

# Vanndekt areal, habitatkvalitet og vannføring i Vassbygdelva



# 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: 379

**Tittel:** Vanddekt areal, habitatkvalitet og vannføring i Vassbygdelva

**Dato:** 03.04.2020

**Forfattere:** Ulrich Pulg, Sebastian Stranzl, Espen E. Olsen, Christoph Postler

**Bilder:** Fotografier er tatt av forfatterne ved LFI.

**Geografisk område:** Vestland, Norge

**Finansiering:** E-Co Energi

**Antall sider:** 22

**Kvalitetssikret av:** Helge Skoglund

**Emneord:** Vannkraft, minstevannføring, vanddekt areal, vannføring, habitatkvalitet

## Sammendrag:

Formålet med utredningen var å vurdere sammenhengen mellom vanddekt areal, habitatkvalitet og vannføring i Vassbygdelva samt effekten av forskjellige steder til slipp av en minstevannføring.

Basert på syv droneoppmålinger av hele det anadrome arealet i Vassbygdelva ved forskjellige vannføringer ble det beregnet et forhold mellom vanddekt areal og vannføring ( $y = 19794 \ln(x) + 72972$ ). En analyse av tre forskjellige slippsteder viste at vannslipp i Aurlandsdalen vil gi størst anadrom areal, fulgt av slipp i Stondalen (vanligvis 1-3 % mindre, maks. -12 %) og slipp ved Sitjandefossen (vanligvis 1-12 % mindre, maks. -27 %). Habitatkvaliteten er tilnærmet lik i de tre scenariene.

Dersom målet er å sikre og øke ungfiskproduksjon for laks og sjøaure f.eks. som kompensasjon for tapt ungfiskproduksjon i vassdraget, så betraktes dette som mulig ved økt behovstyrt minstevannføring i Vassbygdelva. Over ca. 0.55 m<sup>3</sup>/s betraktes minstevannbehovet for sideløp som sikret. Fra 0.77 m<sup>3</sup>/s betraktes dagens gyteplasser som sikret mot tørrfalling og opptil ca. 2 m<sup>3</sup>/s vil habitat for ungfisk økes uten å samtidig redusere habitatkvaliteten. Økning i areal per vannføringsenhet avtar med økende vannføring men det er ingen knekkpunkt i den logaritmiske funksjonen.

Vannføringsreglement er avhengig av en rekke andre faktorer utover produksjonspotensialet for ungfisk. I en vilkårsrevisjon skal det legges til grunn en helhetlig vurdering inkludert en kost-nytte analyse. Det anbefales å avveie minstevannføringsreglementet i spennet mellom 0.55 og 2 m<sup>3</sup>/s og benytte modellen gitt ovenfor ( $y = 19794 \ln(x) + 72972$ ), samt at gyteplasser er sikret over ca. 0.77 m<sup>3</sup>/s. Slippsted kan vurderes etter samme mønster i en kost-nytte analyse med arealforholdene gitt i kap. 3.3.

Dagens eksisterende sommervannføringsregime med slipp av 0.5 m<sup>3</sup>/s i perioden 1.-15. juli og 1,5 m<sup>3</sup>/s i perioden 16. juli-15. september fra Vetlebotn (Aurlandsdalen) og 0.3 m<sup>3</sup>/s i perioden 1. juli-1. september fra Langedølainntaket samt vannføringsvariasjonen fra restfelt betraktes som gunstig for ungfiskeproduksjon om sommeren. For å optimalisere vekstforhold for ungfisk bør dette vannføringsregimet utvides til slutten av september, enten ved forlengelse av reglementet eller bruk av valgt løsning for minstevannføring om vinteren.

Det kreves småflommer for å trigge gyte- og smoltvandring samt sjeldne større flommer for å vedlikeholde sedimentkvalitet og -transport. Disse er vanligvis til stede i Vassbygdelvas store restfelt og krever ikke ekstra vannslipp. Konnektivitet vil bedres ved en økt minstevannføring men først og fremst bør tersklene tilpasses slik at Vassbygdelva er passerbar ved de aller fleste vannføringer.

Ved siden av minstevannslipp har tilkobling av sideløp stort potensial til økning av ungfiskhabitat.

## INNHold

<b>1.0</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>4</b>
<b>2.0</b>	<b>Metode</b> .....	<b>5</b>
<b>3.0</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>9</b>
3.1	Oppmålinger.....	9
3.2	Sideløp.....	11
3.3	Vanddedekt areal ved minstevannføring fra forskjellige slippsteder.....	12
3.3.1	Scenarier ved 0,8 m <sup>3</sup> /s antatt minstevannføring.....	13
3.3.2	Scenarier ved 1,2 m <sup>3</sup> /s antatt minstevannføring.....	14
3.4	Varighet.....	15
3.5	Habitatkvalitet.....	15
3.5.1	Sediment.....	15
3.5.2	Konnektivitet.....	17
3.5.3	Hydrauliske og hydrologiske habitatforhold.....	17
3.6	Predasjon.....	18
3.7	Temperatur .....	18
<b>4.0</b>	<b>Diskusjon</b> .....	<b>18</b>
4.1	Vannføring, vanddedekt areal og habitatkvalitet .....	18
4.2	Metode.....	19
4.3	Konklusjon.....	20
<b>5.0</b>	<b>Litteratur</b> .....	<b>21</b>

### 1.0 Innledning

Vannføring i Vassbygdelva har blitt betydelig endret gjennom kraftregulering av Aurlandsvassdraget i 1970-tallet (Ugedal et al. 2019). Ca. 77 % av nedslagsfeltet er fraført (552 km<sup>2</sup> av totalt 718 km<sup>2</sup>). Den naturlige vannføring i Vassbygdelva var godt korrelert til vannføring i Aurlandselva fordi nedslagsfeltet til Vassbygdelva utgjør ca. 88 % av det totale nedslagsfeltet til vassdraget. E-CO bruker 0.7626 som faktor for å fordele historisk vannføring fra Vassbygdelva ved utløpet av Vassbygdvannet. Før reguleringen estimeres middel vannføring i munning Vassbygdelva således til 27 m<sup>3</sup>/s, basert på vannføringsmålinger i Aurlandselva 1950-1970. Gjennomsnittlig årlig vannføring i Vassbygdelva i perioden 2003-2016 (etter regulering) har vært 3,9 m<sup>3</sup>/s. Estimert alminnelig lavvannføring ved vannføringsmålepunktet i Vassbygd basert på opprinnelig nedbørsfelt er 1.4 m<sup>3</sup>/s. Q<sub>5</sub> er estimert til 1.3 m<sup>3</sup>/s (basert på NEVINA analyse 03.04. 2020, [www.nevina.nve.no](http://www.nevina.nve.no)). Ugedal et al (2019) sammenfatter: Av hensyn til turismen i Aurlandsdalen skal det fra Vetlebotvatn slippes 0,5 m<sup>3</sup>/s i perioden 1.-15. juli og 1,5 m<sup>3</sup>/s i perioden 16. juli-15. september. I tillegg skal det fra Langedølainntaket slippes 0,3 m<sup>3</sup>/s i perioden 1. juli-1. september. Etter stranding av fisk i Vassbygdelva på 90-tallet ble det innført en frivillig minstevannsløsning med slipp av vann i tørre

perioder for å sikre elven som fiskehabitat. Fra og med 1995 har regulanten gjennomført frivillig vannslipp på om lag 0,3 m<sup>3</sup>/s i tørre perioder for å hindre at Vassbygdelva tørrlegges. Dette vannslippet skjer hovedsakelig fra kraftstasjonen Aurland 2, noe som betyr at slippvannet renner ned Stondalselva og gir økt vannføring i Vassbygdelva nedstrøms samløpet. Det finnes ingen krav om minstevannføring i Vassbygdelva om vinteren i gjeldende konsesjon.

Sauterleute et al. (2013) og Ugedal et al. (2019) forslår økt minstevannføring om vinteren for å bedre forhold for ungfiskproduksjon av laks og sjøaure. Det foreslås 0.5-0.6 m<sup>3</sup>/s men det understrekes behovet for mer nøyaktige vurderinger og oppmålinger.

Vårt arbeid skal bidra til dette. Med 7 dronebaserte oppmålinger av hele den androme strekningen inklusive Aurlandsdalen og Stondalen i perioden 2017-2018 har vi skaffet et omfattende grunnlag for å korrelere vannføring til vanddekt areal og habitatkvalitet fra tidligere undersøkelser. Dette arbeidet kan legges til grunn i en vurdering av eventuelle minstevannføringsløsninger. Arbeidet ble gjennomført på oppdrag av E-CO Energi AS.

## 2.0 Metode

Både landmåling og hydraulisk modellering (2D) av vanddekt areal medfører usikkerhet i den morfologisk heterogene, røe og bratte Vassbygdelva med mye grovt substrat. Landmåling er begrenset til måling av enkeltprofiler og gjenspeiler ikke heterogeniteten (Fonstad et al. 2013). Hydraulisk modellering i Vassbygdelvi er beheftet med mye usikkerhet pga. grovt substrat, høy ruhet og stor lokal variasjon i elvemorfologien (Hauer et al. 2020; Pulg et al. 2018).

Derfor ble det valgt en direkte oppmåling av vanddekt areal. Målingene ble gjennomført ved forskjellige vannføringer ved hjelp av ortofoto laget med drone (Schuman et al. 2019). Det ble tatt flybilder av den androme delen av Vassbygdselvi (4.9 km lengde) ved 7 forskjellige vannføringer (0.55 til 8.9 m<sup>3</sup>/s, se Tabell 1). Vannføringsdata ble levert av Eco Energi, lokasjon av målestasjonen er ca- 1 km ovenfor Vassbygdvatnet og er merket i Fig. 1. Vannføringer som er brukt i denne rapporten gjelder for dette punktet.

Flygningen ble gjennomført med DJI Phantom 3 Pro drone 90 m ovenfor bakken. Bildene er tatt med perspektiv vertikal nedover. Overlappende enkeltbilder ble postprosessert til et flybilde med Structure from Motion (SfM, Westoby et al., 2012) programvaren Agisoft Photoscan Professional. Flybilder ble så georeferert i Arc Map 10.5. Man oppnådde 0.5 m globalgeografisk nøyaktighet ved 30 kontrollpunkter fordelt over hele elvestrekning.

Vannflaten ble manuelt skilt fra tørt land ved å analysere de georefererte ortofotoene og digitalisert i Arc Map 10.5. Arealberegningene er gjennomført i Arc GIS og det ble skilt mellom følgende soner for å kunne skille mellom slippsteder: Vassbygdelvi, Sitjande-Stondal, Aurlandsdalen, Stondalen (se kart nedenfor). Tivesja er ikke inkludert siden den er ikke tilkoblet hovedløpet. Arealdataene ble knyttet til vannføringene i en logaritmisk modell. Data om habitatkvalitet ble hentet fra Ugedal et al. (2019). Nøyaktighetsvurdering av ortofotoene basert på 70 kontrollpunkter resulterer i en standardavvik på 0.9 % på lengdemåling og 1.4 % på arealmåling (se kap. 4).

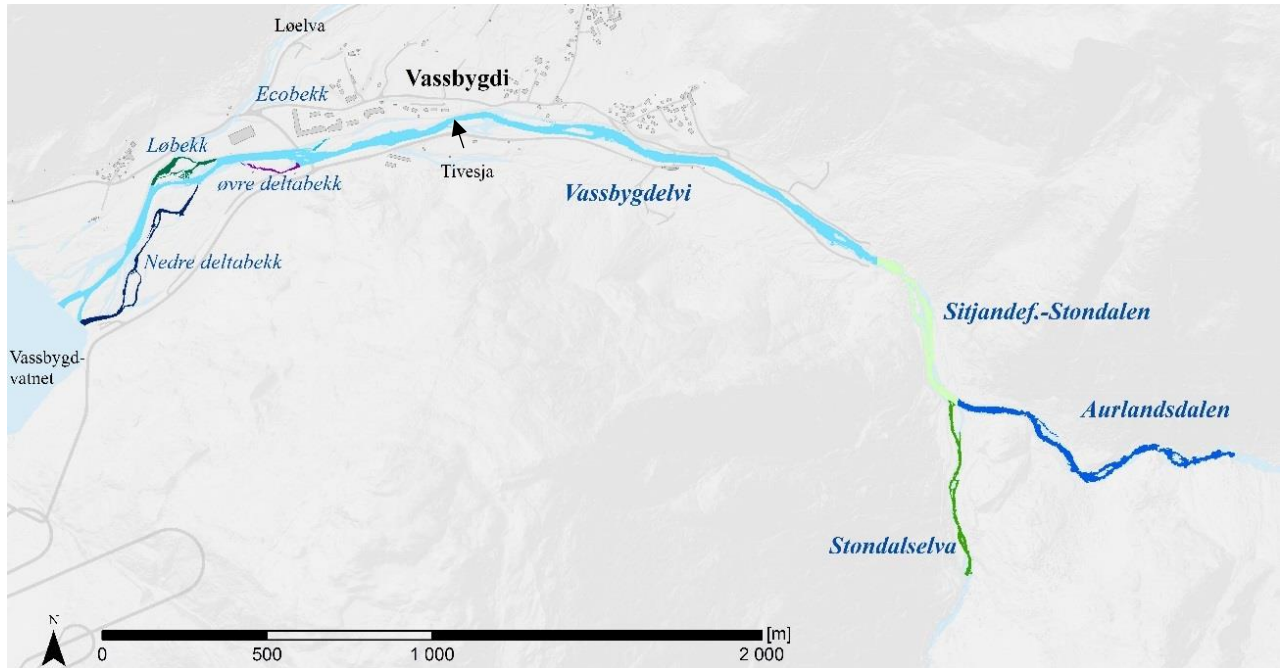


Fig. 1 Kart over undersøkt vassdragsstrekning og vassdragsdeler. Fargene indikerer vassdragsdeler som ble lagt til grunn ved beregning av minstevannslipp på forskjellige steder. Pilen viser vannmålestasjon til E-Co energi.

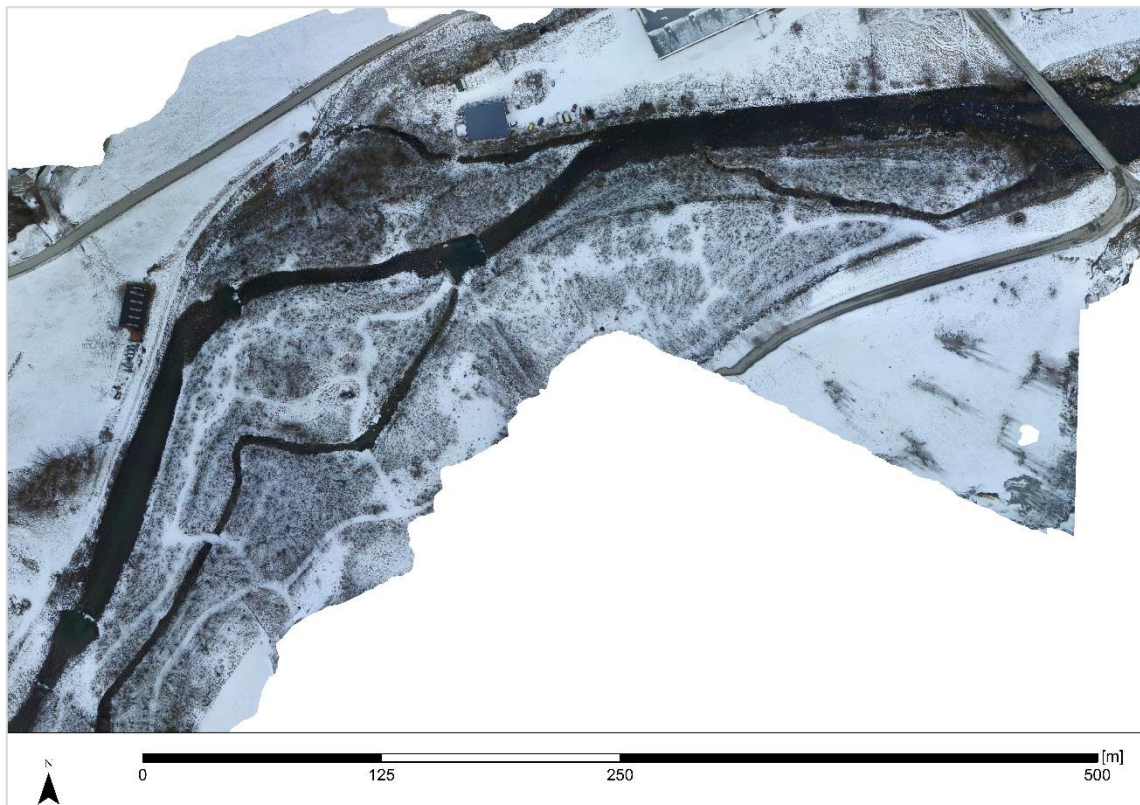


Fig. 2 Ortofoto fra nedre Vassbygd-elva ved  $0.84 \text{ m}^3/\text{s}$

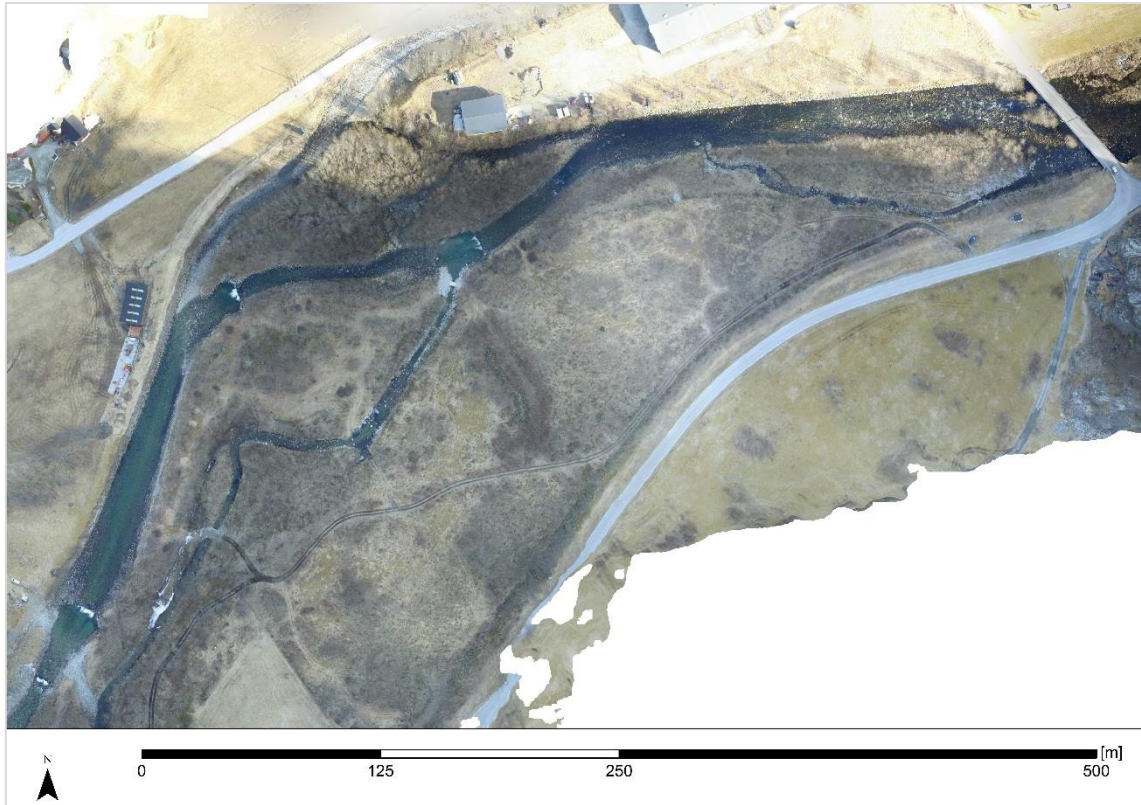


Fig. 3 Ortofoto fra nedre Vassbygdelva ved  $1.17 \text{ m}^3/\text{s}$

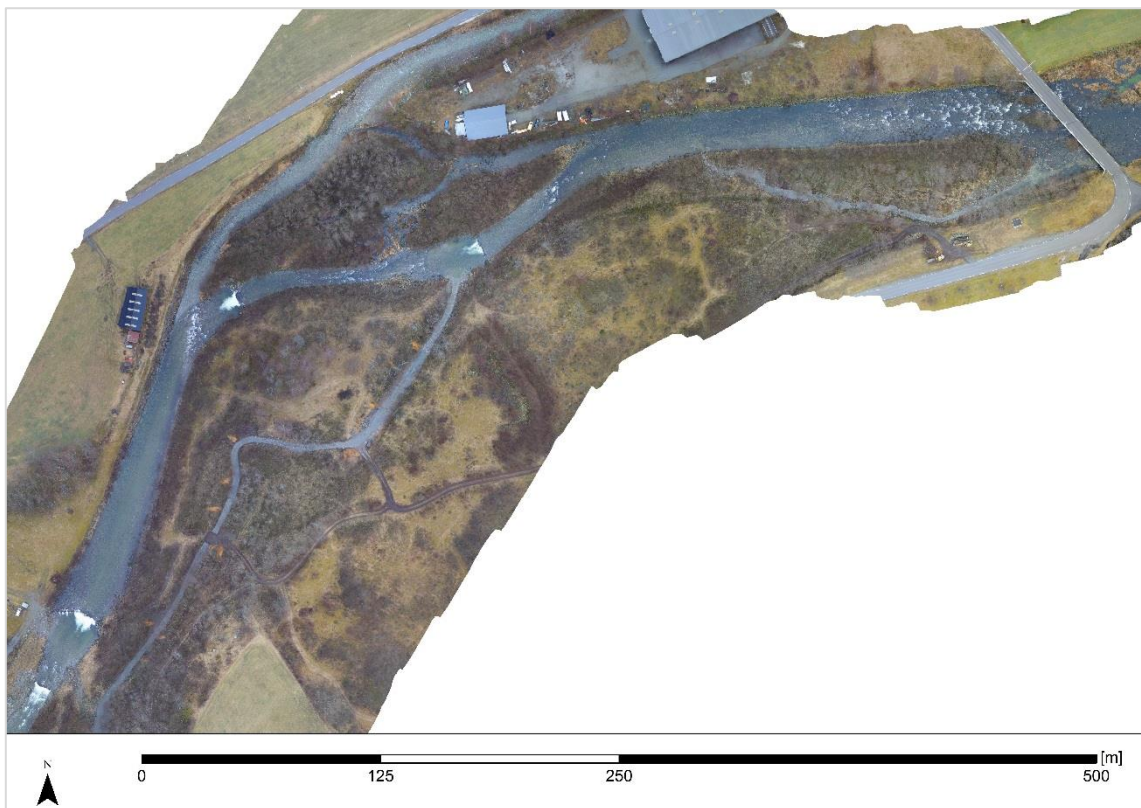


Fig. 4 Ortofoto fra nedre Vassbygdelva ved  $4.46 \text{ m}^3/\text{s}$

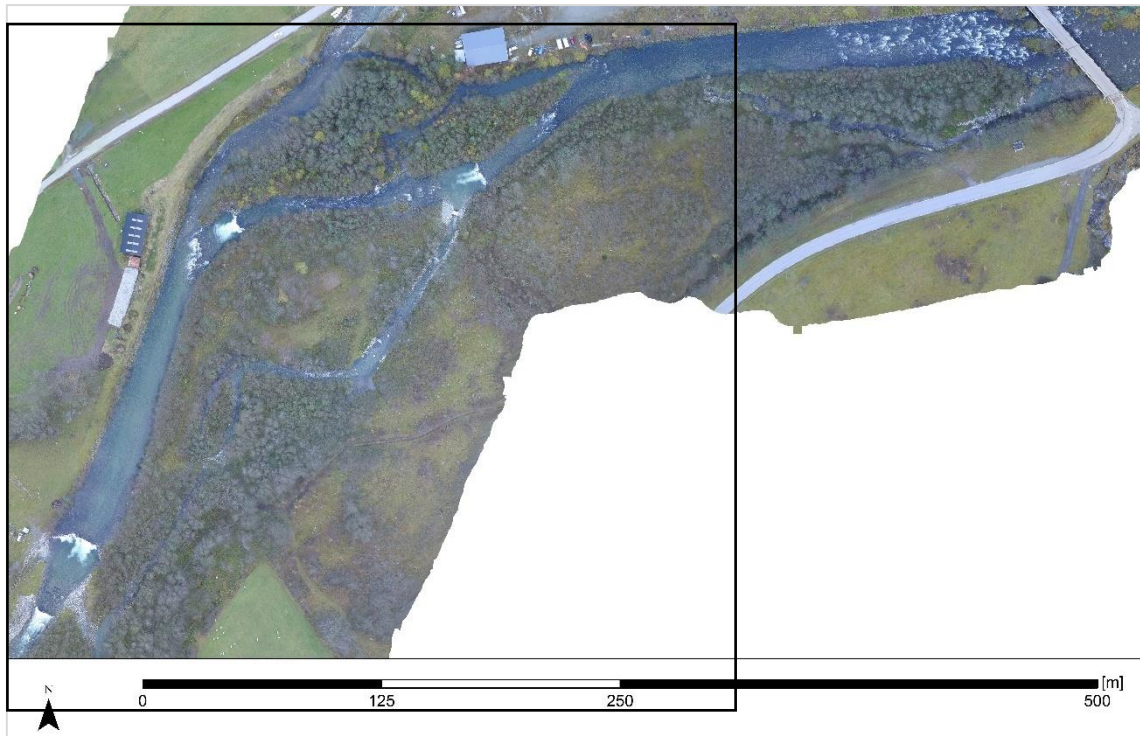


Fig. 5 Ortofoto fra nedre Vassbygdelva ved 8.9 m<sup>3</sup>/s. Rammen indikerer utklippet som er vist i bilde nedenfor.

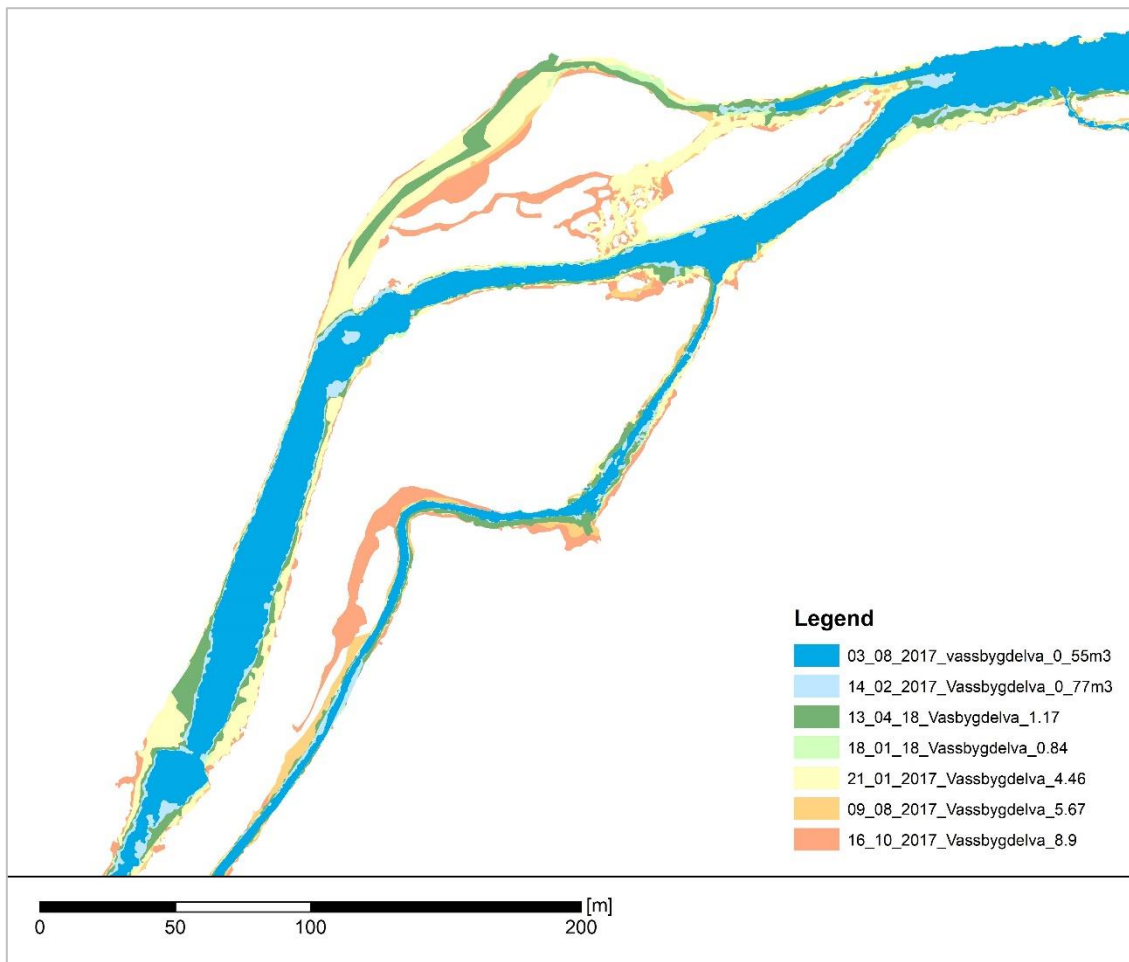


Fig. 6 Illustrasjon av resultatene ved nedre Vassbygdelva og nedre deltabekk med arealer for de 7 oppmålte vannføringer (utklipp vist i bilde ovenfor).

### 3.0 Resultater

#### 3.1 Oppmålinger

Ortofoto basert på droneflygninger er illustrert i Fig. 2 - Fig. 5. Bildene har høy oppløsning og stein ned til 4 cm kan identifiseres. Vanndekt areal ved forskjellige vannføringer er illustrert i Fig. 6Fig. 9. Resultatene fra oppmålingene er sammenstilt i tabell nedenfor (Tabell 1). Største anadrom vassdragsdel er Vassbygdelva nedenfor Sitjandefossen med sideløp. Deretter følger Aurlandsdalen og strekningen mellom Sitjandefoss og munning Stondalselva, minst er strekningen i Stondalselva. Størrelsesforhold av de forskjellige vassdragsdelene er nærmere beskrevet i kap 3.3.

Vanndekt areal øker logaritmisk ved økende vannføring (Fig. 7). Samlet ble det målt vanndekt areal mellom 60533 m<sup>2</sup> ved 0.55 m<sup>3</sup>/s og 110745 m<sup>2</sup> ved 8.9 m<sup>3</sup>/s. Forholdet beskrives med likningen  $y = 19794\ln(x) + 72972$  med  $R^2 = 0.98$ . I Tabell 2 er denne likningen brukt for å beregne forventet vanndekt areal ved vannføringer mellom 0 og 8 m<sup>3</sup>/s trinnvis i 0.1-m<sup>3</sup>/s-skritt.

Gevinsten ved økt vanndekt areal er som vanlig størst ved lave vannføringer og avtar gradvis ved økende vannføringer. -Økningen per 0.1-m<sup>3</sup>/s-trinn er også gitt i Tabell 2 og dessuten fremstilt i Fig. 8.

Tabell 1. Vannføring og oppmålt vanndekt areal [m<sup>2</sup>] ved 7 forskjellige vannføringer for hele den anadrome delen av Vassbygdelva.

Dato og Vannføring [m <sup>3</sup> /s]	08_03_2017_0.55	14_2_2017_0.77	18_01_18_0.84	13_04_18_1.17	21_1_2017_4.46	09_08_2017_5.67	16.10.2017_8.9
Vassbygdelvi	42585	46154	49002	53125	71286	73368	75511
Sitjande.-Stondal	4576	5053	6095	6674	11421	11919	11956
Aurlandsdalen	8627	9919	11772	12764	17237	17838	17328
Stondalselva	4745	3632	4284	4319	6345	6580	5950
Sum	60533	64758	71153	76882	106289	109705	110745

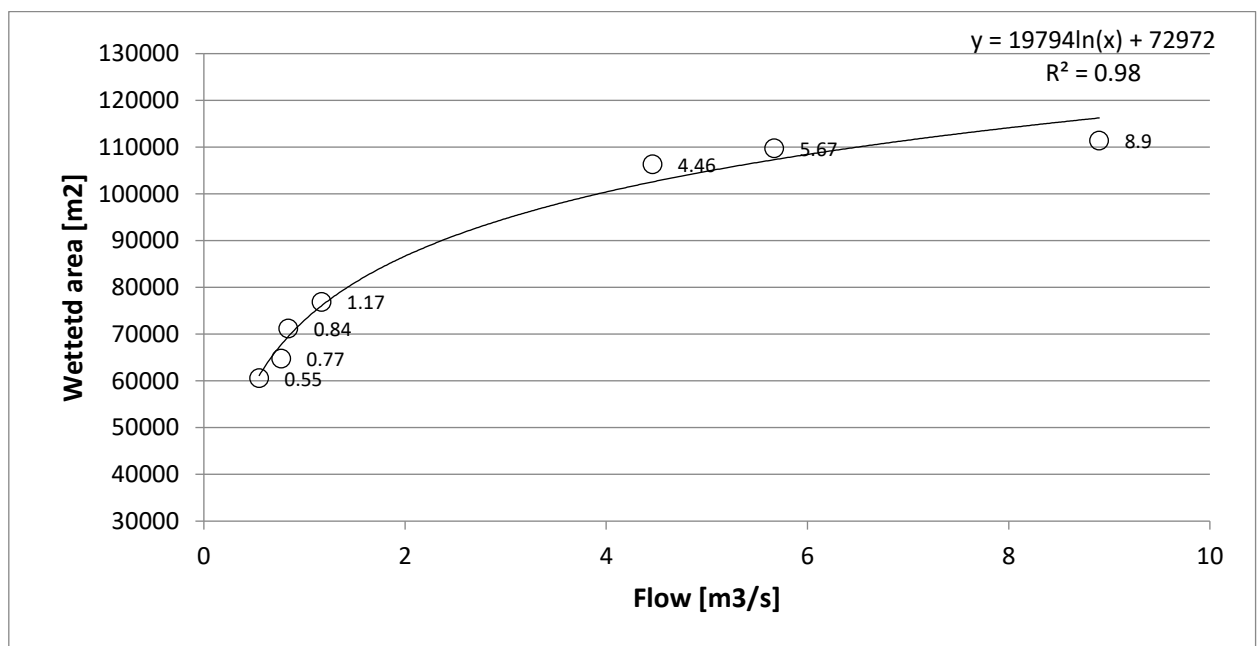


Fig. 7 Vannføring og oppmålt vanndekt areal ved 7 forskjellige vannføringer for hele den anadrome delen av Vassbygdelva plottet som diagram med logaritmisk trendlinje ( $R^2=0,98$ ).



Tabell 2. Vanndekt areal avhengig av vannføring for total anadrom areal i Vassbygdelva beregnet etter  $y = 19794 \ln(x) + 72972$ ,  $R^2 = 0.98$

m <sup>3</sup> /s	m <sup>2</sup>	endring	m <sup>3</sup> /s	m <sup>2</sup>	endring	m <sup>3</sup> /s	m <sup>2</sup>	endring	m <sup>3</sup> /s	m <sup>2</sup>	endring
0.1	27395		2.1	87658	1.1 %	4.1	100901	0.5 %	6.1	108765	0.3 %
0.2	41115	50.1 %	2.2	88579	1.1 %	4.2	101378	0.5 %	6.2	109087	0.3 %
0.3	49141	19.5 %	2.3	89459	1.0 %	4.3	101844	0.5 %	6.3	109404	0.3 %
0.4	54835	11.6 %	2.4	90301	0.9 %	4.4	102299	0.4 %	6.4	109716	0.3 %
0.5	59252	8.1 %	2.5	91109	0.9 %	4.5	102744	0.4 %	6.5	110022	0.3 %
0.6	62861	6.1 %	2.6	91885	0.9 %	4.6	103179	0.4 %	6.6	110325	0.3 %
0.7	65912	4.9 %	2.7	92632	0.8 %	4.7	103604	0.4 %	6.7	110622	0.3 %
0.8	68555	4.0 %	2.8	93352	0.8 %	4.8	104021	0.4 %	6.8	110916	0.3 %
0.9	70886	3.4 %	2.9	94047	0.7 %	4.9	104429	0.4 %	6.9	111205	0.3 %
1	72972	2.9 %	3	94718	0.7 %	5	104829	0.4 %	7	111489	0.3 %
1.1	74859	2.6 %	3.1	95367	0.7 %	5.1	105221	0.4 %	7.1	111770	0.3 %
1.2	76581	2.3 %	3.2	95995	0.7 %	5.2	105606	0.4 %	7.2	112047	0.2 %
1.3	78165	2.1 %	3.3	96605	0.6 %	5.3	105983	0.4 %	7.3	112320	0.2 %
1.4	79632	1.9 %	3.4	97195	0.6 %	5.4	106353	0.3 %	7.4	112589	0.2 %
1.5	80998	1.7 %	3.5	97769	0.6 %	5.5	106716	0.3 %	7.5	112855	0.2 %
1.6	82275	1.6 %	3.6	98327	0.6 %	5.6	107072	0.3 %	7.6	113117	0.2 %
1.7	83475	1.5 %	3.7	98869	0.6 %	5.7	107423	0.3 %	7.7	113376	0.2 %
1.8	84607	1.4 %	3.8	99397	0.5 %	5.8	107767	0.3 %	7.8	113631	0.2 %
1.9	85677	1.3 %	3.9	99911	0.5 %	5.9	108105	0.3 %	7.9	113883	0.2 %
2	86692	1.2 %	4	100412	0.5 %	6	108438	0.3 %	8	114132	0.2 %

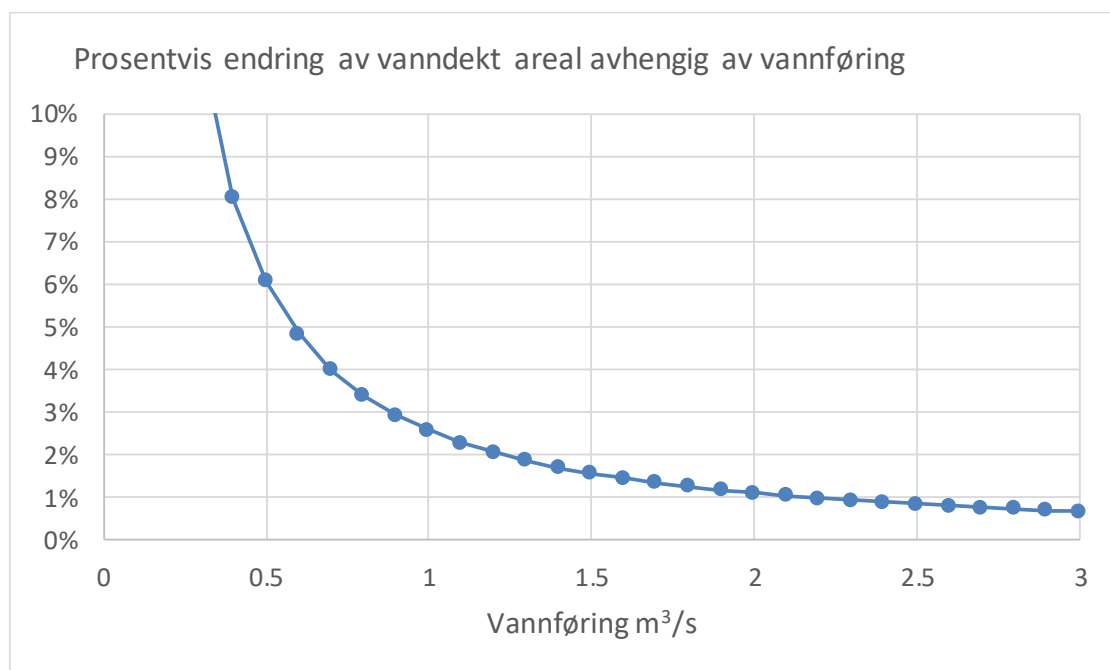


Fig. 8 Prosentvis endring av vanndekt areal avhengig av vannføring, data fra Tabell 2

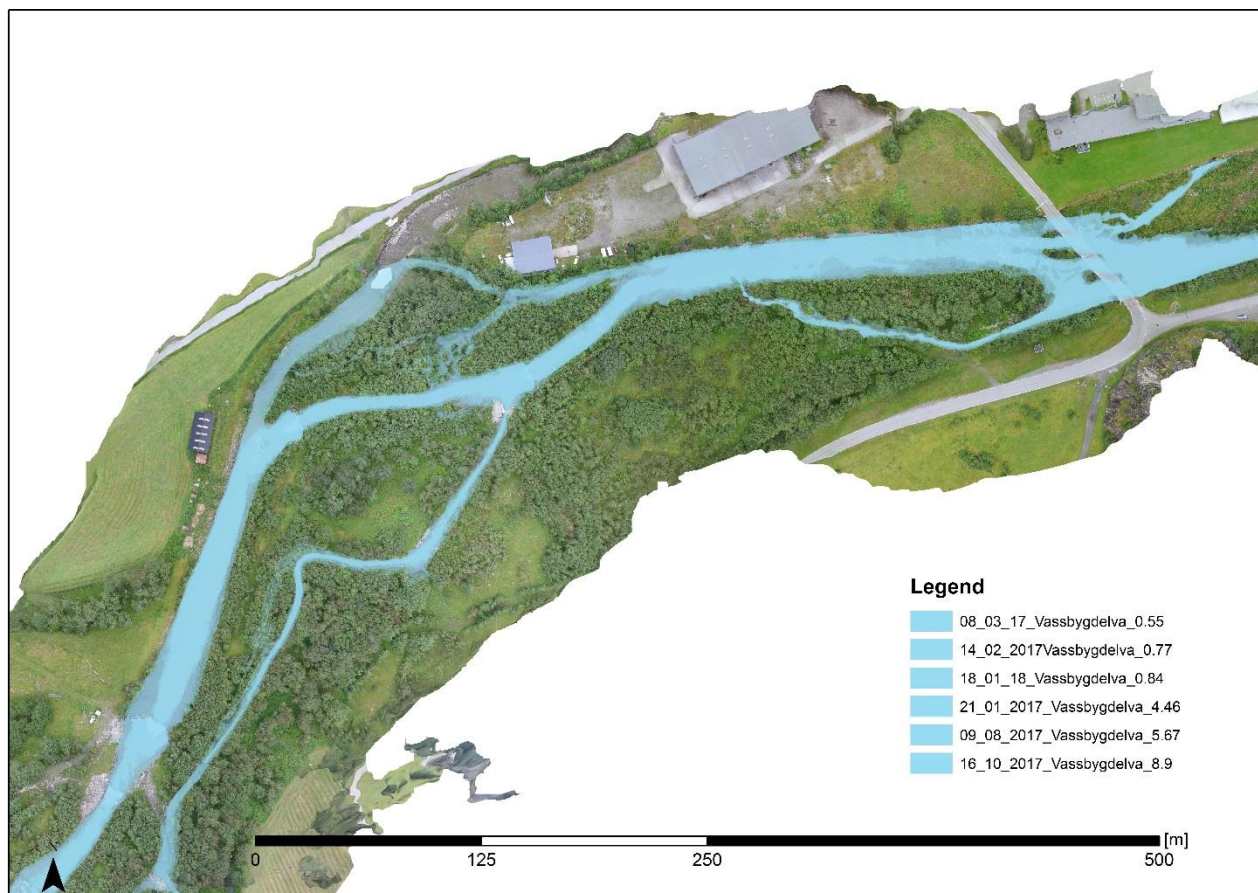


Fig. 9 Nedre Vassbygdelva med sideløpsystemene ved forskjellige vannføringer. De to løpene sør for hovedelven ble restaurert og tilkoblet i 2017

### 3.2 Sideløp

Sideløp har vært del av den opprinnelige morfologien av Vassbygdelva. Delvis finnes slike løp fortsatt etter reguleringen - i hvert fall som flomløp, for eksempel et sideløp ved munning til Løelva (referert som Løbekk). To løp nedenfor hovedveibroen i Vassbygdi har blitt restaurert i 2017, «øvre» og «nedre deltabekk». Bekken ved E-Co-bygget er anadrom i nedre del og består trolig delvis av grunnvanntilslig. Et kart over bekkene finnes i Fig. 1. Arealene til de fire bekkene er gitt i tabell under. Samlet sett utgjør det 7-9 % av anadrom areal i Vassbygdelva, de nyrestaurerte bekkene i deltaet alene står for 5-6 %.

Sideløpene er tilkoblet etter hverandre, dvs. vann ledes ut og inn i hovedelv igjen, før den neste ledes ut. Inntakene er lagt opp til dempet men varierende vannføring i bekkene og det anslås et minimumsbehov på ca. 50 l/s for å sikre overlevelse av egg og ungfisk i bekkene.

Potensialet i Løelva (Midjeelva) ble anslått til 12.600 m<sup>2</sup> (19 % av anadrom areal i Vassbygdelva) og i Tivesja til 2500 m<sup>2</sup> (4 % av anadrom areal, ved ca. 0.8 m<sup>3</sup>/s, Ugedal et al. 2019). Løelva er et sidevassdrag til Vassbygdelva og får ikke vann fra slipp i Aurlandsdalen. Løelva behandles i Ugedal et al. 2019.

Tabell 3. Vanndekt areal i 4 sideløp ved forskjellige vannføringer (dette arealet er inkludert under «Vassbygdelvi» i Tabell 1)

Dato og vannføring	08.03.2017 _0.55	14_2_2017 _0.77	18_01_18 _0.84	13_04_18 _1.17	21_1_2017 _4.46	09.08.2017 _5.67	16_10_201 7_8.9
Ecobekk	203	203	255	262	302	332	288
Løbekk	0	193	456	862	2443	2527	3183
N. Deltabekk	3264	3411	3668	4180	4127	4748	5727
Ø. Deltabekk	490	623	511	631	864	992	996
SUM	3957	4430	4890	5935	7736	8599	10194

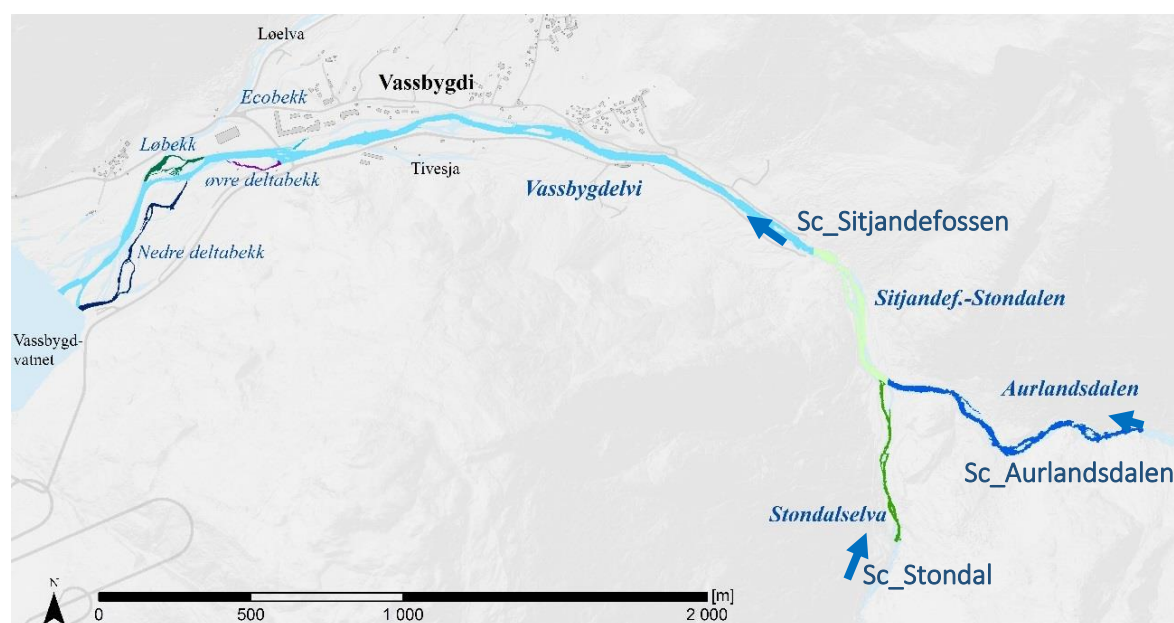


Fig. 10 Vassdragsdeler og slippscenarier (piler)

### 3.3 Vanndekt areal ved minstevannføring fra forskjellige slippsteder

For å kunne vurdere effekten av forskjellige slippsteder (Ugedal et al. 2019) på samlet anadrom areal, beregnes vanndekt areal for følgende scenarier:

1. Pumping av vann fra Vassbygdvatn til foten av Sitjandefossen (Sc Sitjandefossen)
2. Vannslipp fra Vetlebotn gjennom Aurlandsdalen (Sc Aurlandsdalen)
3. Vannslipp fra Aurland II gjennom Stondalen (Sc Stondalen)

Beregningen er gjort på følgende måte:

Vi beregner det totale vanndekte anadrome arealet i vassbygdelva som oppstår ved behovsstyrt vannslipp på forskjellige slippsteder. Vanndekt areal simuleres for forskjellige vær- og tilsigforhold, siden dette er avgjørende for restvannføring i vassdragsdelene og behovet for vannslipp. Det lages derfor scenerier for 3 forskjellige slippsteder og 7 forskjellige tilsigssituasjoner (tilsvarende våre 7 oppmålinger). Våre oppmålinger ble ikke gjennomført ved resttilsig lavere enn  $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$ . Slike er sjeldne, men forekommer (16 % av tiden, se kap. 3.4). For å muliggjøre en vurdering av slike situasjoner har vi inkludert det verst tenkelige utfallet, et worst-case scenario som legger til grunn

en langvarig og ekstrem tørke- eller kuldeperiode som fører til at alt vannet ovenfor slippstedet tørker ut.

Det ble lagt til grunn samme tilsigsforhold i nedbørsfeltet som i oppmålingene vist i kap.3.1. Med dette kunne vi bruke reelle oppmålinger for å summere vanddekt areal ved forskjellige scenarier. Det legges eksempelvis til grunn samme arealene i vassdragsdelene som ved tilsigssituasjon som førte til 0,55 m<sup>3</sup>/s – bare nedenfor slippstedet økes arealet tilvarende slippet vannføring som beregnes basert på resultatene i kap. 3.1.

Det ble lagt til grunn at det bare slippes vann når vannføring i Vassbygdeldvi faller under en terskelverdi og det sikres ved antatte minstevannføringer. Vi har valgt å simulere dette for henholdsvis 0.8 m<sup>3</sup>/s og 1.2 m<sup>3</sup>/s. Ved store vannføringer uten behov for å slippe vann er det ingen arealforskjell mellom scenariene fordi det er stort resttilsig i alle vassdragsdeler i slike situasjoner. Det er derfor det ikke synes forskjeller mellom tilsigssituasjoner som ligger over minstevannføringsterskel (Fig. 11). Da er det per definisjon ikke noe vannslipp og derfor ikke noen forskjell mellom slippstedene. Vanddekt areal for anadrom del vil være det samme i slike situasjoner. Ved behov for minstevannslipp blir vanddekt areal i strekningen med minstevannslipp økt. Derfor er det i slike tilsigssituasjoner at det er arealforskjeller mellom slippsscenarioene (Fig. 12). Disse er desto større jo større vannslippet er og ved tilsigssituasjoner med lavt resttilsig ellers.

### 3.3.1 Scenarier ved 0,8 m<sup>3</sup>/s antatt minstevannføring

Fig. 11 og Fig. 12 viser figurer med vanddekt areal i scenariene ved en antatt minstevannføring på 0.8 m<sup>3</sup>/s. Er resttilsaget under 0.8 m<sup>3</sup>/s slippes vann og da synes arealforskjeller. Scenario med vannslipp Aurlandsdalen gir mest areal, deretter følger Scenario Stondal og så Sitjandefossen (Tabell 4). Vassbygdeldvi har størst arealandel. Det må fremheves at det er vanddekket areal på alle strekninger ved et resttilsig på 0.55 og 0.77 m<sup>3</sup>/s, også i de vassdragsdelene uten vannslipp. Derfor er forskjellene mellom scenarioene relativ små. Stondalsscenario gir 1-3 % mindre areal enn Aurlandsdalen i slike situasjoner. Scenario Sitjandefossen gir 2-13 % mindre areal enn Aurlandsdalen.

I en worst-case situasjon, når alt vann ovenfor slippstedet skulle tørke ut, vil scenario Stondalen gi 11 % mindre og Sitjandefossen 26 % mindre areal enn Aurlandsdalen. Worst-case scenarioet viser potensialet for størst mulig forskjell mellom slippsscenarioene.

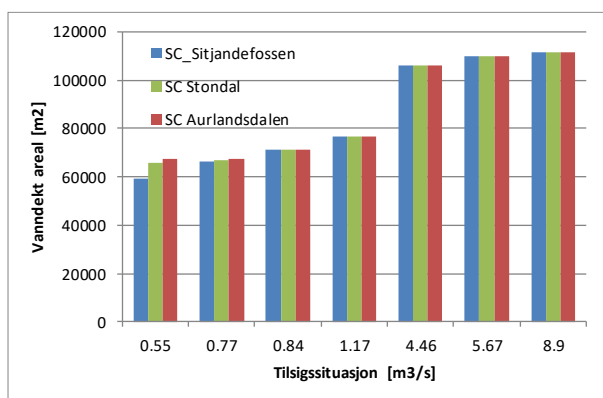


Fig. 11 Vanddekt areal ved forskjellige slippsteder (sikrer 0.8 m<sup>3</sup>/s) og forskjellige tilsigssituasjoner

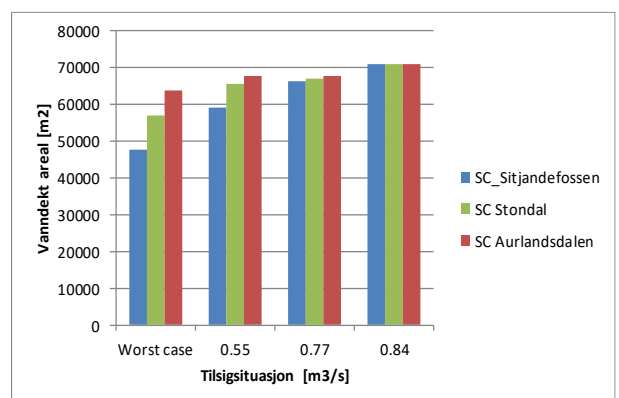


Fig. 12 Vanddekt areal i forskjellige slippsscenarioer ved vannslipp som sikrer 0,8 m<sup>3</sup>/s, vist for et resttilsig under 0.8 m<sup>3</sup>/s, inkludert worst case scenario.

Tabell 4. Vanndekt areal beregnet avhengig av slippscenarier og resttilsig ved en antatt minstevannføring på 0.8 m<sup>3</sup>/s

Dato og resttilsig:	14_2_2017_0.77	08_03_2017_0.55	Worst case, utørking
SC_Sitjandefossen m <sup>2</sup>	66182	58997	47578
%	98 %	87 %	74 %
SC Aurlandsdalen m <sup>2</sup>	67630	67630	63998
%	100 %	100 %	100 %
SC Stondal m <sup>2</sup>	67029	65737	57110
%	99 %	97 %	89 %

### 3.3.2 Scenarier ved 1,2 m<sup>3</sup>/s antatt minstevannføring

**Error! Reference source not found.** og Fig. 14 viser vanndekt areal for scenariene ved en antatt behovsstyrt minstevannføring på 1.2 m<sup>3</sup>/s. Er resttilsaget under 1.2 m<sup>3</sup>/s slippes vann fra et av slippstedene og da synes arealforskjeller (se tall i Tabell 5). Scenarioet med vannslipp i Aurlandsdalen gir mest areal, deretter følger Scenario Stondal og så Sitjandefossen. Siden det ikke er helt tørt ved resttilsig på 0.55-0.84 m<sup>3</sup>/s er det vanndekt areal også i de vassdragsdelene som ikke har vannslipp. Som ved 0.8 m<sup>3</sup>/s gir Stondalsscenario 1-3 % mindre areal enn Aurlandsdalen, men Scenario Sitjandefossen gir 1-9 % mindre areal. I en worst-case situasjon, når alt vann ovenfor slippstedet skulle tørke ut, vil scenario Stondalen gi 12 % mindre og Sitjandefossen 27 % mindre areal enn Aurlandsdalen.

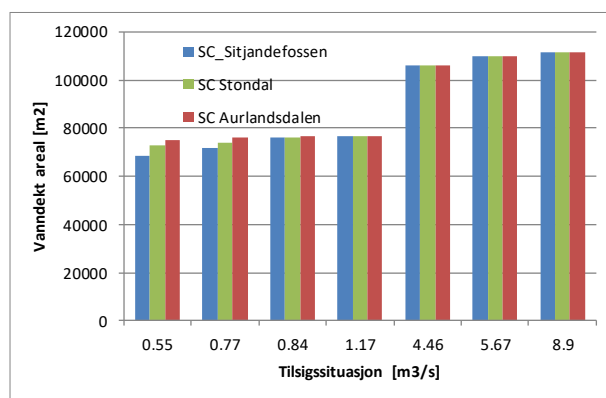


Fig. 13 Vanndekt areal ved forskjellige slippsteder (som sikrer 1,2 m<sup>3</sup>/s) og forskjellige tilsigssituasjoner.

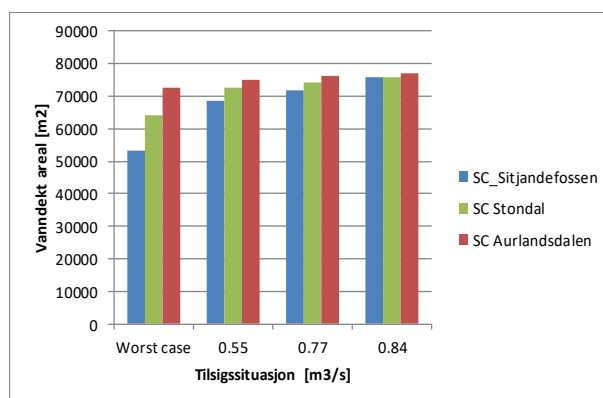


Fig. 14 Vanndekt areal i forskjellige slippscenarier (sikrer 1.2 m<sup>3</sup>/s), vist for et resttilsig under 1.2 m<sup>3</sup>/s, inkludert worst-case scenario.

Tabell 5. Vanndekt areal beregnet avhengig av slippscenarier og resttilsig ved en antatt minstevannføring på 1.2 m<sup>3</sup>/s

	14_2_2017_0.77	08_03_2017_0.55	18_01_18_0.84	worst case
SC_Sitjandefossen m <sup>2</sup>	71729	68426	75855	53125
%	94 %	91 %	99 %	73 %
SC Aurlandsdalen m <sup>2</sup>	76195	75063	76847	72563
%	100 %	100 %	100 %	100 %
SC Stondadal m <sup>2</sup>	74037	72745	75890	64118
%	97 %	97 %	99 %	88 %

### 3.4 Varighet

Basert på vannføringsmålinger som vi har mottatt fra E-CO Energi fra 2004 til 2014 ble det beregnet en varighetskurve som er vist i Fig. 15. Perioden inkluderer frivillig slipp av ca. 0.3 m<sup>3</sup>/s via Stondalen ved vannførings situasjoner under 0.5 m<sup>3</sup>/s.

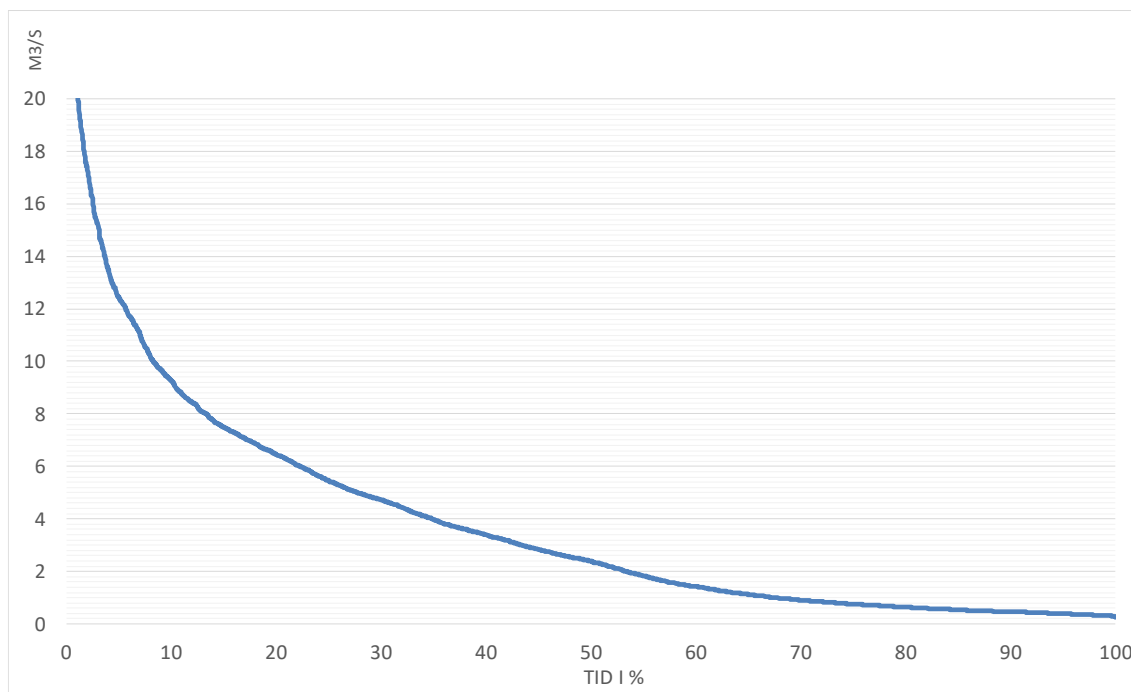


Fig. 15 Varighetskurve i Vassbygdelvi i tidsrom 2004-2014

Tabell 6. Varighet vannføringer i Vassbygdelva 2004-2014

% av tid over	Vannføring [m <sup>3</sup> /s]	% av tid over	Vannføring [m <sup>3</sup> /s]
		65.4	1.1
		63.5	1.2
99.7	0.3	61.9	1.3
94.3	0.4	60.3	1.4
87.2	0.5	58.7	1.5
81.9	0.6	57.3	1.6
77	0.7	56.3	1.7
73.4	0.8	55.4	1.8
70.3	0.9	54.3	1.9
67.6	1	53.4	2

### 3.5 Habitatkvalitet

#### 3.5.1 Sediment

Skjultilgang i elvebunn er høyest i Vassbygdelvi nedenfor Sitjandefossen (13.1 gjennomsnittlig vektet skjul, 2017) og avtar i de brattere øvre deler med grovere substrat og mindre hulrom per areal (9 i Stondalen, 9.5 i Aurlandsdalen). Elvens økende helning gjenspeiles også i mindre

gytegrusandel i øvre deler. Grusandelen er 5.8 % i Vassbygdelvi, 3.2 % i Aurlandsdalen og 0.9 % Stondalen , se Tabell 7.

Gytearealet og vektet skjul er målt opp ved 0.8-1 m<sup>3</sup>/s. Ved 0,55 m<sup>3</sup>/s faller ca. 347 m<sup>2</sup> gyteareal tørr (10.5 %). Ved 0.77 m<sup>3</sup>/s er de kartlagte gyteplassene som er brukt av fiskene vanddekt. Ved større vannføringer forventes en liten økning av gytearealet, men siden de fleste ligger på brekkene som er dekket ved 0,77 m<sup>3</sup>/s vil den økningen over ca. 0,77 m<sup>3</sup>/s ikke være stor.

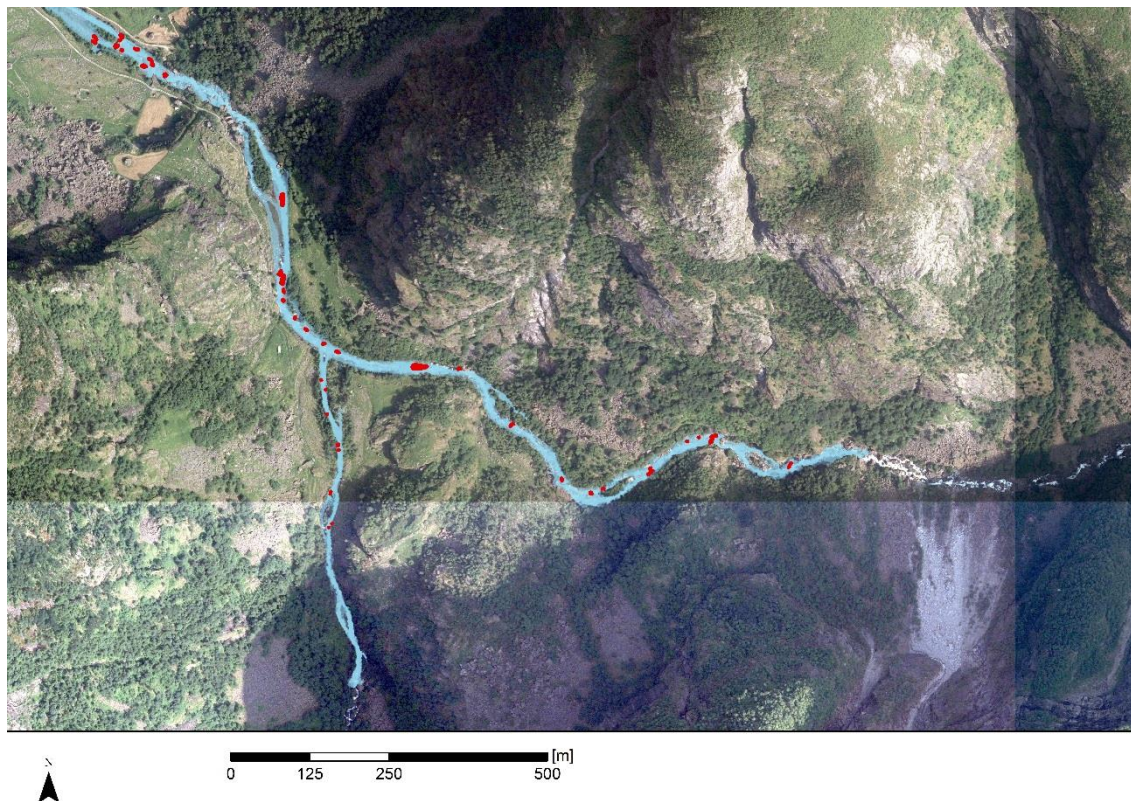


Fig. 16 Illustrasjon av gyteareal (rød) og vanddekt areal i øvre anadrom del av Vassbygdelva.

For vektet skjul er det ingen vesentlig endring ved økt vannføring opptil ca. 4 m<sup>3</sup>/s fordi sedimentsammensetning og skjultilgang er relativt homogen i elvesengen opptil den vannføringen.

For å belyse eventuelle forskjeller i habitatkvaliteten mellom slippscenarione er gytearealandel og vektet skjul beregnet for forskjellige vassdragsdeler (Tabell 7) og slippscenarier (Tabell 8).

Scenario Aurlandsdalen gir mest gyteareal, men litt mindre skjul. Selv om enkeltavsnittene er forskjellige, så viser resultatene i Tabell 8 at det er små forskjeller i habitatkvalitet hvis man sammenfatter vassdragsdelene i henhold til slippstedene. Vektet skul ligger mellom 12.7 og 13.1 og gytearealandelen mellom 5.3 % og 5.8 %.

Årsak til de små forskjellene innen habitatkvalitet er at Vassbygdelvi er størst arealmessig og dominerer modellen. Hovedforskjellen mellom scenariene er derfor arealforskjellen.

Tabell 7. Vanddekt areal, vektet skjul og gyteareal i anadrome vassdragsdeler av Vassbygdelva

Vassdragsdel	Areal [m <sup>2</sup> ]	vektet skjul	Gyteareal [m <sup>2</sup> %]
Vassbygdelva totalt med sideløp	64758	12.0	3294 (5 %)
Vassbygdelvi til Sitjandefossen	46154	13.1	2717 (5,8 %)
Sitjandfossen-Stondalselva	5053	11.9	230 (4,6 %)
Aurlandsdalen	9919	9.5	315 (3,2 %)
Stondalselva	3632	9.0	32 (0,9 %)

Tabell 8. Dataene fra vassdragsdelene i Tabell 7 sammenfattet til scenariene i henhold til kap. 3.3

Vannslippscenario	Areal [m <sup>2</sup> ]	vektet skjul	Gyteareal [m <sup>2</sup> %]
SC_Sitjandefossen	46154	13.1	2717 (5.8 %)
SC Aurlandsdalen	61126	12.4	3262 (5.3 %)
SC Stondadal	54839	12.7	2979 (5.4 %)

### 3.5.2 Konnektivitet

Fisk kan vandre i Vassbygdelva opp til Almagjelet i Aurlandsdalen. Sitjandefossen vurderes som vannføringsavhengig vandringshinder som bare kan passeres ved gunstige mellomstore vannføringer (Ugedal et al. 2019). Hvert år siden 2010 har anadrom fisk passert fossen (vanligvis 5-20 individ). I elven nedenfor Sitjandefossen er vandringsmuligheterterter ved lave vannføringer sannsynligvis redusert grunnet 12 terskler som er opptil 1,25 m høy (Stranzl & Pulg 2020). Det ansås at de høyeste terskeltrinnene blir vanskelig å passere ved vannføringer under 1 m<sup>3</sup>/s. Ved vannføringer under 0.6 m<sup>3</sup>/s virker de høyeste trinn trolig som midlertidige vandringshinder. Det foregår en undersøkelse og tiltaksplanlegging med justering, senking eller installasjon av utsparinger i tersklene (lavvannsrenne) slik at fisk vil kunne vandre ved alle vannføringer over ca. 0.5 m<sup>3</sup>/s (Stranzl & Pulg 2020). Økt minstevannføring vil bedre vandreforhold men også justering av tersklene vil kunne sørge for tilstrekkelig konnektivitet og fri vandring av fisk i Vassbygdelva for vannføringer over 0,5 m<sup>3</sup>/s.

### 3.5.3 Hydrauliske og hydrologiske habitatforhold

Vassbygdelva er nedskalert i forhold til før reguleringen. Dette gjelder total vannføring men også elvesengens bredde samt morfologi og ikke minst sedimenttransport, særlig i nedre del (Ugedal et al. 2019). Endringene har også konsekvenser for habitatkvalitet ved eventuelle minstevannslipp. Ved antatte minstevannslipp som sikrer 1 m<sup>3</sup>/s vil det være en stabil vannføring ved ca. 32 % av tiden, ved 2 m<sup>3</sup>/s ca. 47 % av tiden og ved 4 m<sup>3</sup>/s ca. 67 % av tiden. For å optimalisere fiskeproduksjon og vedlikeholde habitatkvalitet trengs vannføringsvariasjon (Forseth & Harby 2013) som må balanseres mot tørrfalling og habitatets størrelse. Gitt dagens elveseng vil minstevannføringer over ca. 2 m<sup>3</sup>/s sørge for stabile forhold over ca. 50 % av tiden – noe som trolig vil medføre redusert sediment kvalitet eller ekstrabehov til ripping og endringer i elvesengen. Dagens eksisterende vannføringsregime om sommeren inkludert variasjonen fra restfeltet betraktes som gunstig for fiskeproduksjon i vanlige år og denne bør sikres og utvides til slutten av sommersesongen (ut september) dersom ungfiskproduksjonen skal økes (Ugedal et al 2019).

En øvre grense for minstevannføring kan også være nådd når det oppstår ugunstige hydrauliske forhold, eksempelvis for høye vannhastigheter eller lite produktive kvitstryk. Basert på våre droneoppmålinger oppstår slike forhold i liten grad opptil ca. 4-5 m<sup>3</sup>/s.



### 3.6 Predasjon

Det har blitt observert døde og skadete fisk i Vassbygdelva, trolig skadet av oter. Det ble observert skadete fisk i oktober 2017 (70 % med skade basert på drivtelling) og i oktober 2018 (30 %). Skadene kan henge sammen med varierende tetthet og atferd av predatorer men også med vannføringen og da særlig med redusert konnektivitet. Ved svært lave vannføringer kan fluktmuligheter for fisk være redusert. Dette blir forsterket av terskler som kan virke som vandringshinder. Konnektivitet og fluktmuligheter vil forbedres dersom det gjennomføres tiltak på tersklene (kap.3.5.2) og ved økt vannføring.

### 3.7 Temperatur

Med økt vannslipp kan det regnes med temperaturendringer i Vassbygdelva, relativt sett kaldere vann om sommeren og varmere vann om vinteren. Slik som forslagene diskuteres nedenfor, med ca. samme sommervannslipp og et moderat behovsstyrt vannslipp om vinteren, samt lange dalfører i både Stondalen og Aurlandsdalen forventes små endringer i temperaturen i anadrom del av vassbygdelva. Dette er imidlertid avhengig av slippsted og vannvolum og bør overvåkes.

## 4.0 Diskusjon

### 4.1 Vannføring, vanndekt areal og habitatkvalitet

Vanndekt areal i den anadrome delen av Vassbygdelva øker med vannføringen og denne økningen avtar gradvis etter en logaritmisk funksjon (Fig. 7). Det er ikke noe entydig «knekkpunkt». Vi anbefaler å bruke den matematiske funksjonen som beskriver forholdet mellom vanndekket areal og vannføring i vurderingen av en minstevannføringsløsning, og så avveie dette i en kost-nytte analyse.

Forholdet mellom vanndekt areal og vannføring beskrives med funksjonen:

$$y = 19794 \ln(x) + 72972$$

I Tabell 2 har vi har regnet ut vanndekt areal etter denne formelen trinnvis for vannføringer mellom 0.1 og 8 m<sup>3</sup>/s. Disse verdiene kan brukes i en interesseavveining. Tabellen gir også informasjon om prosentvis endring av vanndekt areal per 0.1 m<sup>3</sup>/s økning.

Skjultilgang er ikke vesentlig forskjellig mellom vannføringene etter skala og metode som er brukt til kartlegging (Ugdal et al. 2019). Under 0.55 m<sup>3</sup>/s begynner viktige gyteplasser å tørrfalle (10.5 %

ved 0.55 m<sup>3</sup>/s) og ved lavere vannføringer vil den andelen øke. Ved 0.77 m<sup>3</sup>/s er de kartlagte gyte plassene som er brukt av fiskene vanddekt.

Uansett løsning bør det gjennomføres en kvantitativ overvåking med klare forventninger om en målsetting og muligheter til justering. Ved økt minstevannføring til 0.65 m<sup>3</sup>/s forventes en stabilisering og moderat økning av ungfisktettheter over tid, samt et større vanddekt areal. Ved videre økning forventes at disse tetthetene måles i et større areal og fører til en større totalproduksjon av ungfisk.

## 4.2 Metode

Metoden med å bruke dronebilder til beregning av vanddekt areal og å sette opp en modell som viser sammenhengen mellom vanddekt areal og vannføring har vist seg å være et presist og kostnadseffektivt verktøy. Oppmålingen dekket hele elvearealet inkludert sideløp mens konvensjonell oppmåling baserer seg ofte på enkelte tverrprofiler i delstrekninger. Hydraulisk modellering kan være et alternativ i fluviale elvestrekninger men betraktes som for usikker uten detaljerte kalibreringsmålinger i semi- og ikke-fluviale elvestrekninger med heterogent sediment og høy ruhet (Hauer et al. 2020; Hauer and Pulg 2020). Dette ville ha krevd omfattende oppmålinger som for eksempel grønn laser-scanning og kalibrering med oppmålt vanddekt areal og da betraktes det heller som hensiktsmessig å knytte reelle oppmålinger direkte til vannføring.

Georeferering ble gjennomført ved oppmåling og post-prosessering av bakkekontrollpunkter fremfor georeferering basert på flybilde. Nøyaktighet som ble oppnådd med dette betraktes som tilfredsstillende. Ved kontrollmåling av 70 transekter i relevant målestokk (11-49 m) ble det registrert en gjennomsnittlig standardavvik på 0,9 % ved lengdemåling og 1,4 % ved arealberegning. Arbeidsprosessen var imidlertid tidkrevende. For fremtiden anbefales istedenfor bruk av drone med integrert differensjell GPS slik at det kan gjennomføres fotografering og georeferering i et steg uten ekstra bakkekontrollpunkter. En slik oppmålingen kan dessuten nå en høy presisjon med feilmargen under 10 cm. Dette vil spare ca. en tredjedel av tidsbruk i hele analysen og kunne redusere standardavviket på lengdemåling til under 0,5 %.

Ved siden av oppmåling av vanddekt areal kan dronekartlegging kombineres med habitatkartlegging slik er det mulig å kartfeste beliggenhet, størrelse og ev. tørrfalling eller endring i nøkkelhabitater som f.eks. gyte plasser og å integrere data om habitatkvalitet i vurderingen. Dette gir en mer presis habitatkartlegging enn bruk av ortofoto fra fly, kart eller håndholdt GPS.

Dronekartlegging av vannflate krever imidlertid egnede vær- og vannføringsforhold – noe som kan være utfordrende særlig når sjeldne ekstremsituasjoner skal oppmåles. Valg av tidsperiode og årstid er avgjørende for å unngå at elvedeler er skjult under vegetasjon, is eller snø. Skille mellom land og vanddekt areal bør defineres enhetlig på flybildene og shape- eller geodatabase-filer bør digitaliseres i samme detaljgrad og målestokk.

### 4.3 Konklusjon

Fra 1995 ble det sluppet 0.3 m<sup>3</sup>/s vann gjennom Stondalen i tørre perioder om vinteren. Dette tiltaket har bidratt å unngå fiskedød i elven og å stabilisere produksjonsforhold for fisk. Ugedal et al. (2019) konkluderer med at lave vintervannføringer på det nivået sannsynligvis fortsatt er flaskehals for ungfiskproduksjon.

Basert på våre oppmålinger og vurderinger konkluderes med følgende råd til en vurdering av minstevannføringsløsninger:

Anslagene til Sauterleute et al. (2013) og Ugedal et al. (2019) som diskuterer en minstevannslipp mellom 0.5 og 0.6 m<sup>3</sup>/s vil bidra å sikre mesteparten av fiskeegg og ungfisk og trolig øke ungfiskproduksjon i forhold til dagens løsning.

Dersom målet er å øke ungfiskproduksjon for laks og sjøaure ytterligere f.eks. som kompensasjon for tapt ungfiskproduksjon i vassdraget, så er dette mulig ved å øke minstevannføringen opptil ca. 2 m<sup>3</sup>/s med dagens elveseng. Over ca. 0.55 m<sup>3</sup>/s betraktes minstevannbehovet for sideløp som sikret. Fra 0.77 m<sup>3</sup>/s betraktes dagens gyteplasser som sikret mot tørrfalling og opptil ca. 2 m<sup>3</sup>/s vil habitat for ungfisk økes uten å samtidig redusere habitatkvaliteten. Økning i areal per vannføringsenhet avtar med økende vannføring.

Vannføringsreglement er avhengig av en rekke andre faktorer utover produksjonspotensialet for ungfisk. I en vilkårsrevisjon skal det legges til grunn en helhetlig vurdering inkludert en kost-nytte analyse. Det anbefales å avveie minstevannføringsreglementet i spennet mellom 0.55 og 2 m<sup>3</sup>/s og benytte modellen gitt ovenfor ( $y = 19794 \ln(x) + 72972$ , Tabell 2), samt at gyteplasser er sikret over ca. 0.77 m<sup>3</sup>/s. Slippsted kan vurderes etter samme mønster i en kost-nytteanalyse med arealforholdene gitt i kap. 3.3: Scenario Aurlandsdalen vil gi størst anadrom areal, fulgt av Scenario Stondalen (1-3 % mindre areal, maks. -12 %) og slipp ved Sitjandefossen (2-13 % mindre areal, maks -27 %). Habitatkvaliteten er tilnærmet lik i de tre scenariene.

Dagens eksisterende sommervannføringsregime med slipp av 0.5 m<sup>3</sup>/s i perioden 1.-15. juli og 1,5 m<sup>3</sup>/s i perioden 16. juli-15. september fra Vetlebotn (Aurlandsdalen) og 0.3 m<sup>3</sup>/s i perioden 1. juli-1. september fra Langedølainntaket samt vannføringsvariasjonen fra restfelt betraktes som gunstig for ungfiskeproduksjon om sommeren. For å optimalisere vekstforhold for ungfisk bør dette vannføringsregimet utvides til slutten av september (Ugedal et al. 2019), enten ved forlengelse av reglementet eller bruk av valgt løsning for minstevannføring om vinteren.

Det kreves småflommer for å trigge gyte- og smoltvandring samt sjeldne større flommer for å vedlikholde sedimentkvalitet og -transport. Disse er vanligvis til stede i det store restfeltet og krever ikke ekstra vannslipp. Konnektivitet vil dessuten bedres ved økt minstevannføring men først og fremst bør tersklene tilpasses slik at Vassbygdelva er passerbar ved de aller fleste vannføringer.

Ved siden av minstevannslipp har tilkobling av sideløp stort potensial til økning av ungfiskhabitat (kap. 3.2 og Ugedal et al 2019). Slike planer finnes for eksempel for Tivesja.

## 5.0 Litteratur

- Fonstad, M.A.; Dietrich, J.T.; Courville, B.C.; Jensen, J.L.; Carbonneau, P.E. Topographic structure from motion: A new development in photogrammetric measurement. *Earth Surf. Process. Landf.* 2013, 38, 421–430.
- Hauer, C., U. Pulg, F. Reisinger, and P. Flödl. 2020. 'Evolution of artificial spawning sites for Atlantic salmon (*Salmo salar*) and sea trout (*Salmo trutta*): field studies and numerical modelling in Aurland, Norway', *Hydrobiologia*, 847: 1139-58.
- Hauer, Christoph, and Ulrich Pulg. 2020. 'Buried and forgotten—The non-fluvial characteristics of postglacial rivers', *River Research and Applications*, <https://doi.org/10.1002/rra.3596>: 1-5.
- Pulg, U., B. T. Barlaup, H. Skoglund, G. Velle, S. E. Gabrielsen, S. Stranzl, E. O. Espedal, G. B. Lehmann, T. Wiers, B. Skår, E. Normann, H.-P. Fjeldstad, and F. Kroglund. 2018. 'Tiltakshåndbok for bedre fysisk vannmiljø: God praksis ved miljøforbedrende tiltak i elver og bekker', *NORCE LFI Technical Report 269. Norce Bergen*.
- Ugedal, O., U. Pulg, H. Skoglund, J. Charmasson, E.O. Espedal, J.G. Jensås, S. Stranzl, A. Harby, and T. FORSETH. 2019. 'Sjøaure og laks i Aurlandsvassdraget 2009-2018. Regulerings effekter, miljødesign og tiltak', *NINA Rapport 1716. Norsk Institutt for Naturforskning, Trondheim.*: 156 s. .
- Sauterleute, J. 2013. Water-covered area and meso-habitats of the river Vassbygdelvi. SINTEF Energy Research, Report TRA 7334. 23 s.
- Schumann, G. J. P., Muhlhausen, J., & Andreadis, K. M. (2019). Rapid mapping of small-scale river-floodplain environments using UAV SfM supports classical theory. *Remote Sensing*, 11(8), 982.
- Westoby, M., Brasington, J., Glasser, N., Hambrey, M., and Reynolds, J.: “Structure-from-Motion” photogrammetry: A lowcost, effective tool for geoscience applications, *Geomorphology*, 179, 300–314, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>, 2012.



## **Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske (LFI)**

LFI ble opprettet ved Universitet i Bergen i 1969, og er nå en seksjon ved Norwegian Research Centre (NORCE). LFI gjennomfører forskning, overvåking, tiltak og utredninger innen ferskvannsekologi. Vi har spesiell kompetanse på laksefisk (laks, sjøaure, innlandsaure) og bunndyr, og på hvilke miljøbetingelser som skal være til stede for at disse artene skal ha livskraftige bestander. Sentrale tema er:

- Bestandsregulerende faktorer
- Gytebiologi hos laksefisk
- Biologisk mangfold basert på bunndyrsamfunn i ferskvann
- Effekter av vassdragsreguleringer
- Effekter av fiskeoppdrett, lakselus og rømming
- Forsuring og kalking
- Habitattanalyser
- Vassdragsrestaurering
- Miljødesign og habitattiltak
- Effekter av klimaendringer
- Fiskepassasjer
- Gassovermetning