

Rapport

Miljødesign i Lærdalselva

Flaskehalsar for produksjon av laks og ørret

Forfattere

Hans-Petter Fjeldstad (SINTEF)

Sven Erik Gabrielsen (NORCE Miljø LFI)

Grethe Robertsen (NINA), Bjørnar Skår (NORCE Miljø LFI)



SINTEF Energi AS

Postadresse:
Postboks 4761 Torgarden
7465 Trondheim

Sentralbord: 45456000

energy.research@sintef.no

Foretaksregister:
NO 939 350 675 MVA

Rapport

Miljødesign i Lærdalselva

Flaskehals for produksjon av laks og ørret

EMNEORD:
Miljødesign
Vannkraft
Laks
Ørret**VERSJON**
2.0**DATO**
2019-11-25**FORFATTERE**
Hans-Petter Fjeldstad (SINTEF)
Sven Erik Gabrielsen (NORCE Miljø LFI)
Grethe Robertsen (NINA), Bjørnar Skår (NORCE Miljø LFI)**OPPDRAKSGIVER(E)**
Østfold Energi**OPPDRAKSGIVERS REF.**
Magne Netland**PROSJEKTNR**
502001945**ANTALL SIDER**
149**SAMMENDRAG**

Prosjektet har hatt som hovedmål å identifisere mulige flaskehals for produksjon av laks og sjøørret i Lærdalselva. Spesielt har det vært viktig å vurdere hvordan fiskebestandene kan optimaliseres samtidig med at energiproduksjonen fra vassdragsreguleringen kan opprettholdes og helst økes. Resultatene viser at deler av vassdraget, spesielt de nederste, har begrenset med skjulområder for ungfisk. Dermed er dette en sannsynlig flaskehals, noe som er i overensstemmelse med våre observasjoner av at tetthet av eldre laksunger økte med skjultilgang. Ut fra hydrologiske analyser ser det ikke ut til at vannføring over året begrenser produksjonen av fisk i Lærdalselva, men vannføringen nedenfor Borgund/Stuvane kraftverk har vært regulert slik at vannstanden endres raskere enn i naturlige elver. Antall og gjentakintervall av episoder med hurtige vannstandsreduksjoner kan ut fra internasjonale retningslinjer ha resultert i produksjonsreducerende hendelser, men sammenhengen er vanskelig å dokumentere. Hyppighet og størrelse på slike endringer har vært betydelig de siste 20 årene og kan ha vært en flaskehals for produksjon av laks og ørret. Vekstmodellering basert på vanntemperaturdata fra Tønjum og Stuvane tyder på at laksunger overfor utløpet av Stuvane kraftverk kan ha raskere vekst enn nedenfor. Siden det ikke ble funnet et tilsvarende mønster i størrelser av laksunger i ungfiskundersøkelsen, er det ikke grunnlag for å konkludere med at vanntemperatur er en flaskehals. Vandringsforholdene for voksenfisk i fisketrappene vurderes som gode, men terskler har trolig en forsinkende effekt på oppvandringen til Sjurhaugfoss. Totalt 14 "kiler" (sideløp) er kartlagt, og ingen av disse har sikker vannføring gjennom året. Rehabilitering av disse har et utnyttet potensial for økt fiskeproduksjon. Eventuelle tiltak for å øke fiskeproduksjon i Lærdalselva kan baseres på resultatene i denne rapporten

UTARBEIDET AV
Hans-Petter Fjeldstad**KONTROLLERT AV**
Atle Harby**GODKJENT AV**
Knut Samdal**RAPPORTNR**
2019:00915**ISBN**
978-82-14-06383-7**GRADERING**
Åpen**GRADERING DENNE SIDE**
Åpen

SIGNATUR

SIGNATUR

SIGNATUR


Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2019-09-27	Oversendt oppdragsgiver for kommentarer.
0.2	2019-10-30	Oversendt oppdragsgiver for oppsummerende kommentarer.
1.0	2019-11-15	Endelig versjon.
1.1	2019-11-25	Korrigert figur 57.
2.0	2019-11-25	Endelig versjon.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning og bakgrunn	7
1.1	Prosjektgruppen og arbeidsmetodene	7
1.2	Lærdalselva - regulering og den lakseførende strekningen.....	8
1.3	Gyteområder.....	11
1.4	Skjulforhold for ungfisk.....	12
1.5	Habitatflaskehals og begrensede faktorer	13
1.6	Prosjektets mål	14
2	Materiale og metoder.....	15
2.1	Hydrologiske undersøkelser, hydraulisk modellering og fiskevandring	15
2.1.1	Hydrologiske analyser.....	15
2.1.2	Vanndekt areal og vannføring	16
2.1.3	Vandring hos voksenfisk	17
2.2	Ungfiskundersøkelser	17
2.2.1	Elektrofiske og fysiske habitatforhold på stasjonsnettet	17
2.2.2	Modellert og observert vekst hos laksunger	20
2.3	Kartlegging av fysisk habitat, gytefisk og skjul.....	22
2.3.1	Mesohabitat/elveklasser	26
2.3.2	Substrat/elvøbunn	27
2.3.3	Skjulforhold.....	27
2.3.4	Gyteområder	28
2.3.5	Databehandling	28
3	Resultater	30
3.1	Hydrologiske analyser	30
3.1.1	Fra utløpet av Stuvane kraftverk til sjøen	30
3.1.2	Fra Borgund til utløpet av Stuvane kraftverk	35
3.2	Vannføring og vanndekt areal nedstrøms Stuvane kraftverk.....	38
3.2.1	Hurtige vannstandsendringer (effektkjøring).....	40
3.2.2	Kiler og vanndekket areal	46
3.3	Fiske fosser og vandring hos voksen fisk.....	46
3.3.1	Sjurhaugfoss	47
3.3.2	Husumfoss	47
3.3.3	Kolgrøtefoss	49
3.3.4	Nedre elv og passering av Seltagjelet.....	49

3.4	Ungfiskundersøkelser	51
3.4.1	Tettheter av ungfisk.....	51
3.4.2	Sammenheng mellom skjulforhold og ungfisktettheter	55
3.4.3	Vekst hos laksunger	58
3.4.3.1	Temperaturdata	59
3.4.3.2	Modellert vekst	60
3.4.3.3	Sammenligning av modellert og observert vekst.....	62
3.5	Kartlegging av fysisk habitat for fisk	65
3.5.1	Fra sjøen til Voll bru (Strekning 1)	65
3.5.1.1	Elveklasser, substratsammensetning og skjulmuligheter	65
3.5.1.2	Gyteområder	69
3.5.1.3	Elvemorfologi, terskler og sidebekker.....	71
3.5.1.4	Eksempel på segment med lav fiskeproduksjon grunnet terskler og lukking av sideløp	72
3.5.2	Fra Voll bru til Etreåsen (Strekning 2).....	73
3.5.2.1	Elveklasser, substratsammensetning og skjulmuligheter	74
3.5.2.2	Gyteområder	77
3.5.3	Fra Etreåsen til Svartegjel (Strekning 3)	78
3.5.3.1	Elveklasser, substratsammensetning og skjulmuligheter	78
3.5.3.2	Gyteområder	82
3.5.4	Fra Svartegjel til Heggfoss (Strekning 4)	83
3.5.4.1	Elveklasser, substratsammensetning og skjulmuligheter	83
3.5.4.2	Gyteområder	87
3.6	Kartlegging av kilene	89
3.6.1	Kartlagte kiler.....	91
3.6.2	Vurdering av potensialet i den enkelte kile.....	93
	Kile 1, nedstrøms Bruhølen	93
	Kile 2, Bruhølen - Chaplin	93
	Kile 3, Hauge - Oftepollen.....	94
	Kile 4, Haugshagen.....	96
	Kile 5, Eri	96
	Kile 6, Håbakken	97
	Kile 7, Tilhengaren - Badehølen.....	97
	Kile 8, Moldebo.....	98
	Kile 9, Moldeveiti	99
	Kile 10, Tønjumskvitli.....	100
	Kile 11, Sanden	101
	Kile 12, Grøtte.....	101
	Kile 13, Øygarden.....	102
	Kile 14, Ljøsne	103

4	Konklusjon og diskusjon	105
5	Mulige tiltak for å avbøte flaskehalsen for fiskeproduksjon i Lærdalselva	117
6	Takksigelser.....	118
7	Referanser.....	119
	VEDLEGG A: Oversikt over elfiskestasjoner	123
	VEDLEGG B: Kart over fordeling av ulike elveklasser på strekningen fra sjø og opp til Heggfoss i Lærdalselva.	124
	VEDLEGG C: Kart over fordeling av substrat på strekningen fra sjø og opp til Heggfoss i Lærdalselva. Diagrammene viser hvor mye de ulike substratklassene utgjør i dekningsgrad innenfor hvert av segmentene, mens kartet viser hva som er den dominerende substratklassen....	133
	VEDLEGG D: Kart over skjultilgang, terskler og elfiskestasjoner på strekningen fra sjø og opp til Heggfoss i Lærdalselva.	141

1 Innledning og bakgrunn

Lærdalselva er et nasjonalt laksevassdrag og det største vassdraget i Sogn og Fjordane. At elva har status som nasjonalt laksevassdrag innebærer at vassdraget er gitt en særlig beskyttelse mot påvirkninger i selve vassdraget og i nære fjordområder som kan virke negativt på laksebestanden. Lakseparasitten *G. Salaris* ble påvist i vassdraget i 1996, men etter flere aksjoner mot parasitten har elva siden 2017 vært friskmeldt.

I senere år har kunnskapen om miljøforhold og såkalte flaskehals for produksjon av atlantisk laks økt gjennom blant annet kunnskapsopsummeringen gitt i "miljøhåndboka" (Forseth & Harby 2013 «Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag»). Med dette ønsker Østfold Energi AS en oppdatert status og kartlegging av forholdene for fisk i Lærdalselva basert på ny kunnskap og nye metoder gitt i denne miljøhåndboken. Basert på ovennevnte er det gjennomført en habitatkartlegging av lakseførende strekning fra Heggfoss og ned til sjøen, en strekning på ca. 41 km, og med et totalt elveareal på ca. 1,6 km². Hensikten har vært å karakterisere de fysiske habitatforholdene for laks i vassdraget, og å kartlegge gyteområder og skjulmuligheter for ungfisk. Det er tatt spesielt hensyn til effekten av de over 150 tersklene som er bygget på den lakseførende delen, og en egen seksjon av rapporten beskriver "kilene" i elva, fordi disse antas å ha et uutnyttet potensial for fiskeproduksjon. Det er gjennomført ungfiskundersøkelser på til sammen 31 elfiskestasjoner og alle fisketrappene i elva er besiktiget. Data for vanntemperatur dannet grunnlag for en vekstmodell for ungfisk av laks i Lærdalselva, og det er etablert et forhold mellom tettheter av ungfisk og skjul på bunnen. I tillegg er det gjennomført analyser av vassdragets hydrologiske forhold, og det er benyttet en hydraulisk modell for strekningen mellom utløpet av Stuvane kraftverk og sjøen for å studere effekten av vannføringsvariasjoner på det vandekte arealet i elva, og dermed leveområdene for fisk.

1.1 Prosjektgruppen og arbeidsmetodene

Med utgangspunkt i forskningssenteret CEDREN (Centre for environmental design of renewable energy) er det dannet et forskningssamarbeid mellom SINTEF, NINA og NORCE Miljø LFI som basert på omfattende internasjonal kompetanse har spesialisert seg på "miljødesign" i regulerte laksevassdrag. Konseptet miljødesign innebærer en målsetning om å optimalisere produksjonen av fisk, og at dette skal oppnås med fokus på å minimere tap av produksjonen av fornybar energi. Dette betyr at vannressursene skal utnyttes på en optimal måte. Arbeidsmetodikken bygges opp i en diagnosedel og en tiltaksdel. Diagnosedelen av arbeidet omfatter en tverrfaglig kartlegging av vassdraget med mål om å finne de relevante flaskehalsene som begrenser produksjonen av fisk, herunder forhold for oppvekst, gyting, vandring og vekst. Flaskehalsene kan være knyttet til vannføring (og dermed vandekt areal og vannhastigheter) gjennom året og

vanntemperaturer, eller habitatflaskehalsener knyttet til bunnsubstratet som er egnet til gyting og skjulmuligheter for ungfisk. Ved å kartlegge disse variablene kan man i neste omgang være i stand til å beskrive hvilke tiltak som kan gjennomføres for å begrense flaskehalsene og dermed øke produksjonen av fisk. Dette inngår i tiltaksdelen, der det for de forskjellige elveavsnitt foreslås endringer i fiskens leveområder gjennom året. Slike tiltak omfatter fysiske forbedringer, eksempelvis utlegging av gytegrus dersom det mangler gyteplasser, eller endringer i vannføring, eller en kombinasjon av fysiske tiltak og vannføringsendringer. I utgangspunktet foreslås tiltak i forhold til vassdragets naturtilstand, men i regulerte vassdrag kan det finnes muligheter for å omdisponere vann på en slik måte at naturlige flaskehalsener reduseres og kompenseres for negative effekter av reguleringen. Optimalisering av fiskeproduksjon er også knyttet til vannføring, men tilgjengelighet av gode leveområder kan til dels manipuleres ved å gjennomføre fysiske habitatforbedringer, slik som eksempelvis utlegging av gytegrus og konstruksjon av ungfiskhabitater. Sagt på en annen måte kan det være mulig å øke fiskeproduksjonen uten å slippe mer vann, eller slippe vannet etter et annet mønster. Det er avgjørende for produksjonen av fisk at vannføringen tilpasses de ulike livsfasene/sesongene. For eksempel kan det oppstå høy dødelighet hos laksunger og egg dersom vannføringen blir for liten om vinteren.

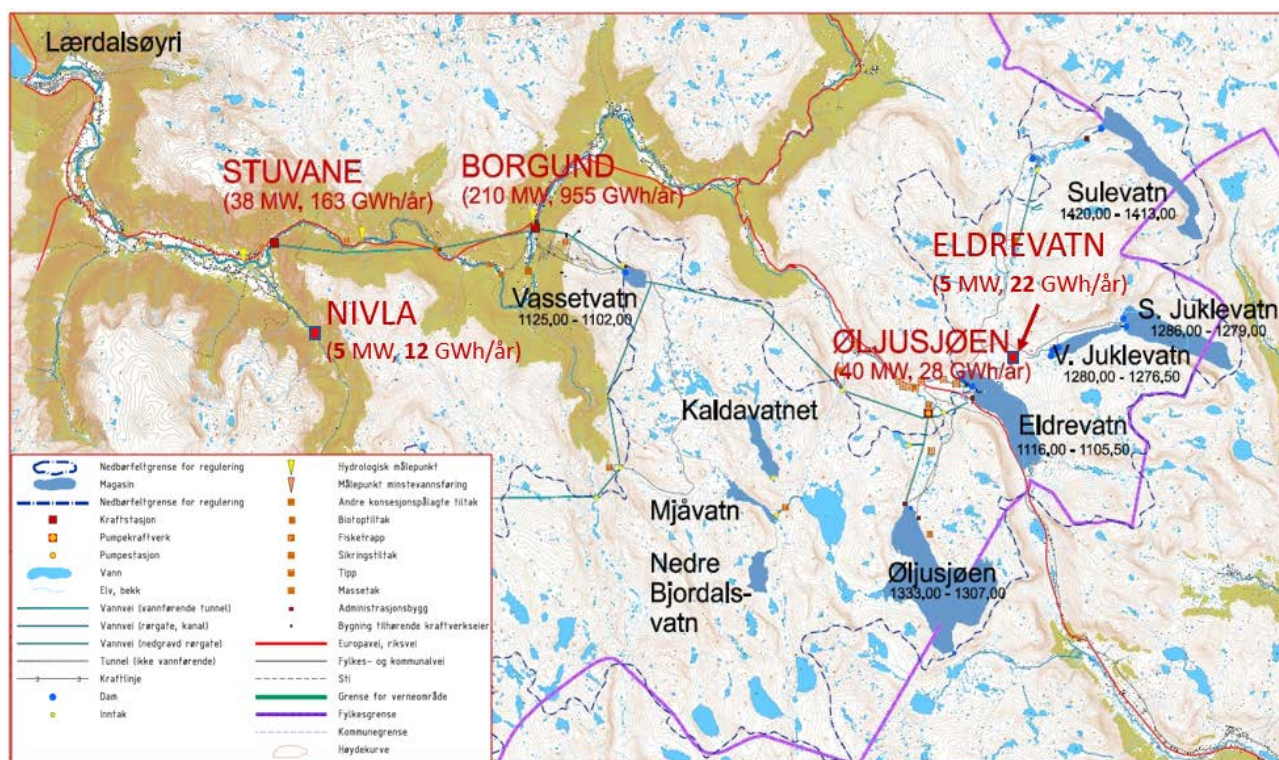
Kartleggingen og analysene ble gjort med utgangspunkt i miljøhåndboka, som beskriver en fremgangsmåte for å utrede flaskehalsener for fiskeproduksjon, i utgangspunktet for laks, men også relevant for ørret. Et sentralt element i tankegangen bak miljødesign er betydningen av ulike habitatressurser og hvordan disse er fordelt i vassdraget. Denne rapporten omfatter diagnosedelen av miljødesignmetoden, og har hatt som mål å kartlegge og beskrive flaskehalsener for produksjon av fisk i Lærdalselva. Et bakteppe for undersøkelsene og analysene er at elva er regulert. Det har derfor vært viktig å avdekke effektene av vassdragsreguleringen på fisk, men miljødesignmetoden begrenser seg ikke til reguleringseffekter og arbeidet har inkludert alle forhold som er relevante for fiskeproduksjon, slik som inngrep i form av terskler og generelle fysiske forhold som eksempelvis vannførings- og vanntemperatureffekter.

Eventuelle tiltak for å redusere flaskehalsenes betydning vil kunne ta utgangspunkt i resultatene i denne rapporten.

1.2 Lærdalselva - regulering og den lakseførende strekningen

Lærdalselva har sitt nedslagsfelt i fjellområdene i indre Sogn grensende mot Årdal, Filefjell, Hemsedalsfjell og Aurland. Den totale størrelsen er omkring 1180 km² ved utløpet i sjøen, mens årlig middelvannføring er ca. 36 m³/s. Vassdragsreguleringene omfatter 400 km² og en respektiv årlig vannføring på 13,3 m³/s, med

andre ord er den regulerte delen godt under halvparten av nedbørsfeltet og elva har en betydelig naturlig tilrenning. En rekke regulerte innsjøer i nedbørsfeltets sør-østre del fungerer som reservoarer for inntaksmagasinet Vassevatn, hvor vannet hentes inn til Borgund kraftverk med et fall på ca. 875 meter og en installert effekt på 210 MW (Figur 1). Fra utløpet av Borgund kraftverk går vannet direkte inn på inntakstunnelen til Stuvane kraftverk som med et fall på ca. 164 meter har en effekt på 38 MW. I tillegg finnes Øljusjøen pumpekraftverk som i sommertiden brukes til å pumpe vann fra Eldrevann og opp til magasinering i Øljusjøen (1333–1307 moh.). Om vinteren utnyttes dette vannet og tilløpet fra ovenforliggende nedslagsfelter i kraftverkene Øljusjøen, Borgund og Stuvane. Årlig totalproduksjon i Lærdalselva er omkring 1205 GWh fordelt på Borgund (955 GWh), Stuvane (163 GWh), Eldrevann (22 GWh) og Øljusjøen (28 GWh). Borgund og Øljusjøen kom i drift i 1974, mens Stuvane startet produksjonen høsten 1988. De siste årene er det bygget et lite kraftverk i sideelva Nivla, som har utløp rett nedenfor utløpet av Stuvane. Dette har en maksimal slukeevne på 3 m³/s og har ikke magasinering av vann. Minstevannføringen på den regulerte delen av Nivla er 400/50 l/s sommer/vinter, og dette kraftverket er ikke tatt med i de videre analysene i denne rapporten.



Figur 1: Kraftverksreguleringen av Lærdalselva (offisielt kart fra Østfold Energi).

En privatrettslig avtale sier at det gjennom hele året ikke skal være vannføringer på under 4 m³/s mellom Sjurhaugfoss og utløpet av Stuvane kraftverk målt ved Sæltun vannmerke (73.4.0.1000.1 Sæltun). Avtalen sier dog at lavere vannføringer, ned mot det som ansees å være naturlig, kan avtales etter dialog og i samråd med den juridiske part. I fisketiden fra 1. juni til 31. august gjelder særskilte reguleringer knyttet til Sæltun vannmerke; Stuvane kraftverk er et vinterkraftverk og skal bare kunne kjøres i fisketiden dersom vannføringen ved Sæltun vannmerke er 40 m³/s i døgnmiddel eller mer. Dette kravet er tillat redusert til 25 m³/s i samme periode i egen avtale (Retningslinjer for praktisk drift av Stuvane kraftverk). Disse reglene har utspring i fallavtalen for Stuvane kraftverk. Stuvane kraftverk har et styringssystem som sikrer at disse kravene oppfylles både i fisketiden og i resten av året. (Når vannføringen ved Sæltun vannmerke synker ned mot 25 m³/s i fisketiden økes luketappingen til elva samtidig som produksjonen i Stuvane reduseres.) Denne automatiske justeringen ble oppdatert i 2019. En privatrettslig minstevannføringsavtale med Lærdal kommune beskriver at denne skal være: «I perioden fra 1. oktober til flommen setter inn den følgende vår skal tappingen gjennom Borgund kraftverk være så stor at vannføringen under drift ikke underskrider 10 m³/s for elven ved Sæltun vannmerke og omløpstunnelen til sammen». Etter at Stuvane ble bygget ble det bestemt av NVE at dette måles ved Båthølen vannmerke på Lysne, (73.2.0.1001.2 Stuvane).

Vannføringskravet kan avvikes ut fra en faglig vurdering etter avtale mellom partene, men iht. konsesjonen ikke lavere enn den ville vært før utbygging. Sommerstid slippes det i normale år svært lite magasin vann til Lærdalselvas lakseførende del og oppholdstiden i Vassevatn er kort. Fra vårflom til godt ut på sommeren produseres det med tilsig fra bekkeinntak og ikke fra magasin. Regulanten har utarbeidet et eget reglement med driftsrutiner som skal sikre at alle vannføringsavtaler overholdes med utgangspunkt i sin egen ekspertise om alle anleggselementer i vannkraftsystemet (Østfold Energi 2018).

I Borgund kraftverk er det installert forbitappingsanlegg, bestående av 3 omløpsventiler (med energidrepere) som momentant kan slippe totalt 12 m³/s direkte til tilløpstunnelen til Stuvane kraftverk. Et forbitappingsanlegg er også installert i Stuvane kraftverk, som åpner når vannstanden fra Borgund er større enn slukeevnen i Stuvane. Før de nye vannstandregulatorene ble installert i 2019, kunne det oppleves at vannstanden i tunnelen mellom Borgund og Stuvane ble senket for mye fordi omløpsluka i Stuvane ble stående åpen som følge av strømutfall. Dette kunne igjen resultere i at vannføringen nedstrøms Stuvane i etterkant ble unødvendig lav. Dette problemet er nå løst med batteristrøm til luka.

Lærdalslaksen har sitt naturlige vandringshinder i Sjurhaugfossen, omkring 25 km fra sjøen, men 4 laksetrappert (Sjurhaug, Husum, Kolgryta og Svartegjel ved Borgund) gjorde det mulig for laksen å gå opp til Heggfoss, omkring 40 km fra sjøen. På det meste har ca. 850 laks og ørret passert den nederste trappa, og 300 den øverste, men etter utbruddet av gyroinfeksjonen på slutten av 1990-tallet har alle trappene vært

stengt. I dag foregår et attraktivt innlandsfiske i den såkalte Borgundfjorden (elva oppstrøms Svartegjel). I dette prosjektet antas det at åpning av den øverste trappa i Svartegjel vil være kontroversielt, og målet for arbeidene har vært strekningen fra sjøen og opp til Svartegjel, en strekning på ca. 30 km. Borgund kraftverk ligger rett ovenfor den lakseførende strekningen, mens utløpet av Stuvane befinner seg omkring midt på den anadrome delen av elva.

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

1.3 Gyteområder

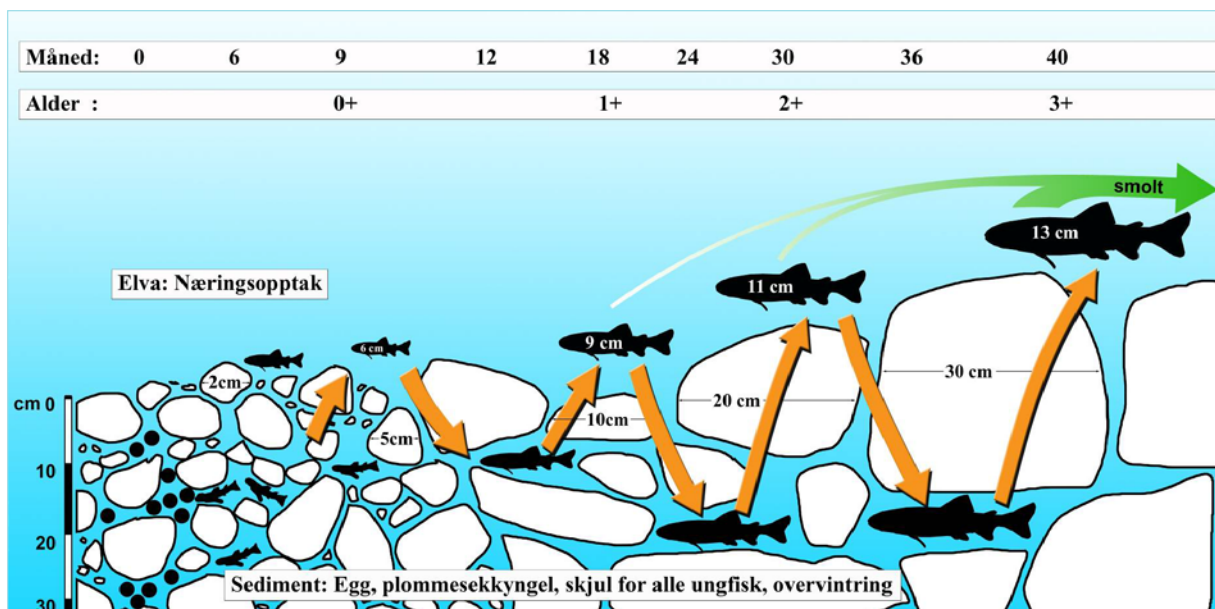
Laksen gyter ved at eggene graves ned i elvegrusen i såkalte «gytegroper». Det er hunnfisken som konstruerer gytegroppen, og hun kan fordele eggene sine i flere gytegroper. Områder med gyteaktivitet kan ofte ses som et lysere felt med omrørt grus etter gyteperioden. Laksen stiller strenge krav til valg av gyteplass, der sammensetningen av bunnssubstrat, vanddyp og vannhastighet synes å være de viktigste fysiske faktorene. Typisk finnes gyteområdene på forholdsvis grunne deler av elven (0,3-0,7 m, men også dypere) hvor bunnssubstratet består av grus og små stein, og på partier med akselererende vannhastighet (0,3-0,6 m/s). Utløpsområder av kulper er ofte gode gyteområder. Fiskestørrelse spiller også en rolle, ettersom stor fisk gjerne benytter grovere substrat og større dyp enn mindre fisk. Som en følge av dette ser en at laksen kan gyte på dypere områder og på grovere substrat enn det auren gjør, men i praksis overlapper laksen og auren i stor grad og gyter ofte på de samme områdene. Det strenge kravet til valg av gyteplass resulterer i at det i mange tilfeller er et fåtall plasser i elven som har egnete forhold for gyting. Hvor slike områder finnes vil være avhengig av både geologiske (sedimenttilførsel) og hydrauliske forhold (vannhastighet og sedimenttransport) i vassdraget.

Fordeling og størrelse av gyteområder i vassdraget har stor betydning for rekruttering og dermed produksjon av lakseunger (Foldvik et al. 2010). De første ukene etter at yngelen har brukt opp plommesekken og kommer opp av grusen for å starte næringsopptak er ofte en flaskehals for overlevelse for laks. Yngelen etablerer tidlig territorier som forsvares aggressivt mot inntrengere, noe som resulterer i en sterk

tetthetsavhengig dødelighet. Yngelen som kommer tidlig opp av grusen vil ofte etablere territorier i området i nærheten av gytegroppen, og fortrenger yngel som kommer senere. Yngel som taper i konkurransen om territorier blir fortrent (ofte nedstrøms), og vil ha dårligere overlevelsesmuligheter. Dette resulterer i at fordelingen av yngelen i tidlig livsfase ofte er «klumpet» i nærheten av gyteområdene.

1.4 Skjulforhold for ungfisk

Etter å ha overlevd den første kritiske yngelfasen, vil overlevelse og vekst av lakseparr frem til smoltstadiet være avhengig av både næringstilgang og habitatforhold. Lakseparr foretrekker ofte grunne partier med hurtigrennende vann, men kan også finnes på sakeflytende og dypere elvepartier. I de senere årene har flere studier fremhevet viktigheten av skjulområder for å kunne hvile og å unngå predasjon, og dette har vist seg å være et viktig element for overlevelse og produksjon av ungfisk (Finstad et al. 2009). Lakseparr finner som regel skjul i hulrom mellom steiner i substratet, eller i vegetasjon og andre fysiske strukturer i elvebunnen. Tilgangen til skjulmuligheter i hulrom i substratet er sterkt knyttet til kornstørrelse og sammensetningen av bunnsubstratet. Det er hovedsakelig i substrat dominert av blokker og stein en finner hulrom som gir gode skjulforhold, særlig for eldre ungfisk av laks, mens områder som er dominert av grus og mer finkornet substrat vanligvis gir lite skjulmuligheter for eldre ungfisk, men kan være skjul for årsunger (0+, < 6-7 cm).



Figur 2: Prinsippskisse for hvordan ulike livsstadier hos ungfisk hos laks og aure benytter bunnsubstratet.

1.5 Habitatflaskehals og begrensende faktorer

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



Figur 3: Ungfisk finner mye skjul og næring i og ved døde trær eller røtter. I tillegg vil trærne danne standplasser for voksen fisk.

Vassdragsregulering kan påvirke fysiske forhold i elva, slik som vannføring og vanntemperatur, samt endringene i slike variabler. Endring av vannføring over året kan for eksempel redusere vårflommer, og øke

vannføring om vinteren, noe som er typisk for Lærdalselva. Mens vannstandsreduksjoner i uregulerte vassdrag sjelden er raskere enn en vertikal senking på 5 cm/time (Harby & Noack 2013) kan dette skje mye raskere nedstrøms utløp av kraftverk, og det er internasjonal enighet om at stranding av ungfisk av laks reduseres betydelig dersom senkningen holdes lavere enn 13 cm/time (Saltveit et al. 2001). Dette betyr likevel ikke at risikoen for stranding er eliminert, og spesielt der hvor helningen på stranden er lavere enn 5 %, og/eller hvor man finner grovt bunnsstrat med godt skjul, kan faren for stranding øke. Det er også viktig å påpeke at spesielt om vinteren bør man være svært skånsom med hurtige nedtappinger på dagtid, når fisken befinner seg i skjul, og mobiliteten er redusert pga lave vanntemperaturer (Harby & Noack 2013).

1.6 Prosjektets mål

Oppdragsgiver Østfold Energi AS ønsker å øke kunnskapen omkring kraftproduksjonens påvirkning på laks og sjøørret i Lærdalselva. Målet for dette prosjektet har vært å innhente kunnskap som kan brukes til å:

"optimalisere produksjonen av laksesmolt i Lærdalselva, samtidig som kraftproduksjonen i Borgund, Øljusjøen og Stuvane kan opprettholdes eller økes"

2 Materiale og metoder

2.1 Hydrologiske undersøkelser, hydraulisk modellering og fiskevandring

2.1.1 Hydrologiske analyser

Målet med de hydrologiske analysene er å vurdere hvilke forhold ved vannføringen i Lærdalselva som kan være flaskehals for produksjon av fisk. Deler av nedslagsfeltet er regulert, men analysene har ikke hatt som isolert målsetning å beskrive effektene av vassdragsreguleringen. Derimot er det undersøkt om det finnes negative effekter av vannføringsforhold som kan avbøtes ved bruk av reguleringsmagasiner.

Vannføringer målt ved Sælthun (Vannmerke 73.4.0.1000.1 Sælthun) for årene 1970-2018 er sammen med dykkerundersøkelser av leveområdene for fisk, elfiskeundersøkelser og orthofoto fra drone benyttet for å vurdere:

- Om det er vannføringsforhold over året som begrenser produksjonen av fisk mellom Borgund og utløpet av Stuvane kraftverk.
- Om det er vannføringsmessige flaskehals for oppvandring hos voksen fisk

Sammen med bruk av vannføringsmålinger fra Båthølen rett nedstrøms utløpet av Stuvane kraftverk (Vannmerke 73.2.0.1001.2 Stuvane) for årene 1996-2018 er det gjennomført en analyse av følgende spørsmål:

- Er det vannføringsmessige flaskehals for de ulike livsstadiene for ungfisk gjennom året?
- Hva er vannføringen under og etter gyting, og kan forholdet mellom dem medføre tørrlegging og dødelighet av egg?
- Foregår det hurtige vannføringsendringer nedstrøms Stuvane som kan være negative for fiskeproduksjon?

Det foreligger vannføringsmålinger for hvert 30. minutt og verdiene er i første rekke analysert i Excel. I tillegg er det utarbeidet et script i programvarepakken "R" (R core team 2019), og spesielt delprogrampakken xts (Jeffrey et al. 2019) for å studere tidspunkt, frekvens og størrelsen på hurtige vannføringsendringer. Her er det blant annet gjennomført analyser av hvilke vannføringsendringer som er mest vanlige, og når de skjer på døgnet, over sesongen og mellom år. Det er også benyttet resultater fra tidligere studier av effektkjøring i Lærdalselva (Alfredsen 2016).

2.1.2 Vanndekt areal og vannføring

Vanndekt areal definerer det totale leveområdet for fisk og er derfor viktig for fiskeproduksjonen. Sammenheng mellom vannføring og vanndekt areal er derfor etablert gjennom en hydraulisk modell på en strekning fra Stuvane kraftverk til sjøen med programvaren HEC-RAS 5.0.5, utviklet av US Army Corps of Engineers. Opprinnelig var det meningen å studere vanndekt areal på 5 representative strekninger, hver på 50-200 meters lengde. Etter at prosjektet hadde startet opp ble det klart at vi ville få tilgang til nøyaktige geografiske data av elvestrekningen fra utløpet av Stuvane og ned til sjøen. I tillegg ble det besluttet at NTNU ønsket å benytte flere masterstudenter for å lage en nøyaktig modell av hele strekningen (se Garcia 2019 og Limpens 2019). Dette har gitt en detaljert oversikt over det vanndekte arealet på hele strekningen, og på alle modellerte vannføringer, dvs. opp til 150 m³/s i et rutenett med cellestørrelse 2 x 2 meter.

Geografiske data ble samlet inn fra fly av firmaet AHM den 29. mai 2018 i tidsrommet kl. 16:00-17:00.

Vannføring i Båthølen var da 88 m³/s. Metoden som ble benyttet kalles Airborn LiDAR Bathymetry (ALB), der LiDAR er en forkortelse for Light Detection and Ranging. Dette innebærer at man ved hjelp av grønt laserlys skanner overflaten av terrenget både over og under vann med svært høy nøyaktighet og stor punkttetthet. Disse punktene ble benyttet til å lage en terrengmodell i programpakken ArcGIS.

Terrengmodellen var deretter inngangsdata i den hydrauliske modellen HEC-RAS. For å kalibrere modellen ble det gjort oppmåling av vannkanten på hele den modellerte strekningen på vannføringene ca. 10, 38 og 97 m³/s. Ved de to laveste vannføringene ble målingene gjennomført manuelt med differensielt GPS-utstyr, der nøyaktigheten er noen få cm i både horisontal og vertikal retning. Den laveste vannføringen ble målt opp 10. april 2018, etter at regulanten hadde etablert en stabil vannføring omkring 10 m³/s i dagene før, nettopp for å ha gode vannlinjedata for kalibrering av en hydraulisk modell ved en så lav vannføring i elva. For den høyeste vannføringen ble det benyttet data fra ALB-skanningen. For å få resultater med optimal nøyaktighet ble det benyttet to modeller for samme strekning, den ene ble kalibrert med data for en vannføring på 10 m³/s, mens den andre modellen benyttet kalibreringsdata for oppmålinger ved 38 og 97 m³/s. Til sammen ga dette modellresultater for hele vannføringsregisteret fra 10 til 150 m³/s mål ved Båthølen, rett nedstrøms utløpet av Stuvane kraftverk.

Modellen ga informasjon om vannivå og vanndekket areal på hele strekningen, siden resultatene er 2-dimensjonale og ikke kun basert på tverrsnitt. Man kunne derigjennom studere hvilke vannføringsintervall som gir størst og minst endring i vanndekt areal, og dermed om:

- Er det registrert nedtappingshendelser i de historiske målingene som har gitt fare stranding av fisk?

Modellen ble i tillegg benyttet for å gjøre en dynamisk simulering, der vannføringen rett nedstrøms Stuvane kraftverk ble redusert fra 45 til 10 m³/s på ulike nedtappingshastighet (5 minutter, 30 minutter, 2 timer og 5 timer). Hensikten med dette var å simulere teoretisk ugunstige nedtappingsforløp for fisk, som deretter kunne sammenliknes med historiske data for nedtapping gitt fra de hydrologiske undersøkelsene beskrevet i kapittel 2.1.1.

2.1.3 Vandring hos voksenfisk

Denne delen av prosjektet vurderer om vandring hos voksen fisk er en flaskehals for fiskeproduksjonen i Lærdalselva. Fisken kunne opprinnelig vandre til Sjurhaugsfoss (enkelte fisk kunne muligens også passere fossen). Nedenfor Sjurhaugsfoss er det spesielt Seltagjelet som er et vandringshinder for fisk, hvor fisken normalt blir forsinket flere uker når den ankommer i slutten av juni, avhengig av vannføring og vanntemperatur. Bygging av et stort antall terskler de siste 50 årene er også drøftet. Mellom Seltagjelet og Sjurhaugfoss er det også flere strykstrekninger som forsinker fiskens oppgang. Rundt 1970 ble det bygget 4 trapper i Sjurhaugfoss, Husum, Kolgryta og Svartegjelsfoss for å øke den anadrome strekningen i vassdraget fra ca. 24 til ca. 40 km. De enkelte trappene ble besiktiget og kartlagt for å vurdere tilstand og funksjon og dermed vandringsforhold for laks og ørret på strekningen Sjurhaugfoss – Heggfoss. For Seltagjelet er det foretatt en vurdering av om dette er en flaskehals som bør avbøtes med tekniske tiltak.

2.2 Ungfiskundersøkelser

2.2.1 Elektrofiske og fysiske habitatforhold på stasjonsnettet

Ungfiskdata ble samlet inn ved elektrofiske som ble gjennomført på 31 stasjoner i Lærdalselva 25-27.10.2018. Vannføringen under elektrofisket varierte fra 25 til 29,5 m³/s ved målestasjonen på Stuvane, og vanntemperaturer på elfiskestasjonene lå mellom 2,2 og 4,7 °C. Elfiskestasjonene ble valgt ut for å representere ulike områder av vassdraget på best mulig måte (Tabell 1 og Vedlegg D) samtidig som de ikke overlappet med stasjoner som ble overfisket i regi av et annet prosjekt høsten 2018 (Sættem et al. 2018-a). Vi valgte altså ut stasjoner med god romlig fordeling i elva, som var forventet å ha ulik grad av egnethet for ungfisk og som dekket ulike elveklasser og substratforhold (Tabell 1). Dermed inkluderer vårt stasjonsnett områder som normalt ikke fanges opp i tradisjonelle ungfiskundersøkelser som ofte fokuserer på områder med gode forhold for ungfisk hvor høye tettheter kan forventes.

På hver stasjon registrerte vi en rekke fysiske habitatforhold som påvirker hvor egnet de er for ungfisk. Blant disse habitatforholdene er skjultilgang, elveklasse og substrat (se beskrivelser i kapittel 2.3). Skjultilgang ble målt som beskrevet i Foldvik m.fl. (2017) i tre til seks kvadrater på 0,25 m² på samtlige stasjoner bortsett fra

to som hadde svært grovt substrat og rikelig med store hulrom som kan fungere som skjul for ungfisken. Alle stasjonene ble kategorisert med hensyn til elveklasse, og dominant og subdominant substrattyppe ble registrert (ihht. Forseth & Harby, 2013).

Totalt i denne undersøkelsen ble det fanget 1294 laks og 627 ørret. I tillegg ble det fanget 2 ørekyte og 3 skrubbe. Samtlige fisk ble bedøvet, artsbestemt og talt. All laksefisk som var 1 år eller eldre ble lengdemålt til nærmeste millimeter fra snute til halefinne. All årsyngel ble lengdemålt på stasjoner hvor det ble fanget mindre enn 20 årsyngel, og minimum 20 ble målt på stasjoner hvor det ble fanget flere enn 20 årsyngel. På hver stasjon ble det tatt skjellprøver av et utvalg ungfisk (totalt 260 laks og 98 ørret) som ble aldersavlest på laboratoriet ved hjelp av stereolupe. På hver stasjon ble all fanget fisk satt tilbake i elven etter at elfisket og skjellprøvetakingen var gjennomført.

Samtlige fangede fisk ble inndelt i aldersklasser, enten ved hjelp av aldersavlesning av skjell eller basert på lengdefordelingen av aldersavlest fisk som var fanget på samme eller nærliggende stasjoner (range hos 0+ ørret 36-70 mm, eldre ørret 58-212 mm, 0+ laks 32-57 mm, eldre laks 55-161 mm).

Fem stasjoner ble overfisket i tre etterfølgende omganger slik at vi kunne estimere fangbarheten med utfangstmetoden (Zippin, 1958, Bohlin et al. 1989). Resten av stasjonene ble overfisket en gang. Tettheten av de ulike ungfiskklassene ble beregnet med utgangspunkt i en felles fangbarhet over hele elven. Altså ved å bruke summen av antall fangede fisk på de fem stasjonene med tre gangers overfiske til å estimere fangbarhet. Denne framgangsmåten ble valgt fordi fangsten på hver enkelt stasjon med tre gangers overfiske i flere tilfeller var for lav til at fangbarheten kunne estimeres noenlunde sikkert for alle aldersgrupper av laks og ørret. I beregningen av felles fangsteffektivitet ble det skilt mellom årsyngel (0+) og eldre (1+ til og med 4+) individer av laks og ørret. Bortsett fra for eldre ørret hvor den totale fangsten på stasjoner med tre gangers overfiske var på 35 individer, ga dette fiskegrupper med mellom 100 og 247 individer, og dermed godt belegg for å estimere fangsteffektivitet. Beregnet fangsteffektivitet var på hhv. 0,45 og 0,57 for 0+ og eldre laks, og på 0,47 for både 0+ og eldre ørret.

Av de 31 elektrofiskestasjonene som inngikk i ungfiskundersøkelsen var elveklassene glattstrøm (B2), grunnområde (D) og stryk (G2) representert (Tabell 1). Videre var fire av fem kategorier bunnssubstrat representert, både som dominant og sub-dominant. Disse var: Silt, sand og fin grus (< 2 cm), 2: Grus og småstein (2 - 12 cm), 3: Stein (12 - 29 cm) og 4: Stor stein og blokk (\geq 30 cm). På tvers av elveklasser og bunnssubstratkategorier var det variasjon i skjulforhold på elfiskestasjonene (Tabell 1). Atten stasjoner hadde lite skjul (vektet skjul < 5), sju stasjoner hadde middels (5 – 10) og fire stasjoner hadde mye skjul (> 10). I tillegg var det grovt substrat med store hulrom og rikelig tilgang til skjul på to stasjoner som ikke ble

skjulmålt (stasjon 11 og 16). Stasjon 11 hadde også svært mye mose. Elleve stasjoner lå uti elva mens tjue var plassert langs elvebredden.

For å undersøke om lav skjultilgang i områder av Lærdalselva kan være en flaskehals for smoltproduksjon sammenstilte vi registrert skjultilgang med tetthetsestimater for ungfisk og forholdet mellom årsyngel/parr på elfiskestasjonene.

Tabell 1: Beskrivelse av elfiskestasjoner overfisket i Lærdalselva 25-27.10.2018, inkludert GPS-koordinater, dominerende elveklasse, bunnsstrat (dominant substratstørrelse gitt før komma og subdominant gitt etter komma), gjennomsnittlig vektet skjul og gjennomsnittlig vanndyp.

Stasjon	Nord	t	Elveklasse	Substrat	Skjul (vektet)	Dybde (cm)
1.1 ¹	6775130	418738	Grunnområde	1,2	0,7	20
1.2 ²	6775330	419251	Glattstrøm	3,2	10	35
2.1 ¹	6774541	420162	Grunnområde	3,1	2,7	35
2.2 ¹	6774397	420105	Grunnområde	1,4	4,8	50
3.1 ¹	6774211	420111	Glattstrøm	3,2	4,3	20
3.2 ¹	6774140	420129	Grunnområde	3,1	1,7	20
4.1 ¹	6773921	420041	Grunnområde	3,2	9,5	25
4.2 ¹	6773888	420034	Glattstrøm	3,2	7	20
4.3 ²	6773832	420004	Glattstrøm	3,1	1,7	30
5.1 ¹	6772862	420208	Glattstrøm	3,2	1,3	50
5.2 ¹	6772692	420242	Stryk	2,3	6,3	20
6.1 ¹	6772162	419536	Grunnområde	1,2	0,7	40
6.2 ¹	6772089	419499	Glattstrøm	2,3	3	25
6.3 ²	6771467	419479	Glattstrøm	3,2	2,3	30
7.1 ²	6770658	419928	Grunnområde	25	3,2	25
7.2 ²	6770629	419937	Glattstrøm	2,1	2	35
8 ¹	6769462	421138	Glattstrøm	2,3	3,8	30
9.1 ²	6769159	422775	Stryk	3,2	7	30
9.2 ²	6769175	422801	Grunnområde	3,2	12,5	25
10.1 ¹	6768786	423989	Glattstrøm	3,2	10,3	25
10.2 ¹	6768840	424092	Grunnområde	4,3	5	30
10.3 ¹	6768866	424284	Grunnområde	3,2	12,5	30
10.4 ²	6768860	424392	Glattstrøm	2,3	4,8	50
11 ¹	6768653	425769	Glattstrøm	4,3	*	40
12.1 ²	6769098	426444	Grunnområde	2,1	0,3	30
12.2 ¹	6769208	426524	Stryk	4,3	7,8	25
13 ¹	6769705	428575	Glattstrøm	4,3	12	40
14 ¹	6769413	428892	Glattstrøm	1,4	0,6	40
15.1 ²	6769415	430152	Glattstrøm	2,3	2,7	35
15.2 ¹	6769418	430190	Grunnområde	2,3	2	25
16 ²	6769523	430994	Glattstrøm	4,3	*	40

*Rikelig med skjul mellom store steiner. 1)plassering ved land, 2)plassering ute i elva.

2.2.2 Modellert og observert vekst hos laksunger

Vassdragsreguleringen i Lærdalselva har medført endringer i temperaturregimet i elva, særlig etter bygging av Stuvane i 1988. Dette er vist av blant annet Anderssen (2002) og Heggenes et al. (in prep), som begge har pekt på at vår og/eller sommertemperaturene ved Tønjum (nedenfor Stuvane) har vært lavere etter reguleringen enn de var før. Ved å analysere en tidsserie som strekker seg fra 1964-2018 har Heggenes et al. (in prep) kommet fram til at sommertemperaturene (månedsmiddel) ved Tønjum har gått ned med $0,5 - 2^{\circ} \text{C}$ etter regulering.

Endringer i vanntemperaturer kan potensielt ha store konsekvenser for fisken i et vassdrag.

Vanntemperaturer styrer i stor grad utviklingshastighetene til både egg og plommesekeyngel, og etter at yngelen har begynt å ta til seg næring fra omgivelsene har vanntemperatur også stor innflytelse på veksten (Forseth et al. 2001; Angilletta, Niewiarowski & Navas, 2002). Vekst er viktig blant annet fordi det påvirker kroppsstørrelsen til fisken ved en gitt alder. Derved kan sen vekst som følge av lave temperaturer eksempelvis føre til at yngelen bruker lengre tid på å vokse ut av livsstadier hvor de er mest sårbare overfor predasjon (Einum & Fleming, 2007). Alderen til laksen når de smotifiserer og vandrer ut av elva avhenger også i stor grad av hvilken kroppsstørrelse de har oppnådd (Thorstad et al. 2012). Dermed er temperatur en faktor som påvirker både overlevelse og vekst hos laksungene og er bestemmende for hvor mange år de blir i elva før de går ut i havet som smolt. Sistnevnte kan ha store konsekvenser for smoltproduksjonen siden sannsynligheten for at laksungene dør før de rekker å smoltifisere øker når de forblir i elva lengre.

Det er viktig å påpeke at temperaturendringer i Lærdalsvassdraget etter utbygginga av Stuvane (som produserer direkte på avløpet til Borgund kraftverk) ikke har vært mulig å måle før etter 1988, og ungfiskundersøkelser i store deler av perioden etter 1988 har vært sterkt preget av lakseparasitten (påvist i 1996, erklært utryddet i 2017).

Vassdragsreguleringen i Lærdalselva kan ha påvirket vanntemperaturene i ulike elvestrekninger forskjellig. Her undersøker vi om vanntemperaturer på to målepunkter, ett på elvestrekningen nedstrøms utløpet av Stuvane kraftstasjon (Tønjum, stasjonsnummer: 73.41.0, UTM33: 96712Ø, 6792981N) og et på elvestrekningen mellom Borgund kraftstasjon og utløpet av Stuvane kraftstasjon (Nedre Hegg, stasjonsnummer: 73.42.0, UTM 33: 109312Ø, 6789960N), gir forskjeller i forventet tidspunkt for klekking av egg, første næringsopptak og påfølgende vekst av ungfisk. Vi har ikke hatt anledning eller til hensikt å se på forskjeller i vekst hos ungfisk som følge av vannkraftreguleringene som kom i drift fra 1974.

Vi brukte kvalitetssikrede, gjennomsnittlige døgntemperaturer over perioden 01.01.2000-01.07.2018 på målestasjonene Tønjum og Nedre Hegg (rett oppstrøms Sjurhaugfoss,) sammen med utviklingsmodellene til Crisp (1981, 1988) til å beregne et tidsintervall for forventet median dato for klekking og første næringsopptak. Tidspunkt for gyting ble satt til 25 oktober og 11 november som dekker perioden for gyting av laks i Lærdalselva som ble brukt i Gabrielsen et al. (2003). For både Tønjum og Nedre Hegg mangler temperaturdata i noen perioder. På grunn av dette har vi benyttet tilgjengelige temperaturdata for hele perioden til å beregne gjennomsnittlig døgntemperatur per kalenderdato (juliansk dato) for hver av de to temperaturstasjonene.

Vekst hos ungfisk av laks ble modellert ved hjelp av vekstmodellen i Forseth et al (2001). Dette ble gjort for laksunger som ifølge våre beregninger hadde hhv. tidligste og seneste beregnede dato for median første næringsopptak (Tabell 3). I disse modellene blir kroppsmasse ved et gitt tidspunkt (M_t) hos laksunger som har ubegrenset tilgang på mat modellert som en funksjon av temperatur som følgende:

$$M_t = (M_0^b + (b * (t * d(T - T_L) * (1 - e^{g(T-T_U)})))/100))^{1/b},$$

hvor T er observert temperatur, T_L og T_U er hhv. nedre og øvre kritisk temperatur for vekst, t er antall dager. d og g er konstanter. Vi brukte parameterverdier utarbeidet i laboratorieforsøk på ungfisk fra Stryneelva med moderat veksthastighet (Jonsson m.fl. 2001) siden tilsvarende parametere ikke er utarbeidet for laks fra Lærdalselva. Med utgangspunkt i denne modellen ble total vekst hos laksyngel som var 0,2 g ved første næringsinntak (jfr. Gabrielsen m.fl. 2003) beregnet som vekt (g) ved et gitt tidspunkt (t) ved bruk av gjennomsnittlige døgntemperaturer for Tønjum og Nedre Hegg over perioden 01.01.2000-01.07.2018 (vekst er antatt lik null når $T < T_L$).

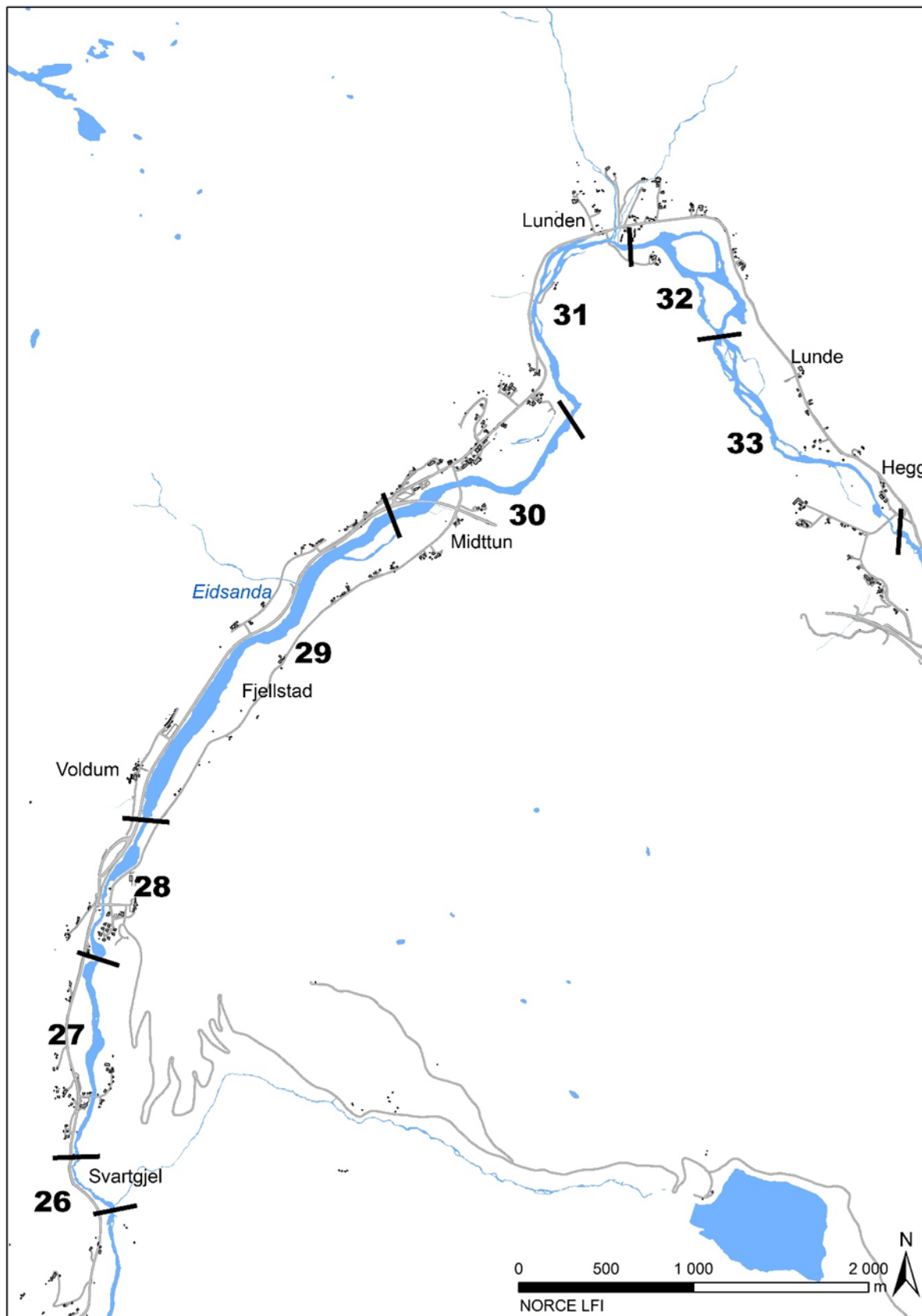
For å kunne sammenligne de modellerte veksthastighetene med veksten hos lengdemålt laksunger som var fanget på elektrofiskestasjonene i Lærdalselva høsten 2018 omregnet vi modellert kroppsmasse ved slutten av hver vekstsesong til total lengde (mm) ved bruk av følgende forhold (Weatherley, 1972):

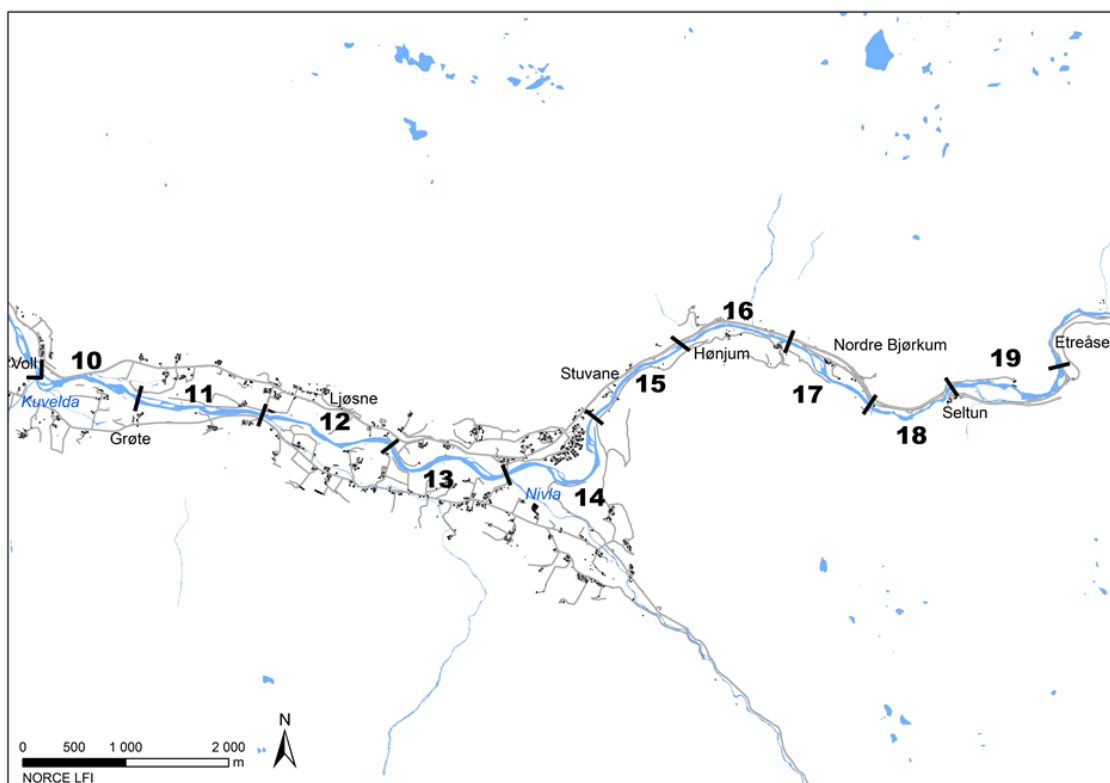
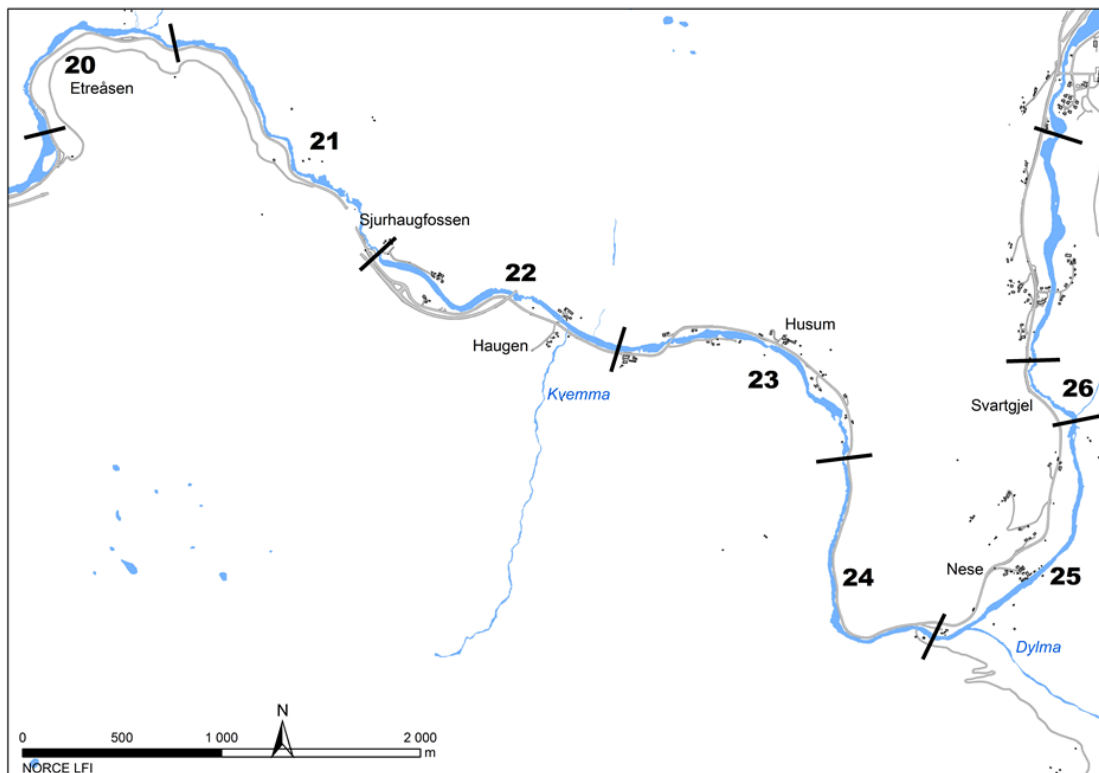
$$Lengde = \left(\frac{10^5 * M_t}{0,84} \right)^{1/3},$$

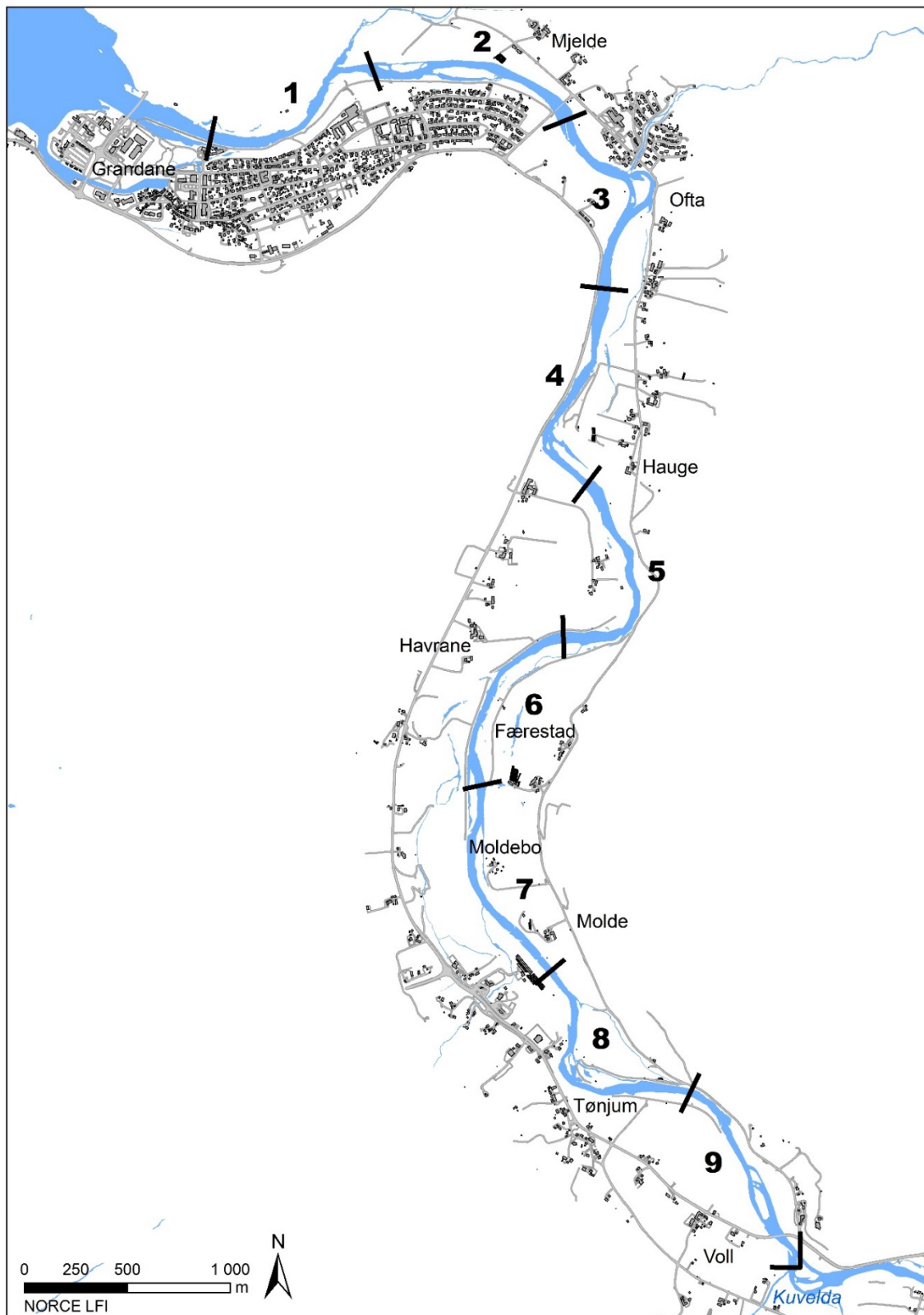
der M_t er kroppsvikt ved et gitt tidspunkt t .

2.3 Kartlegging av fysisk habitat, gytefisk og skjul

Det ble kartlagt en elvestrekning på totalt 41 km fra Lærdal sentrum og opp til Heggfoss (Figur 4). Strekningen fra Norsk villakssenter og opp til Sjurhaugfoss (strekning 1 og 2, (24 km)) ble kartlagt 09-11.april 2018, mens strekningen fra Sjurhaugfoss og opp til Heggfoss (strekning 3 og 4, (17 km)) ble kartlagt den 13-15. august 2018. Kartleggingen er basert på metodene og fremgangsmåtene beskrevet i Forseth & Harby (2013), og det henvises til denne for en detaljert beskrivelse av metodene. Kartleggingen ble gjennomført ved at en person snorklet nedover vassdraget mens en person på land gjorde notater underveis. Habitatparameterne ble notert på skjema og kart på vannfast papir, og lokalisert ved bruk av kartskisser og GPS. Det ble laget et skille på elvestrekninger basert på lengde og ved endringer i fysiske forhold (mesohabitatnivå).







Figur 4: Oversikt over kartlagte strekninger i Lærdalselva. Strekning 4 og vandringshinder ved Hegg er øverste plansje.

2.3.1 Mesohabitat/elveklasser

Mesohabitatet eller elveklassen ble kartlagt etter metode beskrevet av Borsányi et al. (2004). Metoden baserer seg på en klassifisering etter fire kriterier: Størrelsen på overflatebølger, helningsgrad, vannhastighet og vanddyb (Tabell 2). Overflaten regnes som turbulent når overflatebølgene er større enn 5 cm, helningsgrad regnes som bratt ved over 4 % helning, vannhastighet som hurtig dersom den overstiger 0,5 m/s og vanddyb over 0,7 m som dypt. Ved kartleggingen har det vært fokusert på å få frem de overordnede elvetypene og skiftninger i disse. Grenseverdiene for vanddyb og vannhastighet ble skjønnsmessig vurdert på stedet, ettersom disse uansett vil variere mye med vannføringen. Basert på disse kriteriene ble deretter elveklassen klassifisert som glattstrøm (A+B1+B2), kulp (C), grunnområde (D), stryk (H+G1+G2) eller bratt stryk (E+F).

Tabell 2: Oversikt over klassifisering av mesohabitat basert på fysiske karakterer basert på Borsányi et al. (2004). Tabellen er hentet fra Forseth & Harby (2013).

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

2.3.2 Substrat/elvebunn

Substrat eller elvebunnen ble klassifisert innenfor hvert mesohabitatområde ved at dekningsgraden (%) av ulike substratkategorier ble estimert: Mudder (organisk finsediment) og silt, sand (<1 mm), grus (1-64 mm), stein (64-384 mm), blokk (> 384 mm) og fast fjell. Klassifiseringen ble basert på visuell skjønnsmessig vurdering av elvebunnen.

2.3.3 Skjulforhold

Antall og størrelse på skjul i substratet ble kvantifisert etter metode beskrevet av Finstad et al. (2007), ved å måle hvor mange ganger en 13 mm tykk plastslange kan føres inn i hulrom mellom steiner innenfor en stållamme på 0,25 m². Størrelsen på hulrommene bestemmes ut fra hvor langt inn slangen kan stikkes, og dels inn i tre skjulkategorier: S1: 2-5 cm, S2: 5-10 cm og S3: >10 cm. Skjulmålinger foretas deretter på tvers av elva (transekt) ved at metallrammen kastes ut på tre eller flere «tilfeldige» punkt fordelt i hele elvens bredde innenfor et område med forholdsvis like substratforhold. Vektet skjul blir deretter beregnet ved å beregne gjennomsnittet av skjulmålinger for hver av de tre målingene ut fra følgende sammenheng:

$$S1 + (S2 \times 2) + (S3 \times 3)$$

Ut fra verdiene for vektet skjul klassifiseres skjulforholdene som svært lite (< 1), lite (1-5), middels (5-10), mye (10-15) og svært mye (> 15). Skjulmålingene gjøres så representative som mulig med tanke på substratsammensetningen innenfor et område. Ettersom det ikke er mulig å utføre skjulmålinger på områder dypere enn ca. 1 m, vil det være noe usikkerhet knyttet til hvor representativt skjulmålingene vil være for hele elven.



Figur 5: Skjulforhold for ungfisk måles ved å kvantifisere antall og størrelse på hulrom i elvebunnen med en plastslange (substrat-o-meter) innenfor en rute på 0,25 m². Slangen er markert med røde markører som brukes til å måle størrelsen (dybde) av hulrommene. Eksempel på skjulmålinger i substrat med mye fin grus og sand hvor det ikke finnes hulrom, og dermed svært lite skjul (t.v.), og i substrat med stein/blokk som gir mye skjul (t.h.).

2.3.4 Gyteområder

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

Gyteforholdene klassifiseres ut fra hvor stor andel av det totale elvearealet som er tilgjengelig for gyting, samt hvor stor avstand det er mellom gyteområdene. Arealene beregnes under feltarbeidet og delvis i ArcGIS, basert på skisser fra kartleggingen og avmerking med GPS. Arealene er derfor ikke basert på direkte oppmåling, og må derfor ses på som tilnærmete størrelser og ikke eksakte arealer. Mengden gytehabitat klassifiseres som lite dersom det utgjør <1 % av det totale elvearealet på strekningen, moderat ved 1-5 % og mye dersom >10 % av det totale elvearealet er tilgjengelig for gyting. Avstanden mellom gyteområder anses som stor ved over 500 m avstand, moderat ved 200-500 m og liten ved avstander kortere enn 200 m (Tabell 3).

Tabell 3: System for klassifisering av gytehabitat basert på gytearealenes størrelse (innenfor hvert segment) og spredning (gjennomsnittlig avstand mellom gytehabitat, på tvers av segmenter).

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

2.3.5 Databehandling

Resultatene fra kartleggingen ble digitalisert ved bruk av ArcGIS 10.2.2. Habitatkartene og gyteområder er tegnet ut fra kart og notater fra feltarbeidet, dronefoto samt ved hjelp av flyfoto. Kartene er basert på FKB datasett og tilsvarer en normalt breddfull elveseng. Hvert mesohabitatpolygon får en klassifiseringsverdi for skjul som beskrevet ovenfor (svært lite, lite, middels, mye, eller svært mye) basert på skjulmålinger innenfor området, eller ut fra nærmeste måling som har tilsvarende substratforhold. Hele Lærdalselva ble delt inn i fire hovedstrekninger (Figur 4) og 33 segmenter (Tabell 4). Segmentene er basert på avstand og naturlige skiller i vassdraget med hensyn til elveklasser og substratforhold.

Tabell 4: Oversikt over antallet segmenter i de forskjellige strekningene som Lærdalselva ble delt opp i etter kartleggingen.

Strekning	Segment nr.
1: Sjø – Voll bru	1-9
2: Voll bru – Etreåsen	10-19
3: Etreåsen – Svartegjel	20-25
4: Svartegjel - Heggfoss	26-33

3 Resultater

3.1 Hydrologiske analyser

Generelt er vannføringen i Lærdalselva lav om vinteren, mellom oktober og mai, mens vårmeltingen normalt starter i begynnelsen av mai og ender med en flomtopp nærmere midten av juni (Figur 6). Både Borgund og Stuvane kraftstasjoner har en slukeevne på 26-28 m³/s, og opprinnelig skulle Stuvane være et "vinterkraftverk" (se for eksempel Sættem 2010), dvs. det skulle produsere kraft på avløpsvannet fra Borgund kraftverk i den perioden av året når etterspørselen er størst. I praksis er Stuvane i dag i drift store deler av året, og nyere undersøkelser viser at kraftverket benyttes for å dekke døgnvariasjoner (og dermed prisvariasjoner) i strømforbruket (Alfredsen 2016). De videre vurderingene er delt opp i to delstrekninger av den lakseførende strekningen:

- Fra utløpet av Stuvane kraftverk til sjøen
- Fra Borgund (Svartegjel) til utløpet av Stuvane kraftverk

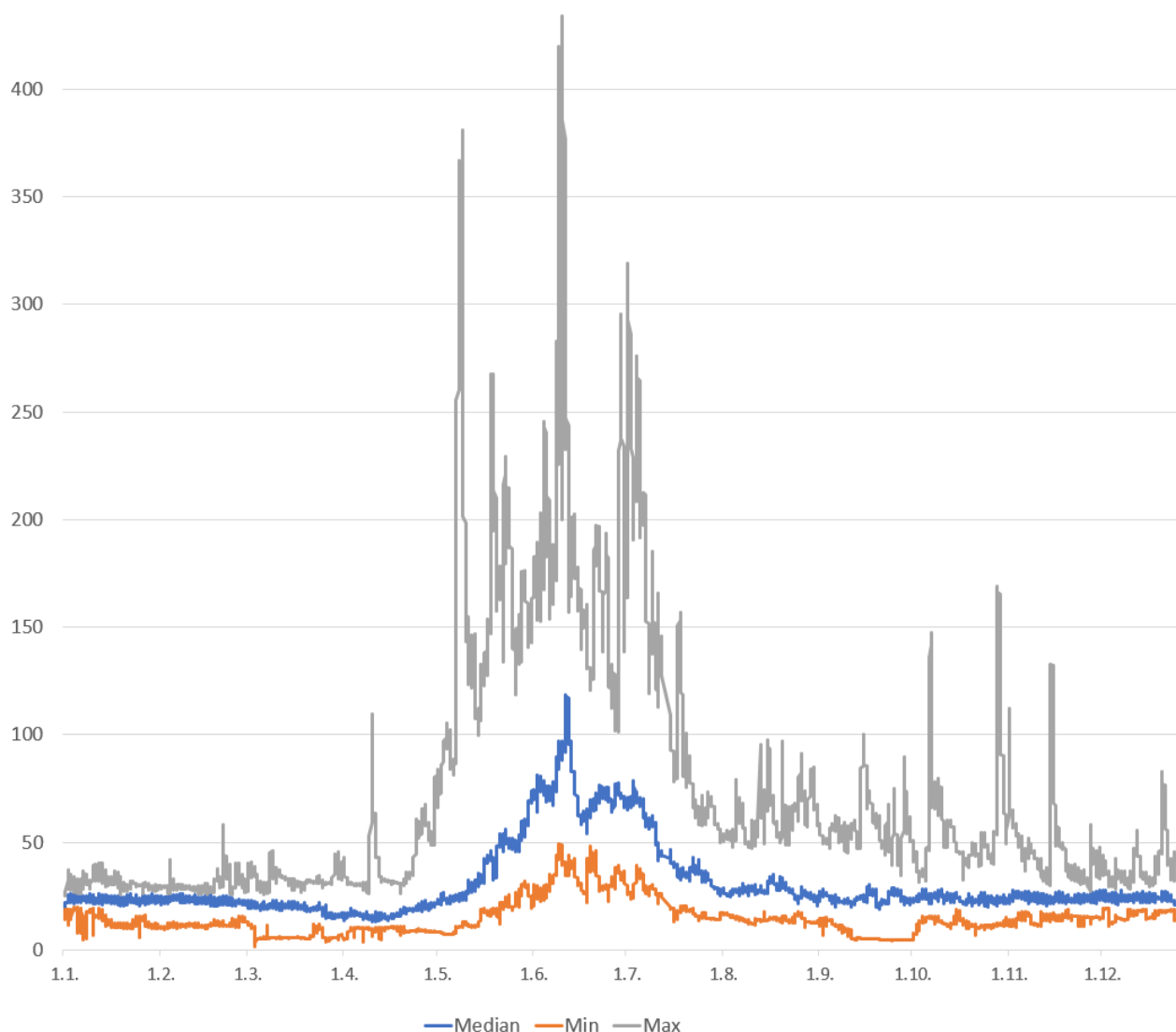
Den nederste strekningen består av tilsiget til hele Lærdalselva, med unntak av resttilsig fra bekkene nedstrøms utløpet av Stuvane kraftverk, mens den øverste strekningen har redusert vannføring som følge av omløpet til Stuvane kraftverk.

3.1.1 Fra utløpet av Stuvane kraftverk til sjøen

Reguleringen av elva omfatter som tidligere nevnt en drøy tredjedel av nedslagsfeltet og har medført at vintervannføringen har økt etter reguleringen. I tillegg har flomstørrelsene blitt noe reduserte. Garcia (2019) viste at middelflommene for nederste del av elva har sunket fra 355 til 235 m³/s og tiårsflommer fra 500 til 380 m³/s. Minstevannføringsavtalen med Lærdal kommune (minst 10 m³/s målt ved Båthølen på Lysne, vannmerke 73.2.0.1001.2 Stuvane) har resultert i at de aller laveste vannføringene har blitt redusert. Målte vannføringsverdier for median, minimum og maksimum halvtimesverdi for dette vannmerket, heretter kalt Stuvane, er vist i (Figur 6). Figuren viser at de største flommene de siste 20 årene har vært på mellom 200 og 400 m³/s. De laveste vannføringene opptrer normalt mellom 1. april og midten av mai, med medianverdier de siste 20 årene på mellom 15 og 20 m³/s. (Minimumsverdiene kan bli lavere, og i 2011 var det en vedlikeholdsperiode på 2-3 uker hvor vannføringen var mellom 5 og 10 m³/s. Dette var etter avtale med Elveeigerlaget. Med den gjeldende minstevannføringsavtalen er dette ikke en vanlig del av driften.) Fra omkring 1. august og fram til april ligger vannføringen i lange perioder mellom 20 og 30 m³/s, men det foregår relativt hyppige vannføringsvariasjoner over døgnet (endringer på typisk 3-5 m³/s, Alfredsen 2016) som skyldes variasjon i kraftproduksjonen i Borgund kraftverk (og dermed Stuvane kraftverk med mindre noe vann må slippes mellom Borgund og Stuvane for å tilfredsstille kravet om 4 m³/s målt ved Sælthun) tilpasset elektrisitetsmarkedet (Alfredsen 2016).

Basert på registrering av gyteplasser i denne delen av elva og kurven for medianvannføring over en lang rekke år er det ikke hydrologiske forhold som indikerer at gyteplasser tørrelegges gjennom vinteren.. Lave vannføringer om vinteren er en kjent flaskehals for ungfisk av laks i norske vassdrag, men heller ikke dette ansees som en generell utfordring i Lærdalselva, siden vannføringene om vinteren etter reguleringen har økt i forhold til naturtilstanden. Her må det nevnes at kortvarige episoder med redusert vannføring kan være avgjørende for overlevelse hos ungfisk.

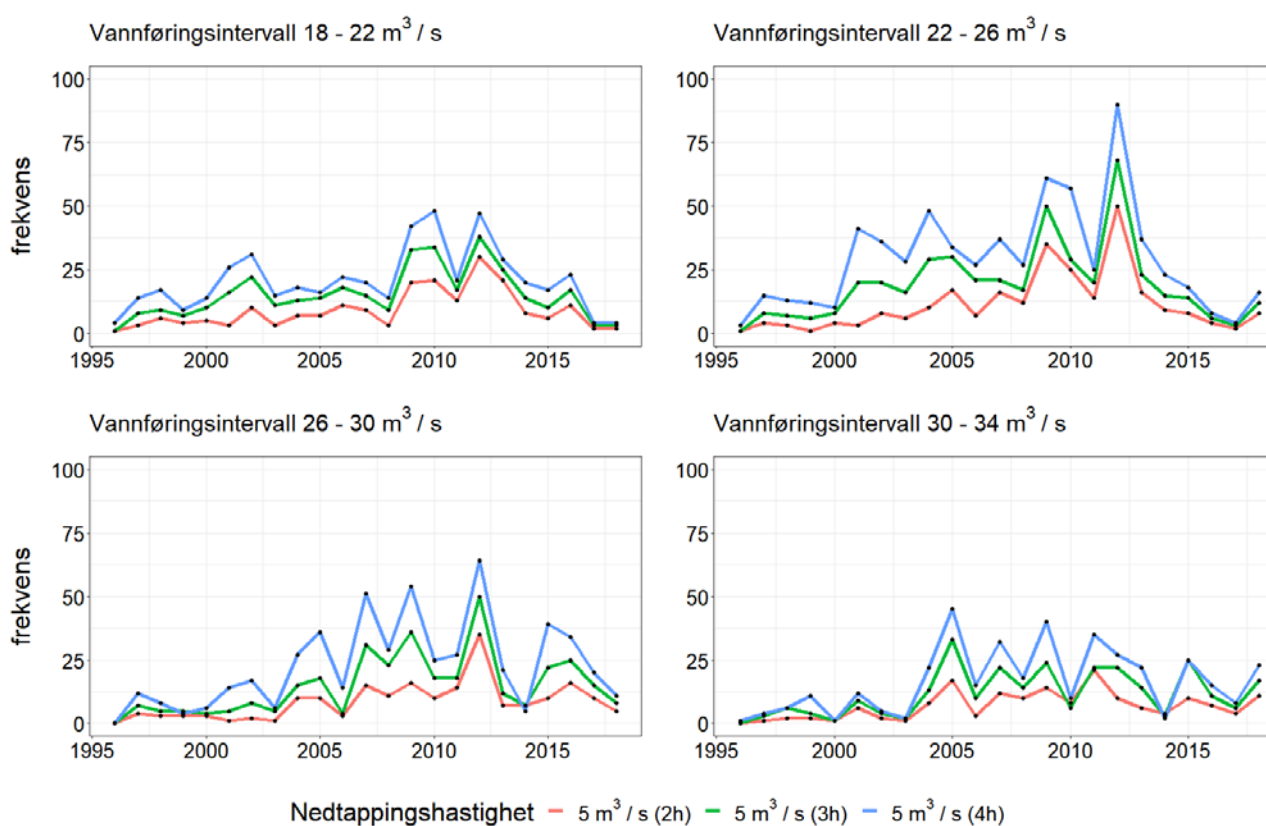
Med bakgrunn i vannføringsmålingene ved Stuvane og med tanke på at elva er relativt flat og uten fysiske hindringer på strekningen, har det heller ikke framkommet data som indikerer at vannføringsforhold påvirker oppvandringen hos voksen ørret og laks negativt. Tidligere studier viser at laksen i stor grad ankommer området nedenfor Seltagjelet, dvs. ovenfor utløpet av Stuvane kraftverk, omkring midtsommer og slutten av juni hvert år.



Figur 6: Vannføring i Lærdalselva ved Båthølen, Nedstrøms Stuvane kraftverk angitt som maksimum, minimum og median vannføring for årene 1996-2018.

Vannføringsreduksjoner med unormalt høy hyppighet og størrelse har vært påvist i Lærdalselva i tidligere studier og antall episoder med hurtige vannføringsendringer har vist en økende trend de siste 20 årene. Siden 2013 har antallet episoder gått noe ned igjen (Alfredsen 2016). Dette er et fenomen som i stor grad observeres som tilpasset drift til et kraftmarked hvor prisene varierer med etterspørselen over døgnet, og som kan ha uheldige effekter på fisk både som følge av dødelighet ved fysisk stranding og på lengre sikt på grunn av økt energiforbruk og stress (Bakken et al. 2016). I dette prosjektet er det gjort videre analyser for å vurdere størrelsen på vannstandsreduksjonene registrert på Stuvane, og ved hvilke vannføringer de skjer. Resultatene viser at det forekommer flest vannføringsreduksjoner når vannføringen ved Stuvane i utgangspunktet er i intervallet 22-26 m³/s og i intervallet 26-30 m³/s (Figur 7). Figuren viser antall

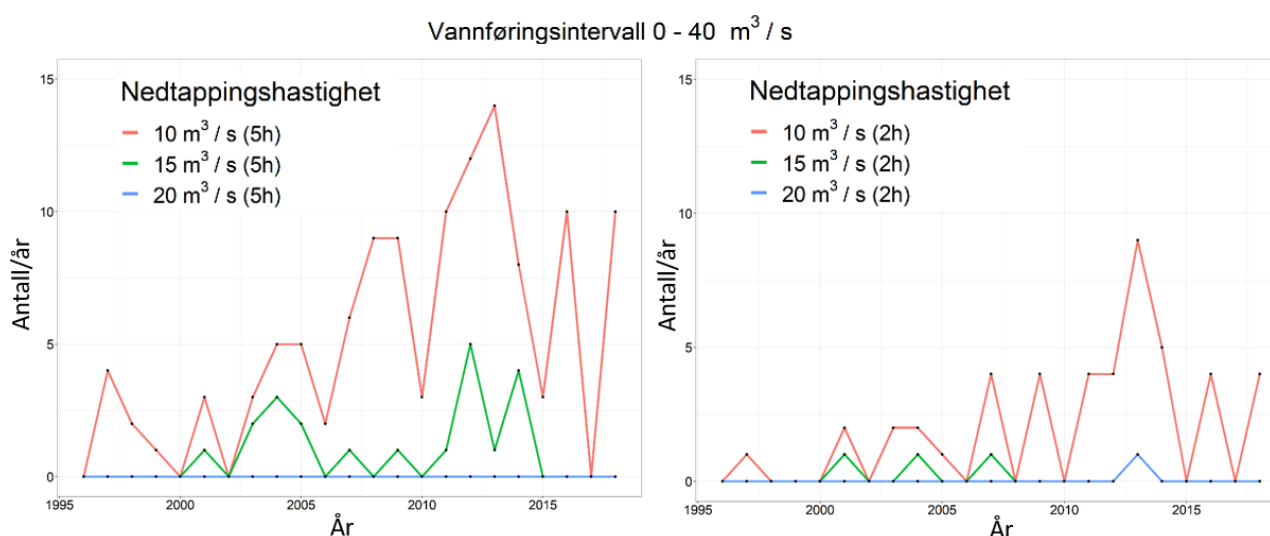
vannføringsreduksjoner på minst $5 \text{ m}^3/\text{s}$ pr år med en varighet på maksimalt 2, 3 og 4 timer innen fire ulike vannføringsintervaller mellom 18 og $34 \text{ m}^3/\text{s}$. Valg av vannføringsintervall ble gjort fordi store vannføringsendringer i dette intervallet i størst grad skyldes regulering og ikke naturlige tilsigsendringer (slik som regn). Øvre venstre plansje på Figur 7 viser for eksempel slike vannføringsendringer når vannføringen målt ved Stuvane i utgangspunktet var mellom 18 og $22 \text{ m}^3/\text{s}$. Mønsteret indikerer en økning av vannføringsreduksjoner i perioden fra 1996 til 2018, med en reduksjon de siste årene i perioden. Det var flest episoder i 2012. Det var færre nedtappingsepisoder når vannføringen nedstrøms Stuvane i utgangspunktet var lavere enn $18 \text{ m}^3/\text{s}$ og høyere enn $34 \text{ m}^3/\text{s}$. Disse intervallene er derfor ikke vist i figuren under.



Figur 7: Frekvens av nedtappingsepisoder i perioden 1996-2018. De fire panelene viser antall nedtappinger pr. år på minimum $5 \text{ m}^3/\text{s}$ med startvannføring innen de ulike vannføringsintervallene, målt i Båthølen nedstrøms Stuvane kraftverk med en nedtappingsvarighet på 2, 3 og 4 timer.

Det ble også gjort analyser av nedtappingsepisoder der vannføringsreduksjonen var større, dvs på minimum 10, 15 og $20 \text{ m}^3/\text{s}$, og som foregikk i løpet av 2 og 5 timer når vannføringen ved Stuvane i utgangspunktet var lavere enn $40 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figur 8). Valg av maksimal vannføring i analysene ($40 \text{ m}^3/\text{s}$) ble gjort utfra at det da kan antas at endringene skyldes reguleringseffekter, (og for eksempel ikke vannføringsendringer på 10-20 m^3/s over noen timer som er vanlig å observere under flommer.

Figur 8 viser at antallet episoder har økt over tid, med en topp i 2013. Mellom 2006 og 2013 ser man at det var 6 sesonger hvor det kunne observeres fra 4 til 9 vannføringsreduksjoner på minst $10 \text{ m}^3/\text{s}$ i løpet av maksimalt 2 timer. Det ble også observert at det minst annethvert år var episoder hvor vannføringen ble redusert med minst $15 \text{ m}^3/\text{s}$ i løpet av 5 timer i perioden 2000-2018. Disse episodene viser avvik fra den normale driften av Stuvane kraftverk og kan skyldes utfall eller situasjoner som ikke er planlagt. (Registrerte avvik kan skyldes feilmålinger i Båthølen, men analysene inneholder rutiner for å eliminere usannsynlige målinger.)



Figur 8: Frekvens av nedtappingsepisoder i perioden 1996-2018. De to panelene viser antall nedtappinger pr. år på minimum 10, 15 og 20 m^3/s med en nedtappingsvarighet på 2 (høyre plansje) og 5 timer når vannføringen før nedtapping var under $40 \text{ m}^3/\text{s}$, målt i Båthølen nedstrøms Stuvane kraftverk.

Også etter 2015 er det dokumentert nedtappingsepisoder med stranding av ungfisk, og Sættem (2018-c) beskrev en episode 4. september 2017 hvor vannføringen målt ved vannmerket i Båthølen sank fra $11,3 \text{ m}^3/\text{s}$ til $6,9 \text{ m}^3/\text{s}$ i løpet av ca. 75 minutter. Nedtappingsforløpet er beskrevet grafisk i rapporten til Sættem. I forbindelse med denne hendelsen ble det observert strandet og død ungfisk, men basert på ungfiskundersøkelser måneden etter var det ikke mulig å se en isolert reduksjon av ungfisktetthetene i forhold til året før (Sættem 2018-c). Sættem forklarer imidlertid dette med forbedret skjulforhold på undersøkte stasjoner og økt gytebestand, og at summen av dette har produsert og lagt til rette for større mengder fisk i hovedelva sammenlignet med årene i forkant, som var preget av skadeflommene fra Kuvella. I det hele tatt er det komplisert å beregne eller måle dødelighet som funksjon av strandingsepisoder, spesielt når det er snakk om gjentatte hendelser, fordi ungfisktettheter over tid varierer som funksjon av mange andre parametere, blant annet antall gytefisk. Dette påpekes også av Sættem (2018-c). Det er imidlertid vist dødelighet av ungfisk hos laks når vannstandsreduksjonen vertikalt er mer enn $13 \text{ cm}/\text{time}$ (Saltveit et al. 2003). Dette drøftes nærmere i kapittel 3.2.

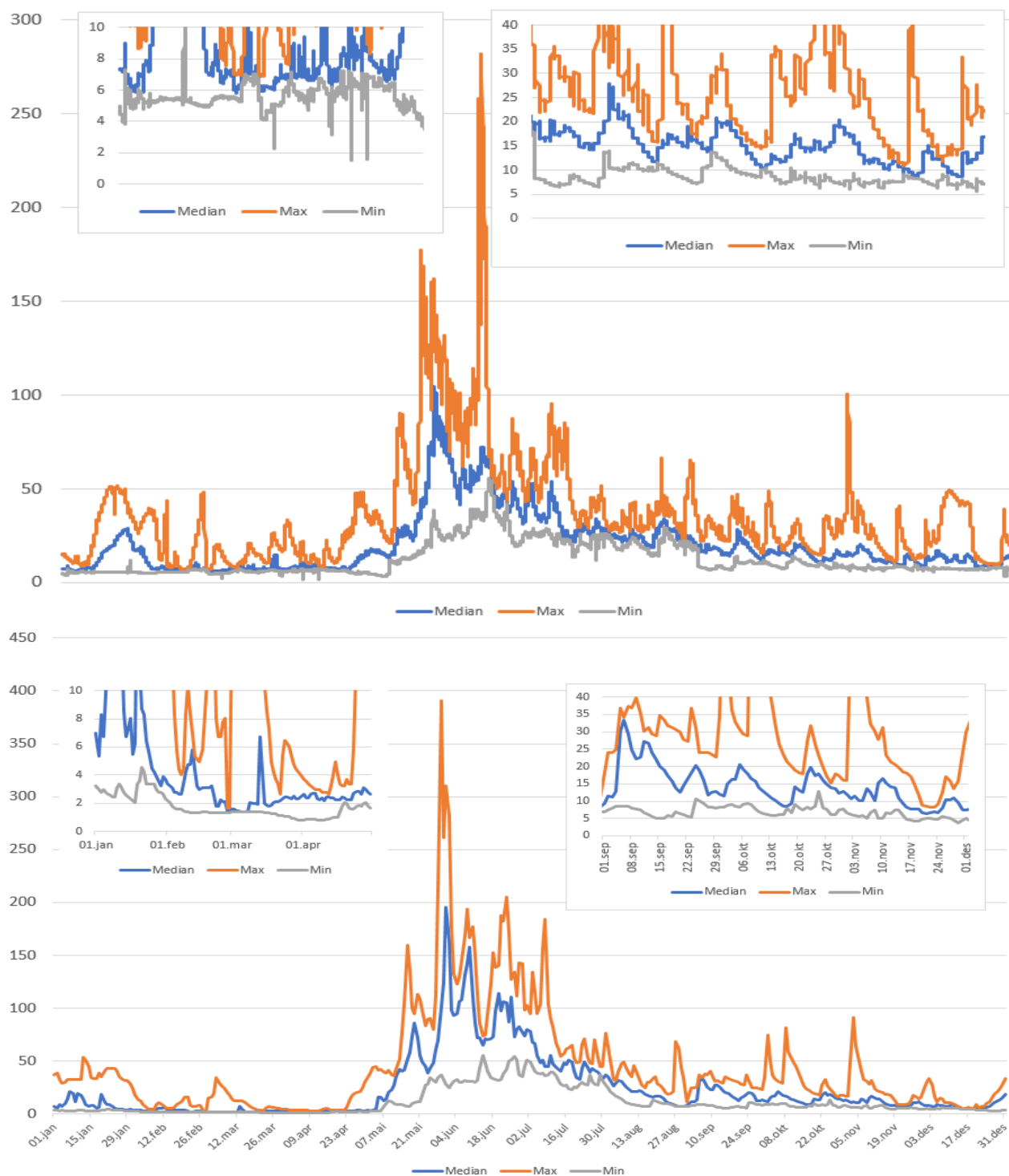
3.1.2 Fra Borgund til utløpet av Stuvane kraftverk

Siden denne strekningen er påvirket av at vann tappes forbi til Stuvane kraftverk, er det spesielt lave vannføringer som har vært vurdert som en mulig flaskehals for fisk. Imidlertid sikrer den privatrettslige minstevannføringsbestemmelsen en vannføring på 4 m³/s mellom Sjurhaugfoss og utløpet av Stuvane kraftverk, målt ved Sælthun vannmerke. Selv om det er anledning til å fravike denne bestemmelsen viser de undersøkte dataene at vannføringer lavere enn 4 m³/s er svært uvanlig. I forbindelse med vedlikehold på en trykksjakt i Borgund kraftverk vinteren 2011 ønsket regulanten å redusere denne vannføringen til 2 m³/s (og 5 m³/s nedenfor Stuvane) over en lengre periode og ønsket en utredning om de biologiske konsekvensene. Dette ble drøftet av Sættem (2010), men forfatteren gjorde ingen kvantitativ analyse av hvordan en redusert vannføring ville påvirke leveområdene for fisk. Vurderingen var ikke basert på målte vannføringsdata fra før reguleringen, men tok utgangspunkt i at det var akseptabelt med en vannføring tilsvarende et uregulert system (og som kan være lavere enn 4 m³/s). Det ble det konkludert med at *"Redusert vannføring i øvre del vil ha mindre negativ effekt på livet i elva enn lenger nede i vassdraget."* Det er usikkert hvilke fysiske parametere denne konklusjonen bygger på, men samme forfatter har gjennom mange år gjort kartlegginger av fisk i hele vassdraget, presentert i forskjellige rapporter (se for eksempel Sættem 1991, 2018-b), og kjenner vassdraget svært godt. Det er grunn til å tro at konklusjonen i stor grad bygger på denne kunnskapen, og at det i større grad er de store vannføringene som kan være problematiske for fisken, spesielt fordi mye av strekningen er bratt og består av et trangt elveleie. For eksempel er det vist at mye og kaldt vann bidrar til å forsinke oppvandringen av laks, særlig i Sæltagelet (Grande et al. 1989). Det er også en større del av laksen i Lærdalselva som gyter nedenfor Sæltagelet enn ovenfor (Sættem 2018), og elva er flatere nedenfor, noe som også kan ha bidratt til konklusjonen om at en tilstrekkelig minimumsvannføring på den nederste strekningen burde prioriteres høyest.

Vannføringsdata for vannmerke 73.4.0.1000.1 Sælthun for perioden fra og med 1970 til og med 2015 ble undersøkt for å vurdere vannføringsforholdene på strekningen. Dataserien inneholder perioder uten data og mens de 10 første årene består av døgnverdier, øker oppløsningen med årene og består til slutt av halvtimesverdier, slik at årene er kompliserte å sammenlikne. Noen perioder har derfor blitt valgt ut for analysene. Data for de fire årene 1970-1973 og delvis 1974 gjelder for perioden før elva ble regulert (nederste plansje i Figur 9). I den nederste plansjen (Figur 9) har vi benyttet målinger for de fire årene fra 2011-2014 som i henhold til en sammenlikning er representative for vannføringen de siste årene. Spesielt vinteren etter nyttår og høsten er studert, fordi dette potensielt er lavvannsperioder med fare for tørrlagging av gyteplasser og oppvekstareler. I lavvannsperioden fra årsskiftet til 1. mai ble det en tydelig økning av vannføringen etter reguleringen, og mens medianvannføringen før reguleringen lå omkring 2-3 m³/s er denne økt til 6-8 m³/s etter reguleringene. Målte minimumsvannføringen var godt under 2 m³/s før reguleringen,

mens de etter reguleringen kun unntaksvis og i svært korte perioder er under $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figur 9). For høsten viser målingene ikke de samme forskjellene før og etter reguleringen. Minimumsverdier og medianverdier er relativt like og både frekvens og størrelse på episoder med noe høyere vannføring ($>50 \text{ m}^3/\text{s}$) framkommer relativt likt i målinger før og etter regulering. Figur 9 viser også at vannføringen etter gyting ikke går nevneverdig ned, men holder seg minst like stor gjennom hele vinteren. Dette indikerer at reguleringen, sammenlignet med naturtilstanden, ikke har endret forholdene for eventuell tørrelegging av gyteplasser på denne strekningen av Lærdalselva.

Det kan se ut som flomtoppene har blitt noe redusert etter reguleringen, men fortsatt registreres flommer på over $200 \text{ m}^3/\text{s}$.



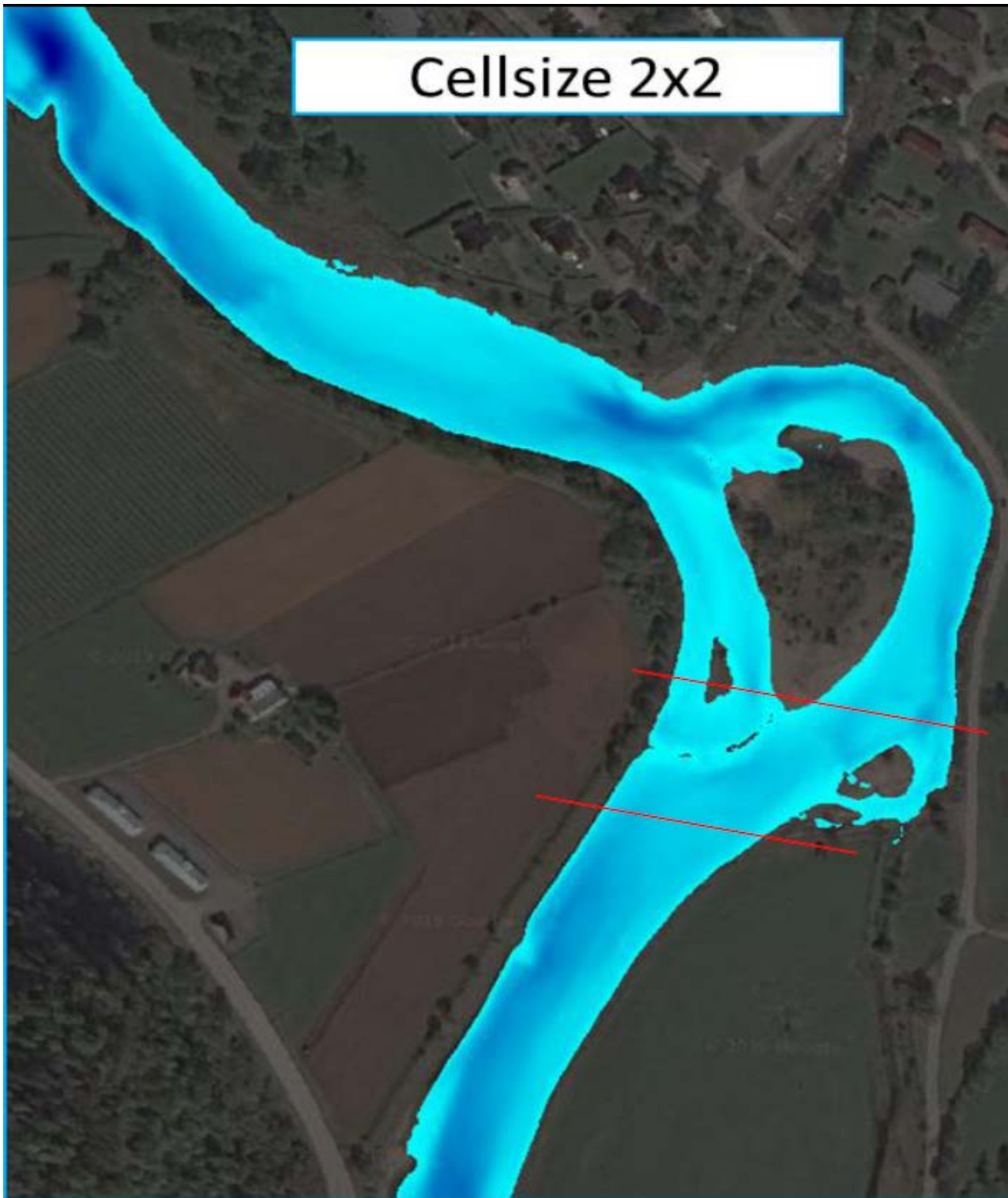
Figur 9: Målte vannføringer på Sælthun vannmerke. Den øverste plansjen viser median, maksimum og minimum timesverdi for de fire årene 2011-2014, hvor det er laget forstørrede figurer for periodene fra 1. januar - 1. mai og 1. september - 1. desember. Den nederste plansjen viser tilsvarende døgnverdier for de fem årene 1970-1974 (før vassdragsreguleringen av Lærdalselva). Datoaksene er like for begge plansjer.

Dykkerundersøkelsene og dronefoto av strekningen mellom Borgund og utløpet av Stuvane kraftverk utført 9. april 2018 ved en vannføring på strekningen på 4 m³/s (Vedlegg B) viser at store deler av strekningen består av hurtigstrømmende vann, og elveklassene Kvitstryk, Stryk og Glattstrøm. Dette viser at denne øvre halvdel av den lakseførende strekningen er betydelig brattere og smalere enn den nedre. Dette er beskrevet i detalj i de neste kapitlene.

Til tross for at reguleringen totalt sett har medført lavere vannføring på den øvre halvdel av Lærdalselva som følge av forbitapping til Stuvane kraftverk, har de laveste vannføringene etter reguleringen økt, som følge av avtalen om minstevannføring på 4 m³/s målt ved Sælthun. Grande et al. (1989) beskrev at vannføringer over 30-40 m³/s forsinker laksens oppvandring forbi Seltagelet, men perioder med slike vannføringer må antas å ha blitt redusert etter reguleringen fordi vann tappes forbi til Stuvane (ikke analysert). Hydrologiske forhold knyttet til oppvandring er drøftet lenger ned i rapporten.

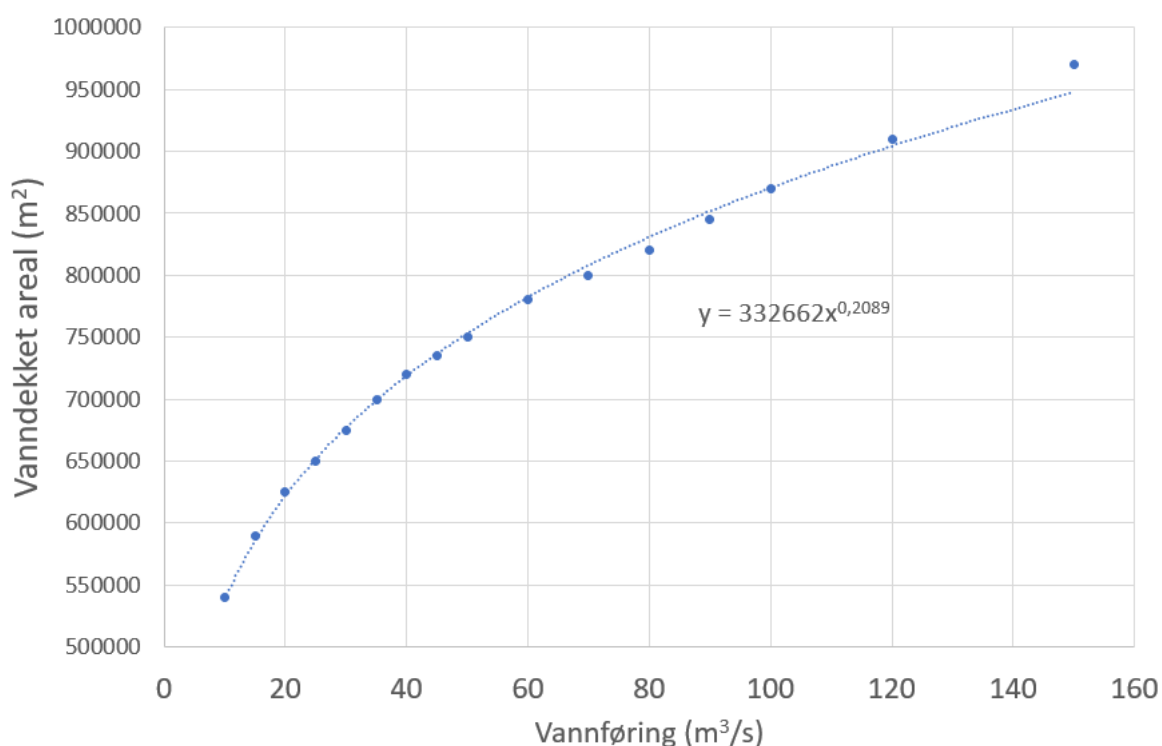
3.2 Vannføring og vanddekt areal nedstrøms Stuvane kraftverk

I utgangspunktet var målet med dette prosjektet å måle vanddekt areal som funksjon av vannføring på 5 utvalgte og representative stasjoner på vannføringene ca. 10, 20 og 30 m³/s målt på Stuvane, og deretter oppskalere disse som representative for hele strekningen for den lakseførende delen av elva. Disse planene ble i samråd med oppdragsgiveren endret, fordi nye målinger med grønn laserteknologi ble tilgjengelige for strekningen nedstrøms Hønjum, dvs. at de omfatter hele strekningen nedstrøms utløpet av Stuvane kraftverk, som er den strekningen som er definert som mest utsatt for hurtige vannstandsendringer pga. vannkraftregulering. Disse målingene har vært benyttet i masterstudentarbeider ved NTNU, som inngangsdata for en hydraulisk modell for hele strekningen (Limpens 2019, Garcia 2019). En fordel med en slik modell er at den kan beskrive hele strekningen på alle vannføringer innenfor det kalibrerte vannføringsområdet, i dette tilfellet 10 - 150 m³/s. Kalibreringen foregår generelt ved å justere strømningsmotstanden i modellen på de ulike delstrekningene, og kontrollere resultatene mot observerte målinger av vannkant og vannivå langs bredden. Resultatene av kalibreringen viser at det er svært god nøyaktighet på beregninger av vannivå og vanddekte arealer. Et eksempel på modellerte hydrauliske data (dyp og vanddekket areal) er på en delstrekning vist i Figur 10.



Figur 10: Modellert vanddyb og vanddekt areal ved Ofta i elvas nedre del hvor mørkest blåfarge indikerer størst dyp. De røde linjene markerer "breaklines" for modellering av terskelen. (Figur hentet fra Garcia 2019.)

Resultatene fra den hydrauliske modellen viser at reduksjonen i vanddekket areal er akselererende når vannføringen ved Stuvane kommer under 40 m³/s (Figur 11), dvs. at tørrelegging av arealer skjer fortere jo lavere vannføringen blir.



Figur 11: Modellert vanddekket areal (m²) som funksjon av vannføring (m³/s) mellom utløpet av Stuvane kraftverk og sjøen.

3.2.1 Hurtige vannstandsendringer (effektkjøring)

Hurtige vannstandsendringer som resultat av effektkjøring av kraftverk kan defineres som *hurtigere endringer enn hva naturlige hydrologiske prosesser skaper, eller endringer som opptrer hyppigere enn i uregulerte vassdrag* (Bakken et al. 2016).

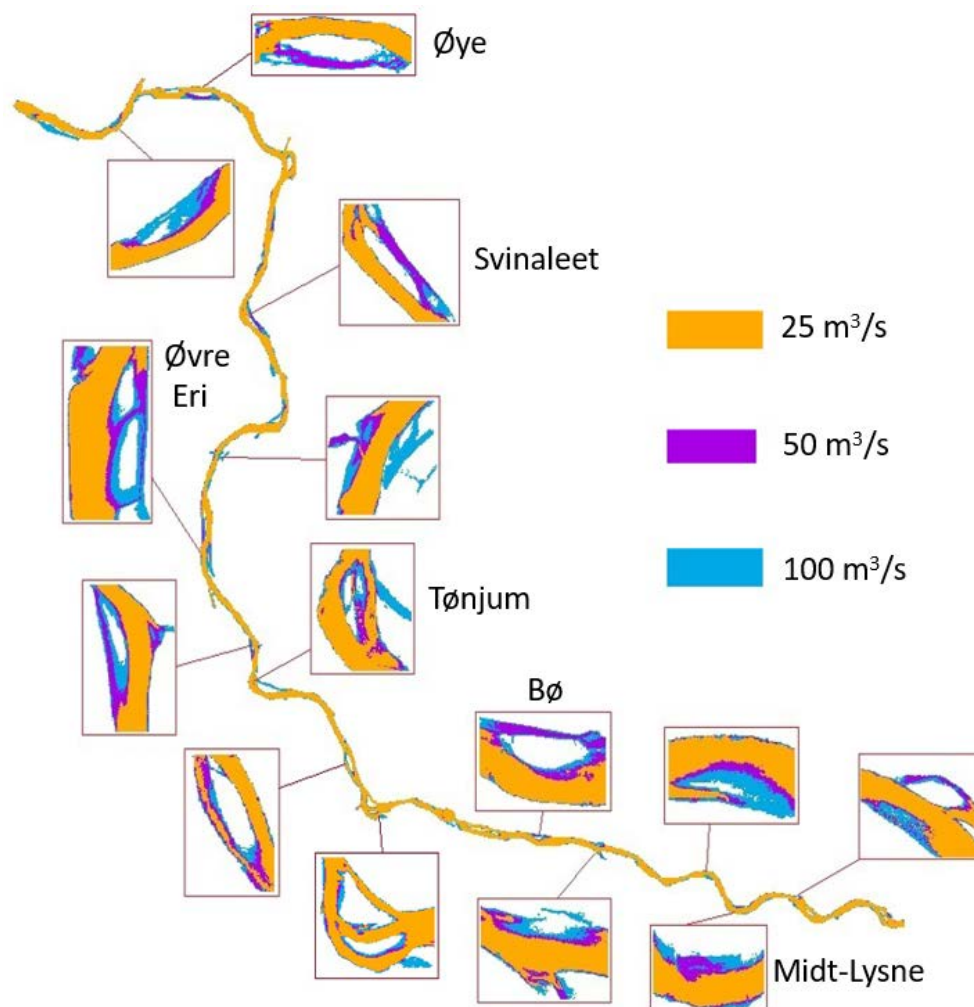
Vannivået på de enkelte deler av elva endrer seg som funksjon av vannføring, og endringene er forskjellig på ulike lokaliteter som følge av at elvas topografi og tverrsnittsform varierer. Tabell 5 viser differansen i vannivå på 10 ulike stasjoner ved vannføringer på mellom 45 og 10 m³/s, og demonstrerer blant annet at forskjellen er nesten dobbelt så stor (78 cm) ved Midt-Lysne i forhold til forskjellen ved Øye og Lærdalsøyri (42 cm), hvor elva blant annet er bredere. Kunnskap om denne sammenhengen bidrar til at man kan

analysere strekninger hvor ungfisken er spesielt utsatt for stranding, for eksempel der det er slake strender og skjulet for fisk er godt. Her vil tørrleggingen av godt habitat være størst i bestemte vannføringsintervaller.

Tabell 5: Modellert forskjell av vannivå på 10 stasjoner ved en vannføringsforskjell målt ved Stuvane mellom 45 og 10 m³/s.

Stasjon	Differanse (m)
Brakalløyni	0,44
Midt-Lysne	0,78
Bø	0,63
Voll bru	0,60
Tønjum	0,51
Øvre Eri	0,47
Grønnebank	0,48
Skjærbrui	0,46
Øye	0,42
Lærdalsøyri	0,42

Mens noen områder tørrlegges omkring vannføringer på eksempelvis 40 m³/s er det andre områder som tørrlegges ved 20 m³/s. Et eksempel på modellering av dette er vist i Figur 12. Her er det trukket ut 14 områder som får spesielt store endringer i vanddekket areal når vannføringen varierer mellom 25 og 100 m³/s. Spesielt områder med tørrleggingsarealer under 50 m³/s er angitt med navn på figuren, fordi det er ved vannføringer under 40-50 m³/s at reduksjoner i kraftproduksjonen i Stuvane har størst konsekvenser med hensyn til tørrlegging, og spesielt på de aller laveste vannføringene, når det vanddekte arealet krymper raskest som funksjon av vannføring (Figur 11).



Figur 12: Eksempler på områder som tørrelges ved synkende vannføring. Noen av lokalitetene er angitt med stedsnavn (figur basert på modelldata fra Limpens 2019).

Fordi man har historiske data for vannføring (og vannstand) i kun ett punkt ble det benyttet en simuleringmodell for å oversette vannstandsseriene fra Stuvane til en beskrivelse av vanndekt areal i hele elva nedenfor, samt hvordan det endrer seg med vannføring i tid. For å studere hvordan vannstanden synker med redusert vannføring ble det gjort en simulering av vannstanden nedstrøms Stuvane kraftverk når vannføringen reduseres fra 45 til 10 m³/s med 4 ulike hastigheter, fra momentan reduksjon (5 minutter) til 5 timer. Simuleringene hadde som mål å beskrive uheldige episoder som kan finnes i de historiske vannføringsmålingene (som blant annet vist i Figur 8), ikke å beskrive typisk kjøring av Stuvane kraftverk. Slik blir det mulig å bruke resultatene i simuleringene til å sammenlikne med målinger som indikerer reguleringseffekter og som er beskrevet i de neste avsnittene.

Figur 11 viser at en vannføringsreduksjon fra 45 til 10 m³/s reduserer det vanndekte arealet nedenfor Stuvane kraftverk med 25-27 %, dvs. et areal på anslagsvis 195 000 m².

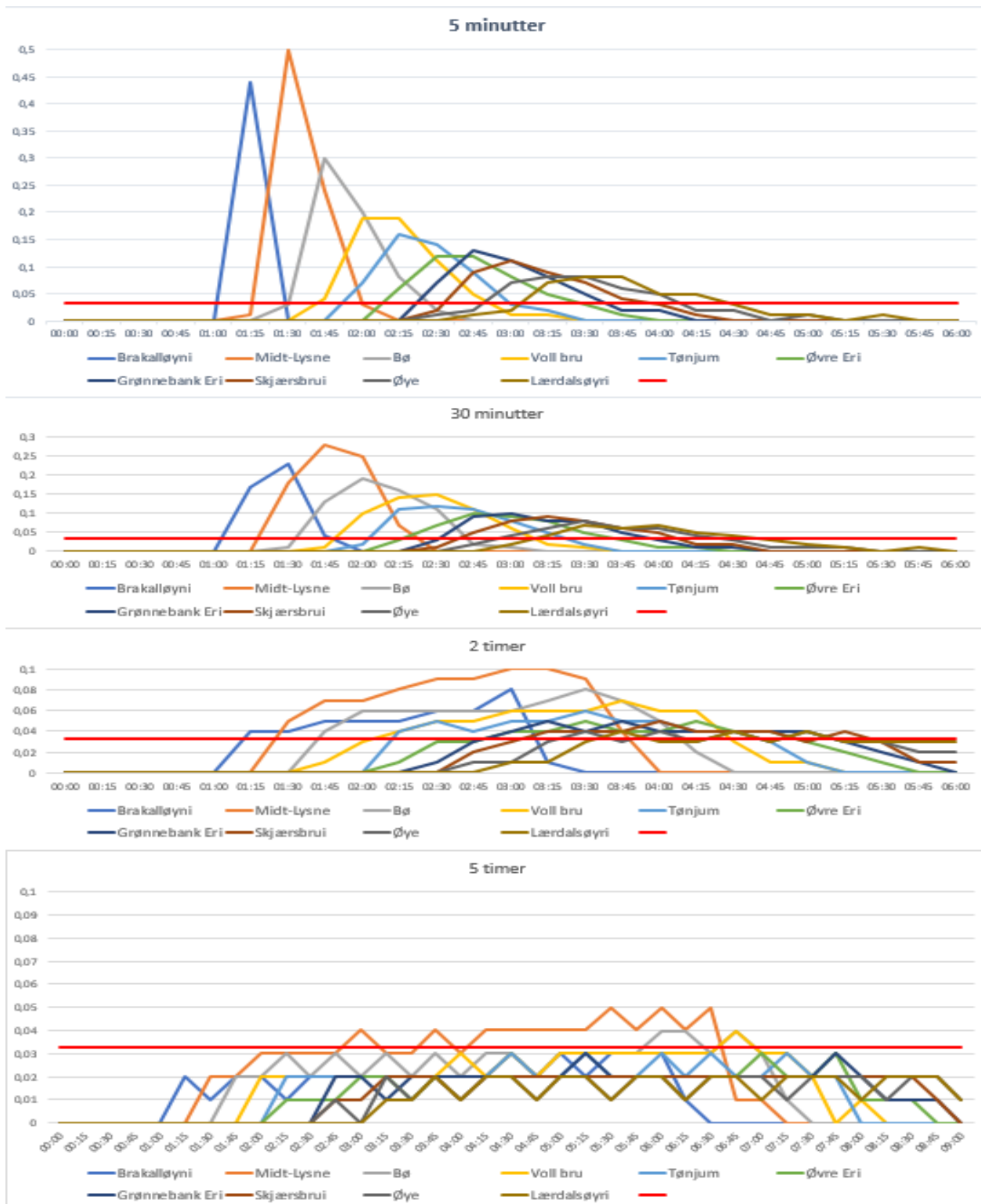
Beregnet vannivå på 10 ulike stasjoner fra Stuvane til sjøen ble i modellen beregnet for de fire nedtappingsforløpene (Figur 13). Som forventet viser resultatene at det er stor strandingsfare på alle 10 stasjoner når vannføringsreduksjonen skjer på 5 minutter, 30 minutter og 2 timer. Når nedtappingen foregår på 5 timer er det fortsatt stasjoner, spesielt på Midt-Lysne, som har en nedtappingshastighet over anbefalt grense (13 cm/time vertikalt). I dette tilfellet er vannføringsreduksjonen konstant 7 m³/s i timen, og vi ser av Figur 13 at kurvene for vannstandsreduksjon er relativt lineære over en periode på 5-6 timer på alle 10 stasjoner, og at den ikke er avhengig av avstanden fra kraftverksutløpet i særlig grad. Ved nedtappingsepisoder med slike hastigheter (opptil 7 m³/s i timen, over 5 timer) er det derfor elvas topografi og tverrsnitt på de enkelte strekningene som bestemmer størrelsen på tørrlagte arealer og hvor fort de tørrlegges, ikke avstanden til kraftverket.

Figur 8 viste at mellom 2006 og 2013 var det 6 sesonger hvor det kunne observeres 4-9 vannføringsreduksjoner pr. år på minst 10 m³/s i løpet av 2 timer. Dette var episoder hvor vannføringen altså ble redusert med minst 5 m³/s pr time, og figuren viser også målinger av episoder med enda større nedtappingshastighet. Resultatene fra den hydrauliske modellen viser at dette er episoder hvor den vertikale vannstandsreduksjonen er i nærheten av grensen (13 cm/time) hvor man i forsøk ser en endring i overlevelse hos ungfisk hos laks (Saltveit et al. 2003, Bakken et al. 2016). Som beskrevet over er årsaken til episodene som vist i Figur 8 ikke kjent, og ikke en del av normal drift av Borgund/Stuvane kraftverk, men de må antas å forekomme som konsekvens av kraftverkene. Når man befinner seg i dette området (hele strekningen mellom Stuvane og sjøen sett under ett) er det viktig å påpeke følgende:

- Enkelte lokale områder er spesielt utsatte for stranding, også når man i gjennomsnitt ser "akseptable" nedtappingshastigheter
- Ikke all strandet fisk dør, spesielt dersom tørrleggingen er kortvarig kan de overleve, men er sårbare for predasjon fra fugl og andre dyr.
- Analysene over beskriver risiko for fysisk stranding hos ungfisk, og tar ikke hensyn til redusert fiskeproduksjon som følge av gjentatte, hurtige vannstandsendringer.

Figur 7 viste antall nedtappingsepisoder som forekommer mer hyppig (typisk 10-60 ganger i året) og som derfor må antas å være en del av driften av Stuvane kraftverk. Dette var episoder som innebærer en vannføringsreduksjon på minst 5 m³/s i løpet av 2-4 timer, dvs 1-3 m³/s i timen. Ut fra simuleringsmodellen ser det ikke ut til at dette innebærer stor risiko for akutt stranding hos fisk nedstrøms Stuvane, forutsatt at reduksjonen ikke har foregått på kortere tid innenfor 2-4 timersperioden (dette ble ikke undersøkt).

Østfold Energis manøvreringsreglement for Borgund kraftverk (ØE 2018, pkt 3) beskriver maksimal lastreduksjon (døgnregulering) tilsvarende 40 MW/5,4 m³/s i timen de første 2 timene fra maksimal last, når naturlig vannføring målt i Båthølen er over 20 m³/s. Tilsvarende skal vannføringen fra full last ikke reduseres med mer enn 4,2 m³/s i timen de første 2 timene når den samme naturlige vannføringen i Båthølen er mindre enn 5 m³/s. Ut fra måledata og resultatene i simuleringen beskrevet over ser vi likevel at slike vannføringsreduksjoner er betydelig raskere enn naturlige vannføringsendringer i Lærdalselva, og spesielt er det stor usikkerhet knyttet til dynamikken og strandingsfaren ved nedtappingsforløp på vannføringer i elva, når denne er lavere enn 20 m³/s nedenfor Stuvane. Med den eksisterende, hydrauliske modellen vil det være mulig å utføre en rekke simuleringer som viser Østfold Energis forskjellige nedtappingsrutiner i detalj. Det er komplisert å vurdere langtidseffektene på fiskebestander av gjentatt effektkjøring (Bakken et al. 2016), og i denne rapporten har dette ikke vært mulig å vurdere.



Figur 13: Modellerte nedtappingshastigheter (angitt som meter vertikal reduksjon pr. 15 minutter) ved 10 stasjoner mellom Stuvane og sjøen for de fire nedtappingsscenariene. Den røde horisontallinjen indikerer anbefalt grenseverdi for vertikal senkehastighet for laks (13 cm/time). Merk at den nederste plansjen har et tidsforløp på 9 timer, mens de tre øverste har 6 timers forløp (x-aksen).

Figuren over viser en reduksjon nedstrøms Stuvane kraftverk fra 45 til 10 m³/s og spesielt kan man legge merke til bølgefôrplantningshastigheten. Figuren viser at de forskjellige stasjonene har forskjellig respons på vannivå som funksjon av vannføring, fordi tverrsnittene er forskjellige og fordi avstanden fra utløpet av Stuvane øker nedover.

3.2.2 Kiler og vandekket areal

Lenger ned i rapporten er 14 kiler beskrevet i detalj. De fleste av disse er ikke inkludert i den hydrauliske modellen, blant annet fordi elva og kilene i dag ikke henger sammen og fordi de mange steder er omkranset eller dekket av trær, som hindrer innhenting av pålitelige data fra skanningen med grønn laser. Noen kiler er inkludert i modellen, blant annet kilen mellom Bruhølen og Chaplin på Øye. Her viser Figur 12 at det er først på vannføringer over 25 m³/s at denne kilen får nevneverdig vannføring.

Under feltarbeid 10. april 2018 var vannføringen i Lærdalselva rett under 10 m³/s på strekningen fra Stuvane til sjøen, der de 14 kilene befinner seg. På dette tidspunktet var det ingen av kilene som hadde stabil vannføring (noen hadde stedvis stillestående vann). Slike lave vannføringer må påregnes årlig, og med andre ord kan ingen av kilene betraktes som permanente oppvekstområder for ungfisk av laks og ørret. Tvert imot kan de framstå som spesielt utsatte for stranding og uttørking ved dagens forhold. Her er det potensial for en økning av oppvekstområdene i Lærdalselva, noe som beskrives lenger ned i rapporten for den enkelte kile.

3.3 Fisketrapper og vandring hos voksen fisk

Lærdalslaksen har sitt naturlige vandringshinder i Sjurhaugfossen, omkring 25 km fra sjøen, men de 4 laksetrappene som ble bygget omkring 1970 (Sjurhaug, Husum, Kolgryta og Svartegjel ved Borgund) gjorde det mulig for laksen å gå opp til Heggfoss, 40 km fra sjøen. Fram til introduksjonen av *G. salaris* medførte stenging av trappene, var det åpenbart at trappene fungerte, og tellinger viste at mange hundre laks og ørret passerte tunneltrappen i Sjurhaugfoss i undersøkte år på 1980-tallet (Sættem 1991). Det var også tellinger av oppvandrende fisk i den øverste trappa (Svartegjel), ca. 6 km ovenfor Sjurhaugfoss, som viste at flere hundre fisk passert denne. I denne rapporten er det tatt utgangspunkt i at den øverste trappen vil forbli stengt, men at de tre andre trappene skal være åpne og ha god funksjon for både ørret og laks i vandringssesongen. Trappa i Svartegjel er derfor ikke tatt med i den videre teksten. Østfold Energi har i forbindelse med nyåpning av trappene utbedret disse i perioden mellom høsten 2016 og vinteren 2018.

3.3.1 Sjurhaugfoss

Trappa i Sjurhaugfoss består av ca. 30 støpte kulper på elvas nordside og har en total høyde på ca. 14 meter. Store deler av trappa går gjennom en tunnel i fjellet, og det er gangbane i trappas fulle lengde som sikrer atkomst. Tunnelen er belyst, og det er stengeluke øverst i trappa (Figur 14). Befaringen viste at trappa er i god stand og at utformingen er i overensstemmelse med oppdaterte anbefalinger.



Figur 14: Inngangen (venstre bilde) og tunneltrappen i Sjurhaugfoss. (Foto: S. Stranzel, NORCE).

3.3.2 Husumfoss

Trappa i Husumfoss består av 12 kulper i støpt betong og har en total høyde på ca. 5,5 meter (Figur 15). Inngangen er godt plassert ved fossefoten på elvas nordre side, og trappa er i god stand. Utgangen ligger fint inn i roligere vann mot bredden. Det er adgang langs hele trappas lengde via gangbaner, stengeluke øverst, og trappa er i god stand. Skjønnsmessig vurderes utformingen som god, blant annet er det lagt inn ekstra volum i kulpen hvor trappa svinger.



Figur 15: Fisketrappa i Husumfoss med inngangen (øverste bilde) plassert ved fossefoten innunder berget, videre opp mot toppen (nederst). (Foto: S. Stranzel, NORCE).

3.3.3 Kolgrytefoss

Trappa i Kolgrytefoss består av 18 kulper i støpt betong og har en total høyde på ca. 9 meter forbi en betongdam (Figur 16). Trappa er i god stand og utformingen ble vurdert skjønnsmessig til å være god. Som i de andre trappene er det bygget gangbane i stål og det er stengeluke i trappas øvre del.



Figur 16: Fisketrappa i Kolgrytefoss med inngangen (venstre bilde) og den øvre delen med betongdammen (Foto: S. Stranzel, NORCE).

Befaring av trappene både i 2018 og 2019 har konkludert med at trappene er i god stand og er riktig utformet. Det er liten grunn til å tro at trappene representerer vandringshindre for oppvandrende fisk, men generelt vil det ofte observeres at fiskens vandring forsinkes i forbindelse med passering av fisketrapper. Dette skyldes en rekke forhold, blant annet at trapper bygges forbi fysiske hindringer, slik som dammer og fosser, og at fisken må finne inngangen til trappene. Vanntemperatur spiller også inn, men spesielt vil vannføringen påvirke hvordan strømforholdene oppfattes av fisken når den skal finne trappa og passere den. Disse forholdene kan være vanskelig å vurdere uten observasjoner, men i Lærdalselva er det flere undersøkelser som understøtter konklusjonen om at trappene er i orden (Grande et al. 1989, Sættem 1991), og dermed ikke en flaskehals. Alle trappene befinner seg dessuten oppstrøms Seltagjelet, og fisken ankommer sjelden trappene før både vanntemperatur og vannføring er høvelig for vandring.

3.3.4 Nedre elv og passering av Seltagjelet

De nederste 20 kilometerne av Lærdalselva er relativt flate og det er ingen spesielle vandringshindre for oppvandrende voksenfisk. Summen av alle etablerte terskler på denne strekningen, kan imidlertid virke forsinkende i forhold til naturtilstanden. Mange av tersklene har fall på 0,5-1,0 meter og oppfattes skjønnsmessig som lokaliteter hvor oppvandrende fisk vil nøle med å gå rett forbi. Det er vanskelig å kvantifisere summen av slike forsinkelser og trolig avhenger denne effekten av blant annet vannføringen. Det

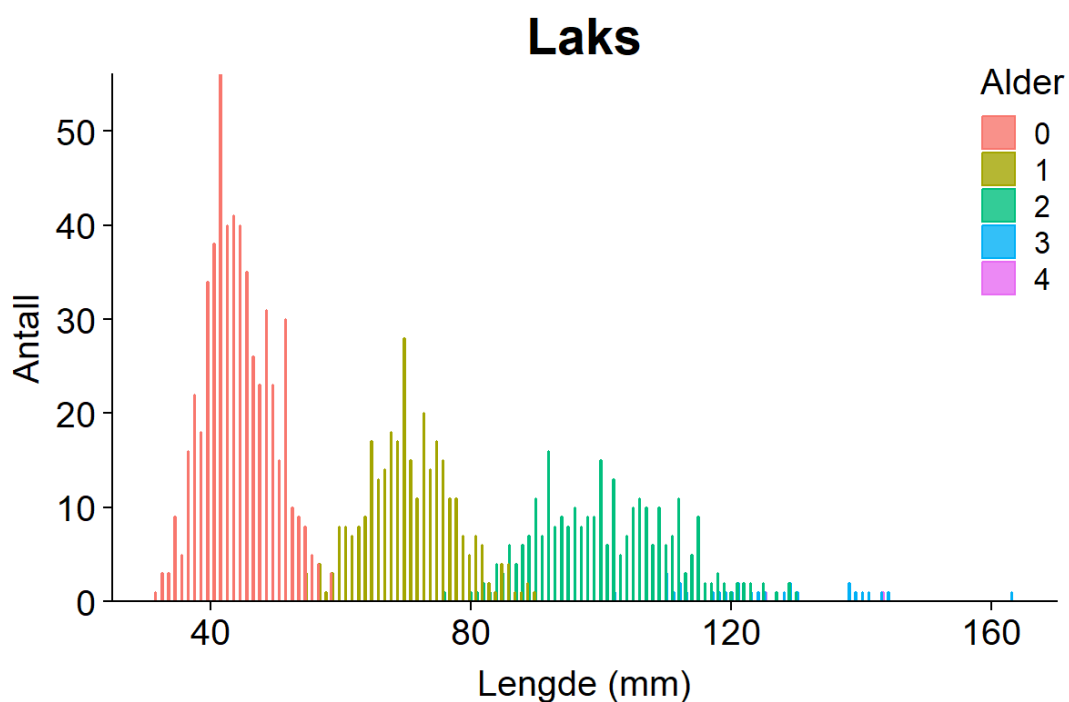
antas at forsinkelser i vandringshastighet og oppsamling av fisk under enkelte av tersklene har større konsekvenser for sportsfiske enn for produksjonen av fisk i vassdraget, fordi fisken uansett kommer fram til sine gyteplasser i tide. Fra utløpet av Stuvane kraftverk blir elva brattere på de neste 3 kilometerne opp til Seltagjelet. Selve Seltagjelet er en kort og bratt del av elva hvor elva stiger 35-40 høydemeter over en 500 meter lang strekning. Tidligere undersøkelser har vist at Seltagjelet forsinker oppvandringen hos laks betydelig (Sættem 1991), og mens fisken stort sett ankommer Seltagjelet i slutten av juni, brukte den i de elleve årene fra 1980-1990 i gjennomsnitt 17 døgn på å forsere gjelet. Det er grunn til å anta at dette forholdet er omtrent det samme i dag. Samtidig viste Grande et al. (1989) at strekningen forseres på omkring en uke dersom vandringsforholdene er gode, dvs. at vanntemperaturen er over 10-12 grader og vannføringen fra 10-30 m³/s. Selv om fisken kan komme forbi Seltagjelet viser studier (Sættem 1991) at det i sesonger med vanskelige vandringsforhold, dvs. med mye og kaldt vann, skjer en oppstuvning av fisk på gyteplassene rett på nedsiden av Seltagjelet med ditto mindre gytefisk på oversiden. Dette kan være ugunstig for elvas totale fiskeproduksjon (Einum & Nislow 2011).

Vannføringsforholdene i Seltagjelet avgjøres i stor grad av naturlige, hydrologiske forhold, slik som snømengde og nedbør, og strekningen befinner seg ovenfor utløpet av Stuvane kraftverk. Når strekningen trekkes fram som en flaskehals er det blant annet fordi det finnes tekniske muligheter for å ta inn vann til tilløpstunnelen til Stuvane via en luke ved Sjurhaugfoss. Et utvalg nedsatt i 1988 påpekte denne muligheten i sin rapport (Grande et al. 1989), ved å ta inn overløp fra Eldrevann eller annet uregulert flomvann til denne tunnelen og videre til Stuvane kraftverk i perioder hvor oppvandringsforholdene er vanskelige for fisken. Det kan virke som denne anbefalingen ikke har tatt hensyn til at regulanten i henhold til foreliggende avtaler ikke har lov til dette, og dette er derfor ikke en aktuell løsning. Det samme utvalget anbefalte bygging av to laksetrapper i Seltagjelet. Siden denne rapporten forelå har det vært store utfordringer knyttet til *G. salaris* og gjenoppbygging av laksebestanden i Lærdal, og muligens har fokuset på slike trapper kommet i skyggen av andre tiltak i elva. Vurdering av slike trapper har ikke blitt gjort på nytt i denne rapporten.

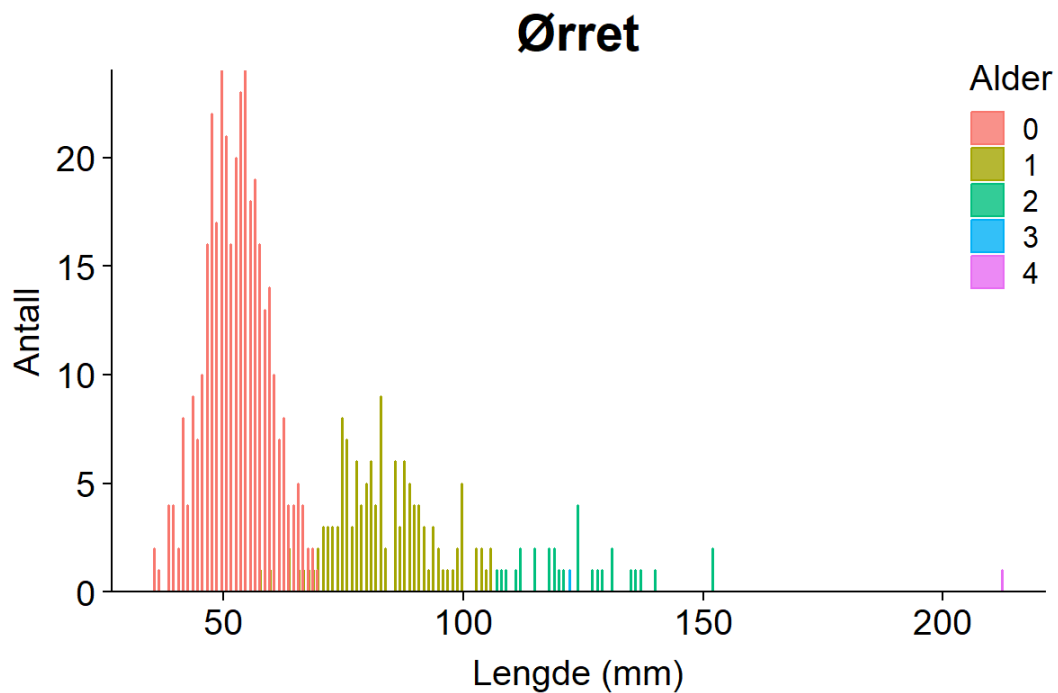
3.4 Ungfiskundersøkelser

3.4.1 Tettheter av ungfisk

Blant de 1294 laksene og 627 ørretene som ble fanget i denne undersøkelsen var det som forventet en overvekt av årsyngel hos både laks og ørret i elva sett under ett. Det ble kun fanget et fåtall individer av laks og ørret som var eldre enn 2+ (Figur 17 og Figur 18) og av disse var det mange gyttepar.



Figur 17: Lengdefordeling av ulike aldersklasser av laksunger som ble elektrofisket i Lærdalselva 25-27.10.2018.

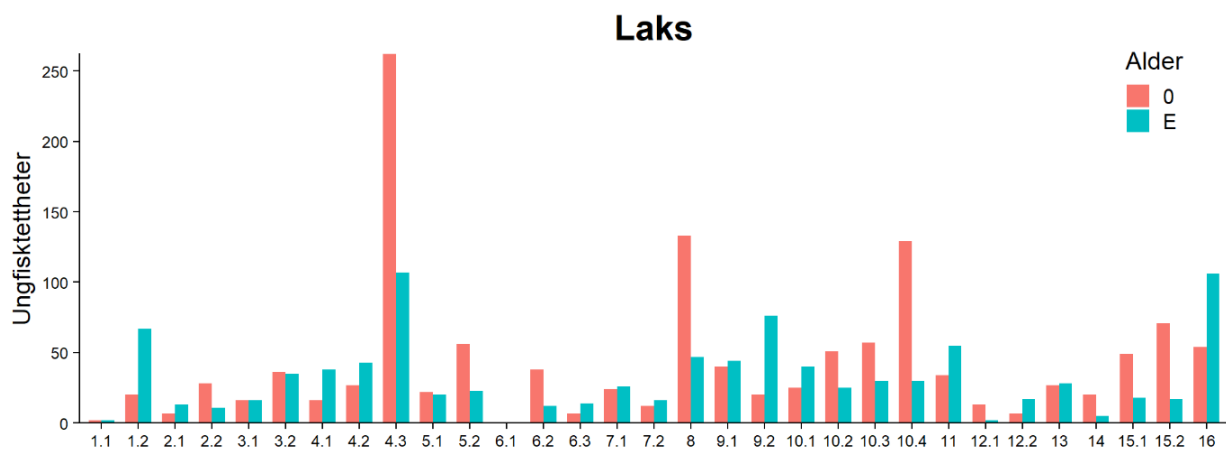


Figur 18: Lengdefordeling av ulike aldersklasser av ørretunger som ble elektrofisket i Lærdalselva 25-27.10.2018.

Tabell 6: Areal overfisket, håvtype og antall overfiskinger gjennomført på hver av elektrofiskestasjonene. Også oppgitt for hver stasjon er totalt antall fanget årsyngel (0+) og eldre ungfisk (E) av laks og ørret, samt estimerte tettheter (antall per 100 m²).

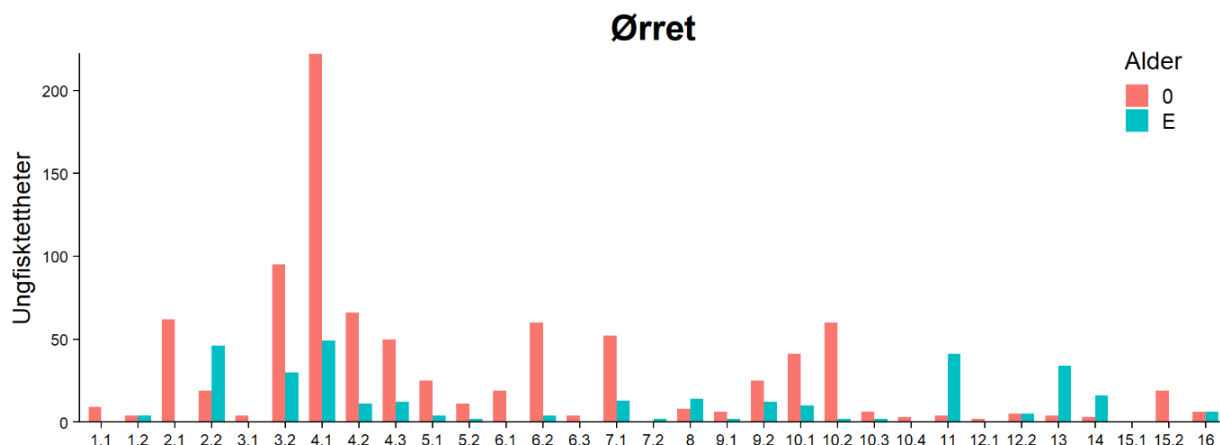
Stasjon	Areal (m ²)	Håv	Overfiskinger	Totalfangst				Tetthetsestimater			
				Laks		Ørret		Laks		Ørret	
				0+	E	0+	E	0+	E	0+	E
1.1 ¹	99	Liten	1	1	1	4	0	2	2	9	0
1.2 ²	100	Liten	1	9	38	2	2	20	67	4	4
2.1 ¹	96	Liten	1	3	7	28	0	7	13	62	0
2.2 ¹	78	Liten	1	10	5	7	17	28	11	19	46
3.1 ¹	100	Liten	1	7	9	2	0	16	16	4	0
3.2 ¹	99	Liten	1	16	20	44	14	36	35	95	30
4.1 ¹	112	Liten	1	8	24	117	26	16	38	222	49
4.2 ¹	92	Liten	3	21	36	52	9	27	43	66	11
4.3 ²	90	Stor	1	106	55	21	5	262	107	50	12
5.1 ¹	60	Liten	1	6	7	7	1	22	20	25	4
5.2 ¹	99	Liten	1	25	13	5	1	56	23	11	2
6.1 ¹	99	Liten	1	0	0	9	0	0	0	19	0
6.2 ¹	100	Liten	1	17	7	28	2	38	12	60	4
6.3 ²	99	Liten	1	3	8	2	0	7	14	4	0
7.1 ²	102	Liten	1	11	15	25	6	24	26	52	13
7.2 ²	90	Stor	1	5	8	0	1	12	16	0	2
8 ¹	99	Liten	3	110	43	7	12	133	47	8	14
9.1 ²	100	Stor	1	18	25	3	1	40	44	6	2
9.2 ²	98	Liten	3	16	69	21	10	20	76	25	12
10.1 ¹	105	Liten	1	12	24	20	5	25	40	41	10
10.2 ¹	100	Liten	1	23	14	28	1	51	25	60	2
10.3 ¹	104,5	Liten	1	27	18	3	1	57	30	6	2
10.4 ²	81	Stor	1	47	14	1	0	129	30	3	0
11 ¹	98	Liten	1	15	31	2	19	34	55	4	41
12.1 ²	100	Liten	1	6	1	1	0	13	2	2	0
12.2 ¹	135	Liten	1	4	13	3	3	7	17	5	5
13 ¹	100	Liten	1	12	16	2	16	27	28	4	34
14 ¹	66	Liten	1	6	2	1	5	20	5	3	16
15.1 ²	104,5	Stor	1	23	11	0	0	49	18	0	0
15.2 ¹	98	Liten	3	58	15	16	0	71	17	19	0
16 ²	84	Liten	3	38	82	4	4	54	106	6	6
Sum/snitt	2988			663	631	465	161	42	32	29	10

¹plassering ved land, ²plassering ute i elva.



Figur 19: Beregnede tettheter (antall per 100 m²) av årsyngel (0+) og eldre laksunger (E) på 31 stasjoner som ble elektrofisket i Lærdalselva 25-27.10.2018. Stasjonene er gruppert fra nederst til øverst i vassdraget, og er i tillegg vist på kartene i Vedlegg D.

Gjennomsnittlige beregnede tettheter av laks var 42 yngel og 32 eldre fisk per 100 m², men det var store forskjeller i tettheter mellom elfiskestasjonene (Tabell 6, Figur 19). De høyeste beregnede tetthetene av årsyngel og eldre laksunger var på hhv. 262 og 107 på stasjon 4.3. Dette til tross for at det på denne stasjonen var målt lite skjul (vektet skjul på 1,7) og at det var betraktelig lavere tettheter på nærliggende stasjoner som ble elfisket i våre undersøkelser (stasjon 2.2 – 4.1, Figur 4) og av Sættem (2018) (stasjon 2 og 3 med total tetthet av 0 + og eldre lakseunger på hhv. 147 og 59 laks per 100 m²). Stasjon 4.3 ligger imidlertid et par meter ut fra elvebredden og midt i vannstrømmen, som er et habitat som laksunger ofte foretrekker (Heggenes & Saltveit, 1990). Stasjonen hadde også mye mose som laksunger kan bruke som skjul. Dette er en god illustrasjon av at tettheter av både årsyngel og eldre laksunger i Lærdalselva varierte mye over korte avstander. De lavest tetthetene av laksunger fant vi på stasjon 6.1 hvor det ikke ble fanget noen, og på stasjon 1.1 hvor de estimerte tetthetene var på kun 2 årsyngel og eldre laksunger per 100 m². Begge disse stasjonene ligger inne ved elvebredden og hadde lave vannhastigheter. I tillegg var det svært lite målt skjul på begge stasjonene (vektet skjul på 0,7). Stasjon 6.1 ligger i et terskelbasseng hvor finmasser ikke vaskes ut i samme grad som i naturlige elvestrekninger, og bunnsubstratet bestod nesten utelukkende av silt og sand. Også på stasjon 1.1 var det mye silt og sand i tillegg til grus. Disse to stasjonene er gode eksempler på områder som kan ha vært spesielt utsatt for avsetning av finmasser som ble vasket ut av sideelven Kuvella ved flomepisodes som den i 2014 (Skår et al. 2017, Sættem, 2015).



Figur 20: Beregnede tettheter (per 100 m²) av årsyngel (0+) og eldre ørretunger (E) på 31 stasjoner som ble elektrofisket i Lærdalselva 25-27.10.2018.

Gjennomsnittlig beregnet tetthet av ørret for alle elfiskestasjonene var 29 årsyngel og 10 eldre ørretunger per 100 m². I tråd med resultater i Sættem (2018-b) fant vi mest ørret i nedre og midtre deler av elva. Høyest tetthet av ørret fant vi på stasjon 4.1 med 222 årsyngel og 49 eldre ørretunger. Denne stasjonen lå inne ved land og hadde lave vannhastigheter, substratet var dominert av mellomstore steiner med middels god tilgang på skjul (vektet skjul 9,5). Lavest tetthet av ørret var det på stasjon 15.1, som lå et par meter fra elvebredden og hadde relativt høye vannhastigheter. Her ble det ikke fanget noen ørret. Det var også svært lave ørrettettheter på en rekke andre stasjoner. For eksempel var det ikke noen årsyngel av ørret og en tetthet av eldre ørretunger på kun to individer per 100 m² på stasjon 12.1 hvor det var middels gode skjulforhold (vektet skjul 7,8) og høye vannhastigheter (Figur 20).

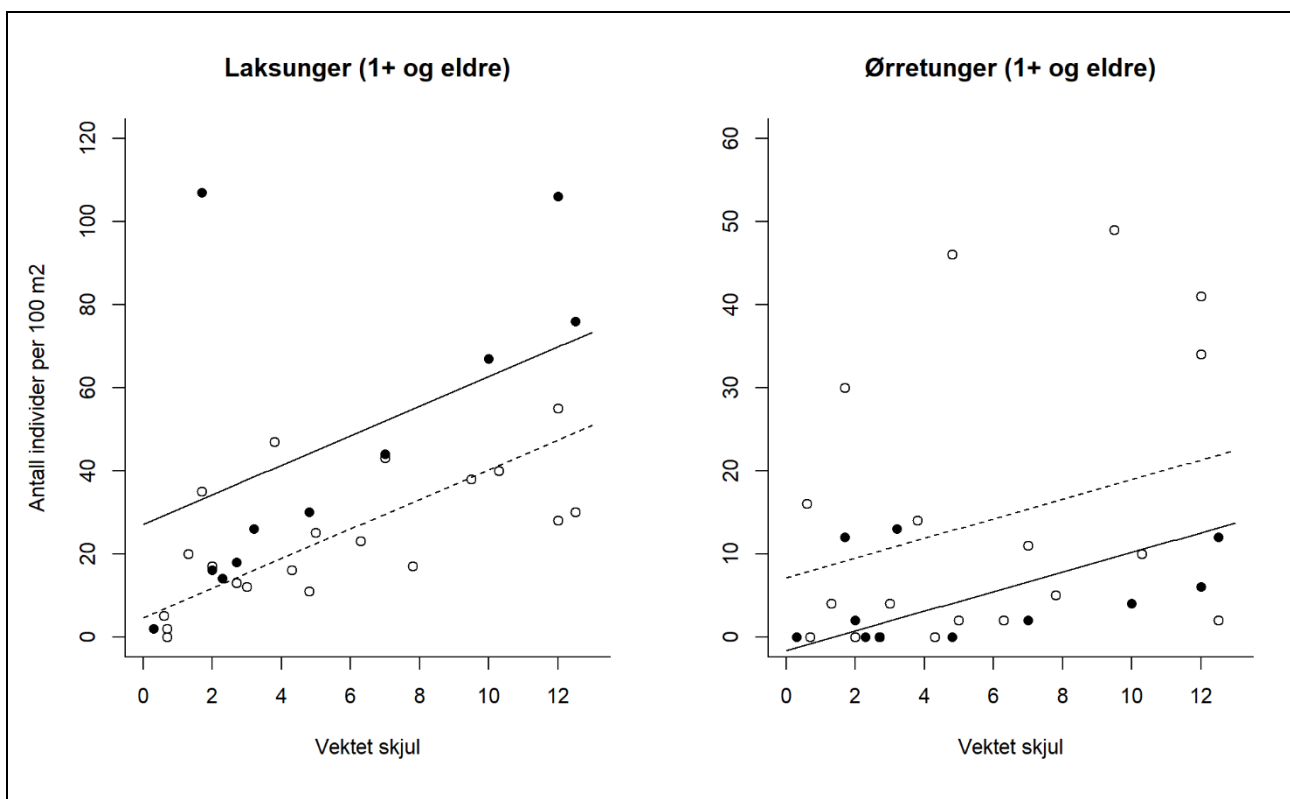
3.4.2 Sammenheng mellom skjulforhold og ungfisktettheter

Ved bruk av statistikkprogrammet R (versjon 3.6.1. 2019) testet vi om det var et forhold mellom vektet skjul og tetthet av eldre ungfisk av laks og ørret på elfiskestasjonene i to lineære modeller, en for laks og en for ørret. Ved bruk av de samme modellene testet vi også om ungfisktetthet ved en gitt mengde vektet skjul var den samme på elfiskestasjoner som lå helt inntil elvebredden og stasjoner som lå ute i elva. I disse analysene ble de to stasjonene hvor det var rikelig med skjul mellom sprekker, men hvor skjul ikke ble målt, men gitt en konservativ verdi for vektet skjul på 10.

For eldre laksunger var det en signifikant økning i tettheter når vektet skjul på elfiskestasjonene økte (Figur 21 og Tabell 7). Som forventet var det altså generelt høyere tettheter av eldre laksunger på stasjonene hvor det var mer tilgjengelig skjul for ungfisk. Forholdet (stigningstallet) mellom skjultilgang og tetthet var det samme på elfiskestasjoner som lå ute i elva og inne ved elvebredden. For en gitt skjultilgang var det

imidlertid signifikant høyere tetthet av eldre laksunger på elfiskestasjoner som lå ute i elva sammenlignet med elfiskestasjoner som lå inne ved elvebredden. Selv om dette forholdet er statistisk signifikant så er forskjellene så små at de neppe har noen betydning for smoltproduksjonen.

For eldre ørretunger var det også en trend hvor det var større tettheter på stasjoner med høyt vektet skjul enn stasjoner med lavt vektet skjul (Figur 21), men dette var ikke statistisk signifikant (Tabell 7). Videre var det motsatt av det som var tilfelle for laks, en ikke-signifikant tendens til at tetthetene for en gitt skjultilgang var høyere på elfiskestasjoner som lå inne ved elvebredden enn på stasjoner som lå ute i elva (Figur 21, Tabell 7).



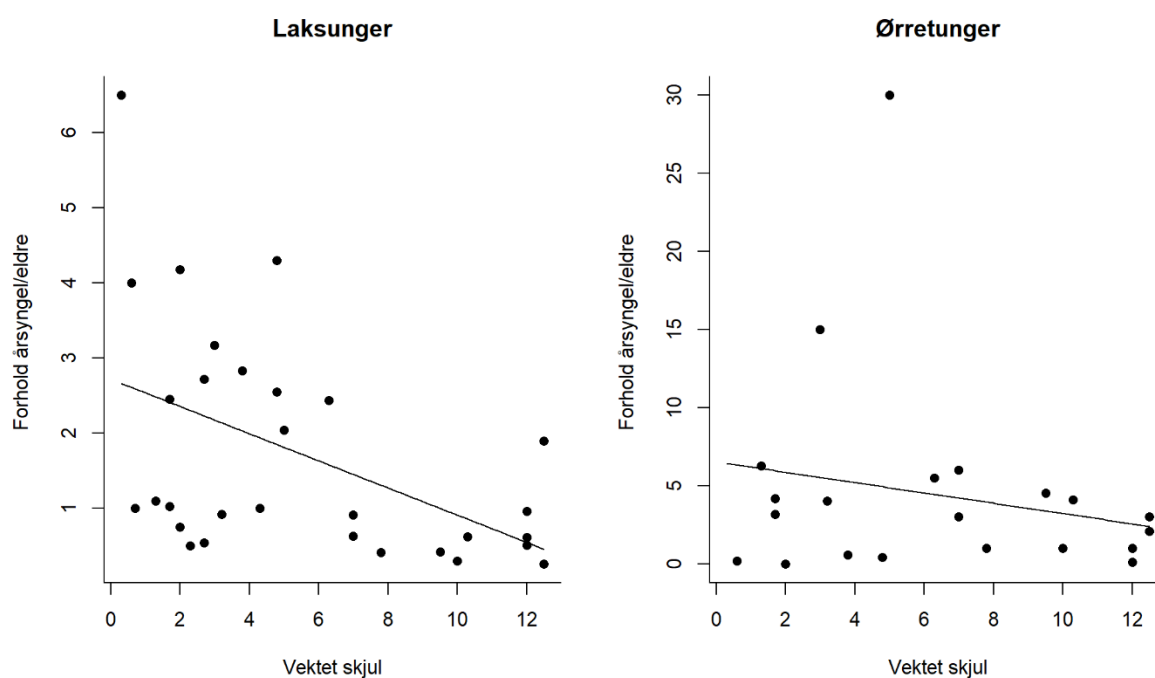
Figur 21: Sammenheng mellom vektet skjul og ungfisktettheter (1+ og eldre) på elfiskestasjoner som er plassert ved elvebredden (åpne sirkler, prikkede linjer) og ute i elva (lukkede sirkler, solide linjer) for laks (til venstre) og ørret (til høyre) i Lærdalselva. Merk forskjeller i y-akse. Presenterte sammenhenger er kun signifikante for laks (se Tabell 7).

Tabell 7: Resultater fra to lineære modeller hvor vi tester om det er et statistiske signifikante forhold mellom vektet skjul og tettheter av eldre laks og ørretunger på elfiskestasjoner i Lærdalselva høsten 2018. I de samme modellene tester vi om det er forskjeller i ungfisktettheter på elfiskestasjoner med et gitt vektet skjul som ligger ved elvebredden vs. stasjoner som ligger ute i elva. Estimer med p-verdier mindre enn 0,05 blir ansett som statistisk signifikante.

	Estimat	SE	t-verdi	p
<i>Laks</i>				
Skjæringspunkt (ved elvebredden)	4,62	6,82	0,68	0,5
Ute i elva (forskjell fra skjæringspunkt)	22,44	7,80	2,88	0,008*
Stigningstall	3,56	0,92	3,85	<0.001*
<i>Ørret</i>				
Skjæringspunkt (ved elvebredden)	7,12	4,35	1,64	0,11
Ute i elva (forskjell fra skjæringspunkt)	-8,77	5,0	-1,76	0,089
Stigningstall	1,18	0,59	2,0	0,055

Forhold årsyngel/parr og sammenheng med skjultilgang.

Vi undersøkte om vektet skjul på elfiskestasjonene påvirket forholdet mellom tetthet av årsyngel og eldre laks og ørretunger i to lineære modeller. For laks avtok dette forholdet signifikant med økende vektet skjul (Figur 22, estimat = 0,18; SE = 0,06; t-verdi = -2,93, p = 0,007). Tilsvarende forhold for ørret var ikke signifikant (estimat = -0,33, SE = 0,35, t-verdi = 0,95, p = 0,36). Hverken for laks eller ørret var det en signifikant effekt av om elfiskestasjonene lå ute i elva eller inne ved elvebredden ($p \geq 0,5$).



Figur 22: Sammenheng mellom vektet skjul og ratioen mellom tettheten av årsyngel og parr (0+/eldre) av hhv. laksunger (til venstre) og ørretunger (til høyre) på elfiskestasjoner i Lærdalselva høsten 2018. Merk forskjeller i y-akse. Presenterte resultater er kun signifikante for laks.

I henhold til Forseth og Harby (2013) så kan en ratio i forholdet årsyngel/parr < 1 (sammen med generelt lave tettheter) indikere at smoltproduksjonen i et område er rekrutteringsbegrenset. Mulige årsaker til slik rekrutteringsbegrensning kan være lav gytebestand, begrenset tilgang på gyteområder, lav eggoverlevelse eller lav tilgang på egnet habitat for yngelen etter at de har kommet opp av grusen. En ratio mellom 1-2,5 indikerer at ikke noe spesielt stadium er begrensende for fiskeproduksjonen mens en ratio $> 2,5$ kan tyde på at tilgangen på skjul for eldre laksunger er den primære flaskehalsen for fiskeproduksjonen i et område av elva. Det at vi finner et negativt forhold mellom vektet skjul og ratioen årsyngel/eldre laksunger på elfiskestasjonene (Figur 22) kan tyde på at bedre skjulforhold for eldre laksunger vil kunne ha en positiv effekt på fiskeproduksjonen.

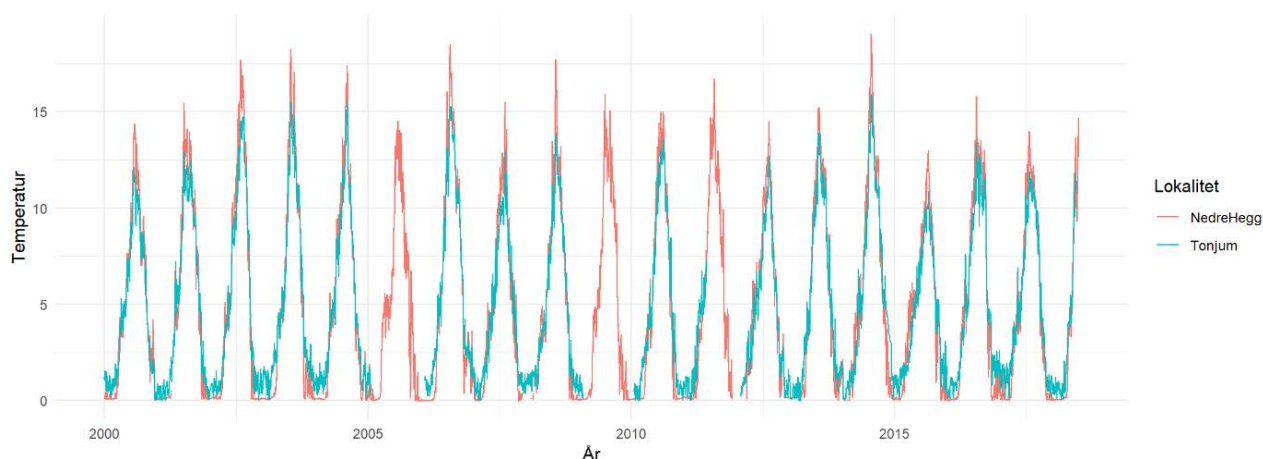
3.4.3 Vekst hos laksunger

Vanntemperaturer styrer i stor grad utviklingshastighetene til både egg og plommesekeyngel hos fisk. Etter at yngelen har begynt å ta til seg næring fra omgivelsene har vanntemperatur også stor innflytelse på veksten. Vekst i elva er viktig blant annet fordi det påvirker kroppsstørrelsen til fisken ved en gitt alder, og er dermed en av de bestemte faktorene for hvor mange år laksungene blir i elva før de går ut i havet som smolt.

Her undersøker vi om vanntemperaturene ved et målepunkt i en strekning hvor vann er fraført og et målepunkt i en strekning hvor vann er tilført kan gi forskjeller i vekst av ungfisk.

3.4.3.1 Temperaturdata

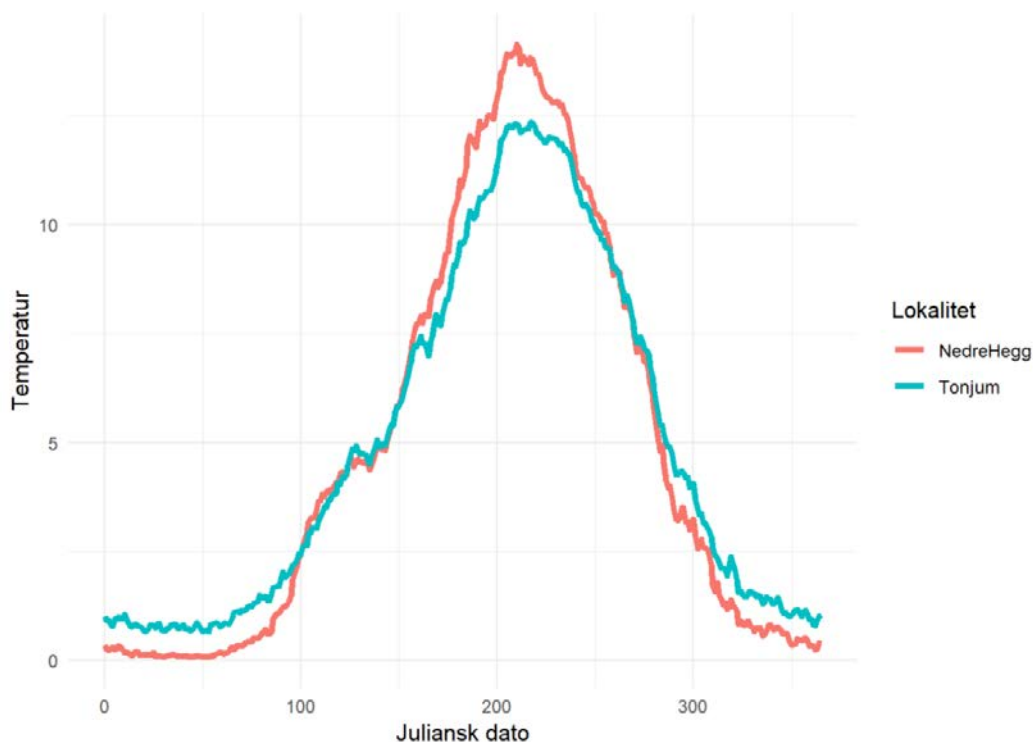
For å modellere utviklingshastighet hos egg, plommeseekkyngel og påfølgende vekst hos ungfisk bruker vi tilgjengelige kvalitetssikrede vanntemperaturdata fra en målestasjon på strekningen mellom Borgund og utløpet av Stuvane kraftverk (Nedre Hegg, rett oppstrøms Sjurhaugfoss) og en målestasjon nedenfor utløpet av Stuvane kraftverk (Tønjum) i perioden 2000-2018. For Nedre Hegg er temperaturdata kun tilgjengelig fram til 14.06.2018, og for Tønjum fram til 01.07.2018. For både Nedre Hegg og Tønjum mangler temperaturdata i noen perioder (Figur 23).



Figur 23: Gjennomsnittlige døgntemperaturer (°C) for NVE-stasjonene Nedre Hegg og Tønjum i perioden 01.01.2000-01.07.2018.

Vi valgte derfor å beregne gjennomsnittlig døgntemperatur per kalenderdato (juliansk dato) for hver av de to temperaturstasjonene basert på alle temperaturdata som var tilgjengelige for hele perioden (Figur 24).

Dermed vil gjennomsnittlig døgntemperatur for noen datoer være basert på flere år med observasjoner enn andre. Dette vil ikke gi store utslag på de beregnede gjennomsnittlige verdiene siden vi har et så pass stort datagrunnlag.



Figur 24: Gjennomsnittlig døgntemperatur (°C) per kalenderdato beregnet for stasjonene Nedre Hegg og Tønjum med tilgjengelige temperaturdata fra perioden 01.01.2000-01.07.2018.

Vanntemperaturene på Nedre Hegg er generelt lavere enn vanntemperaturene på Tønjum om vinteren og høyere om sommeren (Figur 24). Forskjell i vintertemperaturer er som forventet siden vannet fra de høytliggende magasinene som blir sluppet ut nedstrøms Nedre Hegg og oppstrøms Tønjum holder høyere temperaturer enn elvevannet om vinteren. Siden det slippes lite magasin vann i Lærdalselva om sommeren kan forskjeller i sommertemperaturer ha andre årsaker, som tilsig fra sidevassdrag. Dessuten foregår det en oppvarming av elvevann nedover i vassdraget som følge av innstråling og varmeoverføring fra luften. Slik oppvarming skjer ikke på samme måte med vann som strømmer i tunneler, noe som også kan bidra til at vanntemperaturen nedenfor Stuvane kraftverk er lavere enn ovenfor om sommeren.

3.4.3.2 Modellert vekst

Gjennomsnittlige døgntemperaturer ved Tønjum og Nedre Hegg over perioden 01.01.2000-01.07.2018 (Figur 24) ble sammen med utviklingsmodellene til Crisp (1981, 1988) brukt til å beregne et tidsintervall for forventet median dato for klekking og første næringsopptak for egg som ble gytt hhv. 25 oktober og 11 november. Dette er en periode som sannsynligvis dekker gyttetiden for laks i Lærdalselva (oppsummert i Gabrielsen et al., 2003).

Ifølge disse beregningene er median klekkedato av lakseegg tidligere ved Tønjum (27 april – 11 mai) enn ved Nedre Hegg (10. mai – 21. mai). Dette skyldes at Tønjum ligger nedstrøms utløpet av kraftstasjonen ved Stuvane, hvor vanntemperaturene generelt sett er høyere i vintermånedene sammenlignet med elvestrekninger oppstrøms utløpet ved Stuvane, hvor Nedre Hegg ligger. I beregningene av periode for median dato for første næringsinntak hadde dette forholdet stort sett jevnet seg ut på grunn av at vanntemperaturene på våren og utover sommeren generelt sett var lavere nedstrøms Stuvane enn oppstrøms. Yngel på Tønjum ble beregnet til å kun være et par dager tidligere ute med å starte næringsinntak enn yngel på Nedre Hegg (25. juni – 2. juli på Tønjum vs. 29. juni – 4. juli på Nedre Hegg, Tabell 8).

Tabell 8: Periode for median klekking og første næringsopptak for egg gytt 25 oktober - 11 november, samt vekt (g) og lengde (mm) etter første (0+), andre (1+) og tredje (2+) vekstsesong beregnet basert på temperaturdata fra målestasjonene ved Tønjum og Nedre Hegg.

	Tønjum	Nedre Hegg
Klekkedato	29 april – 11 mai	10 mai – 21 mai
Dato for første næringsopptak	25 juni – 2 juli	29 juni – 4 juli
Vekt etter første sommer	0,9 – 1,0	1,1 – 1,2
Lengde etter første sommer	48 – 49	51 – 53
Vekt etter andre sommer	2,8 – 2,9	4,1 – 4,3
Lengde etter andre sommer	69 – 70	79 – 80
Vekt etter tredje sommer	6,4 – 6,6	10,2 – 10,5
Lengde etter tredje sommer	91 – 92	107 – 108

Vekt og lengde for $t = 2$ oktober. Etter 2 oktober er vanntemperaturer $< T_L$.

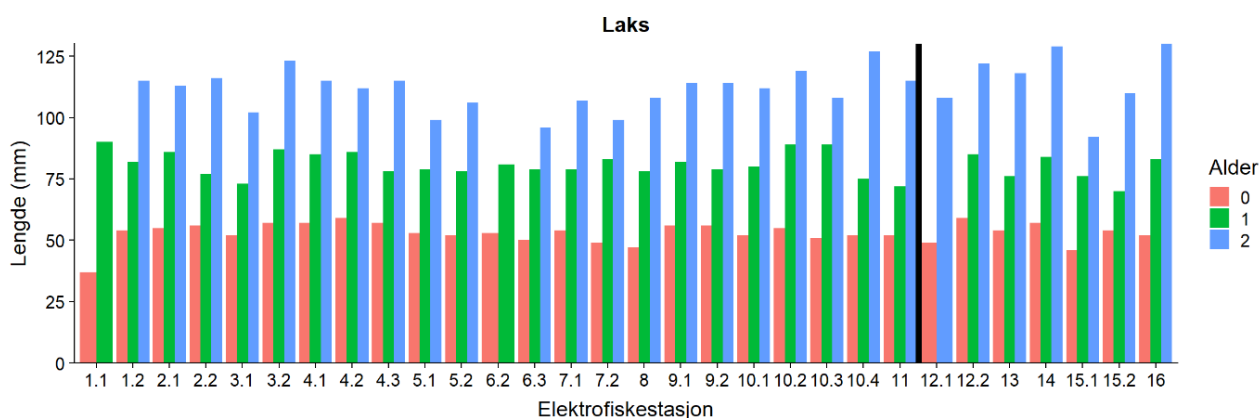
Basert på tidspunktet for første næringsopptak og vekstmodeller fra Forseth et al (2001) ble veksten hos laksungene modellert med gjennomsnittlige døgntemperaturer for Tønjum og Nedre Hegg. De relativt sett lavere vanntemperaturene ved Tønjum i vekstsesongen førte til at ungfisk hadde lavere modellert vekst sammenlignet med Nedre Hegg (Tabell 8). Disse forskjellene økte med økende alder på fisken (Tabell 8).

Gitt at laksunger som regel går ut som smolt i norske elver ved lengder på 10 – 20 cm (Thorstad m.fl. 2012) så tyder modellberegningen på at få laks i Lærdalselva smoltifiserer før de er 3 år. Ifølge modellberegningen kan det forventes å være svært lite 2-årig smolt ved Tønjum, mens det kan være en del 2-årig smolt på Nedre Hegg. Dersom temperaturene ved hhv. Tønjum og Nedre Hegg er representative for elvestrekningene fra Stuvane ned til utløpet av elva, og fra Borgund ned til utløpet fra Stuvane kraftstasjon kan det være forskjeller i både vekst og smoltalder hos laksunger her.

At få smolt i Lærdalselva vokser raskt nok til å oppnå en størrelse som tilsier at de blir smolt før de er 3 år stemmer overens med avlest skjellmateriale fra villaks fanget i sportsfisket i Lærdalselva 2014 – 2016, hvor det var 3 % 2-årig smolt, 67 % 3-årig, 29 % 4-årig og 1 % 5-årig smolt (n = 140), og hvor gjennomsnittlig tilbakeberegnet smoltlengde var 13,6 cm (n = 84).

3.4.3.3 Sammenligning av modellert og observert vekst

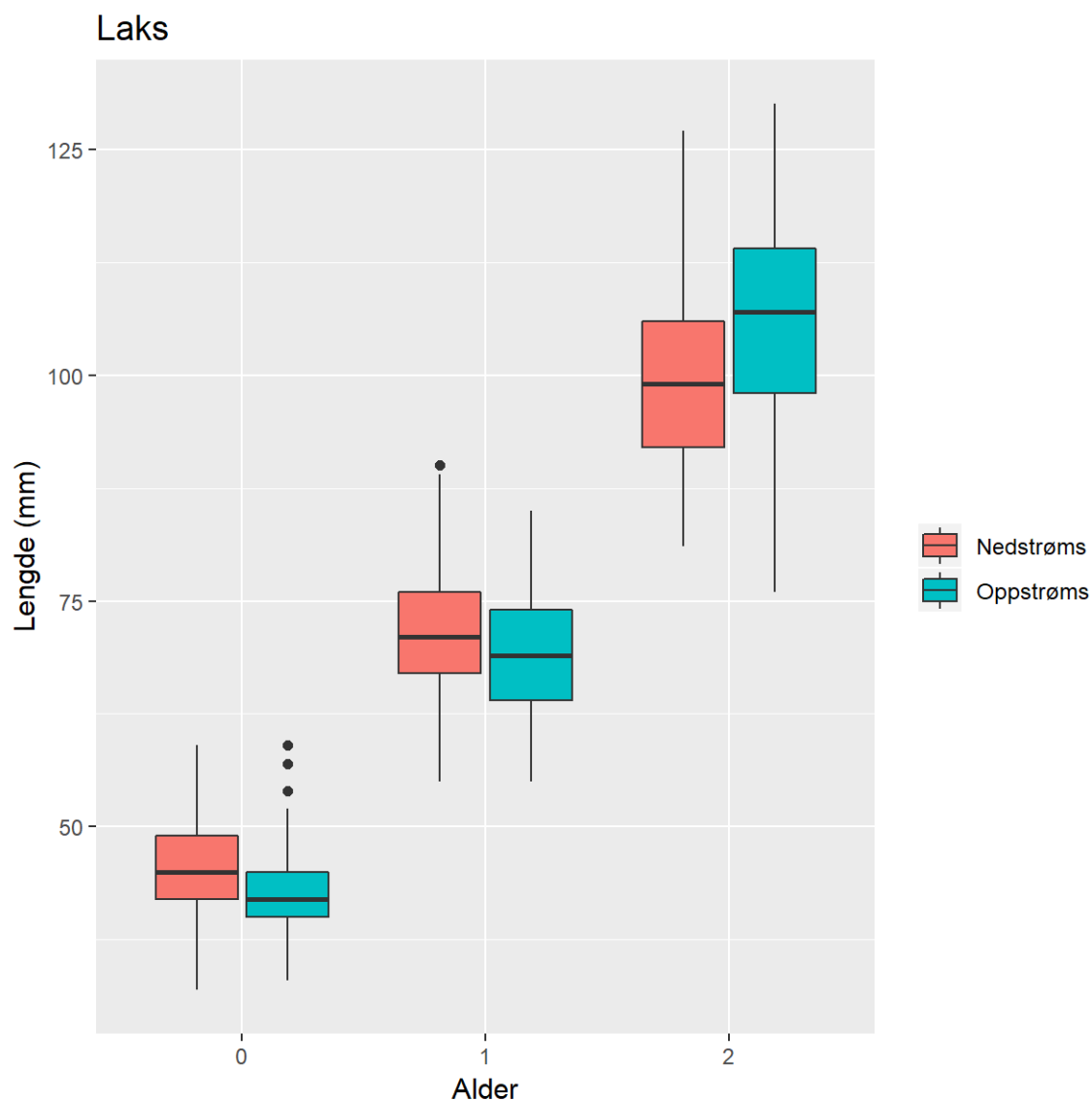
Det modellerte mønsteret med at laksunger ved Nedre Hegg (elvestrekningen Borgund - Stuvane) generelt var litt større ved en gitt alder enn laksunger på Tønjum (nedstrøms Stuvane) støttes til en viss grad av observasjonene fra ungfiskundersøkelsene våre høsten 2018 (Figur 25). Ved bruk av en lineær mikset modell (Bates m.fl. 2015) fant vi at det var signifikante forskjeller i kroppslengde på elfiskestasjoner nedstrøms og oppstrøms Stuvane for årsyngel ($p = 0,01$) og toåringer ($p < 0,01$), mens de ikke var signifikante forskjeller for ettåringer ($p = 0,67$). Den statistiske modellen inkluderte alder (0, 1, 2 år) og plassering (oppstrøms og nedstrøms Stuvane) samt interaksjonen mellom disse forklaringsvariablene som fikserte faktorer. For å ta hensyn til at observasjoner på samme stasjon ikke er uavhengige av hverandre ble stasjonsnummer inkludert som en tilfeldig faktor.



Figur 25: Gjennomsnittlig lengde (mm) av 0+, 1+ og 2+ laksunger fanget på ulike elektrofiskestasjoner i Lærdalselva høsten 2018. Stasjoner til venstre for den svarte linjen ligger nedstrøms Stuvane og stasjoner til høyre for den svarte linjen ligger oppstrøms Stuvane. Merk at antallet laksunger fanget og lengdemålt varierer både mellom aldersklasser og elfiskestasjoner.

For 2-åringer, hvor vi i henhold til vekstmodelleringen forventet de største forskjellene i vekst hos yngel nedstrøms og oppstrøms Stuvane, fant vi altså støtte i data fra laksungene som ble samlet inn ved elektrofiske høsten 2018 (Figur 26). Her var laksungene på elfiskestasjoner oppstrøms Stuvane gjennomsnittlig 10,2 mm større enn dem som var fanget nedstrøms Stuvane. Det framkom ikke en reell størrelsesforskjell mellom 1 åringer som var fanget oppstrøms og nedstrøms Stuvane. For årsyngel var det en forskjell som gikk i motsatt retning av det vi forventet ut fra vekstmodelleringen (årsyngel var

gjennomsnittlig estimert til å være 3,8 mm kortere på stasjoner oppstrøms Stuvane sammenlignet med nedstrøms).



Figur 26: Median lengde (mm) av årsyngel (0), ettårige (1) og toårige (2) laksunger som var fanget på 23 elfiskestasjoner nedstrøms Stuvane (rød) og sju elfiskestasjoner oppstrøms (turkis) Stuvane høsten 2018.

Satt sammen med resultatene fra temperaturmodelleringen så kan resultatene for 2+ tyde på at laksen vokser relativt sett bedre oppstrøms Stuvane enn nedstrøms. På tross av at resultatene var statistisk signifikante er det snakk om små størrelsesforskjeller oppstrøms og nedstrøms Stuvane. Dermed er de rapporterte forskjellene i vekst neppe biologisk signifikante.

Det kan være mange årsaker til at de observerte forskjellene i kroppsstørrelse hos ungfisk nedstrøms og oppstrøms Stuvane var mindre enn, og for 0+ gikk i motsatt retning av det vi forventet ut fra vekstmodelleringen. En mulig årsak er at vi i modelleringen bruker gjennomsnittlige døgntemperaturer per kalenderdato for perioden 01.01.2000-01.07.2018 i stedet for faktiske døgntemperaturer. Dette kan ha vært spesielt viktig for årsyngelen som kun hadde opplevd en vekstsesong da de ble elfisket. Videre så stammer temperaturdataene våre kun fra to målestasjoner som ikke nødvendigvis er representative for hele strekning mellom Borgund og utløpet fra kraftverket ved Stuvane og fra utløpet fra kraftverket ved Stuvane ned til utløpet av elva.

På generell basis vet vi også at mange andre miljøforhold enn vanntemperatur er viktig for vekst hos ungfisk, som for eksempel skjultilgang bestandstetthet, næringstilgang og vannføring (Finstad m. fl 2007; Arnekleiv m.fl. 2006; Einum, Sundt-Hansen og Nislow, 2005). Slike miljøfaktorer har typisk stor romlig og temporær variasjon innad i elver (Arnekleiv m.fl. 2006, Finstad m.fl. 2009). I Lærdalselva har det også vært vist at alderssammensetning kan være avgjørende for vekst hos årsyngel i og med at årsyngel fikk høyere vekst etter at rotenonbehandling førte til bortfall av konkurranse fra eldre kohorter (Andersen, 2002). Videre har vi i modelleringen av utviklingshastighet og vekst antatt at laks gyter på samme tidspunkt oppstrøms og nedstrøms Stuvane, noe som ikke behøver å være tilfelle. I vekstmodelleringen har vi også antatt at all yngel har en størrelse på 0,2 g ved første næringsinntak. Dette vil åpenbart ikke være tilfelle i virkeligheten siden det er mye variasjon i eggstørrelser (og dermed yngelstørrelser) mellom hunner (Fleming, 1996). Dersom det er systematiske forskjeller i størrelsen til hunnfisken som gyter oppstrøms og nedstrøms Stuvane så vil også yngelen ha ulik størrelse ved første næringsinntak (Fleming, 1996). Selv om dette antageligvis vil ha begrensede effekter så vil det kunne påvirke vekst, overlevelse og framtidig størrelse.

3.5 Kartlegging av fysisk habitat for fisk

I dette kapitlet er kartleggingen av Lærdalselva mellom sjøen og Heggfoss delt inn i 4 delstrekninger:

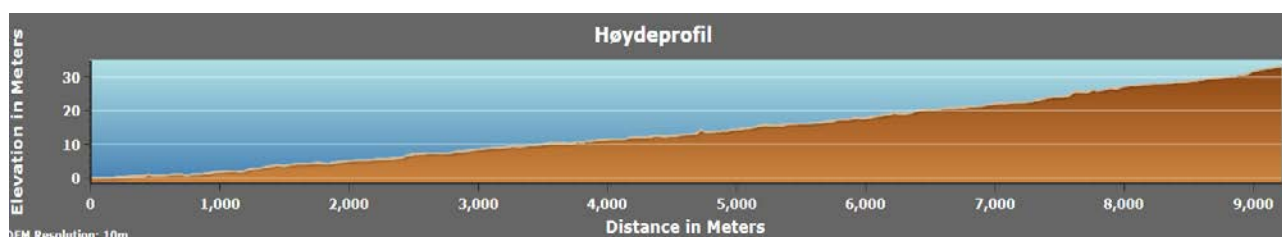
- Fra sjøen til Voll bru (Strekning 1)
- Fra Voll bru til Etreåsen (Strekning 2)
- Fra Etreåsen til Svargjel (Strekning 3)
- Fra Svargjel til Heggfoss (Strekning 4)

Resultatene fra hver av disse strekningene er presentert i kapitlene som følger, og er delt inn i de følgende underkapitlene:

- Elveklasser, substratsammensetning og skjulmuligheter
- Gyteområder
- Elvemorfologi, terskler og sidebekker (kun Strekning 1)
- Eksempel på segment med lav fiskeproduksjon grunnet terskler og lukking av sideløp (kun Strekning 1)

3.5.1 Fra sjøen til Voll bru (Strekning 1)

Strekningen er ca. 9.2 km lang, har et elveareal på 403 222 m² og stiger relativt flatt opp til Voll bru som ligger 33 moh. Dette gjør at strekningen generelt har en slak fallgradient på 0,35 % (Figur 27).



Figur 27: Høydeprofil over Lærdalselva fra utløp sjø og opp til Voll bru fra hoydedata.no.

3.5.1.1 Elveklasser, substratsammensetning og skjulmuligheter

Den lakseførende strekningen fra samløpet mellom Kuvelda (Voll bru) og Lærdalselva og ned til sjøen er i stor grad dominert av forholdsvis dype og grunne glattstrømpartier som har moderat fallgradient (mesohabitat A+B1+B2) og utgjør ca. 57 % av totalarealet. Hurtigrennende stryk utgjør ca. 32 % av totalarealet (mesohabitattypene *H*, *G1* og *G2*) og har høyere fallgradient. Kulp (mesohabitat *C*) utgjør ca. 10 % av totalarealet mens resten (kun 1 %) er grunnområde og kvitstryk (mesohabitattype *D* og *E*). En oversikt over

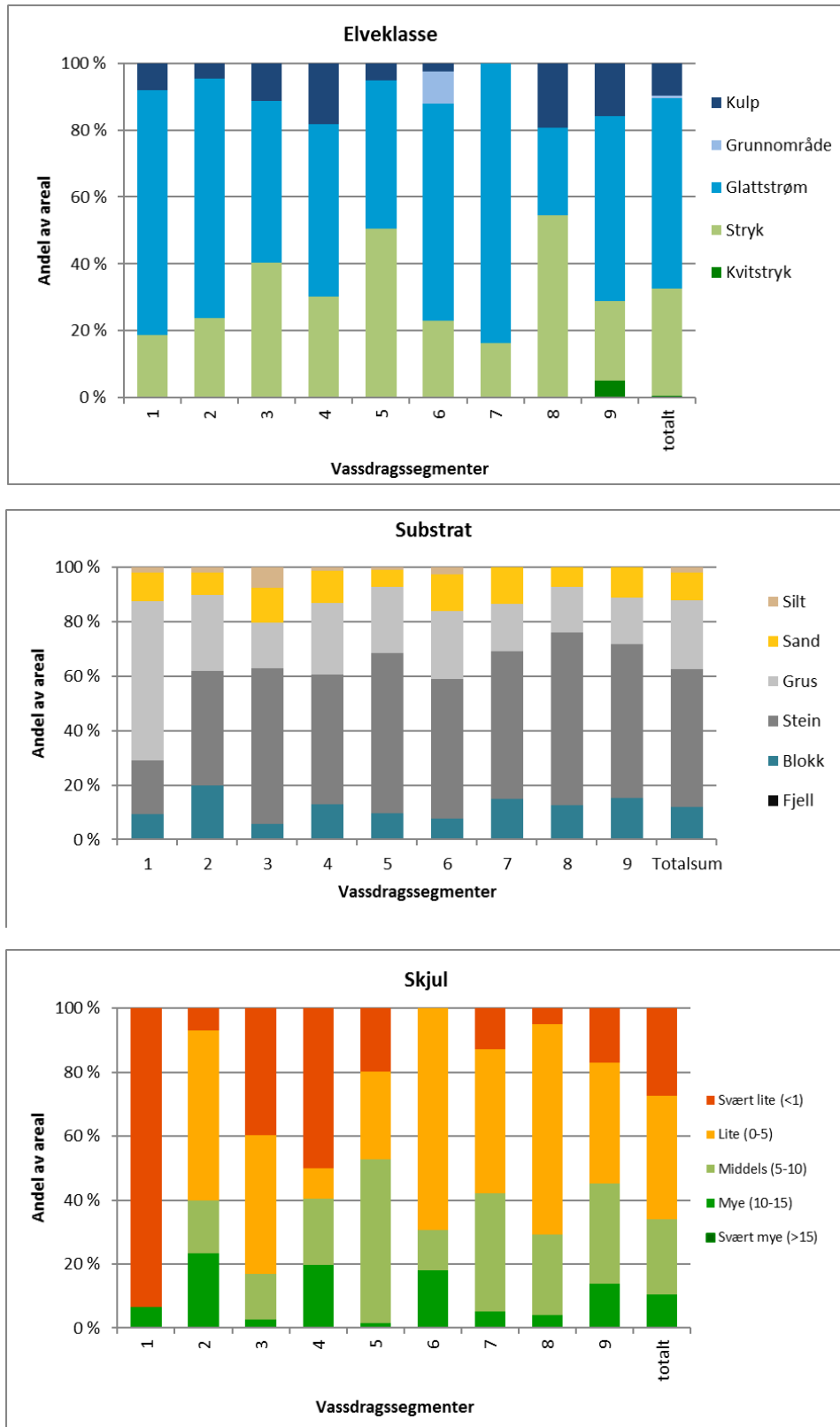
sammensetningen av elveklasser på de ulike segmentene er vist i Figur 29 og mesohabitatklassene er vist i kart i Vedlegg B.

Sammensetningen av bunnsubstratet på de ulike segmentene i vassdraget er vist i Figur 29 og i kart i Vedlegg C. Substratet på elvestrekningen er i stor grad dominert av stein (51 % dekningsgrad av totalt areal) og grus (25 %). Det er et betydelig innslag av sand imellom grusen og steinene i elvebunnen (10 %). Blokk (12 %) finnes generelt langs elvebredden og i forbindelse med tersklene og er til stede i alle elvesegmentene. Innslag av silt ble i hovedsak observert i segment 1-6, med mest silt i segment 3. Substratsammensetningen gjenspeiler i stor grad det registrerte mesohabitatet og gradientforholdene som favoriserer avsetninger av grus og små til kålhodestore steiner, men det er tydelig at det avsettes mye finmasser i terskelbassengene som ikke vaskes ut i samme grad som på naturlige elvestrekninger.

Det ble målt skjul i totalt 199 transekt (totalt 597 skjulmål) på strekningen fra Voll bru og ned til brakkvannssonen. Resultatene fra skjulmålingene er vist i Vedlegg D og oppsummert nederst i Figur 29, og viser at ca. 67 % av elvearealet på kartlagt strekning har lite skjul for ungfisk. Kun 5 % av arealet har mye skjul. Med stein som dominerende substrat kunne en forvente mer skjul, men sand og silt har i stor grad tettet hulrommene. Spesielt gjelder dette i mange av terskelbassengene. I segment 9, hvor det også er utført tiltak med lufting og uttak av bunnmasser, var det mindre avsatt finstoff og noe bedre skjul. Dette har også sammenheng med at det er relativt mye fall og høy vannhastighet på deler av denne strekningen. I segment 5 og i deler av segment 2 og 4 ble det også registrert noe mere skjul. Dette har trolig sammenheng med at strekningen består av flere stryk og mer hurtigrennende vann som gjør at finstoff blir transportert videre.



Figur 28: En viktig del av kartleggingen av det fysiske habitatet er å snorkle og gjøre undervannsobservasjoner.



Figur 29: Fordeling av ulike elveklasser (øverst), substratklasser (midten) og skjulclasser (nederst) basert på andelen de utgjør av elvearealet på de ulike segmentene og totalt på strekningen fra sjø og til Voll bru. Grensene for segmentene er vist i Figur 1. Elveklasser er en forenklet fremstilling av mesohabitatklasser.



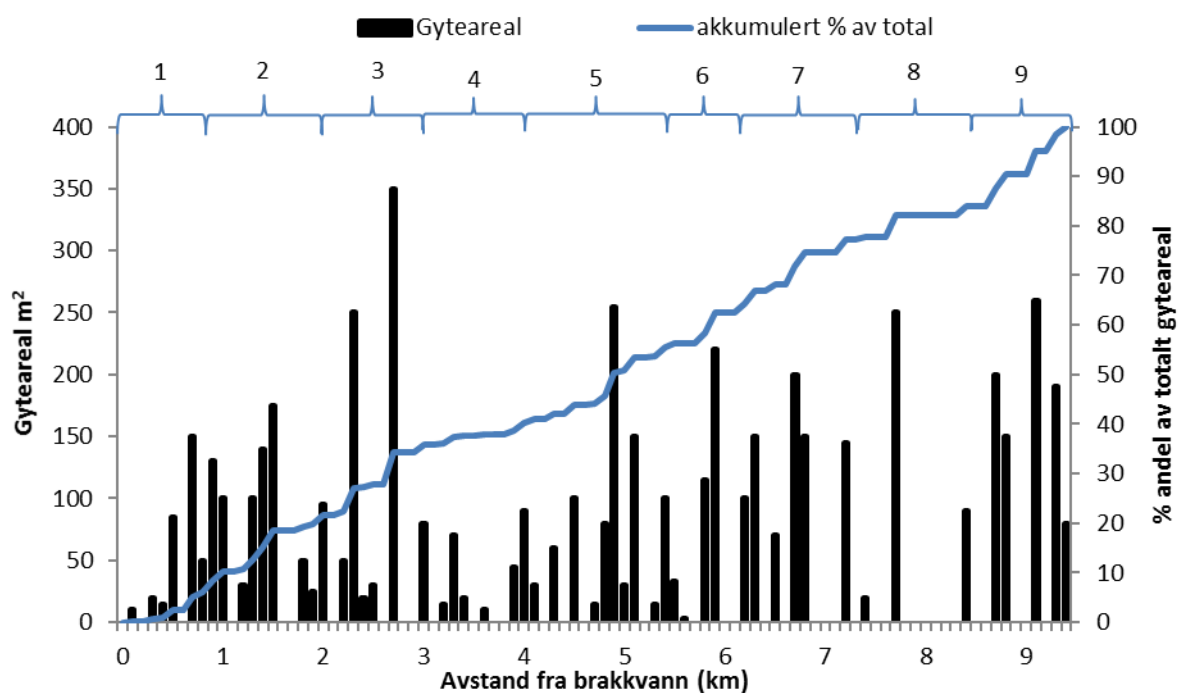
Figur 30: Store deler av Lærdalselva fra Voll bru og ned til sjø består av dyp og grunn glattstrøm i variasjon med moderate strykstrekninger og mange terskler. Stein og grus er dominerende substrattypen i nedre del av Lærdalselva. I strykparti er det en del områder der silt og sand er vasket ut, og det er mer hulrom (som i bilde i midten til venstre) enn i de mer sakteflytende delene av elva hvor det er mye silt og sand (spesielt i terskelbassengene). I bakevjer og på kantene i terskelbassengene finner en mye finmasser som trolig stammer fra massetilførslene fra Kuvelda. Dette gir lite skjul og hulrom for ungfisk.



Figur 31: Dronebilde som viser sedimentering i terskelbasseng.

3.5.1.2 Gyteområder

Det ble observert egnede gyteforhold i nesten alle segmentene på den kartlagte strekningen. Grusinnholdet i bunnsubstratet er høyt (25 %) og det er mange områder som har egnet vannhastighet og vanddyb. Det vil også være god tilførsel av grus til vassdraget siden det er høyt innhold av grus i avsetningene langs elva, og at grus også tilføres fra bratte sideelver. En oversikt over gyteområder som ble kartlagt fra sjø og opp til Voll bru er vist i de ulike kartene i Vedlegg C. I Figur 32 er også arealer og fordeling av gyteområdene illustrert som avstand fra sjøen. Totalt registrerte mengde gyteareal fra sjøen og opp til Voll bru utgjør 1,4 % av totalt elveareal. Det ble funnet egnede gyteforhold i alle segmentene, men det er stor variasjon i hvor mange gyteområder som er tilgjengelige på de ulike segmentene. Ut fra arealene av gyteområdene og det totale elvearealet er gytemulighetene på de ulike segmentene klassifisert i Tabell 9. Sættem (2016) har presentert en oversikt over hvor gytefisker observeres. Det vil være nærliggende å tro at fisken gyter på disse områdene som også er relativt jevnt fordelt på nedre elvestrekning. En generell vurdering av hele strekningen er at det er et godt tilbud av gytemuligheter, og at dette ikke er en begrensning for fiskeproduksjonen.



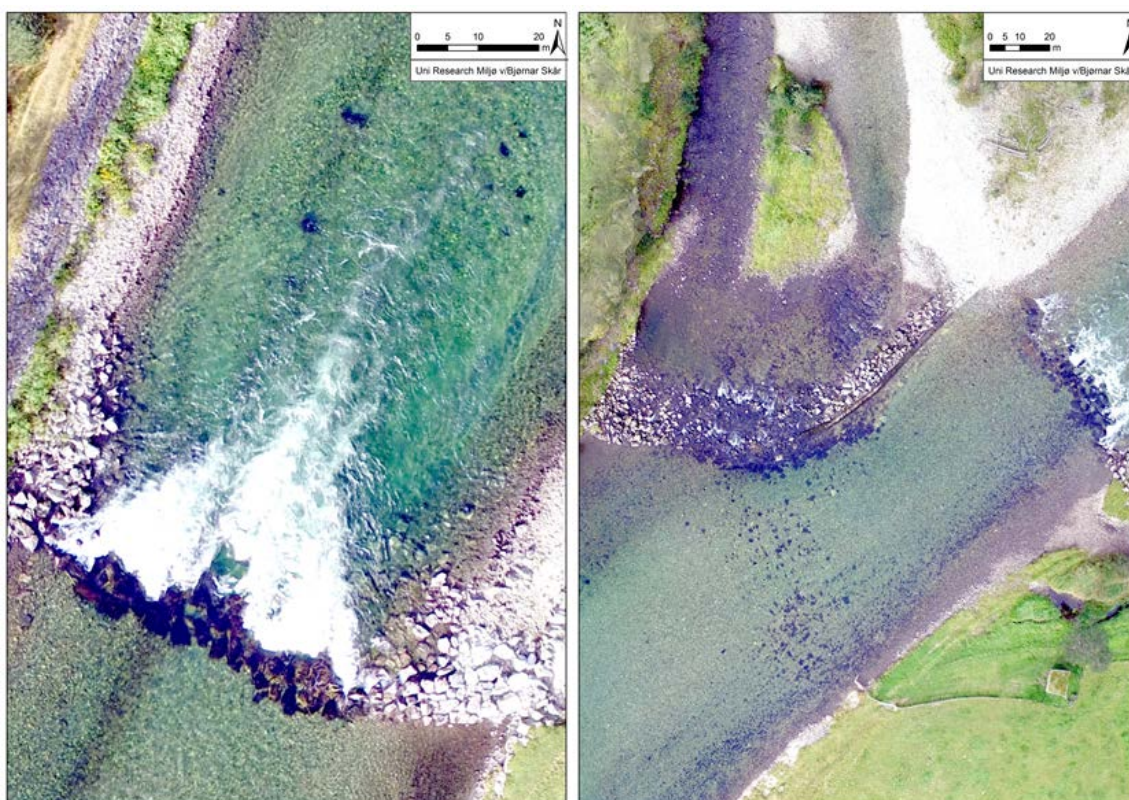
Figur 32: Størrelse og fordeling av gyteområder fra sjø og opp til Voll bru som areal og akkumulert andel av totalt gyteareal. Segmentene er indikert øverst på figuren (sekundær x-akse).

Tabell 9: Oppsummering av arealer og vurdering av gyteforhold i de ulike segmentene i fra sjø og opp til Voll bru i Lærdalselva.

Segment	Totalt elveareal (m ²)	Gyteareal (m ²)	Andel gyteareal (%)	Klassifisering av gytemuligheter
1	40 451	330	0,82	Moderat
2	48 962	755	1,54	Mye
3	52 490	870	1,66	Mye
4	47 210	280	0,59	Mye
5	49 798	705	1,42	Mye
6	35 424	571	1,61	Mye
7	39 926	715	1,79	Mye
8	45 630	360	0,79	Lite
9	43 331	880	2,03	Mye
Totalt	403 222	5 466	1,4	Mye

3.5.1.3 Elvemorfologi, terskler og sidebekker

Den kartlagte strekningen er tydelig påvirket av omfattende terskelbygging, flomsikring og bygging av ledebuner. Flomsikring og etablering av fiskeplasser har bidratt til å redusere produksjonen av ungfisk gjennom å stenge av/lede bort vann fra sideløp og sidebekker og å skape sedimentfeller og dermed dårlig skjul i spesielt terskelbassengene. Dette har trolig forverret seg ytterligere gjennom massetilførslene etter 2014. Det er også mange sideløp og bekker som er snevret av fra hovedelven eller har fått betydelig redusert vannføring.



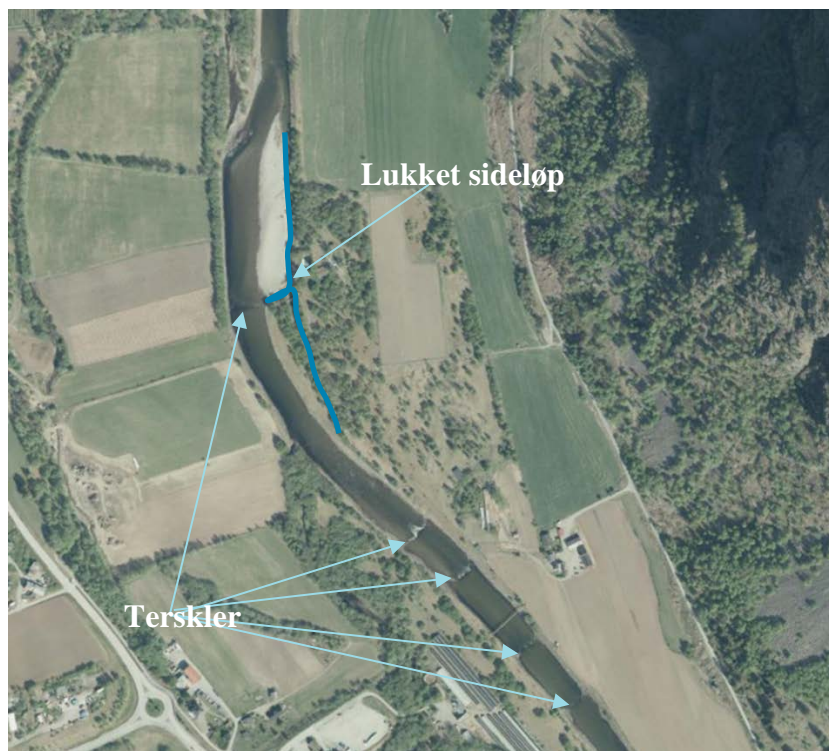
Figur 33: Dronebilder av en høy terskel som vanskeligjør fiskevandring (venstre bilde), og med erosjonsskader på begge sider som følge av graving under flom. Bilde til høyre viser ledebune og delvis lukking av et sideløp som går tørt ved lav vannføring.



Figur 34: Gjenåpnet sidebekk ved Voll (segment 9) og sideløp oppstrøms øvre del av Lærdal sentrum (segment 2) som fremdeles er lukket grunnet en gammel støpt mur. Sideløpet har ingen årssikker vannføring og gir dårlige vandringsmuligheter for fisk.

3.5.1.4 Eksempel på segment med lav fiskeproduksjon grunnet terskler og lukking av sideløp

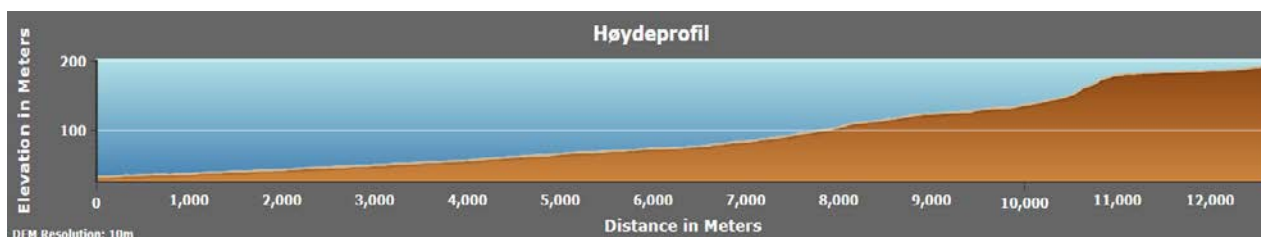
Et godt eksempel på hvordan dagens situasjon med terskler og lukking av sideløp har redusert fiskeproduksjonen i Lærdalselva er segment 7 (Molde og Båthølen, Figur 35). Elvebunnen i dette segmentet har mye finstoff mellom steinene som tetter hulrommene nede i elvebunnen. Dette gir dårlige skjulforhold for ungfisk (hulromkapasitet). I tillegg har segmentet lav hydromorfologisk variasjon og fiskeproduksjonen er trolig lav. I elvekantene finnes det en randsone med bedre skjul for ungfisk, men dette er begrenset til en smal sone og utgjør et begrenset areal.



Figur 35: Segment 7 med fem terskler og et lukket sideløp fremstår som et homogent segment med lav hydromorfologisk variasjon, dårlige skjulmuligheter, noe reduserte gytemuligheter og med forventet lav fiskeproduksjon.

3.5.2 Fra Voll bru til Etreåsen (Strekning 2)

Strekningen er ca. 12.6 km lang, har et elveareal på 483 950 m² og blir brattere opp mot Etreåsen som ligger 194 moh. Spesielt strekningen fra Bjørkum og opp til Seltun er bratt. Dette gjør at strekningen generelt har en relativt høy fallgradient på 1,27 % (Figur 36).



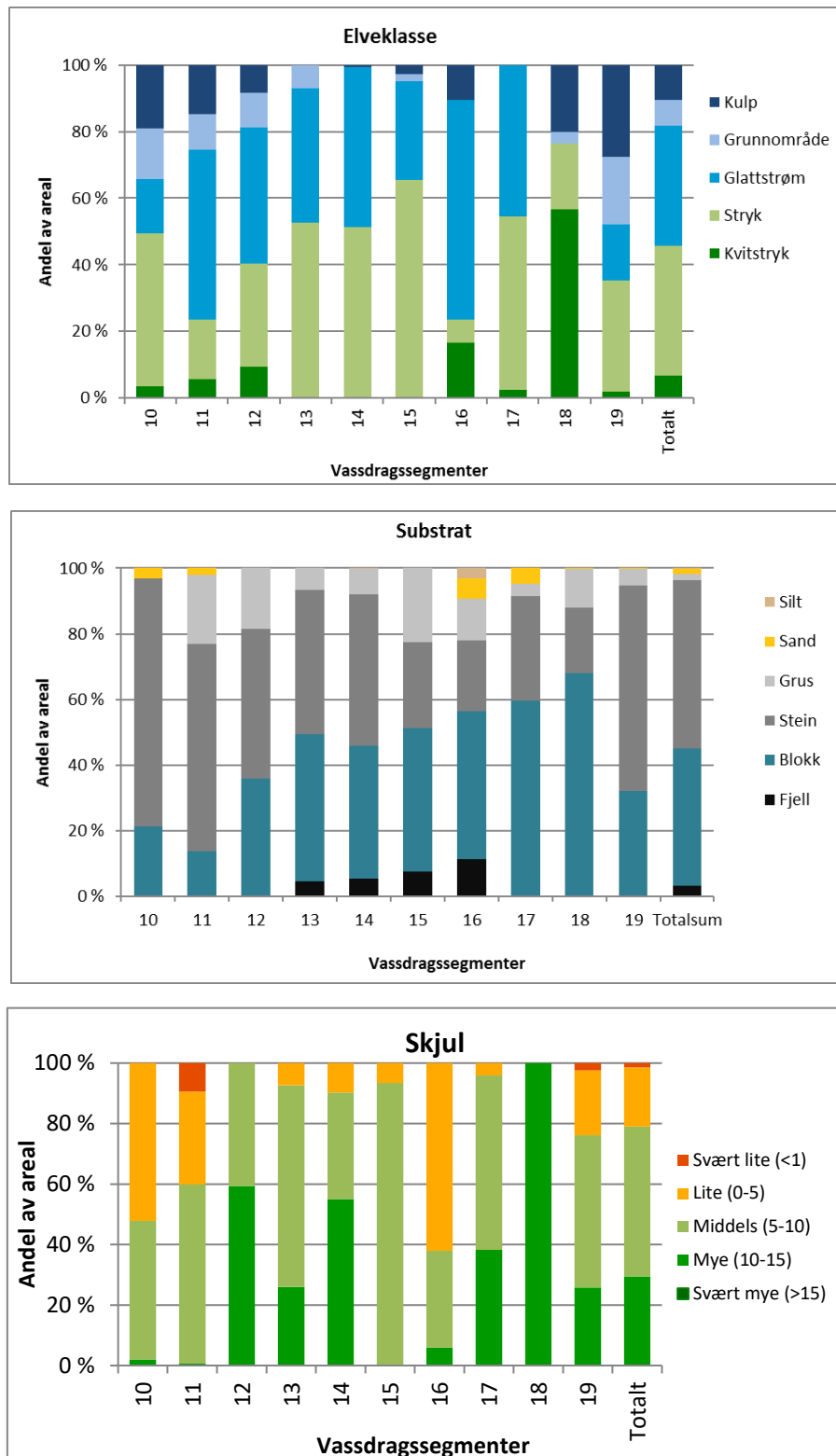
Figur 36: Høydeprofil over Lærdalselva fra utløp Voll bru og opp til Etreåsen fra hoydedata.no.

3.5.2.1 Elveklasser, substratsammensetning og skjulmuligheter

Den lakseførende strekningen fra Voll bru og opp til Etreåsen er i stor grad dominert av hurtigrennende stryk (ca. 39 % av totalarealet) (mesohabitattypene *H*, *G1* og *G2*) med relativt høy fallgradient og av forholdvis dype og grunne glattstrømpartier (ca. 36 % av totalarealet) som har en lavere fallgradient (mesohabitat *A+B1+B2*). Kulp (mesohabitat *C*) utgjør ca. 10 % av totalarealet mens resten er grunnområde (8 %) eller kvitstryk (7 %) (mesohabitattype *D* og *E*). En oversikt over sammensetningen av elveklasser i de ulike segmentene er vist i Figur 37 og i kart i Vedlegg B.

Sammensetningen av bunnssubstratet i de ulike segmentene i vassdraget er vist i Figur 37 og i kart i Vedlegg C. Substratet på elvestrekningen er i stor grad dominert av stein (46 % dekningsgrad av totalt areal) og blokk (37 %). Grus utgjør 13 % av elvebunnen mens 3 % var fjell og 1 % var sand. Substratsammensetningen gjenspeiler i stor grad de registrerte elveklassene og gradientforholdene som favoriserer avsetninger av stein og blokk, men det er tydelig at det avsettes en del grus i de mer slake områdene.

Det ble målt skjul i totalt 235 transekt (totalt 705 skjulmål), og resultatene fra skjulmålingene er vist i Vedlegg D og oppsummert nederst i Figur 37. Analysen tilsier at ca. 49 % av elvearealet på kartlagt strekning har middels skjul for ungfisk, 29 % har mye og 22 % av arealet har lite skjul. Det er mye stein og blokk og lite sand og silt i elvebunnen som er årsaken til skjultilbudet. Dette har sammenheng med at det er relativt mye fall og høy vannhastighet på deler av denne strekningen. Hurtigrennende vann transporterer finstoffet videre ned i vassdraget.



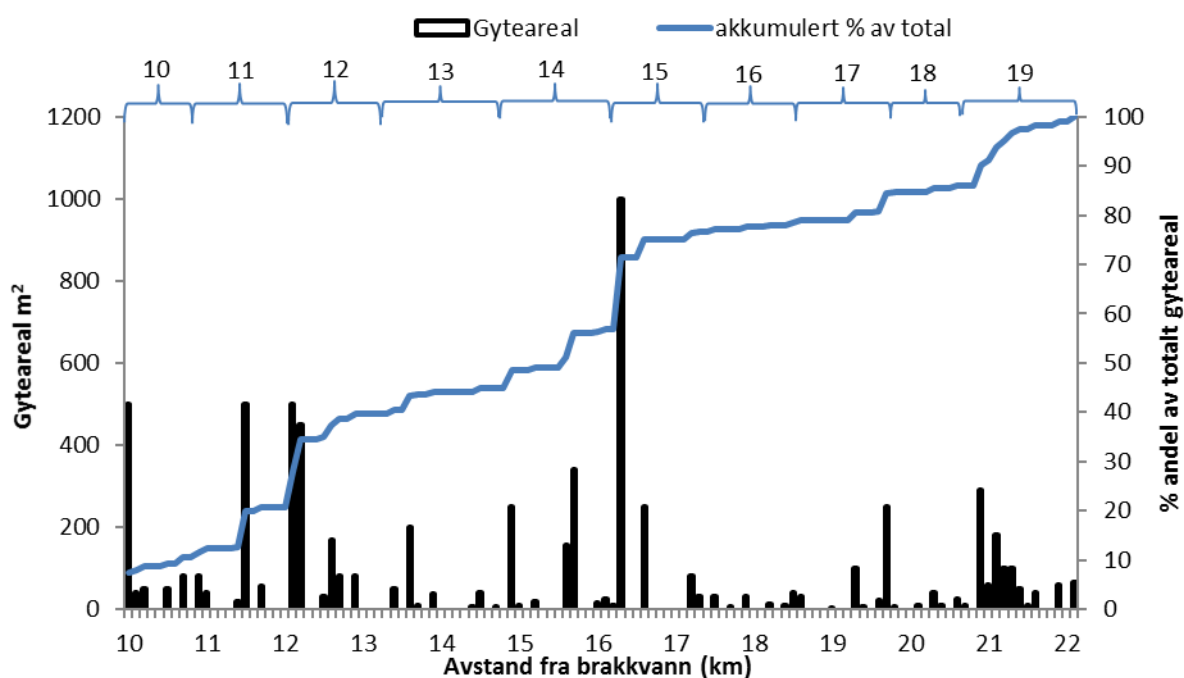
Figur 37: Fordeling av ulike elveklasser (øverst), substratklasser (midten) og skjulclasser (nederst) basert på andelen de utgjør av elvearealet i de ulike segmentene og totalt på strekningen fra Voll bru til Etreåsen. Grensene for segmentene er vist i Figur 4. Elveklasser er en forenklet fremstilling av mesohabitatklasser.



Figur 38: Store deler av Lærdalselva fra Voll bru og opp til Etreåsen består av hurtigrennende stryk i variasjon med dyp og grunn glattstrøm og moderate strykestrekninger. Stein og blokk er dominerende substrattypen i denne delen av Lærdalselva og har mye hulrom. Det er i de nedre tersklene som har en slakere fallgradient at en finner innslag av grus og noe silt (nederst til venstre), mens tersklene i strekninger med høyere fallgradient har blokk og stein og nesten ikke grus i elvebunnen (nederst til høyre).

3.5.2.2 Gyteområder

Det ble observert egnede gyteforhold i alle segmentene på den kartlagte strekningen, men gytearealene er noe små. En oversikt over gyteområder som ble kartlagt fra Voll bru og opp til Etreåsen er vist i de ulike kartene i Vedlegg C. I Figur 39 er også arealer og fordeling av gyteområdene illustrert som avstand fra sjøen. Ut fra arealene av gyteområdene og det totale elvearealet er gytemulighetene i de ulike segmentene klassifisert i Tabell 10. Totalt registrert mengde gyteareal fra Voll bru til Etreåsen utgjør 1,42 % av totalt elveareal. Totalvurderingen tilsier et moderat tilbud til gyting for strekningen fra Voll bru og opp til Etreåsen.



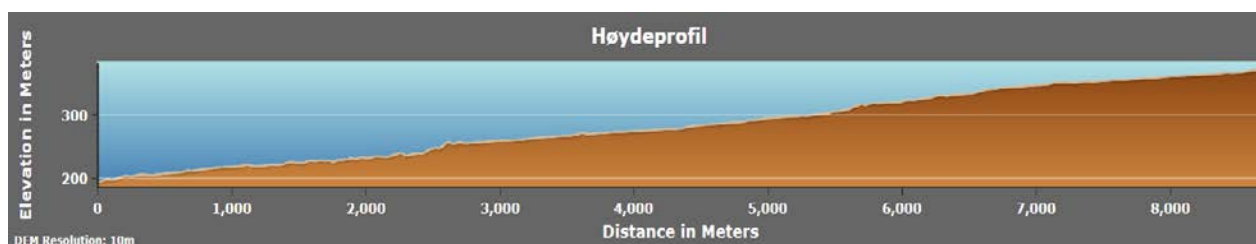
Figur 39: Størrelse og fordeling av gyteområder fra Voll bru og opp til Etreåsen som areal og akkumulert andel av totalt gyteareal. Segmentene er indikert øverst i figuren (sekundær x-akse).

Tabell 10: Oppsummering av arealer og vurdering av gyteforhold i de ulike segmentene fra Voll bru og opp til Etreåsen. Fra Etreåsen til Svartegjel (Strekning 3).

Segment	Totalt elveareal (m ²)	Gyteareal (m ²)	Andel gyteareal (%)	Klassifisering av gytemuligheter
10	54 893	840	1,53	Mye
11	57 468	1 525	2,65	Mye
12	49 923	610	1,22	Mye/Moderat
13	62 394	346	0,55	Moderat
14	65 410	1 575	2,41	Mye
15	37 736	390	1,03	Moderat
16	31 657	126	0,40	Lite
17	35 402	386	1,09	Moderat
18	28 062	95	0,34	Lite
19	61 005	955	1,57	Mye
Totalt	483 950	6 848	1,42	Moderat

3.5.3 Fra Etreåsen til Svartegjel (Strekning 3)

Strekningen er ca. 8.7 km lang, har et elveareal på 212 708 m² og er generelt bratt hele veien opp mot Svartegjel som ligger 374 moh. Fallgradienten er 2,07 % (Figur 40).



Figur 40: Høydeprofil over Lærdalselva fra Etreåsen og opp til Svartegjel fra hoydedata.no.

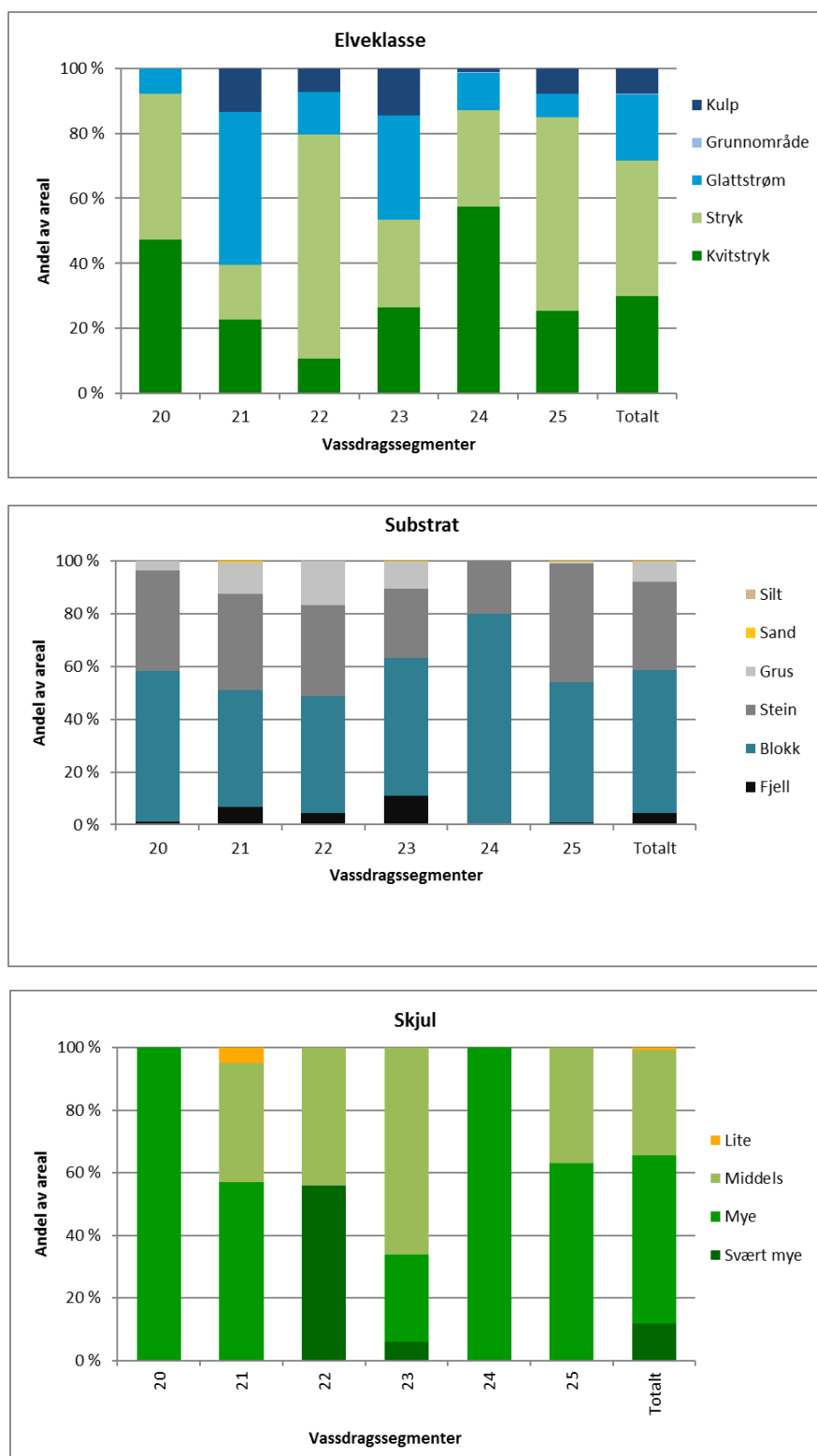
3.5.3.1 Elveklasser, substratsammensetning og skjulmuligheter

Den lakseførende strekningen fra Etreåsen til Svartegjel er i stor grad dominert av hurtigrennende stryk og kvitstryk (ca. 71 % av totalarealet) (mesohabitattypene *H*, *G1*, *G2*, *E* og *F*) med relativt høy fallgradient og av forholdvis dype og grunne glattstrømpartier (ca. 20 % av totalarealet) som har en lavere fallgradient (mesohabitat *A+B1+B2*). Kulp (mesohabitat *C*) utgjør ca. 8 % av totalarealet, mens kun 1 % er

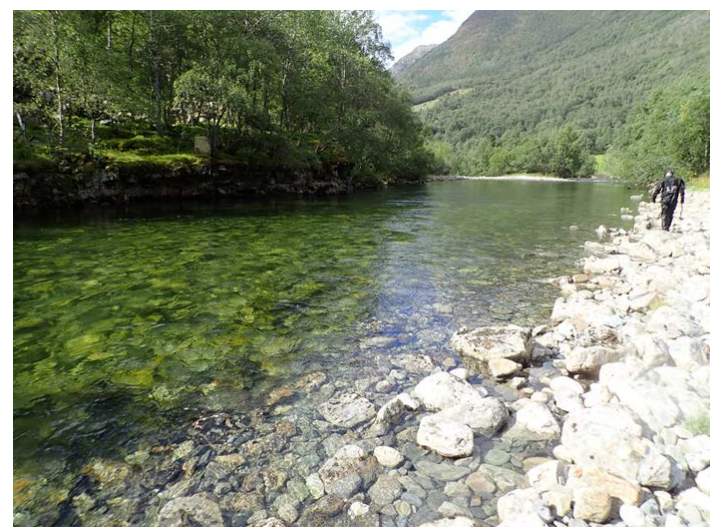
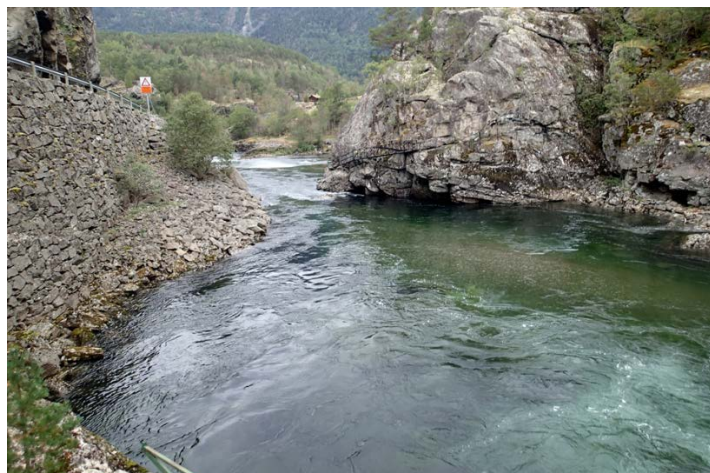
grunnområde. En oversikt over sammensetningen av elveklasser i de ulike segmentene er vist i Figur 41 og mesohabitatklassene er vist i kart i Vedlegg B.

Sammensetningen av bunnssubstratet i de ulike segmentene i vassdraget er vist i Figur 41 og i kart i Vedlegg C. Substratet på elvestrekningen er i stor grad dominert av blokk (54 % dekningsgrad av totalt areal) og stein (34 %). Grus utgjør 8 % av elvebunnen mens 4 % var fjell. Det ble nesten ikke observert sand på strekningen. Substratsammensetningen gjenspeiler i stor grad de registrerte elveklassene og gradientforholdene som favoriserer avsetninger av stein og blokk, men det er tydelig at det avsettes en del grus i de mer slake områdene.

Det ble målt skjul i totalt 157 transekt (totalt 471 skjulmål) på undersøkt strekning, og resultatene fra skjulmålingene er vist i Vedlegg D og oppsummert nederst i Figur 41. Omtrent 53 % av elvearealet på kartlagt strekning har mye skjul for ungfisk, 33 % har middels og 12 % av arealet har svært mye skjul, mens bare 2 % av arealet hadde lite skjul. Det er mye stein og blokk, og lite sand og silt i elvebunnen som sikrer et godt skjultilbud. Dette har sammenheng med at det er relativt mye fall og høy vannhastighet på deler av denne strekningen. Hurtigrennende vann transporterer finstoffet videre ned i vassdraget.



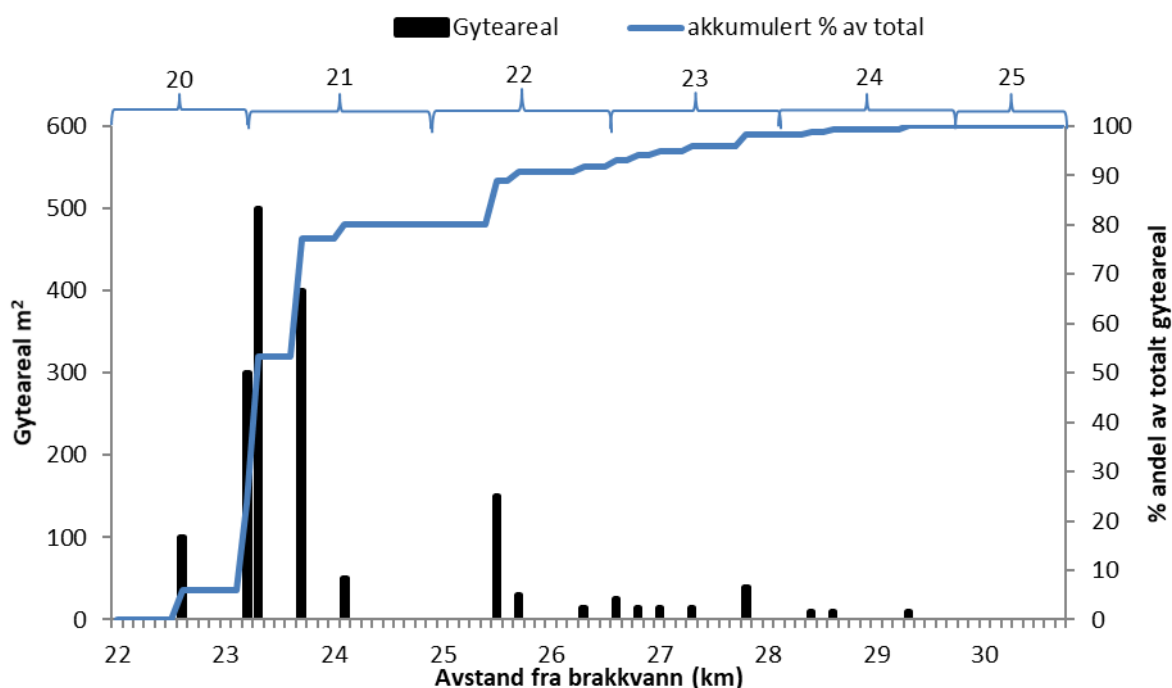
Figur 41: Fordeling av ulike elveklasser (øverst), substratklasser (midten) og skjulclasser (nederst) basert på andelen de utgjør av elvearealet i de ulike segmentene og totalt på strekningen fra Etreåsen og til Svartegjel. Grensene for segmentene er vist i Figur 4. Elveklasser er en forenklet fremstilling av mesohabitatklasser.



Figur 42: Store deler av Lærdalselva fra Etreåsen og opp til Svartegjel består av hurtigrennende stryk og kvitstryk. Blokk og stein er dominerende substrattyper.

3.5.3.2 Gyteområder

Det ble ikke observert egnede gyteforhold i alle segmentene på den kartlagte strekningen og flere av segmentene på strekningen har lite gyteareal. En oversikt over gyteområder som ble kartlagt fra Etreåsen til Svartegjel er vist i de ulike kartene i Vedlegg C. I Figur 43 er også arealer og fordeling av gyteområdene illustrert som avstand fra sjøen. Ut fra arealene av gyteområdene og det totale elvearealet er gytemulighetene i de ulike segmentene klassifisert i Tabell 11. Totalt registrert mengde gyteareal fra Etreåsen til Svartegjel utgjør 0,79 % av totalt elveareal. Totalvurderingen tilsier et begrenset tilbud for gyting på strekningen fra Etreåsen og opp til Svartegjel.



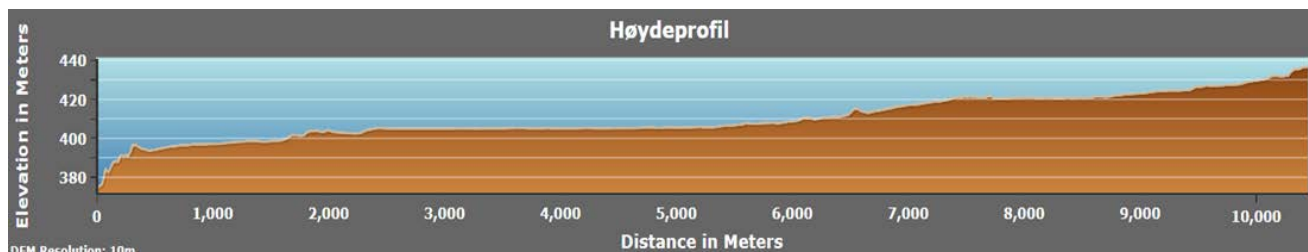
Figur 43: Størrelse og fordeling av gyteområder fra Etreåsen og opp til Svartegjel som areal og akkumulert andel av totalt gyteareal. Segmentene er indikert øverst i figuren (sekunder x-akse).

Tabell 11: Oppsummering av arealer og vurdering av gyteforhold i de ulike segmentene fra Etreåsen og opp til Svartgjel. Fra Svartgjel til Heggfoss (Strekning 4).

Segment	Totalt elveareal (m ²)	Gyteareal (m ²)	Andel gyteareal (%)	Klassifisering av gytemuligheter
20	29 701	100	0,34	Lite
21	33 889	1 250	3,69	Moderat
22	40 194	180	0,45	Lite
23	43 270	110	0,25	Moderat
24	28 944	20	0,07	Lite
25	36 710	10	0,03	Lite
Totalt	212 708	1 670	0,79	Lite

3.5.4 Fra Svartgjel til Heggfoss (Strekning 4)

Strekningen er ca. 10.4 km lang, har et elveareal på 509 521 m² og er relativt slak med unntak av noen fosser i nedre og øvre deler. Vandringshinder er Heggfoss som ligger 437 moh. Strekningen oppstrøms Borgund stavkirke («Borgundfjorden») er nesten helt flat. Fallgradienten for hele strekningen er 0,6 % (Figur 44).



Figur 44: Høydeprofil over Lærdalselva fra Svartgjel og opp til Heggfoss basert på hoydedata.no.

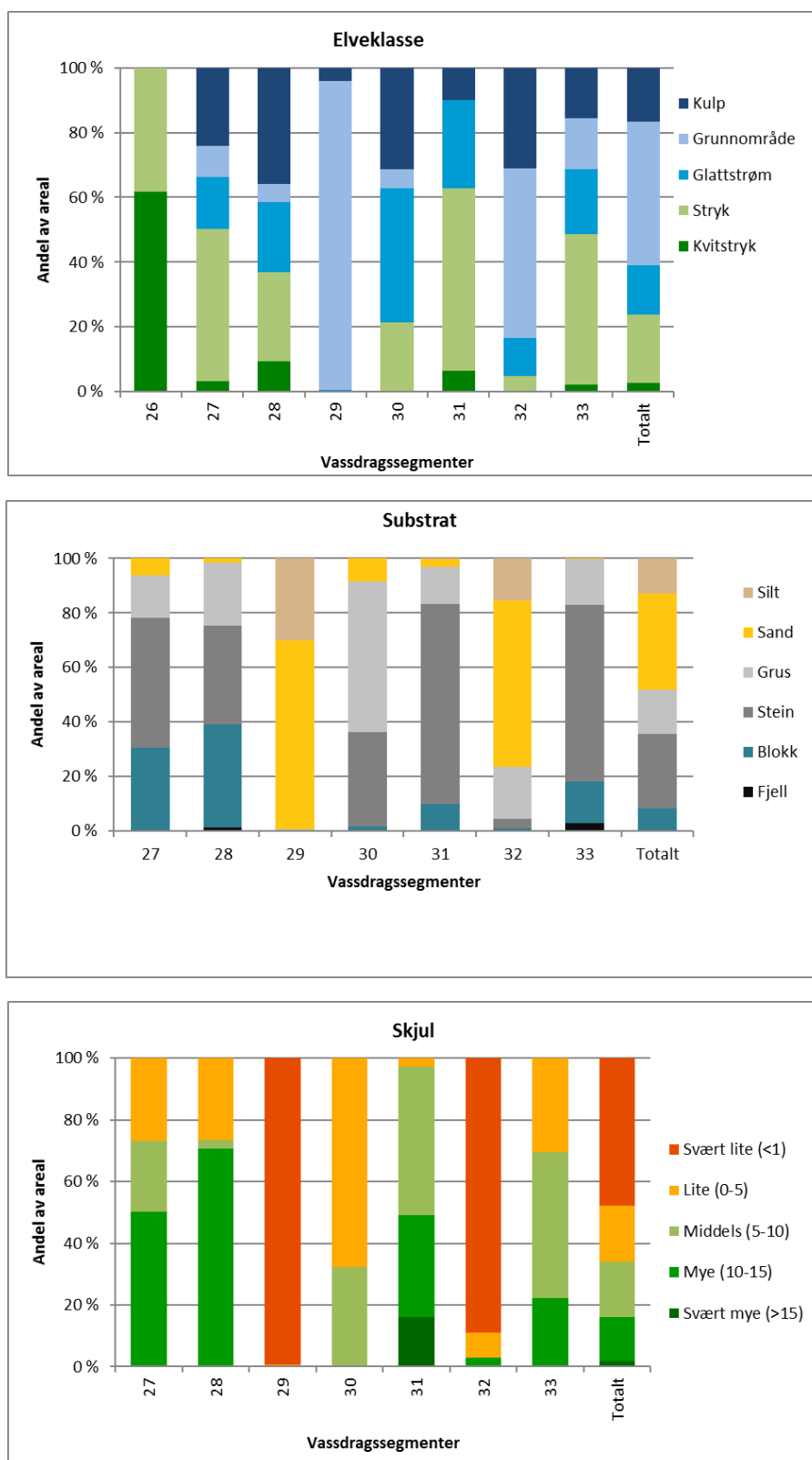
3.5.4.1 Elveklasser, substratsammensetning og skjulmuligheter

Den lakseførende strekningen fra Svartgjel og opp til Heggfoss er dominert av grunnområder med moderat fallgradient (mesohabitat D) og utgjør ca. 44 % av totalarealet. Borgundfjorden er et stort grunnområde. Hurtigrennende stryk utgjør ca. 21 % av totalarealet (mesohabitattypene H, G1 og G2) og har høyere fallgradient. Kulp (mesohabitat C) utgjør ca. 16 % av totalarealet mens 15 % er glattstrøm (mesohabitattypene A, B1 og B2) og kvitstryk 4 % (mesohabitattype D og E). En oversikt over

sammensetningen av elveklasser i de ulike segmentene er vist i Figur 45 og mesohabitatklassene er vist i kart i Vedlegg B.

Sammensetningen av bunnssubstratet i de ulike segmentene i vassdraget er vist i Figur 45 og i kart i Vedlegg C. Substratet på elvestrekningen er i stor grad dominert av sand og silt (48 % dekningsgrad av totalt areal) og stein (27 %). Årsaken til dette er det store arealet i Borgundfjorden med lav vannhastighet og sedimentasjon av finstoff. Grus utgjør 16 % av totalarealet og blokk 9 %.

Det ble målt skjul i totalt 154 transekt (totalt 462 skjulmål) og resultatene fra skjulmålingene er vist i Vedlegg D og oppsummert nederst i Figur 45. Resultatene viser at ca. 66 % av elvearealet på kartlagt strekning har lite til svært lite skjul for ungfisk. 18 % av arealet har middels skjul og 14 % har mye skjul.



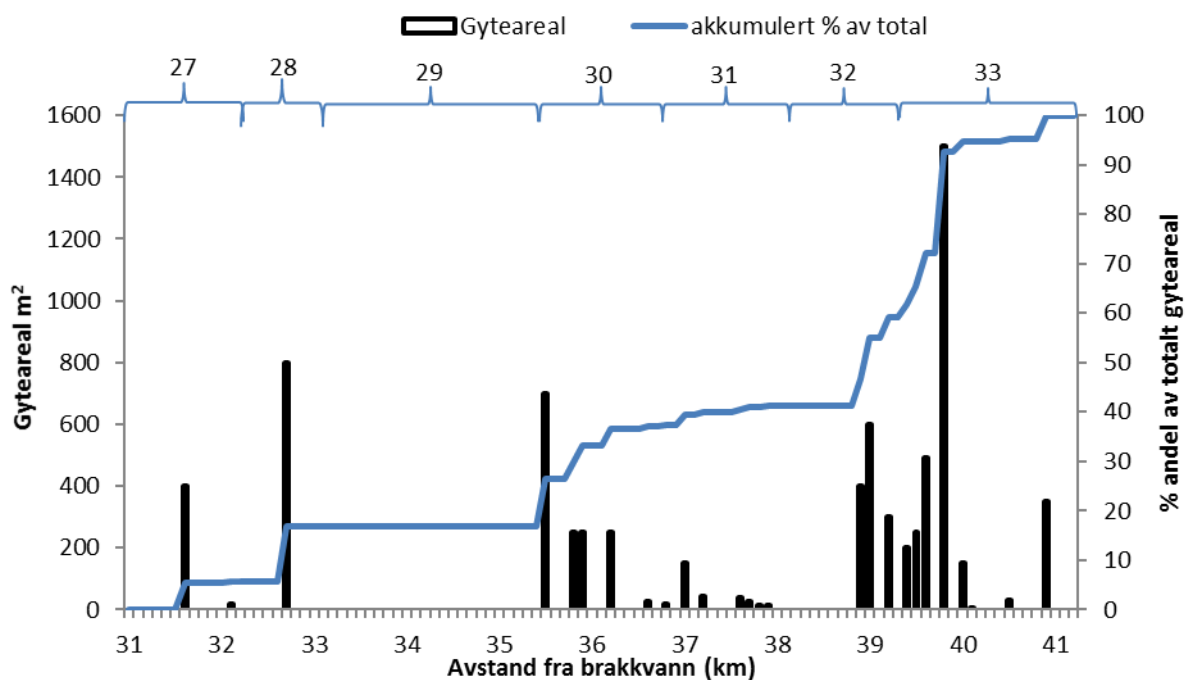
Figur 45: Fordeling av ulike elveklasser (øverst), substratklasser (midten) og skjulklasser (nederst) basert på andelen de utgjør av elvearealet i de ulike segmentene og totalt på strekningen fra Svartegjel og opp til Heggfoss. Grensene for segmentene er vist i Figur 4. Elveklasser er en forenklet fremstilling av mesohabitatklasser.



Figur 46: Strekingen fra Svartgjel til Heggfoss blir dominert av Borgundfjorden som er et grunnområde. Oppstrøms og nedstrøms denne fjorden, finnes det stor variasjon med stryk, kulper og glattstrøm. Sand (Borgundfjorden), grus og stein dominerer elvebunnen.

3.5.4.2 Gyteområder

Det ble ikke observert egnede gyteforhold i alle segmentene på den kartlagte strekningen og flere av segmentene på strekningen har lite gyteareal. En oversikt over gyteområder som ble kartlagt fra Svartegjel til Heggfoss er vist i de ulike kartene i Vedlegg C. I Figur 47 er også arealer og fordeling av gyteområdene illustrert som avstand fra sjøen. Ut fra arealene av gyteområdene og det totale elvearealet er gytemulighetene i de ulike segmentene klassifisert i Tabell 12. Totalt registrert mengde gyteareal fra Svartegjel og opp til Heggfoss utgjør 1,42 % av totalt elveareal. Totalvurderingen tilsier et moderat tilbud til gyting for strekningen fra Svartegjel og opp til Heggfoss. De gode gytemulighetene i de to øverste segmentene er viktige og betyr mye for produksjonen totalt på strekningen.



Figur 47: Størrelse og fordeling av gyteområder fra Svartegjel og opp til Heggfoss som areal og akkumulert andel av totalt gyteareal. Segmentene er indikert øverst på figuren (sekundær x-akse).

Tabell 12: Oppsummering av arealer og vurdering av gyteforhold i de ulike segmentene i fra Svartegjel og opp til Heggfoss.

Segment	Totalt elveareal (m ²)	Gyteareal (m ²)	Andel gyteareal (%)	Klassifisering av gytemuligheter
27	43 943	420	0,96	Lite
28	32 215	800	2,48	Lite
29	179 721	0	0,00	Lite
30	64 912	1 475	2,27	Mye
31	50 432	310	0,61	Lite
32	69 176	1 300	1,88	Mye
33	61 679	2 825	4,58	Mye/moderat
Totalt	502 078	7 130	1,42	Moderat

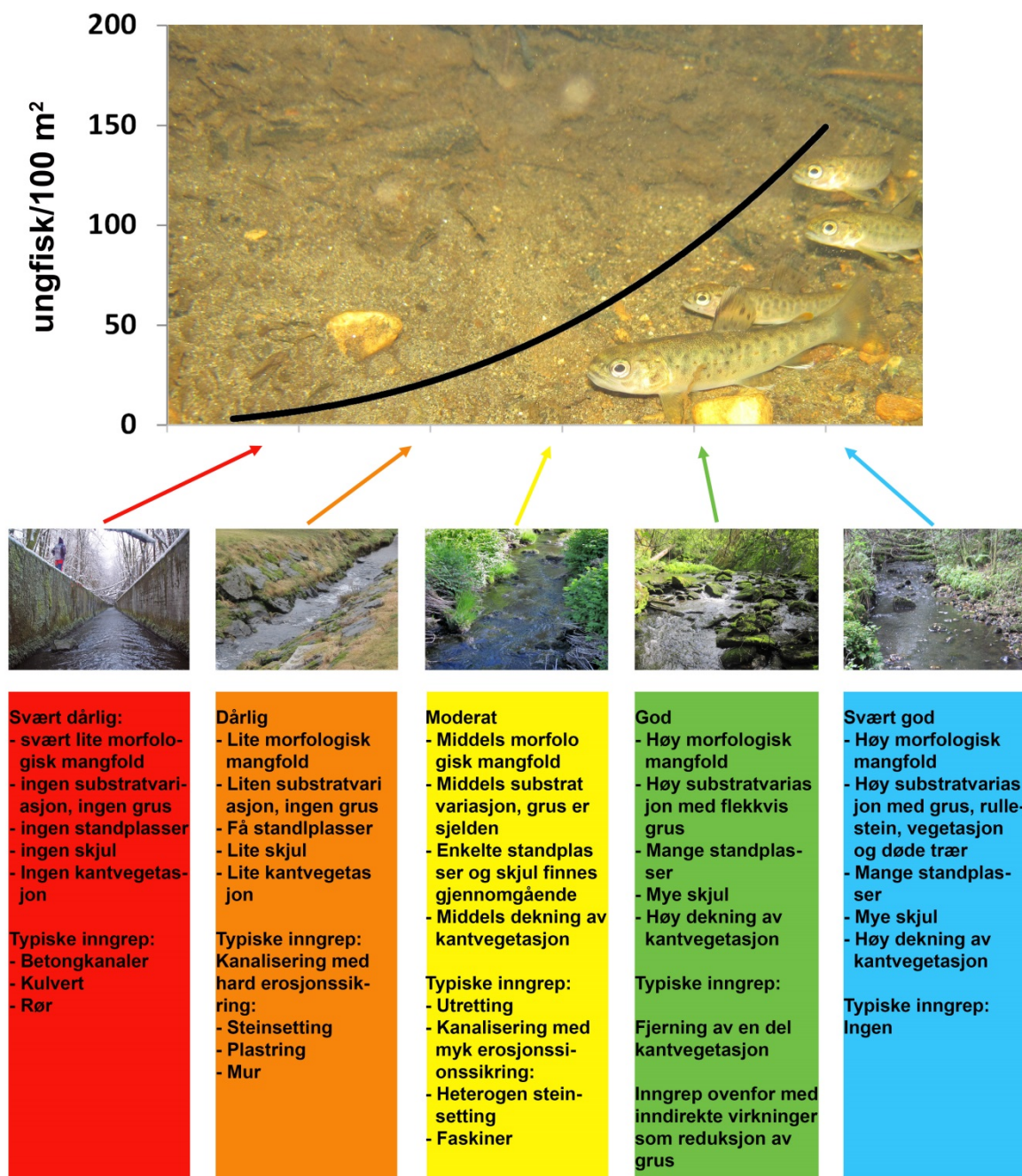
3.6 Kartlegging av kilene

I forbindelse med miljødesignprosjektet i Lærdalselva, var en vurdering av utvalgte kiler en del av prosjektet. Flere av kilene er tidligere kartlagt i en kandidatoppgave (Aarethun, 1992). Miljøgrunnlaget i kilene kan gjøre de til viktige gyte- og oppvekstområder for fisk, men da må visse kriterier være oppfylt. Disse kriteriene er god habitatkvalitet for fisk og spesielt årssikker vannføring. Siden Lærdalselva har en lang historie med flomsikring, kanalisering og etablering av flere terskler, ligger elvenivået i hovedelven dypere enn tidligere. Flere av kilene er betydelig påvirket av dette flomsikringsarbeidet siden tilførselen av vann inn i kilene kan være et problem. En viktig del av vurderingen var å finne ut hvilke kiler som tørrlegges ved minstevannføring i hovedelven og å gjøre en grov vurdering av den enkelte kiles potensial for fiskeproduksjon. Basert på dette har vi laget en oversikt og en prioriteringsliste over kilene.

Hver enkelt kile ble kartlagt ved at to personer gikk langs kilen og gjorde fortløpende vurderinger av de fysiske forholdene med tanke på substrat, kantvegetasjon, bredde, etc. Videre ble det gjort en skjønsmessig vurdering av kilens produksjonspotensial basert på erfaringer fra andre bekker og kiler vi har kartlagt og vurdert i andre prosjekter. Basert på denne vurderingen av de hydromorfologiske produksjonsforholdene, ble hver bekk kategorisert med en forventet lav, middels eller høy fiskeproduksjon. Pulg et al. (2011) viste at det var en positiv sammenheng mellom et godt oppveksthabitat og fisketetthet (Figur 48).

I tillegg ble det gjort oppmålinger av terrenget med en differensiell GPS for nøyaktig terrengdata i forbindelse med å sikre vanntilførsel inn i og gjennom hele elvekilen. Dette er essensielt for å sikre en årssikker vannføring som kan opprettholde produksjonen av fisk og andre vannlevende organismer gjennom tørre perioder. Samtlige kiler ble fotografert fra luften med en drone.

Hver enkelt kile blir vurdert i forhold til hvor vanskelig det er å sikre årssikker vannføring.



Figur 48: Fysiske habitatforhold: Gytebekker med mye gytegrus, stein, døde og levende trær som gir skjul har de høyeste ungfisktetthetene. Utretta og kanaliserte strekninger har betydelig lavere tettheter. Er bunnen plastret eller av betong finnes det nesten ingen fisk. Her resultater fra 77 elvestrekninger i små anadrome bekker på Vestlandet i 2010-2012 (trendlinje $r^2 = 0,6$; $n = 77$: $p < 0,001$ Kruskal-Wallis-test, oppdatert etter Pulg et al. 2011).

3.6.1 Kartlagte kiler

Totalt 13 kiler ble kartlagt i denne undersøkelsen. Disse kilene var på forhånd tegnet inn på kart av Mark Brooks (Figur 49) Kile nummer 6 er tidligere kartlagt og vurdert i forbindelse med planer om et nytt næringsareal ved Håbakken (Gabrielsen & Skår 2018). En oversikt over navn på kile med antatte produksjonsarealer er gitt i Tabell 13.



Figur 49: Oversikt over kiler som ble kartlagt 11. april 2018 i Lærdalselva.

Tabell 13: Kilenummer med navn, lengde, snittbredde og estimert produksjonsareal. * Kile der deler av bekkeløpet ikke er åpent i dagen. ** Kile som omfattes av annet pågående prosjekt med ferdigstilt detaljplan. * Kile som er ferdig justert med nye habitattiltak**

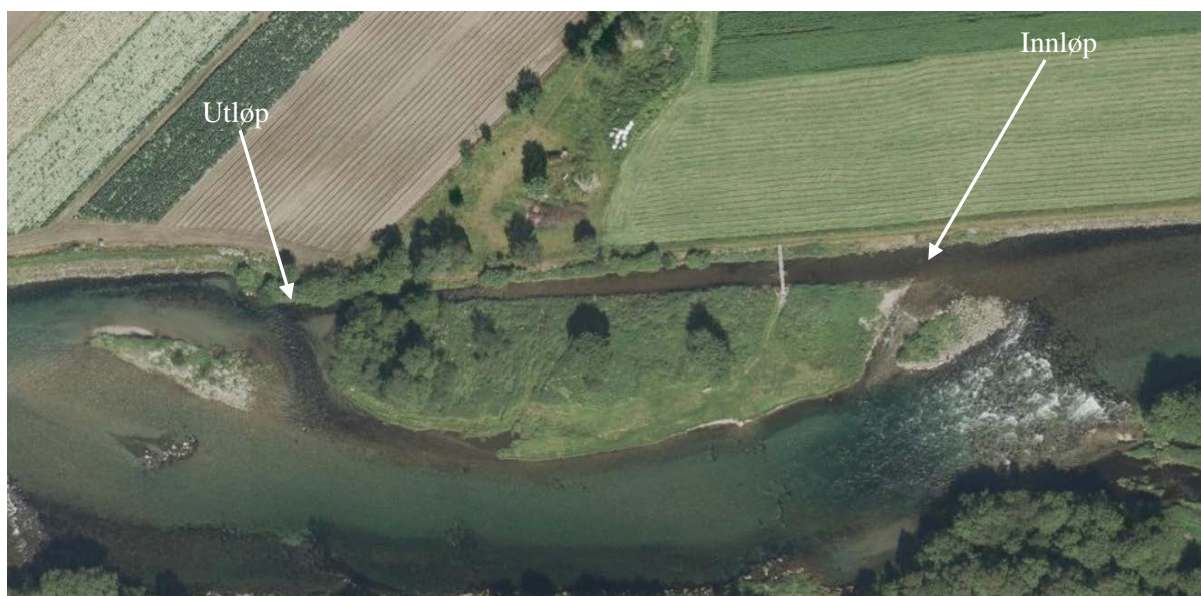
Kile nr.	Navn	Lengde (m)	Snittbredde (m)	Produksjonsareal (m ²)
1	Nedstrøms Bruhølen	180	5,5	1 000
2*	Bruhølen - Chaplin	360	12,0	4 400
3*	Hauge - Oftepollen	1 500	5,0	7 500
4	Haugshagen	200	5,0	1 000
5*	Eri	550	4,5	2 500
6**	Håbakken	2 700	4,3	11 700
7	Tilhengaren - Badehølen	330	11,0	3 700
8*	Moldebo	450	5,0	2 250
9	Moldeveiti	650	5,0	3 250
10	Tønjumskvitli	340	4,0	1 350
11***	Sanden	270	5,0	1 350
12*	Grøtte	1 120	4,0	4 480
13*	Øygarden	750	4,0	3 000
14	Ljøsne	650	3,0	1 950
Totalt		8 550		37 180

3.6.2 Vurdering av potensialet i den enkelte kile

Et totalareal på ca. 37 000 m² kan bli nytt produksjonsareal i Lærdalselva om det gjøres tiltak i alle kilene. Det viktigste er å sikre årssikker vannføring samt å gjøre ulike habitatjusteringer tilpasset den enkelte kile. For noen av kilene trengs det kun små justeringer for å sikre at det renner vann gjennom kilen hele året, mens det for noen kiler er nødvendig med en større justering av det fysiske habitatet for å sikre en slik vannføring. Avveining mellom nytt produksjonsareal og hva som kreves for å lage til dette er gjort for den enkelte kile.

Kile 1, nedstrøms Bruhølen

Dette er egentlig mer et sideløp (flomløp) enn en kile (Figur 50). Dette sideløpet går helt tørt ved minstevannføring. Vår vurdering er at det trengs en enkel justering for å lede vann inn i sideløpet og kun små habitatjusteringer er nødvendige. Nytt produksjonsareal er lavt (1 000 m²), men det er gode gytemuligheter i sideløpet. Trolig vil det være behov for vedlikehold om Lærdalselva avsetter masser i inntaksområdet.



Figur 50: Kile nr. 1 er et sideløp som turrlegges ved lav vannføring.

Kile 2, Bruhølen - Chaplin

Denne kilen er blant de kilene med størst produksjonspotensial (4 400 m²) (Figur 51). Det er nødvendig med en justering for å åpne opp denne kilen gjennom en betongmur. Grunnet det store potensialet og habitatkvalitetene i kilen, anbefaler vi å sørge for årssikker vannføring i denne kilen. Inntaket i Bruhølen må justeres.



Figur 51: Denne kilen har et stort potensial med gode gytemuligheter og et relativt stort produksjonsareal.

Kile 3, Hauge - Oftepollen

Denne kilen har det nest største produksjonspotensialet med 7 500 m² (Figur 52). Det er imidlertid nødvendig med en betydelig justering for å åpne opp denne kilen. Store deler av kilen er lukket igjen og etablering av nytt inntak av vann fra hovedelven er utfordrende. Grunnet det store potensialet og habitatkvalitetene i kilen, anbefaler vi at det gjøres tiltak for å åpne opp denne kilen igjen.



Figur 52: Kile 3, Hauge – Oftepollen er en lang kile med et betydelig potensial. Gjenåpning av kilen er krevende.

Kile 4, Haugshagen

Dette er egentlig mer et sideløp (flomløp) enn en kile (Figur 53). Vår vurdering er at det trengs en enkel justering for å lede vann inn i sideløpet hele året og kun små habitatjusteringer er nødvendig. Nytt produksjonsareal er lavt (1 000 m²), men det er gode gytemuligheter i sideløpet.



Figur 53: Kile 4, Haugshagen er et sideløp som enkelt kan få årssikker vannføring.

Kile 5, Eri

Det er nødvendig med en betydelig justering for å åpne opp denne kile, og kilen har et moderat produksjonspotensial (Figur 54). Det meste av kilen er imidlertid åpen men det må etableres nytt inntak av vann fra hovedelven. Denne jobben er vurdert å være utfordrende. Grunnet det moderate potensialet (2 500 m²) og arbeidet som kreves for å åpne opp denne kilen, anbefaler vi at denne kilen ikke prioriteres i første omgang.



Figur 54: Eri er en lang kile, men det er krevende å sikre årssikker vannføringen i dene kilen

Kile 6, Håbakken

Håbakken er med i et annet pågående prosjekt og det er laget en detaljplan med forslag til gjenåpning for denne kilen (Gabrielsen & Skår 2018).

Kile 7, Tilhengaren - Badehølen

Dette er egentlig mer et sideløp (flomløp) enn en kile (Figur 55). Vår vurdering er at det er nødvendig med en enkel justering for å lede vann inn i sideløpet hele året og kun små habitatjusteringer er nødvendig. Nytt produksjonsareal er relativt stort med 3 700 m².



Figur 55: Dette er et sideløp som enkelt kan sikres årssikker vannføring

Kile 8, Moldebo

Det er nødvendig med en betydelig justering for å åpne opp denne kile, og kilen har et moderat produksjonspotensial (Figur 56). Deler av kilen er lukket igjen og det må etableres nytt inntak av vann fra hovedelven. Denne jobben er vurdert å være utfordrende. Grunnet det moderate potensialet (2 250 m²) og arbeidet som kreves for å åpne opp denne kilen, anbefaler vi at denne kilen ikke prioriteres i første omgang.



Figur 56: Kile 8 ved Moldebo har et moderat produksjonsareal og er krevende å få gjenåpnet.

Kile 9, Moldeveiti

Denne kilen er tilknyttet hovedelven i innløpet med en kulvert (Figur 57). Kilen har et relativt stort produksjonspotensial (3 250 m²). Bortsett fra en kort strekning i nedre del, er hele kilen åpen. Det må gjøres en justering i inntaket for å sørge for årssikker vannføring. Denne jobben er vurdert å være enkel.



Figur 57: Det er kulvert inn i kilen som må justeres for å sørge for årssikker vannføring.

Kile 10, Tønjumskvitli

Denne kilen er tilknyttet hovedelven i innløpet med en kulvert (Figur 58). Kilen har et lavt produksjonspotensial (1 350 m²). Hele kilen er åpen og fungerer nesten tilfredsstillende som den er i dag. Det må gjøres en justering i inntaket for å sørge for årssikker vannføring. Denne jobben er vurdert å være enkel.



Figur 58: Kile 10, Tønjumskvitli bør justeres i innløpet for å sørge for årssikker vannføring.

Kile 11, Sanden

I denne kilen er det allerede utført habitattiltak (Figur 59). Det er bl.a. sørget for årssikker vannføring. Kilen har et lavt produksjonspotensial (1 350 m²).



Figur 59: Kile 11, Grøtte er allerede åpnet opp og justert.

Kile 12, Grøtte

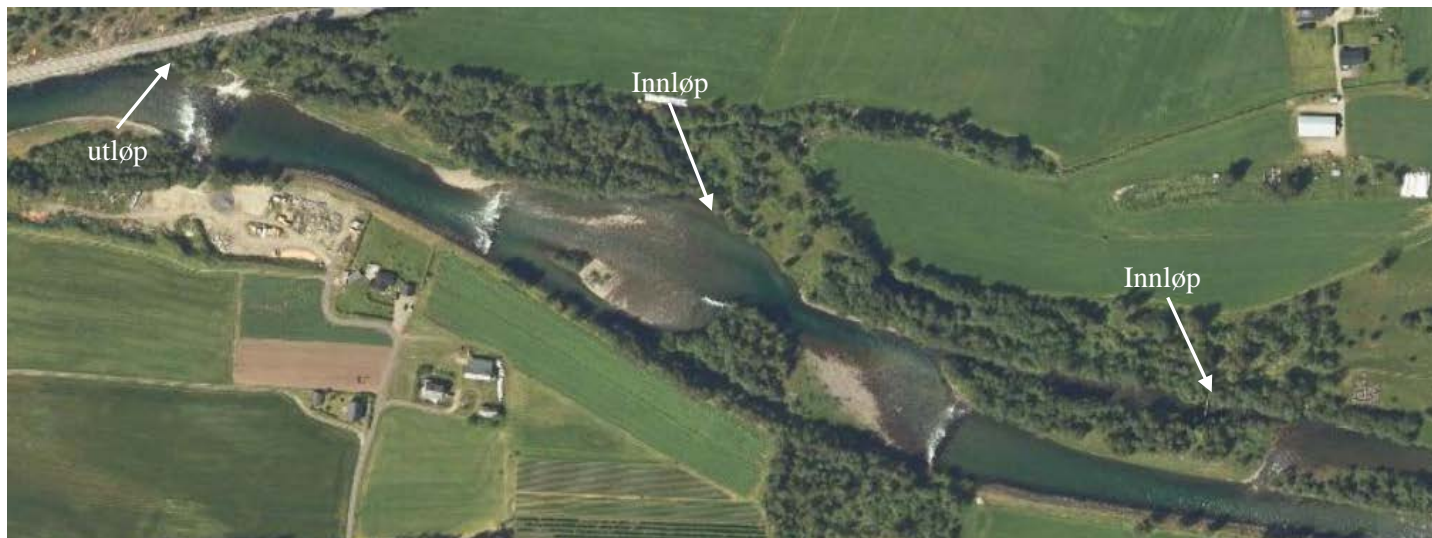
Det er nødvendig med en betydelig justering for å åpne opp denne kilen (Figur 60). Kilen har et relativt stort produksjonspotensial (4 480 m²), men deler av kilen er lukket igjen og det må etableres nytt inntak av vann fra hovedelven. Denne jobben er vurdert å være utfordrende. Grunnet det store potensialet, bør det gjøres en befaring av kilen for å se nærmere på mulighetene for å sørge for årssikker vannføring og andre habitattiltak for å gjøre kilen om til et bra leveområde for fisk.



Figur 60: Kile 12, Grøtte er en lang kile med et betydelig potensial. Gjenåpning av kilen er krevende.

Kile 13, Øygarden

Det er nødvendig med en betydelig justering for å åpne opp denne kilen (Figur 61). Kilen har et moderat produksjonspotensial (3 000 m²) og deler av kilen er lukket igjen og det må etableres nytt inntak av vann fra hovedelven. Denne jobben er vurdert å være enkel. Grunnet det store potensialet, bør det gjøres en befaringsreise av kilen for å se nærmere på mulighetene for å sørge for årssikker vannføring og andre habitattiltak for å gjøre kilen om til et bra leveområde for fisk. Det er bl.a. mulig å etablere to inntak av vann fra hovedelven til denne kilen.



Figur 61: Kile 13, Øygarden er en lang kile med et moderat produksjonspotensial. Gjenåpning av kilen er trolig krevende.

Kile 14, Ljøsne

Det er nødvendig med en betydelig justering for å åpne opp denne kilen (Figur 62). Kilen har et lavt produksjonspotensial (1 950 m²) og deler av kilen er lukket igjen og det må etableres nytt inntak av vann fra hovedelven. Denne jobben er vurdert å være relativt krevende. Grunnet det lave potensialet og arbeidet som kreves for å åpne opp denne kilen, anbefaler vi at denne kilen ikke prioriteres i første omgang.



Figur 62: Kile 14, Ljøsne er en lang kile med et moderat potensial. Gjenåpning av kilen er trolig krevende.

4 Konklusjon og diskusjon

Arbeidet presentert i denne rapporten har kartlagt forhold for laks og ørret i Lærdalselva med sikte på å avdekke **flaskehals**er for produksjonen av fisk i vassdraget. Bakgrunnen for dette har vært oppdragsgiverens mål om å:

"optimalisere produksjonen av laksesmolt i Lærdalselva, samtidig som kraftproduksjonen i Borgund, Øljusjøen og Stuvane kan opprettholdes eller økes"

Elva er kartlagt på strekningen fra sjøen og opp til Heggfoss, 40 km fra sjøen, men det er i første rekke de nederste 30 kilometerne, opp til Svartegjel som er vurdert som en framtidig anadrom strekning. Noe over en tredjedel av vassdragets tilsig er regulert, primært gjennom kraftstasjonene Borgund og Stuvane, hvor Stuvane generelt produserer elektrisitet på avløpsvannet fra Borgund, og hvor begge stasjonene har en slukeevne på 26-28 m³/s. Borgund ble satt i drift i 1974, mens Stuvane kom i drift i november 1988. Utløpet fra Stuvane kraftverk kommer ut omkring 14 km fra sjøen, og herfra renner hele vassdragets tilsig, men vannføringen er regulert gjennom magasiner. Dette har gitt noe høyere vannføring i elva om vinteren, mens både flomtopper og de laveste vannføringene har blitt redusert. På strekningen fra utløpet av Stuvane og opp til Svartegjel er årstilsiget redusert som følge av omløpet til Stuvane. Det er en minstevannføring på 10 m³/s nedstrøms Stuvane og 4 m³/s oppstrøms Stuvane, målt ved Sælthun. Hovedfunnene i rapporten er oppsummert videre i dette kapitlet.

Hydrologiske og hydrauliske forhold

Målinger av vannføringer på Sælthun og Stuvane ble benyttet for å vurdere hydrologiske (vannføringsmessige) flaskehals for fisk, og det er i tillegg laget en nøyaktig 2-dimensjonal hydraulisk modell for de nederste 14 km av Lærdalselva nedstrøms Stuvane kraftverk for å studere sammenhengen mellom vannføring og vanndekket areal.

Nedstrøms Stuvane har flommene de siste 20 årene vært på mellom 200 og 400 m³/s. De laveste vannføringene opptrer normalt mellom 1. april og midten av mai, med medianverdier de siste 20 årene på mellom 15 og 20 m³/s. Fra omkring 1. august og fram til april ligger vannføringen i lange perioder mellom 20 og 30 m³/s, men det foregår relativt hyppige vannføringsvariasjoner over døgnet (endringer på typisk 3-5 m³/s) som skyldes variasjon i kraftproduksjonen i Stuvane kraftverk. Ungfiskproduksjonen på strekningen fra Stuvane til sjøen har historisk vært god, og det er ikke funnet at vannføringsmønsteret over året, gitt som median døgnvannføringer, er en flaskehals for produksjon av ungfisk hos laks eller ørret. Basert på registrering av gyteplasser i denne delen av elva og kurven for medianvannføring over en lang rekke år er det ikke hydrologiske forhold som peker mot at gyteplasser tørregges gjennom vinteren. Denne konklusjonen

tar imidlertid ikke med seg episoder med hurtige vannstandsendringer, og for ungfisk er slike endringer også en utfordring. Hurtige vannstandsendringer i Lærdalselva på vannføringer under 40-50 m³/s skyldes primært effektkjøring av Stuvane kraftverk (Alfredsen 2016), samt utilsiktede nedstenginger av kraftverket, med registrert stranding av ungfisk som resultat (Sættem 2018-c). Mens vannføringen over året ikke ansees som en flaskehals for fiskeproduksjon, er effekten av hurtige vannstandsendringer i større grad usikker. Det er i denne rapporten gjort analyser av slike endringer, med fokus på vannføringsreduksjoner, for perioden 1996-2018, og ved bruk av en hydraulisk modell av elven fra Stuvane til sjøen er det gjort vurderinger av effekten av vannføringsendringer på vanndekket areal. Det ble funnet flest hurtige vannføringsreduksjoner når vannføringen nedstrøms Stuvane er mellom 20 og 30 m³/s. Antallet episoder har vært økende de siste 20 årene, men det ser ut til å være en nedgang igjen siden 2013. Antallet episoder med nedtapping på minst 5 m³/s over 2 timer har økt fra tilnærmet null i 1996 til over 100 i 2012. Den hydrauliske modellen viser at slike episoder er innenfor anbefalingen om at vannstandsreduksjoner bør foregå saktere enn 13 cm/time for å unngå stranding av ungfisk, for hele den modellerte strekningen nedstrøms Stuvane. Episodene er likevel betydelig raskere en naturlige endringer, og de langsiktige konsekvensene for ungfisk er vanskelig å estimere basert på kjent litteratur.

Mellom 2006 og 2013 var det 6 sesonger hvor det kunne observeres 4 til 9 vannføringsreduksjoner pr. år på minst 10 m³/s i løpet av 2 timer. Dette var episoder hvor vannføringen altså ble redusert med minst 5 m³/s pr time, og analysene viser også målinger av episoder med enda større nedtappingshastighet. Resultatene fra den hydrauliske modellen viser at slike episoder medfører at den vertikale vannstandsreduksjonen er i nærheten av grensen (13 cm/time) hvor man i forsøk ser en endring i overlevelse hos ungfisk hos laks (Saltveit et al. 2003), og hvor Bakken et al. (2016) setter grensen mellom liten og moderat påvirkning på elveøkosystemet. Når man befinner seg i dette området av elva (hele strekningen mellom Stuvane og sjøen sett under ett) er det viktig å påpeke følgende:

- Enkelte lokale områder kan være spesielt utsatte for stranding, også når man i gjennomsnitt ser "akseptable" nedtappingshastigheter
- Ikke all strandet fisk dør, spesielt dersom tørrleggingen er kortvarig, men i tillegg til momentan død er fisken utsatt for predasjon
- Analysene over beskriver risiko for fysisk stranding hos ungfisk, og tar ikke hensyn til økt dødelighet som følge av gjentatte, hurtige vannstandsendringer.

Hyppigheten og størrelsen på hurtige vannstandsendringer nedstrøms Stuvane vurderes derfor som en flaskehals for produksjonen av laks og ørret.

Den øverste halvdel av den anadrome strekningen av Lærdalselva har redusert vannføring som følge av fraført vann, og det er spesielt virkningen av reduserte vannføringer som er vektlagt. Målinger av vannføring før og etter reguleringen (fra 1970 og fram til i dag) viser at de største flommene har blitt noe redusert, men at de laveste vannføringene (om vinteren) har økt fra 1-2 m³/s til over 4 m³/s pga. kravet om minstevannføring. Vannføringen om høsten er ikke lavere etter reguleringen. Det observeres ikke reduserte vannføringer etter gyting, og tørrlegging av gyteplasser ansees ikke som en flaskehals. Kartlegging av de fysiske forholdene på strekningen viser at den domineres av relativt smale og bratte leveområder med hurtigstrømmende vann. Lave vannføringer vurderes derfor ikke som en flaskehals for produksjon av ungfisk på strekningen.

Vandring hos voksen fisk

Det ble undersøkt om vandringsforhold for voksen laks og ørret er en flaskehals i Lærdalsvassdraget, dvs. om det er fysiske hindringer som gjør at fisken ikke kommer fram til sine gyteområder i løpet av vandringsseasonen. Laksetrappene og de bratteste delene av elva ble besiktiget i 2018, 2019, og har opp gjennom årene vært besøkt ved mange anledninger før dette prosjektet ble startet.

Elva er relativt flat på de nederste ca. 15 kilometerne, og det er ingen fysiske hindringer som forsinker fiskens oppvandring. Likevel vurderes alle tersklene som er bygget på strekningen de siste 50 årene som en mulig grunn til forsinkelse for fiskens vandring. Det antas at dette kan påvirke forhold for sportsfiske, men i liten grad for fiskeproduksjon fordi fisken uansett vil komme fram til sine gyteplasser i riktig tid. På de neste 3 kilometerne blir elva brattere forbi Hønjum og Bjørkum, før fisken ankommer Seltagjelet. Seltagjelet er ca. 500 langt, stiger nesten 40 meter, og består av en rekk mindre fosser. Tidligere undersøkelser, og årlige fangstdata viser at fisken innfinder seg innunder Seltagjelet i siste halvdel av juni, men at den kan bruke flere uker før den har passert gjelet, særlig når det er mye og kaldt vann (se blant annet Sættem 1991). Dette er et naturlig vandringshinder, og forsinkelsen er antakelig noe redusert etter at omløpstunnelen fra Borgund kraftverk ble bygget og som siden 1988 har vært forbitapping av vann til Stuvane kraftverk.

Det tre fisketrappene ved Sjurhaugsfoss, Husumfoss og Kolgrytefoss (og Svartegjel, som ikke er vurdert i denne rapporten) var i drift i mange år fra omkring 1970, og fisken passerte alle disse trappene. Trappene ble stengt etter påvisning av lakseparasitten på slutten av 90-tallet. De siste årene har trappene blitt oppgradert av Østfold Energi og de tre nederste er åpnet for vandring. Alle trappene er i god stand og virker skjønnsmessig å være godt utformet. Trappenes gode funksjon og plassering bekreftes også av tidligere tellestudier (Sættem 1991). Det konkluderes med at vandringsforhold for voksen fisk ikke er en flaskehals for fiskeproduksjonen i elva. Det er tidligere foreslått å utbedre vandringsforholdene forbi Seltagjelet ved bygging av trapper og/eller

å ta inn vann via luke til omløpstunnelen ved Sjurhaug i perioder hvor vannføringen stanser fisken (Grande et Al. 1989). Det sistnevnte forslaget er ikke aktuelt av juridiske grunner, men bygging av trapper kunne vært utredet, fordi det er påvist en viss reduksjon i gyting ovenfor gjelet i år med vanskelige vandringsforhold, men dette ansees ikke som en avgjørende faktor for fiskebestandene.

Ungfisktettheter og skjulforhold

I Lærdalselva ble det i oktober 2018 gjennomført elektrisk fiske på 31 stasjoner for å undersøke tetthet av ungfisk. I disse undersøkelsene lå de gjennomsnittlige beregnede ungfisktetthetene i Lærdalselva på hhv. 42 årsyngel av laks, 32 eldre laksunger, 29 årsyngel av ørret og 10 eldre ørretunger per 100 m². Som forventet i en undersøkelse som har et stort nett av stasjoner med variabel habitatkvalitet, så varierte tetthetene mye mellom stasjonene. Tetthetene av ungfisk av laks og ørret i denne undersøkelsen lå på omtrent samme nivå som rapportert i en annen ungfiskundersøkelse som ble foretatt i samme tidsrom (Sættem, 2018), selv om det var noen ulikheter.

Det var generelt sett høyere tettheter av eldre laksunger og ørretunger på stasjoner hvor det var målt høy skjultilgang enn på stasjoner med lav skjultilgang. Dette forholdet var imidlertid kun statistisk signifikant for laks. I tråd med funn i en rekke andre studier kan vi altså forvente at områder med høy skjultilgang i form av hulrom mellom steiner gir bedre forhold for laks - og ørretunger og dermed også at slike områder har potensiale for høyere fiskeproduksjon enn områder med lav skjultilgang. Med bakgrunn i disse resultatene er det sannsynlig at produksjonen av smolt i Lærdalselva kan økes dersom skjulforholdene forbedres (Tabell 19). Dette forutsetter selvsagt at det er en tilstrekkelig rekruttering (eks. stor nok gytebestand og tilstrekkelig med gyteområder).

Inntrykket av at skjul kan være en flaskehals for eldre laksunger i områder av elva hvor det er dårlige skjulforhold forsterkes av at vi fant et negativt forhold mellom vektet skjul og ratioen årsyngel/eldre laksunger på elfiskestasjonene. Altså at det var få eldre laksunger sammenlignet med antallet årsyngel på elfiskestasjoner med lav skjultilgang.

Vekst hos ungfisk

Slipp av vann fra høytliggende magasiner gjennom Stuvane kraftverk har ført til generelt sett lavere vanntemperatur oppstrøms Stuvane (representert ved målestasjon Nedre Hegg) enn nedstrøms Stuvane (representert ved målestasjon Tønjum) på vinteren. På sommeren er dette mønsteret omvendt, slik at vanntemperaturene ved Nedre Hegg er høyere enn ved Tønjum. Slike endringer i temperaturregimer kan ha innvirkning på produksjonen av ungfisk gjennom blant annet effekter på vekst.

Vår modellering av vekst hos laksunger som var basert på vanntemperaturer oppstrøms (Nedre Hegg) og nedstrøms Stuvane (Tønjum) viser at de generelt lave vanntemperaturene ved Tønjum over sommeren førte til lavere vekst av ungfisk sammenlignet med oppstrøms Stuvane (Nedre Hegg). Dersom temperaturene ved hhv. Tønjum og Nedre Hegg er representative for elvestrekningene fra Stuvane ned til utløpet av elva, og fra Borgund ned til utløpet fra Stuvane kraftstasjon tyder denne modelleringen på at det eksempelvis kan forventes at svært få laks nedstrøms Stuvane blir smolt før de er tre år mens en del laks oppstrøms Stuvane kan bli smolt når de er to år. Disse resultatene fra modelleringen ble til en viss grad støttet av data fra lengdemålte 2-årige laksunger som i gjennomsnitt var 10,2 mm lengre på stasjoner oppstrøms Stuvane i oktober 2018 enn på stasjoner nedstrøms Stuvane. Siden de observerte størrelsesforskjellene var så pass små kan vi imidlertid ikke konkludere med hensyn på om lave sommertemperaturer nedstrøms Stuvane har store utslag på fiskeproduksjonen i Lærdalselva.

Helt nye studier av vanntemperaturdata i Lærdalselva tilbake til 1964 har vist at vassdragsreguleringen har medført en reduksjon i temperaturer på 0,5-2,0° C nedenfor Stuvane kraftverk (Heggenes et al. in prep). Slike endringer i vanntemperaturer kan potensielt ha store konsekvenser for fisken i et vassdrag. Det er viktig å påpeke at temperaturendringer i Lærdalsvassdraget etter utbygginga av Stuvane (som produserer direkte på avløpet til Borgund kraftverk) ikke har vært mulig å måle før etter 1988, og ungfiskundersøkelser i store deler av perioden etter 1988 har vært sterkt preget av lakseparasitten (påvist i 1996, erklært utryddet i 2017). Vanntemperaturreduksjonen beskrevet av Heggenes et al. (in prep) er nye konklusjoner i forhold til tidligere studier, men de biologiske responsene av denne studien er foreløpig ikke analysert, og der er derfor for tidlig å konkludere med om vanntemperatur er en flaskehals for fiskeproduksjonen i Lærdalselva.

Fysisk habitat

Basert på kartleggingen av skjul og gyteområder, har vi gjort en vurdering av antatte produksjonsforhold i hvert enkelt segment av Lærdalselva, og hvorvidt gyteområder og skjul er begrensende faktorer og flaskehalser for produksjon av fisk. Vurderingen er gjort med utgangspunkt i klassifiseringssystemet fra «håndboka» og er gjengitt i Tabell 14.

Tabell 14: System for klassifisering av habitatflaskehals og antatt produksjonspotensial i forhold til tilgang til gyteområder og skjul. Antatt produktivitet er angitt i parentes. Fra Forseth & Harby (2013).

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

Strekning 1: Sjø til Voll bru

Kartleggingen tilsier at det generelt er dårlige skjulmuligheter i elvebunnen for eldre ungfisk i den undersøkte strekningen fra Voll bru og ned til sjøen. Vi antar at det er lav fiskeproduksjon i denne strekningen til tross for at det er gode muligheter for gyting (Tabell 15). Hovedårsaken er at finstoff og til dels grus tetter hulrommene i elvebunnen slik at tilgangen til hulrom (skjul) for fisk er begrenset (Figur 2).

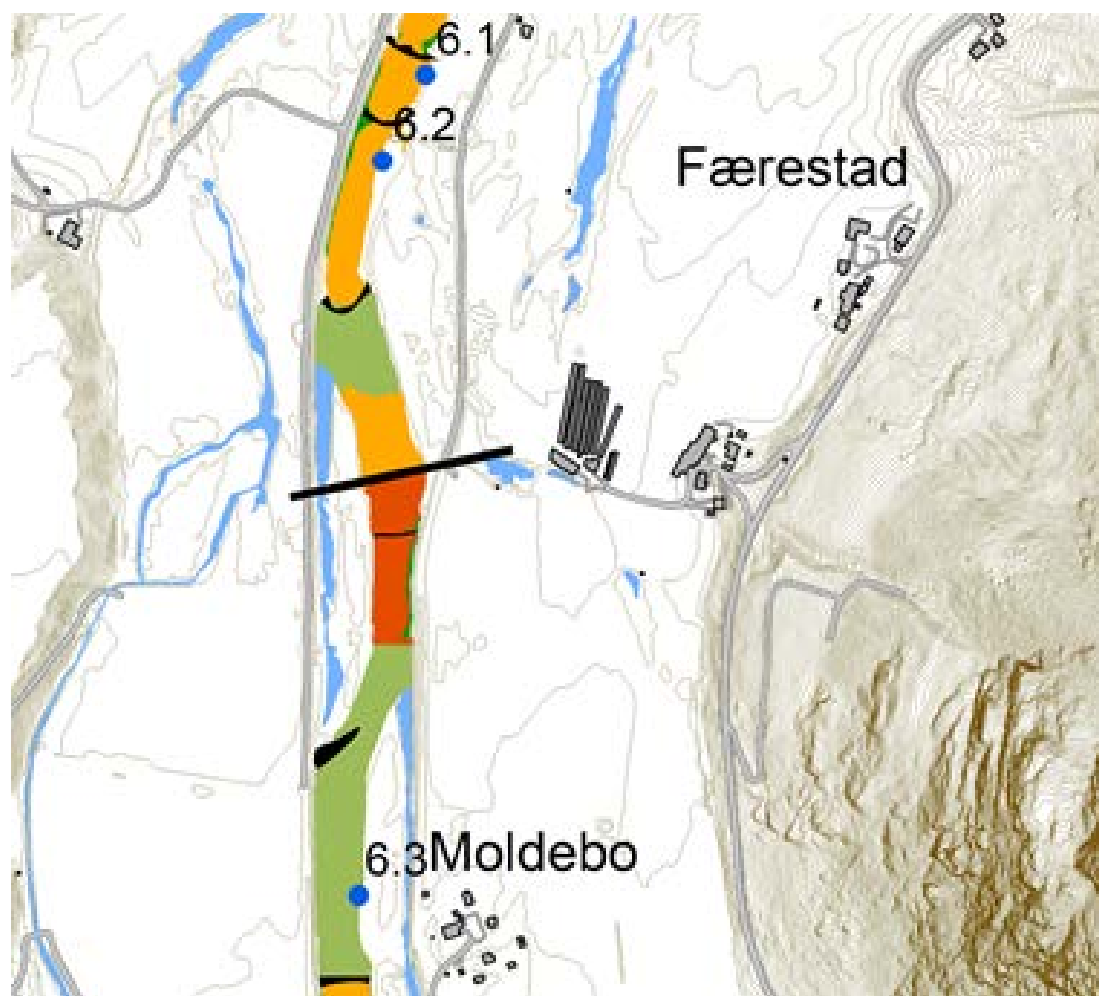
Tabell 15: Klassifisering og kort beskrivelse av gyteforhold og habitat/skjul for parr, antatt potensial for smoltproduksjon og sannsynlig flaskehals for produksjon i de ulike segmentene på strekningen fra utløp sjø til voll bru i Lærdalselva.

Segment	Gytehabitat	Skjul og habitat for parr	Antatt potensial for lakseproduksjon	Sannsynlig flaskehals
1	Moderat	Lite	Lav	Skjul
2	Mye	Lite	Lav	Skjul
3	Mye	Lite	Lav	Skjul
4	Mye	Lite	Lav	Skjul
5	Mye	Moderat/Lite	Moderat	Skjul
6	Mye	Lite	Lav	Skjul
7	Mye	Lite/Moderat	Lav/Moderat	Skjul
8	Lite	Lite	Lav	Gyting + Skjul
9	Mye	Lite/Moderat	Lav/Moderat	Skjul
Totalt	Mye	Lite	Lav	Skjul

Det er naturlig at skjulforholdene er dårligere i elvesegmenter der vannhastighet og fallgradient er lav. Siden Lærdalselva har mindre fallgradient i nedre deler sammenlignet med lenger oppe i vassdraget, er det ikke uventet at det ligger mer finsubstrat i nedre deler. Imidlertid er stein dominerende substrat på hele strekningen og utgjør 50 % av elvearealet. Potensielle hulrom mellom steinene er generelt tettet igjen av finstoff og gir dårlige skjulmuligheter for ungfisk. Det er grunn til å tro at flommene i 2014 og i 2018 og

påfølgende masseforflytninger har redusert skjulkvaliteten. Dette har også Sættem (2015 og 2017) konkludert med i oppfølgende undersøkelser etter skadefloppen. Det ble da også funnet at det på strekningen nedstrøms Voll var lave tettheter av eldre ungfisk, særlig ørret, dette til tross for observasjoner av mye gytefisk i området i 2012-2015. Det fysiske habitatet var også endret, og tilsvarende habitatendringer ble ikke funnet oppstrøms Voll. Det ble imidlertid observert en bedring i habitatet på deler av den flompåvirkede strekningen som følge av naturlig utvasking av finstoff (Sættem 2015 og 2017).

Områder med egnet substrat for skjul på strekning 1 ble i all hovedsak registrert der vannhastigheten var høy, langs en smal sone i elvekantene og i selve terskelkronene. Et eksempel på dette er ved Moldebo, der elvekanten har svært mye skjul for ungfisk mens det generelt er svært lite skjul for ungfisk i elva omkring (Figur 63).



Figur 63: Det ble registrert generelt dårlige skjulmuligheter for ungfisk fra Voll bru og ned til sjøen i Lærdalselva. Men i en smal sone langs elvekantene er det bedre skjulmuligheter illustrert som mørkegrønne områder langs elvekanten i figuren.

Et hovedproblem for videre transport av finstoff ned og ut av Lærdalselva er alle tersklene som skaper sedimenteringsbasseng med dårlig skjul. Flere av disse har trolig blitt grunnere etter flommen, og vil sannsynligvis holde seg slik med mindre man tar ut masser manuelt og/eller justerer/river tersklene. Dersom en bare tar ut masser vil bassengene trolig på nytt fylles opp med masser over tid.

Strekning 2: Voll bru - Etreåsen

Kartleggingen tilsier at det generelt er moderate skjulmuligheter i elvebunnen for eldre ungfisk i den undersøkte strekningen fra Voll bru og opp til Etreåsen. Gytemulighetene er generelt gode, men i noen segment er det lite eller moderate muligheter og totalt sett er det forventet en moderat til høy fiskeproduksjon på denne strekningen. Flaskehalsene er skjul og tilgang til gytegrus i noen av de bratteste segmentene (Tabell 16).

Tabell 16: Klassifisering og kort beskrivelse av gyteforhold og habitat/skjul for parr, antatt potensial for smoltproduksjon og sannsynlig flaskehals for produksjon i de ulike segmentene på strekningen fra Voll bru og opp til Etreåsen i Lærdalselva.

Segment	Gytehabitat	Skjul og habitat for parr	Antatt potensial for lakseproduksjon	Sannsynlig flaskehals
10	Mye	Lite/Moderat	Moderat	Skjul
11	Mye	Moderat/Lite	Moderat	Skjul
12	Mye/Moderat	Mye	Høy	Ingen
13	Moderat	Moderat	Moderat	Gyting + skjul
14	Mye	Mye/Moderat	Høy	Ingen
15	Moderat	Moderat	Moderat	Gyting + skjul
16	Lite	Lite	Lav	Gyting + skjul
17	Moderat	Moderat/Mye	Moderat	Gyting + skjul
18	Lite	Mye	Moderat	Gyting
19	Mye	Moderat	Høy	Skjul
Totalt	Moderat/Mye	Moderat	Moderat/Høy	Skjul + gyting

Hele strekningen er relativt bratt, men har en flatere profil i nedre deler med flere store terskelbasseng med et høyere innslag av finere sediment. Det er derfor dårligere skjul for ungfisk i dette partiet enn høyere opp hvor elva er brattere og har mer blokker i elvebunnen. Det finnes flere terskler i de brattere delene på denne strekningen, men de hydrauliske forholdene her fører til at sediment blir transportert videre ned i vassdraget.

Strekning 3: Etreåsen - Svartegjel

Kartleggingen tilsier at det generelt er gode skjulmuligheter i elvebunnen for eldre ungfisk i den undersøkte strekningen fra Etreåsen og opp til Svartegjel. Strekningen er relativt bratt, spesielt nedstrøms Sjurhaugfoss, og tilgangen til gytegrus er begrenset. Det finnes flere store fosser på strekningen og det er etablert tre fisketrapper for å muliggjøre oppvandringen til Svartegjel. Trappene har gjenåpnet en anadrom strekning på omkring 6 km. Sættem (1991) viste at flere hundre laks og ørret fant sine gyteplasser her på 1980-tallet, og det kan på sikt forventes at den økte anadrome strekningen kan øke fiskeproduksjonen i elva. Totalt sett er det forventet en moderat fiskeproduksjon på denne strekningen. Flaskehalsen er tilgang til større gyteområder, men tilgangen til flekker med gytegrus er såpass stor at fiskeproduksjonen vurderes til å være moderat (Tabell 17).

Tabell 17: Klassifisering og kort beskrivelse av gyteforhold og habitat/skjul for parr, antatt potensial for smoltproduksjon og sannsynlig flaskehals for produksjon i de ulike segmentene på strekningen fra Etreåsen og opp til Svartegjel i Lærdalselva.

Segment	Gytehabitat	Skjul og habitat for parr	Antatt potensial for lakseproduksjon	Sannsynlig flaskehals
20	Lite	Mye	Moderat	Gyting
21	Moderat	Mye	Høy	Gyting
22	Lite	Mye/Moderat	Moderat	Gyting
23	Moderat	Moderat	Moderat	Gyting + skjul
24	Lite	Mye	Moderat	Gyting
25	Lite	Mye/Moderat	Moderat	Gyting
Totalt	Lite	Mye	Moderat	Gyting

Strekning 4: Svartegjel - Heggfoss

Kartleggingen tilsier at det generelt er moderate skjulmuligheter i elvebunnen for eldre ungfisk i den undersøkte strekningen fra Svartegjel og opp til Heggfoss. Strekningen er relativt slak med unntak av Svartegjel og noen fosser i øvre del opp mot Heggfoss. Strekningen oppstrøms Borgund stavkirke («Borgundfjorden») er nesten helt flat. Det er etablert en fisketrapp i Svartegjel, som er stengt, og fisk kan ikke komme forbi. Analysen av tilgangen til gyteområder, tilsier et moderat tilbud til gyting. De gode gytemulighetene i de to øverste segmentene og i segment 30 er viktige og kan bety mye for produksjonen totalt på strekningen. Totalt sett er det forventet en moderat fiskeproduksjon på denne strekningen. Flaskehalsen er tilgang til større gyteområder, men tilgangen til flekker med gytegrus er såpass stor at fiskeproduksjonen vurderes til å kunne være moderat (Tabell 18).

Tabell 18: Klassifisering og kort beskrivelse av gyteforhold og habitat/skjul for parr, antatt potensial for smoltproduksjon og sannsynlig flaskehals for produksjon i de ulike segmentene på strekningen fra Svartegjel til Heggfoss i Lærdalselva.

Segment	Gytehabitat	Skjul og habitat for parr	Antatt potensial for lakseproduksjon	Sannsynlig flaskehals
26		Ikke vurdert		
27	Lite	Mye/Moderat	Moderat	Gyting
28	Lite	Mye	Moderat	Gyting
29	Lite	Lite	Lav	Gyting + skjul
30	Mye	Lite	Lav	Skjul
31	Lite	Mye/Moderat	Moderat	Gyting
32	Mye	Lite	Lav	Skjul
33	Mye/Moderat	Moderat	Moderat	Skjul
Totalt	Lite/Moderat	Moderat	Moderat/Lav	Gyting + skjul

Basert på resultatene fra kartleggingen av fysisk habitat og analyser av flaskehals, finnes det flere aktuelle tiltak for å bedre forholdene for lakseproduksjon i Lærdalselva. Mangel på skjul i elvebunnen fremstår som den flaskehalsen som har størst negativ påvirkning på produksjonen av ungfisk. Dette gjelder spesielt på de strekningene fra Sjurhaugfoss og ned til sjø som er relativt flate. Hovedårsaken til dette er terskler som danner unaturlige elementer i et vassdragsmiljø og som i stor grad påvirker sediment transporten i negativ retning i forhold til fiskeproduksjon. Det ble høsten 1994 registrert 67 terskler og/eller ledebuner på strekningen fra sjøen og opp til Voll bru i Lærdalselva, mens det på strekningen fra Voll bru og opp til Sjurhaugfoss tilsvarende ble registrert 101 (NVE 1995). Totalt er det registrert 168 terskler eller ledebuner fra sjøen og opp til Sjurhaugfoss. De positive erfaringene fra miljødesignprosjektene i Mandalselva og Nidelva, som gav økt fiskeproduksjon ved å rive eller modifisere terskler, tilsier at en gjennomgang av effekten av de ulike tersklene bør gjennomføres, nettopp for å avdekke om det er hensiktsmessig å justere en del av tersklene i Lærdalselva. Basert på erfaringene fra andre vassdrag, vil trolig en ny utforming av tersklene i Lærdalselva kunne gi en betydelig økt fiskeproduksjon. I Tabell 19 har vi presentert mulig gevinst av fisk ved å øke skjultilgangen i de ulike elvestrekningene basert på sammenhengen mellom tettheter av fisk og skjulverdier i Lærdalselva høsten 2018 (Figur 21). Gevinsten er langt større på strekningen fra sjø og opp til Voll bru enn videre opp i elva som et resultat av lite tilgjengelig skjul i store produksjonsarealer i den nedre delen. Det er en betydelig økning i produksjonen av fisk om det blir bedre skjulforhold for eldre fisk i Lærdalselva.

Tabell 19: Økning i antallet eldre fisk (1+ og eldre) på de ulike elvestrekningene i Lærdal om tilgangen til skjul endres fra svært lite og lite til moderat eller til mye skjul. Produksjon er her basert på sammenhengen mellom tettheter av ungfisk og skjul funnet i denne undersøkelsen.

Strekning (Areal – m ²)	Dagen produksjon	Økning i antall eldre ungfisk (moderat skjul)	Ny produksjon (Prosentvis økning)	Økning i antall eldre ungfisk (mye skjul)	Ny Produksjon (Prosentvis økning)
Sjø – Voll Bru (403 000)	90 000	63 000	153 000 (70)	126 000	216 000 (140)
Voll bru – Etreåsen (480 000)	180 000	24 000	204 000 (13)	47 000	227 000 (26)
Etreåsen – Svartegjel (210 000)	106 000	400	106 000 (0)	800	107 000 (1)
Svartegjel – Hegg (249 000)*	86 000	21 000	107 000 (24)	41 000	127 000 (48)
Totalt	462 000	108 000	570 000 (23)	215 000	677 000 (46)

*Med unntak av Borgundfjorden

Kiler

Undersøkelsene i denne rapporten har kartlagt totalt 14 kiler, hvorav ingen er vurdert å ha sikker vannføring gjennom hele året. Totalt omfatter dette over 8 kilometer med sideløp, med et areal anslått til ca. 37 000 m². Dette tilsvarer et bidrag på 5-10 % av hovedelvas areal på den aktuelle strekningen (nedenfor Lysne). Det er forskjellige tekniske tiltak som kan iverksettes for at dette habitatet blir gjort tilgjengelig, som beskrevet i kapittelet over om kilene. Noen steder det snakk om justeringer av vanninntak, mens det andre steder snakk om full restaurering av større strekninger.

Terskler

Det er spesielt på Lærdalselvas nedre 15 km, dvs. strekning 1 og deler av strekning 2, at tersklene dominerer elvas utforming, både estetisk og funksjonsmessig for fisk. Terskelbygging har i flere vassdrag ført til ødeleggelse av gyteområder ved å endre vannhastigheter og vanndyp slik at de ikke lenger er forenlig med fiskens krav til gytehabitat (Forseth & Harby 2013). Samtidig kan tersklene ha gitt redusert skjultilgang fordi terskelbasseng fungerer som sedimentfeller. I mange tilfeller er terskler bygget og dimensjonert for å gi et stort vanndekket areal av estetiske hensyn og for å gane sportsfiske, men i mindre grad av hensyn til biologiske forhold. Det finnes flere studier som viser at fjerning av terskler kan være et effektivt og nødvendig tiltak for å gjenskape eller bedre gyte- og oppvekstforhold for laks (Fjeldstad et al. 2012). I mange regulerte elver i Norge i dag fjernes eller justeres etablerte terskler for å øke fiskeproduksjonen, siden slike terskelbasseng i mange tilfeller kan bidra til forringing av ungfiskhabitat. Flere terskler har blitt fjernet i

regulerte elver på elvestrekninger med restvannføringer, dvs. relativt lav vannføring, nettopp for å øke kvaliteten på gjenstående produksjonsareal, selv om det totale produksjonsarealet blir lavere enn det var før fjerning av terskler. I Nidelva (Arendalvassdraget) var tettheten av fisk lav med gjennomsnittlig tetthet på 2 fisk pr. 100 m² før de store tersklene ble revet. Etter terskelriving har tetthetene vært markant høyere med et årlig gjennomsnitt på 42 fisk pr. 100 m² (Gabrielsen & Skår 2015). Hovedårsaken er at både gyte- og oppveksthabitat for ungfisk ble langt bedre etter at tersklene ble fjernet. Det er mulig å bygge terskler og samtidig ivareta fiskeproduksjon, men det er da viktig at tersklene dimensjoneres etter lokale forhold og konstrueres ut fra kunnskap om fiskens krav til leveområder i ulike deler av vassdraget.

5 Mulige tiltak for å avbøte flaskehals for fiskeproduksjon i Lærdalselva

I dette prosjektet foreslås ikke tiltak for å øke fiskeproduksjonen i Lærdalselva, men det er konkludert med hva som er sannsynlige flaskehals for fiskeproduksjon. Oppfølging av denne rapporten bør ha som mål å se nærmere på følgende utfordringer i elva:

Vannkraftproduksjon

- Studere nærmere hva som er akseptable nedtappingsforløp på ulike strekninger i forbindelse med effekttilpasset drift av Stuvane kraftverk ved hjelp av den hydrauliske modellen utviklet i dette prosjektet.

Fysisk habitat for ungfisk

- Utarbeide en plan for fjerning/justering av terskler
- Forbedring av substrat og fysiske habitatforbedringer, f.eks. utlegg av stein
- Utarbeide en plan for å sette kilene i drift

Oppvandring

- Er det aktuelt med nye trapper i Seltagjelet som foreslått av Grande et al (1989)?

Vekst hos ungfisk

- Ifølge vekstmodelleringen kan temperaturforskjeller oppstrøms og nedstrøms Stuvane potensielt føre til ulike vekstrater hos laksunger. Det er derfor viktig å gjennomføre mer detaljerte studer for å avdekke om endringer i temperaturregimet i Lærdalselva som følge av reguleringen (jfr. Heggenes et al. in prep) påvirker produksjonen av ungfisk, og eventuelt vurdere om det finnes avbøtende tiltak

6 Takksigelser

Det rettes en takk til oppdragsgiver, Østfold Energi v/Magne Netland og kolleger, for godt samarbeid og for oppdraget med et spennende prosjekt. Takk også for tett oppfølging av alle spørsmål fra forskergruppa om vannføring, forklaringer rundt reguleringssystemet og andre nødvendige data, samt tilrettelegging for å få gjennomført effektivt feltarbeid gjennom vår, sommer og høst 2018.

Statistiske analyser av vannføringsdata er utført av Lennart Hagen Schönfelder hos SINTEF.

Takk til Jan-Gunnar Jensås (NINA), Rolf Sivertsgård (NINA) og Frode Næstad (Høgskolen i Innlandet) for deres innsats i den praktiske gjennomføringen av ungfiskundersøkelsene i 2018. Jan-Gunnar Jensås aldersbestemte skjellprøvetatt ungfisk i Lærdal, og bidro sammen med Ola Ugedal, Randi Saksgård og Line Sundt-Hansen (alle ved NINA) med nyttige innspill til planleggingen av feltarbeidet. Ola Ugedal og Line Sundt-Hansen har også bidratt til rapporten ved å velvillig delta i faglige diskusjoner om vekstmodellering og miljødesign.

Det rettes også en takk til Torkjell Grimelid og Leif Magnus Sættem for samtaler og besvarelse av diverse spørsmål om Lærdalselva.

7 Referanser

- Alfredsen, K. 2016. Vurdering av effektkjøring av Lærdalselva. IVM Report B1-2016-7. NTNU. ISBN 978-82-7598-101-9. 80 sider.
- Andersen, A. L. 2002. Økt vekst og overlevelse hos ensomrig laks (*Salmo salar* L.) og ørret (*Salmo trutta* L.) som følge av eliminering av eldre årsklasser – en analyse av biotiske og abiotiske faktorer før og etter rotenonbehandling av Lærdalselva. Thesis Candidatus scientiarum, Zoologisk institutt, Universitetet i Bergen, April 2002.
- Arnekleiv, J. V., Finstad, A. G. & Rønning, L. 2006. Temporal and spatial variation in growth of juvenile Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 68, 1062-1076.
- Bakken, T. H., Forseth, T. & Harby, A. (red.). 2016. Miljøvirkninger av effektkjøring. Kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri. NINA Temahefte 62. 205 s.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67, 1-48.
- Bohlin, T., Hamrin, S., Heggberget, T. G., Rasmussen, G. & Saltveit, S. J. 1989. Electrofishing – Theory and practice with special emphasis on salmonids. *Hydrobiologia* 173, 9-43.
- Borsányi, P., Alfredsen, K., Harby, A., Ugedal, O. & Kraxner, C. 2004. A meso-scale habitat classification method for production modelling of Atlantic salmon in Norway. *Hydroécologie Appliquée* 14(1): 119–138.
- Crisp, D. T. 1981. A Desk Study of the relationship between temperature and hatching time for the eggs of five species of salmonid fishes. *Freshwater Biology* 11, 361–368.
- Crisp, D. T. 1988. Prediction, from temperature, of eyeing, hatching and swim-up times for salmonid embryos. *Freshwater Biology* 19, 41-48.
- Einum, S., Sundt-Hansen, L. & Nislow, K. H. 2006. The partitioning of density-dependent dispersal, growth and survival throughout ontogeny in a highly fecund organism. *Oikos* 113, 489-496.
- Einum, S. & Nislow, K.H. 2011. Variation in population size through time and space: theory and recent empirical advances from Atlantic salmon. In: *Atlantic Salmon Ecology*, pp. 277-298 (eds. Ø. Aas, S. Einum, A. Klemetsen & J. Skurdal). Wiley-Blackwell.
- Einum, S., Finstad, A.G. Robertsen, G., Nislow, K.H., McKelvey, S. & Armstrong, J.D. 2011. Natal movement in juvenile Atlantic salmon: a body-size dependent strategy? *Population Ecology*. DOI 10.1007/s10144-011-0296-z
- Finstad, A. G., Einum, S., Forseth, T. & Ugedal, O. 2007. Shelter availability affects behaviour, size-dependent and mean growth of juvenile Atlantic salmon. *Freshwater Biology* 52, 1710-1718.
- Finstad, A. G., Einum, S., Ugedal, O. & Forseth, T. 2009. Spatial distribution of limited resources and local density regulation in juvenile Atlantic salmon. *Journal of Animal Ecology* 78, 226-235.

- Fjeldstad, H-P, Barlaup, B.T., Stickler, M, Gabrielsen, S.-E. and Alfredsen, K., 2012. Removal of weirs and the influence on physical habitat for salmonids in a Norwegian river. *River Research and Applications*; **28**, pp. 753-763.
- Foldvik, A., Finstad, A. G. & Einum, S. 2010. Relating juvenile spatial distribution to breeding patterns in anadromous salmonid populations. *Journal of Animal Ecology*, **79**, 501-509.
- Foldvik, A., Einum, S., Finstad, A. G. & Ugedal, O. 2017. Linking watershed and microhabitat characteristics: effects on production of Atlantic salmonids (*Salmo salar* and *Salmo trutta*). *Ecology of Freshwater Fish* **26**, 260-270.
- Fleming, I. A. 1996. Reproductive strategies ecology and evolution of Atlantic salmon: ecology and evolution. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **6**, 379-316.
- 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>
- Forseth, T., Hurley, M. A., Jensen, J. & Elliott, J. M. 2001 Functional models for growth and food consumption of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from a Norwegian river. *Freshwater Biology* **46**, 173-186.
- Garcia, S. S. 2019. Hydraulic modeling of the Lærdal river. Master's thesis in Civil and Environmental engineering. NTNU. 120 sider
- Gabrielsen, S.-E. & Skår, B. 2018. Detaljplan for elvekile ved Håbakken i Lærdalselva. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske, notat mars 2018.
- Gabrielsen, S.-E., & Skår, B. 2015. Evaluering av tiltak for å øke produksjonen av laks i Nidelva – oppfølgende undersøkelser i årene 2013, 2014 og 2015. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske, rapport nr. 128.
- Gabrielsen, S.-E., Barlaup, B. T., Skoglund, H., Gladsø, J. A., Mo, T. A. & Sættem, L. M. 2003. Fiskebiologiske undersøkelser I Lærdalselva høsten 2003 – sammenfatning av ungfisktettheter av laks og aure i perioden 1991-2003. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske, notat 03.12.2015.
- Grande, R., Wendelbo, O., Hovland, K., Sættem, L. M. & Saltveit, S. J. 1989. Fysiske tiltak for bedring av fiskeoppgang i Lærdalselva. Rapport fra arbeidsgruppe oppnevnt av Direktoratet for naturforvaltning. 120 sider.
- Harby, A. & Noack, M. 2013. Rapid flow fluctuations and impacts on fish and Aquatic ecosystems. Kapittel 19 i Maddock, I., Hary, A., Kemp, P. & Wood, P. *Ecohydraulics- an integrated approach*. Wiley Blackwell. 446 sider.
- Heggenes, J, Stickler, M., Alfredsen, K., Brittain, J. E., Adeva Bustos, A. & Huusko, A. (In prep.). Stay Cool: Temperature changes, biological responses and mitigating measures in hydropower-regulated northern river systems.
- Heggenes, J. & Saltveit, S. J. 1990. Seasonal and spatial microhabitat selection and segregation in young Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L., in a Norwegian river. *Journal of Fish Biology* **36**, 707-720.

Jeffrey A. Ryan and Joshua M. Ulrich (2018). xts: eXtensible Time Series. R package version 0.11-2.
<https://CRAN.R-project.org/package=xts>

Jonsson, B., Forseth, T., Jensen, A. J. & Næsje, T. 2001. Thermal performance of juvenile Atlantic Salmon, *Salmo salar* L. Functional Ecology 15, 701-711.

Kristensen, T., Urke, H. A., Haugen, T. O.; Rustadbakken, A; Alfredsen, J.A.; Alfredsen, K; Rosseland, B. O. 2011 Sjøauren i Lærdalselva; vekstmønster og fjordvandringar før og no. NIVA Rapport L.nr. 6122-2011

Limpens, E. 2019. Modelling of water level variations due to hydropower operations. Internship studentoppgave. Institutt for Vann- og Miljøteknikk, NTNU.

Pulg, U., Stranzl, S., Olsen, E. 2016 Mer miljøvennlige erosjonssikringstiltak. Bergen: Uni Research Miljø, Rapport 284. 12 s

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Robertsen, G., Skoglund, H. & Einum, S. 2013. Offspring size effects vary over fine spatio-temporal scales in Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 70, 5-12.

Saltveit, S. J., Halleraker, J. H., Arnekleiv, J. V. & Harby, A. 2001. Field Experiments on stranding in juvenile atlantic salmon (*Salmo salar*) and Brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decrease caused by hydropeaking. *Regulated Rivers* 17:609-622.

Skoglund, H., Einum, S. & Robertsen, G. 2011. Competitive interactions shape offspring performance in relation to seasonal timing of emergence in Atlantic salmon. *Journal of Animal Ecology* 80, 365-374.

Skår, B., Gabrielsen, S.-E. & Stranzl, S. 2017. Habitatkartlegging av Lærdalselva frå Voll bru til sjø. Norge LFI Rapport nr. 299. 22 s + vedlegg

Skår, B & Wiers, T. 2017. Synfaring i samband med planlagde tiltak i Lærdalselva. Bergen: Uni Research Miljø, Notat. 13 s.

Sættem, L.M. 1991. Oppvandring av laks og fordeling av gytefisk I Lærdalselva og andre vassdrag i Sogn. I Krogh, F.E. & Sættem, L.M (redaktører). Villaksseminaret. Lærdal 31. Mai- 1. Juni 1991. Kompedium. 20 sider.

Sættem, L.M. 2010. Fiskeribiologisk innstilling med foreløpig anbefaling om vannføring i Lærdalselva og tidspunkt for renovering av trykksjakt ved Borgund Kraftverk, Lærdal kommune. Teknisk rapport, Ferskvannsbiologen LMS. 19 s

Sættem, L.M. 2015. Lærdalselva, Lærdal kommune, Sogn og Fjordane. Ungfiskundersøkelser 2015 etter skadefløm høsten 2014. Molde: Ferskvannsbiologen, Rapport, 40s.

Sættem, L.M. 2016. Registrering av anadrom gytefisk i Lærdalselva høsten 2016. Lærdal kommune, Sogn og Fjordane. Molde: Ferskvannsbiologen, Rapport 34s.

- Sættem, L.M. 2017. Ungfisk i Lærdalselva høsten 2016, Oppfølgende undersøkelser etter flom 2014. Lærdal kommune, Sogn og Fjordane. Molde: Ferskvannsbiologen, Rapport 39s.
- Sættem, L. M. 2018-a. Resultatrapport høsten 2018. Ungfisk i Lærdalselva, Lærdal kommune i Sogn og Fjordane. Avgitt Østfold Energi AS 02.01.2019.
- Sættem, L.M. 2018-b. Anadrom gytefisk i Lærdalselva høsten 2017 og lokale forhold som styrker bestandene. Teknisk rapport, Ferskvannsbiologen LMS. 29 s
- Sættem, L.M. 2018-c. Virkningen av svært lav vannføring på ungfisk i Lærdalselva høsten 2017. Rapport 44. Ferskvannsbiologen LMS. 53 s.
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Uglem, I., Moore, A., Rikardsen, A. H. & Finstad, B. 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *Journal of Fish Biology* 81, 500-542.
- Weatherley, A. H. 1972. Growth and ecology of fish populations. London; Academic Press.
- Zippin, C. 1958. The removal method of population estimation. *Journal of Wildlife Management* 22, 82-90.
- Østfold Energi. 2019. Manøvreringsreglement og Driftsrestriksjoner (for Lærdalsvassdraget). Internt dokumentnummer 14-009249, rev. 04. av 13. mars 2018. 6 s

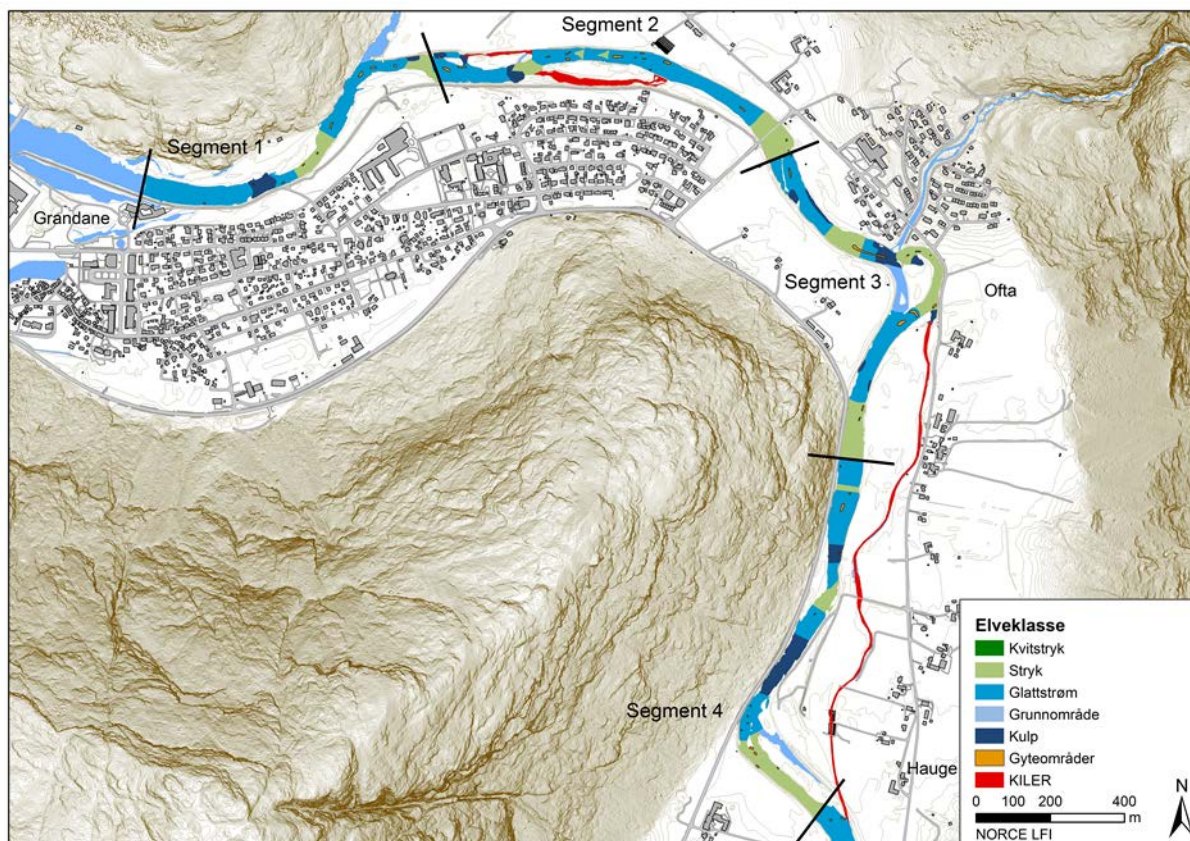
**VEDLEGG A:
Oversikt over elfiskestasjoner**

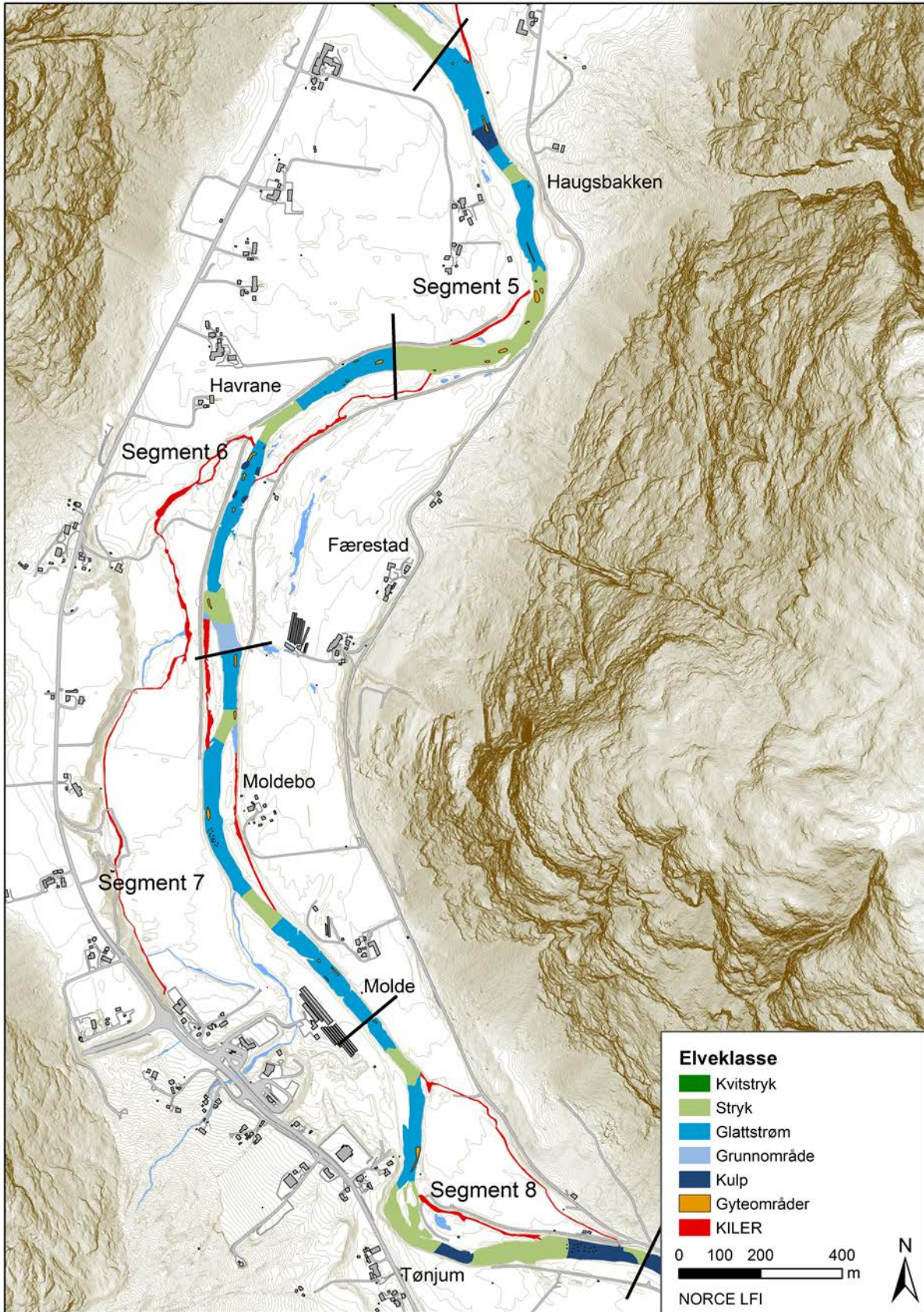
Antall overfiskinger, areal overfisket og antall fisk av hver aldersgruppe fanget på 31 elektrofiskestasjoner i Lærdalselva 25-27.10.2018.

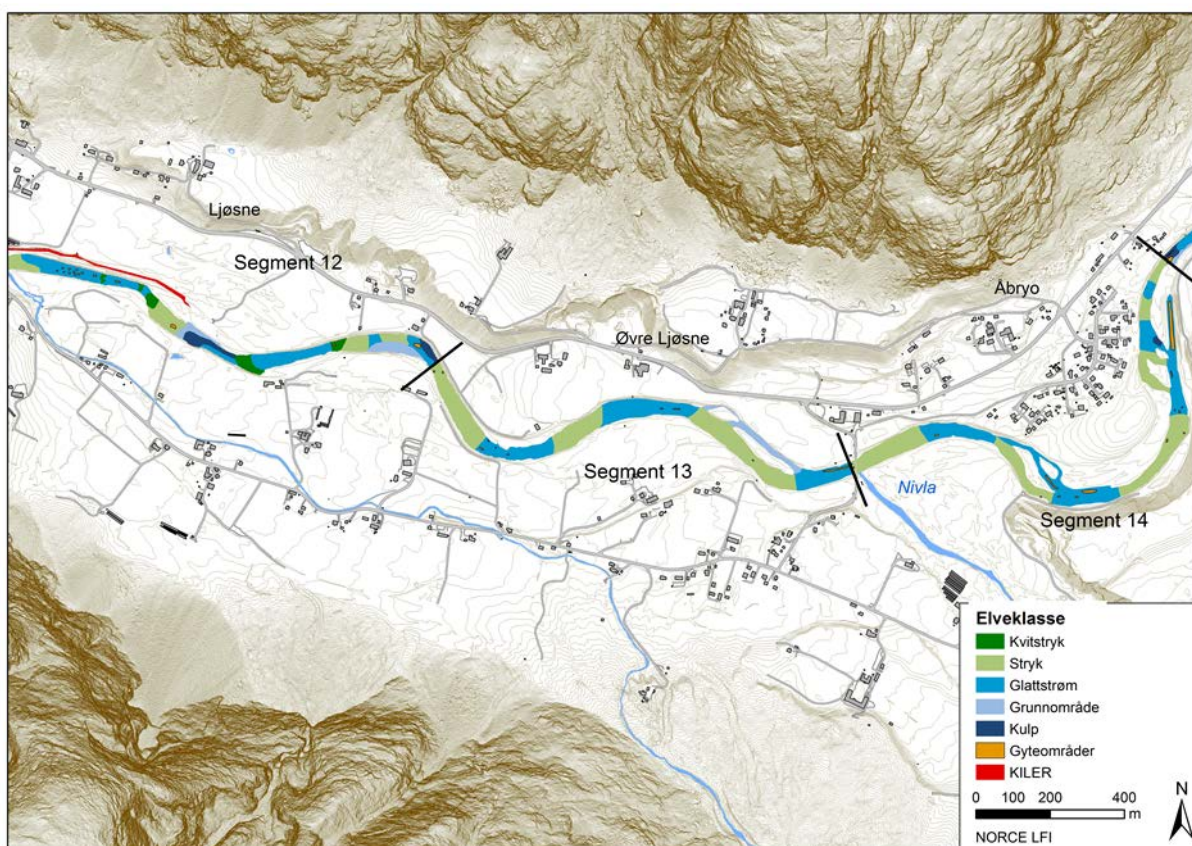
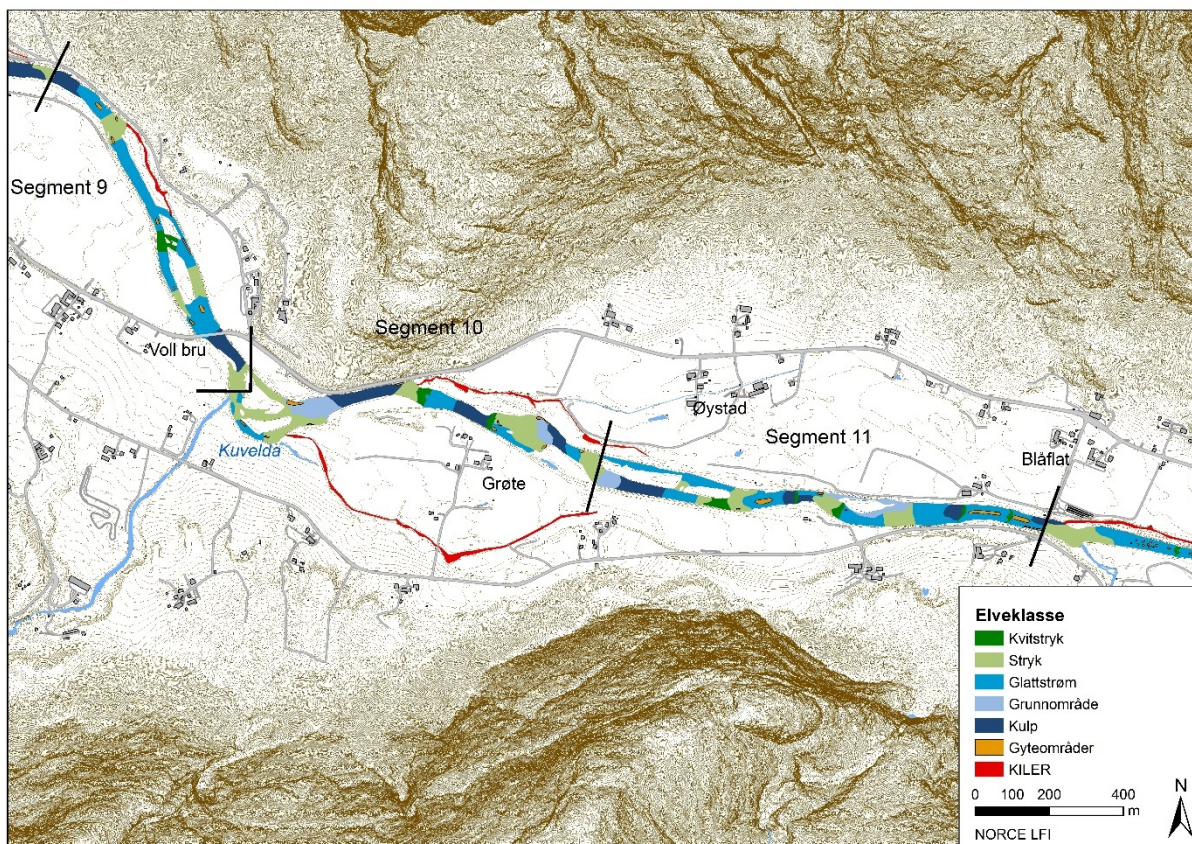
Stasjon	Overfiskinger	Areal (m ²)	Laks					Ørret				
			0+	1+	2+	3+	4+	0+	1+	2+	3+	4+
1.1	1	99	1	1				4				
1.2	1	100	9	26	12			2	1	1		
2.1	1	96	3	5	2			28				
2.2	1	78	10	3	2			7	10	6		1
3.1	1	100	7	6	2	1		2				
3.2	1	99	16	6	14			44	14			
4.1	1	112	8	16	8			117	25	1		
4.2	3	92	21	27	9			52	9			
4.3	1	90	106	33	22			21	5			
5.1	1	60	6	5	1	1		7	1			
5.2	1	99	25	6	7			5	1			
6.1	1	99						9				
6.2	1	100	17	7				28	1	1		
6.3	1	99	3	6	2			2				
7.1	1	102	11	11	4			25	6			
7.2	1	90	5	5	1	2			1			
8	3	99	110	23	12	7	1	7	12			
9.1	1	100	18	13	12			3	1			
9.2	3	98	16	27	37	5		21	8	1	1	
10.1	1	105	12	5	16	3		20	3	2		
10.2	1	100	23	2	12			28	1			
10.3	1	104,5	27	3	14	1		3	1			
10.4	1	81	47	4	10			1				
11	1	98	15	8	22	1		2	14	5		
12.1	1	100	6		1			1				
12.2	1	135	4	6	7			3	3			
13	1	100	12	7	8	1		2	9	7		
14	1	66	6	1	1			1	3	2		
15.1	1	104,5	23	9	2							
15.2	3	98	58	9	6			16				
16	3	84	38	33	41	7	1	4	1	3		
Tot			663	313	287	29	2	465	130	29	1	1

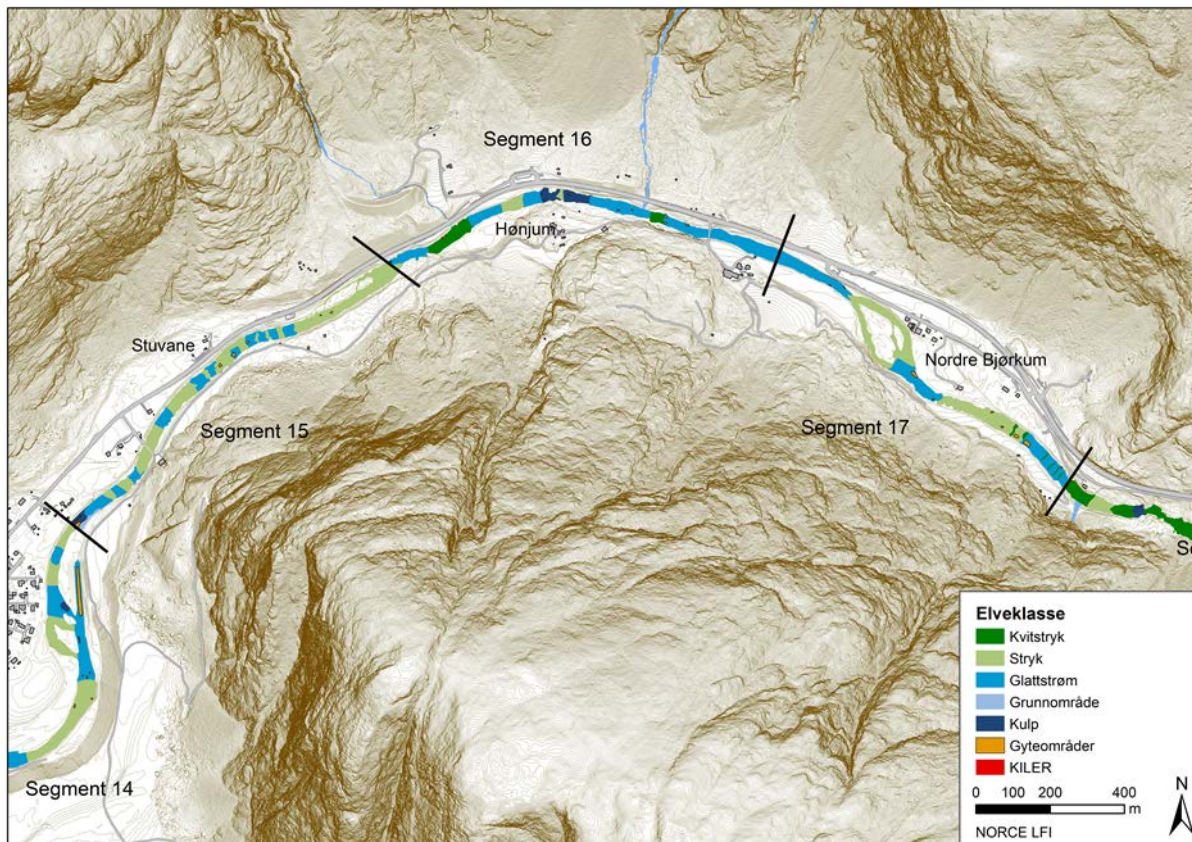
VEDLEGG B:

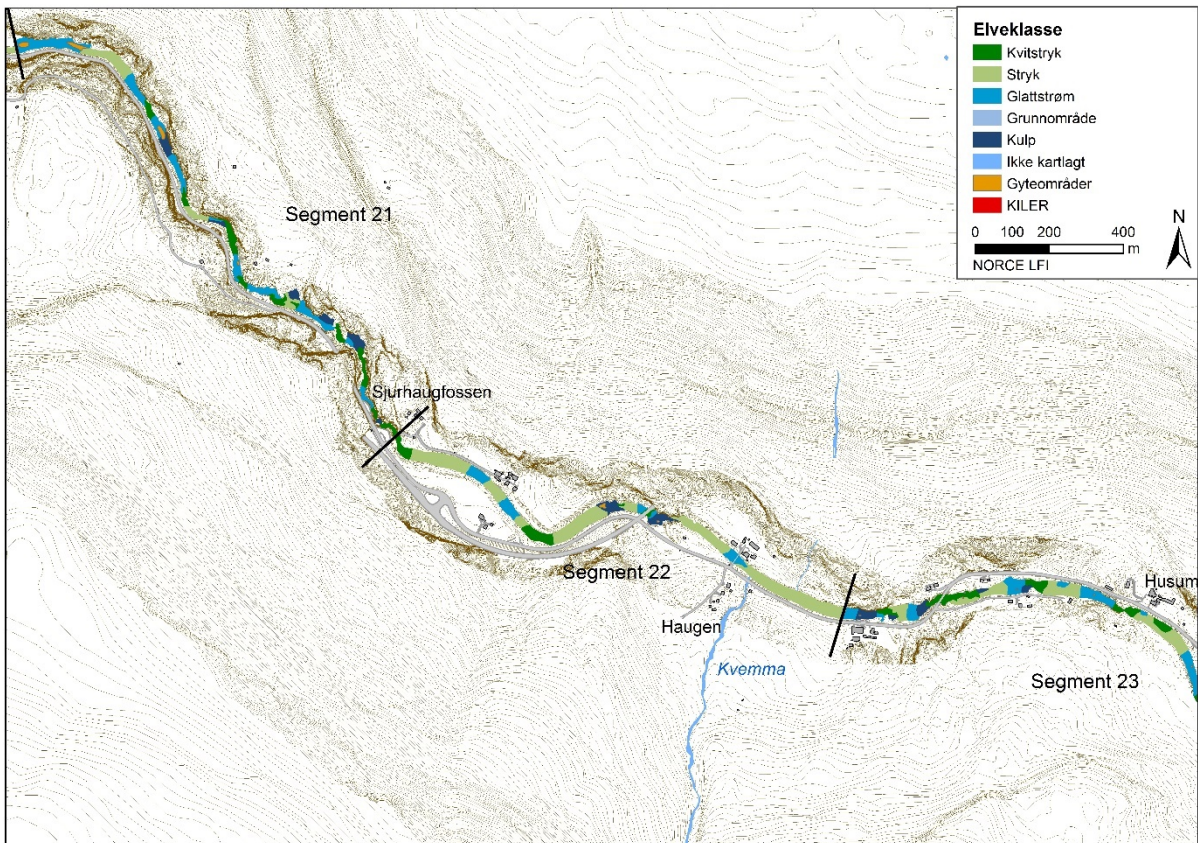
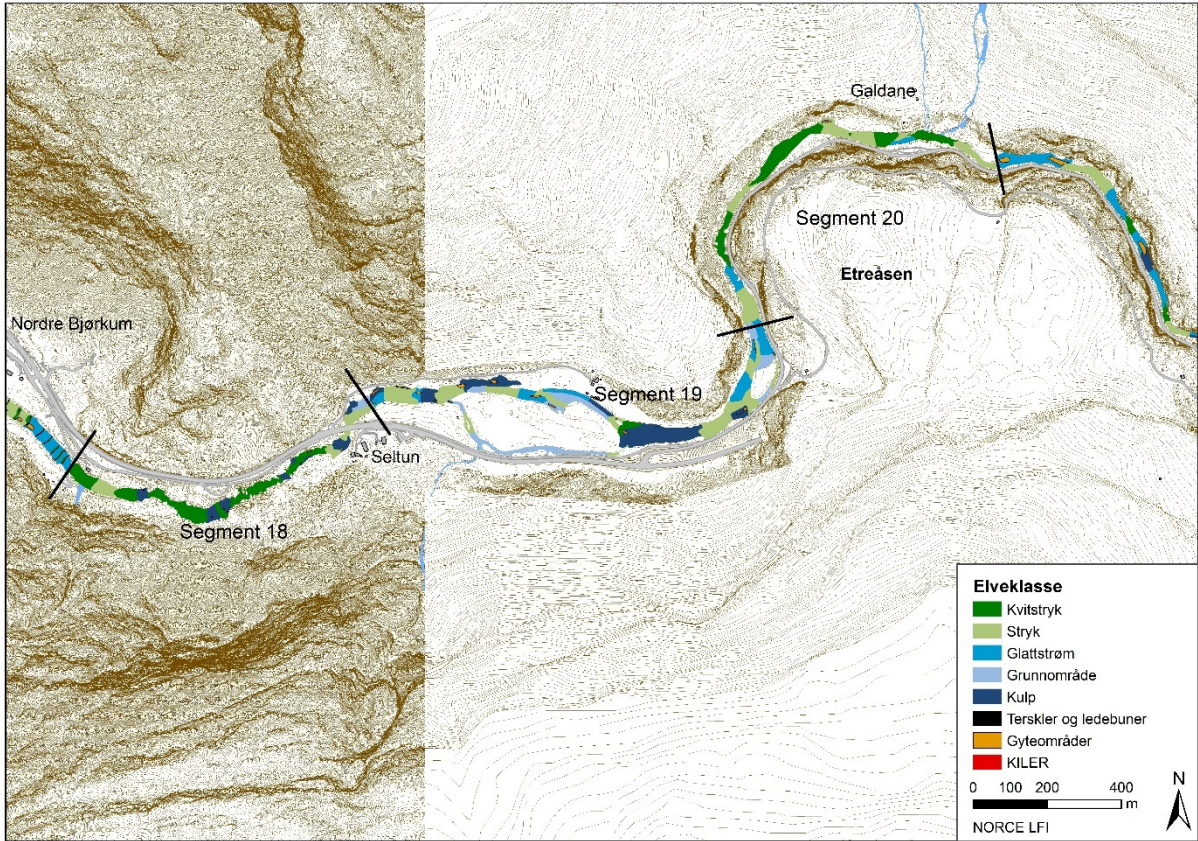
Kart over fordeling av ulike elveklasser på strekningen fra sjø og opp til Heggfoss i Lærdalselva.

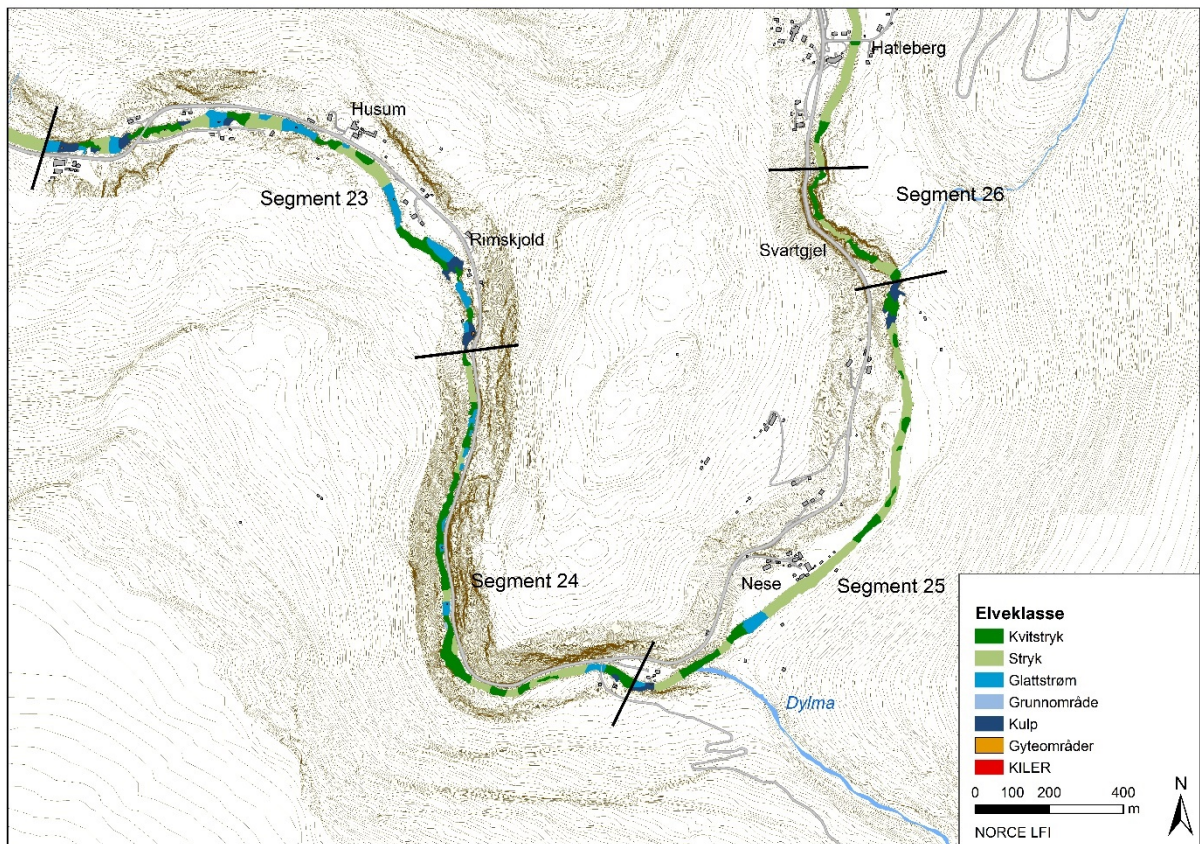


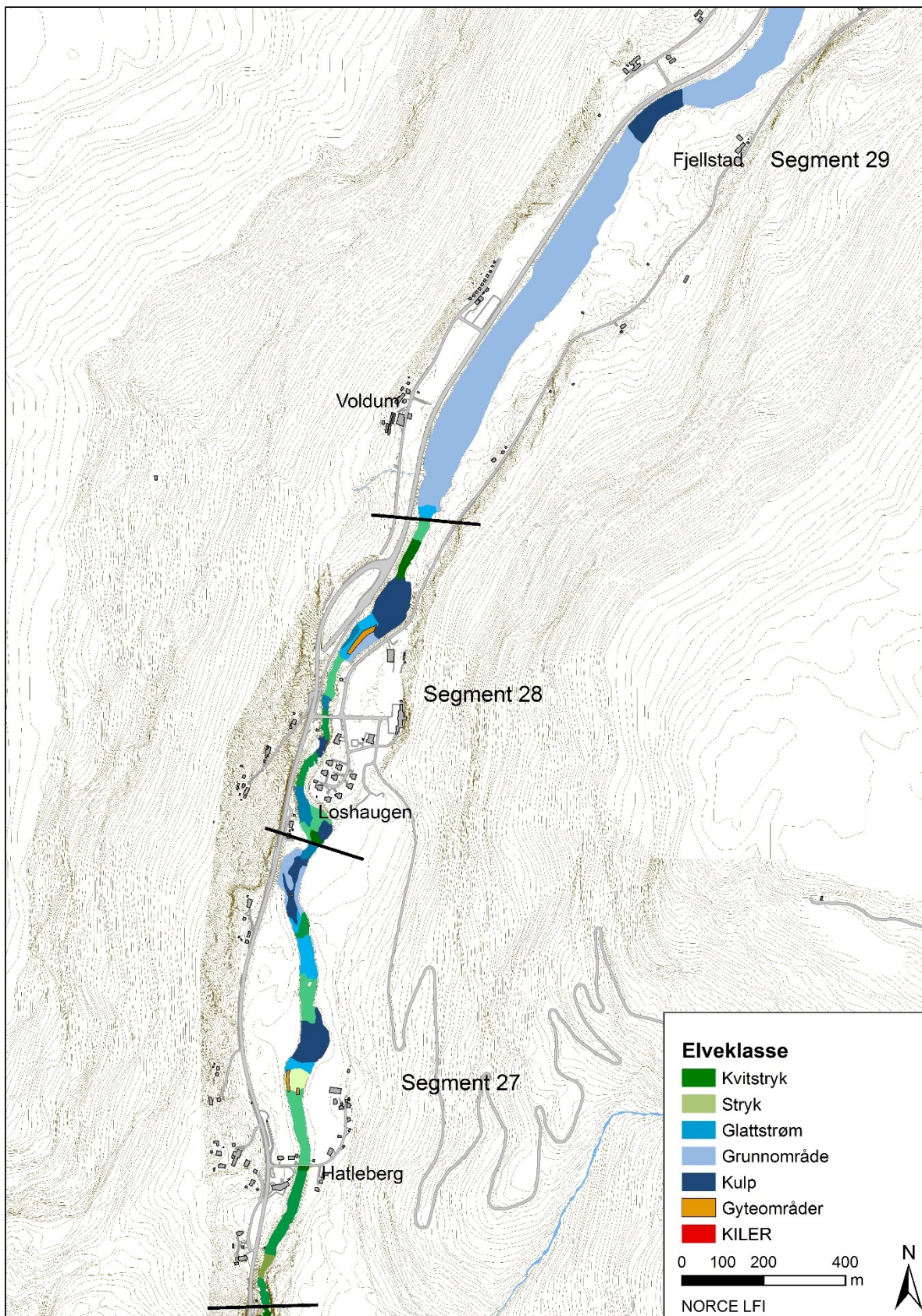


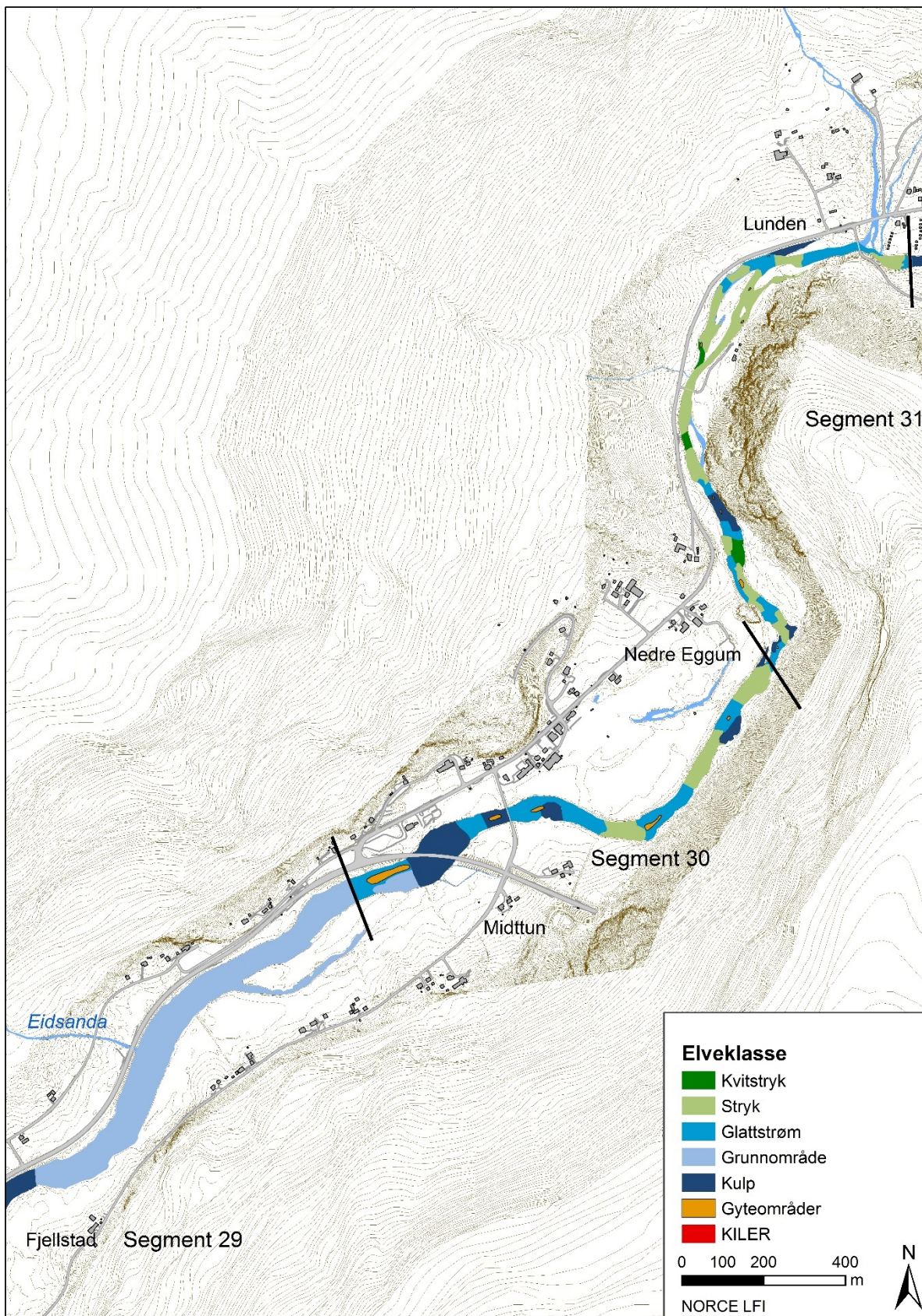


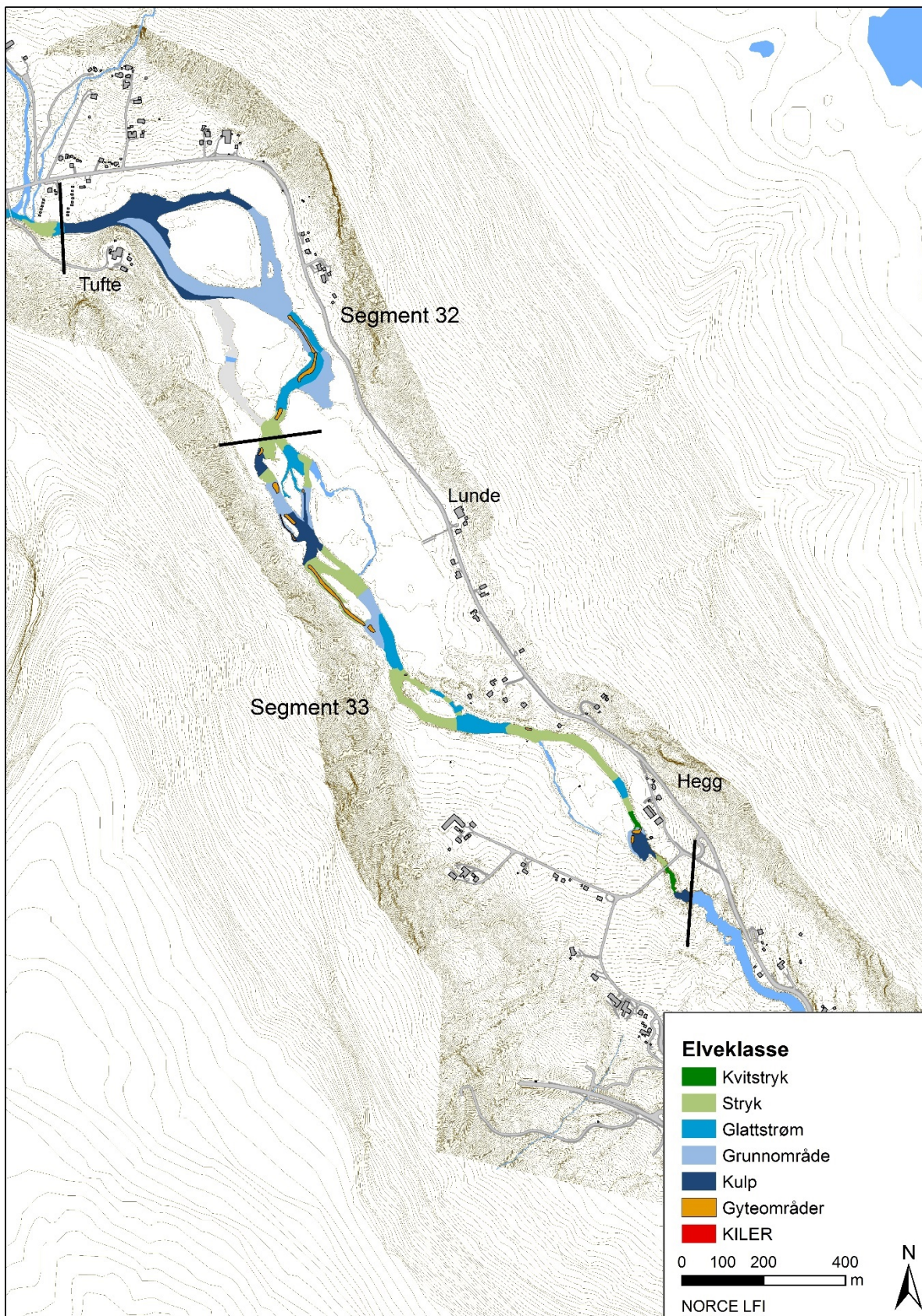






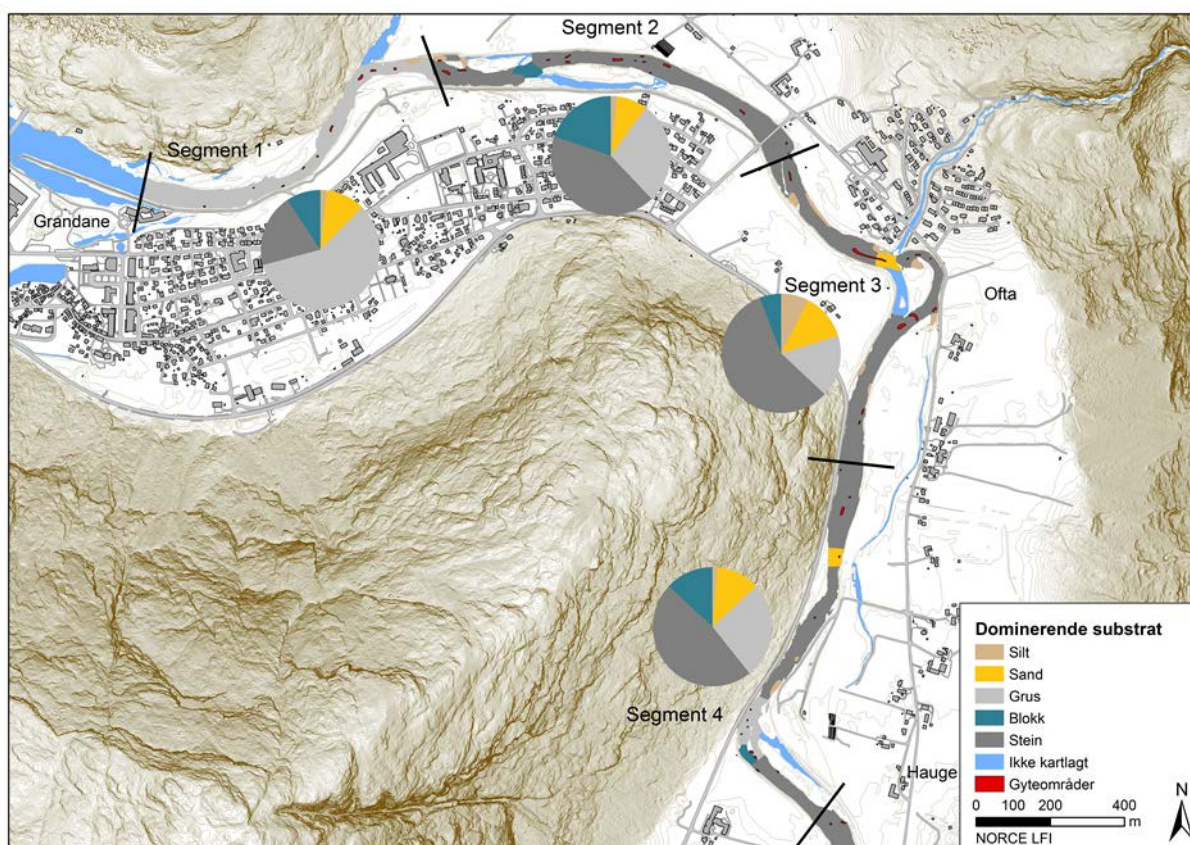


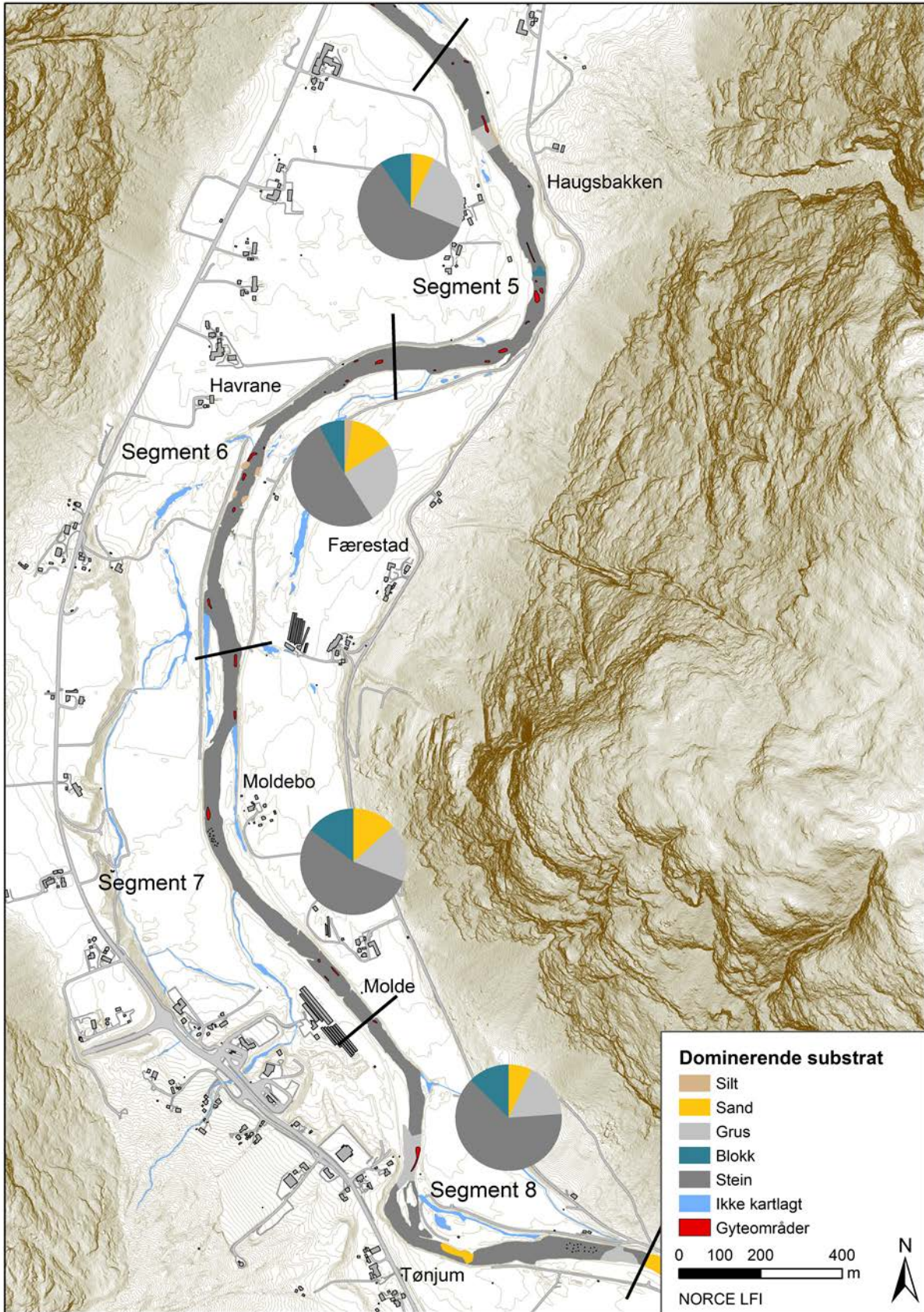


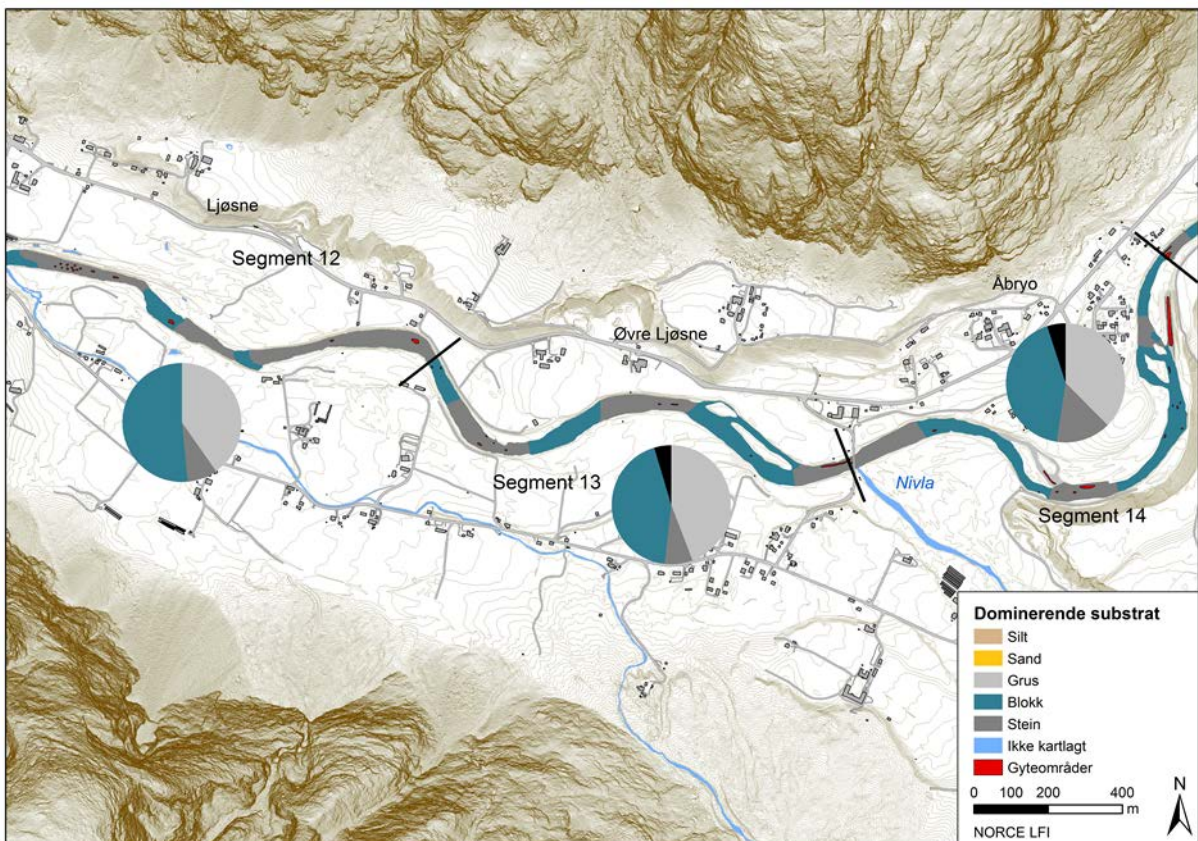
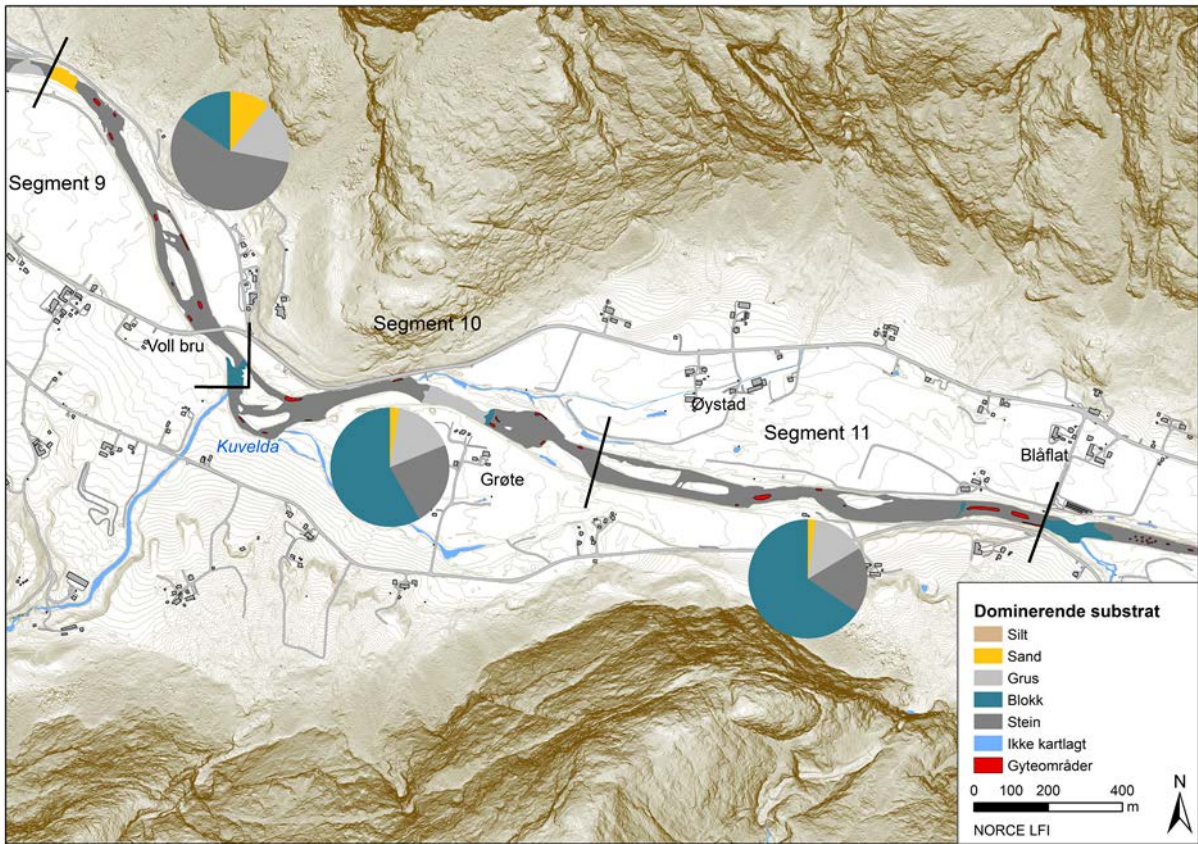


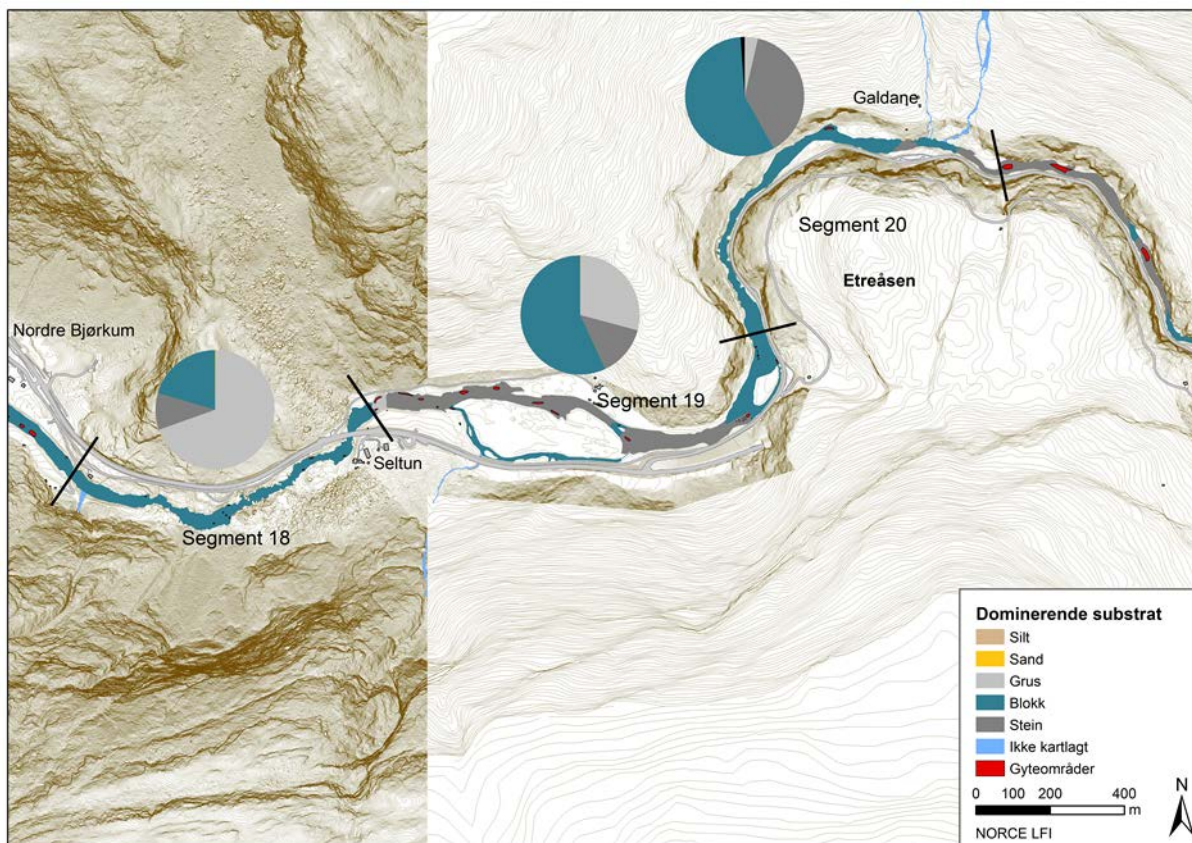
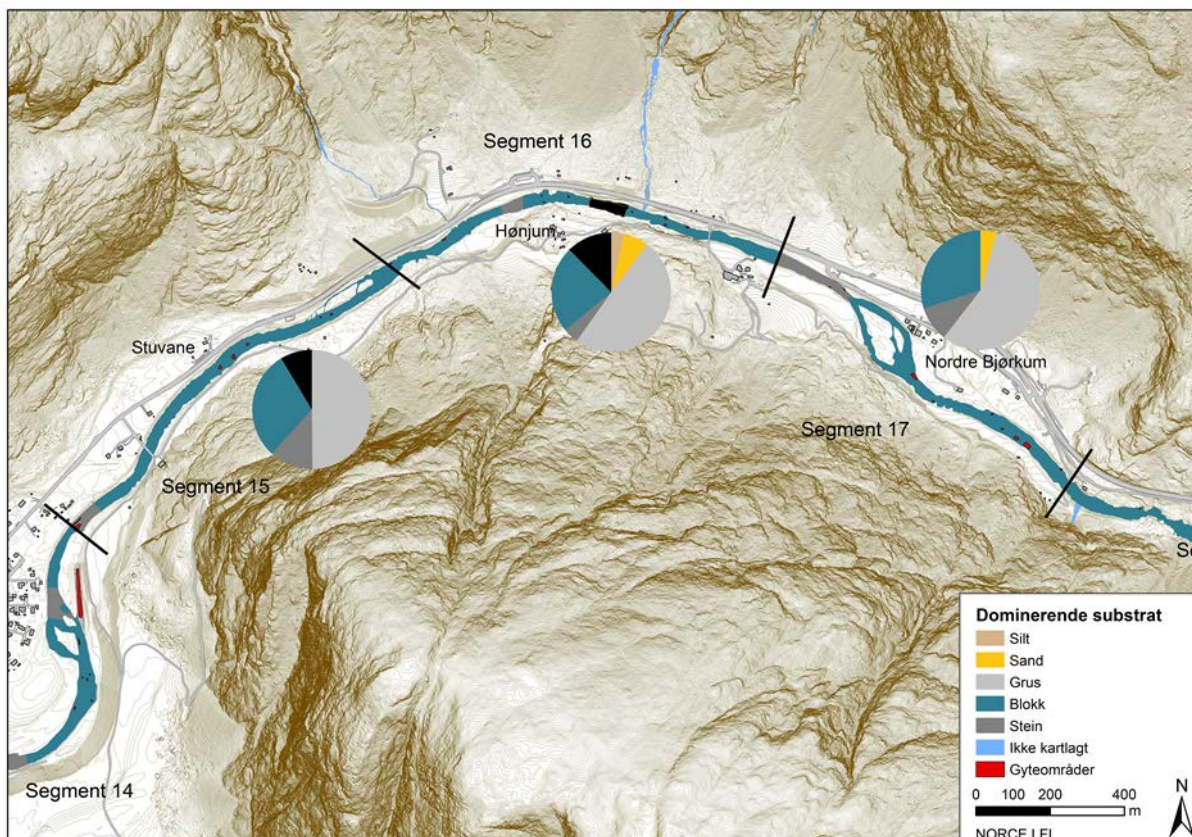
VEDLEGG C:

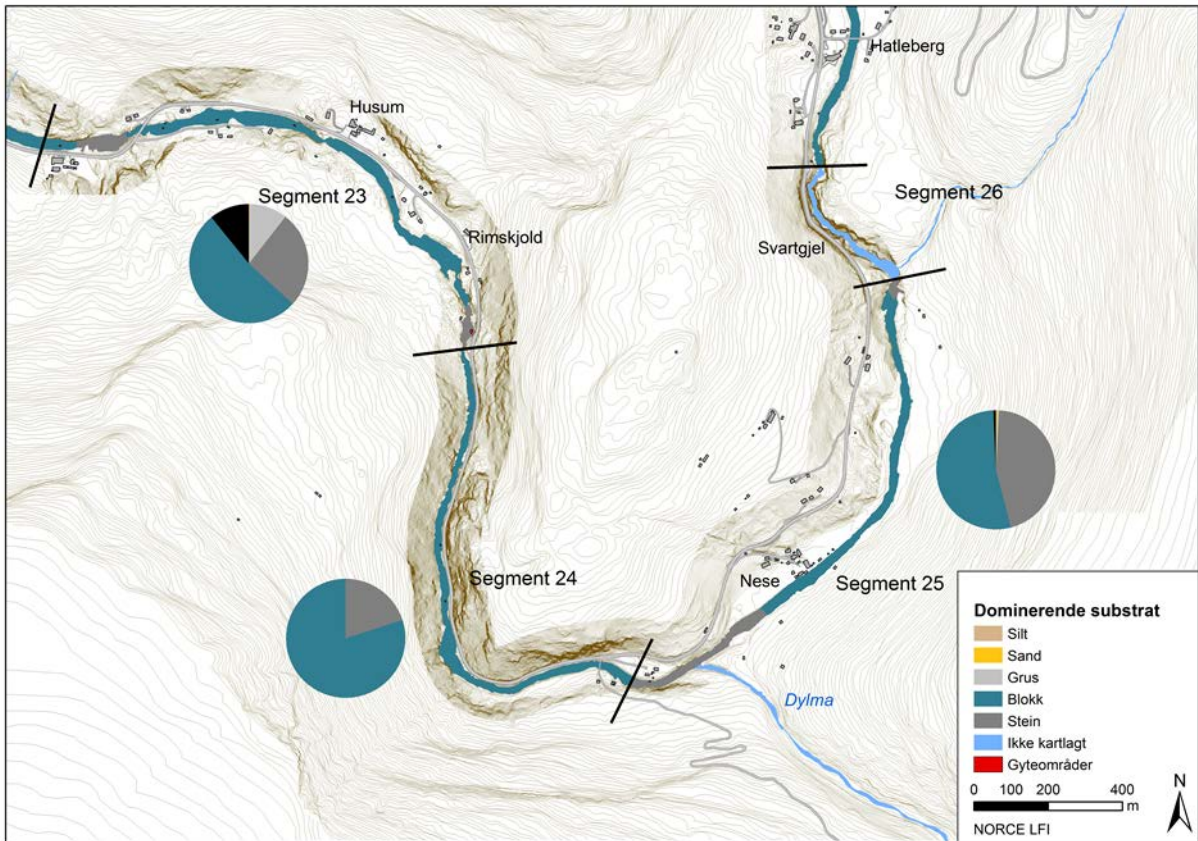
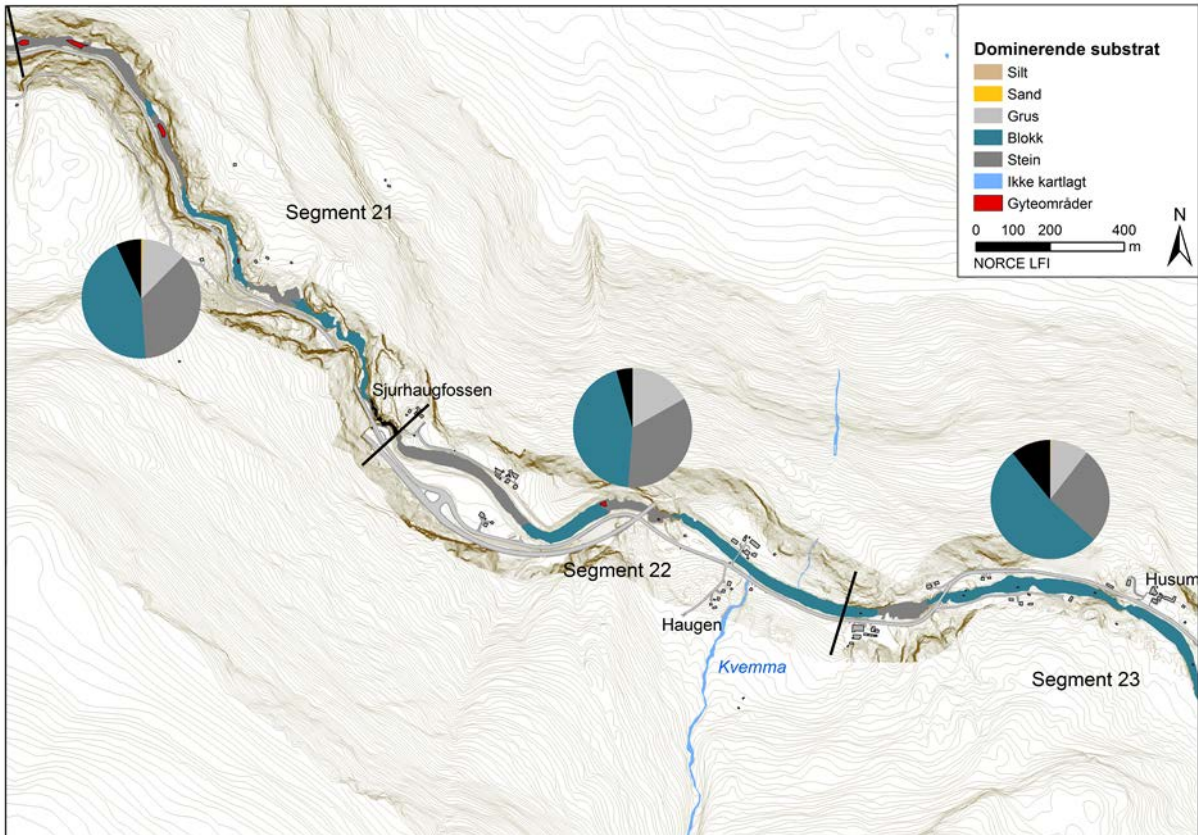
Kart over fordeling av substrat på strekningen fra sjø og opp til Heggfoss i Lærdalselva. Diagrammene viser hvor mye de ulike substratklassene utgjør i dekningsgrad innenfor hvert av segmentene, mens kartet viser hva som er den dominerende substratklassen.

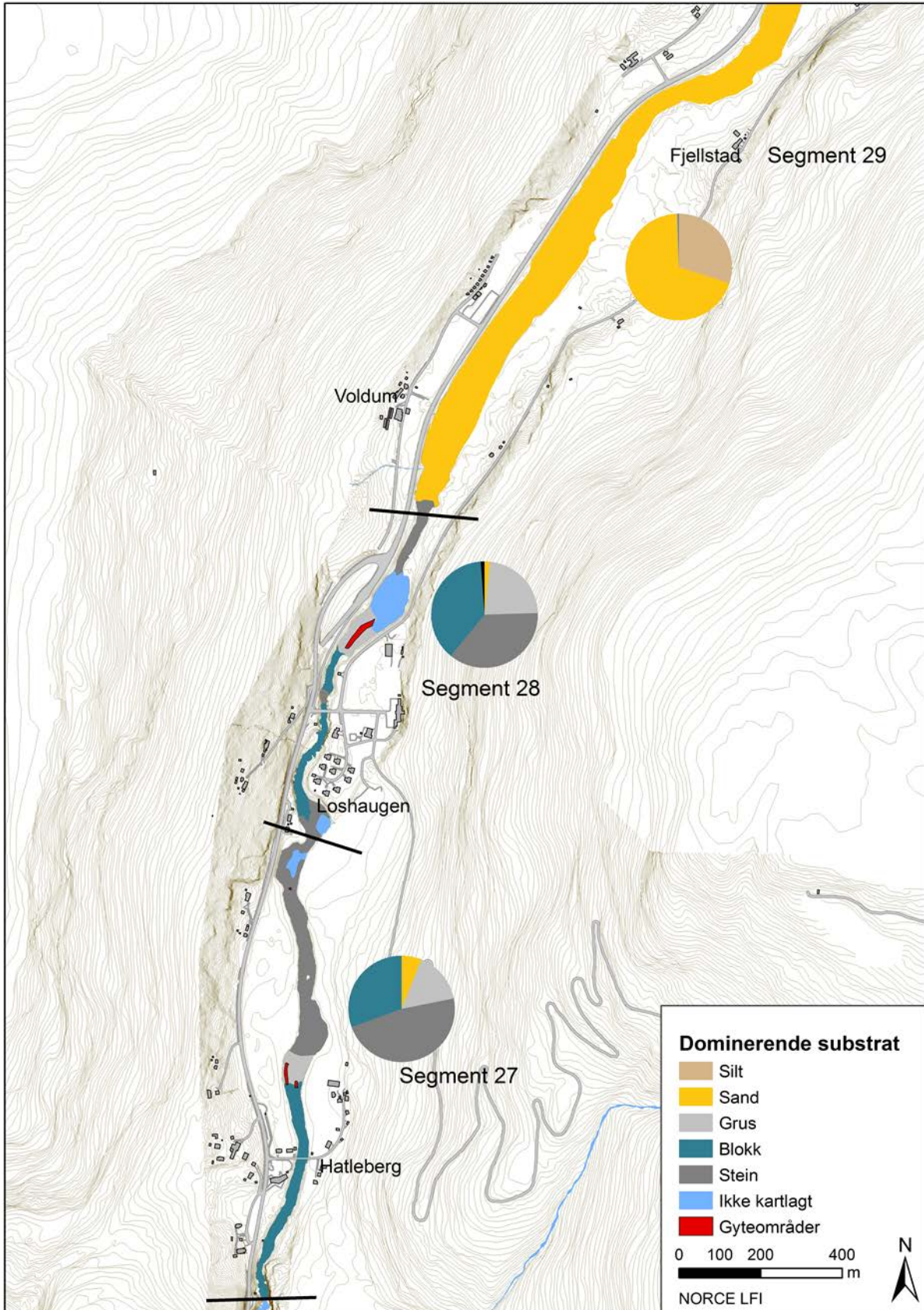


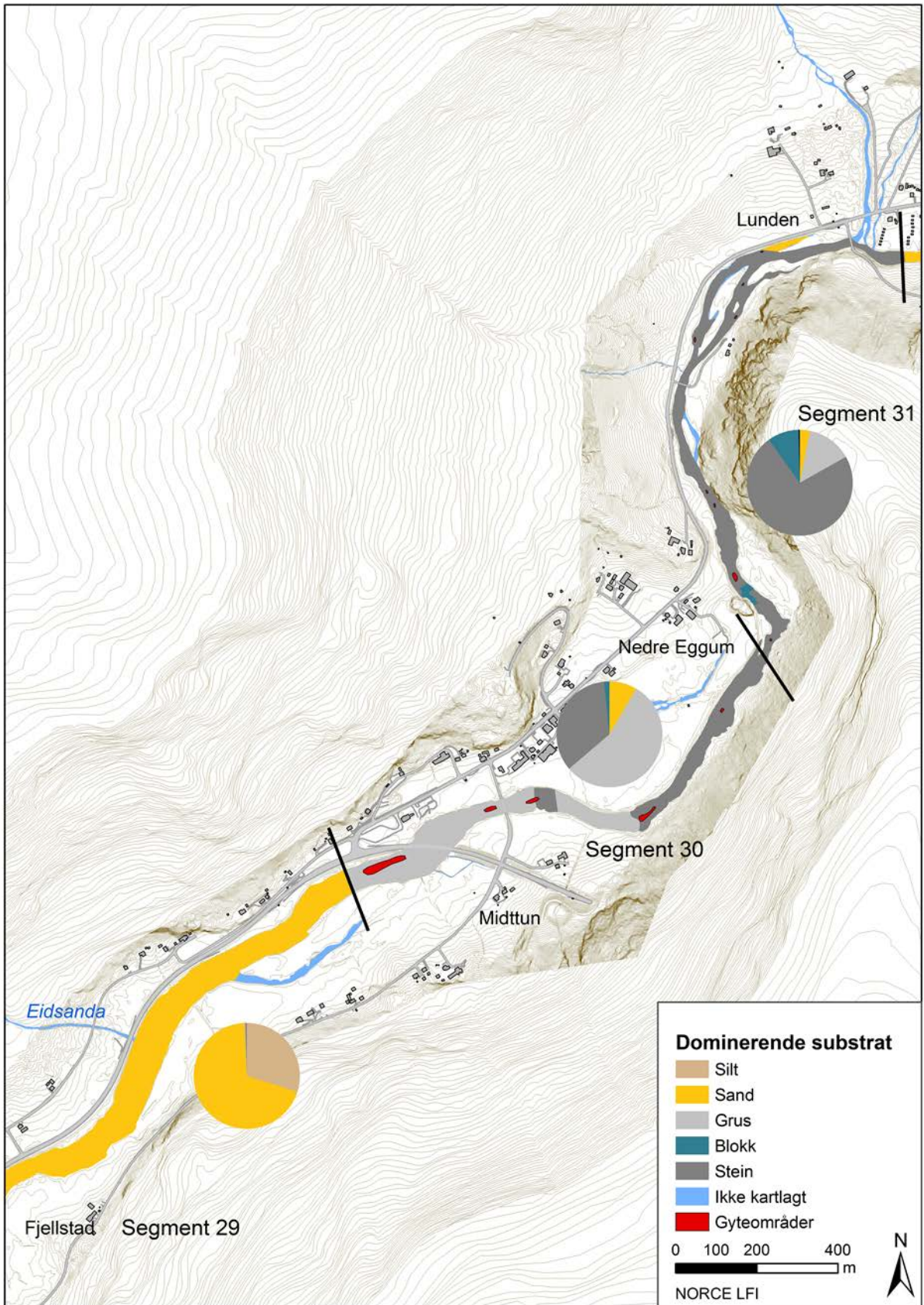


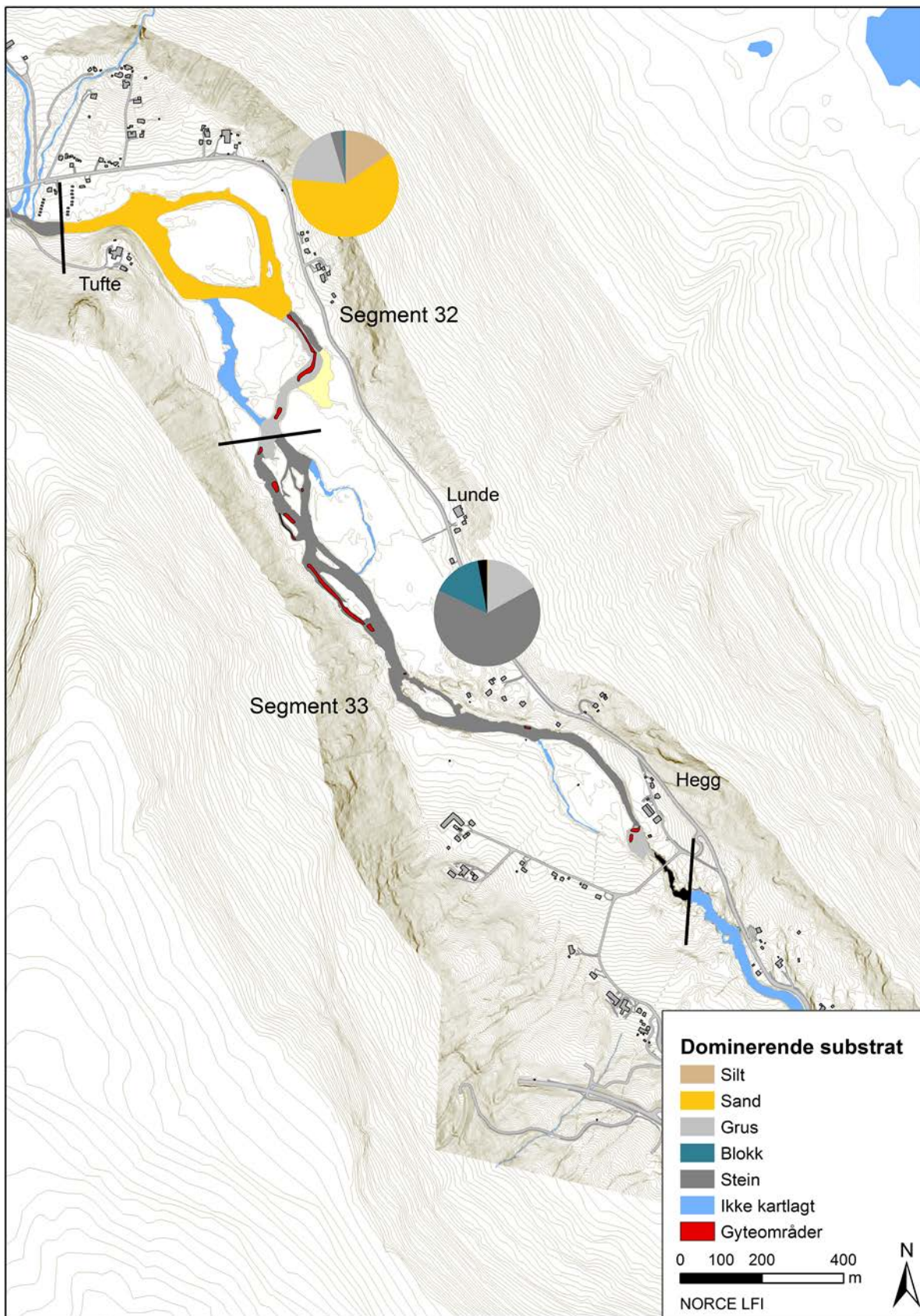






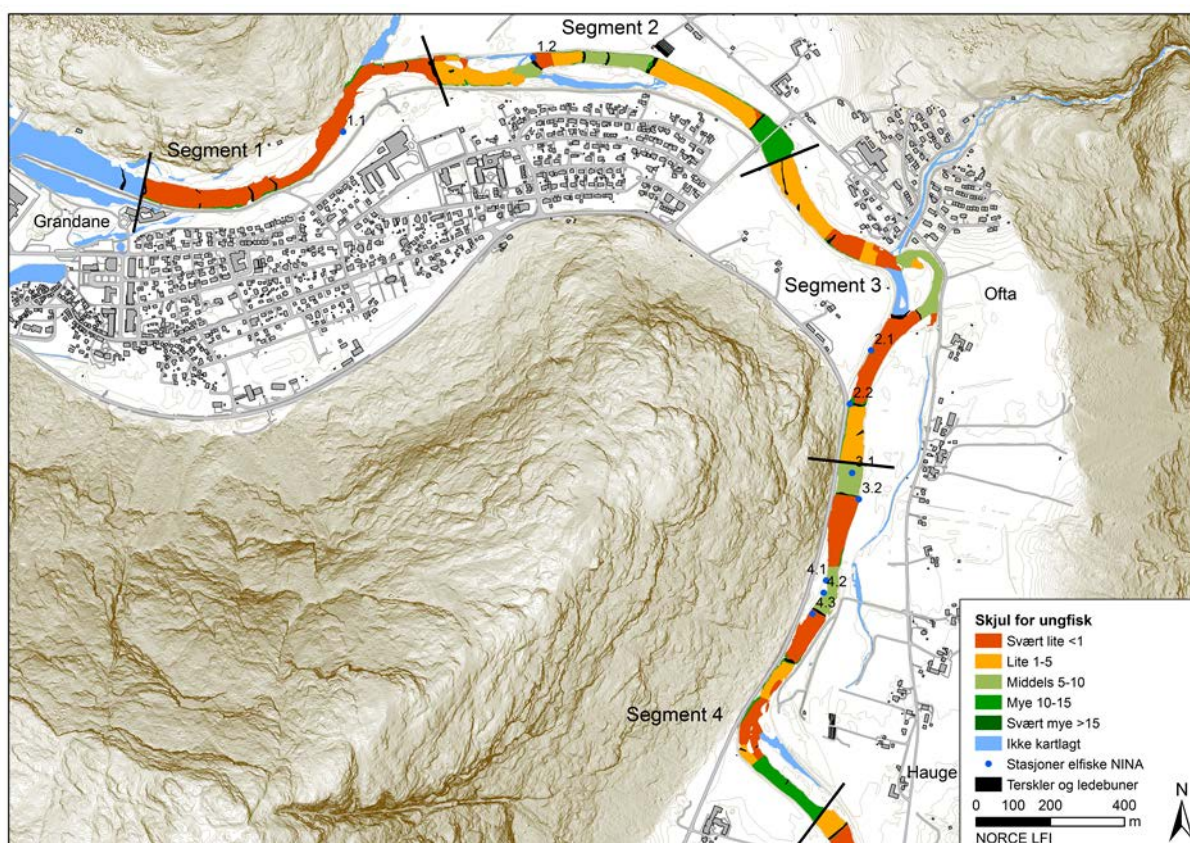


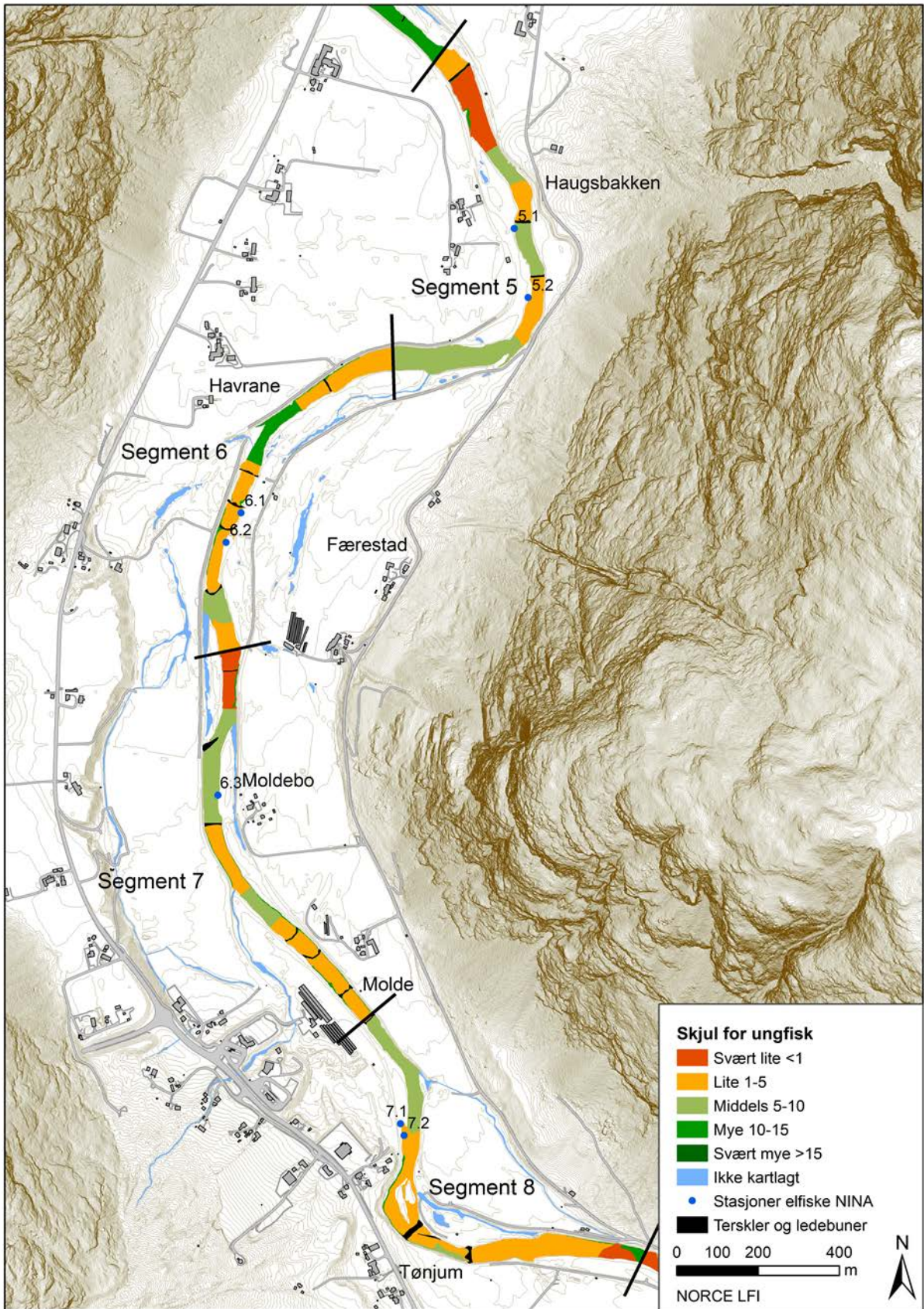


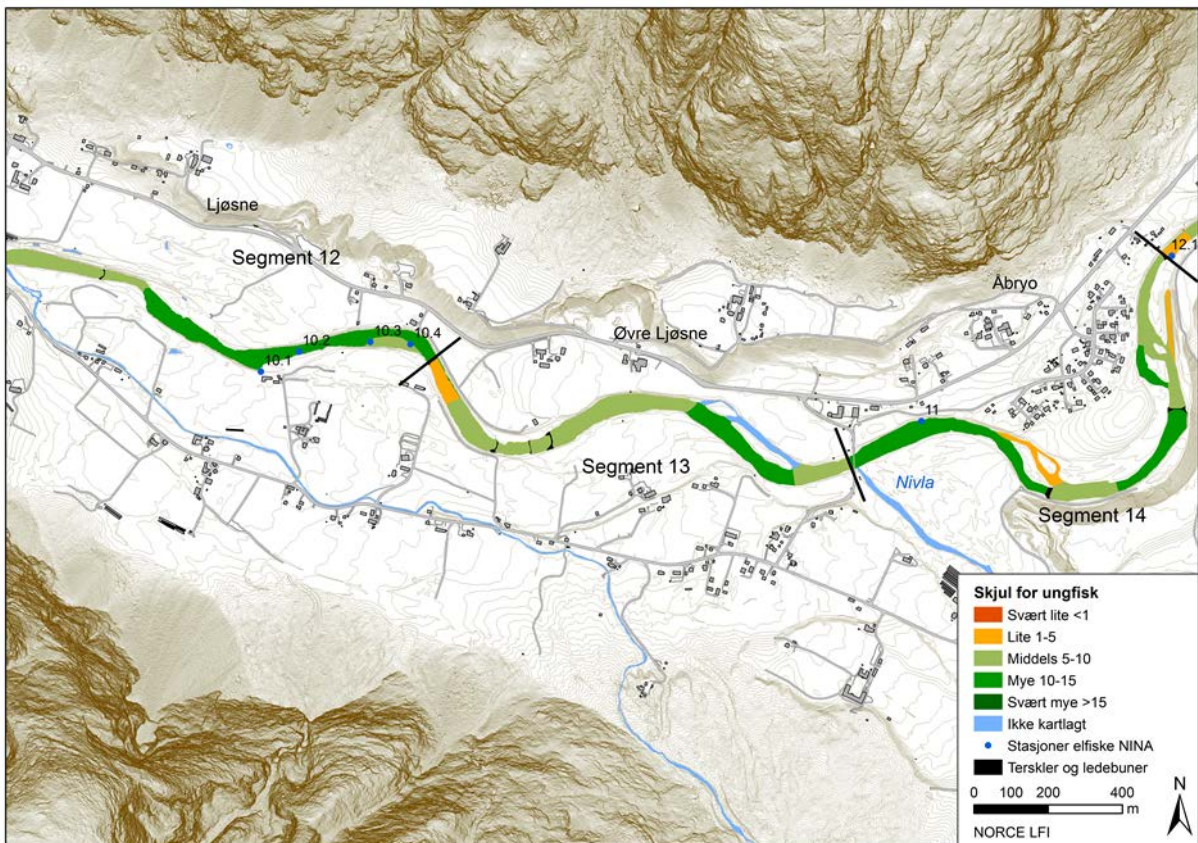
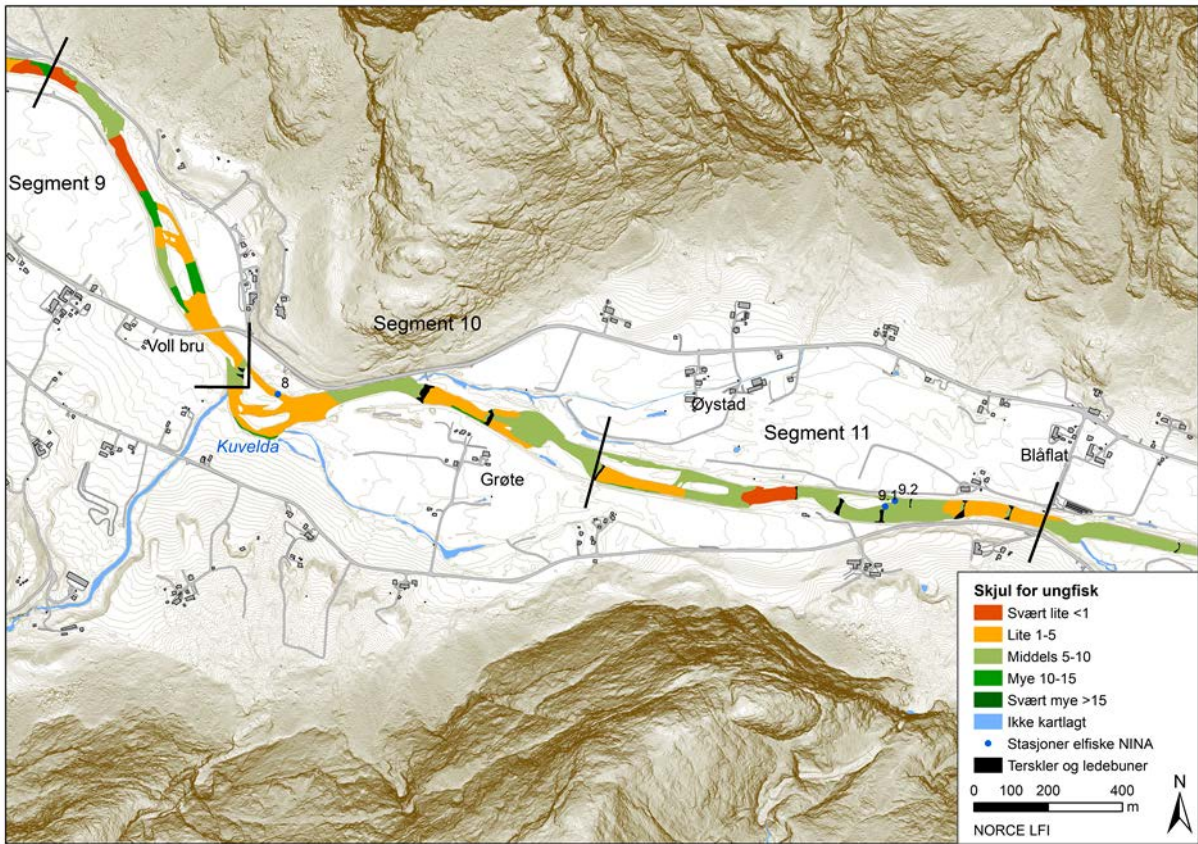


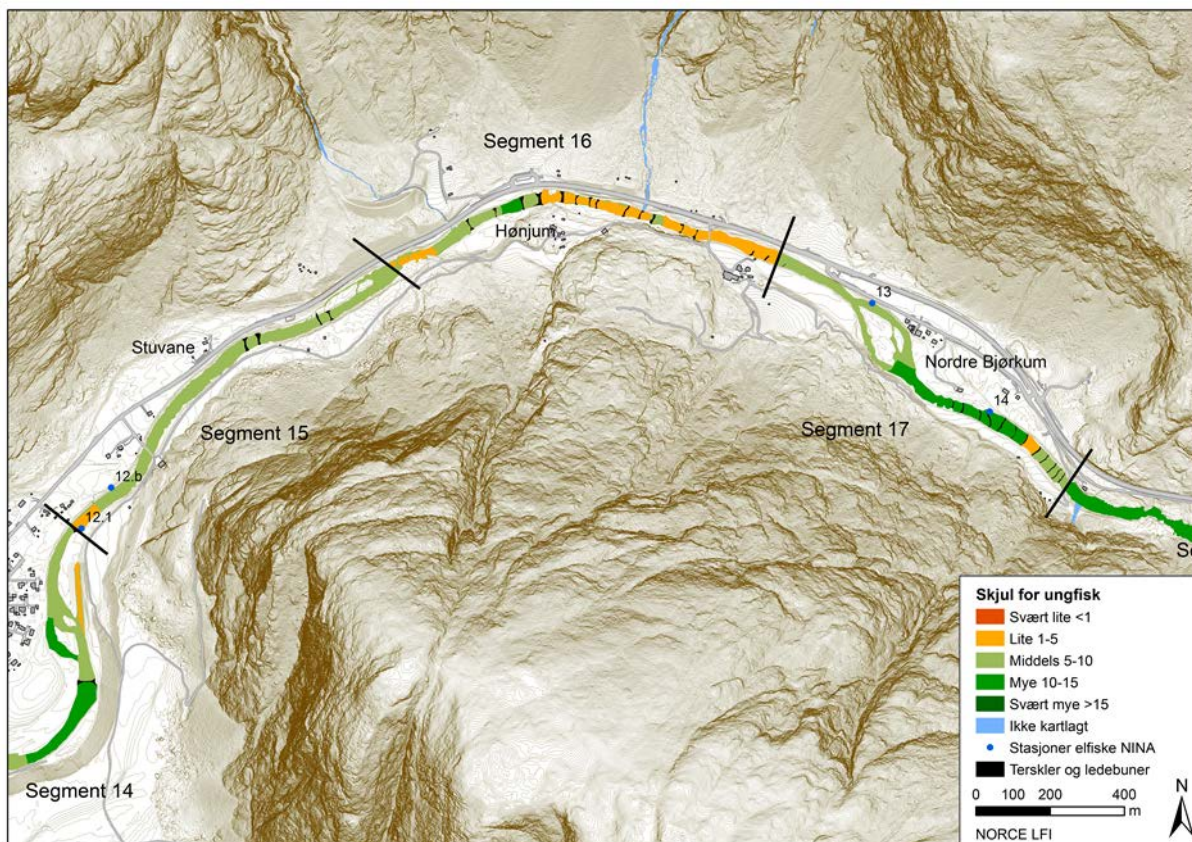
VEDLEGG D:

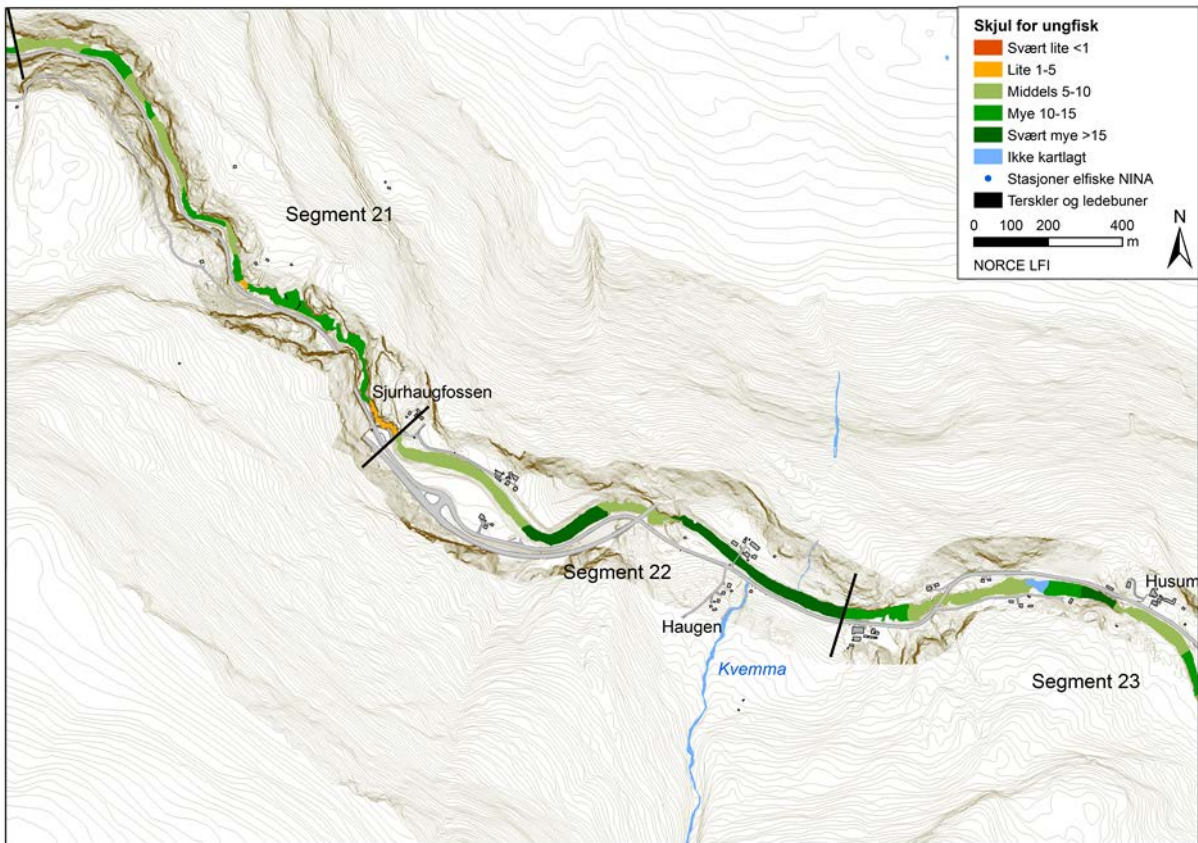
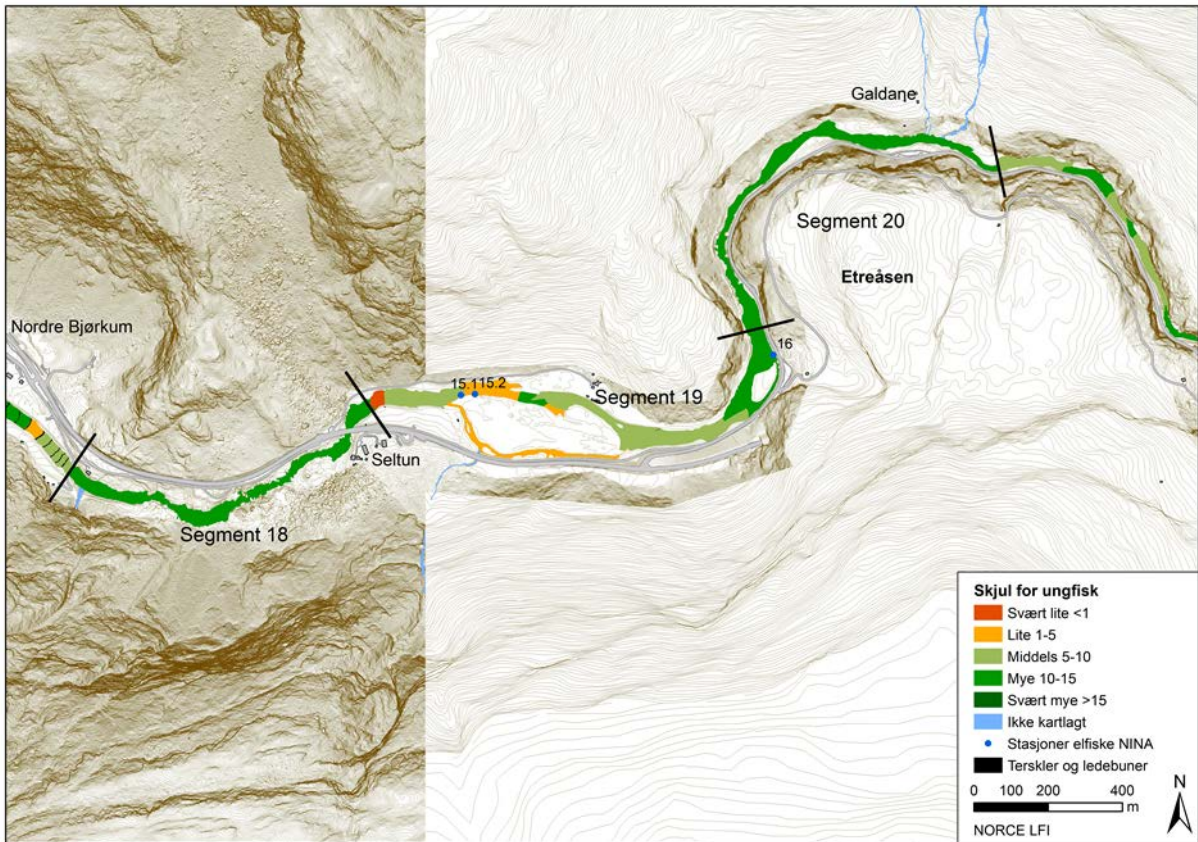
Kart over skjultilgang, terskler og elfiskestasjoner på strekningen fra sjø og opp til Heggfoss i Lærdalselva.

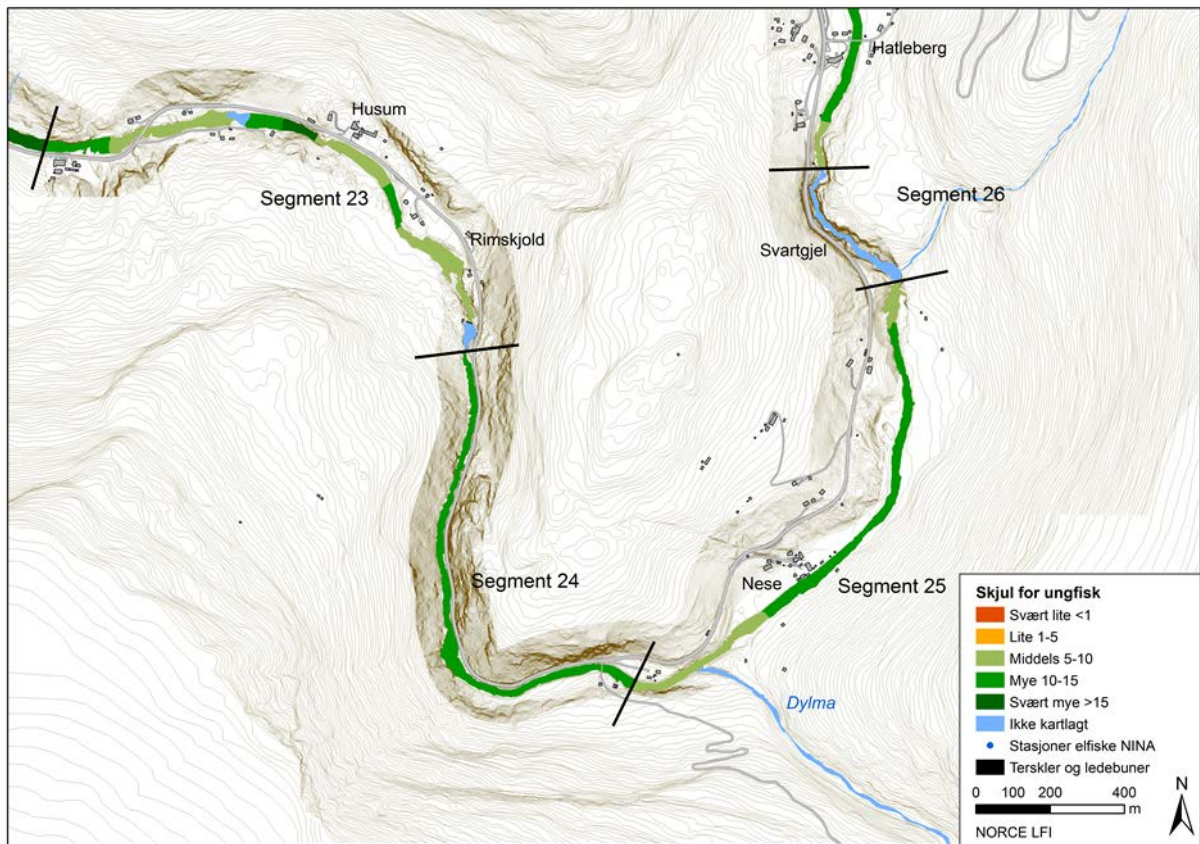


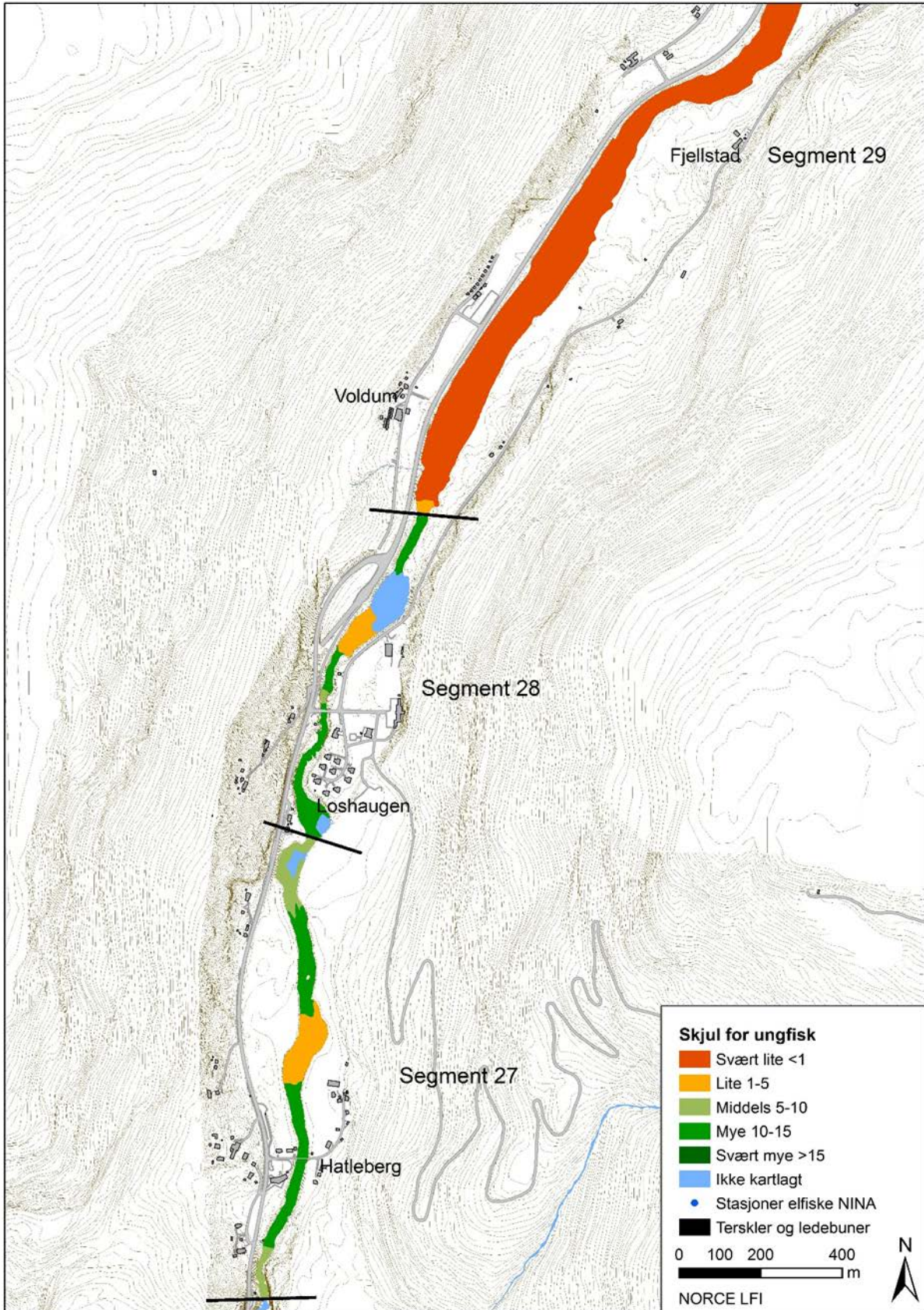


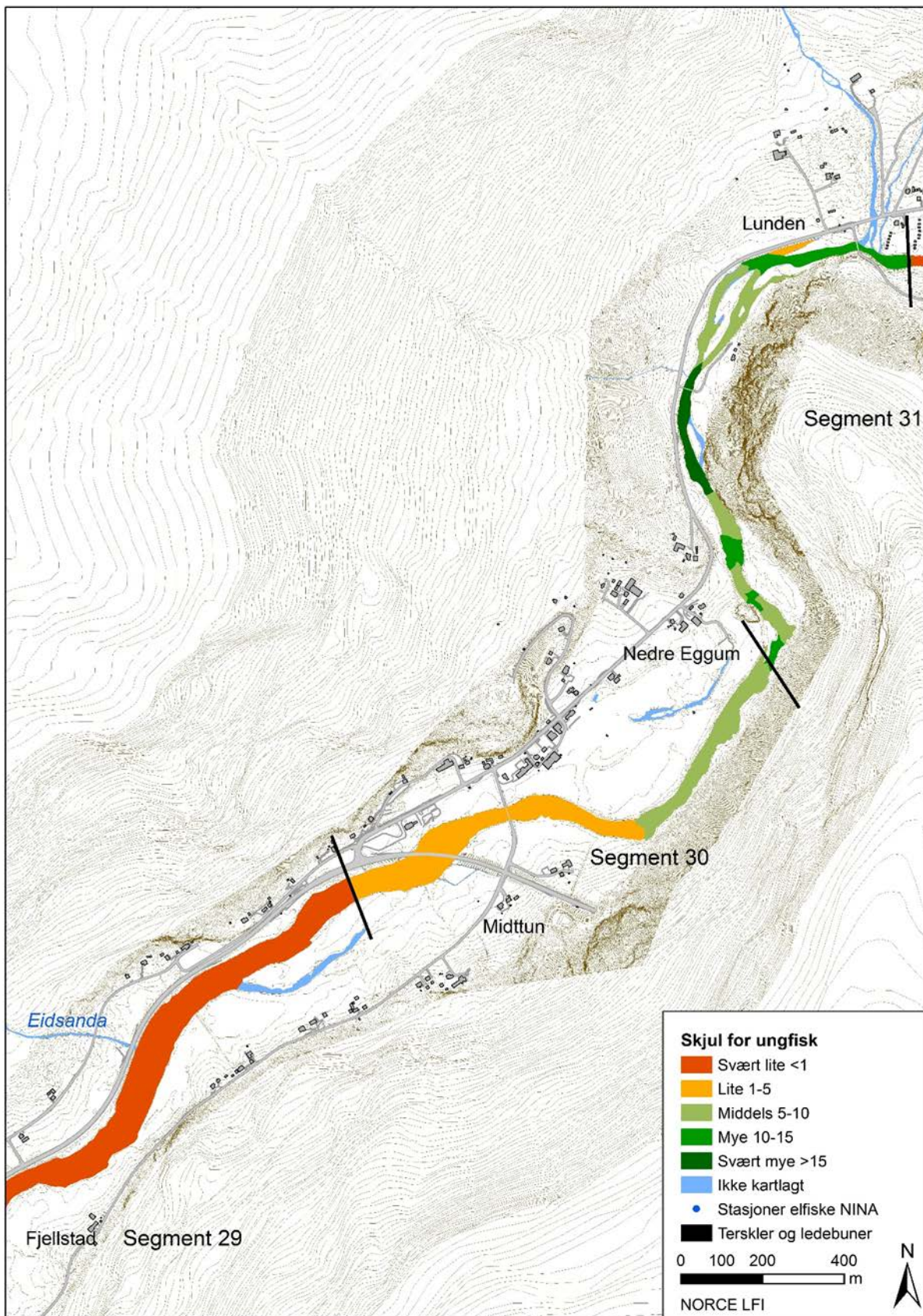


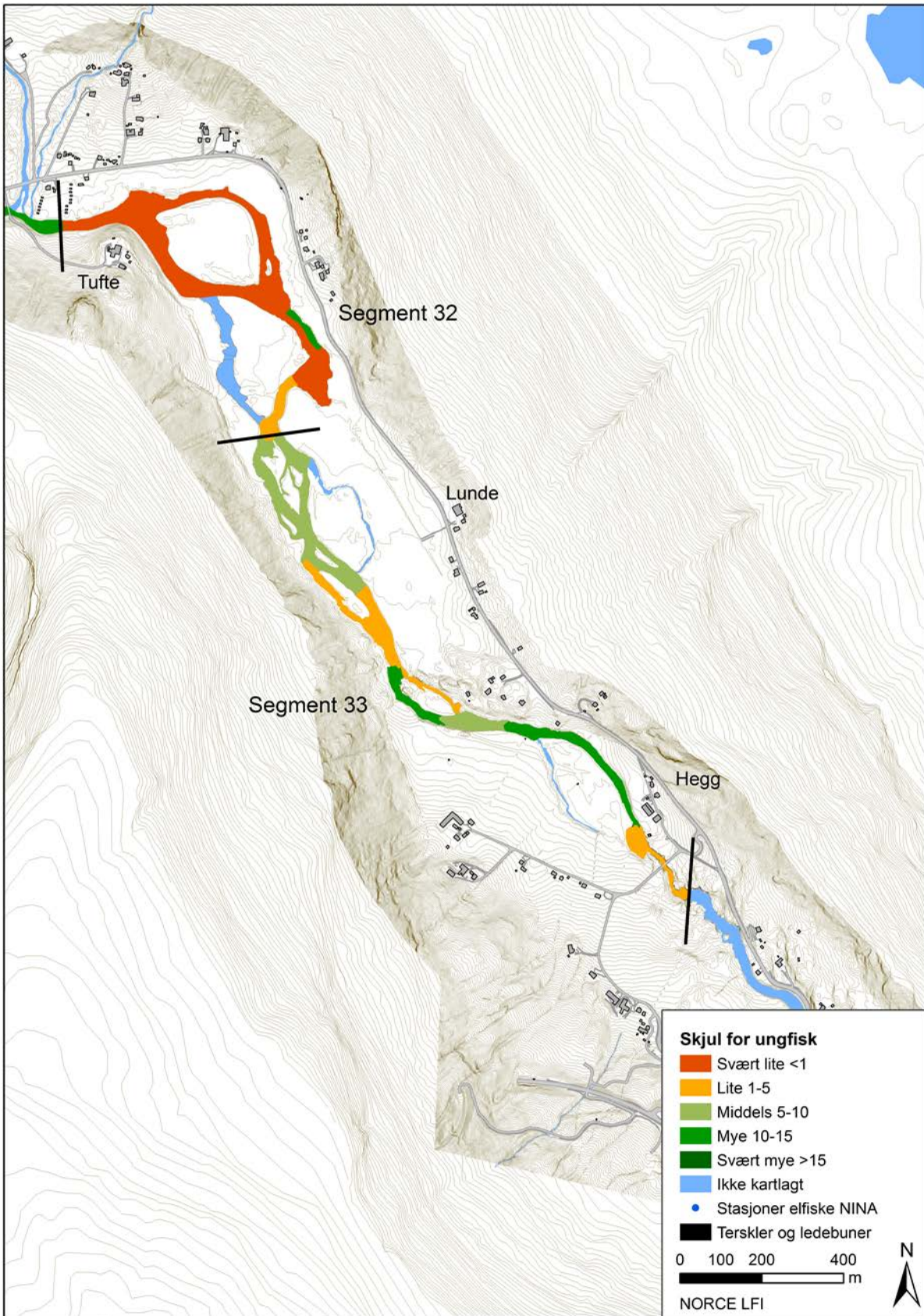














Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no