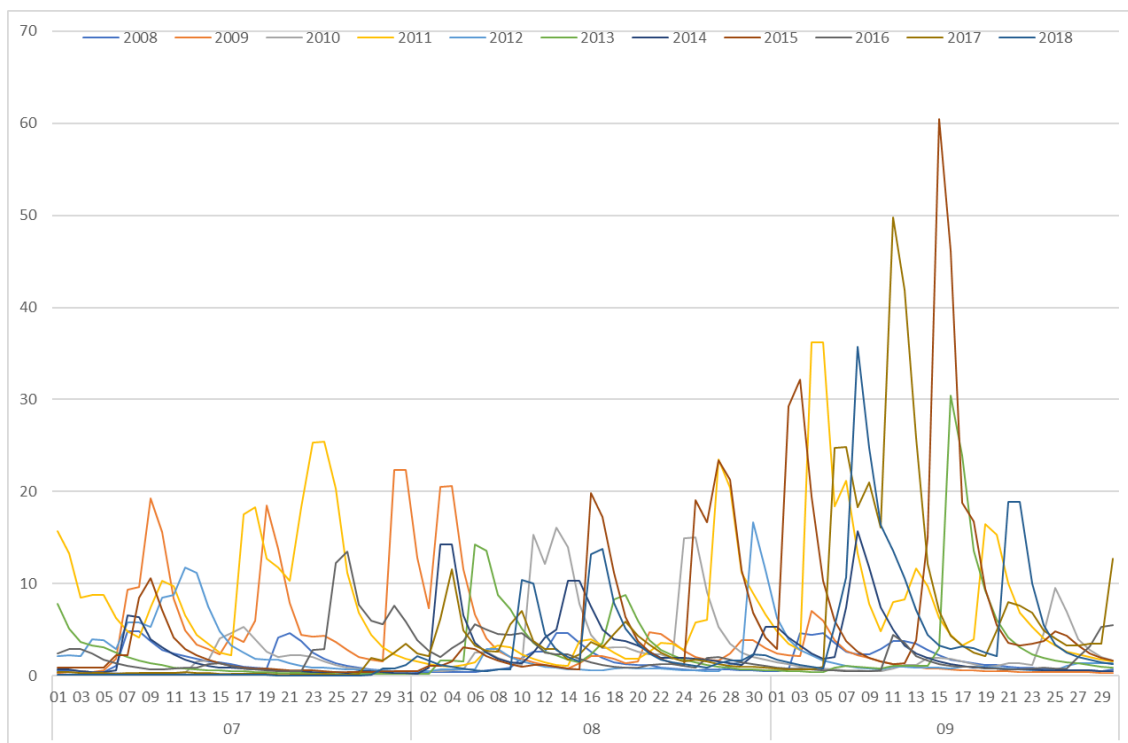
Ca. 5 prosent av tiden over de siste 10 årene ligger vannføringen under 210 L/s . Over hele året er medianvannføringen på $1.21 \text{ m}^3/\text{s}$ for de siste 10 årene (**Tabell 5**). I vandringsperioden ligger persentilene i samme størrelse som persentiler over hele året (**Tabell 5**).

Tabell 5. Persentiler av helårig vannføring i restfeltet i Tokkeåi ovenfor Helvetesfossen og i vandringsperioden (juli-september) for de siste 10 år.

Persentiler	Vannføring (m³/s)	Vannføring i vandringsperioden (m³/s)
0.05	0.21	0.21
0.25	0.63	0.66
0.5	1.21	1.42
0.75	3.26	3.26
0.95	11.79	11.56



Figur 41. Vannføring gjennom året i Tokkeåi ovenfor Helvetesfossen for de siste 10 år.

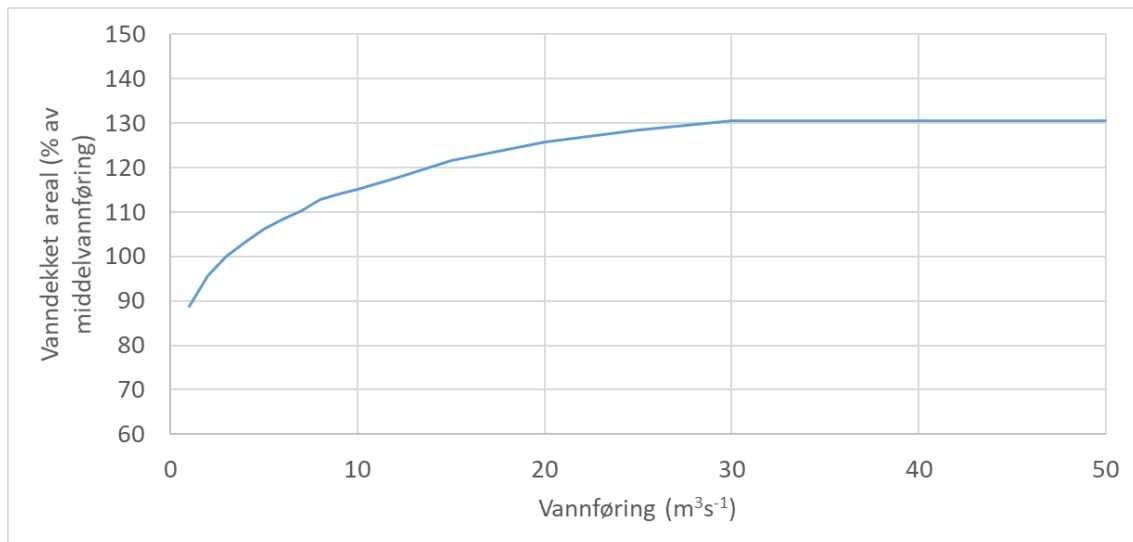


Figur 42. Vannføringskurve for juli til september i Tokkeåi ovenfor Helvetesfossen for de siste 10 år.

Ovenfor Lio

Forhold vanndekt areal – vannføring tilsvarende formel: $y=1606.2\ln(x) + 11680$ og $R^2 = 0.9843$,
 y = areal (m^2), x =vannføring (m^3/s).

Vanndekt areal øker med 3-4 % opp til 3 m^3/s og med 2 % opp til 8 m^3/s . Ved 1 m^3/s er 89 % av middelvannarealet vanndekket (**Tabell 6, Figur 43**). Den største økningen i vanndekt areal finnes mellom vannføring på 1 m^3/s og 3 m^3/s . Deretter reduseres tilveksten gradvis. Etter 30 m^3/s er det ingen stigning i modellen siden strekningen ligger i trangt juv.

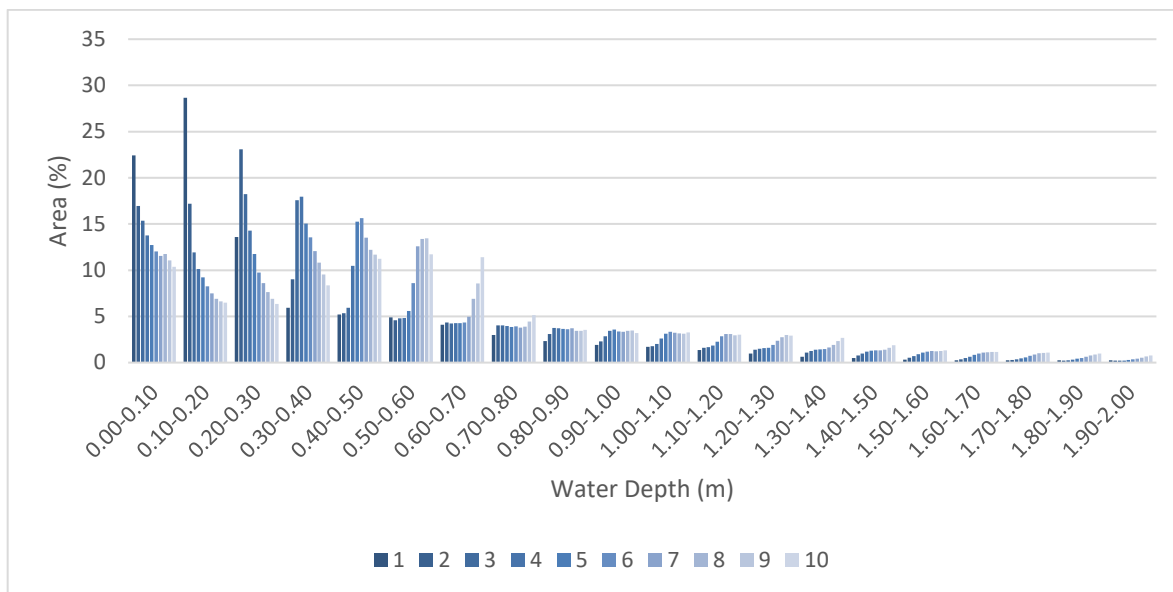


Figur 43. Vanddekt areal i forhold til vannføring ved ovenfor Lio.

Tabell 6. Vanddekket areal ved gitt vannføring (merk at vannføring over 10 m³/s i tabell har ulike avstander), prosentvis arealandel i forhold til middelvannføring og arealendring i m² per 1 m³/s endring i vannføring.

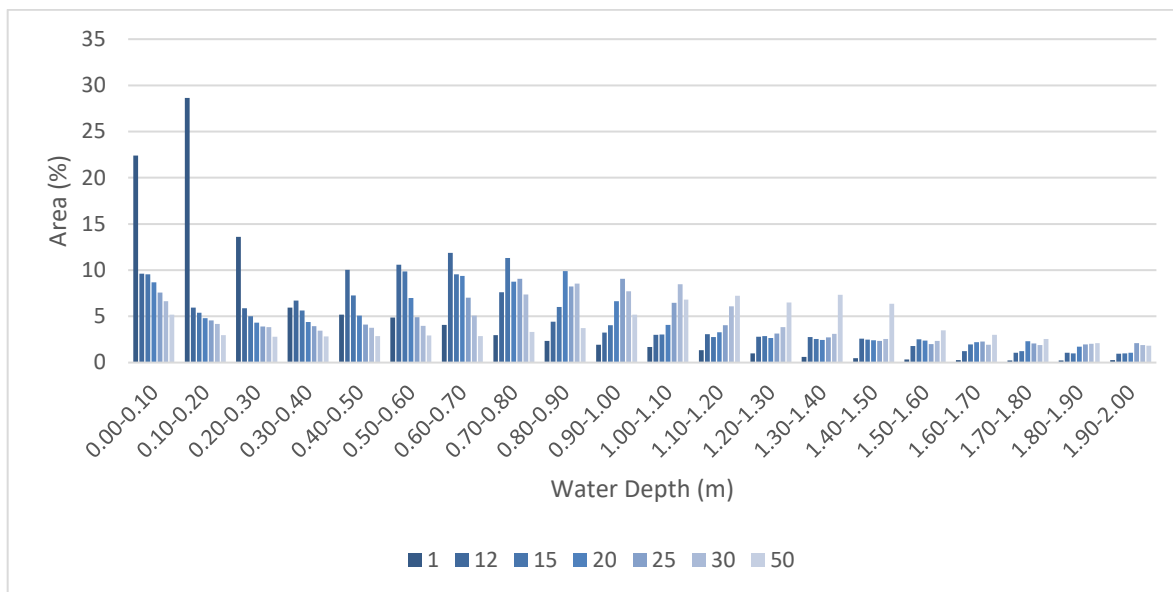
Q (m ³ /s)	Areal (m ²)	Arealandel i forhold til middelvannføring (%)	Arealendring (m ²) per 1 m ³ /s endring i vannføring
1	11845	89	
2	12762	96	917
3	13329	100	568
4	13756	103	427
5	14158	106	402
6	14464	109	306
7	14713	110	249
8	15045	113	332
9	15201	114	156
10	15355	115	154
12	15672	118	158
15	16216	122	182
20	16749	126	107
25	17126	128	75
30	17408	131	56
50	17408	131	0

Ved øvre Lio registreres andelen av vanddybder opp til 0,3 m ved vannføringer på mindre enn 2 m³/s. Fra 3 m³/s og oppover finnes det hovedsakelig vanddybder på mellom 0,4 og 0,7 m (**Figur 44**).



Figur 44. Vanddekt areal og vanddybde fra modellering ved øvre Lio på vannføringer 1 - 10 m³/s.

Med økt vannføring øker også vanddybdene. Gjennomsnittlige vanddybder mellom 0,5 m og 1,3 m vises ved høye vannføringer fra 12 m³/s.

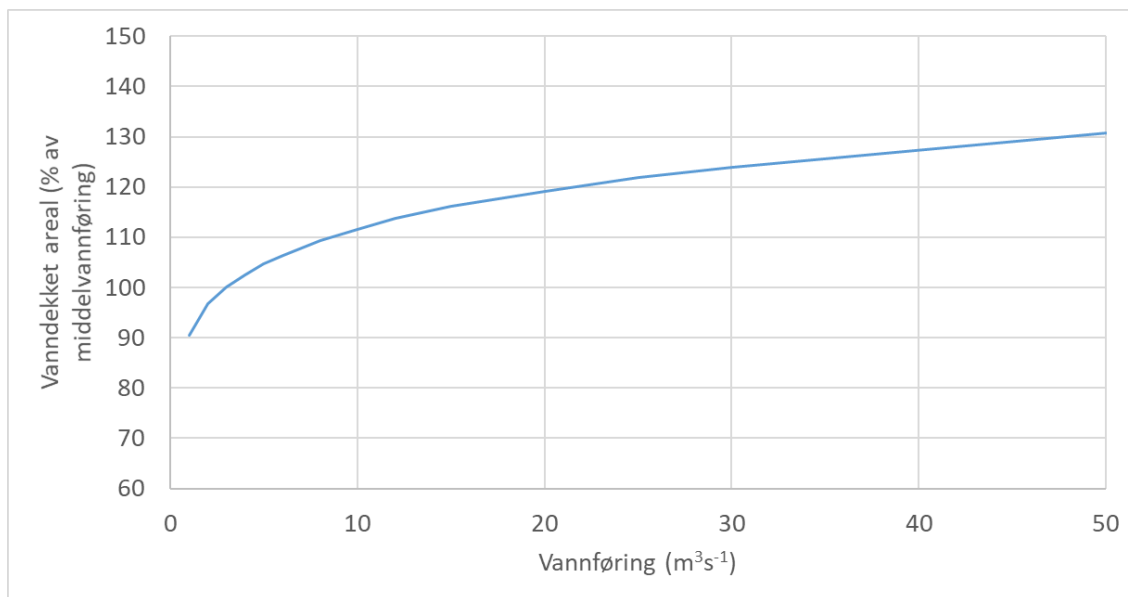


Figur 45. Vanddekt areal og vanddybde fra modellering ved øvre Lio på vannføringer 1, 12, 15, 20, 30 og 50 m³/s.

Omdalsbru

Forhold vanndekt areal – vannføring tilsvarende formel: $y=18054x^{0.0931}$ og $R^2 = 0.9992$, y = areal (m^2), x =vannføring (m^3/s).

Ved $1 m^3/s$ viser modellen et vanndekket areal som tilsvarende 90 % av middelvannføringen. Det vanndekte arealet øker med 6 % fra $1 m^3/s$ til $2 m^3/s$ og med 3 % fra $2 m^3/s$ til $3 m^3/s$. Mellom 3 og $5 m^3/s$ er det 2 % arealøkning per m^3/s . Over denne vannføringen reduseres økningen gradvis (**Tabell 7, Figur 46**).

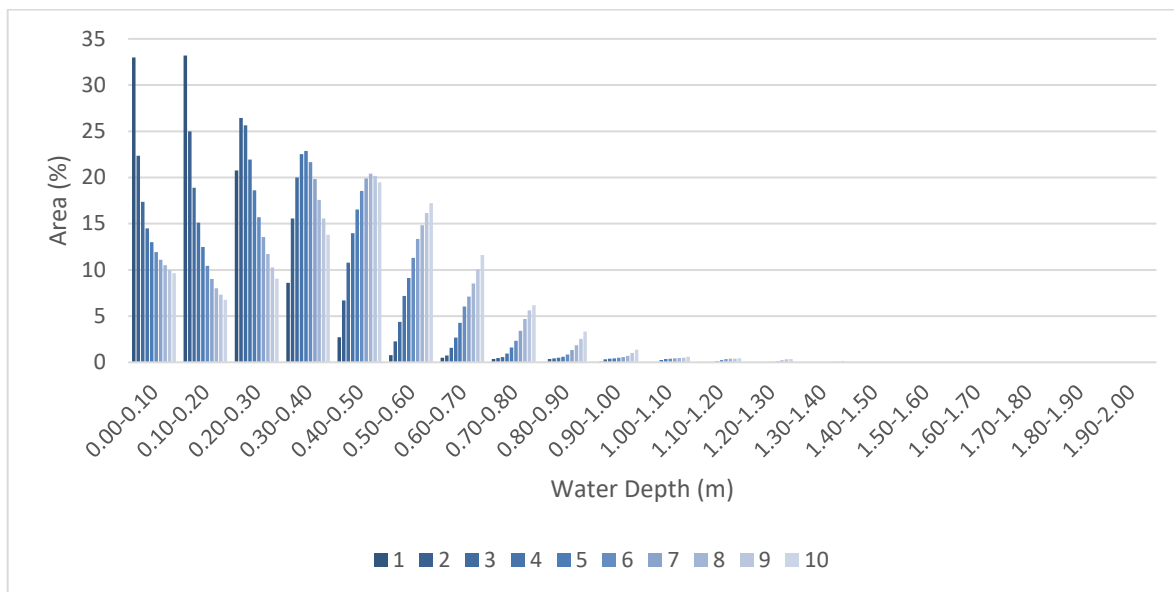


Figur 46. Vanndekt areal sett i forhold til vannføring ved Omdalsbru.

Tabell 7. Vanddekket areal ved gitt vannføring (merk at vannføring over 10 m³/s i tabell har ulike avstander), prosentvis arealandel i forhold til middelvannføring og arealendring i m² per 1 m³/s endring i vannføring.

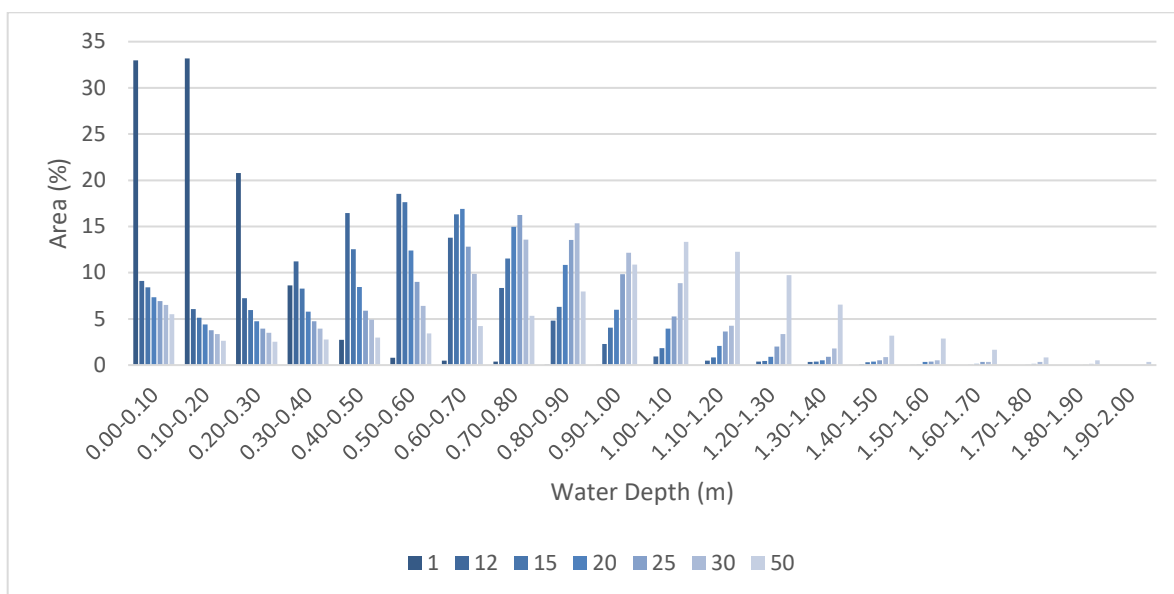
Q (m ³ /s)	Areal (m ²)	Arealandel i forhold til middelvannføring (%)	Arealendring (m ²) per 1 m ³ /s endring i vannføring
1	18099	90	
2	19375	97	1276
3	20005	100	630
4	20493	102	488
5	20947	105	454
6	21286	106	340
7	21588	108	302
8	21858	109	270
9	22097	110	239
10	22327	112	230
12	22749	114	211
15	23229	116	160
20	23825	119	119
25	24375	122	110
30	24804	124	86
50	26140	131	67

Ved lavvannføring finnes det ved Omdalsbru hovedsakelig vanndybder opp til 0,3 m. Ved høye vannføringer er de maksimale vanndybde opp til 1,5 m dype. Gjennomsnittlige vanndybder ved vannføringer mellom 3 m³/s og 10 m³/s viser verdier mellom 0,3 m og 0,7 m (**Figur 47**).



Figur 47. Vanddekt areal og vanddybde fra modelleringen ved Omdalsbru på vannføringer 1 - 10 m³/s.

Høyere vannføringer medfører vanddybder mellom 0,4 m og 1,6 m. I forhold til ved høy vannføring, er vanddybdene på lavvannføring betydelig lavere og ligger i gjennomsnitt mellom 0,1 m og 0,3 m.

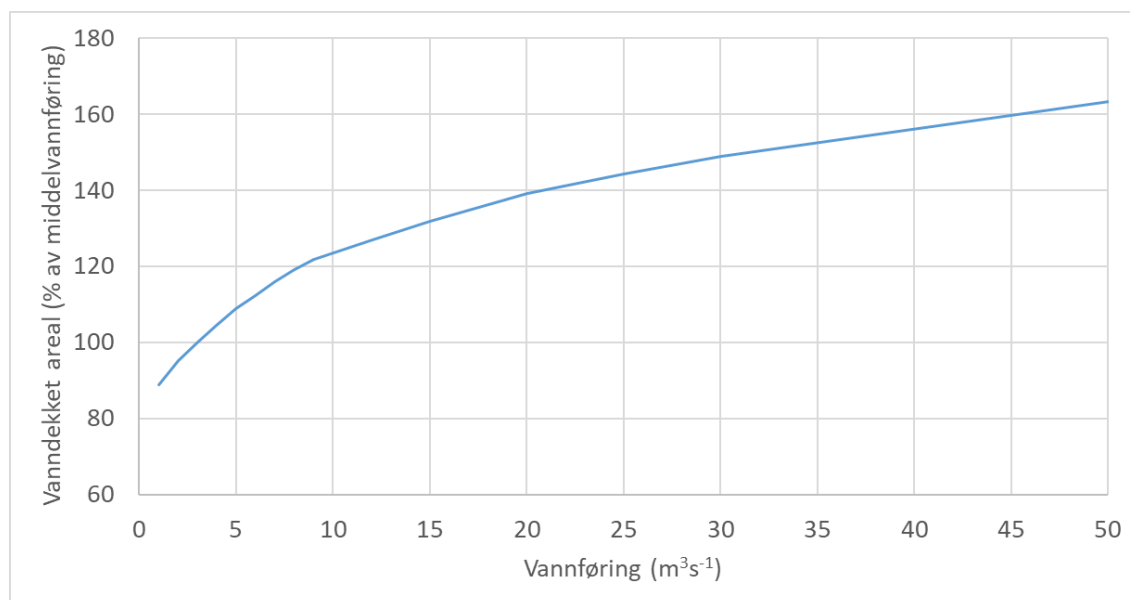


Figur 48. Vanddekt areal og vanddybde fra modellering ved Omdalsbru på vannføringer 1, 12, 15, 20, 30 og 50 m³/s.

Ravnejuv

Forhold vanndekt areal – vannføring tilsvarende formel: $y=22361x0.1624$ og $R^2 = 0.9918$.

Økning i vanndekt areal ligger mellom 4 og 5 % ved vannføringer fra 1 til 5 m³/s. Ved 1 m³/s er det vanndekte arealet 89 % av arealet på middelvannføring. Økningen er 2-3 % opp til 9 m³/s før det gradvis avtar (**Tabell 8, Figur 49**).

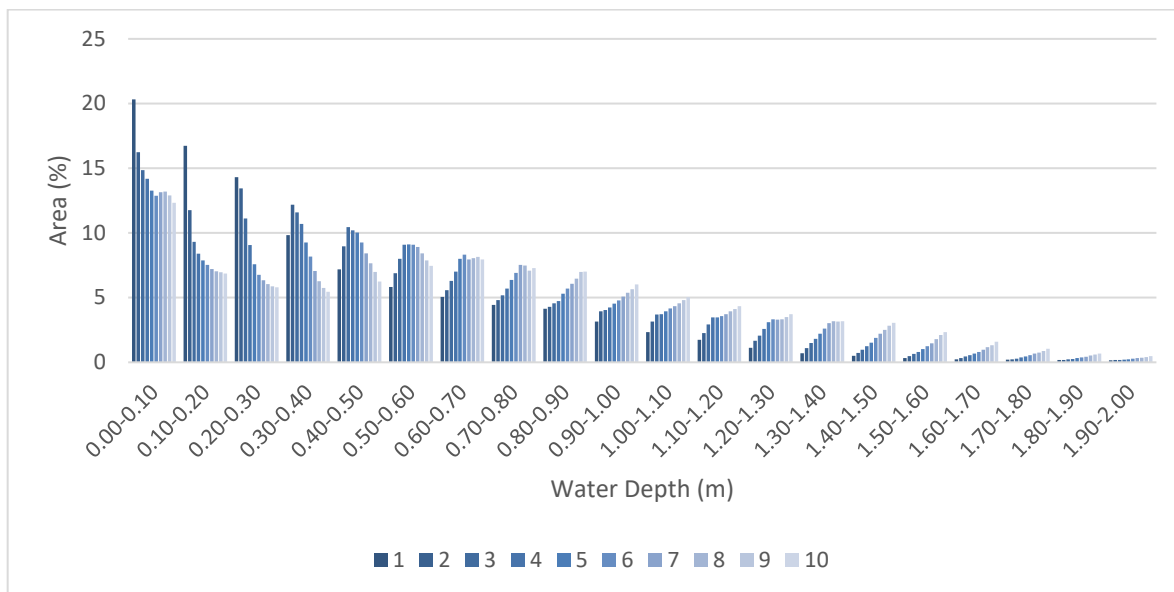


Figur 49. Vanndekt areal sett i forhold til vannføring ved Ravnejuv.

Tabell 8. Vanndekket areal ved gitt vannføring (merk at vannføring over 10 m³/s i tabell har ulike avstander), prosentvis arealandel i forhold til middelvannføring og arealendring i m² per 1 m³/s endring i vannføring.

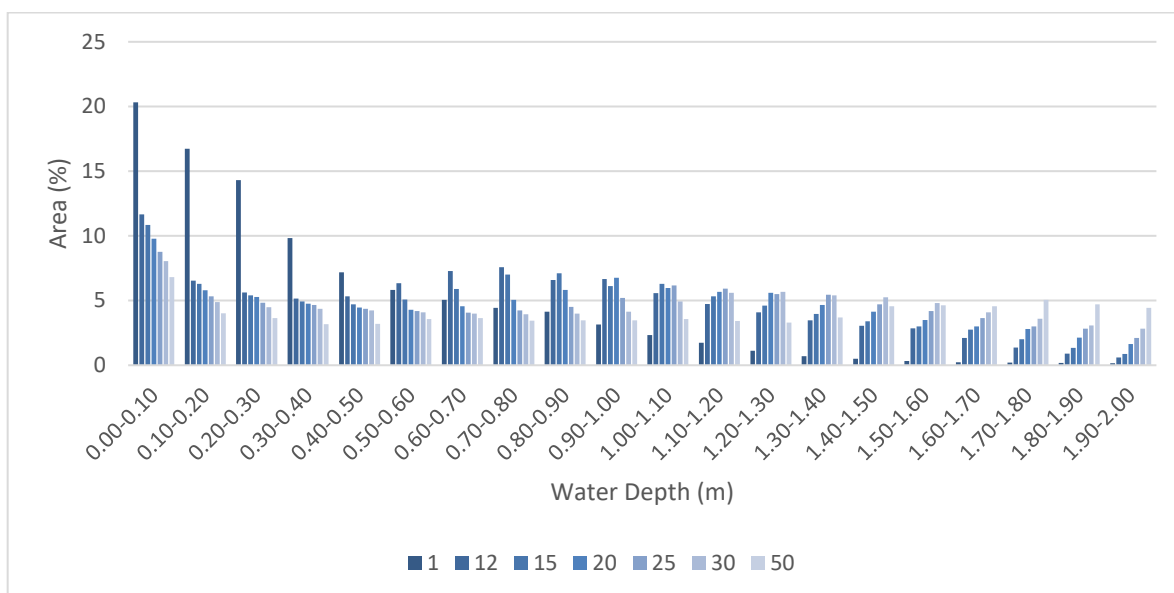
Q (m ³ /s)	Areal (m ²)	Arealandel i forhold til middelvannføring (%)	Arealendring (m ²) per 1 m ³ /s endring i vannføring
1	23355	89	
2	25037	95	1682
3	26286	100	1249
4	27472	105	1186
5	28611	109	1139
6	29486	112	876
7	30467	116	981
8	31313	119	847
9	31991	122	678
10	32444	123	453
12	33378	127	467
15	34652	132	424
20	36561	139	382
25	37945	144	277
30	39125	149	236
50	42942	163	191

Vanndybden øker også her med økt vannføring. Gjennomsnittlige vanndybder ligger på opp til 0,4 m ved vannføringer på 3 m³/s. Ved økende vannføring oppnås gjennomsnittlige dybder mellom 0,5 m og 1,4 m. Maksimumsverdiene ligger på over 2 m dyp.



Figur 50. Vanddekt areal og vanddybde fra modellering ved Ravnejuv på vannføringer 1 - 10 m³/s.

Sammenligningen av situasjonen med lav vannføring (Q = 1 m³/s) og de høyere vannføringene fra 12 m³/s, viser klare forskjeller. Ved lavvann er gjennomsnittlige vanddybder opp til 0,4 meter. Derimot viser de høyere vannføringene en jevn fordeling mellom 0,3 m og 2,0 m vanddybde. Maksimumsverdiene er også over 2,0 meter (**Figur 51**).



Figur 51. Vanddekt areal og vanddybde fra modellering ved Ravnejuv på vannføringer 1, 12, 15, 20, 30 og 50 m³/s.

4. Oppsummering

Denne rapporten sammenstiller grunnlagsdata til vurdering av vannførings- og arealforhold samt nedkjøring av vannføring i Tokkeåi. Dessuten vurderes vandringsforhold og en mulig passesjeløsning over Helvetesfossen.

Tokkeåi nedenfor Lio kraftverk

Vanddekt areal: Endringer i vanddekket areal er vurdert i 3 representative elvestrekninger nedenfor Lio (Gjesshylen, Buøy, Lindøy). Forholdene mellom vanddekt areal og vannføring tilsvarer følgende formler:

- Gjesshylen: $y=924.61\ln(x)+9057.5$
 - Lindøy: $y=11707\ln(x) + 79431$
 - Buøy: $y=8265.4\ln(x) + 56881$
- (y = areal (m^2), x =vannføring(m^3/s))

Beregningene viser at strekningen ved Gjesshylen (variert stryk, juv) reagerer litt forskjellig på vannføringsendringer enn de 2 nedre mer fluviale og flatere strekningene. Ved Gjesshylen er endring i vanddekt areal per m^3/s vannføring $\sim 4\%$ fra $2-3 m^3/s$, $\sim 2\%$ fra $3-5 m^3/s$ og $< 1\%$ over $5 m^3/s$. En reduksjon av vannføringen fra 10 til $6 m^3/s$ vil redusere vanddekt areal med 4% ($421 m^2$). En reduksjon fra 20 til $6 m^3/s$ reduserer arealet med 9% ($1080 m^2$).

I de to nedre strekningene, Buøy og Lindøy, er endring i vanddekt areal per m^3/s vannføringsendring: $2-4 m^3/s \sim 4\%$, $4-10 m^3/s \sim 2\%$ og $> 10 m^3/s < 1\%$. Reduseres vannføringen fra 10 til $6 m^3/s$, vil vanddekket areal i de to nedre strekninger reduseres med 6% ($6036 m^2$ Lindøy, $4621 m^2$ Buøy), fra 20 til $6 m^3/s$ med 12% ($13222 m^2$ Lindøy, $9356 m^2$ Buøy).

Vannstandsendringer:

En reduksjon i vannføringen fra 22.34 til $16.30 m^3/s$ hadde en maksimal vertikal senkningshastighet på 10.8 cm/time i Gjesshylen, 5.4 cm/time ved Biblioteket og 3.6 cm/time i Asiahyl.

Nedkjøring fra $15.99 m^3/s$ til $10.33 m^3/s$ i løpet av 2 timer 15 min, førte til en maksimal vertikal senkningshastighet på 8.5 cm/time i Gjesshylen, 6.0 cm/time ved Biblioteket og 4.0 cm/time i Asiahyl. Denne nedkjøringen tilsvarer dagens selvpålagte restriksjoner (Figur 55).

Nedkjøring fra 14.97 til $9.80 m^3/s$ førte til en maksimal vertikal senkningshastighet på 4.2 cm/time i Gjesshylen, 2.7 cm/time ved Biblioteket og 2.2 cm/time i Asiahyl. Dette tilsvarer ca. 2x den selvpålagte nedkjøringstiden.

Nedkjøring fra 8.48 til 6.61 m³/s hadde en maksimal vertikal senkningshastighet på 3.3 cm/time i Gjesshylen, 1.3 cm/time ved Biblioteket og 1.0 cm/time i Asiahyl.

Nedkjøring fra 22.34 til 11.44 m³/s den 11.6.2019 21:00 – 12.6.2019 02:00 hadde maksimal nedkjøringshastighet på 3.6 cm per time i Asiahyl, 5.4 cm per time ved biblioteket og 10.8 cm per time ved Gjesshylen.

I både grafisk og beregnet analyse av måledata, er det dokumentert effekter av flytende retensjon dvs. at vannstandsendinger (cm/time) blir mindre og bølgen er forsinket og endret med avstand fra kraftstasjonen (se f.eks. **Figur 9**).

I Norge og internasjonalt blir vertikal vannstandsending brukt som vesentlig indikator for strandingsrisiko for fisk.

Bakken et al. 2016 anbefaler nedkjøringshastigheter lavere enn 10 cm/time med fokus på anadrome vassdrag. Rapporten sier også at det fortsatt er fare for stranding av årsyngel om sommeren selv på lavere senkningshastigheter. I vassdrag der fiskebestandene er rekrutteringsbegrenset konkluderer rapporten med at denne regelen er for svak og at «det bør vurderes i hvilken grad effektkjøring er tilrådelig».

I overvåkningstidsrommet var vertikale senkningshastigheter (3 nedkjøringsepisoder) ved alle loggere innenfor den nasjonale anbefalingen med 10 cm/time unntatt en episode i Gjesshylen der nedkjøringshastighet var på 10.8 cm/time. Denne nedkjøringen stoppet derimot på vannføring over 10 m³/s.

Nye publikasjoner viser at også laterale senkningshastigheter (Hauer et al. 2017) og høy ruhet/grov kornstørrelse (Hauer et al. 2014) er vesentlige faktorer for strandingsrisiko. Det betyr at ved stor endring arealandel pga. endring i vannføring, er det høyere sannsynlighet for stranding hvis det er grovt substrat. Det henvises til grov kornstørrelse i strekningen fra Lio kraftverk til Buøy strekning (Pulg et al. 2018).

I en samlet vurdering av nedkjøringen bør disse faktorene inkluderes samt resultater fra el-fiske og overvåking av fiskebestanden inkludert andre arter.

Fiskepassasje forbi Helvetesfossen

For å utforme en passaseløsning som er gunstig for storørret, foreslås en kulpetrapp med 53 cm høydeforskjell mellom kulpene. Med dette vil mindre fisk og andre arter ha vanskelig for å komme seg gjennom passasjen mens stor ørret kan passere. Passasjen kan enten bestå av en ca. 55 meter lang åpen kulpetrapp gjennom jettegryten i Helvetesfossen, eller en 50 meter lang tunnel rundt fossen. Begge de skisserte løsningsforslagene vil føre til behov for sprenging av ca. 300 m³ med masser. Kulpetrapp gjennom jettegryten i fossen vil ha best

funksjonsevne ved vannføringer på mellom 1 – 8 m³/s, mens kulpetrapp i tunnel på mellom 1 – 15 m³/s. En åpen løsning vil sannsynligvis ha enklere men mer vedlikehold enn en løsning i tunnel. Begge løsningsforslag vil fungere for storørret og det anbefales å vurdere dette i samråd med myndigheter og etter praktiske forhold som tilkomst og fjellkvalitet.

Strekningen ovenfor Helvetesfossen (Restfelt)

Vandringsforhold:

Ovenfor Helvetesfossen finnes to vannføringsavhengige vandringshinder og en absolutt vandringsbarriere ca. 8 km oppstrøms fossen. De to vannføringsavhengige vandringshindene storørreten vil møte på sin vandring oppstrøms Helvetesfossen, er en foss som er ca. 2.6 meter høy og et bratt fossestryk med ca. 10 % fallgradient.

Fossen (vandringshinder 1) er passerbar ved enkelte vannføringer, og ved estimert vannføring på 7 m³/s forventes det at storørreten kan svømme opp fossen. Dette hinderet krever derfor trolig ikke lokale tilpasninger for fiskevandring, men det anbefales å undersøke om fisken faktisk kommer seg opp her ved kun spesielle vannføringer.

Fossestryket (vandringshinder 2) har høy ruhet og en gradient som storørreten forventes å kunne vandre opp. Det finnes imidlertid mye trange spalter mellom blokkene som befinner seg i stryket, som kan medføre vansker på lav vannføring. Ut i fra dronofilm er det overfall av vann over blokkene ved vannføringer på 2.8 og 4 m³/s, hvilket indikerer at stryket er passerbart på disse vannføringene. Det kreves i så tilfelle heller ikke utforming av vandringsløsning ved dette hinderet. Det absolutte vandringshinderet er i form av en foss med ca. 4.6 meter høyde. Oppstrøms denne fossen er det ikke registrert gytemuligheter og ca. 500 meter oppstrøms denne finnes en minst 9 m høy foss som gjør at det ikke virker hensiktsmessig å gjennomføre tiltak ved det absolutte vandringshinderet.

Habitat: Strekingen mellom Helvetesfossen til absolutt vandringshinder utgjør 147 800 m² elveareal ved en vannføring på 1.3 m³/s. Av dette er 1 675 m² gyteareal (Pulg et al. 2018b). Ca. 62 % av gytearealet ligger i Ravnjejuv mellom vandringshinder 2 og absolutt vandringsbarriere (**Figur 29**). Vanndybden i restfeltet har stor variasjon også på lave vannføringer. Strekingene Lio og Ranvejuv har allerede på 1 m³/s mer enn 50 % av arealandel dypere enn 20 cm og god fordeling av større vanndybder. I Omdalsbru strekingen er 65 % av arealet 20 cm eller grunnere ved 1 m³/s og med nesten ingen areal dypere enn 40 cm. Denne strekingen får først ved 2 m³/s områder med vanndybde som overstiger 40 cm.

Vannføring og vanndekt areal:

Tokkeåni ovenfor Helvetesfossen er dominert av varierte stryk og ligger i et juv. Forholdet mellom vanndekt areal og vannføring beskrives med formlene:

- Ravnejuv: $y=22361x^{0.1624}$
 - Omdal bru: $y=18054x^{0.0931}$
 - Øvre Lio: $y=1606.2\ln(x)+11680$
- (y = areal (m^2), x =vannføring(m^3/s))

Det vanndekte arealet er ved $1 m^3/s$ ca. 90 % av middelvannføringens areal. Ved en kartlegging i restfeltet gjennomført på ca. $1.3 m^3/s$, ble det ikke registrert tørrlagte potensielle gyteområder (Pulg m.fl, 2018). Det ble ikke modellert vannføringer mindre enn $1 m^3/s$ i dette forsøket. En vurdering av lavere vannføringer krever en mer detaljert modellering og oppmåling.

5. Referanser

Bakken, T. H., Forseth, T., Harby, A., Alfredsen, K., Arnekleiv, J. V., Berg, O. K., ... & Hedger, R. (2016). Miljøvirkninger av effektkjøring: Kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri.

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 laksevassdrag. – NINA Temahefte 52. 90 s. <http://www.nina.no/archive/nina/PppBasePdf/temahefte/052.pdf>

Hauer, C; Holzapfel, P; Leitner, P; Graf, W. (2017). Longitudinal assessment of hydropeaking impacts on various scales for an improved process understanding and the design of mitigation measures. *SCI TOTAL ENVIRON.* 2017; 575: 1503-1514.

Hauer, C; Unfer, G; Holzapfel, P; Haimann, M; Habersack, H. (2014). Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. *EARTH SURF PROC LAND.* 2014; 39(12): 1622-1641.

Heggenes, J., Fjeldheim, P. T., Karlsson, T., Schartum, E., Olsen, E. M., & Moland, E. (2018). Hydroakustiske undersøkelser av vandringsadferd og habitatbruk til ørret (*Salmo trutta*) i Bandak og Tokkeåi i Telemark 2014-2016.

Pulg, U., Barlaup, B.T., Skoglund, H., Velle, G., Gabrielsen, S-E., Stranzl, S., Espedal, E.O., 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.

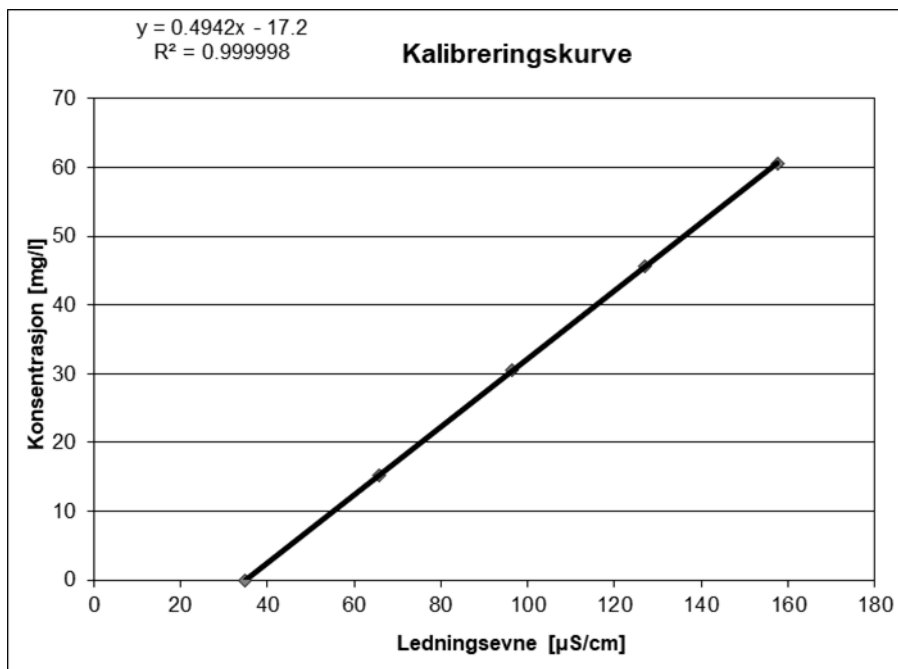
Pulg U., Olsen E. E., Stranzl, S., Postler, C. 2018b. Kartlegging av gyte- og oppvekstområder for storaure i Tokkeåi i Telemark 2015 – 2017. LFI-rapport 307, Uni Research Miljø LFI, Bergen, 42 s.

Skeie, L. (2017). *Hydraulisk modellering av kraftverksdrift i Tokkeåi* (Master's thesis, NTNU).

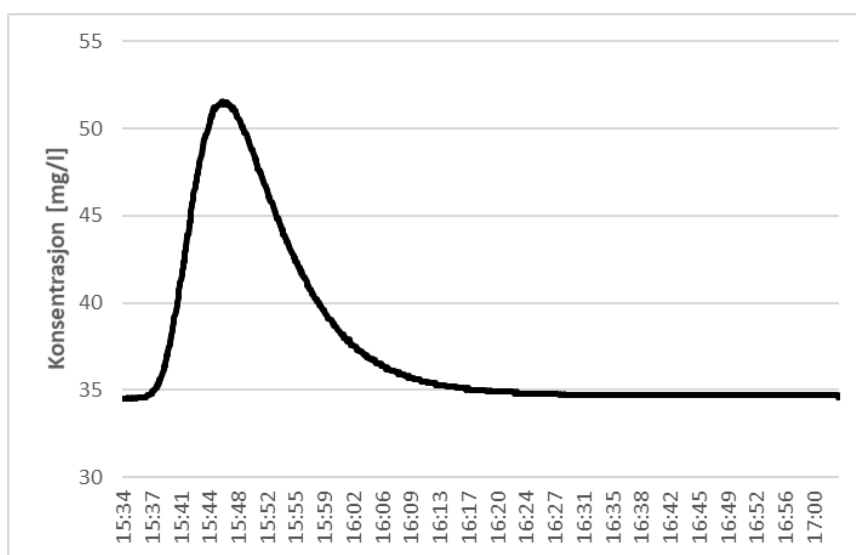
Stranzl, S; Postler, C; Espedal, E.O. (2018) 3d- modellering og høydemåling ved Helvetesfossen/Tokkeåi

Tranmæl, E. & Midttun, L. 2005. Vandrings- og bestandsundersøkelser av ørret (*Salmo trutta*) i et sterkt regulert elveøkosystem. Masteroppgave ved Avdeling for allmenne fag. Høgskolen i Telemark, 80 sider + vedlegg

6. Vedlegg



Kalibreringskurve for saltfortynningsmetoden



Konsentrasjonsforløp på saltfortynningsmåling

	Tilført salt (kg)				Dato		Start [hh:mm]		Stop: [hh:mr]
	7				2.7.2019		15:00		17:00
Målingsinstrument	Kalibrering								
WTW Multi 3620	Volumen [ml]	20000	20050	20100	20150	20200	Konz. Saltløsning [mg/l]	6125	
	Ledningsevne [$\mu\text{S/cm}$]	34.9	65.6	96.5	127	157.6	Korrelasjonskoeffisient r	0.999998	
	Konsentrasjon [mg/l]	0	15.27431	30.47264	45.59553	60.64356	Eichfaktor E [$\text{mg l}^{-1} \mu\text{S}^{-1} \text{cm}$]	0.4941603	

Parametere for saltfortynningsmåling

Stansprosedyre for Ljø

Stoppforløp Ljø (fra fullast) går over 2 ¼ timer.

Maksimal lastreduksjon på 5 MW / 30 min. i området 40-20 MW og på 5 MW / 15 min. i området 20 -0 MW for å oppnå en miljøtilpasset manøvrering av Ljø kraftstasjon. Restriksjonen kan fravikes når lokalt tilsig målt ved Elvarheim overstiger 15 m³/s.

Vannføring i Tokkeåi målt ved Elvarheim:

16.6 – 14.9 Minimum ca. 6 m³/s *

15.9 – 15.11 Minimum ca. 12 m³/s**

16.11 – 15.6 Minimum ca. 4 m³/s *

* Ved lokalt tilsig over kravet kan Ljø stanses

**Etterstrebe stabil/jevn kjøring av Ljø i perioden 10.10-10.11(hovedperiode for gyting i Tokkeåi)

Selvpålagte restriksjoner for kjøring av Ljø kraftverk