

BACHELOROPPGAVE

Endring av avrenningsmønster i elver i Indre Sogn som følge av vannkraftproduksjon

Effekter på hydrografiske og økologiske forhold i Indre Sognefjorden

av

222, Grøttå H. Martina

212, Rødland Jostein

230, Trefall Knut

**Alteration of the runoff pattern in rivers in Indre Sogn as a result of
hydroelectric power production**

Fornybar Energi

FE 403

Mai 2016



Avtale om elektronisk publisering i Høgskulen i Sogn og Fjordane sitt institusjonelle arkiv (Brage)

Jeg gir med dette Høgskulen i Sogn og Fjordane tillatelse til å publisere oppgaven (Skriv inn tittel) i Brage hvis karakteren A eller B er oppnådd.

Jeg garanterer at jeg er opphavsperson til oppgaven, sammen med eventuelle medforfattere. Opphavsrettslig beskyttet materiale er brukt med skriftlig tillatelse.

Jeg garanterer at oppgaven ikke inneholder materiale som kan stride mot gjeldende norsk rett.

Ved gruppeinnlevering må alle i gruppa samtykke i avtalen.

Fyll inn kandidatnummer og navn og sett kryss:

222, Grøttå H. Martina

JA NEI

212, Rødland Jostein

JA NEI

230, Trefall Knut

JA NEI

ENDRING AV AVRENNINGSMØNSTER I ELVER I INDRE SOGN SOM FØLGE AV VANNKRAFT PRODUKSJON

Effekter på hydrografiske og
økologiske forhold i Indre Sognefjorden

Bacheloroppgave av:

Martina H. Grøttå

Jostein Rødland

& Knut Trefall

Høgskulen i Sogn og Fjordane

Avdeling for Ingeniør og naturfag.

Fornybar Energi

Mai 2016

Innhold

Figurliste	1
Tabelliste	3
Sammendrag	5
Abstract	8
Forord	11
1 Innledning.....	12
1.1 Klima	16
1.1.1 Flom	18
1.1.2 Isbreer	18
1.2 Saltholdighet og temperatur.....	18
1.3 Ferskvannstilførsel	19
1.4 Estuarin sirkulasjon	19
1.5 Dykket utslipp	21
1.6 Plante- og dyreplankton.....	23
1.7 Liv i elver	24
1.8 Sognefjorden	25
2 Materiale og metode.....	29
2.1 Innhenting av data	29
2.2 Definisjoner	30
3 Resultat.....	32
3.1 Flåmsvassdraget.....	32
3.1.1 Teknisk data	33
3.1.2 Flom	33
3.1.3 Vannføring før og etter regulering	34
3.2 Aurlandsvassdraget.....	35
3.2.1 Teknisk data	36

3.2.2 Vannføring før og etter regulering	39
3.3 Lærdalselva	40
3.3.1 Teknisk data	41
3.3.2 Driftsvannføring og tilsig.....	42
3.4 Nysetelva.....	43
3.4.1 Teknisk data	44
3.4.2 Driftsvannføring og tilsig.....	44
3.5 Årdalsvassdraget.....	46
3.5.1 Teknisk data	46
3.5.2 Vannføring før og etter regulering	47
3.6 Fortundalselva.....	49
3.6.1 Teknisk data	50
3.6.2 Driftsvannføring og tilsig.....	51
3.7 Dalsdalselvi.....	52
3.7.1 Teknisk data	53
3.8 Jostedalselva	54
3.8.1 Teknisk data	55
3.9 Årøyvassdraget.....	57
3.9.1 Teknisk data	58
3.9.2 Driftsvannføring og tilsig.....	59
4 Diskusjon	61
4.1 Usikkerhet	61
4.2 Totalt omfang av vannkraftregulering i Indre Sogn	61
4.3 Forflytningspotensial.....	63
4.4 Endring i avrenningsmønster	65
4.5 Effekter på hydrografiske og økologiske forhold i fjordene	66
4.5.1 Salt	66

4.5.2 Temperatur- og isforhold.....	67
4.5.3 Strøm- og vindforhold.....	69
4.5.4 Liv i fjorden	71
5 Konklusjon	76
6 Referanser	78
6.1 WMS- tjenester:	78
6.2 Rapporter og artikler.....	78
6.3 Personlig meddelelse	83
6.4 Kilder for bilder	83
7 Appendikstabeller	84

Figurliste

FIGUR 1: SAMLET VANNKRAFTPOTENSIAL I NORGE PER 01.01.2014. RESTPOTENSIAL ER BASERT PÅ DIGITAL KARTLEGGING FOR SMÅ KRAFTVERK MED INVESTERINGSGRENSE INNTIL 3 KR/KWH OG SAMLET PLAN FOR VASSDRAG. REFERERT DAGENS KOSTNADSNIVÅ TILSVARER DET EN INVESTERINGSGRENSE PÅ 4-5 KR/KWH. INKLUDERER IKKE POTENSIAL FOR SMÅ KRAFTVERK I VERNEPLAN FOR VASSDRAG. KONSESJON SØKT/MELDT OMFATTER IKKE SAKER SOM LIGGER I KØ (RAMM, 2016 C).....	14
FIGUR 2: GJENNOMSNITT VANNFØRING 2010-2014 I SOGDALSELVA (UREGULERT ELV).....	19
FIGUR 3: TVERRSNITT AV EN FJORD MED TERSKLER OG VANNETS LAGDELING. PILER VISER STRØMMER.....	20
FIGUR 4: DYKKET UTSLIPP I AURLANDSFJORDEN. BASERT PÅ ILLUSTRASJON FRA THENDRUP, 1981.....	22
FIGUR 5: BYGGEKLOSSMETODEN. EKSEMPEL MED VANNFØRINGSKURVE FØR OG ETTER REGULERING OG VIKTIGE VANNFØRINGSBOKSER. VARIGHET (X-AKSEN) OG VANNFØRING (Y- AKSEN) GIR VANNSLIPPETS STØRRELSE (AREAL AV BOKSENE) SOM SAMLET SUMMERES TIL STREKNINGENS VANNBANK. 1= EGGOVERLEVELSE OG VINTERHABITAT, 2= SMOLTUTVANDRING, 3=SPYLEFLOMMER, 4=UNGFISKVEKST, 5=UNGFISKHABITAT, 6=LOKKEFLOMMER FOR FISKE/GRYTEVANDRING, 7=GYTING. FARGE ANGIR PRIORITERING (FRA ORANGE FLASKEHALSER OG STYRKEN AV DISSE). ILL.: SINTEF (VALMOT 2014).....	24
FIGUR 6: KART OVER SOGNEFJORDEN. MARKERT OMRÅDE VISER INDRE SOGN.....	25
FIGUR 7: KART OVER INDRE SOGN. OPPGAVENS AVGRENSEDE OMRÅDE MED MARKERING AV KRAFTVERK MED DIREKTE UTLØP TIL SOGNEFJORDEN.....	27
FIGUR 8: KRAFTVERK TILKNYTTET FLÅMSVASSDRAGET. GUL PRIKK HENVISER TIL KRAFTVERK, RØD PRIKK HENVISER HVOR VANNET FRA NEDBØRSFELTET RENNER UT I FJORDEN.....	32
FIGUR 9: VANNFØRING UNDER HØSTFLOMMEN 2014, MÅLT I M ³ /S.....	34
FIGUR 10: GJENNOMSNITT VANNFØRING FØR OG ETTER REGULERING I FLÅMSVASSDRAGET. DATA FRA NVES MÅLESTASJON 72.5.0, VED BREKKE BRU.....	34
FIGUR 11: NEDBØRSFELT, AURLANDSVASSDRAGET. GUL PRIKK HENVISER TIL KRAFTVERK, RØD PRIKK HENVISER HVOR VANNET FRA NEDBØRSFELTET RENNER UT I FJORDEN.....	36
FIGUR 12: GJENNOMSNITT VANNFØRING I DYKKET UTSLIPP TIL AURLAND 1V.....	37
FIGUR 13: GJENNOMSNITT VANNFØRING FØR OG ETTER REGULERING I AURLANDSVASSDRAGET. DATA FRA NVES MÅLESTASJON 72.7.0, VED VASSBYGDVATN. NVE HAR IKKE DATA FRA 2013 VED MÅLESTASJON 72.7.0.....	39
FIGUR 14: NEDBØRSFELT, LÆRDALSELVA. GUL PRIKK HENVISER TIL KRAFTVERK, RØD PRIKK HENVISER HVOR VANNET FRA NEDBØRSFELTET RENNER UT I FJORDEN.....	40
FIGUR 15: GJENNOMSNITT DRIFTSVANNFØRING OG TILSIG 2003-2015 I LÆRDALSELVA. GRAF BASERT PÅ DATA FRA ØSTFOLD ENERGI.....	42

FIGUR 16: NEDBØRSFELT, NYSETELVA. GUL PRIKK HENVISER TIL KRAFTVERK, RØD PRIKK HENVISER HVOR VANNET FRA NEDBØRSFELTET RENNER UT I FJORDEN. FOSSDAL LIGGER UTENFOR DET NATURLIGE NEDBØRSFELTET OG ER DERFOR IKKE MED PÅ FIGUREN.	43
FIGUR 17: GJENNOMSNITT DRIFTSVANNFØRING OG TILSIG 2003-2015 I NYSETELVA. GRAF BASERT PÅ DATA FRA ØSTFOLD ENERGI.	45
FIGUR 18: NEDBØRSFELT, ÅRDALSVASSDRAGET. GUL PRIKK HENVISER TIL KRAFTVERK, RØD PRIKK HENVISER HVOR VANNET FRA NEDBØRSFELTET RENNER UT I FJORDEN.	46
FIGUR 19: GJENNOMSNITT VANNFØRING 1901- 1904 (FØR REGULERING) OG VANNFØRING 2012- 2015 I ÅRDALSVASSDRAGET. DATA HENTET FRA NVES MÅLESTASJON 74.1.0.	48
FIGUR 20: NEDBØRSFELT, FORTUNDALSELVA. GUL PRIKK HENVISER TIL KRAFTVERK, RØD PRIKK HENVISER HVOR VANNET FRA NEDBØRSFELTET RENNER UT I FJORDEN.	49
FIGUR 21: DELER AV SOGNEFJELLET ER DRENERT OG VANN FØRES I TUNNEL TIL SKAGEN KRAFTVERK. FOTO: JOSTEIN RØDLAND, FRA SKAGASTØLSBOTN.	50
FIGUR 22: GJENNOMSNITT DRIFTSVANNFØRING OG TILSIG, 2010-2015, I FORTUNDALSELVA. BASERT PÅ DATA FRA HYDRO.	52
FIGUR 23: NEDBØRSFELT, DALSDALSELVI. GUL PRIKK HENVISER TIL KRAFTVERK, RØD PRIKK HENVISER HVOR VANNET FRA NEDBØRSFELTET RENNER UT I FJORDEN.	53
FIGUR 24: NEDBØRSFELT, JOSTEDALSELVA. GUL PRIKK HENVISER TIL KRAFTVERK, RØD PRIKK HENVISER HVOR VANNET FRA NEDBØRSFELTET RENNER UT I FJORDEN.	55
FIGUR 25: DYKKET UTSLIPP TIL JOSTEDØLA OG LEIRDØLA, I GAUPNEFJORDEN. FOTO: MARTINA GRØTTÅ	56
FIGUR 26: NEDBØRSFELT, ÅRØYELVA. GUL PRIKK HENVISER TIL KRAFTVERK, RØD PRIKK HENVISER HVOR VANNET FRA NEDBØRSFELTET RENNER UT I FJORDEN.	57
FIGUR 27: USLIPP FRA ÅRØY VED STEIG (VENSTRE) OG VANN FRA ÅRØY 1 SLIPPES UT VED GRØNN BYGNING. NATURLIG ELVELØP (HØYRE) ER KRAFTIG REDUSERT. FOTO: MARTINA GRØTTÅ.	58
FIGUR 28: GJENNOMSNITT TILSIG OG DRIFTSVANNFØRING AV ÅRØYVASSDRAGET FRA 2010 TIL 2014. DATA ER HENTET FRA SOGNEKRAFT SINE MÅLESTASJONER.	59
FIGUR 29: UTBYGD MAGASINKAPASITET FRA ÅR 1930 TIL 2000, KUMULERT FREMSTILT	62
FIGUR 30: TOTAL VANNFØRING FØR UTBYGGING/DRIFTSVANNFØRING OG ETTER UTBYGGING/TILSIG.	65
FIGUR 31: EN TENKT LAGDELING VED LAV OG HØY FERSKVANNSTILFØRSEL TIL EN FJORD. SALTHOLDIGHET VISES I PROMILLE (PERSONLIG MEDDELELSE, T. DALE).	67
FIGUR 32: FORHOLD MELLOM TEMPERATUR, SALTHOLDIGHET OG TETTHET I VANN (ANON, 2015 C).	68

Tabelliste

TABELL 1: REGULERTE VASSDRAG I INDRE SOGN	16
TABELL 2: HOVEDFUNN VED FORTSATT ØKENDE KLIMAGASSUTSLIPP I NORGE VED ÅR 2100. BEREGNES AV MEDIANVERDIER FOR KLIMAENDRINGER. REDUSERTE KLIMAGASSUTSLIPP VIL FØRE TIL BETYDELIG MINDRE TEMPERATURENDRINGER (HANSEN-BAUER M.FL. 2015).....	17
TABELL 3: LINEÆRE TRENDER (PROSENT PER TIÅR) I ÅRS- OG ÅRSTIDS-NEDBØR FOR PERIODEN 1900-2014. TRENDENE ER GITT FOR ULIKE REGIONER OG FOR NORGE (N) SOM HELHET. TRENDENE ER GITT I PROSENT AV NEDBØR I REFERANSEPERIODEN 1971-2000. VERDIER I FET SKRIFT ER STATISTISK SIKRE PÅ 1 % -NIVÅ (MANN-KENDALL IKKE-PARAMETRISK TEST). REGION (MERKET OMRÅDE) 6 ER SOGN OG FJORDANE (HANSEN-BAUER M.FL. 2015).....	17
TABELL 4: DYKKET UTSLIPP I INDRE SOGNEFJORDEN.....	21
TABELL 5: KRAFTVERK TILKNYTTET FLÅMSVASSDRAGET. NEDERSTE KRAFTVERK, MED UTSLIPP I FJORDEN, ER MERKET GRÅTT.....	33
TABELL 6: GJENNOMSNITT VANNFØRING FOR FLÅMSVASSDRAGET, FØR OG ETTER UTBYGGING. BASERT PÅ DATA FRA NVES MÅLESTASJON 72.5.0, VED BREKKE BRU.	35
TABELL 7: KRAFTVERK TILKNYTTET AURLANDSVASSDRAGET. NEDERSTE KRAFTVERK, MED UTSLIPP I FJORDEN, ER MERKET GRÅTT.....	38
TABELL 8: GJENNOMSNITT VANNFØRING FOR AURLANDSVASSDRAGET, FØR OG ETTER UTBYGGING. BASERT PÅ DATA FRA NVES MÅLESTASJON 72.7.0, VED VASSBYGDVATN.....	40
TABELL 9: KRAFTVERK TILKNYTTET LÆRDALSELVA. NEDERSTE KRAFTVERK, MED UTSLIPP I FJORDEN, ER MERKET GRÅTT.....	41
TABELL 10: GJENNOMSNITT DRIFTSVANNFØRING OG TILSIG FOR LÆRDALSELVA. BASERT PÅ DATA FRA ØSTFOLD ENERGI.....	43
TABELL 11: KRAFTVERK TILKNYTTET NYSETELVA. NEDERSTE KRAFTVERK, MED UTSLIPP I FJORDEN, ER MERKET GRÅTT.....	44
TABELL 12: GJENNOMSNITT DRIFTSVANNFØRING OG TILSIG FOR NYSETELVA. BASERT PÅ DATA FRA ØSTFOLD ENERGI.....	45
TABELL 13: KRAFTVERK TILKNYTTET ÅRDALSVASSDRAGET. NEDERSTE KRAFTVERK, MED UTSLIPP I FJORDEN, ER MERKET GRÅTT.....	47
TABELL 14: GJENNOMSNITT VANNFØRING FOR ÅRDALSVASSDRAGET, FØR OG ETTER UTBYGGING. BASERT PÅ DATA FRA NVES MÅLESTASJON 74.1.0.....	48
TABELL 15: KRAFTVERK TILKNYTTET FORTUNDALSELVA. NEDERSTE KRAFTVERK, MED UTSLIPP I FJORDEN, ER MERKET GRÅTT.....	51
TABELL 16: GJENNOMSNITT DRIFTSVANNFØRING OG TILSIG FOR FORTUNDALSELVA. BASERT PÅ DATA FRA HYDRO.....	52
TABELL 17: KRAFTVERK TILKNYTTET DALSDALSELVI. NEDERSTE KRAFTVERK, MED UTSLIPP I FJORDEN, ER MERKET GRÅTT.....	54

TABELL 18: KRAFTVERK TILKNYTTET JOSTEDALSELVA. NEDERSTE KRAFTVERK, MED UTSLIPP I FJORDEN, ER MERKET GRÅTT.....	56
TABELL 19: KRAFTVERK TILKNYTTET ÅRØYELVA. NEDERSTE KRAFTVERK, MED UTSLIPP I FJORDEN, ER MERKET GRÅTT.....	59
TABELL 20: GJENNOMSNITT DRIFTSVANNFØRING OG TILSIG FOR ÅRØYVASSDRAGET. BASERT PÅ DATA FRA SOGNEKRAFT SINE MÅLESTASJONER.	60
TABELL 21: TOTAL KAPASITET, MAGASINKAPASITET, NEDBØRSFELT OG ÅRLIG AVRENNING AV KRAFTVERKENE I OPPGAVEN	62
TABELL 22: FORFLYTNINGSPOTENSIAL AV AVRENNINGSMØNSTER OG TOTAL BEREGNING OVER HVER ENKELT REGULERTE ELV I INDRE SOGNEFJORDEN.	64
TABELL 23: ENDRING I AVRENNINGSMØNSTERET	66

Sammendrag

Hensikten med denne oppgaven er å kvantifisere endring i avrenningsmønsteret i regulerte elver med direkte utløp til Indre Sognefjorden. Vi har sett på hvilken effekt endringen kan ha på de hydrografiske og økologiske forholdene i fjorden.

I oppgaven er det hentet data fra 9 regulerte kraftverk i Indre Sogn. Innsamling av data for vannføring før og etter utbygging, driftsvannføring og tilsig ble gjort mellom perioden mars og mai 2016. Data ble levert av eiere av de ulike kraftverkene og NVEs hydrologiske avdeling.

I perioden 1960-1970 var Norge preget av stor kraftutbygging, også i Indre Sogn. Indre Sogn står for rundt 8 % av Norges vannkraftproduksjon, der de fleste store vassdrag er utbygd. Største mengden av vannet i Indre Sogn er regulert. Nedbørsfeltet til det regulerte elvene er 5265,05 km², dette utgjør 70,97 % av det totale arealet til Indre Sogn.

Fra kraftverkene Naddvik og Aurland 1V kommer det 1,2871 km³/år ferskvann i dykket utslipp. Dette tilsvarer 15,68 % av det årlige avrenningen fra de regulerte vassdragene i Indre Sogn som er 8,2067 km³/år.

Ut ifra driftsvannføringen og tilsiget, og vannføringsdata fra før og etter utbygging kom vi frem til at det sesongmessige avrenningsmønsteret i de fleste vassdragene er betydelig endret. Totalt i perioden oktober-april økte vannføringen fra 51,67 m³/s før utbygging, til 126,65 m³/s etter utbygging, som tilsvarer en økning på 145, 11 %. Mellom mai og september ble vannføringen redusert fra 340,23 m³/s til 237,31 m³/s, som tilsvarer en reduksjon på 43,4%. Den største økningen var i februar, da avrenningen økte fra 20,62 m³/s til 121,44 m³/s, som tilsvarer en økning på 488,9 %. Den minste endringen i vannføringen finner vi i september, med en reduksjon fra 194,99 m³/s til 177,08 m³/s som tilsvarer en reduksjon på 10,11 %.

Vi har diskutert hvilke effekt dette kan ha på saltholdighet, temperatur, isforhold, strøm og mulige effekter det kan ha for livet i fjorden. Vi har fokusert på endringer som skjer i de øvre lagene siden hydrologiske/hydrografiske effekter vil være sterkest der.

Høy ferskvannstilførsel vinterstid, fører til en tydeligere lagdeling der det oppstår et lavt-saltholdig overflatelag. Det lav-saltholdige laget fører både til isdannelse i fjorden og har i tillegg en isolerende effekt på lagene under, da varmeoverførselen fra mellomlaget til omgivelsene rundt blir redusert. Vannet under ferskvannslaget blir varmere, og lokalklimaet langs fjorden blir kaldere.

Når det dannes brakkvannslag vil vindkreftenes påvirkning forandres. Den vinddrevne strømmen blir begrenset til et tynt lag. Dette fordi mindre masse skal forflyttes og en lav friksjon mellom brakkvannslaget og laget under fører til at vindens påvirkning konsentreres i det øvre lag. I en homogen vannmasse vil vindens påvirkning rekke relativt dypt (20-50 m).

Økning i vintervannføring fører til at næringsalter blir tilført fjorden før oppblomstringen av planteplankton. En tidligere lagdeling og tilgang på næringsalter kan føre til en tidligere oppblomstring av planteplankton. Endring i næringsstoffsammensetning der silikat blir holdt igjen i magasin er med på å favorisere giftige alger som Dinoflagellater.

Mindre tilførsel av ferskvann om sommeren gir mindre grums i vannet og en klarere overflate i fjorden som gjør at sollyset trenger lengre ned, der det enda er tilgjengelige næringsalter. Mindre tilførsel av ferskvann på sommeren kan også redusere tilførselen av næringsalter. Kraftverk med dykket utslipp kan føre opp næringsalter fra utslippsdypet og opp i lyset hvor de bedrer vekstvilkårene for planteplankton, tang og tare. Dykket utslipp kan også føre til at dyreplankton dør av osmotisk stress.

Utbygging og magasinering av elver vil påvirke turbiditeten i fjorden. En høyere turbiditet vil favorisere de arter som ikke er avhengig av synet for å jakte, eksempelvis maneter. Det er tydelig sammenheng mellom lysforhold og fisk i fjorden, der mørkere vann har mindre fisk. Mer ferskvannsavrenning på grunn av økt nedbør og økt tilførsel av humusstoffer gjør vannet mørkere. Redusert tilførsel av partikler fra bresmeltevann på grunn av magasinering motvirker denne effekten.

Økt avrenning om vinteren er med på å skylle ut ungstadier av Raudåte, fiskeegg og larver ut av fjorden. Endring i saltholdighet i fjorden kan påvirke bestandstørrelse og utbredelse for lakseparasitter som lakselus og Gyrodactylus.

Det er gjort mange tiltak for å minske negative effekter av kraftutbygging i vassdragene, eksempelvis krav til minstevannføring eller bygging av laksetrapp. Tiltak for fjorden er i liten grad tatt i betraktning, kanskje først og fremst pga. kunnskapsmangel.

Abstract

The purpose of this study is to quantify the changes in runoff patterns in regulated rivers with direct outlet to Indre Sognefjorden. We have looked at possible effect that the phase shift may have on the hydrographic and ecological conditions in the fjord.

In this thesis we collected data from 9 regulated hydroelectric powerplants in Indre Sogn. Collection of data flow before and after construction, operation flow and inflow was made between the period of March and May 2016. The data was provided by the owners of the powerplants and NVEs hydrological department.

In the period of 1960-1970, Norway was experiencing a large growth in powerplants development, also in Indre Sogn. Indre Sogn accounts for around 8 % of Norway's hydropower production, where the majority of the river systems are regulated. Almost all of the rivers in Indre Sogn is used for power production. The total area for water collection from the rivers is 5265,02 km², this is approximately 66,33 % of the total area of Indre Sogn.

From the power plants Aurland 1V and Naddvik 1,2871 km³/year of water comes out in the dived outlet. This corresponds to 15,68 % of the annual runoff from the regulated river systems in Indre Sogn which is at 8,2067 km³/year.

Based on operating water flow and inflow, and flow data from before and after construction we arrived at the runoff pattern in most of the rivers have changed considerably. Overall in the period from October to April the water flow increased from 51,67 m³/s before construction, to 126,65 m³/s after construction, which is an increase of 145,11%. Between May and September, the water flow was reduced from 340,23 m³/s to 237,31 m³/s, which is a reduction of 43,3 %. The largest increase was in February, when the runoff increased from 20,62 m³/s to 121,44 m³/s, which is an increase of 488,9 %. We found the smallest change in water flow in September. Then the runoff pattern was reduced from 194,99 m³/s to 177,08 m³/s, which is a reduction of 10,11 %.

We have analyzed which effect this may have on the salinity in the fjord, temperature, ice conditions, currents and the possible effects it could have on life in the fjord. We have focused on changes occurring in the upper layers because the hydrological/hydrographical effects is more apparent here.

High freshwater flow in winter, leading to a stronger stratification in which there is a low-salinity surface layer. The low-salt layer leads both to increased icing in the fjords and also has an insulating effect on the layers underneath, as heat transfer from the intermediate layer to the surroundings is reduced. The intermediate layer becomes warmer and the area around the fjord becomes colder.

If a brackish water layer occurs the wind forces influence will change. Wind driven power is limited to a thin layer. This is because less mass is moved, and impaired friction between the brackish layer and the underlying layer causes the wind impact to concentrate in the upper layer. In a homogeneous mass of water, the wind impact would reach relatively deep (20-50 m).

Increase in winter flow causes the nutrients to be supplied to the fjord before phytoplankton bloom. An earlier stratification and availability of nutrients can lead to an earlier phytoplankton bloom. Alteration of the nutrient composition where silicates is trapped in the reservoirs toxic algae is favorised.

Less supply of fresh water in summer reduces turbidity in the water and a clearer surface in the fjords that allows sunlight further down, where nutrients still is available. Less supply of water can also reduce the supply of nutrients. Power plants with dived outlet can bring up nutrients from the bottom up into the light where they improve the growth conditions for phytoplankton and seaweed. The dived outlet can also cause the zooplankton to die of osmotic stress.

Development and reservoirs of rivers will affect the turbidity in the fjord. A higher turbidity will favor the species that is not dependent on sight to hunt, e.g. jellyfish. There is a clear

correlation between light conditions and fish in the fjord, where the darker water has less fish. More freshwater runoff due to increased precipitation along with the effect of increasing the supply of humus substances makes the water darker. Reservoir reduces the supply of particles from glacier meltwater and counteract this effect.

Increased runoff in winter flushes out young copepods, fish eggs and larvae out of the fjord. Changes in salinity in the fjord can affect population size and distribution of salmon parasites.

There have been many measures to lessen the effects of hydropower production in the river systems, for example requirements for minimum water flow or construction of salmon ladders. Measures in fjord are seldom taken into account.

Forord

Denne bacheloroppgaven ble utarbeidet som avsluttende prosjekt ved studiet Fornybar energi ved Høgskulen i Sogn og Fjordane, i Sogndal. Bacheloroppgaven tilsvarer 20 studiepoeng per deltaker. Oppgaven ble skrevet av en gruppe på tre studenter, våren 2016, med veiledning av førsteamanuensis Torbjørn Dale ved Avdeling for Ingeniør og Naturfag. Valg av tema og problemstilling ble gjort på bakgrunn av vår interesse for vannkraft. Torbjørn Dale la frem en interessant og relevant problemstilling, spesielt med tanke på at undersøkelsesområdet er i nærmiljøet.

Først og fremst vil vi takke vår veileder Torbjørn Dale for god veiledning, motivasjon og for å ha fanget interessen vår for å finne ut av hvilke konsekvenser vannkraft kan ha for fjorden. Vi vil takke biblioteket på Høgskulen i Sogn og Fjordane for god hjelp til å finne relevante artikler og rapporter. Videre vil vi takke Eirik Holmqvist, Eva Klausen og Ann- Live Leine fra NVEs hydrologiske avdeling. Til slutt vil vi takke Jan Kvamme fra Østfold Energi, Jostein Orvedal fra Sognekraft og Thor Hjuske fra Hydro for vannføringsdata.

Vi har dessverre ikke muligheter til å ta med Jostedalselva i undersøkelsen da Statkraft ikke har gitt oss lov til å gjengi data om tilsig og driftsvannføring til Jostedal og Leirdøla kraftverk.

1 Innledning

Mye av det moderne Norge har blitt bygget og industrialisert gjennom utnyttning av elver og fossefall til kraftproduksjon. Vannkraft står nå for hele 98 % av elektrisiteten vi bruker i Norge. De resterende to prosent kommer fra vindkraft og import fra Europa og Norden.

Vannkraft har blitt utnyttet lenge før elektrisitet ble oppdaget og allerede i tidlig middelalder ble vannkraft utnyttet til møller og kvernkaller for å male korn (Hofstad, 2016). Da elektrifiseringen startet på slutten av 1800 tallet, gav de mange vannfallene mulighet til produksjon av elektrisitet til vanlig forbruk og industri.

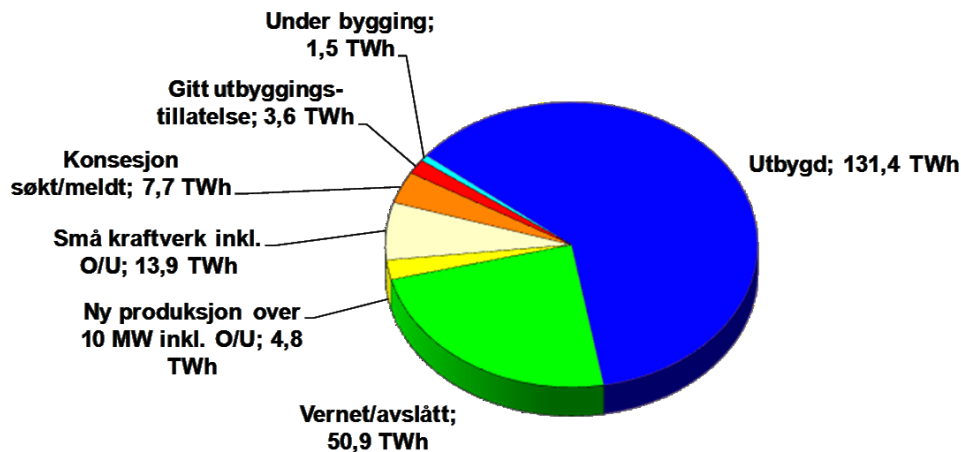
Den største vannkraftutbyggingen i Norge var mellom 1910-1925 med gjennomsnitt ca 0,37 TWh økt produksjonsevne per år, og fra 1960 til 1985 med en gjennomsnittlig, økning i produksjonsevne på 2,8 TWh/år (Hofstad, 2016). Norge var tidlig ute med å ta elektrisiteten i bruk til hverdagslig bruk. Enkel mekanisk utnyttelse av vannkraften forutsatte at energien ble utnyttet i umiddelbar nærhet til energikilden (vannfallet). Dette var med på å forme Norge, og industriområder og tettsteder som Årdal og Høyanger vokste frem (Vinjar og Hofstad, 2016). Elektrifiseringen skjedde parallelt i distriktene og i byene. Den store økningen installert kapasitet skyldes flere forhold, industriell og økonomisk, utvikling med krav om økt komfort, omlegging fra fossilt brensel og trevirke til bruk av elektrisitet til oppvarming. Vekselstrøm gjorde det etterhvert mulig å transportere elektrisiteten over større avstander, slik at industrien ikke var avhengige av å ligge ved elven/fossefallet (Berthelsen, 2014).

Stortinget sørget tidlig for at de norske vannkraftressursene skulle forbli på norske og ikke kjøpes opp av utenlandske aktører. Det ble derfor i 1909 innført den såkalte hjemfallsretten, som er en lov i konsesjonsloven. Hjemfallsretten innebærer at eierskap til ressursen går tilbake til staten ved endt konsesjonsperiode (Berthelsen, 2014). Konsesjonsperioden var i 1917, maksimalt 50 år, utvidet til 60 år, i 1969, og fra 2007 var konsesjonsperioden utvidet til 75 år (Anon, 2015 a). Konsesjoner gitt etter 1959 har bestemmelser om revisjon etter 50 år i vilkårene og konsesjoner gitt etter 1992 kan revideres etter 30 år, regnet fra konsesjonstidspunkt (Moe, 2012).

Det offentlig eier i dag om lag 90 % av produksjonskapasiteten for elektrisk kraft i Norge gjennom staten, kommuner eller fylkeskommuner. De resterende 10 % eies av private aktører (Berthelsen, 2014).

Norge er i dag Europas største produsent av vannkraft. Norge står for 3,3 % av verdens totale vannkraftproduserte elektrisitet og er nummer syv på verdensbasis bak Kina, Canada, Brasil, USA, Russland og India. Vannkraft står i dag for 16,6 % av den totale elektrisitetsproduksjonen i verden (IEA, 2015). Om Norge i fremtiden skal bli Europas grønne batteri må det til store utvidelser og oppgraderinger av eksisterende vannkraftverk, og bygging av pumpekraftverk. Kraftverkene vil også startes og stoppes mye oftere og da vil problemet med svingninger i vannføringsmønsteret bli større (Haugan, 2015). Det norske kraftsystemet er en del av det nordiske kraftsystemet som består av Norge, Sverige, Finland og Danmark. Kraften flyter fritt mellom disse landene og systemet har en felles frekvens. Norge er i tillegg koblet til Jylland (Danmark) gjennom likestrøms sjøkabel. Dette betyr at Norge kan utveksle, kraft med disse landene som igjen er koblet til resten av Europa (Ramm, 2016 a). Statnett har fått konsesjon for to strømkabler, en til Tyskland og en til Storbritannia, som skal stå ferdig i 2018 og 2020 (Sårheim, 2014).

I Norge produseres det i gjennomsnitt 131,4 TWh årlig. Totalt potensial er 213,8 TWh/år. Rundt 60 % av total potensiale er bygd ut (Ramm, 2016 b, Figur 1). I Sogn og Fjordane produseres det 13,6 TWh årlig, dette utgjør 11,4 % av Norges produksjon der ca 8 % av produksjonen er i Indre Sogn (Vinjar og Askheim, 2014).



Figur 1: Samlet vannkraftpotensial i Norge per 01.01.2014. Restpotensial er basert på digital kartlegging for små kraftverk med investeringsgrense inntil 3 kr/kWh og Samlet plan for vassdrag. Referert dagens kostnadsnivå tilsvarer det en investeringsgrense på 4-5 kr/kWh. Inkluderer ikke potensial for små kraftverk i verneplan for vassdrag. Konsesjon søkt/meldt omfatter ikke saker som ligger i kø (Ramm, 2016 b)

Med høy fokus på regulerbar kraftproduksjon uten klimautslipp i senere tid, stiller vannkraft som en sterk kandidat for å levere balansekraft i form av fornybar energi. I Europa er satsingen høy på uregulerbare kraftkilder som sol og vind. Det vil derfor være nødvendig for energimarkedet med forutsigbare kraftkilder som vannkraft. Norge kan derfor spille en viktig rolle som et grønt batteri for Europa ved å levere kraft i perioder med lite vind og solenergi (Lund, 2012). Myndighetene har blitt mer oppmerksom på å minske negative innvirkninger lokalt i elver som følge av variabel drift og effektkjøring av vannkraftverk, da dette fører til hurtige endringer i vannstand og vannføring, noe som kan gjøre skade for biologien knyttet de regulerte elveløpene (Hardby og Bogen, 2012).

Nåværende Olje- og energiminister, Trond Lien uttalte til NRK at «Mantraet om at de store vannkraftutbyggings tid er forbi må skrotes» (Krekling, 2016). Dette er sterkt i strid med Jens Stoltenbergs utsagn fra 2001 om at tiden for de store vannkraftprosjektene er forbi (Helle, 2003). Dette betyr at det nå er blitt et større press på å bygge ut gjenværende uregulerte vassdrag.

Gjennom magasinering av vann i demninger er det mulig å produsere vannkraft gjennom hele året til tross for varierende nedbørsmengder. Dette er med på å endre det naturlige

avrenningsmønsteret til elver der den største avrenningsperioden normalt er når snø og is smelter på vårparten. På grunn av reguleringskapasitet og høyt strømforbruk blir mye av strømmen nå produsert på vinteren, og dermed sendes unaturlige mye vann ned elveløpet denne årstiden (Turøy, 2012). Denne faseforskyvningen av vannavrenning kan ha ulike effekter på livet tilknyttet elvene og fjorden (Kaartvedt, 1984).

Mange som bor rundt Sognefjorden virker å være urolige for miljøtilstanden i fjorden (Opdal m.fl., 2013). I Sogn Avis har mange innlegg påpekt at det er en nedgang i mange fiskebestander i fjorden, og det har blitt foreslått ulike forklaringer på hva som er årsaken. «– Før i tida fekk ein mykje torsk og sei, fiskesortar ein kunne pilka. Det er det mindre av no. Folk har slutta å fiska på line, men djupvassfisk som brosme, kveite og breiflabb er det litt av» (Sæle, 2012). Manzetti og Stenersen (2010) oppsummerte mye av denne bekymringen i en review-artikkel, og de ba om en sterkere overvåkning av fjorden (Manzetti og Stenersen, 2010, sit. i Opdal m. fl, 2013). Faktorer som ofte blir trukket frem for å forklare nedgangen i fiskebestander eller forverring av miljøtilstander er blant annet vannkraftutbygging, kloakkutslipp, fiske og oppdrettsaktivitet (Opdal m. fl, 2013).

Det finnes få vitenskapelige studier av Sognefjorden som økosystem og heller ikke mange tidsserier eller overvåkningsprogram. De fleste studier er gjort fra 1980 eller senere, slik at det er mangel på eldre materiale å sammenligne med (Opdal m. fl, 2013). Det er få nyere artikler som tar for seg vannregulering sin effekt på fjordsystemet. Noen bacheloroppgaver tar for seg analysert hydrografisk dataserier fra 1916 i Sogndals og Barsnesfjorden, eksempelvis Kaufman (2014) og Ress (2015).

I denne oppgaven ønsker vi å kvantifisere endring i avrenningsmønster i regulerte elver med direkte utløp i Indre Sognefjorden, og se på mulige effekter som faseforskyvningen kan ha på hydrografiske og økologiske forhold i fjorden. Fokuset skal være å kvantifisere endringene i avrenningsmønsteret til regulerte elver med direkte utløp til indre deler av Sognefjorden. Indre del av Sognefjorden er spesielt godt egnet til å se eventuelle konsekvenser av denne forskyvningen, da Indre Sogn er sterkt preget av regulering (Vinjar og Askheim, 2014). I oppgaven er alle regulerte elver som var i drift ved skrivestart (mars 2016) i Indre Sogn tatt med i beregningene (Tabell 1, Figur 7Figur 7).

Tabell 1: Regulerte vassdrag i Indre Sogn

Elver	Antall kraftverk	Krafteier	Total prod. kapasitet	Nedbørsfelt
Flåmsvassdraget	2	E-Co Energi, Bane Energi	9 MW	282 km ²
Aurlandsvassdraget	6	E-Co Energi	1 287 MW	802,2 km ²
Lærdalselva	4	Østfold Energi	304,9 MW	1184 km ²
Nysetelva	2	Østfold Energi	117 MW	112 km ²
Årdalsvassdraget	2	Hydro	422,9 MW	981,55 km ²
Fortundalselva	3	Hydro	305 MW	512 km ²
Dalsdalselvi	2	Luster Småkraft	13,5 MW	76,6 km ²
Jostedalselva	4	Statkraft, Luster Småkraft	418,1 MW	863,4 km ²
Årøyvassdraget	2	Sognekraft	94 MW	451,3 km ²
Total:	27		2971,4 MW	5265,05 km²

1.1 Klima

Klimaendringer som skyldes ubalanse i energiutvekslingen mellom jorden og verdensrommet har forekommet til alle tider. Inntil for et par hundre år siden hadde disse i all hovedsak naturlige årsaker, men menneskelig virksomhet har i stadig større grad påvirket energiutvekslingen. Ifølge FNs klimapanel er menneskelig aktivitet hovedårsaken til den observerte økningen i globaltemperaturen siden 1950 (Hanssen- Bauer m. fl. 2015). Med menneskelig effekt menes klimagassutslipp, blant annet CO₂, CH₄, O₃ og KFK. De fremtidige effektene av klimaendringene som følge av økt global temperatur i Norge er oppsummert i Tabell 2.

Tabell 2: Hovedfunn ved fortsatt økende klimagassutslipp i Norge ved år 2100. Beregnes av medianverdier for klimaendringer. Reduserte klimagassutslipp vil føre til betydelig mindre temperaturendringer (Hanssen-Bauer m.fl. 2015).

Klimaendringer for Norge		Effekt på elveavrenning
Årstemperatur	Økning på ca 4,5 °C (spenn: 3,3 til 6,4 °C)	Vil føre til økt vinteravrenning og større deler av nedbøren kommer som regn og ikke snø.
Årsnedbør	Økning på ca 18 % (spenn: 7 til 23 %)	Vil føre til økt elveavrenning.
Styrtregneepisoder	Kraftigere og hyppigere	Vil føre til at regnflommene vil komme med hyppigere intervaller
Snøsmelteflommene	Færre og mindre	Vil føre til reduserte vårflokker
Isbreer	Færre og mindre	Vil føre til endringer i breavsetninger som tilføres elvene og redusert smeltevann om sommeren

Årsnedbøren har økt i hele Norge siden år 1900, og for landet som helhet er økningen på ca 18 %. I region seks, Sogn og Fjordane, har økningen vært på ca 20 % (Tabell 3). Økningen er størst om våren og minst om sommeren. Det har også vært en økning i kraftig nedbør (ekstrem vær) i løpet av kort tid, og det har i senere år vært en økning i intensitet og hyppighet. Av den gjennomsnittlige årsnedbøren i Norge (1600 mm) regnes det med at 1100 mm går til avrenning mens litt under 500 mm fordampes, forskjellen i avrenning er stor mellom de ulike landsdelene (Hanssen-Bauer m. fl, 2015).

Tabell 3: Lineære trender (prosent per tiår) i års- og årstids-nedbør for perioden 1900-2014. Trendene er gitt for ulike regioner og for Norge (N) som helhet. Trendene er gitt i prosent av nedbør i referanseperioden 1971-2000. Verdier i fet skrift er statistisk sikre på 1 % -nivå (Mann-Kendall ikke-parametrisk test). Region 6 (merket område) er Sogn og Fjordane (Hanssen-Bauer m.fl. 2015).

Region	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	N
År	2,3	1,5	1,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,5	1,3	1,7	1,6	1,7	0,2	1,6
Vinter	2,5	1,4	1,2	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,8	1,9	1,7	2,1	-1,7	1,6
Vår	1,7	1,5	0,1	1,5	2,2	2,6	2,7	2,3	2,1	3,1	2,3	2,4	0,3	2,3
Sommer	1,6	0,9	0,4	1,0	0,4	0,9	1,4	1,1	0,8	0,7	1,8	1,8	2,2	1,0
Høst	3,0	2,2	1,8	2,8	2,5	2,1	2,0	1,1	1,0	1,3	1,1	0,9	0,0	1,7

1.1.1 Flom

Økt temperatur har ført til at vårfloppen kommer tidligere. Det er også om våren man finner den største økningen i nedbør (Tabell 3). Det er ingen klar trend i størrelse på flommene men det er en tendens til økt hyppighet av regnflopper de siste tiårene, dette stemmer overens med økningen i ekstrem nedbør (Hanssen-Bauer m.fl. 2015).

1.1.2 Isbreer

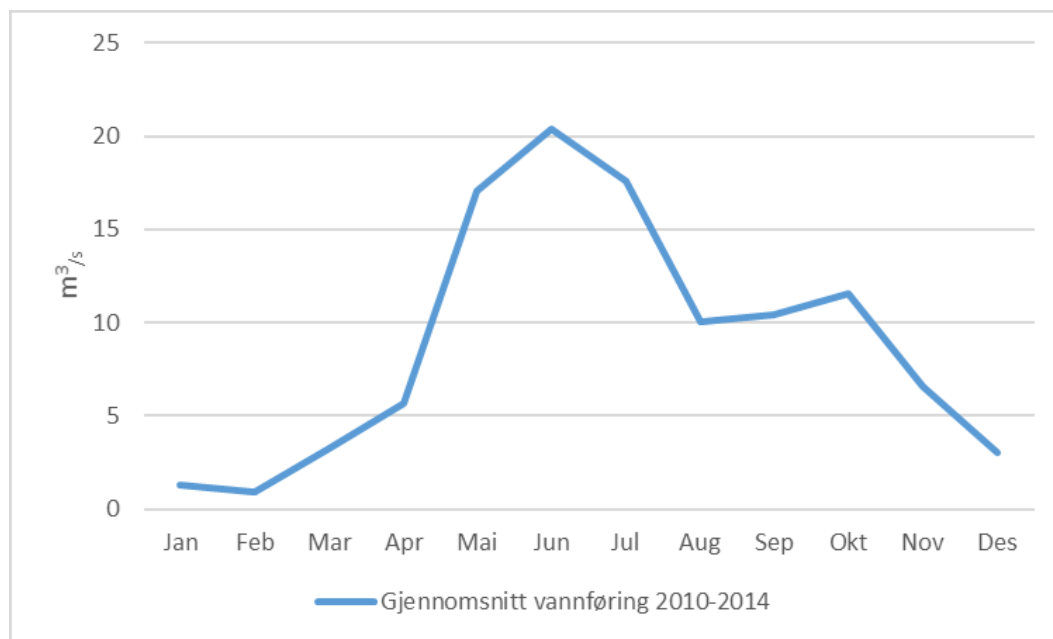
Breer i innlandet har med få unntak smeltet og trukket seg tilbake på 1900-tallet, mens kystbreene har hatt perioder med vekst og perioder med tilbaketrekning, men har siden rundt 2000 smeltet og trukket seg tilbake. De fleste breene er mindre enn de har vært på flere hundre år (Hanssen-Bauer m.fl. 2015). På Jostedalsbreen har 7 brearmer i gjennomsnitt trukket seg tilbake 222 m de siste 10 årene (Guddal og Osland, 2014). Smeltevann fra breer spiller inn på vannføringsmønster, volumet, tilførsel av næringssalter og er en viktig faktor for temperaturen i elven (personlig meddelelse, T. Dale).

1.2 Saltholdighet og temperatur

Tettheten til fjordvannet varierer som følger av endringer i saltholdighet og temperatur. Innerst i fjorden er overflatevannet kaldest. Den høyeste overflatetemperaturen finner man omtrent midtfjords. Innerst i Sognefjorden ved dyp på ca 15 m finner man et varmt vannlag. Det samme vannlaget finner man midtfjords og ved ca 100 m dyp. Denne helningen skyldes at vannet blir ferskere og mer stabilt innover i Sognefjorden. Den stabile lagdelingen danner grunnlag for pycnocline, som er grenselag i fjorden der tettheten øker raskt med dybden (Figur 3). Brakkvannet virker som et isolerende lag vinterstid. I dypet 10 - 50 m er saltholdighetsnivået på sitt minimum i oktober. Temperaturen i lagene over 75 m begynner å stige fra april. På 100 – 150 meters dyp avtar temperaturen og når sitt minimum i juni. Dette er samme tid som saltholdigheten i det samme dypet når sin maksverdi (Hermansen, 1974).

1.3 Ferskvannstilførsel

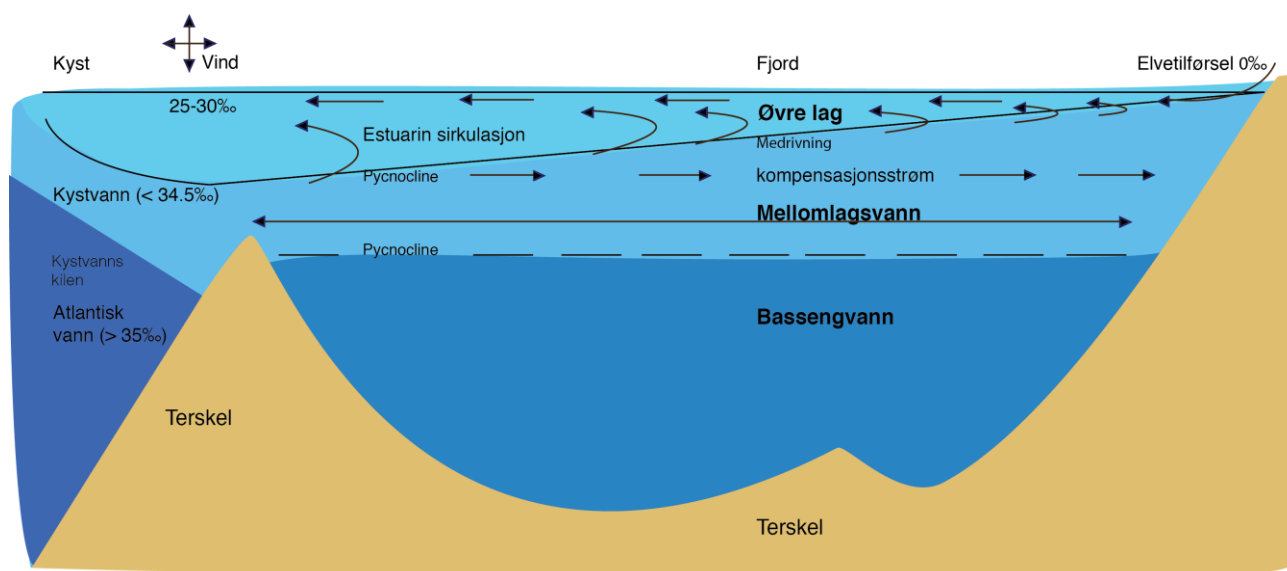
Ferskvannstilførselen til fjordene viser et klart sesongmessig forløp over hele landet. Høsten er preget av mye nedbør, og dermed stor vannføring. Vinterstid lagres størstedelen av nedbøren som snø og is, og fører til en lav vannføring. Vårsesongen er preget av snøsmelting og flom, spesielt mellom starten av mai og slutten av juni og fører med seg stor vannføring (Figur 2). Sommerstid er mer varierende, der elver med tilførsel av smeltevann fra breer har høy ferskvannsavrenning gjennom hele sommeren (Kaartvedt, 1984). Ferskvannstilførsel blir også påvirket av driftsvannføringen til magasinerte kraftverk. Vannkraftverk produserer mye elektrisitet om vinteren når det er kaldt og mørkt, og mindre om sommeren når behovet for elektrisitet er mindre (Turøy, 2012).



Figur 2: Gjennomsnitt vannføring 2010-2014 i Sogndalselva (uregulert elv). Data hentet fra NVEs målestasjon 77.3.0. ved Sogndalsvatn.

1.4 Estuarin sirkulasjon

Den estuarine sirkulasjonen er ansett som den mest viktige del-permanente tetthetsstrømmen i fjorder (Myksvoll m.fl, 2013). Den estuarine sirkulasjonen er spesielt viktig i fjorder med stor ferskvannstilførsel i forhold til sitt overflateareal, som er tilfellet for Sognefjorden. I en terskelfjord er det vanlig å dele vannmassene inn i et øvre lag, et mellomlag og et dyplag kalt dypvann eller bassengvann (Figur 3).



Figur 3: Tverrsnitt av en fjord med terskler og vannets lagdeling. Piler viser strømmer.

Det øvre lag blir dannet av ferskvannstilstrømming fra elver tilhørende fjorden. Det øvre brakkvannslaget blir mikset med det underliggende saltvannet som følge av friksjon og turbulens i grensesjiktet (medrivning). Saltholdighet i det øvre laget øker da utover i fjorden. Under brakkvannslaget dannes det en kompensasjonsstrøm som beveger seg innover i fjorden. Kompensasjonsstrømmen erstatter saltvannet som er blitt transportert ut fjorden som følge av medrivningen. Denne sirkulasjonsprosessen kalles den estuarine sirkulasjon. En fjord er en type av et estuarium (Stigebrandt, 1981).

Typisk for vestlandsfjorder om sommeren er en strøm av brakkvann i øvre lag som vokser fra ca 1 m tykkelse lengst inne, til et lag mellom 20 og 30 m nær fjordmunningen, der saltholdigheten går fra 0 til oppunder 30 ‰ (Kaartvedt, 1984). Lengst ute i fjorden vil brakkvannet føre med seg sjøvann opp til 5 - 10 ganger så mye som det netto ferskvannstilførselen til fjorden (Figur 3). Sirkulasjonen av vannet og distribusjonen av intensiteten i et estuarium er kontrollert av en rekke faktorer; lengdeskala og horisontal distribusjon av turbulens, ferskvannstilførsel, tetthetsforskjell og fjordgeometri (Long, 1975). Regulerte elveløp kan tilføre store ferskvannsvannmengder på vinterhalvåret. Endringen i sirkulasjonen blir dermed direkte påvirket av ferskvannstilførsel som akselerer den estuarine sirkulasjonen. Denne sirkulasjonen vil være størst ved elvemunningen og minske utover i fjorden der brakkvannslaget blir mikset på vei utover i fjorden (Myksvoll m.fl, 2013). Lavere flomvannføring fører til redusert estuarin sirkulasjon på sommerhalvåret (Kaartvedt, 1984).

1.5 Dykket utslipp

Vannkraftutbygging kan føre til at vann blir sluppet ut i fjorden andre steder enn ved sitt naturlige elveløp. Fire av kraftverkene i Indre Sogn slipper mye av sin driftsvannføring som dykket utslipp i fjorden (Tabell 4). Dykket utslipp i form av kloakkrør og industriavløp utgjør også en del av ferskvannstilførselen til fjorden. Disse er ikke med i våre beregninger, men kan være av interesse i ettertid for å få et fullstendig bilde av ferskvannstilførsel til fjorden (personlig meddelelse, T. Dale).

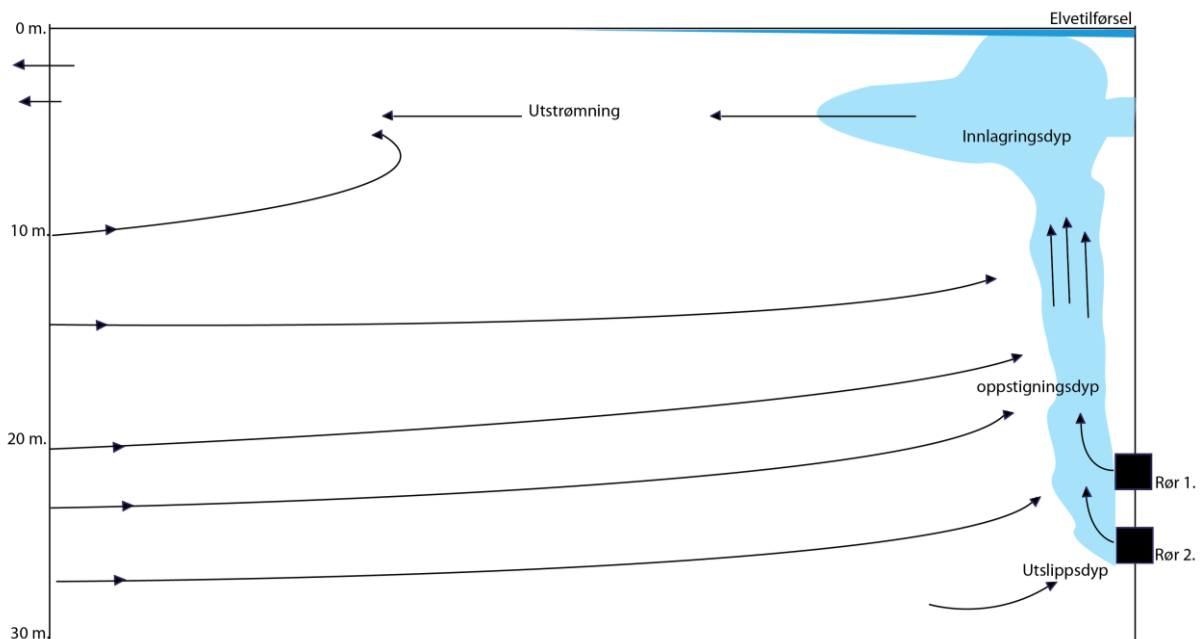
Tabell 4: Dykket utslipp i Indre Sognefjorden

Kraftverk	Vassdrag	Kapasitet	Årlig vannføring i dykket utslipp	Utslippsdyp
Aurland 1V (Vangen)	Aurlandsvassdraget	38 MW	0,7597 km ³ /år	22 og 25 m.u.h.
Naddvik	Nysetelva	112 MW	0,5364 km ³ /år	20 m.u.h.
Leirdøla	Jostedalselva	125 MW	Vannføring i dykket utslipp er lik driftsvannføringen.	42 m.u.h.
Jostedal	Jostedalselva	288 MW		42 m.u.h.
			1,2961 km ³ /år	

Ferskvann som blir sluppet i dypet av en fjord fra kraftverk har mindre egenvekt enn den eksisterende vannmassen i fjorden ved utslippsdypet. Dette gjør at vannet beveger seg opp i vannsøylen. Når ferskvannet beveger seg oppover mikser det seg med saltvannet i omgivelsene, og blir dermed varmere og mer saltholdig. Når vannmassen øker i saltholdighet øker også vannet sin egenvekt, dermed blir det tyngre enn overflatelaget som er ferskere (McClimans, 1981).

I Aurlandsfjorden er det to dykkede utslipp. Det ene utslippsrøret er 3,1 m i diameter og ligger 22 m.u.h. Det andre utslippsrøret er 3,6 meter i diameter og ligger på 25 m.u.h. Feltnmålinger foretatt i Vangen kraftverk i februar og mars viste en situasjon der det ble dannet et innlagingsdyp med en kjerne på ca 4 meters dyp. Dette innlagingsdypet strømte ut i et lag på 1,7 meters dyp (Figur 4). I og med at innlagingsdyp er under overflatevannet,

kan ikke utslippsvannet bidra til isdannelse. Dette er også hensikten med de dykkete utslippene (McClimans, 1981).



Figur 4: Dykket utslipp i Aurlandsfjorden. Basert på illustrasjon fra Thendrup, 1981.

Dykket utslipp fører til mindre ferskvannsvolum i overflatelaget, og en svakere lagdeling. Innblandingen i utløpsstrålene reduserer saltholdighet i brakkvannslaget noe. Dette fører til mindre tetthetsforskjell mellom brakkvannslaget og det ferskere ellevannet i de øverste cm. Svakere lagdeling gjør at den vertikale varmeutvekslingen skjer noe raskere. Oppdriften i strålen fører også til at varmere vann stiger nærmere overflaten enn før. Dette gjør at vannet under islaget er varmere enn før (McClimans, 1981). Dette reduserer isdannelse samt minker dannelse av frostrøyk i og ved fjorden (Elgersma, 2014).

Dykket utslipp tar også med seg næringssalter fra utslippsdypet og kan redusere den negative effekten av vannkraftutbygging (Turøy, 2012). I Fjordkultprosjektet som ble utført i Samnangerfjorden, ble $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ferskvann sluppet ut på 30 meters dyp for å blande og løfte sjøvann til lyssonen. Resultatet av prosjektet viste at det var mulig å føre gjennomsnittlig 1 tonn nitrat, 1 tonn silikat og 100 kg fosfat per døgn til lyssonen gjennom hele vekstsesongen (Hansen m. fl, 2003).

1.6 Plante- og dyreplankton

Plankton er en fellesbetegnelse for flere ulike organismer som lever i åpne vannmasser, både små dyr og encellede organismer med evne til fotosyntese (Turøy, 2013).

Planteplankton står for mye av primærproduksjonen i fjorder. Primærproduksjon er oppbygging av organisk karbon basert på uorganiske næringssalter, karbondioksid og sollys (energi) gjennom fotosyntesen. Planteplankton danner grunnlaget for nesten all produksjon i vann, da de danner næringsgrunnlaget for dyrene i havet og i ferskvann (Turøy, 2013).

Planteplankton trives best i den eufotiske sonen der det er tilstrekkelig lys til at fytoplankton kan ha fotosyntese (15 til 20 m), og der tilkomst av næringssalter som silikat, nitrat og fosfat er tilstrekkelig. I fjorder tilknyttet breer, som Lustrafjorden, er den eufotiske sonen kun i de øverste meterne da det er mye silt og leirpartikler i vannet som gir høy turbiditet (personlig meddelelse, T. Dale).

Planktoniske alger og dyr har ikke sterk nok egenbevegelse til selv å bestemme sin horisontale utbredelse, men de har dels bestemmelse for den vertikale. Utbredelsen påvirkes derfor i stor grad bestemt av strømsystemene i fjorden og lysforhold avgjør dybden i vannsøylen hvor planteplankton lever (Kaartvedt, 1984).

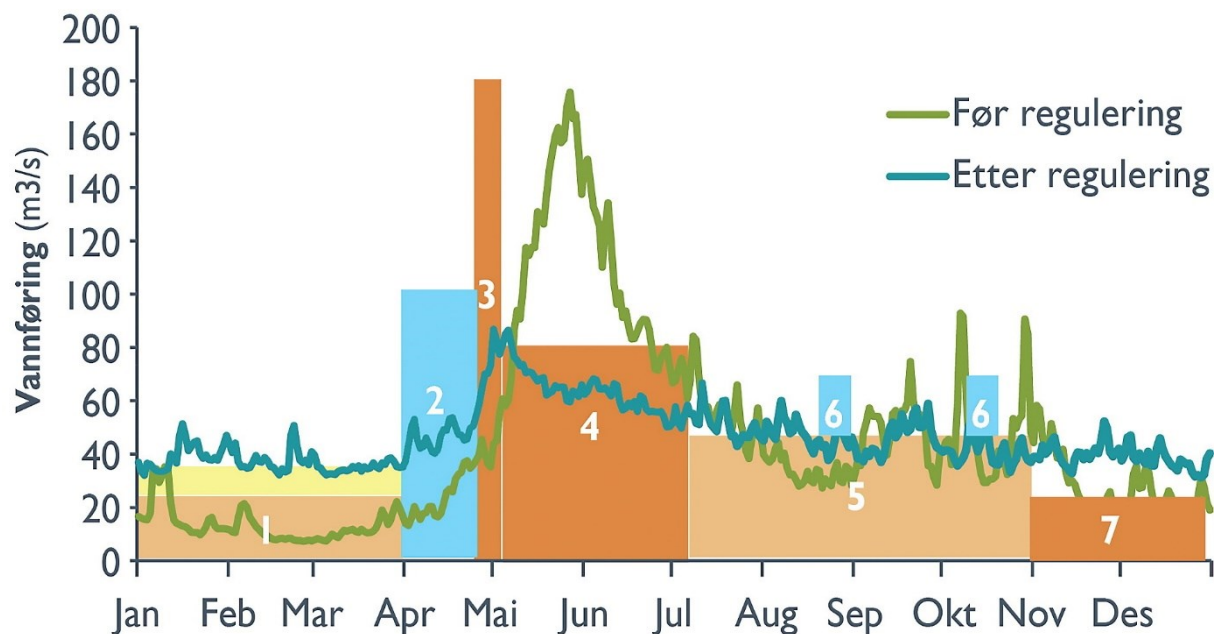
Planteplankton varierer gjennom hele året når det gjelder artssammensetning og mengde. Om vinteren, fra desember til slutten av februar, er det lite planteplankton. Fra begynnelsen av mars begynner mengden planteplankton å øke på grunn av lengre dager med tilstrekkelig sollys og en stabilisering av vannmassene (Skogen m.fl. 2007). Våroppblomstringen vil kunne skje på ulike tidspunkt, avhengig av når det dannes lagdelte vannmasser med et lettere øvre lag. Det lette laget kan dannes som følge av temperaturøkning eller tilførsel av ferskvann ettersom varmere og ferskere vann har lavere egenvekt (Personlig meddelelse, T. Dale). I fjorder vil normalt oppblomstringen kunne oppstå i mars med et maksimum i april (Skogen m. fl, 2007).

Dyreplankton står for sekundærproduksjonen i havet. Det er i hovedsak det andre leddet i næringskjeden, der små organismer beiter på planteplankton. Dyreplankton overvintrer i fjorddyp og stiger opp til overflaten på vårparten. Det er uvisst hva som trigger denne oppstigningen men økt lysmengde kan være en faktor. Om det er lysmengden kan oppstigningen skje på et noenlunde bestemt tidspunkt (Personlig meddelelse, T. Dale).

1.7 Liv i elver

Hurtige vannføringsendringer kan oppstå i forbindelse med start og stans av kraftverkene. For å motvirke uheldige effekter med denne manøvreringen er det innført et miljøtilpasset reguleringsregime som skal redusere faren for stranding av ungfisk og smolt ved at vannføringen reduseres mer gradvis ved produksjonsstans i kraftstasjonene (Figur 30).

Laks og sjøørret stiller strenge krav ved valg av gyteplass, der en kombinasjon av vanddyb, vannhastighet og bunnssubstrat er de viktigste faktorene (Figur 5). Når det blir gitt konsesjon i medhold av Vassreguleringsloven, settes det vilkår for tillatelsen og i enkelte tillatelser kan det settes vilkår for at utbygger skal bekoste avbøtende tiltak. Dette kan være krav til minstevannføring, bygging av laksetrapper, tilføring av gytegrus eller sette ut smolt (Gabrielsen m. fl, 2013).



Figur 5: Byggeklossmetoden. Eksempel med vannføringskurve før og etter regulering og viktige vannføringsbokser. Varighet (x-aksen) og vannføring (y-aksen) gir vannslippets størrelse (areal av boksene) som samlet summeres til strekningens vannbank. 1= eggoverlevelse og vinterhabitat, 2= smoltutvandring, 3=spyleflommer, 4=ungfiskvekst, 5=ungfiskhabitat, 6=lokkeflommer for fiske/grytevandring, 7=gyting. Farge angir prioritering (fra orange flaskehals og styrken av disse). Ill.: Sintef (Valmot, 2014).

Leire i smeltevann fra breene gjør at sikten blir sterkt redusert om sommeren. Dette er med på å redusere produktiviteten til fiskeproduksjon. Lav vanntemperatur i juni-juli kan ha avgjørende effekt på rekruttering av laks mens rekruttering av ørret er mindre påvirket av lav temperatur når yngelen kommer opp av grusen (Solbakken m.fl. 2012). Under ørret- og laksevandring fra elv til sjø er det betydelig risiko for å bli tatt av predatorer. Risikoen kan bli redusert dersom fisken vandrer i flomperioder med mye grumsete vann. I regulerte elver benyttes ofte vår- og høstflommer til å fylle opp magasiner og dette favoriserer predatorer i sjøen da turbiditeten er lavere (Jonsson og Jonsson, 2002).

Høy vannføring om vinteren kan føre til utvasking av biologisk materiale og gi dårligere forhold for bunndyr. Dette kan også føre til unormalt høyt tap av bunndyr og larver, som er hovednæringen for ungfisk (Svarte, 2004).

Det er gjort mange undersøkelser for regulerings-effekt på vassdrag. Det er mindre kjent hva disse har på fjorden.

1.8 Sognefjorden

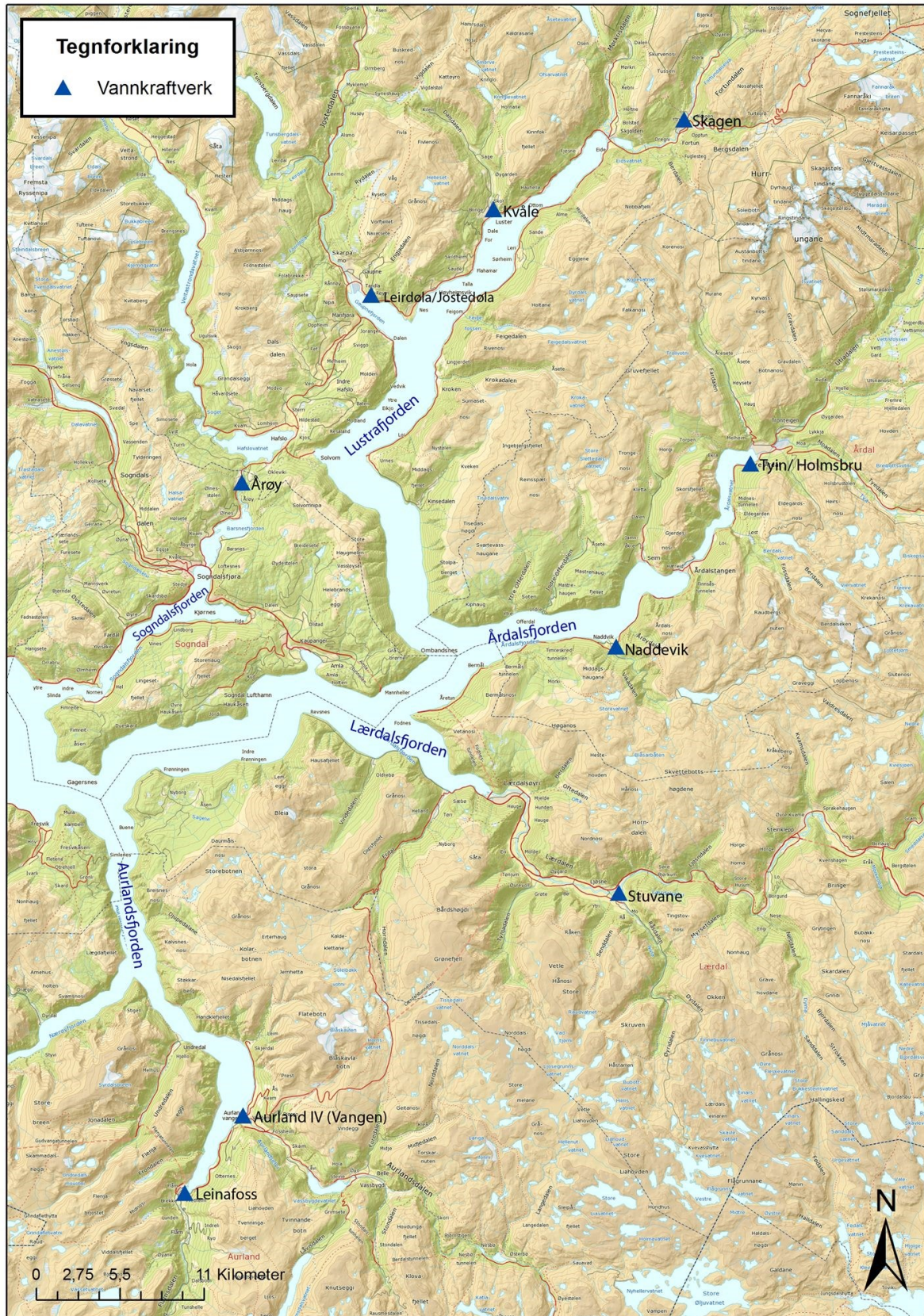


Figur 6: Kart over Sognefjorden. Markert område viser Indre Sogn (Arcmap 10.3.)

Sognefjorden er betegnet som Norges mest storslagne fjordlandskap (Figur 6). Her skjærer fjordene seg lengre inn i landet enn noen andre steder og er omgitt av bratte fjellsider som

kan strekke seg mer enn 1000 meter over fjorden. Vassdragene er stort sett korte men på grunn av store fall er de ofte regulert til vannkraft. I større daler ser vi ofte store elver med høy vannføring (Puschemann, 2005).

Sognefjorden strekker seg 205 km, fra Fortun innerst i Lustrafjorden, og ut mot Nordsjøen ved Ytre Sula i Solund. Fjorden er Norges lengste og dypeste med en dybde på 1308 meter. Til tross for stor dybde og lengde er fjorden smal. Bredden varierer fra 4-6 km ytterst i fjorden, 1-2 km i indre del og har en gjennomsnittsbredde på 4,5 km (Anon, 2016 a). Fjorden består av flere fjordarmer, hvorav Aurlandsfjorden, Årdalsfjorden og Fjærlandsfjorden betegnes som de største, mens Lustrafjorden regnes som en del av hovedfjorden (Figur 7). Ved munningen mellom Sognesjøen og Ruttletangen ligger fjordterskelen med et sadeldyp på ca 160 meter (Hermansen, 1974). Bunnen av fjorden er dekket med et flere hundre meter tykt lag, hovedsakelig leire som er ført ut i fjorden via elvene (Personlig meddelelse, T. Dale).



Figur 7: Kart over Indre Sogn. Oppgavens avgrensede område med markering av kraftverk med direkte utløp til Sognefjorden (Arcmap 10.3.).

Lustrafjorden i Luster kommune, strekker seg nordgående 43 km, er Sognefjordens innerste arm og regnes som en del av hovedfjorden (Figur 7). Ved Luster ligger utløpet til Dalsdalselva og innerst i Lustrafjorden renner munningen til Fortunsvassdraget som får vannet sitt fra Sognefjellet og tilhørende breer. Den ytre delen av fjorden er rundt 2 km bred og den indre del rundt 1 km. Den 4 kilometer lange Gaupnefjorden er en fjordarm i Lustrafjorden. I Gaupnefjorden finner man utløpet til Jostedalselva, som renner fra Jostedalsbreen. Fjorden er sterkt påvirket av brevann som inneholder mye leirpartikler (Askheim, 2012).

Aurlandsfjorden i Aurland, Vik og Leikanger kommune, strekker seg 29 km og er en dyp og trang arm av Sognefjorden (Figur 7). Dypeste punktet i Aurlandsfjorden er målt til 962 meter ytterst i fjorden. I Aurland er utløpet til Aurlandsvassdraget og ved Flåm, innerst i fjorden, finner man munningen til Flåmsvassdraget (Svendsen, 2009). Nærøyfjorden, som er på UNESCOs liste over verdens kultur- og naturarv, er en fjordarm tilhørende Aurlandsfjorden (Selland, 2009).

Årdalsfjorden i Årdal kommune, er en 16 km lang fjordarm tilhørende Sognefjorden (Figur 7). Fjorden er 2 km bred og i munningen over 600 meter dyp. I fjorden finner man munningen til Nyssetelva, ved Naddvik, og Årdalsvassdraget, ved Årdalstangen, innerst i Årdalsfjorden (Askheim, 2015 a).

Sogndalsfjorden i Sogndal kommune er en 20 km lang fjordarm tilhørende Sognefjorden (figur 7). Fjorden snevrer inn ved Sogndalsfjøra hvor Sogndalselva munner ut. Innerst i fjorden er elvemunningen til Årøyelva, dette området avgrenses av Rv. 5 og betegnes som Barsnesfjorden (Askheim, 2015 b).

2 Materiale og metode

2.1 Innhenting av data

I oppgaven har vi kartlagt endringer i avrenningsmønsteret i regulerte elver i Indre Sogn. For å anskaffe nødvendig informasjon for å kartlegge avrenningsmønster før og etter utbygging av vannkraftverk, har vi vært i kontakt med eierne av kraftverkene og Norges Vassdrags- og energidirektorat (NVE) sin hydrologiske avdeling.

I de regulerte elvene som hadde vannføringsdata tilgjengelig fra før utbygging ble dette brukt og sammenlignet med dagens vannføring. I elver der vannføringsdata fra før utbygging ikke var tilgjengelig ble det beregnet ut ifra tilsig og driftsvannføring. Ved bruk av tilsig og driftsvannføring får vi ikke den samme nøyaktigheten i dataen som ved avrenning fra før og etter utbygging. Tilsig vil gi en god indikasjon på når vannet naturlig blir tilført magasinene og elver tilhørende vassdraget, selv om det ikke er alt vannet som blir registrert.

Driftsvannføringen vil vise hvilke mengde som til enhver tid blir kjørt gjennom kraftverket.

Vi mangler vannføringsdata fra Dalsdalselvi, da Luster Energiverk ikke hadde mulighet å fremskaffe disse data i tide. I tillegg kan vi ikke gjengi dataene fra Jostedalselva da Statkraft anser dette som en bedriftshemmelighet.

Data for størrelse på kraftverkene, driftsår og tilhørende magasinkapasitet er hentet fra NVEs karttjeneste *utbygd og ikke utbygd vannkraft*. På bakgrunn av dataen har vi gjort utregninger vist i form av grafer og tabeller, utført i Microsoft Excel. I utregningene av vannføring har vi brukt gjennomsnittsvannføring (m^3/s) per måned for å lage en graf som viser både den naturlige og regulerte/tilsigs vannføringen for å kvantifisere den månedlige differansen.

Data for nedbørsfelt, gjennomsnitt vannføring og minstevannføring er hentet fra NVEs karttjeneste, Nevina. Hvor NVE har målestasjoner og hvilke tidsperiode disse målingene strekker seg over er hentet fra karttjenesten NVE atlas (NVE karttjeneste a).

Annen informasjon er hentet fra vitenskapelige rapporter, artikler og bøker. I denne perioden har vi vært kritisk til kildene og oppsøkt flere ulike oppslagsverk for å forsikre kildens troverdighet.

2.2 Definisjoner

Balanskraft: En konstant balanse mellom produksjon og forbruk er nødvendig for balanse i et hvert kraftsystem. Vannkraft virker som en balanskraft da denne raskt kan regulere behov for produksjon (Skjelbred, 2016).

Bentisk næringskjede: Næringskjede hvor primærproduksjonen konsumeres av bentiske (bunnlevende) organismer (personlig meddelelse, T. Dale).

Brakkvann: Vann med saltinnhold mellom 0,5 og 30 ‰ (Barthel, 2009).

Driftsvannføring: Vannføring som går gjennom kraftverket. Driftsvannføring kan måles i tilløp før kraftverket eller i elveløpskanal/elv umiddelbart etter kraftverket, eller indirekte ved hjelp av omregning fra produsert effekt eller andre metoder. Det kreves en nøyaktighet på +/- 2,5 % av målingene (Anon, 2008).

Effektkjøring: Kraftverk kjører med høy produksjon når kraftprisen er høy, og vice versa. Dette innebærer at kraftverkene kjøres med raskere start og stopp enn naturlige avrenningsmønstre (Anon, 2015 b).

Elvekraftverk: Vannkraftverk som bare i ubetydelig grad regulerer vannføringen i elven ved hjelp av magasin (Rosvold, 2014).

Eufotisk sone: Områder i vann med tilstrekkelig lys for primærprodusenter (planteplankton, tang, tare). Settes vanligvis til 1 % av overflatelys (personlig meddelelse, T. Dale).

Havvann: Vann med saltholdighet på over 30 ‰ (Barthel, 2009).

Magasinkraftverk: Vannkraftverk med regulerbar vanntilførsel fra et magasin (Rosvold, 2013 a).

Pelagisk næringskjede: Primærproduksjon blir konsumert av pelagiske organismer (dyreplankton, fisk som brisling og makrell) (personlig meddelelse, T. Dale).

Pumpekraftverk: Vannkraftverk som også i perioder kan kjøres som pumper for å pumpe vann tilbake til magasinet. Pumpekraftverk benytter perioder med et overskudd av kraft til å pumpe vann opp til magasin for å lagre denne potensielle energien til perioder med større kraftbehov (Rosvold, 2013 b).

Småkraftverk: Vannkraftverk med installert effekt på opptil 10 MW (Rosvold, 2015 a).

Tilsg: Total vannmengde fra et nedbørsfelt, tilknyttet et elveløp (Rosvold, 2015 b).

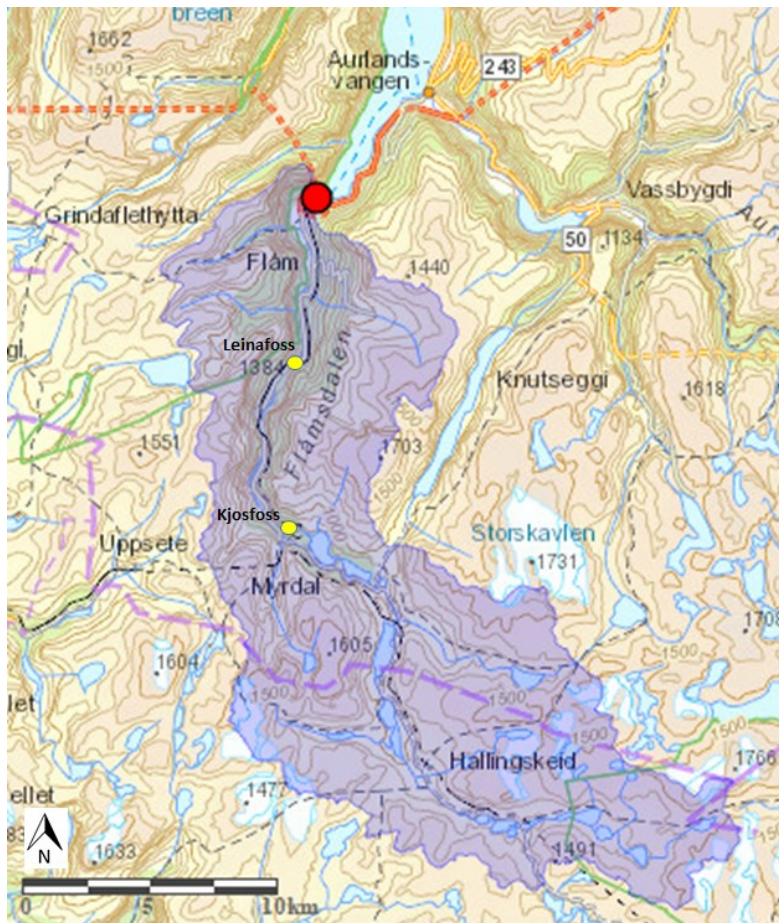
Turbiditet: Mål for siktbarhet i vann på grunn av suspendert stoff (Kemker, 2014).

3 Resultat

I denne Bacheloroppgaven er det tatt med 9 regulerte vassdrag med utløp til Indre Sognefjorden. Nærøydalselva og tilhørende kraftverk i Jordalen er ikke tatt med da disse fremdeles var under utbygging ved oppstart.

3.1 Flåmsvassdraget

Flåmsvassdraget ligger i Aurland og Ulvik kommune og strekker seg over 50,8 km, fra Omsbreen nord for Hardangerjøkulen til den renner ut i Sognefjorden i Flåm. Flåmsvassdraget er et av de få større gjenværende vassdrag i Indre Sogn som ikke er sterkt berørt av vannkraftutbygging (Solbakken m.fl. 2012). Vassdraget har en meget høy verneverdi i naturfaglig og kulturfaglig sammenheng og ble i 1986 vernet mot kraftutbygging (Spikkeland, 1999). Det er to kraftverk knyttet til elven, Kjosfoss og Leinafoss.



Figur 8: Kraftverk tilknyttet Flåmsvassdraget. Gul prikk henviser til kraftverk, rød prikk henviser hvor vannet fra nedbørfeltet renner ut i fjorden (NVE, kartjeneste b).

3.1.1 Teknisk data

Flåmsvassdraget har et nedbørsfelt på 282 km² (Figur 8), største delen av nedbørsfeltet er snaufjell (75,4 %) og bre utgjør 2,9 %. Elven har en gjennomsnittsvannføring på 17,23 m³/s, minstevannføring på 1,15 m³/s og en årlig avrenning på 0,5437 km³/år (NVE karttjeneste b).

- Kraftverket Kjosfoss får vann fra magasinet Reingungvatn (1,2 mill. m³) som igjen får vann fra Seltuftvatn (1,6 mill. m³) og Klevevatn (7,7 mill. m³).
- Leinafoss er et elvekraftverk med en inntaksdam i Flåmsvassdraget ved Bjønnøyane.

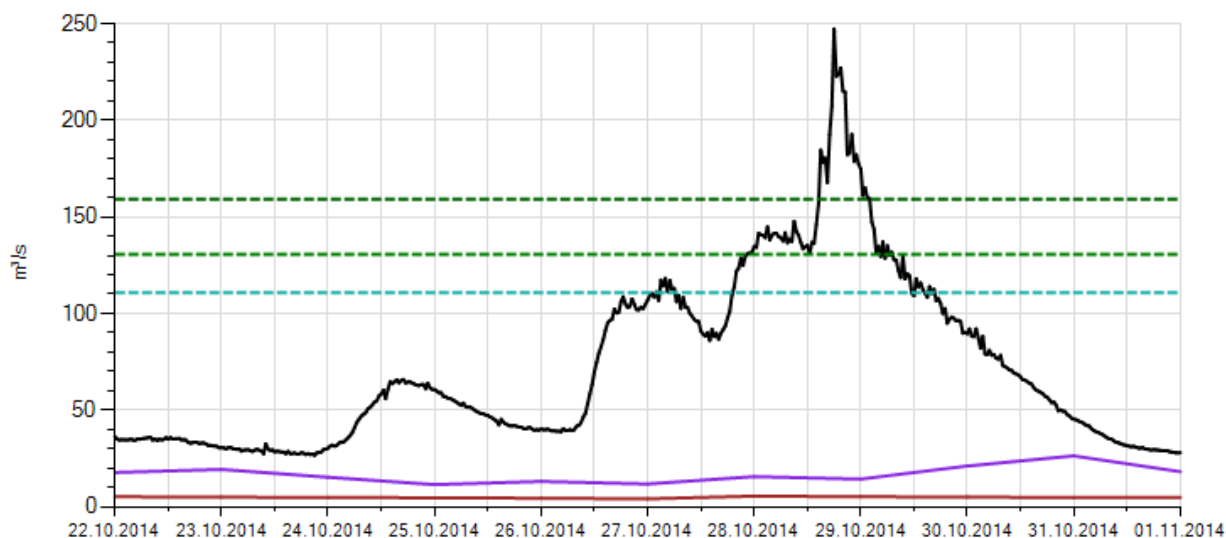
Til sammen har disse en magasinkapasitet på 0,105 km³ (Tabell 5) (NVE karttjeneste c).

Tabell 5: Kraftverk tilknyttet Flåmsvassdraget. Nederste kraftverk, med utslipp i fjorden, er merket grått.

Type	Navn	Kraftverk nr.	Driftsstart	Kapasitet	Fallhøyde	Magasin kapasitet
Småkraft	Leinafoss	072.2A	1932	4,8 MW	54 m	
Magasin	Kjosfoss	072.2B7	1944	4,2 MW	97 m	10,5 mill. m³
Total:				9 MW		10,5 mill. m ³

3.1.2 Flom

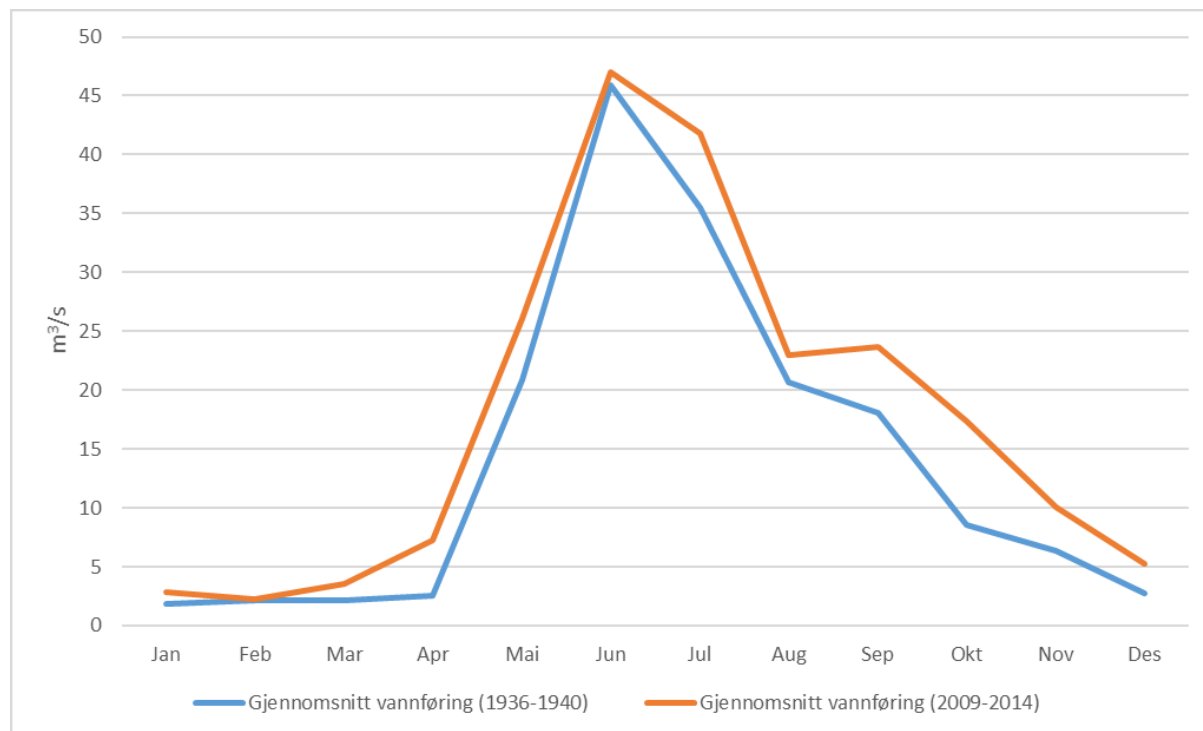
I Flåm ble det store skader etter storflommen i oktober 2014. "Det er tre mindre magasiner i Flåmsvassdraget. Ved disse var det overløp under flommen, og de bidro derfor i liten grad til å redusere flomvannføringene i vassdraget. Den høyeste målingen ved Brekke bru var på 247 m³/s (Figur 9), og hadde en døgnmiddel på 162 m³/s. Dette tilsvarer en økning på 9,39 ganger høyere enn årlig gjennomsnittsvannføring. Selv om magasinene hadde vært nedtappet en uke før flommen, var tilsiget så stort i dagene før, at magasinene ville vært fylt før flommen kulminerte» (Langsholt m.fl. 2014 a).



Figur 9: Vannføring under høstflommen 2014, målt i m³/s (Langsholt m.fl. 2014 b)

3.1.3 Vannføring før og etter regulering

Vannføringsøkningen er jevn gjennom hele året (Figur 10). Den noe høyere vannføringen i perioden 2009-2014 kan skyldes en økning i nedbør (Tabell 3). Denne nedbørsøken vil være på rundt 13 %.



Figur 10: Gjennomsnitt vannføring før og etter regulering i Flåmsvassdraget. Data fra NVEs målestasjon 72.5.0, ved Brekke bru.

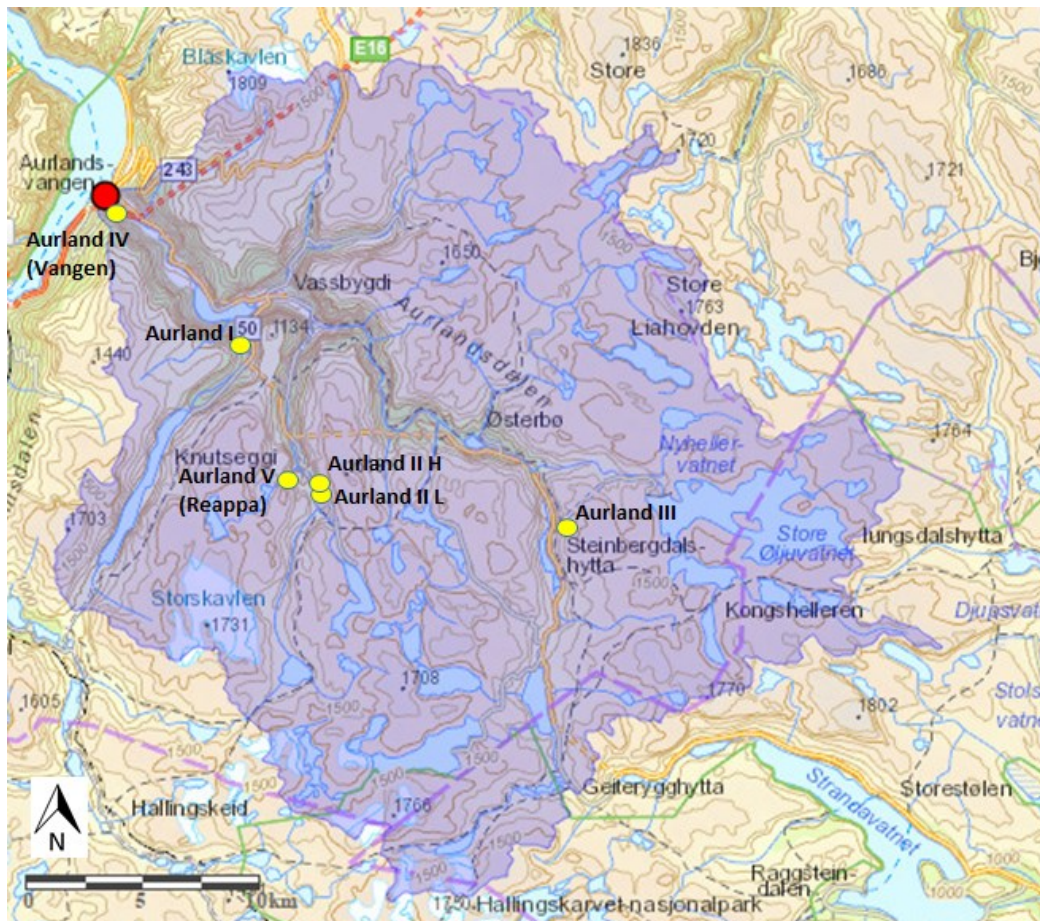
I Tabell 6 har vi regnet ut gjennomsnitt vannføring fra før og etter utbygging i km³/år, ut ifra data fra NVEs målestasjon. Dette sier noe om hvor stor betydning Flåmsvassdraget har på ferskvannstilførselen til Sognefjorden. Differansen vi ser kan skyldes nedbørsøken.

Tabell 6: Gjennomsnitt vannføring for Flåmsvassdraget, før og etter utbygging. Basert på data fra NVEs målestasjon 72.5.0, ved Brekke bru.

Gjennomsnitt vannføring før utbygging	13,94 m ³ /s	0,4399 km ³ /år
Gjennomsnitt vannføring etter utbygging	17,5 m ³ /s	0,5523 km ³ /år
Differanse	3,56 m ³ /s	0,1124 km ³ /år

3.2 Aurlandsvassdraget

Aurlandsvassdraget ligger i Aurland kommune og strekker seg over 55,4 km, fra Såtedalen i Hol kommune til utløp i Aurlandsfjorden ved Aurland. De seks kraftverk knyttet til Aurlandsvassdraget har gjort at vassdraget er sterkt berørt av regulering, der kraftverket Aurland I er det 3. største vannkraftverket i Norge (Hatlen og Arrestad, 2014).



Figur 11: Nedbørsfelt, Aurlandsvassdraget. Gul prikk henviser til kraftverk, rød prikk henviser hvor vannet fra nedbørsfeltet renner ut i fjorden (NVE, karttjeneste b).

3.2.1 Teknisk data

Aurlandsvassdraget har et nedbørsfelt på 802,2 km² (Figur 11), største delen av nedbørsfeltet er snaufjell (77,29 %) og bre utgjør 2,13 %. Elven har en gjennomsnitt vannføring på 37,48 m³/s, minstevannføring på 2,1 m³/s og en årlig avrenning på 1,1820 km³/år (NVE karttjeneste b).

De seks kraftverkene vises under i rekkefølge fra øverst i vassdraget til nederst:

- Aurland 3 er et magasinkraftverk og nytter vann fra Nyhellarvatn (448 mill. m³). Vannet slippes videre ut i Veslebotnvatn.
- Aurland 2L er et magasinkraftverk tilknyttet magasinet Veslebotnvatn (9.8 mill. m³) som igjen får vann fra Vesterdalstjern (36 mill. m³).

- Aurland 2 H er et magasinkraftverk tilknyttet fire magasin; Katlavatn (18 mill. m³), Adamsvatn (32 mill. m³), Svartavatn (57 mill. m³), Store Vargevatn (64 mill. m³) og et suppleringsvann, Nedre Millomvatn (15 mill. m³), som supplerer vann til Svartavatn.
- Aurland V (Reppa) er et magasinkraftverk tilknyttet magasinet Reppvatn (3 mill. m³) som blir supplert med vann fra Store Kreklevatn (13 mill. m³).
- Aurland 1 er et magasinkraftverk tilknyttet magasinet Viddalsvatn (194 mill. m³), dette får vann fra Aurland 2H, 2L og Aurland V (Reppa).
- Aurland 1V er et magasinkraftverk tilknyttet Vassbygdvatn (2.8 mill. m³), som igjen får vann fra Aurland 1. Vannet fra Aurland 1V går direkte i fjorden som dykket utslipp. Aurland 1V er kun i drift i månedene september til april (Figur 12, NVE karttjeneste c). I sommermånedene er det Aurland 1 som er det nederste kraftverket med utslipp til fjorden gjennom det naturlige elveløpet.

Totalt har kraftverkene en magasinkapasitet på 892,6 mill. m³ (

Tabell 7).



Figur 12: Gjennomsnitt vannføring i dykket utslipp til Aurland 1V. Data hentet fra NVEs målestasjon 72.37.0.

Tabell 7: Kraftverk tilknyttet Aurlandsvassdraget. Nederste kraftverk, med utslipp i fjorden, er merket grått.

Type	Navn	Kraftverk nr.	Driftsår	Kapasitet	Fallhøyde	Magasin kapasitet
Magasin	Aurland 3	072.G	1979	270MW	400 m	448 mill. m ³
Magasin	Aurland 2 L	072.CB4	1982	60MW	109 m	45,8 mill. m ³
Magasin	Aurland 2 H	072.CB2	1983	70MW	500 m	186 mill. m ³
Magasin	Aurland V (Reppa)	072.CB1	1983	9MW	195 m	16 mill. m ³ .
Magasin	Aurland 1	072.B1A	1973	840MW	850 m	194 mill. m³
Magasin	Aurland 1V (Vangen)	072.22	1980	38MW	55 m	2,8 mill. m³
Total:				1 287 MW		892,6 mill. m ³

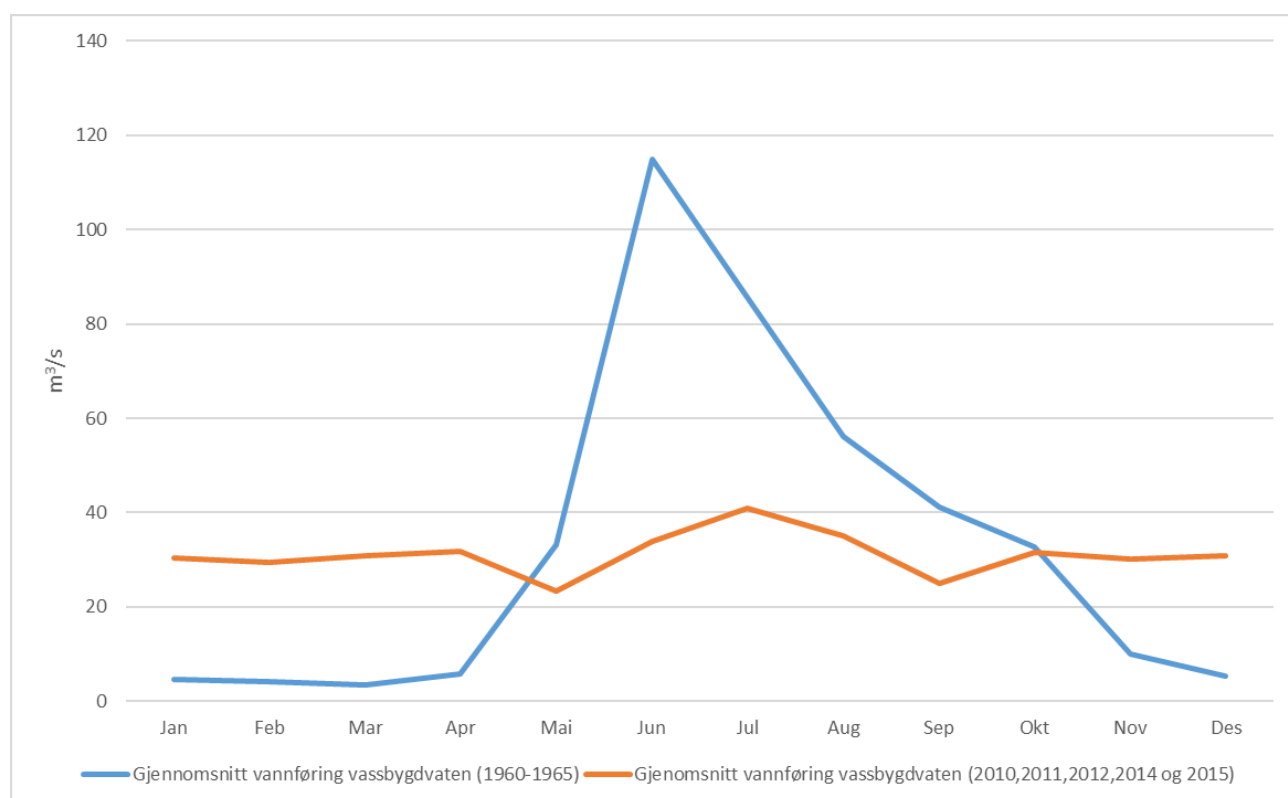
Vannføringen i Aurlandsvassdraget er kraftig redusert, som følge av vann fra områdene 1000 m.o.h. føres i rørsystem ut i Vassbygdvatn via Aurland 1. Vannet i Vassbygdvatn føres i rør til Aurland 1V og direkte videre i fjorden i vinterhalvåret når Aurland 1V er i drift. Dette fører til redusert vannføring i elven også nedenfor Vassbygdvatn (Solbakken m.fl. 2012).

Aurlandselva og Vassbygdelva hadde før utbygging en gjennomsnittlig temperatur på rundt 11 °C i august. Etter utbyggingen opplevde Aurlandsvassdraget en temperatursenking på 1 °C i april-mai og 1-2,5 °C i juli-august-september. Vassbygdelva hadde en mindre økning i temperatur i juni-juli og en ubetydelig endring i vinter og høsthalvåret (Solbakken m.fl. 2012).

Fra gammelt av har Aurlandsvassdraget vært kjent som en meget god sjø-ørret og lakseelv. Etter utbyggingen har fangsten av laks og sjø-ørret gått ned. I 1989 ble laksen fredet i vassdraget. Oslo Energi er pålagt å sette ut 30 000 sjø-ørret smolt og 10 000 laksesmolt årlig for å kompensere for de negative effektene kraftutbyggingen har hatt (Jensen m.fl. 1993).

3.2.2 Vannføring før og etter regulering

Vannføringen mellom januar og april har økt fra 4,45 m³/s til 30,56 m³/s og er 6,87 ganger så høy som den var i perioden 1960-1965. Mellom mai og september har vannføringen sunket fra 66,21 m³/s til 31,68 m³/s, tilsvarende nedgang på 2,09 ganger i perioden 2010-2015 enn ved målingene fra 1960-1965. I denne perioden blir magasinene fylt opp. Vannføringen mellom oktober og desember er 2,17 ganger så høy mellom 2010-2015 sammenlignet med 1960-1965 (Figur 13). I disse utregningene er det ikke tatt forhold til nedbørsøkningen som har vært mellom målingene (Tabell 3). Denne nedbørsøkningen vil være på rundt 9 %.



Figur 13: Gjennomsnitt vannføring før og etter regulering i Aurlandsvassdraget. Data fra NVEs målestasjon 72.7.0, ved Vassbygdvatn. NVE har ikke data fra 2013 ved målestasjon 72.7.0.

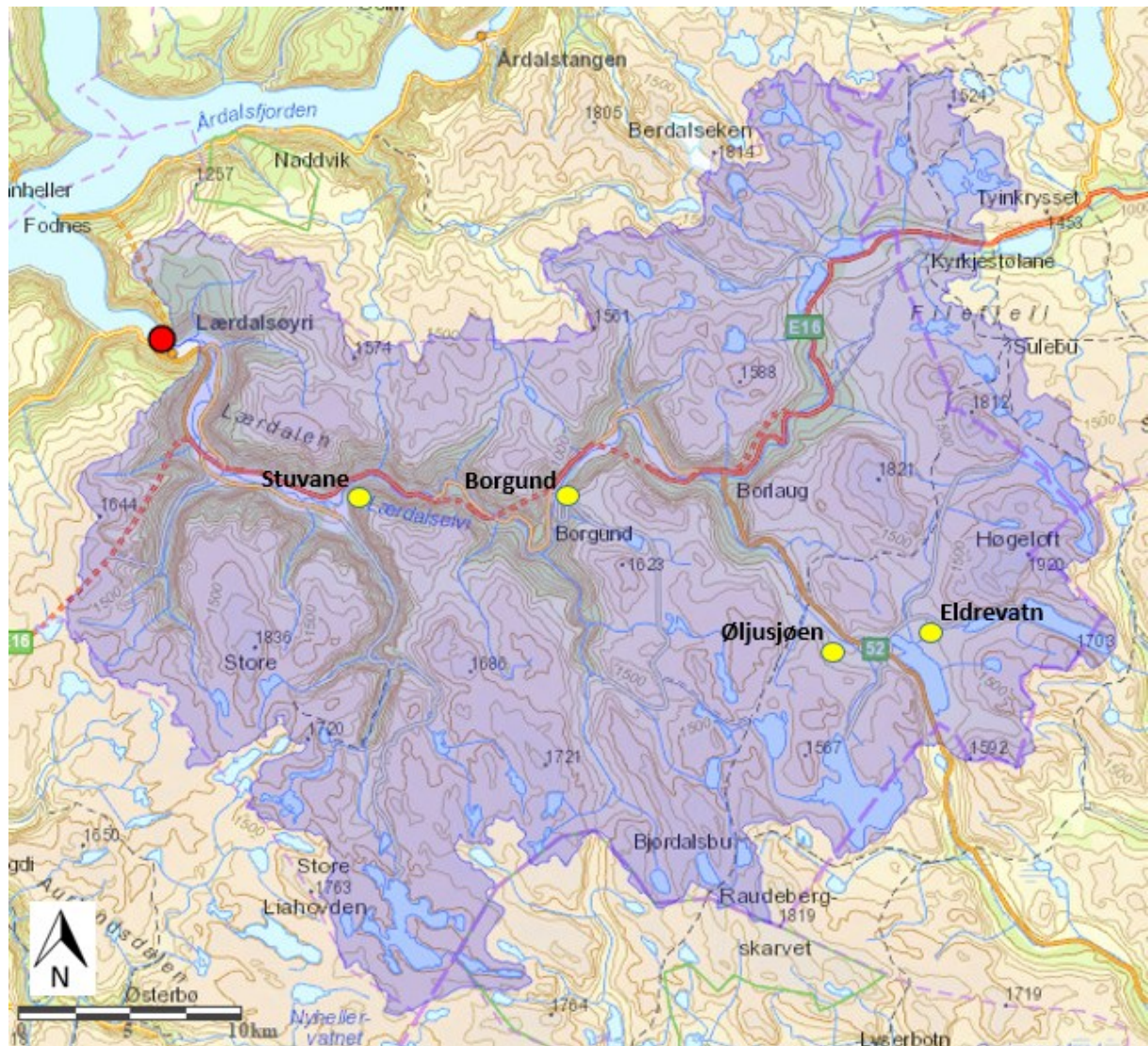
I Tabell 8 har vi regnet ut gjennomsnitt vannføring fra før og etter utbygging i km³/år ut ifra data fra NVEs målestasjon. Dette sier noe om hvor stor betydning Aurlandsvassdraget har på ferskvannstilførselen til Sognefjorden. Differansen vi ser kan skyldes unormalt mye nedbør i dataserien fra før utbygging, eller lite nedbør i dataserien etter utbygging.

Tabell 8: Gjennomsnitt vannføring for Aurlandsvassdraget, før og etter utbygging. Basert på data fra NVEs målestasjon 72.7.0, ved Vassbygdvatn.

Gjennomsnitt vannføring før utbygging	33,07 m ³ /s	1,0436 km ³ /år
Gjennomsnitt vannføring etter utbygging	31,11 m ³ /s	0,9817 km ³ /år
Differanse	1,96 m ³ /s	0,0619 km ³ /år

3.3 Lærdalselva

Lærdalselva ligger i Lærdal kommune og strekker seg over 8,9 km, fra den vestlige delen av Filefjell og Hemsedalsfjellet til den renner ut ved Lærdalsøyri. Elven er sterkt regulert og er knyttet til fire kraftverk; Borgund, Øljusjøen, Eldrevatn og Stuvane.



Figur 14: Nedbørsfelt, Lærdalselva. Gul prikk henviser til kraftverk, rød prikk henviser hvor vannet fra nedbørsfeltet renner ut i fjorden (NVE, karttjeneste b).

3.3.1 Teknisk data

Lærdalselva har et nedbørsfelt på 1184 km² (Figur 14), største delen av nedbørsfeltet er snaufjell (74,94 %) og bre utgjør 0,08 %. Elven har en gjennomsnitt vannføring på 36,46 m³/s, minimum vannføring på 1,6 m³/s og en årlig avrenning på 1,1510 km³/år (NVE karttjeneste b).

- Kraftverket Eldrevatn får vannet fra magasinet Vesle Juklavatn (2 mill. m³) som igjen får vann fra Store Juklavatn (18,1 mill. m³). Eldrevatn får også vann fra elven til Søre Sulevatn (18,3 mill. m³). Etter at vannet har vært gjennom kraftverket føres det videre til Eldrevatn-magasin.
- Øljustjøen er et pumpekraftverk tilknyttet Øljustjøen- magasinet (161 mill. m³). Pumpekraftverket bruker sommer halvåret til å pumpe vann fra Borgund kraftstasjon sin vanntunnel og opp til magasinet Øljustjøen. Om vinteren utnyttes dette vannet til Øljustjøens og Borgund kraftstasjon.
- Stuvane kraftstasjon utnytter fallet og vannføringen fra Borgund på 156,19 meter (NVE karttjeneste c). Kraftverket er et vinterkraftverk men kan kjøres om sommeren dersom vannføringen i Seltagjelet blir til hinder for fiskeoppgang (Solbakken m.fl. 2012).

Den totale reguleringskapasiteten på 234,1 mill. m³ (Tabell 9).

Tabell 9: Kraftverk tilknyttet Lærdalselva. Nederste kraftverk, med utslipp i fjorden, er merket grått.

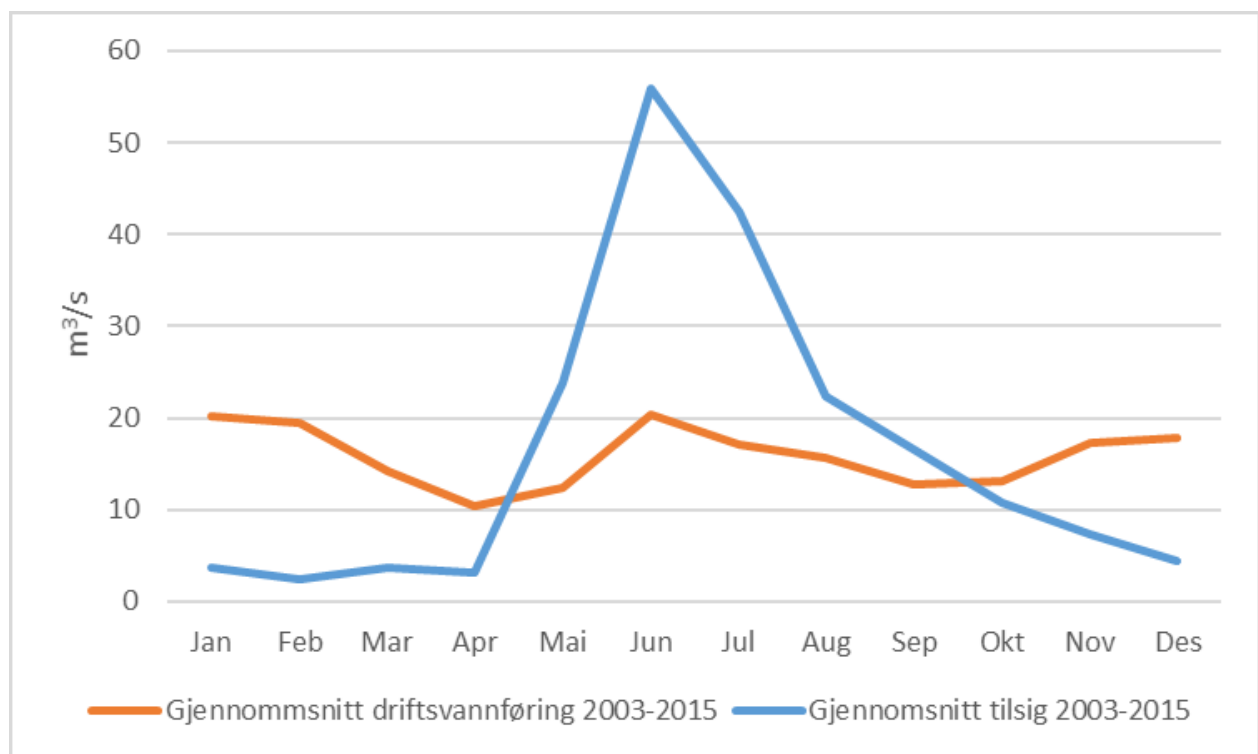
Type	Navn	Kraftverk nr.	Driftsstart	Kapasitet	Fallhøyde	Magasinkapasitet
Småkraft	Eldrevatn		2013	4,9 MW	140 m	38,4 mill. m ³
Pumpe	Øljustjøen	073.CB0	1974	50MW	211,8 m	161 mill. m ³
Magasin	Borgund	073.C12	1974	212MW	874 m	34,7 mill. m ³
Magasin	Stuvane	073.B1	1988	38 MW	156,19 m	
Total:				304,9MW		234,1 mill. m ³

Lærdalselva er sterkt regulert, noe som gir en mulighet til å holde igjen vann i magasinene og reduserer risikoen for storflom. Under flommen høsten 2014 ble det registrert en maksvannføring på 170 m³/s noe som er 4,7 ganger så høyt som gjennomsnittlig årlig vannføring (Langsholt m.fl. 2014 a).

Lærdalselva er lakseførende de første 24 kilometer. Gjennom bygging av fisketrapper i forbindelser med regulering har laksen mulighet til å vandre 41 kilometer oppstrøms (Solbakken m.fl. 2012).

3.3.2 Driftsvannføring og tilsig

Driftsvannføringen i perioden januar til april er $16,05 \text{ m}^3/\text{s}$ og tilsiget er $3,26 \text{ m}^3/\text{s}$, noe som tilsvarer en differanse på 4,92 ganger høyere driftsvannføring enn tilsig. I mai til september er driftsvannføringen $15,67 \text{ m}^3/\text{s}$ og tilsiget $32,28 \text{ m}^3/\text{s}$, noe som tilsvarer en differanse på 2,05 ganger høyere tilsig enn driftsvannføring. Mellom oktober og desember er driftsvannføringen på $16,12 \text{ m}^3/\text{s}$ og tilsiget på $7,55 \text{ m}^3/\text{s}$, som tilsvarer en differanse på 2,14 ganger høyere driftsvannføring enn tilsig (Figur 15).



Figur 15: Gjennomsnitt driftsvannføring og tilsig 2003-2015 i Lærdalselva. Graf basert på data fra Østfold Energi.

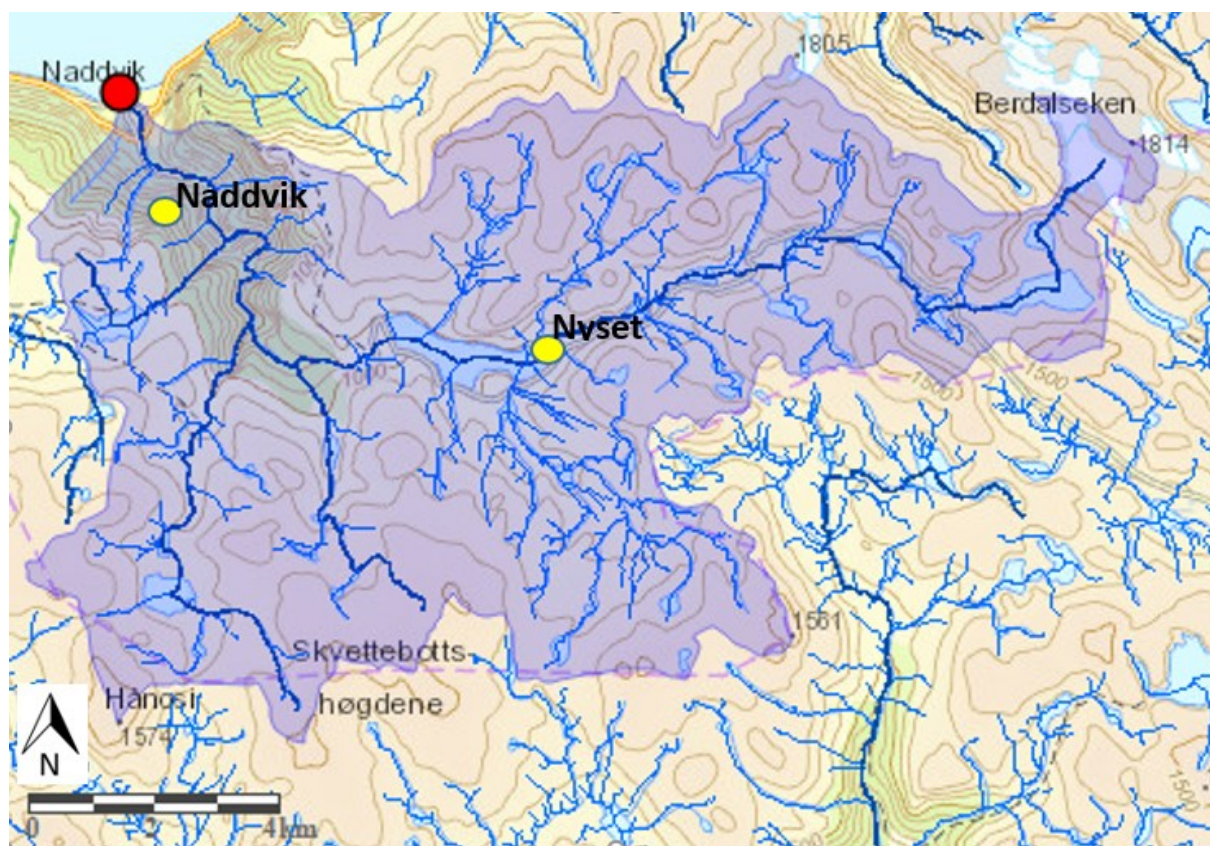
I Tabell 10 har vi regnet ut årlig avrenning og tilsig i km³/år, ut ifra data fra Østfold Energi. Dette sier noe om hvor stor betydning Lærdalselva har på ferskvannstilførselen til Sognefjorden. Differansen kan skyldes at vann som er registrert som tilsig ikke går gjennom kraftverket men renner i det naturlige elveløpet.

Tabell 10: Gjennomsnitt driftsvannføring og tilsig for Lærdalselva. Basert på data fra Østfold Energi.

Gjennomsnitt driftsvannføring	15,91 m ³ /s	0,5021 km ³ /år
Gjennomsnitt tilsig	16,42 m ³ /s	0,5181 km ³ /år
Differanse	0,51 m ³ /s	0,046 km ³ /år

3.4 Nysetelva

Nysetelva ligger i Årdal kommune og strekker seg over 25 km, fra småvann på fjellet mellom Årdalsfjorden og Lærdal til den renner ut ved Naddvik. Det er tre kraftverk knyttet til elven; Naddvik, Fossdal og Nyset.



Figur 16: Nedbørsfelt, Nysetelva. Gul prikk henviser til kraftverk, rød prikk henviser hvor vannet fra nedbørsfeltet renner ut i fjorden. Fossdal ligger utenfor det naturlige nedbørsfeltet og er derfor ikke med på figuren (NVE, karttjeneste b).

3.4.1 Teknisk data

Nysetelva har et nedbørsfelt på 112 km² (Figur 16), største delen av nedbørsfeltet er snaufjell (82,8 %) og bre utgjør 0,16 %. 85 % av dette går til kraftverket og direkte i fjorden, noe som har stor betydning for vannføringen i elven. Elven har en gjennomsnittsvannføring på 4,79 m³/s, minstevannføring på 0,25 m³/s og en årlig avrenning på 0,1511 km³/år (NVE karttjeneste b).

- Pumpekraftverket Fossdal pumper vann fra Fossdal og inn på overføringstunell mellom Berdalsvatn til Riskallvatn. Fossdal får vannet sitt fra tilhørende nedbørsfelt og Avdalen gjennom overføringstunell.
- Naddvik får vannet fra Riskallvatn, som er knyttet til Bredalsvatn. Dette vannet ender opp som dykket utslipp i fjorden etter Naddvik kraftverk (NVE karttjeneste c).

Totalt er magasinkapasiteten på 74,9 mill.m³ (Tabell 11).

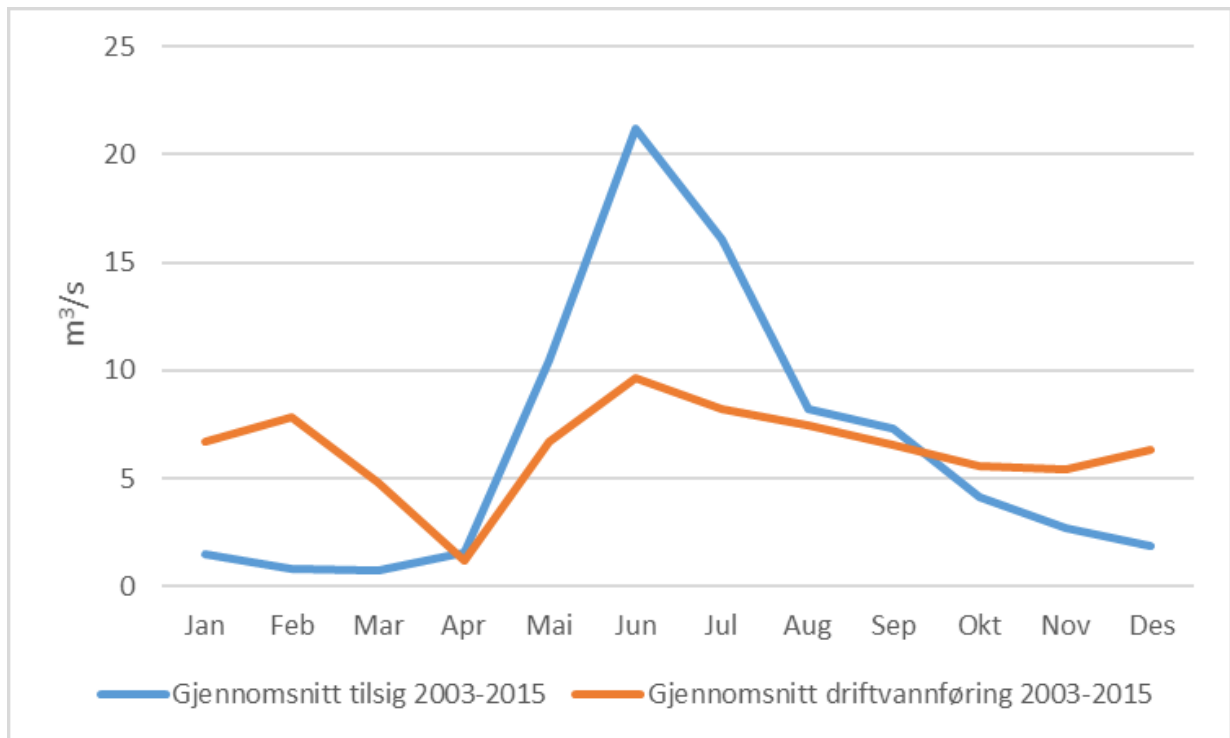
Tabell 11: Kraftverk tilknyttet Nysetelva. Nederste kraftverk, med utslipp i fjorden, er merket grått.

Type	Navn	Kraftverk nr.	Driftsstart	Kapasitet	Fallhøyde	Magasinkapasitet
Pumpe	Fossdal	074.B1B23	1978	-3,5 MW	0	
Magasin	Nyset	074.2B1	1988	5 MW	61 m	44,3 mill. m ³
Magasin	Naddvik	074.2A10	1987	112 MW	969 m	30,6 mill. m³
Total:				117 MW		74,9 mill. m ³

I 1990 fekk ÅSV Nyset- Steggje kraft AS tillatelse til å foreta tilleggsregulering og tilleggsutbygging i Nyset- Steggjevassdragene. Dette resulterte i et redusert nedbørsfelt på 85 % til Nysetelva, da vannet blir ført i tunnel direkte til Naddvik kraftstasjon og direkte ut i fjorden som dykket utslipp (Solbakken m.fl. 2012).

3.4.2 Driftsvannføring og tilsig

Driftsvannføringen i perioden januar til april er 5,15 m³/s og tilsiget er 1,15 m³/s, noe som tilsvarer en differanse på 4,47 ganger høyere driftsvannføring enn tilsig. I mai til september er tilsiget på 12,65 m³/s og driftsvannføringen på 7,72 m³/s, noe som tilsvarer en differanse på 1,64 høyere tilsig enn driftsvannføring. Mellom oktober og desember er driftsvannføringen på 5,78 m³/s og tilsiget på 2,89 m³/s, tilsvarende en dobling i vannføring (Figur 17).



Figur 17: Gjennomsnitt driftsvannføring og tilsig 2003-2015 i Nysetelva. Graf basert på data fra Østfold Energi.

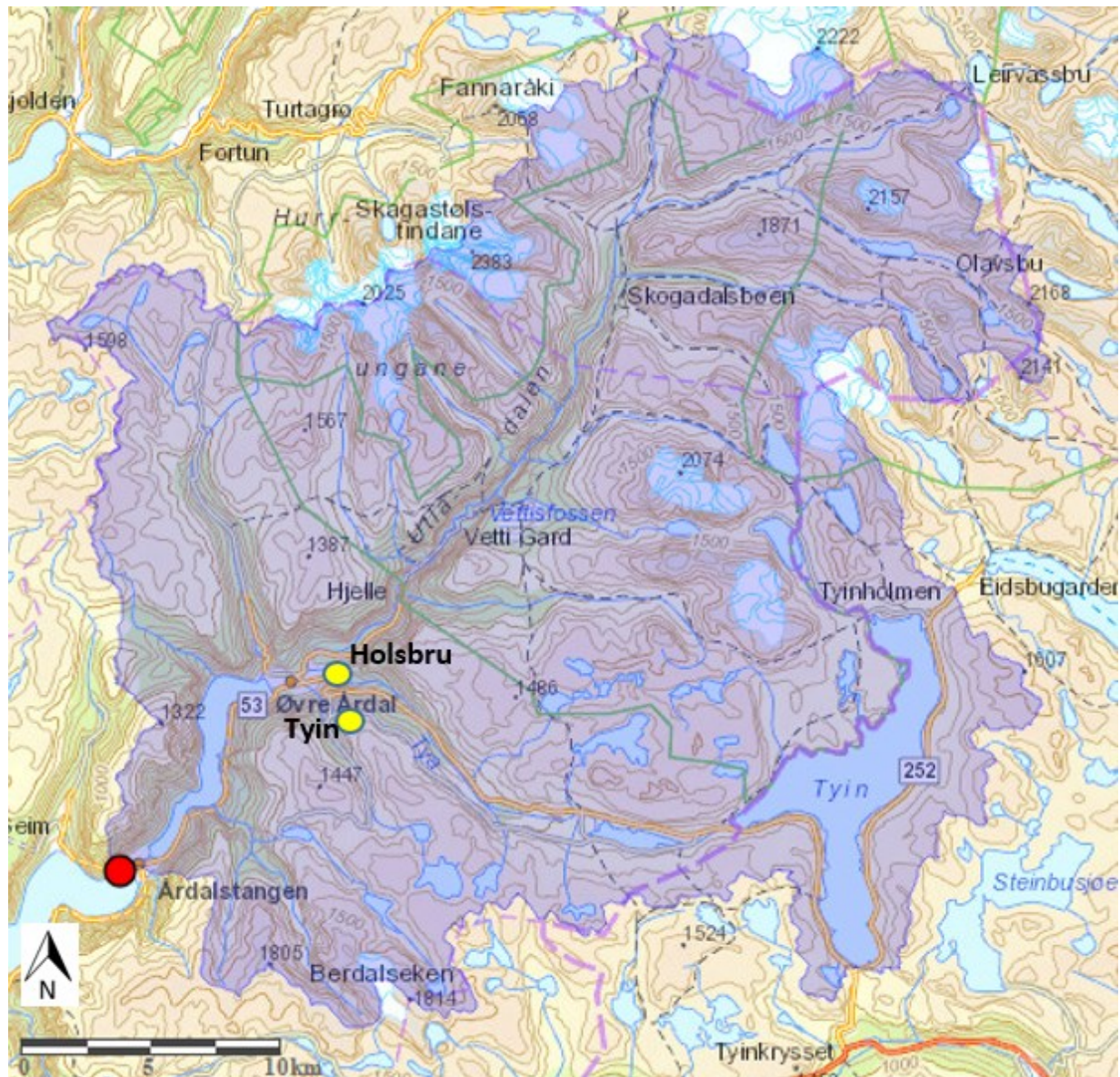
I Tabell 12 har vi regnet ut årlig avrenning og tilsig i km³/år ut ifra data fra Østfold Energi. Dette sier noe om hvor stor betydning Nysetelva har på ferskvannstilførselen til Sognefjorden.

Tabell 12: Gjennomsnitt driftsvannføring og tilsig for Nysetelva. Basert på data fra Østfold Energi.

Gjennomsnitt driftsvannføring	6,38 m ³ /s	0,2013 km ³ /år
Gjennomsnitt tilsig	6,38 m ³ /s	0,2013 km ³ /år
Differanse	0 m ³ /s	0 km ³ /år

3.5 Årdalsvassdraget

Årdalsvassdraget ligger i Årdal og Luster kommune og strekker seg over 54,7 km, fra den vestlige delen av Jotunheimen til den renner ut i Årdalsfjorden ved Årdalstangen. Elven er sterkt regulert og er knyttet til kraftverkene Holsbru og Tyin.



Figur 18: Nedbørsfelt, Årdalsvassdraget. Gul prikk henviser til kraftverk, rød prikk henviser hvor vannet fra nedbørsfeltet renner ut i fjorden (NVE, karttjeneste b).

3.5.1 Teknisk data

Årdalsvassdraget har et nedbørsfelt på 981,55 km² (Figur 18), største delen av nedbørsfeltet er snaufjell (74,94 %) og bre utgjør 0,08 %. Elven har en gjennomsnitt vannføring på 44,43 m³/s, årlig avrenning på 1,4011 km³/år og en minstevannføring på 3,44 m³/s (NVE

karttjeneste b). Grunnet mange breer, samlet på et areal på 25 km², som drenerer til Utle, har elven en lav sommertemperatur som sjeldent er over 11 °C (Solbakken m.fl. 2012).

Det er to kraftverk knyttet til Årdalsvassdraget:

- Tyin kraftverk får vann fra magasinet Viervatn (9,2 mill.m³), Biskopvaten (4,4 mill.m³), Krekavatnet (12,6 mill. m³), og Torolmen (3,6 mill. m³). Torolmen får igjen vann fra Tyin (313 mill. m³), Mannsbergvatn (17 mill. m³), Kyrkjevatn (6,5 mill. m³), og Nedre Breibotnvatn (1 mill. m³).
- Vann fra Tyin blir fordelt mellom Holsbru kraftvert og Årdalsvatnet (NVE karttjeneste c).

Totalt har disse en magasinkapasitet på 367,3 mill.m³ (Tabell 13).

Tabell 13: Kraftverk tilknyttet Årdalsvassdraget. Nederste kraftverk, med utslipp i fjorden, er merket grått.

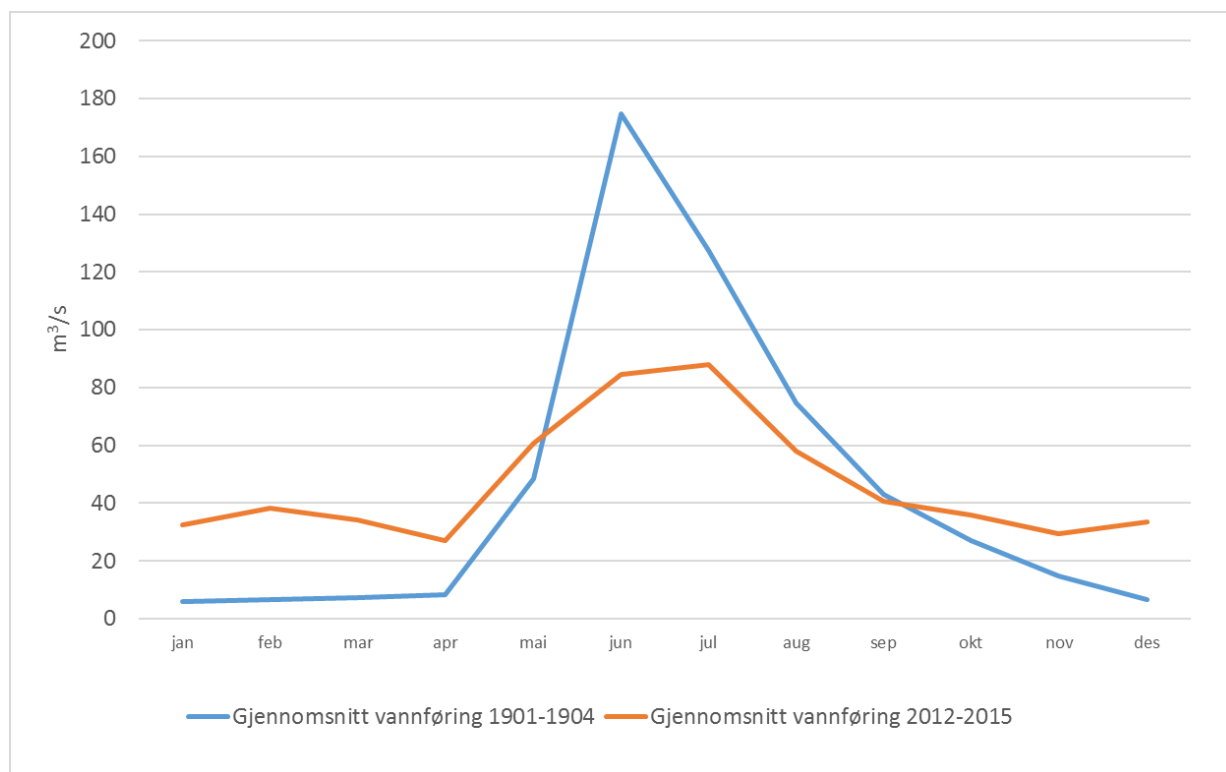
Type	Navn	Kraftverk nr.	Driftsstart	Kapasitet	Fallhøyde	Magasinkapasitet
Elvekraftverk	Holsbru	074.C12	2012	48,9 MW	687,8 m	
Magasin	Tyin	074.C1A2	2004	374 MW	1040 m	367,3 mill. m ³
Total:				422,9 MW		367,3 mill. m ³

Vannføringen i elven er sterkt preget av reguleringen. I rapporten «Flaumsonkart delprosjekt Årdal Sogn» (Edwardsen og Roald, 2013) forklarer de forholdet før og etter regulering. Vannføringen i vassdraget blir karakterisert av stor vannføring i forhold til snøsmelting i juni-juli, da også de fleste og største flommene opptrer. Det er også mange tilfeller med store flommer på høsten. Etter reguleringene fant sted er det noen høstflommer som har vært enda større i Hæreidselva ut av Årdalsvatnet, men før reguleringene var det flommene i juni, juli og august som var de største. Under flommen høsten 2014 ble det registrert en maks vannføring på 357 m³/s, 8,03 ganger høyere enn gjennomsnitts vannføring (Langsholt m. fl. 2014 a).

3.5.2 Vannføring før og etter regulering

På grafen ser vi en kraftig økning i vannføringen fra 7 m³/s til 32,96 m³/s mellom januar og april i 2012-2015, sammenlignet med 1901-1904. Dette tilsvarer en økning på 4,7 ganger. Mellom mai og september var vannføringen mellom 1901-1904 på 93,61 m³/s og 66,39 m³/s mellom 2012-2015. Dette tilsvarer en nedgang på 1,41 ganger. Mellom oktober og desember

er vannføringen i perioden 1901-1906 på 16,07 m³/s og 32,99 m³/s mellom 2012-2015, en tilsvarende økning på 2,05 ganger (Figur 19). I disse utregningene er det ikke tatt forhold til nedbørsøkningen som har vært mellom målingene (Tabell 3). Denne nedbørsøkningen vil være på rundt 20 %.



Figur 19: Gjennomsnitt vannføring 1901- 1904 (før regulering) og vannføring 2012- 2015 i Årdalsvassdraget. Data hentet fra NVEs målestasjon 74.1.0.

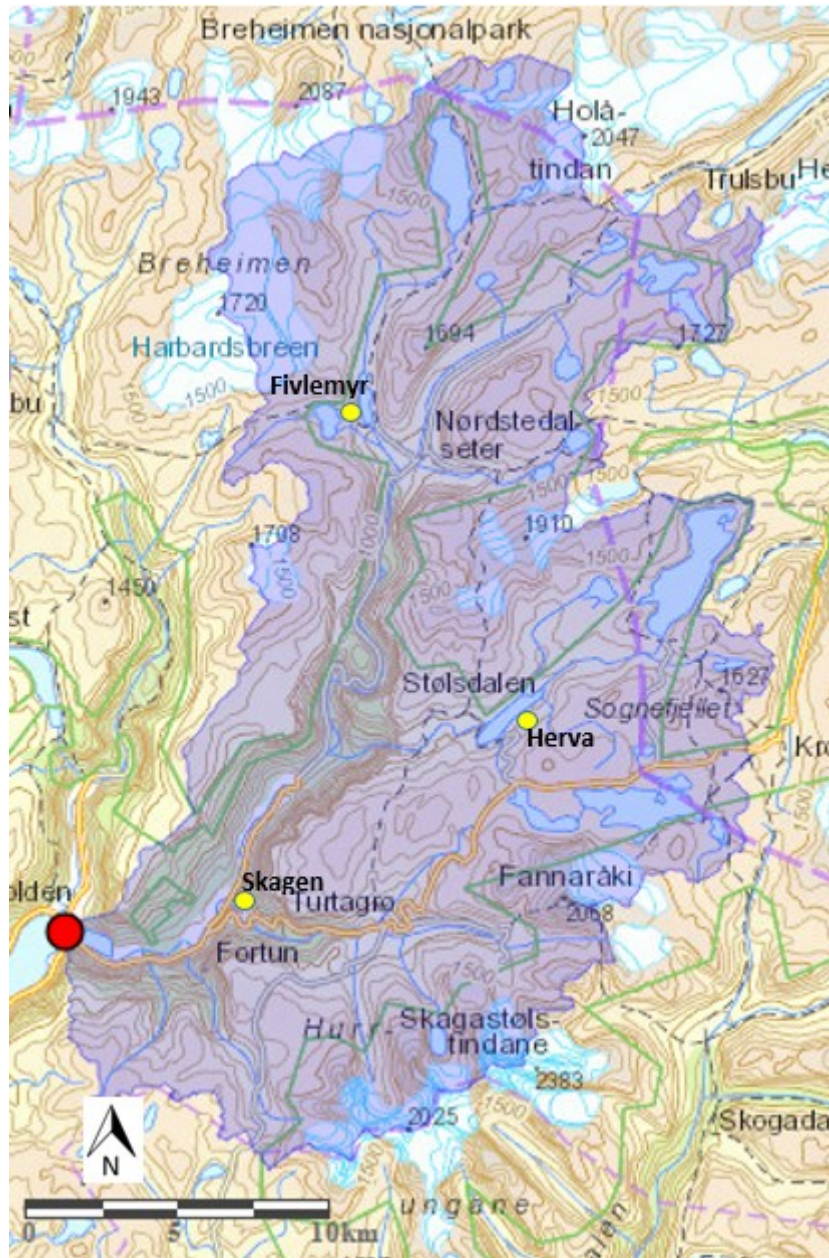
I Tabell 14 har vi regnet ut gjennomsnitt vannføring fra før og etter utbygging i km³/år, ut ifra data fra NVEs målestasjon. Dette sier noe om hvor stor betydning Årdalsvassdraget har på ferskvannstilførselen til Sognefjorden. Differansen vi ser kan skyldes nedbørsøken.

Tabell 14: Gjennomsnitt vannføring for Årdalsvassdraget, før og etter utbygging. Basert på data fra NVEs målestasjon 74.1.0.

Gjennomsnitt vannføring før utbygging	45,36 m ³ /s	1,4314 km ³ /år
Gjennomsnitt vannføring etter utbygging	46,9 m ³ /s	1,4800 km ³ /år
Differanse	1,54 m ³ /s	0,0486 km ³ /år

3.6 Fortundalselva

Fortundalselva ligger i Luster kommune og strekker seg over 46 km, fra Nøstedøla og Middøla, til den renner ut ved Skjolden innerst i Sognefjorden. Elven er sterkt regulert og deler av Sognefjellet er drenert og vann føres i rørgater til magasin/kraftverk (Figur 21). Det er tre kraftverk knyttet til elven; Fivlemyr, Herva og Skagen.



Figur 20: Nedbørsfelt, Fortundalselva. Gul prikk henviser til kraftverk, rød prikk henviser hvor vannet fra nedbørsfeltet renner ut i fjorden (NVE, kartjeneste b).

3.6.1 Teknisk data

Fortundalselva har et nedbørsfelt på 512 km² (Figur 20), største delen av nedbørsfeltet er snaufjell (74,8 %) og bre utgjør 6,9 %. Elven har en gjennomsnitts vannføring på 25,71 m³/s, minstevannføring på 2,22 m³/s og en årlig avrenning på 0,81111 km³/år (NVE karttjeneste b).



Figur 21: Deler av Sognefjellet er drenert og vann føres i tunnel til Skagen kraftverk. Foto: Jostein Rødland, fra Skagastølsbotn.

- Kraftverket Fivlemyr får vannet sitt fra Gravdalsvatn og har en magasinkapasitet på 11,1 mill. m³. Vannet slippes videre ut i magasinet Fivlemyrane som er knyttet til Skagen.
- Herva er et pumpekraftverk som får vannet sitt fra to reguleringsmagasin, Øvre Hervavatn (7,7 mill. m³) og Storevatn (109 mill. m³), som igjen er tilkoblet flere vann ved hjelp av rørgater; Prestesteinsvatn (45,8 mill. m³), Øvre Grønevatn (6,9 mill. m³), Namnlausvatn (3,2 mill. m³), Medalsvatn (1 mill. m³), Svartdalsvatn (10,6 mill. m³), Breidalsvatn (16,4 mill. m³) og Ilvatn (51,1 mill. m³). Vannet fra Herva slippes ut i Skålavatn.
- Skagen kraftstasjon har ett reguleringsmagasin, Skålavatn (21,5 mill. m³), som igjen er tilkoblet vannene Fivlemyrane (3,5 mill. m³) og Nedre Grønevatn (3,8 mill. m³) ved hjelp av rørgater (NVE karttjeneste c).

Total magasinkapasitet er på 291,6 mill. m³ (Tabell 15). I området finnes det to kraftverk, Øyane og Ilvatn pumpekraftverk, der konsesjon er under vurdering.

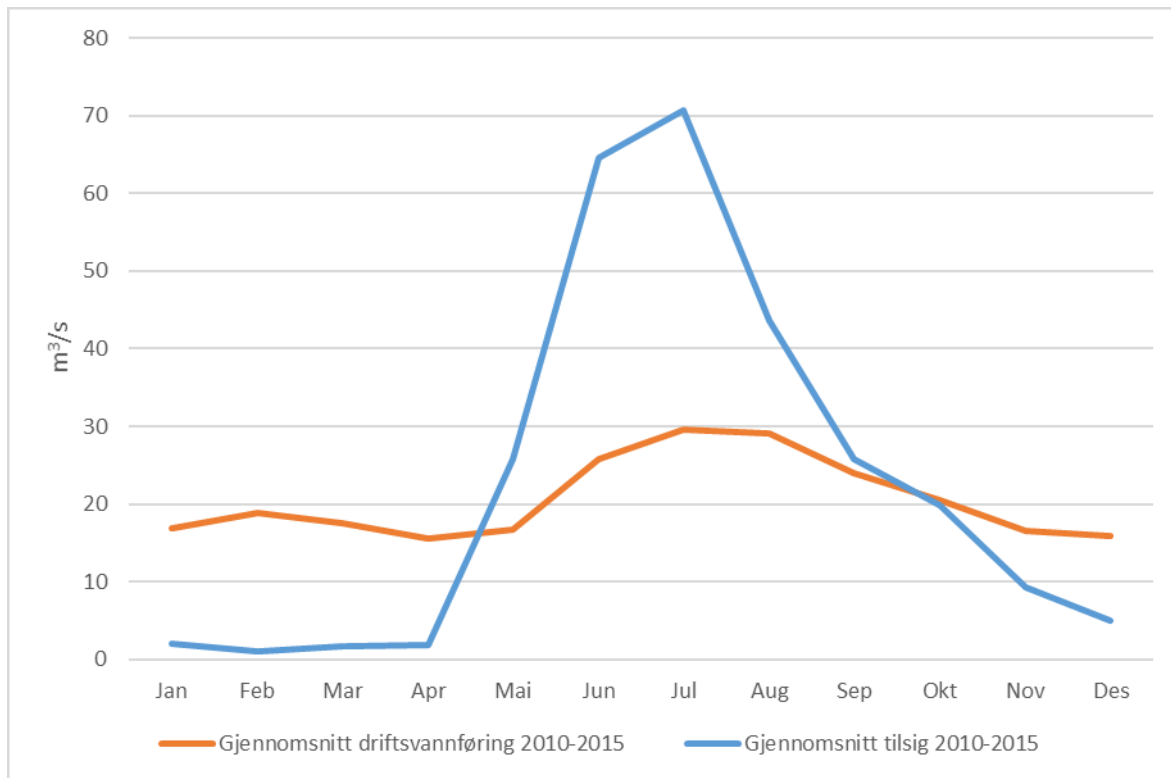
Tabell 15: Kraftverk tilknyttet Fortundalselva. Nederste kraftverk, med utslipp i fjorden, er merket grått.

Type	Navn	Kraftverk nr.	Driftsstart	Kapasitet	Fallhøyde	Magasinkapasitet
Småkraft	Fivlemyr	075.DB	1962	2MW	230 m	11,1 mill. m ³
Pumpe	Herva	075.CC12	1962	33MW	257 m	251,7 mill. m ³ ,
Magasin	Skagen	075.BA0	1959	270MW	967 m	28,8 mill. m³
Total:				305 MW		291,6 mill. m ³

På grunn av reguleringen er vannet på sommerhalvåret kaldere og vannet på vinterhalvåret varmere enn før regulering. Store deler av Sognefjellet er regulert, og reguleringen gjør at det er mindre vann ovenfor kraftstasjonen enn tidligere (Gladsø og Hylland, 2002).

3.6.2 Driftsvannføring og tilsig

På grafen under ser vi at driftsvannføringen, mellom januar og april er 17,4 m³/s og tilsiget 1,59 m³/s, noe som tilsvarer en differanse på 10,94 ganger høyere driftsvannføring enn tilsig. Fra mai til september er driftsvannføringen 25 m³/s og tilsiget 46,11 m³/s, noe som tilsvarer en differanse på 1,84 ganger høyere tilsig enn driftsvannføring. Driftsvannføringen mellom oktober og desember er 17,61 m³/s og tilsiget 11,39 m³/s, noe som tilsvarer en differanse på 1,54 ganger høyere driftsvannføring enn tilsig (Figur 22).



Figur 22: Gjennomsnitt driftsvannføring og tilsig, 2010-2015, i Fortundalselva. Basert på data fra Hydro.

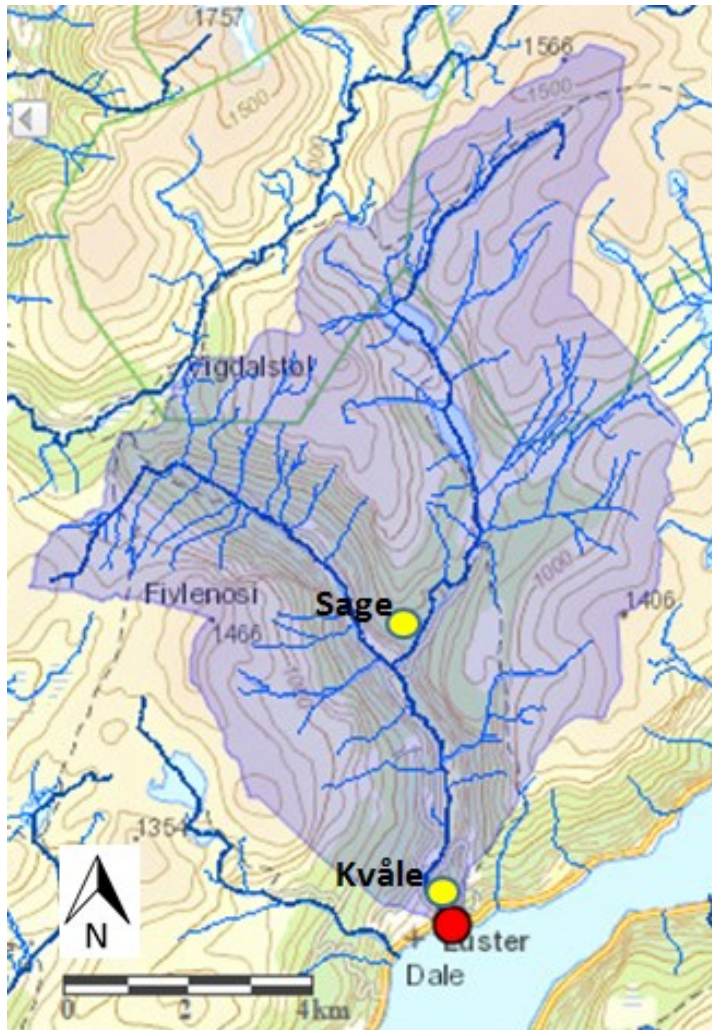
I Tabell 16 har vi regnet ut årlig avrenning og tilsig i km³/år ut ifra data fra Hydro. Dette sier noe om hvor stor betydning Fortundalselva har på ferskvannstilførselen til Sognefjorden. Differansen kan skyldes at vann som er registrert som tilsig ikke går gjennom kraftverket men renner i det naturlige elveløpet.

Tabell 16: Gjennomsnitt driftsvannføring og tilsig for Fortundalselva. Basert på data fra Hydro.

Gjennomsnitt driftsvannføring	20,53 m ³ /s	0,6478 km ³ /år
Gjennomsnitt tilsig	22,59 m ³ /s	0,7128 km ³ /år
Differanse	2,06 m ³ /s	0,065 km ³ /år

3.7 Dalsdalselvi

Dalsdalselvi ligger i Luster kommune og strekker seg over totalt 13,4 km, fra fjellområdet mellom Jostedalen og Luster til den renner ut i Lustrafjorden. Kraftverkene Sage og Kvåle er tilknyttet elven, men er allikevel lite preget av regulering.



Figur 23: Nedbørsfelt, Dalsdalselvi. Gul prikk henviser til kraftverk, rød prikk henviser hvor vannet fra nedbørsfeltet renner ut i fjorden (NVE, karttjeneste b).

3.7.1 Teknisk data

Fra fjellområdet mellom Jostedalen og Luster, renner vannet til Sage kraftverks inntaksdam. Videre går vannet gjennom Sage kraftstasjon, renner ut i det naturlige elveløpet. Vann fra elven blir igjen tatt opp ved et inntak ved Skårhaugane og ført i rør til Kvåle kraftstasjon. Vannet blir igjen sluppet ut i Dalsdalselvi nedenfor kraftstasjonen og deretter ut i Lustrafjorden, ved Luster. Elven har et nedbørsfelt på 76,6 km² (Figur 23), største delen av nedbørsfeltet er snaufjell (58,2 %). Dalsdalselvi har en gjennomsnittsvannføring på 3,37 m³/s, minimumsvannføring på 0,13 m³/s og en årlig avrenning på 0,1063 km³/år (NVE karttjeneste b).

- Sage kraftverk har en inntaksdam som får vann fra Kringlevatn (2,8 mill. m³) og Smørvivatn (4,2 mill. m³).

Total magasinkapasitet er på 7 mill. m³ (Tabell 17, NVE karttjeneste c).

Tabell 17: Kraftverk tilknyttet Dalsdalselvi. Nederste kraftverk, med utslipp i fjorden, er merket grått.

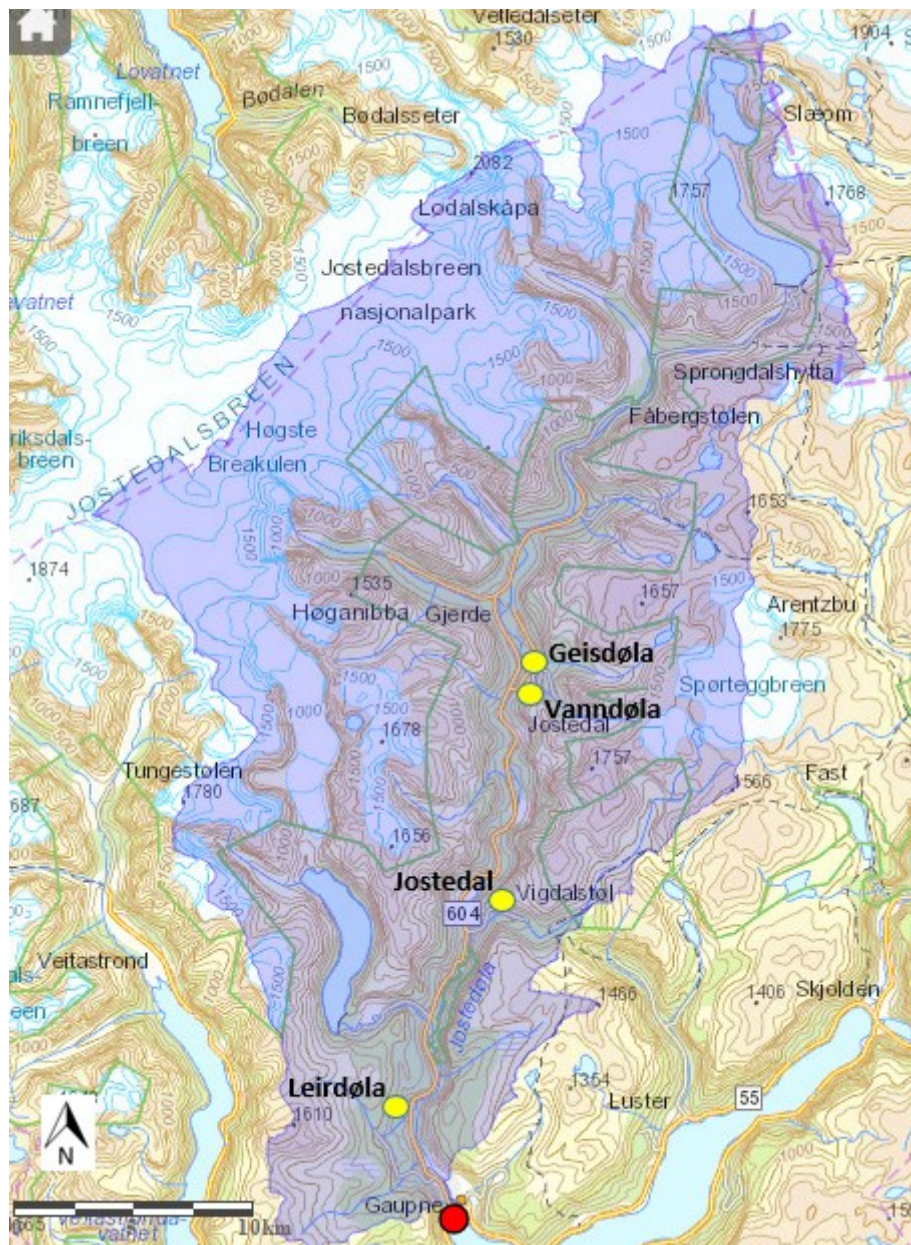
Type	Navn	Kraftverk nr.	Driftsstart	Kapasitet	Fallhøyde	Magasin kapasitet
Magasin/ småkraft	Sage	075.5AA	2001	8,9 MW	340 m	7 mill. m ³
Småkraft	Kvåle	075.5A1	2009	4,6 MW	112 m	
Total:				13,5 MW		7 mill. m ³

Fiske og bunndyrfaunaen i den delen av Dalsdalselvi som blir påvirket av kraftverket, er undersøkt av Universitetet i Bergen, Zoologisk Institutt høsten 2002. Det er konkludert med at den nedre delen av vassdraget, nedstrøms det planlagte kraftverket, er avgjørende for produksjon av anadrom fisk i vassdraget. Den delen av elven som blir påvirket av den planlagte kraftutbyggingen, er derimot ikke avgjørende for produksjonen av fisk (Sagen, 2004).

Vi har ikke fått data av Luster Energiverk for vannføring før og etter utbygging av kraftverkene i Dalsdalselvi. NVE har ikke målinger fra før utbygging.

3.8 Jostedalselva

Jostedalselva ligger i Luster kommune og strekker seg over 68,5 km, fra Styggevatnet og Kupvatnet til Gaupnefjorden ved Gaupne. Elven er sterkt påvirket av regulering knyttet til kraftverkene Leirdøla, Jostedal, Vanndøla og Geisdøla.



Figur 24: Nedbørsfelt, Jostedalselva. Gul prikk henviser til kraftverk, rød prikk henviser hvor vannet fra nedbørsfeltet renner ut i fjorden (NVE, karttjeneste b).

3.8.1 Teknisk data

Jostedalselva har et nedbørsfelt på 863,4 km² (Figur 24), største delen av nedbørsfeltet er snaufjell (47,9 %) og bre utgjør 26,9 %. Jostedalselven har en gjennomsnitt vannføring på 60,35 m³/s, minstevannføring på 3,97 m³/s og en årlig avrenning på 1,903 km³/år (NVE karttjeneste b).

- Jostedalen kraftverk har et reguleringsmagasin, Styggevatnet (352 mill. m³), som blir supplert av Kupvatnet (146 mill. m³).
- Leirdøla kraftverk har Tunsbergdalsvatn (178 mill. m³) som reguleringsmagasin (NVE karttjeneste c).

Total magasinkapasitet for elven er 676 mill.m³ (Tabell 18). I tillegg finner en Røneid kraftverk (småkraftverk) som er under utbygging og Rydøla kraftverk der konsesjon er søkt.



Figur 25: Dykket utslipp til Jostedal og Leirdøla, i Gaupnefjorden. Foto: Martina Grøttå

Tabell 18: Kraftverk tilknyttet Jostedalselva. Nederste kraftverk, med utslipp i fjorden, er merket grått.

Type	Navn	Kraftverk nr.	Driftsstart	Kapasitet	Fallhøyde	Magasinkapasitet
Småkraft	Geisdøla	076.D5A2	2005	1,27 MW	79m	
Magasin	Jostedal	076.CA0	1989	288 MW	1163m	498 mill. m³
Småkraft	Vanndøla	076.D3A0	2008	3,8 MW	510m	
Magasin	Leirdøla	076.B2Z	1978	125 MW	454m	178 mill. m³
Total:				418,07MW		676 mill. m ³

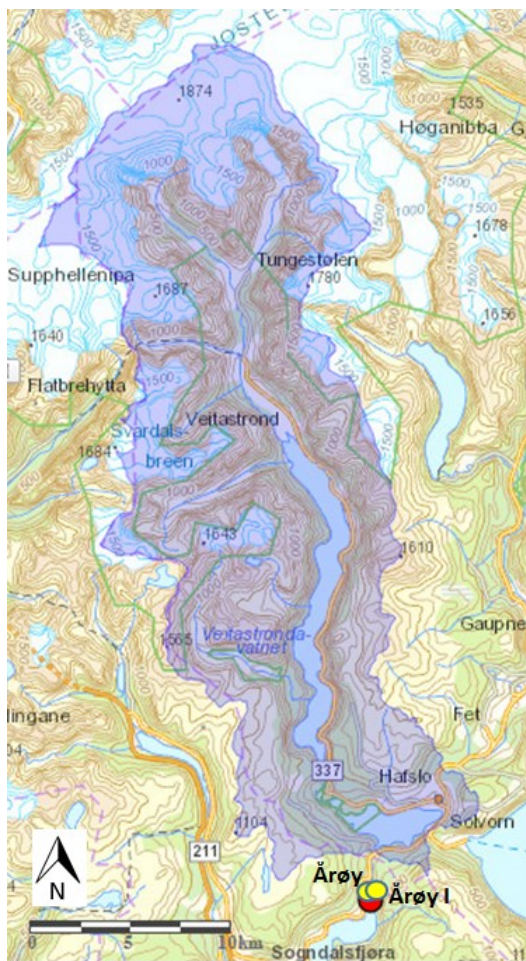
Før utbyggingen var Jostedalselva preget av store svingninger i vannføringen. Som følge av utbyggingen ble vannføringen ved utløpet av Jostedalselven redusert med 59 % av det naturlige da avløpet fra de to magasin kraftverkene går direkte i fjorden som dykket utslipp på 42 m.u.h. (Figur 25). Etter reguleringen har vannføringen i elven blitt mer stabil, og den lakseførende strekningen ble forlenget fra 14 til 21 km ved utbedring av vandringshindre, dette har vært positivt for lakse- og ørretbestanden i elven (Solbakken m.fl. 2012). Fra fagrappporten til AMBIO miljørådgivning (Ledje og Larsen, 2011) viser en analyse i Jostedal

ved Husøy at temperaturen har blitt redusert med ca 1 °C i juli-september, og med ca. 0,5 °C utover høsten (Barlaup m.fl. 2003). Under flommen høsten 2014 ble vannføringen i Jostedalselva målt til 420 m³/s. Vannføringen ble sannsynligvis redusert med 100 m³/s på grunn av magasinene som holdt igjen vann (Langsholt m.fl. 2014 a).

NVE har ikke data nedenfor kraftutslippet som strekker seg tilbake til før utbygging. Vi har mottatt data over tilsig og driftsvannføring over Jostedal og Leirdøla fra Statkraft. Vi har ikke lov å publisere disse uten Statkrafts samtykke.

3.9 Årøyvassdraget

Årøyvassdraget ligger i Luster og Sogndal kommune og strekker seg over 49 km, fra Veitastrondsvatnet og ned til Barsnesfjorden. Det er to kraftverk knyttet til elven; Årøy og Årøy 1.



Figur 26: Nedbørsfelt, Årøyelva. Gul prikk henviser til kraftverk ved Steig, rød prikk henviser hvor vannet fra nedbørsfeltet renner ut i fjorden (NVE, karttjeneste b).

3.9.1 Teknisk data

Årøyelva har et nedbørsfelt på 451,3 km² (Figur 26), der 40 % av nedbørsfeltet er snaufjell og 5,8 % utgjør bre. Elven har en gjennomsnittsvannføring på 30,37 m³/s, minimumsvannføring på 3,15 m³/s og en årlig avrenning på 0,9577 km³/år (NVE karttjeneste b).

- Årøy kraftverk er et lite magasinkraftverk tilknyttet Hafslovatnet (8 mill. m³) og Veitastrondsvannet (45 mill. m³).
- Årøy 1 er et elvekraftverk med inntak i elven like nedenfor Hafslovatnet (NVE karttjeneste c).

Begge kraftverkene slipper vannet ut i elven ved Steig, 1,5 km fra Barsnesfjorden. De nedre 1,5 km av elven er kjent for godt laksefiske og har av denne grunn stor verdi nasjonalt (Solbakken m.fl. 2012). Total magasinkapasitet er på 53 mill.m³ (Tabell 19). Området mellom kraftverket og Hafslovatnet er nesten tørrlagt, store deler av året, da vannet blir ført i rør til kraftverkene (Figur 27).



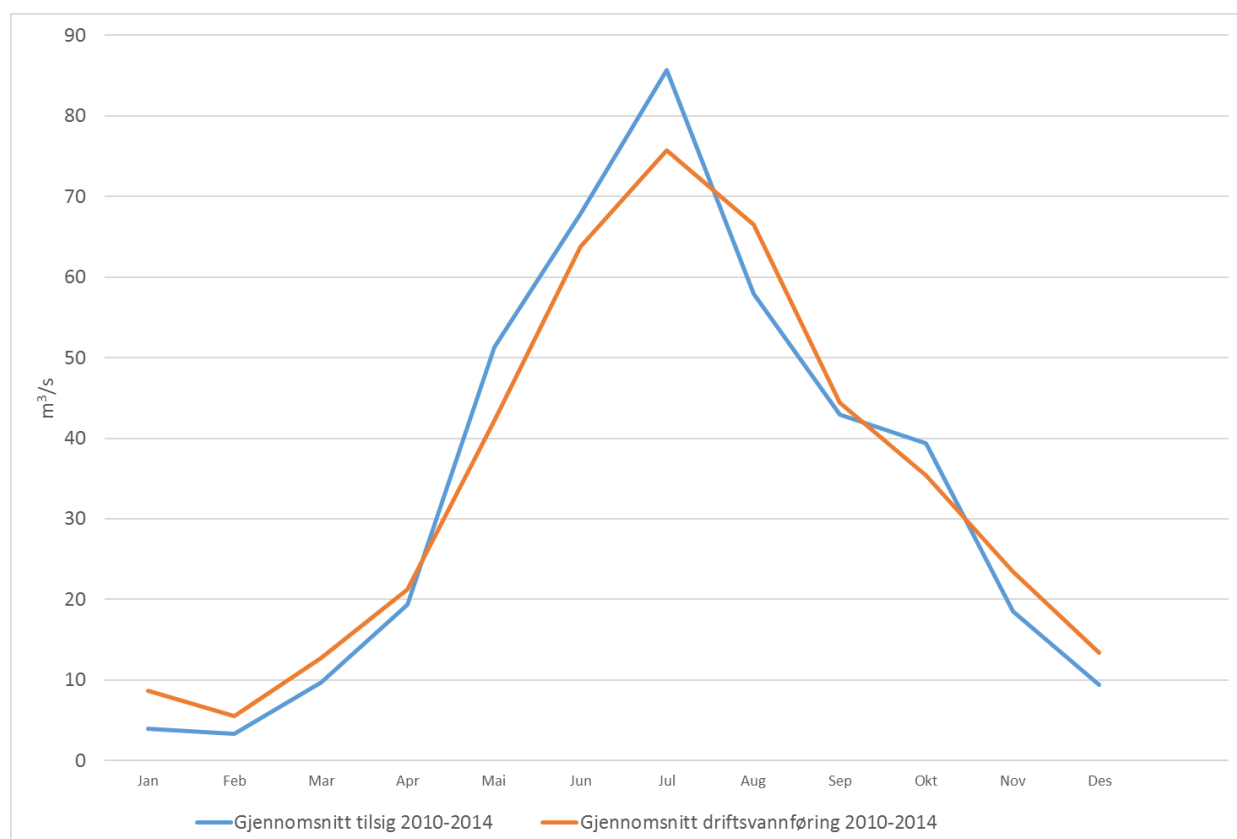
Figur 27: Utslipp fra Årøy ved Steig (venstre) og vann fra Årøy 1 slippes ut ved grønn bygning. Naturlig elveløp (høyre) er kraftig redusert. Foto: Martina Grøttå.

Tabell 19: Kraftverk tilknyttet Årøyvassdraget. Nederste kraftverk, med utslipp i fjorden, er merket grått.

Type	Navn	Kraftverk nr.	Driftsstart	Kapasitet	Fallhøyde	Magasinkapasitet
Småkraft	Årøy 1	077.A2	1943	4 MW	130 m	
Magasin	Årøy	077.A2	1983	90 MW	147 m	53 mill. m ³
Total:				94 MW		53 mill. m ³

3.9.2 Driftsvannføring og tilsig

På grafen under ser vi at driftsvannføringen mellom januar og april er 12,07 m³/s og tilsiget 9,11 m³/s, noe som tilsvarer en differanse på 1,32 ganger høyere driftsvannføring enn tilsig. Fra mai til september er driftsvannføringen 58,55 m³/s og tilsiget 61,16 m³/s, noe som tilsvarer en differanse på 1,04 ganger høyere tilsig enn driftsvannføring. Driftsvannføringen mellom oktober og desember er 24,05 m³/s og tilsiget 22,44 m³/s, noe som tilsvarer en differanse på 1,07 ganger høyere driftsvannføring enn tilsig (Figur 28).



Figur 28: Gjennomsnitt tilsig og driftsvannføring av Årøyvassdraget fra 2010 til 2014. Data er hentet fra Sognekraft sine målestasjoner.

I Tabell 20 har vi regnet ut årlig avrenning og tilsig i km³/år ut ifra data fra Sognekraft sine målestasjoner. Dette sier noe om hvor stor betydning Årøyvassdraget har på ferskvannstilførselen til Sognefjorden. Differansen kan skyldes at ikke alt tilsiget til vassdraget er registrert.

Tabell 20: Gjennomsnitt driftsvannføring og tilsig for Årøyvassdraget. Basert på data fra Sognekraft sine målestasjoner.

Gjennomsnitt driftsvannføring	34,43 m ³ /s	1,0865 km ³ /år
Gjennomsnitt tilsig	34,13 m ³ /s	1,0770 km ³ /år
Differanse	0,3 m ³ /s	0,0095 km ³ /år

4 Diskusjon

4.1 Usikkerhet

I utregningen vil det være en feilmargen da det er forskjellig type data og ulike årsintervaller som er sammenlignet. De forskjellige dataseriene til de ulike kraftverkene er fra forskjellige årsintervaller, og enkelte kraftverk har lengre dataserier for utregning av gjennomsnittlig månedlig vannføring. Dataseriene vi har fått fra de ulike kraftselskapene og NVE er ikke kontrollert for eventuelle avvik. Når vannføringsdata fra forskjellige årsintervaller sammenlignes opp mot hverandre vil nedbørsvariasjonen mellom de aktuelle årene gi utslag. Det er ikke tatt hensyn til nedbørsøken som har vært siden 1900, i utregningene. For å kompensere for den varierende nedbøren fra år til år er det regnet ut gjennomsnittnedbør per måned over flere år for å lage en normalverdi. Det vil være en feilmargen da det i noen vassdrag er benyttet vannføring fra før og etter utbygging, og i noen benyttet tilsig og driftsvannføring for å regne ut gjennomsnittlig avrenning. I Figur 30 er ikke Jostedal, Leirdøla, Sage og Kvåle kraftverk tatt med i beregningen.

4.2 Totalt omfang av vannkraftregulering i Indre Sogn

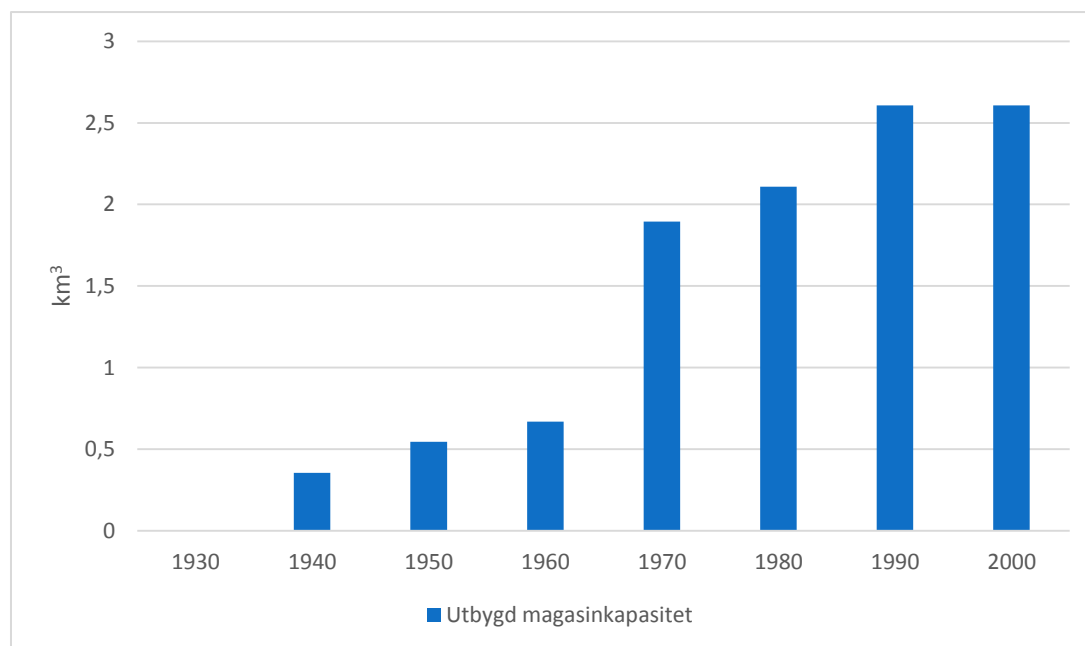
Indre Sognefjorden er sterkt påvirket av regulerbar kraft. De regulerte elvene står for en stor del av ferskvannstilførselen til Indre Sognefjorden, da den totale årlige avrenningen er $8,2067 \text{ km}^3/\text{år}$. Magasinene har en total kapasitet på $2,607 \text{ km}^3$, tilsvarende 31,76 % av den totale årlige avrenningen (Tabell 21). Den totale nedbøren i Indre Sogn basert på arealet av kommunene i Indre Sogn ($7418,28 \text{ km}^2$), og nedbør basert på middelvei for perioden 1971-2000 i Sogndal (1070 mm) utgjør $7,9376 \text{ km}^3$ (Anon, 2016 c). Nedbørsmengden beregnet ut ifra kommuneareal og gjennomsnittsnedbør, gir en grov indikasjon på at de regulerte vassdragene står for en stor del av vannet som tilføres fjorden. Den beregnede nedbørsmengden for kommune og gjennomsnittsnedbør er lavere enn avrenningen fra de regulerte elvene. Dette skyldes at flere elver får vann fra kommuner utenfor Indre Sogn. Nedbørsfeltet til de regulerte elvene er $5265,05 \text{ km}^2$, dette utgjør 70,97 % av det totale arealet til Indre Sogn. Siden de regulerte vassdragene står for en stor del av vannet som tilføres fjordsystemet, vil forskyvningen i avrenningsmønsteret kunne gjøre betydelige endringer i fjordsystemet.

Til tross for at Indre Sogn (Lærdal 510 mm, Øvre Årdal 720 mm og Sogndal 1070 mm) (Anon, 2016, c) har mindre nedbør enn landsgjennomsnittet (1600 mm) er Indre Sogn godt egnet for kraftproduksjon grunnet store deler av nedbørsfeltet ligger i høyfjellet. Smeltevann fra Jostedalsbreen bidrar også til en stabil vannføring i sommerhalvåret, selv i perioder med lite nedbør.

På slutten av 60- og 70 tallet var det en stor vannkraftutbygging i Indre Sogn. På Figur 29 ser vi at de største magasinene ble ferdigstilt på 1970 tallet.

Tabell 21: Total kapasitet, magasinkapasitet, nedbørsfelt og årlig avrenning av kraftverkene i oppgaven

Kapasitet	Magasinkapasitet	Nedbørsfelt	Årlig avrenning km ³ /år
2971,4 MW	2,607 km ³	5 265,05 km ² .	8,2067 km ³ /år



Figur 29: Utbygd magasinkapasitet fra år 1930 til 2000, kumulert fremstilt, basert på startår for produksjon.

4.3 Forflytningspotensial

De nye sjøkablene til Europa vil gjøre det mulig å utnytte enda mer av forflytningspotensialet til de magasinerte kraftverkene (Tabell 22). Om Norge skal tilpasse kraftproduksjonen etter behovet til resten av Europa, som får mye av sin fornybare elektrisitet fra sol og vind, vil dette kunne resultere i større svingninger i produksjonen gjennom året (Haugan, 2015).

Kraftverk med høy magasinkapasitet har muligheten å produsere energi i vinterhalvåret selv om tilsiget er lavt og store deler av nedbøren kommer som snø i fjellet. Det er magasinkapasitet som gir kraftverkene mulighet til å skape en faseforskyvning i avrenningsmønsteret. Tabell 22 viser en oversikt over forflytningspotensial. Vassdrag med høy forflytningspotensial viser de største endringer i vinter og sommervannføringsmønsteret.

Tabell 22: Forflytningspotensial av avrenningsmønster og total beregning over hver enkelt regulerte elv i Indre Sognefjorden. Data hentet fra NVEs karttjeneste (NVE, karttjeneste b)

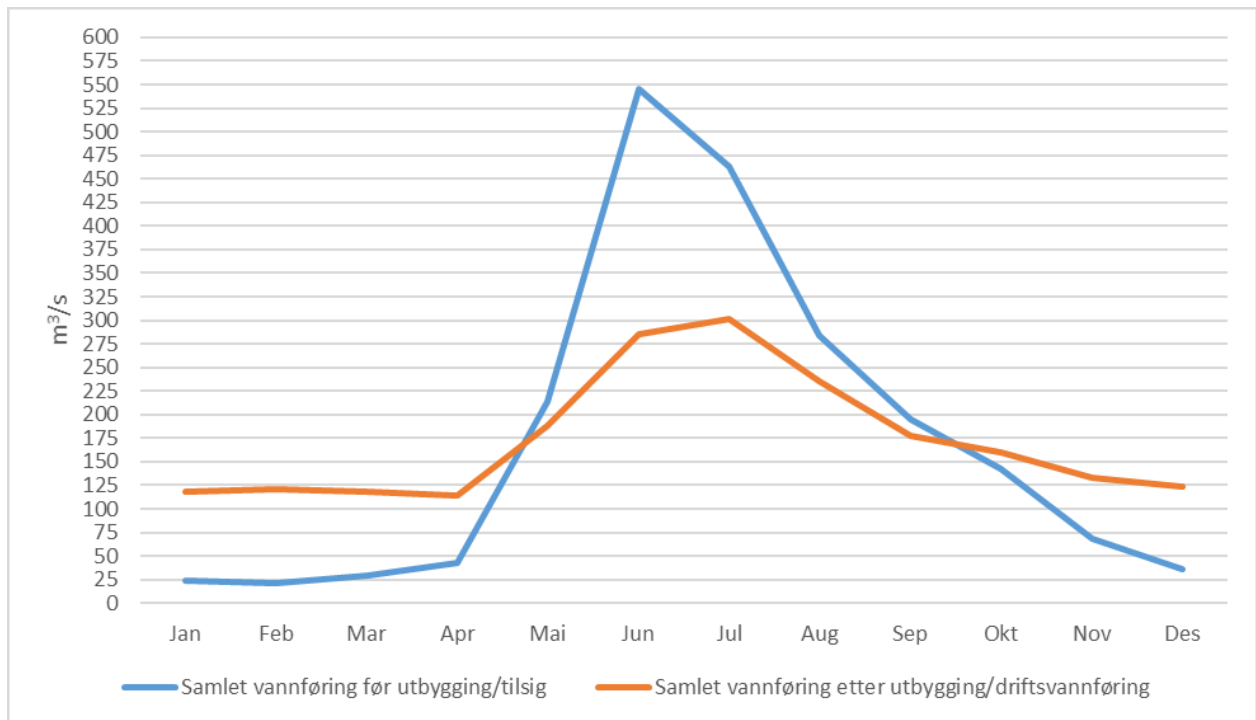
Elver	Gjennomsnitt vannføring	Km ³ /år	Magasin kapasitet	Magasinkapasitet Årlig avrenning *	Forflytnings potensial**
Flåms vassdraget	17,23 m ³ /s	0,5434 km ³ /år	10,5 mill. m ³ 0,0105 km ³	$\frac{0,0105}{0,5434} = 0,019$	7 dager
Aurlands vassdraget	37,48 m ³ /s	1,1820 km ³ /år	892,6 mill. m ³ 0,8926 km ³	$\frac{0,8926}{1,1820} = 0,755$	275 dager
Lærdalselva	36,46 m ³ /s	1,1510 km ³ /år	234,1 mill. m ³ 0,2341 km ³	$\frac{0,2341}{1,1510} = 0,20$	73 dager
Nysetelva	4,79 m ³ /s	0,1511 km ³ /år	74,9 mill. m ³ 0,0749 km ³	$\frac{0,0749}{0,1511} = 0,496$	181 dager
Årdals vassdraget	44,43 m ³ /s	1,4011 km ³ /år	367,3 mill. m ³ 0,3673 km ³	$\frac{0,3673}{1,4011} = 0,262$	96 dager
Fortundals elva	25,71 m ³ /s	0,8111 km ³ /år	291,6 mill. m ³ 0,2916 km ³	$\frac{0,2916}{0,8111} = 0,359$	131 dager
Dalsdalselvi	3,37 m ³ /s	0,1063 km ³ /år	7mill. m ³ 0,007 km ³	$\frac{0,007}{0,1063} = 0,065$	23 dager
Jostedalselva	60,35 m ³ /s	1,9030 km ³ /år	676 mill. m ³ 0,676 km ³	$\frac{0,676}{1,9030} = 0,355$	129 dager
Årøy vassdraget	30,37 m ³ /s	0,9577 km ³ /år	53 mill. m ³ 0,053 km ³	$\frac{0,053}{0,9577} = 0,055$	20 dager
Total:	260,19 m³/s	8,2067 km³/år	2,607 km³	$\frac{2,607}{8,2067} = 0,3176$	116 dager

*Viser forhold mellom magasinkapasitet og årlig avrenning.

**Hvor lenge en elv potensielt kan tørrlegges ved at vannet lagres i magasinet

4.4 Endring i avrenningsmønster

Det er stor variasjon i forskyvningsgraden ved de ulike vassdragene. Eksempelvis i Aurlandsvassdraget er forskyvningen mellom før og etter regulering stor (Figur 13), men i Flåmsvassdraget følger vannføringen etter utbygging det naturlige mønsteret (Figur 10).



Figur 30: Total vannføring før utbygging/driftsvannføring og etter utbygging/tilsig. Graf basert på samlet vannføringsdata av kraftverk i oppgaven.

Figur 30 viser at det er betydelig mer vannføring i vintermånedene etter utbygging enn før utbygging. Samlet mellom januar og april er vannføringen 310,06 % høyere enn vannføring før utbygging/tilsig. Mellom mai og september er vannføringen 43,36 % lavere og mellom oktober og desember 404,57 % høyere etter enn før utbygging/tilsig. Tabell 23 viser at tidsrommet mellom desember til mars har den største forflytningen i avrenningsmønsteret. Februar er den måneden med størst forflytning i avrenningsmønsteret en økning på 488,94 % fra før til etter utbygging (tilsig/driftsvannføring).

Tabell 23: Endring i avrenningsmønsteret fra før utbygging/tilsig og etter utbygging/driftsvannføring, prosentvis fremstilt.

Måneder	Før utbygging/tilsig	Etter utbygging/ driftsvannføring	Prosent økning/minking før og etter regulering (tilsig/drift)
Januar	23,29 m ³ /s	117,96 m ³ /s	406,48 %
Februar	20,62 m ³ /s	121,44 m ³ /s	488,94 %
Mars	28,77 m ³ /s	117,75 m ³ /s	309,28 %
April	42,43 m ³ /s	114,46 m ³ /s	169,76 %
Mai	213,93 m ³ /s	188,14 m ³ /s	-13,70 %
Juni	545,14 m ³ /s	285,09 m ³ /s	-91,21 %
Juli	463,58 m ³ /s	301,51 m ³ /s	-53,75 %
August	283,52 m ³ /s	234,74 m ³ /s	-20,78 %
September	194,99 m ³ /s	177,08 m ³ /s	-10,11 %
Oktober	142,49 m ³ /s	159,34 m ³ /s	11,82 %
November	68,82 m ³ /s	132,40 m ³ /s	92,38 %
Desember	35,37 m ³ /s	123,16 m ³ /s	248,20
Total:	2062,85 m³/s	2073,07 m³/s	

4.5 Effekter på hydrografiske og økologiske forhold i fjordene

Om våren er vanntilsiget større enn etterspørselen av vannkraft og vinterstid vil etterspørselen være større enn tilsiget. Om våren blir overskuddsvannet fra tilsigsperioden lagret i magasin, slik at dette overskuddet kan benyttes når etterspørselen er høy (Figur 30). Dette påvirker de fysiske og biologiske forholdene i fjorden.

4.5.1 Salt

Som følge av regulering i elver vil det oppstå endringer i saltholdigheten i overflatelaget i fjorder, spesielt vinterstid mellom desember og april, som følge av økt ferskvannstilførsel. Redusert sommervannføring kan gi økt overflatesaltholdighet (Kaartvedt, 1984). Dette vises på Figur 30, der vi har funnet tydelig forskjell på naturlig og regulert vannføring til Indre Sognefjorden.

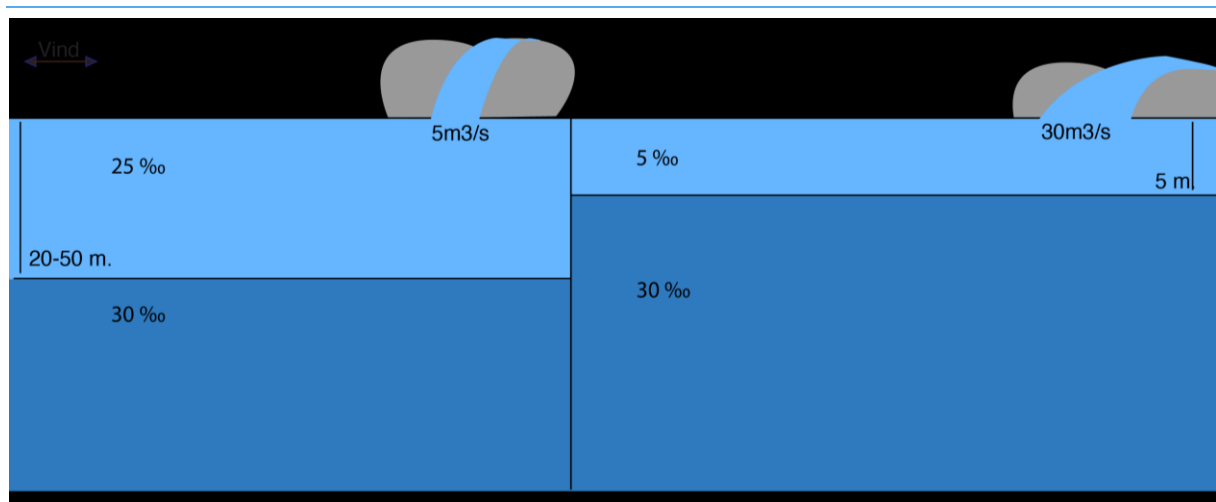
Ress (2015) har vist at saltholdighet på vinteren har blitt redusert med 20,86 % i de øvre 0-10 meter og økt med ca 0,3-7 % i de dypere lag i Sogndalsfjorden (Figur 7). I perioden 1919-1960 var saltholdigheten i de øvre 0-5 meter 25,48 ‰, mens i 1961-1989 sank den til 20,31 ‰. I 1990-2014 var saltinnholdet på 20,21 ‰. På sommeren er situasjonen motsatt, med økt saltholdighet på 0,32 % i de øvre 50 meters lag og redusert saltholdighet med 0,10 % i de

dypere lag. Målingene av saltholdighet går fra de siste hundre årene og tar for seg perioden før og etter den store vannkraftutbyggingen.

Vi antar at dette har en sammenheng med endring i styrken på den estuarine sirkulasjonen. En økt vinteravrenning vil gi en sterkere kompensasjonsstrøm som bringer inn vann til Indre Sognefjorden i vinterhalvåret. Redusert saltholdighet i dype lag sommerstid kan ha en sammenheng med en svakere kompensasjonsstrøm grunnet lav vannføring. Dette kombinert med en tydelig lagdeling og effektene dette har på miksing av brakkvannslag (kap. 4.5.2) med dypereliggende lag er med på å endre saltholdigheten. At det ikke er en større økning i saltholdighet om sommeren kan skyldes at ferskvannslaget ikke blir saltet, men mindre i tykkelse, dette vill ikke målestasjonene plukke da det er kun ved et fåtalls dybdeintervaller det blir gjort målinger.

En nedgang i saltholdigheten på vinterhalvåret i perioden etter den store kraftutbyggingen på 60-70 tallet (Figur 29) stemmer godt overens med den økte vinteravrenningen som vi ser på Figur 30. Dette kan være en av faktorene som resulterer i redusert saltholdighet. Andre faktorer er økt nedbørsmengde og temperaturøkning som gjør at mindre nedbør lagres som snø (Tabell 3). I sommerhalvåret har saltholdigheten økt. Dette kan skyldes redusert sommervannføring, da store mengder vann lagres i magasinene. Dette motvirker den naturlige effekten av økt nedbør og økt smeltevanntilførsel til vassdragene (Tabell 2).

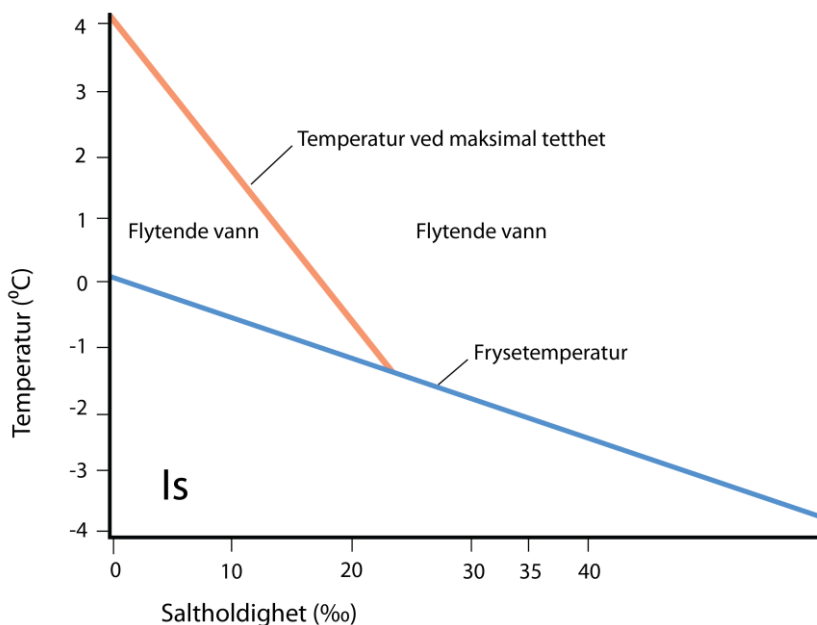
4.5.2 Temperatur- og isforhold



Figur 31: En tenkt lagdeling ved lav og høy ferskvannstilførsel til en fjord. Saltholdighet vises i promille (Personlig meddelelse, T. Dale).

Frigjøring av ferskvann fra vannkraftverk på vinterhalvåret danner et lavt-saltholdig overflatelag med sterkere lagdeling uavhengig av temperatur (Myksvoll m. fl, 2013). Ved sterk lagdeling, som følge av høy ferskvannstilførsel, avgrenses overflatemiksing til et tynt øvre lag. Mer energi må til for å mikse ferskvann nedover i lagene grunnet de store tetthetsforskjellene som oppstår (Figur 31, Myksvoll m. fl, 2013).

Ferskvann har størst tetthet ved ca 4 °C. Ved økt saltholdighet vil temperaturen for maksimal tetthet synke og ved 17 ‰ faller den under frysepunktet for rent vann (Figur 32). I sjøvann med saltholdighet 10 ‰ finner vi maksimal tetthet ved 1,86 °C. Er saltholdigheten 30 ‰ er tilsvarende temperatur – 2,47 °C. Frysepunktet synker ved økt saltholdighet. Ved 10 ‰ er temperaturen ved frysepunktet – 0,53 °C, ved saltholdighet på 30 ‰ er tilsvarende temperatur – 1,63°C (Skofteland, 1971).



Figur 32: Saltholdighet sin effekt på frysepunktet til vann. Forhold mellom temperatur, saltholdighet og tetthet i vann. Figuren er basert på figur av Anon, 2015 c.

Avkjøling av brakkvann vil i prinsippet oppføre seg på samme måte som ferskvann. Temperaturen ved maksimal tetthet blir nådd før frysepunktet, dette gjør at laget vil ligge i ro på overflaten. Dermed kan laget oppleve en rask nedkjøling til frysepunktet og oppnå isdannelse. I sjøvann der saltholdigheten er større en 24,7 ‰ vil konveksjonen fortsette til

frysepunktet er nådd overalt, dette fordi tetthetsmaksimum først oppstår ved en temperatur som er lavere enn frysepunktet. Sjøvann må oppleve mye større varmetap enn brakkvann for å oppnå isdannelse, dette fordi hele sjøens varmemagasin må nedkjøles for å oppnå isdannelse (Skofteland, 1971).

Tynt brakkvannslag og lav saltholdighet legger forholdene til rette for isdannelse i fjorden. Ved mangel av tydelig brakkvannslag må betydelig større del av vannsøylen nedkjøles for at vannet skal fryse (Kaartvedt, 1984, Figur 31). Dette er med på å redusere tykkelsen av overflatelaget som opplever temperaturløstap fra flere 100 m til inntil 50 meter, noe som resulterer i større temperaturredgang enn normalen i overflatelaget. Overflatelaget fungerer også som et isolerende lag og gjør mellomlaget varmere enn normalt (Kaartvedt, 1984). Denne isolerende effekten fører til redusert varmeoverføring fra mellomlaget til omgivelsene omkring, som igjen fører til kaldere klima rundt fjorden. På Vestlandet er det registrert opp til 5 °C høyere vintertemperaturer under brakkvannslaget i regulerte fjorden enn i tilsvarende dyp i vannmassene utenfor reguleringspåvirkning (Kaartvedt, 1984).

Regulering kan også i noen tilfeller føre til redusert tilfrysning i fjorder. Dette skjer som et resultat av økte strømhastigheter og kortere oppholdstid for ferskvannet. Her blir overflatelaget transportert ut av fjorden og mikset med saltere og varmere vannmasser før frysepunktet er nådd. Dette forholdet gjelder vesentlig små fjorder. Effekten i de større fjordene vil begrense seg til en forflytning av is-grenser utover i systemet (Kaartvedt, 1984).

Når ferskvann fra dykket utslipp mikses med saltvann fører det med seg mer saltholdighet og varmere vann til overflatelaget vinterstid. Dette danner ikke ett like tydelig overflatelag med lav saltholdighet, som reduserer isdannelse og minsker den isolerende effekten av et tydelig brakkvannslag.

4.5.3 Strøm- og vindforhold

Når det dannes et brakkvannslag vil vindkraftenes påvirkning på fjordens overflatevann forandres. Den vinddrevne strømmen blir begrenset til et tynt lag. Dette fordi mindre masse skal forflyttes og en lav friksjon mellom brakkvannslaget og laget under fører til at vindens påvirkning konsentreres i det øvre lag. I en homogen vannmasse vil vindens påvirkning rekke relativt dypt (20-50 m) (Kaartvedt, 1984).

I smale fjorder vil det ved innføring av en markert brakkvannsstrøm ut i fjorden dannes en motsatt rettet kompensasjonsstrøm i resten av det øvre laget. I dette dybdeintervallet kan det derfor etter regulering bli reversering av tidligere vinddrevne strømmer originalt på vei utover i fjorden (Kaartvedt, 1984). Redusert flomvannføring på sommerhalvåret vil gi lavere utoverrettede strømhastigheter i overflatelaget og en svakere kompensasjonsstrøm. Ferskvanns- og vindkomponenten virker på denne tiden til dels i motsatt retning da dominerende vinder i sommerhalvåret er rettet innover i fjordene. Svekket lagdeling som følge av redusert sommeravrenning kan føre til at vinden får større påvirkning på strømforholdene i overflatevannmassene (Kaartvedt, 1984).

I Indre Sognefjorden er det tre dykket utslipp knyttet til vannkraftproduksjon, et tilknyttet Aurlandsvassdraget, et til Naddvik og et tilknyttet Jostedalselva. Gjennom dypvannsutslippet til Aurland 1V og Naddvik kommer det 1,2871 km³/år. Driftsvannføringen til Jostedal og Leirdøla slippes også i dypvannsutslipp. Den samlede kapasiteten til Jostedal og Leirdøla er 413 MW sammenlignet med Naddvik som har 112 MW og et ferskvannsutslipp på 0,5364 km³/år. Kraftverkene knyttet til Jostedalselven og Naddvik kraftverk har samme fallhøyde og det kan antas en noe lunde samme vannføring gir samme effekt (MW). Det kan også antas at vannet som slippes ut i det dykkete utslippet i Gaupne er av betydelig større mengde enn ved Naddvik da kraftverkene tilhørende Jostedalselven har en betydelig større installert effekt enn Naddvik.

Det kan tenkes at dykket utslipp danner kompliserte strømforhold i fjorden der det kan dannes flere lag med utgående strømmer og motgående kompensasjonsstrømmer (Personlig meddelelse, T. Dale). Dykket utslipp skaper også økt turbulens i flere lag i vannsøylen med større miksing av saltvann og ferskvann (Elgersma, 2014).

4.5.4 Liv i fjorden

4.5.4.a Plante- og dyreplankton

Ved regulering av elver vil deler av næringssalttilførsel til fjordens planteplankton gå tapt, da mye av ferskvannet slippes ut på vinterstid, før det er tilstrekkelig sollys for oppblomstringen av planteplankton.

Grunnet tidlig tilførsel av næringsalter, en tidlig lagdeling i fjorden og når lysforhold er tilstrekkelig, kan oppblomstringen av planteplankton oppstå tidligere enn normalt. En tidligere oppblomstring kan skape forstyrrelser oppover i næringskjeden (Turøy, 2012). Om dyreplankton stiger til overflaten på grunn av økningen i lysmengde vil dette skje på et noenlunde bestemt tidspunkt. Dyreplankton vil da ikke kunne følge et eventuelt nytt mønster for planteplanktonoppblomstring. Dyreplankton som normalt er til stede når normal oppblomstringen finner sted, kan gå glipp av store deler av næringsressursen dersom de ikke kommer til overflaten samtidig med oppblomstringen av planteplankton. Det som da skjer med denne biomassen fra planteplankton er at den ikke blir spist av dyreplankton. Dermed vil biomassen synke til bunnen av fjorden og bli med i den bentiske næringskjeden, og gi mat til skjell og smådyr som lever på fjordbunnen. Dersom dette er tilfelle vil dette også gi utslag for pelagisk og mesopelagisk fisk (Dale, 2004 a).

En annen effekt av endring i avrenningsmønster i regulerte elver er endring i næringsstoffsammensetning. I en uregulert fjord vil det med vårflommene skje oppvirvling av næringsalter som fosfor, nitrat og silikat til den lysrike delen av vannmassen hvor planteplanktonet befinner seg, og gir godt vekstgrunnlag. I regulerte elveløp forskyves denne økte vannføringen til vinterhalvåret, da det ikke er tilstrekkelig med lys for planteplankton til å benytte seg av det (Dale, 2004 b). Næringsalter kan også bli holdt igjen fra fjorden på grunn av magasinering fungerer som sedimentbasseng. I magasinene blir stoffer som silikat holdt igjen, eller minsket. Dette er med på å favorisere grupper av dyreplankton som ikke er like avhengig av silikater eksempelvis; Fureflagellater (dinoflagellater). Dinoflagellatene klarer seg godt med bare fosfat og nitrat, mens andre grupper som kiselalgene (diatomèer) må ha silikat i tillegg. Dette har en negativ effekt da *Dinophysis*, som er en fureflagellat, er en viktig årsak til diaregiftige blåskjell (Dale, 2004 b).

Det kan tenkes at redusert sommervannføring og tilførsel av silikat, på grunn av regulering, kan føre til et større problem med giftig blåskjell.

Endring i strømforhold i det øverste laget som følge av regulering av elver kan påvirke utbredelse og bestandsstørrelse av fauna og flora. Mindre tilførsel av ferskvann sommerstid gir mindre grums i vannet og en klarere overflate i fjorden. Sollyset trenger derfor lengre ned, der det fortsatt er næringssalter (Turøy, 2012). Samtidig kan mindre tilførsel av ferskvann om sommeren føre til redusert tilførsel av næringssalter. Fjorder som får tilført mye smeltevann fra breer om sommeren, f.eks. Lustrafjorden, vil ha en tynnere sone med nok sollys til å drive fotosyntese. Dette fordi brevann inneholder mye silt og leirpartikler som fører til høyere turbiditet.

Ved store flomperioder kan det skje en rask transport av planteplankton ut av systemet (Kaartvedt, 1984). Magasinerte vassdrag vil ha mulighet til å holde igjen store vannmasser ved flom, og dermed redusere denne transporten. Det er observert en sammenheng mellom stort ferskvannutslipp vinterstid, og bestandsstørrelse av dyreplanktonet raudåte i Trondheimsfjorden, da tidlige livsstadier av raudåten blir skyldt ut av fjorden grunnet høy vannføring. En vannførings økning på 20 % om vinteren er beregnet til å være nok til å forårsake betydelig bestandsreduksjon (Opdal m. fl, 2013). Dette vil også være aktuelt for Indre Sognefjorden hvor vintervannføringen har økt med 145,11 % mellom oktober og april, med den største økningen i februar på 488,94 % (Tabell 23).

Havforskningsinstituttet har siden 2004, gjennomført forsøk med kontrollert oppstrømming av næringsrikt dypvann i Lysefjorden i Rogaland (Aure m. fl, 2011). Ved styrt oppstrømning av dypvann løftes næringssaltene opp i lyset hvor de bedrer vekstvilkårene til planteplankton, tang og tare (Aure m. fl, 2011).

Dyreplankton som blir transportert innover i fjorden med kompensasjonsstrømmen, kan ikke unngå vertikal transport i de turbulente områdene rundt de dykkete utslippene. De blir da utsatt for brå endringer i saltholdighet og trykk og dermed drept av osmotisk stress, før de blir transportert utover i brakvannslaget (Kaartvedt og Aksnes, 1992). Dykket utslipp fører til mer oppstrømning/turbulens, og er dermed negativt for dyreplankton, selv om dykket utslipp kan føre til mer planteplankton.

4.5.4.b Fisk og lysklima

Mesopelagisk fisk er små fisk som ernærer seg av dyreplankton, og er kjent for å oppholde seg mellom 200 og 1000 meters dyp i fjorder om dagen i alle verdens hav. Om nattetid trekker store deler av bestanden opp mot overflaten. Noen arter som laksesild og nordlig lysprikkfisk forekommer i store mengder i mange vestnorske fjorder og antas her å være en viktig matressurs for større fiskepisende fisk (Opdal m. fl, 2013). I en undersøkelse gjort av Bagøyen m.fl. (2001), ble det registrert en lavere forekomst av disse i Sognefjorden enn sammenlignet med Masfjorden og Sjørfjorden (Bagøyen 2001, sit. i Opdal m. fl, 2013).

Totalmengden av mesopelagisk fisk i Norske kyst- og fjordområder har vist seg å ha en sammenheng med lysmiljøet, der fjorder med klart vann inneholder mest fisk. Det er også antatt at økt lysabsorbasjon over tid som følge av økt ferskvannstilførsel vil føre til redusert forekomst av mesopelagisk fisk (Opdal m. fl, 2013). Nedbørsøken som er registrert fra 1900 til i dag er på ca 20 % (Tabell 3). Generelt i Norge har lysets evne til å trenge ned i kyst/fjordvann blitt dårligere på grunn av økt ferskvannsavrenning. Økt ferskvannsavrenning fører til økt tilførsel av humusstoff i vannet. Magasinenes evne til å holde igjen partikler kan minske mengden suspendert stoff i fjorden. Disse to effektene har motvirkende effekt, da økt humusstoff gir mørkere fjorder mens redusert tilførsel av partikler gir bedre lysklima (Personlig meddelelse, T. Dale). Nettoeffekten av disse to er ukjent. Nedbørsøken og temperaturøkningen fører til økt avrenning og smeltevannstilførsel. Dette vil kunne ha en innvirkning på fiskebestanden gjennom redusert lysklima i mange fjorder.

Utbygging og magasinering av elver vil påvirke turbiditeten i fjorden. I 10 årsperioden etter utbygging vil utvaskingen i området som er magasinert, øke. Denne økningen fører til høyere turbiditet i fjorden. Regulering vil føre til mindre flommer og store mengder vann ledes i rørgater til kraftverket. Dette vil føre til mindre utvasking langs elveløpet og en lavere turbiditet (Personlig meddelelse, T. Dale).

Aksnes m.fl. (2009) har undersøkt om lysforholdene i vannmasser kan være med på å forme akvatiske næringsnett, der mørkere vann har gitt økt suksess for taktile predatorer som maneter, i forhold til visuelle predatorer som fisk. I Sognefjorden er det blitt observert den høyeste individtettheten (100-300 individ m⁻²) av kronemanet (Sørnes m. fl, 2007). Observasjon av kronemaneten ble beskrevet for hundre år siden, men det tyder på at

forekomsten langs kysten er økende. Kronmanetene i Sognefjorden er svært unge og små individer (<1 cm) som har skapt lite problem for fiskerne i Sognefjorden. Manetene trives best i mørkt vann på nesten 1000 meters dyp, noe som gjør Sognefjorden til et egnet dypvannshabitat. Enkelte fjordarmer med mørkere vannmasser kan bli egnet habitat for kronemaneten (Opdal m. fl, 2013). Kronemaneten har i Lurefjorden og i Trondheimsfjorden utkonkurrert andre predatorer og er toppredator i næringskjeden (Anon, 2016 b).

Pelagiske arter er fisk som lever i vannet i hav eller innsjøer som ikke er nær kyst, strand eller bunn, eksempelvis sild, makrell og brisling (Ratikainen, 2015). Pelagisk fisk er viktig næring for andre arter som sei, lyr, makrell, pigghå og sjøpattedyr (Torstensen og Kvamme, 2016). Fangsten og bestanden av brisling har blitt kraftig redusert i Sognefjorden de siste 30-40 årene (Dale og Hovgaard, 2015). Ødven (2012) har i sin bacheloroppgave undersøkt, gjennom en spørreundersøkelse, endringer i forekomst av ulike arter i og langs Sognefjorden de siste 65 årene. I oppgaven kommer det frem at av 16 fisketyper som har minket i antall med årene er 9 av disse pelagiske arter, eksempelvis lyr, sild, makrell, brisling og lange. Av observasjoner gjort av deltagere minker artene i antall med årene fra 1940 frem til i dag. Men de første tegn til forandring skjer for ett stort antall arter rundt år 1975. Det kan ha en sammenheng med den store vannkraftutbyggingen som skjedde på 60-70 tallet (Figur 29).

I fjorder med regulerte vassdrag og høy ferskvannstilførsel om vinteren, blir torskeegg i langt større grad skylt ut av fjorden (Myksvoll m. fl, 2013). Brislingen i norske fjorder begynner å gyte når temperaturen er oppe i 6 °C. I fjorden på Vestlandet gyter brislingen fra januar-mars til begynnelsen av juni. De største eggmengdene er fordelt i de øverste 25-30 meter i fjorden (Anon, 2015 d). Det kan tenkes at dette er gjeldende for andre pelagiske fiskearter og arter med tidlig pelagisk stadiet i tillegg til torsk og brisling, blant annet sild. Det vil kunne oppstå utskylling av fiskeegg og larver i Indre Sognefjorden hvor vintervannføringen i februar har økt med 488,94 % og 309,28 % i mars, i regulerte elver (Tabell 23).

Skreslet (1997) har sett på sammenhengen mellom årlige variasjoner smeltevann som tilføres norske fjorder og hva dette hadde å si for primærproduksjon og videre hva dette hadde å si for den arktiske torskebestanden. Han fant en sammenheng mellom populasjonsstørrelse av torskelarve i Lofoten og størrelsen på avrenning til vestnorske fjorder.

Endring i saltholdighet i fjorden vil kunne påvirke bestanden av lakseparasittene lakselus og Gyrodactylus. En lavere saltholdighet vil være negativt for bestandsstørrelsen for lakselus, men vil kunne øke faren for at Gyrodactylus kan spre seg fra elv til elv (Personlig meddelelse, T. Dale).

5 Konklusjon

Store deler av vannet i Indre Sogn er regulert. Nedbørsfeltet til de regulerte elvene utgjør et areal tilsvarende 70,97 % av arealet til Indre Sogn (7418,28 km²). Selv om deler av nedbørsfeltene ligger utenfor Indre Sogn, gir dette en indikasjon på hvor store områder som er regulert.

Resultatene av regulerte elver med direkte utløp i Indre Sognefjorden viser at det er en klar forskyvning av det naturlige avrenningsmønsteret. Totalt i perioden oktober-april økte vannføringen fra 51,67 m³/s før utbygging, til 126,65 m³/s etter utbygging, som tilsvarer en økning på 145, 11 %. Mellom mai og september ble vannføringen redusert fra 340,23 m³/s til 237,31 m³/s, som tilsvarer en reduksjon på 43,4%. Den største økningen var i februar, da avrenningen økte fra 20,62 m³/s til 121,44 m³/s, som tilsvarer en økning på 488,9 %. Den minste endringen i vannføringen finner vi i september, med en reduksjon fra 194,99 m³/s til 177,08 m³/s som tilsvarer en reduksjon på 10,11 %.

Endringen i avrenningsmønsteret skaper endringer i fjordsirkulasjonen, da den estuarine sirkulasjonen blir kraftigere på vinterhalvåret og svakere på sommerhalvåret.

Fjordsirkulasjonen blir også påvirket av dykket utslipp, da dette fører til kompliserte sirkulasjonsmønstre.

Avrenningsmønsteret med økt vinter- og redusert sommervannføring (Figur 30) endrer saltholdigheten i fjorden. Det er observert lavere saltholdighet i de øvre lag i Songdalsfjorden om vinteren og høyere om sommeren. En lavere saltholdighet i overflatelaget i vinterhalvåret gir vann med lavere tetthet som danner grunnlaget for tidligere og tydeligere lagdeling enn naturlig.

En tydelig lagdeling med lav saltholdighet om vinteren legger til rette for isdannelse i fjorden. Det øvre laget fungerer som et isolerende lag og hindrer varmeutveksling mellom underliggende lag. Ved dykket utslipp dannes det et innlagingsdyp under overflatelaget. Dette minsker ferskvannstilførselen til overflatelaget og reduserer isdannelse.

Faseforskyvningen i avrenningsmønsteret fører til at en større mengde næringsalter blir tilført fjorden tidligere enn normalt. Ved mangel på nok sollys kan ikke planteplankton benytte seg av dette. Den tidligere lagdelingen kan resultere i tidligere oppblomstring av

planteplankton. Grunnet tidlig oppblomstring av planteplankton kan dyreplankton miste deler av næringsgrunnlaget sitt. Dette vil kunne gi mindre mat til blant annet pelagisk og mesopelagisk fisk. Mindre vannføring om sommeren vil gi mindre næringsalter og dermed redusert primærproduksjon.

Økt vinteravrenning kan føre til utvasking av fiskeegg og larver. Den økte avrenningen og magasineringen påvirker lysforholdene i fjorden. Mørkere lysforhold i fjorden favoriserer taktile predatorer ovenfor predatorer som er avhengig av synet for å jakte. Det er registrert nedgang i fiskepopulasjonen i Sogn og Fjordane.

I de dykkete utslippene ved Aurland og Naddvik slippes det årlig 1,2871 km³/år ferskvann ut i fjorden. Dykket utslipp kan være ett godt hjelpemiddel for å ha en jevnere vannføring i vassdragene, selv når kraftverkene har variert produksjon. Det kan ha en positiv effekt for planteplankton ved å bringe nærings salt opp i den lysrike sonen, men turbulens kan gjøre at dyreplankton dør av osmotisk stress.

Dersom Norge skal fungere som et grønt batteri for Europa vil det være viktig å tenke på hvilke effekter effektkjøringen vil ha på fjorder og ikke bare selve elveløpene.

Det er behov for hydrografisk og biologisk undersøkelser i indre deler av Sognefjorden for å kartlegge effekten av endringen i avrenningsmønsteret for fjorden. Vi ser at endringer i avrenningsmønster kan ha en påvirkning på en rekke faktorer som ikke bare er konsentrert i og ved elvemunningen. Det vil være vanskelig å kvantifisere den totale effekten, da det er mange prosesser som påvirker hverandre. Et bedre kunnskapsgrunnlag vil gjøre det lettere å ta hensyn til fjorden, da det blir lettere å se effekt og konsekvens. Det bør vurderes om å ta med effekten regulering fører til for fjorden i konsesjonsvilkårene. Dette vil være aktuelt når konsesjonen skal revideres.

6 Referanser

6.1 WMS- tjenester:

Arcmap 10.3.

ArcGIS, <http://wms.geonorge.no/skwms1/wms.topo2?>

NVE karttjeneste a

<http://atlas.nve.no/SilverlightViewer/>. Hentet fra Internett mars 2016.

NVE karttjeneste b

<http://nevina.nve.no/>. Hentet fra Internett mars 2016.

NVE karttjeneste c

Utbygd og ikke utbygd vannkraft. <http://gis3.nve.no/link/?link=vannkraft>. Hentet fra Internett mars 2016.

6.2 Rapporter og artikler

Aksnes D. L, Dupont N, Staby A, Fiksen Ø, Kaartvedt S. og Aure J, 2009.

Coastal water darkening and implications for mesopelagic regime shifts in Norwegian Fjords, Inter-Research. Rapportnummer: 103354/meps08120

Anon, 2008

Retningslinjer for hydrologiske undersøkelser, NVE, vedtatt 28/4-2008.

Anon, 2015 a

Hjemfall, Wikipedia, www.wikipedia.no. Hentet fra Internett mai 2016.

Anon, 2015 b

Effektkjøring, www.wikipedia.com. Hentet fra Internett mai 2016.

Anon, 2015 d

Brisling, Havforskningsinstituttet, www.imr.no. Hentet fra Internett mai 2016.

Anon, 2016 a

Sognefjorden, www.wikipedia.org. Hentet fra Internett april 2016.

Anon, 2016 b

Kronemanet, Lurefjordens ukronede konge, Artsdatabanken. Artikkel 496

Anon, 2016 c

Klimaprofil Sogn og Fjordane, Norsk klimaservicesenter

Askheim S, 2012

Lustrafjorden, Store norske leksikon, www.snl.no. Hentet fra Internett april 2016.

Askheim S, 2015 a

Årdalsfjorden, www.snl.no. Hentet fra Internett april 2016.

Askheim S, 2015 b

Sogndalsfjorden, www.snl.no. Hentet fra internett mai 2016.

Aure J, Strohmeier T. og Strand Ø, 2011

Fjordkultivering, rørende enkelt, Havforskningsinstituttet. Havforskningsnytt nr 10-2011.

Barlaup B, Gabrielsen S-E, Gladsø, J. A, Kleiven E, Skoglund H, Wiers T. og Andersen A. L, 2003.

Fiskebiologiske undersøkelser i Jostedøla i perioden 2000- 2002. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfisk (LFI), Universitetet i Bergen. Rapport nr. 124.

Barthel K, 2009.

- Brakkvann*, Store Norske Leksikon, www.snø.no. Hentet fra Internett mai 2016.
- Berthelsen O, 2014
Norsk vannkraftshistorie på 5 minutter, Olje- og energidepartementet, www.regjeringen.no. Hentet fra Internett april 2016
- Dale T, 2004 a
 «Sea fiction»: *Er Sognefjorden fisketom på grunn av vannkraftutbygging*, Sogn Avis, 20/04- 2004.
- Dale T, 2004 b
Noen effekter av kloakktilførsel og vannkraftutbygging på livet i fjordene, Sogn Avis, 12/01-2004.
- Dale T. og Hovgaard P, 2015
Brislingfiske i Sognefjorden, Sognefjorden Vel. Rapportnummer 2015-11-01.
- Edvardsen S. og Roald M. C, 2013
Flaumsonkart, delprosjekt Årdal i Sogn. Norges vassdrags – og energidirektorat. Rapportnummer 36/2013.
- Elgersma H. T, 2014
Vasskraft langs Sognefjorden. Statkraft. Sognefjordkonferansen: “Fisketom Sognefjord” 5.-6. juni 2014, Høgskulen i Sogn og Fjordane.
- Gabrielsen E.S, Barlaup T.B, Godtfred S.H, Halvorsen, Sandven O, Wiers T, Lehmann G. B, Skår B, Pulg U, Volset K. W. og Norman E. S, 2013
 «Liv»- *livet i vassdragene*, LFI Uni Miljø. Rapportnummer 194.
- Gladsø J. A. og Hylland S, 2002
Ungfiskeregistreringar i ti regulerte elvar i Sogn og Fjordane 2001, Fylkesmannen i Sogn og Fjordane. Rapportnummer 6-2002.
- Guddal K. S. og Osland S. M, 2014
 Ventar stor tilbakesmelting av breane, NRK, www.nrk.no. Hentet fra Internett mai 2016.
- Hansen A. H, McClimans T, Reitan K. I, Olsen Y, 2003
Utredning over mulige strategier og tiltak for produksjon av giftfrie blåskjell i Norske fjorder, SINTEF. Rapportnummer: STF 80A 032091
- Hanssen-Bauer I, Førland E. J, Haddeland I, Hisdal H, Mayer S, Nesje A, Nilsen J. E. Ø, Sandven S, Sandbø A. V, Sorteberg A, og Ådlandsvik V, 2015
Klima i Norge 2100, Miljødirektoratet. Rapportnummer 2/2015
- Hardby A, og Bogen J, 2012
Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer. Sintef energi & Norges vassdrag- og energidirektorat. Rapport miljøbasert vannføring. Rapport nr 1- 2012.
- Hatlen M. L. og Arrestad K. K, 2014.
Fakta 2015, Energi- og vannressurser i Norge, Olje- og energidepartementet. Rapportnummer: Y- 0102/9B
- Haugan I. 2015
Norge kan bli Europas grønne batteri, www.gemini.no. Hentet fra Internett mai 2016.
- Helle L, 2003
Naturlig vendepunkt?, www.aftenbladet.no. Hentet fra Internett mai 2016.
- Hermansen H. O, 1974
Sognefjordens hydrografi og vannutveksling, Universitetet i Bergen. Hovedoppgave i fysisk oseanografi, del I og II.

- Hofstad K. 2016
Energi i Norge, Store norske leksikon, www.snl.no. Hentet fra Internett april 2016.
- IEA 2015
Key world energy statistics 2015, International energy agency (IEA).
- Jensen A. J, Johnsen B. O. og Møkkelgjerd P. I, 1993
Sjøaure og laks i Aurlandsvassdraget, 1911- 92, NINA forskningsrapport.
 Rapportnummer: 48:1-31.
- Jonsson B. og Jonsson N, 2002
 Ørrettens vandring i vassdrag: Betydning av vannføring og temperatur, Norsk institutt for naturforskning (NINA). Rapportnummer: 0802-4103
- Kaartvedt S, 1984
Vassdragsregulerings virkning på fjorder, Fiskeridirektoratet. Rapportnummer: 1984(3) : 1-104.
- Kaartvedt S. og Aksnes L. D, 1992
Does freshwater discharge cause mortality of fjord- living zooplankton, Academic Press. Rapportnummer: 0272-7714
- Kaufman S, 2014
A 100 year hydrografical record of the Barsnesfjord, western Norway and its environmental applications, Høgskulen i Sogn og Fjordane. Bacheloroppgave.
- Kemker C, 2014
Turbidity, total suspended solids and water clarity, Fondriest environmental, inc, www.fondriest.com. Hentet fra Internett mai 2014
- Krekling V. D, 2016
Kraftutslipp I NRK splitter regjeringen, NRK, www.nrk.no. Hentet fra Internett mai. 2016
- Langsholt E, Roald A. L, Holmqvist E, og Fleig A, 2014 a
Flommen på Vestlandet oktober 2014, Norges vassdrags – og energidirektorat.
 Rapportnummer: 11 – 2015.
- Ledje P.U, og Larsen A. V, 2011.
Konsekvenser av overføring av Vestsiddeelvane, Luster Kommune. Fagrapport naturressurser og vannkvalitet. AMBIO miljørådgivning. Rapportnummer: 25620-2
- Long. R. R, 1975
Circulation and density distribution in a deep, strongly stratified, two-layer estuary. Journal of fluid mechanics. Department of Mechanics and Materials Science, The John Hopkins University, Baltimore, Maryland 21218. Volume 71/ issue 03. ISSN: 0022-1120.
- Lund K. S, 2012
Norge som energinasjon, Næringslivets Hovedorganisasjon (NHO). Rapportnummer: 978-82-7511-170-6.
- McClimans A. T, 1981
Dykket utslipp frå Vangen kraftverk, etterprøving, Oslo lysverker. Rapportnr: nhl 281113
- Moe B. O, 2012
Retningslinjer for revisjon av konsesjonsvilkår for vassdragsregulering, Olje og energidepartementet. Rapportnummer: Y-0116 B
- Myksvoll M. S, Sandvik A. D, Asplin L, og Sundby S, 2013.

- Effects of river regulations on fjord dynamics and retention of coastal cod eggs* ICES Journal of Marine Science.71:943-956. Rapportnummer: 10.1093/icesjms/fst113.
- Opdal A. F, Aksnes D. L, Rosland R. og Fiksen Ø, 2013.
Sognefjorden- en oppsummering av litteratur og kunnskapsstatus om fjordøkologi og vannkraftutbygging, Uni Computing og Universitetet i Bergen. Rapportnummer: 32.
- Puschmann O, 2005.
Nasjonalt referansesystem for landskap nr 10. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, NIJOS. NIJOS nummer: 10/2005.
- Ramm B, 2016 a
Kraftoverføring, www.fornybar.no. Hentet fra Internett mai 2016.
- Ratikainen I. I, 2015
Pelagisk, Store Norske Leksikon, www.snl.no. Hentet fra Internett mai 2015.
- Ress T, 2015
Some hydrographical changes in the Sognefjord and its tributaries, the Sogndalsfjord and the Barsnesfjord (Western Norway), the last century, Høgskulen i Sogn og Fjordane. Bacheloroppgave.
- Rosvold K. A. 2013, a
Magasinkraftverk, Store Norske leksikon 2013, www.snl.no. Hentet fra internett 2016.
- Rosvold K. A, 2013, b
Pumpekraftverk, Store Norske leksikon, 2013, www.snl.no. Hentet fra internett 2016.
- Rosvold K. A, 2014
Elvekraftverk, Store Norske leksikon 2014, www.snl.no. Hentet fra internett 2016.
- Rosvold K. A, 2015 a
Småkraftverk, Store Norske leksikon 2015, www.snl.no. Hentet fra internett 2016.
- Rosvold K. A, 2015 b
Tilslig, Store norske leksikon, www.snl.no. Hentet fra internett april 2016.
- Sagen I, 2004
Søknad om konsesjon for bygging av Kvåle kraftverk i Dalsdalselvi, Luster kommune. Arkivnummer: 02/03616.
- Selland G. S, 2009
Nærøyfjorden, Store Norske Leksikon, www.snl.no. Hentet fra Internett mai 2016.
- Skjelbred, I. H, 2016
Balansekraft, SINTEF, www.sintef.no. Hentet fra Internett mai 2016.
- Skoftaland E, 1971
Hydrografiske undersøkelser i indre del av Sognefjorden, NVE. Rapportnummer 3/70
- Skogen M, Gjøsæter H, Torsen R. og Robberstad Y, 2007
Havets ressurser og miljø 2007, Havforskningsinstituttet. Rapportnummer: 1-2007
- Skreslet S, 1997
A conceptual model of the trophodynamical response to river discharge in a large marine ecosystem, Department of fishers and science. Journal of marine systems 12(1997) 187-198.
- Solbakken R, Henriksen K, Reitan K. I, Arff J, Ellingsen I. H, Hindar K, Fiske P, Robertsen G, Finstad B, Aas Ø, Johnsen B. O, 2012
Innsamling og sammenstilling av relevant kunnskap om Sognefjorden, Norsk Institutt for Naturforskning. Rapportnummer A20471.

- Spikkeland K. O, 1999
Verneverdier og bruksinteresser i Flåmsvassdraget (072.2Z), Norges vassdrags- og energidirektorat. Dokument: xx-1999.
- Stigebrandt A, 1981.
A mechanism governing the estuarine circulation in deep, strongly stratified fjords.
Article in Estuarine Coastal and shelf Science. August 1981. Rapportnummer:
10.101/S0302-3524(81)80076-X.
- Svarte Y, 2004
Vossolaksen- bestandutvikling, trusselfaktorer og tiltak, Direktoratet for naturforvaltning. Rapportnummer: DN-utredning2004 -7.
- Svendsen O. T, 2009
Aurlandsfjorden, Store norske leksikon, www.snl.no. Hentet fra Internett april 2016.
- Sæle R, 2012
Slår alarm om fiskebestanden, Sogn Avis, www.sognavis.no. Hentet fra Internet mai 2016.
- Sørnes T. A, Aksnes D. L, Båmstedt U. og Youngbluth M. J, 2007
Causes for mass occurrence of the jellyfish, PERIPHYLLA PERIPHYLLA: Hypothesis that involves optically conditioned retention, Journal of plankton research.
Rapportnummer: 10.1093
- Sårheim A, 2014
Grønt lys for strømkabler til Tyskland og Storbritannia, NRK, www.nrk.no. Hentet fra Internett april 2016.
- Torstensen E. og Kvamme C, 2016
Historisk oversikt over bestander i Sognefjorden; brislinger og lokale sildebestander, Havforskningsinstituttet, www.hisf.no. Hentet fra Internett mai 2016
- Turøy K, 2013.
Planteplankton 2013, Havforskningsinstituttet, 18.02.2013, www.imr.no/nb-no.
Hentet fra Internett april 2016.
- Turøy K, 2012
Næring fra fjordens dypvann 2012, Havforskningsinstituttet, 07.02.2012,
www.imr.no/nb-no. Hentet fra Internett april 2016.
- Vinjar A. og Askheim S, 2014
Sogn og Fjordane energi, Store norske leksikon, www.snl.no. Hentet fra Internett april 2016.
- Vinjar A. og Hofstad K, 2016
Vannkraft, Store norske leksikon, www.snl.no. Hentet fra Internett mai 2016.
- Ødven B, 2012
Mulige endringer i forekomst av ulike arter i og langs Sognefjorden de siste 65 år, resultater fra en spørreundersøkelse, Høgskulen i Sogn og Fjordane.
Bacheloroppgave.

6.3 Personlig meddelelse

Dale. T, 2016

Førstemanuensis Avd. for Ingeniør og Naturfag ved Høgskolen i Sogn og Fjordane, Sogndal

6.4 Kilder for bilder

Anon, 2015 c

Environment Canada, National Marine Weather Guide, Environment and Climate Change Canada, www.ec.gc.ca. Hentet fra Internett mai 2016

Hanssen-Bauer I, Førland E. J, Haddeland I, Hisdal H, Mayer S, Nesje A, Nilsen J. E. Ø,

Sandven S, Sandbø A. V, Sorteberg A, og Ådlandsvik V, 2015

Klima i Norge 2100, Miljødirektoratet. Rapportnummer 2/2015

Langsholt E, Roald A. L, Holmqvist E, og Fleig A, 2014 b

Flommen på Vestlandet oktober 2014, Norges vassdrags- og energidirektorat. Rapportnummer: 11 – 2015

Ramm B, 2016 b

Vann som energikilde, www.fornybar.no. Hentet fra Internett april 2016.

Valmøt R. O, 2014

Slik skal kraftproduksjonen opp uten at laksebestanden går ned, www.tu.no. Hentet fra Internett april 2016.

7 Appendikstabeller

Sogndalselva. Månedlig gjennomsnitt vannføring m³/s

	2010	2011	2012	2013	2014	Gjennomsnitt vannføring 2010-2014	
Jan	0,48	0,82	2,15	1,13	2,01	1,32	
Feb	0,33	0,88	1,26	0,50	1,47	0,89	
Mar	1,33	3,13	8,00	0,35	3,31	3,22	
Apr	3,29	11,34	3,50	3,48	6,89	5,70	
Mai	12,38	15,83	15,37	24,24	17,61	17,09	
Jun	13,81	30,37	18,64	19,13	19,92	20,37	
Jul	14,97	18,66	23,01	15,11	16,28	17,60	
Aug	9,46	9,43	12,33	12,52	6,67	10,08	
Sep	8,82	14,56	15,44	6,81	6,53	10,43	
Okt	9,40	11,75	5,76	10,57	20,38	11,57	
Nov	3,56	10,44	6,38	7,65	5,04	6,61	
Des	0,67	5,92	0,92	5,72	2,00	3,05	

Flåmssvassdraget. Månedlig gjennomsnitt vannføring m³/s

	1936	1937	1938	1939	1940	Gjennomsnitt vannførin m ³ /s (1936-1940)	
Januar	1,03	3,88	2,29	1,05	0,96	1,84	
februar	0,78	1,12	3,03	5	0,83	2,15	
Mars	0,77	0,77	6,48	1,8	0,98	2,16	
April	0,99	3,01	3,56	4,33	0,94	2,57	
Mai	16,3	38,26	17,9	11,38	20,26	20,82	
Juni	35,3	49	44,37	54,83	45,77	45,85	
Juli	24,31	32,28	55,45	41,55	23,87	35,49	
August	18,52	12,1	27,16	18,66	27,1	20,71	
September	6,99	22,77	28,45	10,18	22,13	18,10	
Oktober	5,75	14,14	15,06	1,35	6,45	8,55	
November	3,75	3,58	14,74	4,25	5,41	6,35	
Desember	6,32	0,89	2,17	1,39	2,91	2,74	
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Gjennomsnitt vannføring m ³ /s (2009-2014)
Januar	4,28	1,48	1,69	4,64	2,09	3,02	2,87
februar	2,35	1,24	2,22	3,42	1,7	2,61	2,26
Mars	1,36	1,95	3,88	7,79	1,43	4,58	3,50
April		3,4	14,12	4,22		7,35	7,27
Mai	24,97	16,85	27,24	18,67	36,81	31,79	26,06
Juni	39,94	35,72	67,2	44,02	46,77	48,57	47,04
Juli	48,78	30,13	42,03	57,88	31,38	40,49	41,78
August	35,9	17,99	14,57	31,41	23,37	14,44	22,95
September	40,31	17,91	27,52	30,09	14,4	11,8	23,67
Oktober	7,19	11,95	20,49	9,1	19,71	35,62	17,34
November	7,14	4,88	18,59		9,62	9,82	10,01
Desember	2,18		10,67	1,92	8,19	3,25	5,24

Aurlandsvassdraget. Månedlig gjennomsnitt vannføring m³/s

Før utbygging	1960	1961	1962	1963	1964	1965	Gjennomsnitt vannføring vassbygdvaten m ³ /s (1960-1965)		
Januar	3,94	2,75	6,38	2,36	5,06	6,85	4,56		
Februar	2,64	3,53	8,06	1,74	5,39	3,13	4,08		
Mars	2,13	8,49	3,28	1,58	2,27	2,91	3,44		
April	2,44	10,67	4,41	3,09	8,56	5,17	5,72		
Mai	53,21	29,4	14,68	50,45	38,25	12,69	33,11		
Juni	105,31	134,4	68,6	113,49	133,11	134,89	114,97		
Juli	58,01	101,99	123,37	65,21	83,51	81,86	85,66		
August	36,99	46,92	77,74	55,81	61,29	57,81	56,09		
September	21,78	47,48	42,43	38,26	35,33	62,07	41,23		
Oktober	14,63	45,56	44,09	36,73	30,42	25,29	32,79		
November	4,15	12,9	9,18	9,81	11,3	12,15	9,92		
Desember	4	5,89	5,08	3,73	9,75	3,54	5,33		
Etter utbygging	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Gjennomsnitt vannføring vassbygdvaten m ³ /s (2010,2011,2012,2014 og 2015)		
Januar	21,58	30,15	27,75		33,64	38,54	30,33		
Februar	22,55	29,9	26,02		33,1	35,26	29,37		
Mars	22,93	32,75	27,64		33,13	37,66	30,82		
April	24,08	38,29	27,94		27,58	40,72	31,72		
Mai	22,25	23,28	28,37		26,4	16,22	23,30		
Juni	31,06	50,28	34,69		25,47	28,11	33,92		
Juli	33,32	42,72	37,68		52,32	38,56	40,92		
August	28,93	33,82	43,38		31,79	37,7	35,12		
September	20,23	25,81	26,52		28,24	24,82	25,12		
Oktober	23,15	36,43	30,58		34,47	33,1	31,55		
November	28,16	27,66	28,69		31,54	35,17	30,24		
Desember	24,4	28,57	28,19		35,29	37,84	30,86		

Dykket utslipp Aurland 1V (Vangen). Månedlig gjennomsnitt vannføring m³/s

	2009	2010	2011	2012	2013	Gjennomsnitt vannføring i dykket utslipp 2009-2013		
Jan	44,49	34,95	25,49	52,33	48,60	41,17		
feb	31,44	44,41	31,75	63,10	65,31	47,20		
Mar	27,55	25,28	27,21	45,54	41,57	33,43		
Apr	0,00	29,45	28,34	38,22	20,68	23,34		
Mai	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Jun	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Jul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Aug	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Sep	34,90	17,30	16,93	15,12	15,12	19,87		
Okt	49,81	29,99	34,71	37,68	28,10	36,06		
Nov	40,38	38,99	48,48	42,79	37,68	41,66		
Des	45,09	38,98	47,17	47,38	35,26	42,78		

Driftsvannføring Borgund millioner m ³		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Gjennomsnitt driftsvannfø	Gjennomsnitt m ³ /s
Jan		56	53	57	61	58	53	53	54	46	65	54	53	37	54	20,16
Feb		34	40	55	53	45	52	48	42	40	62	50	53	34	47	19,43
Mar		35	35	42	50	34	48	40	26	2	32	32	50	64	38	14,19
Apr		24	26	25	25	30	34	23	21	0	30	18	28	64	27	10,42
Mai		32	33	26	22	38	49	41	30	21	34	38	37	33	33	12,32
Jun		48	54	53	41	72	46	59	43	62	59	61	54	41	53	20,45
Jul		22	28	55	31	72	63	45	35	65	61	38	38	43	46	17,17
Aug		28	35	40	25	71	54	33	24	48	53	42	34	58	42	15,68
Sep		6	23	43	20	38	33	34	34	37	55	32	15	55	33	12,73
Oktober		36	45	34	23	40	32	57	29	38	31	22	33	40	35	13,07
Nov		37	50	47	30	54	45	42	55	56	45	39	36	44	45	17,36
Des		41	46	60	41	46	54	53	59	50	54	43	37	44	48	17,92
År		399	468	536	422	598	561	529	451	466	580	468	469	556		
Beregnet tilsig til magasinene bak Borgund millioner m³																
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Gjennomsnitt tilsig	Gjennomsnitt m ³ /s
Jan		11	7	15	6	18	12	9	4	7	13	5	10	13	10	3,73
Feb		7	8	5	4	7	7	6	4	6	7	7	7	6	6	2,48
Mar		3	6	4	5	7	9	5	4	5	9	3	65	6	10	3,73
Apr		5	10	5	4	11	7	9	4	21	8	3	6	6	8	3,09
Mai		37	116	26	40	50	88	64	61	66	53	121	99	11	64	23,89
Jun		159	126	162	132	206	164	127	124	177	143	138	148	85	145	55,94
Jul		75	78	166	57	178	127	130	81	96	153	65	99	172	114	42,56
Aug		40	51	54	35	73	59	69	43	69	76	61	41	106	60	22,40
Sep		38	44	45	30	48	31	50	30	63	46	38	25	66	43	16,59
Oktober		16	29	32	31	32	28	16	49	30	19	29	53	16	29	10,83
Nov		9	15	45	17	21	14	12	9	32	13	18	25	20	19	7,33
Des		9	11	10	17	10	12	6	6	17	8	15	12	22	12	4,48
År		410	499	570	377	662	558	504	419	589	547	502	591	529		

Lærdalselva. Månedlig gjennomsnitt vannføring m³/s

Nysetelva. Månedlig gjennomsnitt vannføring m³/s

Driftsvannføring Naddvik millioner m ³																																											
2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Gjennomsnitt millioner m ³	gjennomsnitt m ³ /s																													
Jan	21	23	18	21	14	17	19	8	20	20	21	17	18	6,72																													
Feb	9	24	20	20	21	15	18	17	26	21	14	19	19	7,85																													
Mar	19	12	11	13	19	16	4	4	20	4	15	16	13	4,85																													
Apr	7	2	1	3	5	0	0	4	6	0	4	1	3	1,16																													
Mai	13	25	17	12	27	27	0	27	14	19	20	7	18	6,72																													
Jun	23	25	29	15	34	25	27	25	32	24	26	23	25	9,65																													
Jul	14	26	36	5	36	15	15	29	30	19	10	27	22	8,21																													
Aug	19	20	23	8	27	17	14	25	26	18	3	35	20	7,47																													
Sep	20	17	24	9	21	21	10	16	29	11	7	24	17	6,56																													
Okt	15	18	16	12	20	28	8	18	11	10	20	8	15	5,60																													
Nov	11	9	20	13	18	3	13	15	5	17	19	15	14	5,40																													
Des	12	14	18	19	12	16	23	18	22	16	19	21	17	6,35																													
År	182	214	234	150	254	200	152	206	239	178	179	212																															
Beregnet tilsig til magasinene bak Naddvik millioner m³																																											
Beregnet tilsig til magasinene bak Naddvik millioner m³																																											
Jan	4	5	6	3	4	3	2	1	4	2	4	5	4	1,49																													
Feb	5	3	1	2	3	2	0	1	3	1	1	2	2	0,83																													
Mar	1	1	2	1	2	1	1	1	6	1	3	2	2	0,75																													
Apr	2	7	2	1	8	7	1	11	3	1	4	2	4	1,54																													
Mai	19	44	18	21	26	30	26	30	26	50	38	7	28	10,45																													
Jun	61	53	66	49	77	44	48	77	52	47	45	40	55	21,22																													
Jul	28	33	67	23	67	45	27	32	62	28	27	39	43	16,05																													
Aug	24	22	22	10	27	21	14	23	31	19	9	34	22	8,21																													
Sep	21	24	24	12	24	28	11	24	24	11	10	16	19	7,33																													
Okt	7	6	14	12	14	7	6	14	6	14	23	7	11	4,11																													
Nov	4	4	16	6	8	2	2	15	4	6	7	11	7	2,70																													
Des	4	5	5	7	3	2	2	6	3	7	2	12	5	1,87																													
År	180	208	244	147	263	198	140	235	224	187	174	217																															

Årdalsvassdraget. Månedlig gjennomsnitt vannføring m³/s

	1901	1902	1903	1904	Gjennomsnitt 1901-1904		
Januar	4,18	10,74	4,64	3,59	5,79		
Februar	4,22	3,99	15,34	3,44	6,75		
Mars	3,77	3,97	18,71	2,78	7,31		
April	10,41	5,51	11,48	5,28	8,17		
Mai	101,27	24,22	42,03	26,45	48,49		
Juni	170,55	155,47	244,64	128,13	174,70		
Juli	95,09	107,56	200,92	105,85	127,36		
August	65,72	65,42	109,66	57,20	74,50		
September	36,69	49,78	57,34	28,26	43,02		
Oktober	51,56	23,61	12,54	20,24	26,99		
November	13,55	21,82	9,16	14,33	14,71		
Desember	4,99	5,36	4,44	11,27	6,51		
Års gjennomsnitt	46,83	39,79	60,91	33,90	45,36		
	2012	2013	2014	2015	gjennomsnitt 2012-2015		
Januar	37,73	26,49	30,48	34,66	32,34		
Februar	38,24	37,13	36,92	40,65	38,23		
Mars	47,92	24,12	32,04	32,57	34,16		
April	36,93	14,29	32,55	24,70	27,12		
Mai	49,10	93,03	74,12	27,06	60,83		
Juni	80,31	91,50	89,73	76,61	84,54		
Juli	87,14	63,86	83,94	117,07	88,00		
August	54,52	61,36	43,65	72,14	57,92		
September	54,16	42,49	24,26	41,72	40,66		
Oktober	22,16	45,04	51,43	25,12	35,94		
November	22,86	23,91	24,25	47,01	29,51		
Desember	31,13	29,12	30,27	43,70	33,55		
Årsgjennomsnitt	46,85	46,03	46,14	48,58	46,90		

Fortundalselva. Månedlig gjennomsnitt vannføring m³/s

Drift	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Gjennomsnitt driftsvannføring 2010-2015
Jan	16,21	14,28	21,82	15,86	14,98	17,92	16,85
Feb	18,18	16,64	27,12	15,59	16,92	18,18	18,77
Mar	16,13	14,58	19,37	16,86	19,28	18,52	17,46
Apr	14,51	13,93	18,47	15,29	18,11	12,62	15,49
Mai	19,48	21,54	16,40	19,77	16,34	6,70	16,70
Jun	21,65	28,26	28,66	30,53	31,49	13,86	25,74
Jul	27,34	31,49	29,62	28,82	31,16	29,42	29,64
Aug	24,65	28,07	30,72	30,52	28,56	31,73	29,04
Sep	14,01	25,29	29,42	28,05	22,82	23,75	23,89
Okt	22,01	19,38	17,19	23,81	23,32	17,30	20,50
Nov	15,70	16,37	16,25	16,85	15,52	18,14	16,47
Des	13,88	12,76	16,39	14,35	20,14	17,59	15,85
total	223,74	242,61	271,46	256,29	258,64	225,73	20,53
Tilsig	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Gjennomsnitt tilsig 2010-2015
Jan	0,19	1,99	2,80	1,74	0,93	3,84	1,91
Feb	-1,39	1,44	1,55	0,21	2,02	1,91	0,96
Mar	0,72	1,96	1,17	0,39	2,91	2,73	1,65
Apr	1,38	5,54	0,99	0,06	2,24	0,90	1,85
Mai	22,04	28,36	17,33	45,38	37,72	3,90	25,79
Jun	49,60	93,06	57,92	71,99	78,54	36,24	64,56
Jul	52,21	65,45	83,49	50,68	79,31	93,27	70,73
Aug	34,00	41,78	43,74	44,41	29,09	68,92	43,66
Sep	22,21	33,86	34,36	20,60	19,24	24,70	25,83
Okt	24,37	19,80	6,75	22,95	35,20	10,07	19,86
Nov	3,45	17,42	5,90	7,49	8,82	12,78	9,31
Des	0,76	6,55	1,87	6,22	4,28	10,33	5,00
total	209,53	317,21	257,88	272,14	300,30	269,57	22,59

Årøyvassdraget. Månedlig gjennomsnitt vannføring m³/s

drift	2010	2011	2012	2013	2014	Gjennomsnitt driftsvannføring
Januar	4,83	4,35	10,55	7,87	15,87	8,70
Februar	3,84	7,30	3,47	5,59	7,48	5,53
Mars	6,26	11,76	24,33	3,87	17,60	12,76
April	12,32	37,15	19,32	13,69	23,91	21,28
Mai	32,29	54,86	23,69	54,76	45,43	42,21
Juni	42,45	74,07	57,28	69,92	75,08	63,76
Juli	72,50	79,58	76,71	75,70	74,39	75,77
August	67,39	67,20	63,21	73,52	61,52	66,57
September	32,46	61,06	52,00	40,41	36,31	44,45
Oktober	32,65	45,57	16,37	35,40	46,76	35,35
November	14,81	34,25	19,92	23,83	24,24	23,41
Desember	3,47	29,84	7,65	16,73	9,23	13,38
tilsig	2010	2011	2012	2013	2014	Gjennomsnitt tilsig
Januar	0,92	2,99	5,49	2,89	7,54	3,97
Februar	0,53	3,11	5,61	1,42	6,19	3,37
Mars	4,85	8,26	23,52	0,97	11,05	9,73
April	11,66	38,44	11,63	12,26	22,94	19,39
Mai	32,06	48,49	50,06	74,49	51,75	51,37
Juni	40,37	113,32	53,35	63,33	69,16	67,90
Juli	79,54	99,43	79,17	72,53	97,85	85,70
August	55,59	61,66	55,88	69,37	47,26	57,95
September	34,75	59,02	49,49	33,60	37,61	42,90
Oktober	35,81	41,52	15,37	41,43	62,77	39,38
November	6,02	30,02	19,84	21,25	15,40	18,51
Desember	1,99	17,77	2,65	17,05	7,75	9,44

Endring i avrenningsmønster

Vannføring før utbygging/tilslig	Aurland	Fjåm	Årdal	Nyset (tilslig)	Lærdal (tilslig)	Årøy (tilslig)	Jostedalølva	Dalsdalølva	Fortunelva	Samlet vannføring før utbygging/tilslig
Januar	4,56	1,84	5,79	1,49	3,73	3,97			1,91	23,29
Februar	4,08	2,15	6,75	0,83	2,48	3,37			0,96	20,62
Mars	3,44	2,16	7,31	0,75	3,73	9,73			1,65	28,77
April	5,72	2,57	8,17	1,54	3,09	19,39			1,85	42,33
Mai	33,11	20,82	48,49	10,45	23,89	51,37			25,79	213,93
Juni	114,97	45,85	174,70	21,22	55,94	67,90			64,56	545,14
Juli	85,66	35,49	127,36	16,05	42,56	85,70			70,73	463,56
August	56,09	20,71	74,50	8,21	22,40	57,95			43,66	283,52
September	41,23	18,10	43,02	7,33	16,59	42,90			25,83	194,99
Oktober	32,79	8,55	26,99	4,11	10,83	39,38			19,86	142,49
November	9,92	6,35	14,71	2,70	7,33	18,51			9,31	68,82
Desember	5,33	2,74	6,51	1,87	4,48	9,44			5,00	35,37
										2062,85
Vannføring etter utbygging/ driftsve	Aurland	Fjåm	Årdal	Nyset (drift)	Lærdal (drift)	Årøy (drift)	Jostedalølva	Dalsdalølva	Fortunelva	Samlet vannføring etter utbygging/ driftsvannføring
Jan	30,33	2,87	32,34	6,72	20,16	8,70			16,85	117,96
Feb	29,37	2,26	38,23	7,85	19,43	5,53			18,77	121,44
Mar	30,82	3,50	34,16	4,85	14,19	12,76			17,46	117,75
Apr	31,72	7,27	27,12	1,16	10,42	21,28			15,49	114,46
Mai	23,30	26,06	60,83	6,72	12,32	42,21			16,70	188,14
Jun	33,92	47,04	84,54	9,65	20,45	63,76			25,74	285,09
Jul	40,92	41,78	88,00	8,21	17,17	75,77			29,64	301,51
Aug	35,12	22,95	57,92	7,47	15,68	66,57			29,04	234,74
Sep	25,12	23,67	40,66	6,56	12,73	44,45			23,89	177,08
Okt	31,55	17,34	35,94	5,60	13,07	35,35			20,50	159,34
Nov	30,24	10,01	29,51	5,40	17,36	23,41			16,47	132,40
Des	30,86	5,24	33,55	6,35	17,92	13,38			15,85	123,16
										2073,07

Nedbør i indre sogn, kommuneareal og middelværdi for nedbør i Sogndal 1970-1990

	km2					
Luster	2705,55			Middel nedbør søgndal 1970-1990		
Sogndal	745,87		mm	1070		
Aurland	1467,91		m	1,07		
Lærdal	1342,42					
Årdal	976,42					
Leikanger	180,11					
km2	7418,28					
m2	7418280000					
m3 vann	7937559600					
km3	7,9375596					

Utbygd magasinkapasitet i indre Sogn

	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	total
Flåmsvassdraget		2,8			7,7					10,5
Aurland					805,8	86,8				892,6
Lærdal					234,1					234,1
Årdalsvasdraget	3,6	340,9	22,8							367,3
fortunselva			168	123,6						291,6
dalsdalselva		7								7
jostedalselva					178		498			676
årøyvassdraget						53				53
nyset						74,9				74,9
	3,6	350,7	190,8	123,6	1225,6	214,7	498			2607
Utbygd magasinkapasitet	3,6	354,3	545,1	668,7	1894,3	2109	2607	2607		
Utbygd magasinkapasitet	0,0037	0,3543	0,5451	0,6687	1,8943	2,109	2,607	2,607		