Rapport nr. 31

Hydrologiske forhold i Suldalsvassdraget, med hovedvekt på forholdene etter Ulla-Førre utbyggingen

Lakse-forsterkings-prosjektet i Suldalslågen fase II

DIREKTORATET FOR NATURFORVALTNING

NVE NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK

Norges forskningsråd

Energiforsyningens Fellesorganisasjon EnFO

Statkraft engineering

GLOMMENS OG LAAGENS BRUKSEIERFORENING

LAKSEFORSTERKINGPROSJEKTET I SULDALSLÅGEN FASE II

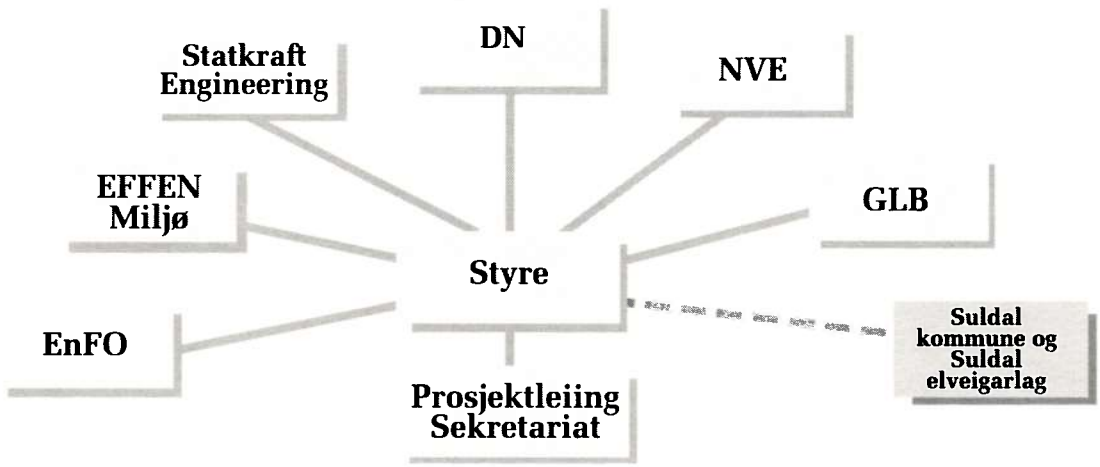
Lakseforsterkingsprosjektet i Suldalslågen fase II er knytt til manøvreringsreglementet for Suldalslågen som blei vedteke av Kronprinsregenten i Statsråd 22. juni 1990. Reglementet er eit prøvereglement som opphavleg hadde ei funksjonstid på 5 år, men som er forlenga.

Grunnen til at det blei søkt om endra manøvreringsreglement for Suldalslågen var at den tidlegare manøvreringa førte til ulemper for laksen i Suldalslågen, og til ustabile driftsforhold for regulanten. Det var dessutan mykje som peika i retning av at ulempene for laksen kunne reduserast utan at dette trong gå ut over kraftproduksjonen.

I den forlenga prøveperioden er målet å utvikle tiltak som kan kompensere for ulempene reguleringa har påført laksestamma. Utgangspunktet er å gjera tiltak i elva framfor å arbeide med laks i oppdrett, og at tiltaka om mogleg skal vera økologisk og økonomisk betre enn tiltaka som blei bruka før prøveperioden starta.

Arbeidsoppgavene er utvida i forhold til fase I ved at arbeidet med forsuringsproblematikken i Suldalsvassdraget er tatt med i fase II. Problemstillingane synest å ha interesse ut over å løyse oppgavene i Suldalslågen, og resultata får truleg overføringsverdi til andre vassdrag. Samarbeidspartane er Norges vassdrags- og energiverk (NVE), Direktoratet for naturforvaltning (DN), Energiforsyningens Fellesorganisasjon (EnFO), Glommens og Laagens Brukseierforening (GLB), Statkraft Engineering og Noregs forskingsråd gjennom programmet EFFEN. Suldal kommune og Suldal elveigarlag har observatør i styret.

Prosjektet er organisert slik:



Hovudmålsetjingane for prosjektet er å:

- setje søkelys på problemstillingar og utarbeide tilråding om miljøfaglege moment som bør leggast til grunn ved utarbeidinga av nytt manøvreringsreglement for Suldalslågen
- skaffe generell kunnskap om laksebiologi, forsuring og andre miljøeffektar av vassdragsreguleringar
- utvikle metodar for å styrkje laksestamma gjennom tiltak i elva som både er økologisk og økonomisk betre enn tidlegare, og å gjera framlegg om korleis produksjonen av Suldalslågens naturlege laksestamme kan optimaliserast, slik at det blir eit attraktivt fiske med ein fangst som minst svarar til gjennomsnittet dei siste 30 åra
- publisere resultata frå prosjektet i eigen rapportserie og samanstille relevant kunnskap i eiga bok

Publikasjonar i serien Rapport frå Lakseforsterkingsprosjektet i Suldalslågen fase II får de ved å ta kontakt med:

Prosjektleiar Halvard Kaasa

Statkraft Engineering
Postboks 191
1322 HØVIK

Tlf.: 67 57 70 10
Faks: 67 57 70 11

Framsidebilde: Knut Svendheim
Omslagsteikning: Jan Henrik Simonsen

LAKSEFORSTERKINGSPROSJEKTET I SULDALSLÅGEN FASE II

RAPPORT NR 31

TITTEL: HYDROLOGISKE FORHOLD I SULDALSVASSDRAGET, MED HOVEDVEKT PÅ FORHOLDENE ETTER ULLA-FØRRE-UTBYGGINGEN

FORFATTER:
ERIK HOLMQVIST

INSTITUSJON:
STATKRAFT ENGINEERING AS

EKSTRAKT:

Røldal-Suldal utbyggingen førte til en halvering av midlere vårflom ut av Suldalsvatn, mens vannføringen vinterstid økte betydelig. Etter Ulla-Førre utbyggingen er også flommer til andre årstider kraftig redusert, og vintervannføringen er redusert til 12 m³/s. Men store tilsig fra Suldalslågens restfelt medfører at vannføringen nederst i lågen fortsatt kan bli godt over 100 m³/s også vinterstid. Registreringer av vannføring i en sidebekk til Suldalslågen, Fossåna, illustrerer godt hvor raskt vannføringen i bekkene i området fluktuerer.

Perioden 1989-96 inneholder flere vann-/ snørike år, men også et tørrår. Uten reguleringer i vassdraget er det sannsynlig at vannføringen nederst i lågen ville vært over 800 m³/s i august 1989 og omkring 5 m³/s vinteren 1996. I 1996 fungerte magasinet Blåsjø for første gang som tørrårssikring.

Målinger av grunnvannstand på Kvestad viser en klar sammenheng mellom grunnvannstand og vannføring/ vannstand i lågen.

ABSTRACT:

Due to the Røldal-Suldal regulation the average spring flood at the outlet of the lake Suldalsvatn was reduced to 50 %, while the discharge during the winter increased considerably. After the completion of the Ulla-Førre regulation floods in all seasons are reduced, and the winter discharge is reduced to 12 m³/s. However, caused by floods in the unregulated catchment of the river Suldalslågen, the main river discharge may still exceed 100 m³/s in the winter. Unregulated brooks show fast response to rainfall as seen from the observations in Fossåna, a little stream which drains to Suldalslågen.

The period 1989-96 covers both very wet and dry years. Thus, the regulation effect of the Blåsjø reservoir was clearly demonstrated. Without hydropower development in the watercourse, the flow in the river could probably have exceeded 800 m³/s in August 1989 and dropped to 5 m³/s during the winter 1996.

Groundwater observations at Kvestad show that the groundwater level is clearly influenced by the water level in the main river.

EMNEORD: SULDALSLÅGEN, SULDALSVATN, BLÅSJØ, VANNFØRING, GRUNNVANN

Høvik, september 1997

Prosjektleder: Tallvard Paasa

ISBN 82 -554-0534-8
ISSN 0806-3729

INNHOLD

SAMMENDRAG 3

VASSDRAGSBESKRIVELSE 4
- Naturlig nedbørfelt 4
- Røldal-Suldal-utbyggingen 9
- Ulla-Førre-utbyggingen 9
- Suldalsvatn 10
- Suldalslågen 11

ENDRINGER I VANNFØRINGSREGIMET I SULDALSVASSDRAGET 12
- Vannføringen i Suldalslågen 1940, 1977 og 1996 13
- Endring av flomforhold 15
- Endring av lavvannføring 17

HYDROLOGISKE FORHOLD 1989 - 1996 18
- Usikkerhet i datagrunnlag 18
- Referansestasjonen Stordalsvatn 19
- Snøforhold 20
- Driftsvannføringer/ flomtap Røldal-Suldal 21
- Driftsvannføringer/ flomtap Ulla-Førre 22
- Avrenning fra restfeltet til Suldalsvatn 26
- Vannføring Suldalslågen 27
- Avrenning fra restfeltet til Suldalslågen 31
- Blåsjø, magasinforhold 33

ANDRE HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER 35
- Vannføring Fossåna 35
- Strømningsforhold i nedre del av Suldalsvatn 41
- Grunnvannstand Kvestad 43

LITTERATUR 48

SAMMENDRAG

Det har vært to vannkraftutbygginger i Suldalsvassdraget. Røldal-Suldal utbyggingen på 1960-tallet og Ulla-Førre utbyggingen på 1980-tallet. Den første utbyggingen omfattet vassdragets østligste områder, og førte til en halvering av vårflommen i Suldalslågen, mens vannføringen vinterstid økte betydelig. Utbyggingen ble gjennomført først og fremst for å skaffe strøm til aluminiumsproduksjon, det var derfor viktig med en stabil kraftproduksjon, som igjen medfører at driftsvannføringen gjennom Røldal-Suldal kraftverkene varierer lite gjennom året.

Ulla-Førre utbyggingen har medført at tilsiget til Suldalsvatn har økt med 64 %, på grunn av overføring av vann fra Blåsjø, Norges største magasin, og en rekke mindre magasiner på 600 meters nivå. Driftsvannføringene gjennom Ulla-Førre kraftverkene har en nokså klar sesongmessig variasjon, med høyest produksjon i november-april og lavest i juni-juli. Dette skyldes blant annet at Hylen kraftverk, som utnytter fallet fra Suldalsvatn til Hylsfjorden, skal stå i juni og juli i henhold til manøvreringsreglementet. Ved hjelp av Saurdal pumpekraftverk kan vann pumpes fra 600 meters nivå til Blåsjø (1000 meter). Pumping forekommer hyppigst i juni og juli.

Utbyggingen har ført til nye store endringer i vannføringsregimet i Suldalslågen. Vintervannføringen ut av Suldalsvatn er redusert i forhold til etter Røldal-Suldal utbyggingen og holdes nå på 12 m³/s. Naturlig kunne vannføringen periodevis bli betydelig lavere. Store tilsig fra Suldalslågens restfelt medfører imidlertid at vannføringen nederst i lågen fortsatt kan bli over 100 m³/s også vinterstid. Videre er høstflommene ut av Suldalsvatn kraftig redusert. Vannføringen i lågen er nå "styrt" av et prøvereglement med varighet ut 1997. Reglementet gir åpning for å prøve ulike vannføringsregimer etter råd fra et driftsutvalg.

Hydrologiske data fra 1989-96 er spesielt gjennomgått. Denne perioden inneholder flere snø- og vannrike år, men også et tørrår. I begge situasjoner skiller vinterperiodene seg ut med svært høy/ lav avrenning. Uten bruk av Hylen kraftverk er det sannsynlig at vannføringen nederst i lågen ville vært over 300 m³/s i januar 1989 og over 800 m³/s i august 1989. I begge tilfelle ble vannføringen omkring 150 m³/s. Vinteren 1996, som var kald og nedbørfattig, er det sannsynlig at vannføringen i lågen ville blitt omkring 5 m³/s uten reguleringer i vassdraget.

Vannstanden i Blåsjø var høy i perioden 1989-92, men høst og vinter 1993-94 og 1995-96 ble det tappet betydelige volum fra Blåsjø. I 1996 fungerte Blåsjø for første gang som tørrårssikring.

Det er foretatt registreringer av vannføring i en sidebekk til Suldalslågen, Fossåna, siden 1992. Målingene illustrerer godt hvor raskt vannføringen i bekkene i området fluktuerer. Data fra Fossåna viser at når avrenningen fra hele Suldalslågens restfelt har et døgnmiddel på 100 m³/s har det sannsynligvis vært timesverdier på 150-200 m³/s.

Variasjonen i grunnvannstand langs Suldalslågen er undersøkt gjennom to vårsesonger (mai-juni 1994 og 1995) på Kvestad. Målingene viser at det er en klar sammenheng mellom grunnvannstand og vannføring/ vannstand i lågen. En vannføring på ca. 150 m³/s, vil sannsynligvis redusere risikoen for tørkeskader på lavtliggende areal langs lågen. Men jordfuktigheten i området er først og fremst bestemt av nedbørforholdene.

VASSDRAGSBESKRIVELSE

Naturlig nedbørfelt

Suldalsvassdragets naturlige nedbørfelt er 1466 km². De østligste delene av vassdraget omfatter høyfjellsområdene Haukelifjell og sørvestlige deler av Hardangervidda. De midtre delene av vassdraget domineres av Suldalsvatn som ligger 68 moh og er nær 30 km langt. Fra utløpet av Suldalsvatn, ved Suldalsosen, renner Suldalslågen ca. 22 km vestover før den når Sandsfjorden.

En stadig strøm av lavtrykk fra Nord-Atlanteren gir her som ellers på Vestlandet store nedbørmengder. Det er store klimatiske variasjoner i vassdraget. I de kystnære og lavtliggende områdene er årsmiddeltemperaturen omkring 6°C høyere enn i høyfjellet. Det er og store nedbørgradienter i området med årsmidler på over 2000 mm i kystsonen og ned mot 1200 mm i indre høyfjellsområder. Hovedtyngden av nedbøren faller høst og vinter, mens vårmånedene april - mai vanligvis er de tørreste. I tabell 1 og 2 er det gitt noen data for meteorologiske stasjoner i området.

Tabell 1
Normalnedbør 1961-90 i mm for noen stasjoner i/ nær Suldalsvassdraget.

	Moh	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	År
4615 Sand	25	206	146	178	93	100	123	139	174	261	275	258	250	2203
4620 Suldal-Mo	58	192	137	160	81	85	102	114	145	226	254	242	232	1970
4630 Suldalsvatn	333	186	128	151	73	75	100	106	131	213	227	215	215	1820
4651 Midtlæger	1079	84	58	75	47	68	101	110	143	187	176	108	93	1250
4660 Sauda	5	224	156	175	95	100	117	122	165	254	276	264	253	2201

Tabell 2
Normaltemperatur 1961-90 (°C) for noen stasjoner i/ nær Suldalsvassdraget.

	Moh	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	År
4620 Suldal-Mo	58	-2,1	-2,0	1,2	4,7	10	13,3	14,4	13,8	10,3	7,0	2,0	-0,8	6,0
4651 Midtlæger	1079	-6,4	-6,3	-5,1	-2,4	2,9	6,8	8,6	8,4	4,3	1,2	-3,1	-5,2	0,3
4660 Sauda	5	-2,0	-1,7	1,4	4,8	10,2	13,7	14,9	14,2	10,6	7,1	2,2	-0,7	6,2

Ikke sjelden kan det derfor være tilnærmet snøfritt i de lavereliggende områdene, mens en har betydelige snømengder i høyfjellet. 50 % av nedbørfeltet til Suldalsvatn ligger høyere enn 1065 moh, mens hele 90 % av arealet ligger høyere enn 495 moh.

Naturlig hadde vassdraget markerte vår- og høstflommer. Også vinterflommer kunne forekomme. Midlere vårflom ut av Suldalsvatn var 400 m³/s (døgnmiddel), og det er registrert vannføringer helt opp mot 700 m³/s.

Vintervannføringen i Suldalslågen kunne imidlertid bli svært lav. I lange stabile kuldeperioder kunne vannføringen gå helt ned mot 3 m³/s. Nesten uten unntak var vannføringen periodevis lavere enn 12 m³/s hver vinter.

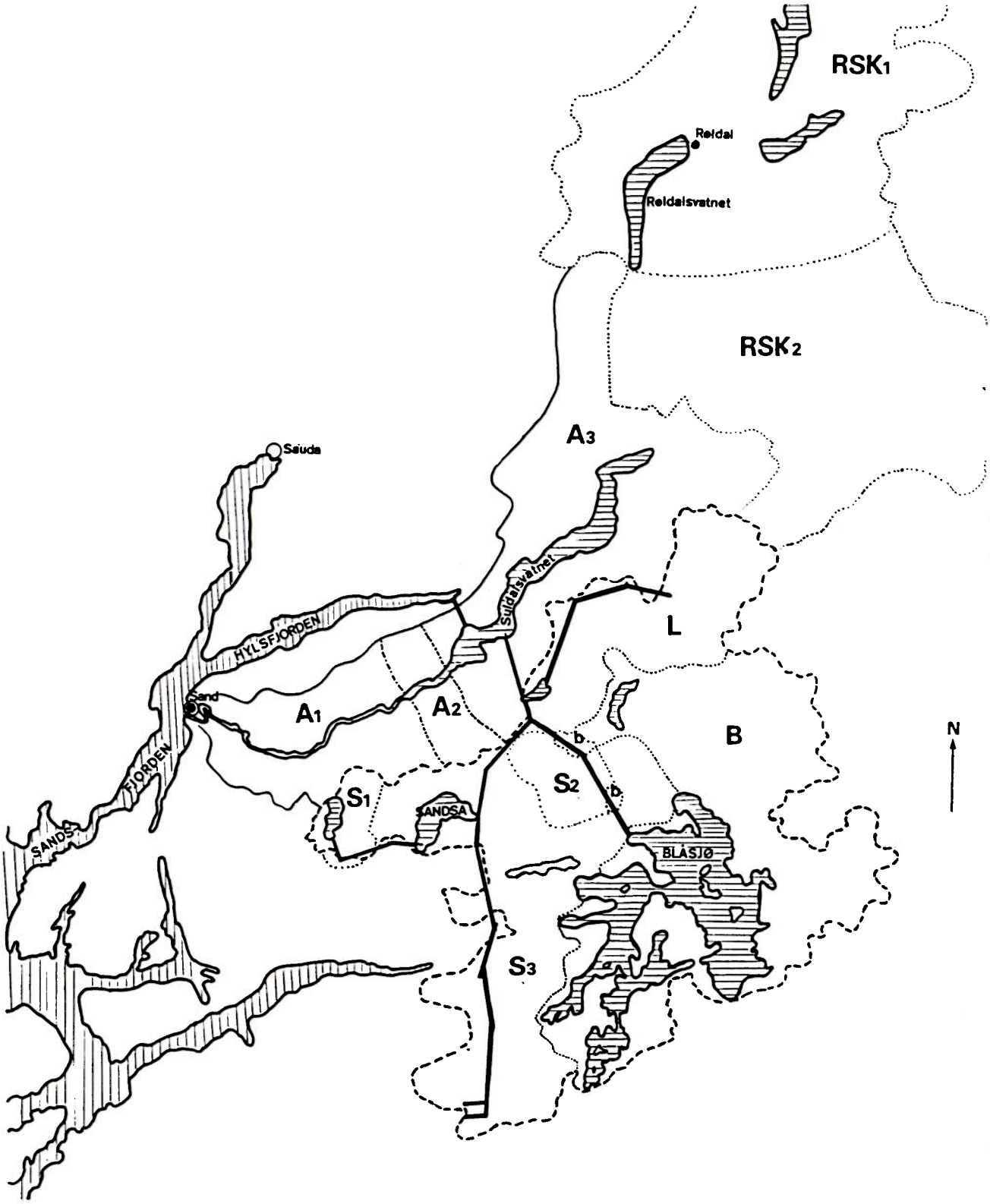
Det har vært to vannkraftutbygginger i Suldalsvassdraget. Røldal-Suldal-utbyggingen på 1960-tallet (Hydro) og Ulla-Førre-utbyggingen (Statkraft) på 1980-tallet. Et oversiktskart over vassdraget er gitt i figur 1. Feltene S3 (Sandsa) og B (Blåsjø) er overført Suldalsvassdraget ved utbyggingen av Ulla-Førre, alle de andre feltene tilhører Suldalsvassdragets naturlige nedbørfelt.

I tabell 3 er det listet opp noen hoveddata for vassdraget. Videre er det i tabell 4 gitt en kort historisk oversikt over kraftutbyggingene i vassdraget. I tabell 5 er det gitt en oversikt over maksimal driftsvannføring for de kraftverkene som har størst innvirkning på vannføringsforholdene i vassdraget.

I tabell 6 er det gitt enkelte data for noen sentrale målestasjoner i Suldalsvassdraget. Ved Suldalsosen/ utløpet av Suldalsvatn har det vært en målestasjon for vannstand/ vannføring siden 1904. Ved bygging av dammen ved Suldalsosen ble denne målestasjonen erstattet av Stråpa øverst i lågen i tillegg til en stasjon i Suldalsvatn. Nederst i Suldalslågen ble målestasjonen Larvika opprettet i 1962. Og i Fossåna, en sidebekk til Suldalslågen ble det startet målinger i 1992.

Tabell 3
Normalavløp og arealer for Suldalsvassdraget med overføringer.

Kode	Delfelt	Areal km²	Normalavløp 1931-60 m³/s	mill m³
A1	Restfelt Suldalslågen	135	12,1	382
A2	"Tarmen"	36	2,3	74
A3	Restfelt Suldalsvatn oppstrøms "Tarmen"	321	20,8	656
S1	Mosvatn m.m.	24	2,4	76
S2	Grunnavatn	26	2,3	74
S3	Sandsa	268	23,3	735
L	Lauvastøl	122	9,7	305
b	Grunnfoss, Kvelven, Pjåkevatn	7	0,6	20
B	Blåsjø	409	32,7	1031
RSK1	Suldal I	567	39,6	1249
RSK2	Suldal II	228	15,9	501
A2,A3,S2, L,b,RSK1, RSK2	Suldalsvatn naturlig	1307	91	2878
S3, B	Felt overført Suldalsvassdraget	677	56	1766
A2,A3,S1, S2,S3,L,b, B,RSK1,R SK2	Suldalsvatn etter Ulla-Førre	2008	150	4719
A1,A2,A3, S1,S2,L,b, RSK1,RS K2	Suldalslågen, naturlig	1466	106	3335



Figur 1a
Suldalsvassdraget med overføringer. For forklaring av bokstavkoder se tabell 3.

Tabell 4
Historisk oversikt over kraftutbyggingene i Suldalsvassdraget

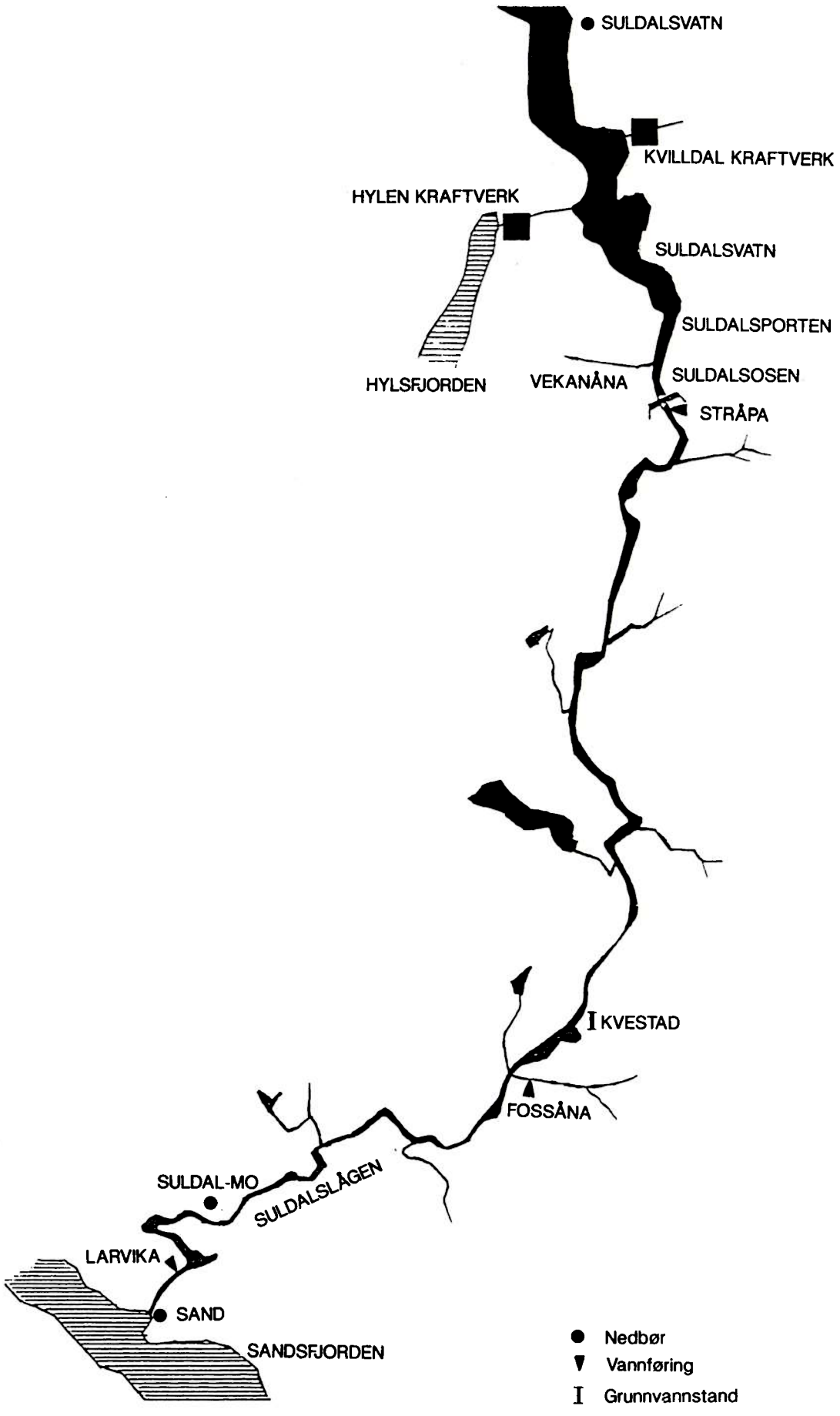
År	Hendelse
1965	Suldal I, første aggregat i drift
1966	Første gangs oppfylling av Valldalsmagasinet
1967	Suldal I og II, 3 aggregater i drift
1971	Suldal I og II, 4 aggregater i drift
1972-77	Mindre tilleggsreguleringer i RSK-området
1979-88	Bygging av dammene ved Blåsjø
1980	Hylen kraftverk, første aggregat i drift
1981	Hylen kraftverk, andre aggregat i drift
1981-86	Kvilldal kraftverk (4 aggregater)
1985-86	Saurdal kraftverk og pumpe (2 x 2 aggregater)
1986	Stølsdal kraftverk og pumpe, Hjorteland pumpe
1989	Blåsjø fylt første gang.

Tabell 5
Maksimal driftsvannføring for noen av kraftverkene i Suldalsvassdraget

Kraftverk	m^3/s
Suldal I	61
Suldal II	31
Saurdal	170
Saurdal pumpe	-90
Kvilldal	268
Hylen	270

Tabell 6
Noen målestasjoner for vannføring/ vannstand i Suldalsvassdraget.

NVE nytt stasjonsnr.	NVE gml. stasjonsnr.	Navn	Areal km^2	Normalavløp m^3/s	1931-60 mill m^3/år	Observ.. periode
036.51.0	2410,0	Suldalsvatn	1307	91	2878	1978-dd
036.1.0	582,0	Suldalsosen	1307	91	2878	1904-78
036.11.0	2257,0	Stråpa	1307	91	2878	1978-dd
036.6.0	1372,0	Larvika	1466	106	3335	1962-dd
036.12.0	-	Fossåna	10,9	1,1	36	1992-dd



Figur 1b
Suldalslågen og nedre del av Suldalsvatn.

Røldal-Suldal-utbyggingen

Utbyggingen av Røldal-Suldal-Kraft (RSK) omfatter 795 km² av vassdragets østligste områder. Midlere årlig tilsig er 1750 mill m³. Vannet utnyttes i totalt 7 kraftverk, de to nederste kraftverkene Suldal I og II har utløp i indre ende av Suldalsvatn. Videre ble det bygd i alt 16 magasiner med et samlet volum på 834 mill m³. Valldalsmagasinet, som er det største magasinet (290 mill m³), er laget ved en 80 meters oppdemming. Det ble hverken overført vann til eller fra andre vassdrag ved denne utbyggingen.

I manøvreringsreglementet for Røldal/ Suldalvassdragene heter det at Røldalsvatn om våren skal fylles til kote 378 (2 m under HRV, total reguleringshøyde er 17 m) og holdes på det nivået eller høyere frem til 1 oktober. Det betyr at det er et relativt lite flomdempningsvolum i Røldalsvatn i denne perioden, noe som bidrar til at RSK kan ha betydelige flomtap.

Etter at fyllingstidspunktet, ofte benevnt vårkulminasjons-tidspunktet, for RSK's kraftverk har inntrått er RSK pliktig til å slippe 42 m³/s videre til Suldalsvatn. Fyllingstidspunktet er definert når sum tilsig til RSK's magasiner *utgjør minst 55,16 m³/s og forblir større enn dette.* Vanligvis skjer det omkring midten av mai. Plikten til å tappe minst 42 m³/s bortfaller etter 1 august, men i fyllingstiden er konsesjonæren *forpliktet til også etter dette tidspunkt å holde en minimumsvassføring fra Suldal I og Suldal II på tilsammen opp til 42 m³/s dersom en av rettighetshaverne på forhånd utpekt representant, krever dette.* Videre kan tappingen reduseres til 30 m³/s hvis naturlig tilsig er så lite at en har måttet nytte minst 7 mill m³ magasinvann for å opprettholde det forannevnte vannslippet.

Denne utbyggingen ble gjennomført først og fremst for å skaffe strøm til Norsk Hydros aluminiumsfabrikk på Karmøy. Det var derfor viktig med en stabil kraftproduksjon. Noe også dataene fra de senere årene viser. Det er små sesongmessige svingninger i driftsvannføringen gjennom kraftverkene (jfr. figur 5 side 21).

Ulla-Førre-utbyggingen

Ulla-Førre er det største vannkraftprosjektet i Norge med bygging av bl.a. 5 kraft-, pumpekraft- og pumpestasjoner samt flere store og små magasiner og en rekke bekkeinntak.

Blåsjø er hovedmagasin i Ulla-Førre-utbyggingen. Ved HRV dekker Blåsjø et areal på 82 km² og har et magasinvolum på 3105 mill m³. Det tar normalt 3 år å fylle magasinet med eget tilsig hvis det er tomt. Vannet fra Blåsjø utnyttes gjennom Saurdal og Kvilldal kraftverk før det når Suldalsvatn. Blåsjø-vannet rant ikke naturlig til Suldalsvassdraget.

På 600 meters nivå er det bygd flere mindre magasiner med samlet volum på 298 mill m³. Det største av disse er Sandsavatn (228 mill m³). Lauvastølsvatn (8 mill m³) tjener som korttidsmagasin for å utjevne lastvariasjoner. Vannet fra 600 meters nivå kan enten utnyttes i Kvilldal kraftverk eller pumpes til Blåsjø ved hjelp av Saurdal pumpe. Også store deler av vannet på 600 meters nivå er overført fra andre vassdrag. Ulla-Førre-utbyggingen har dermed medført at tilsiget til Suldalsvatn har økt med 64 %.

Hylen kraftverk utnytter fallet fra Suldalsvatn til Hylsfjorden. I tillegg til en driftsvannføring på 273 m³/s, kan det tappes ca. 330 m³/s til Hylsfjorden ved hjelp av en omløpstunnel.

Suldalsvatn

Suldalsvatn er nesten 3 mil lang. Innsjøarealet er 28,7 km². Midlere dyp er drøyt 150 meter, og totalt volum er 4486 mill m³. Suldalsvatn har en reguleringshøyde på 1,5 m (HRV = kote 68,5 og LRV = kote 67). Reguleringsvolumet utgjør 44 mill m³ eller ca 1 % av innsjøens volum. Naturlig var teoretisk oppholdstid i Suldalsvatn 1,6 år (innsjøvolum dividert med årstilsig i mill m³). Etter Ulla-Førre-utbyggingen er dette redusert til snaut 1 år.

Nå får Suldalsvatn uregulert tilsig fra et restfelt på 358 km². Dette utgjør snaut 30 % av det naturlige nedbørfeltet (1307 km²). Nær halvparten av restfeltet ligger lavere enn 600 m.o.h. og over 20 % lavere enn 300 m.o.h. Restfeltet til Suldalsvatn er bratt. Her er flere bekker som tørker inn i perioder uten nedbør, men vannføringen øker raskt etter nedbør. Avrennings-mønsteret er mer lavlandspreget enn i de regulerte områdene. Regnflommer vinterstid er ikke uvanlig.

I forbindelse med undersøkelsene av vannkvalitet i Suldalsvatn, har det vært fokusert en god del på forholdene i Suldalsvatn vest for Suldalsporten. Området er ofte omtalt som "Tarmen" og er ca. 5 km langt og 200 meter bredt. Arealet av "Tarmen" er 1,2 km², midlere dyp drøyt 20 meter og vannvolumet ca. 27 millioner m³. Omkring 10 % eller 35,9 km² av Suldalsvatns uregulerte felt drenerer til "Tarmen".

Tabell 7.
Nedbørfeltene som drenerer til "Tarmen".

Område	Areal (km²)
Vekaåna	6,7
Bekk ved Kolbeinstveit	4,3
Helganesåna	14,9
Diverse småbekker	10,0
Sum "Tarmen"	**35,9**

I "Tarmen" skiftes vannet ut i et helt annet tempo enn i hovedbassenget, selv om det også her finnes bakevjer hvor vannet kan bli stående. Naturlig var vannets teoretiske oppholdstid her kun 3 - 4 dager. Etter Ulla-Førre er oppholdstiden økt til 5 - 6 dager på grunn av redusert vannføring i Suldalslågen.

Suldalslågen

Suldalslågens naturlige nedbørfelt er 1466 km². Etter Ulla-Førre-utbyggingen får Suldalslågen tilsig fra et 135 km² stort restfelt i tillegg til den minstevannføring som slippes fra Suldalsvatn. Mosvatnet og to småbekker (24 km²), som naturlig drenerte til Suldalslågen, er overført til Sandsavatn. Av restfeltet ligger over 70 % lavere enn 600 m.o.h. og drøyt 30 % lavere enn 300 m.o.h. Som for restfeltet til Suldalsvatn, er også restfeltet til Suldalslågen bratt og responsen på nedbør er rask. Også her er regnflommer vinterstid vanlig.

Ved kronprinsregentens resolusjon av 22 juni 1990 ble det fastsatt et prøvereglement som skulle gjelde i 5 år, men som nå er forlenget til ut 1997. Følgende bestemmelser er gitt om vannslipp i Suldalslågen:

1 mai - 31 juli skal det slippes 9 m³/s til Suldalslågen som kompensasjon for Ulla-Førre-reguleringen, sammen med tilløpet fra det lokale uregulerte restfeltet til Suldalsvatn midlet over de 5 foregående døgn. I tillegg slippes tilløpet til Suldalsvatn fra de nedbørfelt som er regulert for Røldal-Suldal Kraft A/S begrenset til 42 m³/s, men minst 42 m³/s når fyllingstidspunktet for RSK's kraftverk er inntrådt.

1 august	*- 30 september*	*62 m³/s*
1 Oktober	*- 14 oktober*	*50 m³/s*
15 oktober	*-14 november*	*35 m³/s*
15 november	*-14 desember*	*19 m³/s*
15 desember	*- 30 april*	*12 m³/s*

Alle reduksjoner i vannføring ved slippstedet skal foregå med gradvise overganger, helst over en 3 døgns periode og ikke raskere enn gjennomsnittlig 3 % pr. time.

Videre står det i reglementet at det i perioden 1 juni - 31 juli normalt ikke skal overføres vann til Hylsfjorden, dvs. at Hylen kraftstasjon skal stå. Et unntak er ved flom, hvor kraftverket kan benyttes for å holde vannføringen nederst i lågen under 350 m³/s.

Denne begrensningen på driften av Hylen kraftstasjon medfører at vannføringen i lågen sommerstid ofte har vært langt større enn kravet til minstevannføring. Det skyldes at Suldalsvatn ofte tilføres mer enn 42 m³/s fra RSK-området og 9 m³/s fra Ulla-Førre-reguleringen.

Alle disse bestemmelsene kan fravikes etter råd fra driftsutvalget for Suldalslågen, med den begrensing at vannføringen ved Stråpa aldri skal underskride 12 m³/s.

De viktigste endringene i forhold til tidligere prøvereglement var at målepunktet for minstevannføring ble flyttet fra Larvika til Suldalsosen (Stråpa) og at det ble opprettet et driftsutvalg på 4 medlemmer som skal kunne gi Statkraft råd om å fravike de ordinære bestemmelsene i reglementet. Da målepunktet for minstevannføring var nederst i lågen, var det enkelte brå vannføringsendringer ved Suldalsosen. Dette skyldtes raske variasjoner i tilsiget fra Suldalslågens restfelt som ble "kompensert" med redusert/ økt slipp fra dammen. Dette problemet er nå borte.

ENDRINGER I VANNFØRINGSREGIMET I SULDALSVASSDRAGET

For å illustrere de viktigste endringene i vannføringsregimet i Suldalslågen som følge av reguleringsinngrepene er data for årene 1940,1977 og 1996 presentert (fig. 3). Det er benyttet data fra en referansestasjon, Stordalsvatn, for å vise at endringene først og fremst skyldes inngrep i vassdraget og ikke tilfeldige klimatiske svingninger.

I tillegg er det utført statistiske analyser av flom og lavvannføringer for de ulike tidsepokene i vassdraget. I disse analysene er også Reinsnosvatn benyttet som referansestasjon. I tabell 8 er det gitt noen sentrale data for referansestasjonene og for Suldalsvatn. Begge referansestasjonene er uregulerte. Det er benyttet data og analyseprogrammer fra NVE's hydrologiske databaser.

Tabell 8
Feltparametere for Suldalsvatn, Reinsnosvatn og Stordalsvatn.

	Observasjonsperiode	Areal km²	Middelhøyde moh	Breareal %	Normalavløp l/s km²
Suldalsvatn	1904-dd (reg. fra 1964)	1307	1065	0	68,1
Reinsnosvatn	1917-dd (ureg.)	119	1222	1,4	64,6
Stordalsvatn	1912-dd (ureg.)	129	685	0	95,0

Stordalsvatn ligger i Etneelva vest for Suldalsvassdraget. For Stordalsvatn varierer middelvannføringen lite gjennom året, flomvannføringer kan forekomme til alle tider på året. Den dominerende lavvannsperioden er likevel i februar - mars. Forholdene er typiske for et kystnært og relativt lavtliggende område. Samme avrenningsregime har en i restfeltene til Suldalsvatn og Suldalslågen. Stordalsvatn er og benyttet som referansestasjon i forbindelse med temperaturmålinger i Suldalsvassdraget (Tvede, 1996).

Reinsnosvatn ligger i Opovassdraget nord for Suldalsvassdraget. For Reinsnosvatn er middelvannføringen om vinteren lav. Hovedtyngden i avrenningen kommer i forbindelse med snøsmelting om våren og sommeren, men også høstflommer forekommer. Dominerende lavvannsperiode er også her i februar og mars. Forholdene er typiske for et høyfjellsfelt. Samme avrenningsregime har en i øvre del av Suldalsvassdraget og i områdene omkring Blåsjø.

Vannføringen ut av Suldalsvatn var naturlig dominert av avrenning fra høyfjellet. Men innslag av både kraftige høstflommer og vinterflommer viser at vassdraget hadde et avrenningsregime som lå mellom det en finner i Stordalsvatn og Reinsnosvatn.

Vannføringen i Suldalslågen 1940, 1977 og 1996.

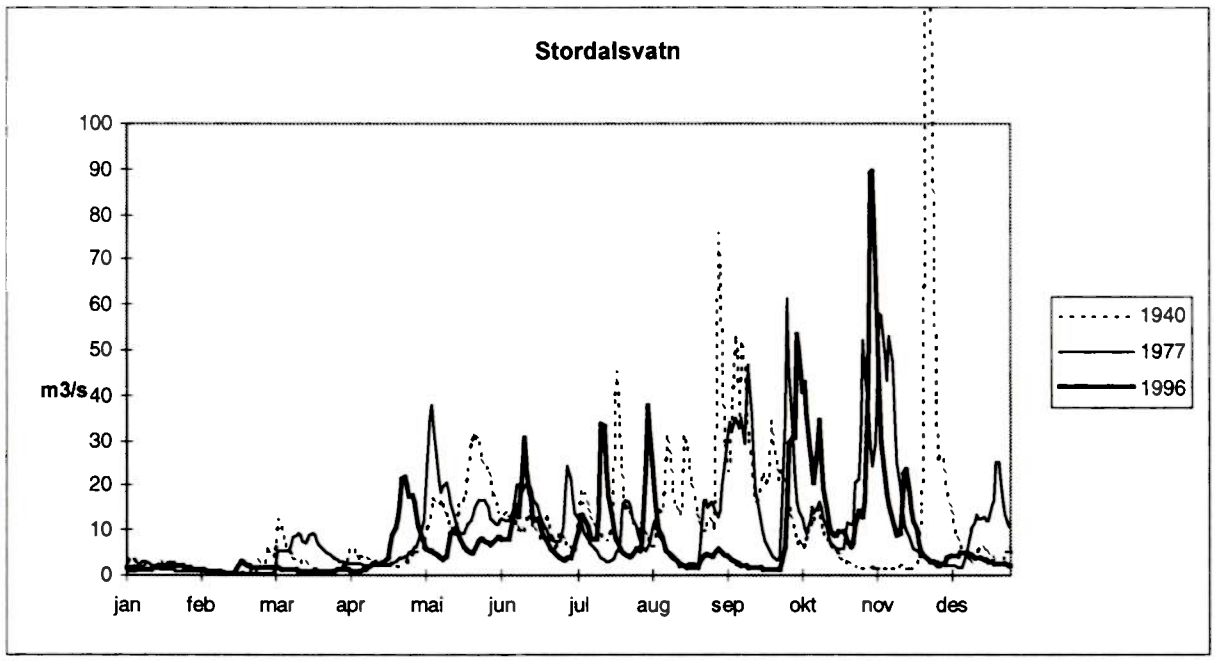
Data fra Stordalsvatn viser at årene 1940, 1977 og 1996 var klimatisk relativt like (fig. 2). I alle disse årene var det kalde vintre med lite nedbør (Bjørbæk, 1994). Det ga lav vinteravrenning og beskjedne vårflommer. Men i løpet av høstperiodene var det flere kraftige flommer. Flommen i november 1940 var spesielt kraftig, lenger nord på Vestlandet i Indre Matre ble det da målt en døgnnedbør på 230 mm som er "Norgesrekord". Disse årene er således spesielle, men godt egnet til å få frem endringene som reguleringene i Suldalsvassdraget har medført.

I 1940 var vannføringen i Suldalslågen svært lav i store deler av vinterperioden med verdier helt ned i 5 m^3/s. Vårflommen var markert , men likevel mindre enn en middels vårflom (400 m^3/s). Utover sommeren og høsten varierte vannføringen stort sett mellom 50 og 200 m^3/s. I november sank vannføringen til 9 m^3/s før det kom en kraftig høstflom hvor vannføringen økte til 628 m^3/s ved utløp av Suldalsvatn. I Suldal var imidlertid høstflommen større i 1943 enn i 1940 (jfr. tabell 9).

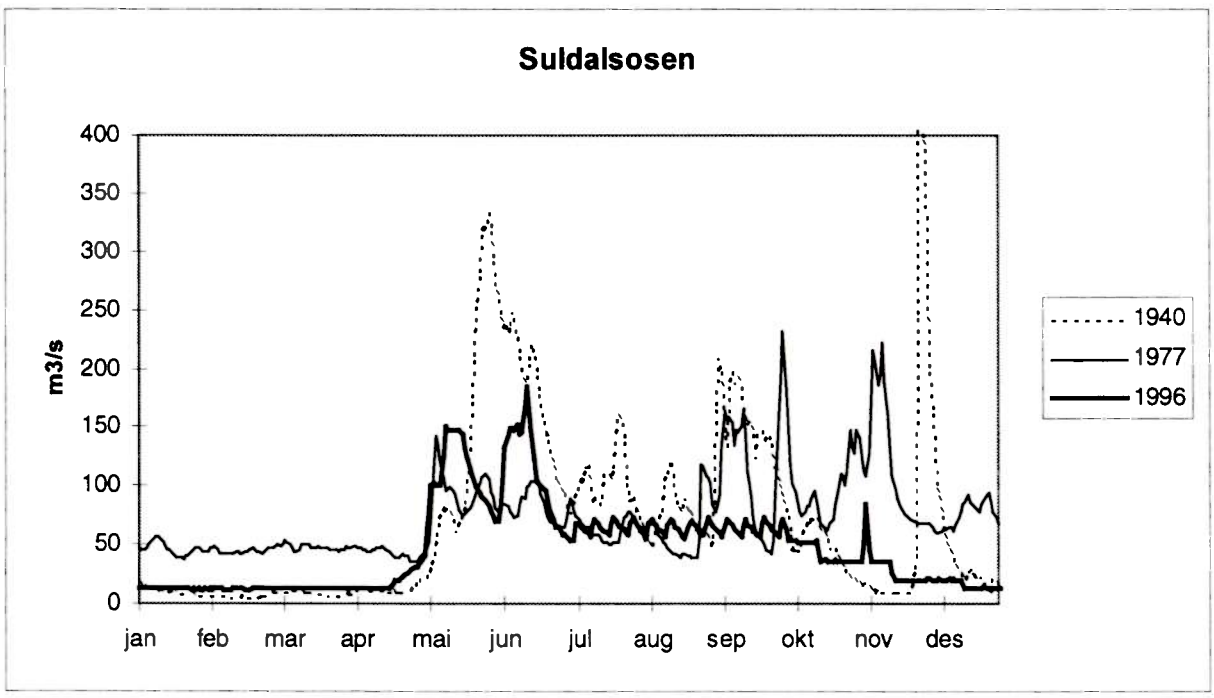
Den viktigste endringen i vannføringsregimet fra naturlig (1940) til etter RSK (1977) var en betydelig økning av vintervannføringen i vassdraget samtidig som vårflommen ble kraftig redusert. I forhold til naturlig er vårflommen i middel redusert til omtrent det halve etter RSK Men innslaget av høstflommer er fremdeles betydelig. Forholdene er illustrert i figur 3.

Ulla-Førre-utbyggingen (1996-kurven) førte til nye store endringer i vannføringsregimet i Suldalslågen. Vintervannføringen er redusert i forhold til etter RSK og holdes nå på 12 m^3/s. Men naturlig kunne vannføringen om vinteren bli betydelig lavere. Også periodevis sommer og høst kunne vannføringen i Suldalslågen bli lavere enn den som nå er gitt i manøvrerings-reglementet for Suldalslågen. Et eksempel på dette ser en i oktober/ november 1940. Forholdene i 1996 er nærmere omtalt i kapitlet "Hydrologiske forhold 1989-96".

Byggingen av Hylen kraftverk muliggjorde og en sterk reduksjon av høstflommene i vassdraget.



Figur 2
Vannføring Stordalsvatn i årene 1940, 1977 og 1996. I november 1940 var det en flom på 238 m³/s.



Figur 3
Vannføring ved Suldalsosen, utløp av Suldalsvatn i årene 1940, 1977 og 1996. I 1940 var vassdraget uregulert, i 1977 var vassdraget påvirket av RSK-utbyggingen og i 1996 av Ulla-Førre-utbyggingen.

Endring av flomforhold

Begge reguleringsinngrepene i vassdraget har bidratt til å redusere flomvannføringen ut av Suldalsvatn i forhold til naturlig. I tabell 9 er det gitt en oversikt over midlere og høyeste observerte vår-, høst- og vinterflom i det uregulerte vassdraget, etter RSK-reguleringen og etter Ulla-Førre-reguleringen. I tillegg er det gitt data for referansevassdragene Stordalsvatn og Reinsnosvatn.

Midlere vårflom er redusert fra naturlig 400 m^3/s til drøyt 200 m^3/s etter regulering. Reduksjonen skyldes først og fremst magasinering av smeltevann i RSK-området. Hvis det åpnes for drift av Hylen kraftverk i juni og juli, vil midlere vårflom reduseres til 150 - 180 m^3/s. Høyeste registrerte vårflom før regulering var 7 juli 1914 med 661 m^3/s. Mens høyeste registrerte vårflom etter reguleringene er omkring 300 m^3/s.

Høst og vinterflommer i Suldalslågen er kraftig redusert på grunn av driften av Hylen kraftverk. Flommer i disse periodene er i middel redusert til 30-40 % av hva de var naturlig. Den største registrerte flommen i vassdraget er en høstflom. 7 oktober 1943 var vannføringen nesten 700 m^3/s ut av Suldalsvatn. Også etter RSK-utbyggingen var det høstflommer opp mot 500 m^3/s. Etter Ulla-Førre-utbyggingen er den største registrerte høstflommen drøyt 200 m^3/s.

Den største vinterflommen før regulering var nær 400 m^3/s (19 desember 1932). Etter RSK-utbyggingen var det vinterflommer opp mot 250 m^3/s. Nå vil som regel vannføringen være nær 12 m^3/s også under flom vinterstid. Etter at første aggregat ble installert i Hylen er det ikke registrert vannføringer større enn ca. 90 m^3/s ut av Suldalsvatn om vinteren. Men vannføringen i lågen kan bli betydelig større enn 12 m^3/s om vinteren på grunn av store tilsig fra restfeltet. Nederst i lågen har en de siste vintrene hatt episoder med vannføringer på over 100 m^3/s.

Det er gjort en sammenligning med flommer som er registrert i Stordalsvatn i Etneelva og Reinsnosvatn i Opa. Ved flomanalyser er det ønskelig å benytte så lange serier som mulig. For Suldalsvatn er derfor data benyttet fra 1904, mens i Stordalsvatn startet registreringene i 1913 og i Reinsnosvatn i 1918. Da disse analysene ble utført var imidlertid data for disse to stasjonene ikke bearbeidet på NVE's database lenger enn til 1993.

Referansestasjonene viser at det ikke er vesentlige endringer i vår og høstflommer for perioden etter 1980 (etter Ulla-Førre) i forhold til et langtidsmiddel. Men vinterflommene har i middel blitt 30-40% større etter 1980. Det er spesielt perioden 1989-93 som skiller seg ut. I denne perioden er midlere vinterflom for Stordalsvatn ca. 95 % høyere enn langtidsmiddelet, og for Reinsnosvatn nesten 170 % (!) høyere. 4 av 5 vintre i perioden 1989-93 hadde vinterflommer med gjentaksintervall på 10- 20 år. Dette er klimatisk betinget.

Det er likevel verdt å merke seg at de største registrerte vinterflommene både i Suldalsvatn, Stordalsvatn og Reinsnosvatn er på 1930-tallet.

Tabell 9
Flomforhold Suldalsvatn, Stordalsvatn og Reinsnosvatn.

	Vårflom 1/5-31/7 (m^3/s)	**Høstflom 1/8-14/12 (m^3/s)**	**Vinterflom 15/12-30/4 (m^3/s)**
Suldalsvatn middel 1904-64	**400**	**348**	**100**
høyeste obs.	661	684	392
dato for høyeste	7/7-14	7/10-43	19/12-32
middel 1968-78	**218**	**278**	**125**
høyeste obs..	330	483	244
dato for høyeste	14/6-73	26/9-75	23/12-74
middel 1980-93	**214**	**135**	**32**
høyeste obs.	272	230	88
dato for høyeste	2/7-90	13/10-87	29/4-80
Stordalsvatn middel 1913-93	**44**	**72**	**39**
høyeste obs.	71	238	113
dato for høyeste	25/6-61 og 30/5-67	27/11-40	24/2-34
middel 1968-78	**47**	**62**	**37**
høyeste obs.	67	83	94
dato for høyeste	14/6-73	29/9-69	28/12-75
middel 1980-93	**41**	**72**	**50**
høyeste obs.	58	143	101
dato for høyeste	8/5-92	27/10-83	3/1-92
Reinsnosvatn middel 1918-93	**49**	**41**	**7**
høyeste obs.	78	71	34
dato for høyeste	2/7-58	14/11-38 og 20/8-44	19/12-32
middel 1968-78	**55**	**40**	**8**
høyeste obs.	77	66	30
dato for høyeste	8/7-73	7/8-73	17/1-75
middel 1980-93	**52**	**42**	**10**
høyeste obs.	67	59	27
dato for høyeste	5/6-92	21/8-89	16/4-89

Endring av lavvannføring

Lavvannføringen i Suldalslågen er analysert for 5 ulike sesonger i overensstemmelse med inndelingen i manøvreringsreglementet (tabell 10). Her er midlere og minste årlig D-døgns minimum for den aktuelle sesong benyttet som statistiske lavvansmål. Disse fremkommer ved at det for en vannføringsserie på mange år plukkes ut de minste årlige D-døgns lavvann-føringer for sesongen. Deretter beregnes middel og minimum for hele årrekken. D-døgns lavvannføring vil si at det er brukt glidende middel over D døgn til å finne den minste vannføringen (Krokli, 1988). Det er i denne analysen benyttet 1, 10 og 30 døgn.

Tabell 10
Lavvannføring i Suldalslågen ved utløp av Suldalsvatn før regulering. Det er midlere årlig og minste D-døgns minimum for 1, 10 og 30 døgn (data fra 1904-1964) som er gitt. I tillegg er manøvreringsreglementets krav til vannføring oppgitt. Alle verdier er gitt i «m³/s».

Periode	Midlere 1 døgn	Midlere 10 døgn	Midlere 30 døgn	Minimum 1 døgn	Minimum 10 døgn	Minimum 30 døgn	Manøvr. reglement
01.05-30.07	46	66	123	11	16	40	51 + uregulert tilsig Suldalsvatn
01.8-30.9 1-14.10	36	45	73	10	12	16	62 50
15.10-14.11	27	40	-	7	8	-	35
15.11-14.12	18	25	-	6	6	-	19
15.12-30.04	7	8	10	3	4	4	12

Om vinteren var naturlig lavvannføring ut av Suldalsvatn 7-8 m³/s. Omkring hvert tredje år var vannføringen vinterstid mindre eller lik 6 m³/s. Vannføringer helt ned mot 3 m³/s er registrert. Det er registrert vannføringer mindre enn 12 m³/s til alle tider på året. Og i hele 58 av 60 år har vannføringen vært mindre enn 12 m³/s.

I perioden etter RSK var vintervannføringen ved utløp av Suldalsvatn aldri lavere enn 25 m³/s. Men etter 1. august/ eventuelt etter at fyllingstiden er over (se foran) er ikke RSK forpliktet til å avgi vann til Suldalsvatn. Normalt vil imidlertid RSK tilstrebe å holde en relativt stabil driftsvannføring gjennom sine kraftverk, men det kan forekomme perioder høst/ vinter og vår hvor RSK magasinerer vann og dermed reduserer tilsiget til Suldalsvatn i forhold til det naturlige. RSK regulerer drøyt 60 % av Suldalsvatns nedbørfelt.

Etter utbyggingen av Ulla-Førre og fram til 1989 var vannføringen ut av Suldalsvatn aldri lavere enn 10 m³/s. Fra 1990 har kravet til minstevannføring om vinteren vært 12 m³/s. Heller ikke til andre tider av året risikerer en nå så lave vannføringer som en kunne oppleve naturlig. Manøvreringsreglementet foreskriver vannføringer som grovt sett er 3-5 ganger større enn de minste observerte i vassdraget.

HYDROLOGISKE FORHOLD 1989-96

Nedenfor er hydrologiske data for Suldalsvassdraget fra 1989 til 1996 gjennomgått. Denne perioden er valgt fordi 1989 er første år hvor en har digitale data for alle kraftstasjonene i vassdraget. Dessuten var dette første året hvor hele Ulla-Førre-utbyggingen stod ferdig.

For å lette oversikten er det i hovedsak presentert figurer som viser månedsmidler. Men for Suldalslågen er døgnverdier benyttet.

Usikkerhet i datagrunnlag

Det hefter en del usikkerhet ved de hydrologiske dataene. For det første registreres ikke direkte hvor mye vann som renner gjennom kraftverkene, men produsert energi. Dette må så regnes om til vannmengder. Denne omregningen er basert på at en gitt vannmengde gir en gitt mengde energi. For eksempel antas at 1 m^3 vann gjennom Hylen kraftverk gir 0,165 kWh. Dette er imidlertid kun tilnærmet riktig. Forholdet mellom vannmengde og produsert energi vil variere i forhold til endringer i trykkhøyde (ligger inntaksmagasinet på HRV eller LRV) og om turbinen kjøres på full eller redusert kapasitet. I tillegg vil turbinslitasje føre til redusert effektivitet over tid. For eksempel har Saurdal kraftverk et inntaksmagasin (Blåsjø) med en reguleringshøyde på 125 meter, en omregning basert på et fast forholdstall mellom vannmengde og energi vil ikke gi en presis driftsvannføring. Statkraft har planer om i den nærmeste fremtid å endre sine beregninger slik at usikkerheten knyttet til driftsvannføringer blir vesentlig redusert.

Videre er det usikkerhet knyttet til beregnede flomtap fra magasiner og bekkeinntak. I magasiner med vannstandsregistreringer har en relativt god oversikt, men for de fleste bekkeinntak er det ingen registreringer. Anslagene blir dermed ekstra usikre.

Heller ikke der en har måleutstyr spesielt beregnet for å registrere vannføring har en eksakte verdier. Forholdene kan illustreres med observasjonene i Suldalslågen. Ifølge NVE's offisielle tall for Stråpa og Larvika renner det noen ganger mer vann øverst i lågen enn nederst, selv om det samtidig er tilsig fra Suldalslågens restfelt. Det skyldes først og fremst usikkerhet i vannføringskurvene (forholdet mellom vannstand og vannføring) ved stasjonene. Generelt må en regne med en usikkerhet på ca. 5 % der en har vannføringsregistreringer. Det betyr at vannføringen ved Stråpa enkelte dager kan være 100 m^3/s og ved Larvika ned mot 90 m^3/s uten at dataene er "feil". For likevel å få rimelige data for Suldalslågens restfelt er slike ulogiske hendelser korrigert. I tillegg hender det at målesystemene settes ut av drift for eksempel på grunn av mye is - dette skjedde ved Larvika vinteren 1996. Observasjonene må da kompletteres ved hjelp av data fra andre vassdrag.

Referansestasjonen Stordalsvatn

Ved å benytte referansestasjonen Stordalsvatn ser en at perioden 1989-96 inneholder flere spesielle år. 1989, 1990 og 1992 skiller seg ut som vannrike, med drøyt 140 % av midlere årsavløp for perioden 1912-96. Vintrene disse årene var spesielt fuktige, med avrenning enkelte måneder på over 400 % av langtidsmiddelet (tabell 11).

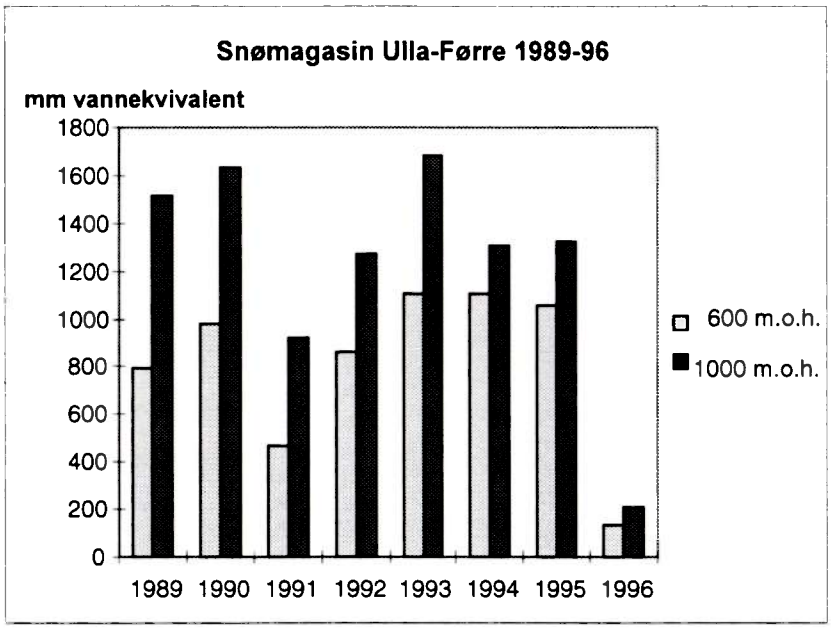
Likeledes ser en at 1996 var et tørrår, med en avrenning på kun 64 % av langtidsmiddelet. Igjen skiller vinterperioden seg ut , men nå med svært lav avrenning. Men også oktober 1993, og september 1996 er måneder med svært lav avrenning (< 20 % av månedsmiddelet).

Tabell 11
Vannføring Stordalsvatn for perioden 1989-96 er gitt i % av middelvannføringen. Månedsmidler og årsmiddel for perioden 1912-96 er gitt i m^3/s.

% av middel	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	År
1989	442	373	168	157	95	102	113	195	93	92	83	80	141
1990	178	354	452	156	111	123	147	106	111	121	41	143	145
1991	120	46	166	131	61	78	106	102	140	79	124	196	108
1992	363	210	190	76	162	94	94	163	120	32	133	241	141
1993	137	235	151	130	142	53	121	127	31	18	45	84	92
1994	99	51	147	221	139	152	127	70	46	82	106	155	115
1995	131	181	106	145	112	143	176	59	53	215	114	46	124
1996	21	19	16	84	38	57	75	64	19	121	164	30	64
Middel m3/s	**8.4**	**7.1**	**6.7**	**8.6**	**17.6**	**19.0**	**13.6**	**12.5**	**15.9**	**17.6**	**13.8**	**11.8**	**12.8**

Snøforhold

Også snødata for Ulla-Førre viser at det har vært store variasjoner fra år til år (figur 4). Største snømagasin hadde en i 1993 med nær 1700 mm i 1000 meters høyde og 1100 mm på 600 meters nivå. Snømagasinet i 1996 skiller seg ut som det klart laveste med henholdsvis 135 og drøyt 200 mm i 600 og 1000 meters nivå.



Figur 4.
Snømagasin Ulla-Førre i 600 og 1000 meters nivå. Det er aprilverdier for årene 1989 - 1996 som er vist (data fra Statkraft Region Sør).

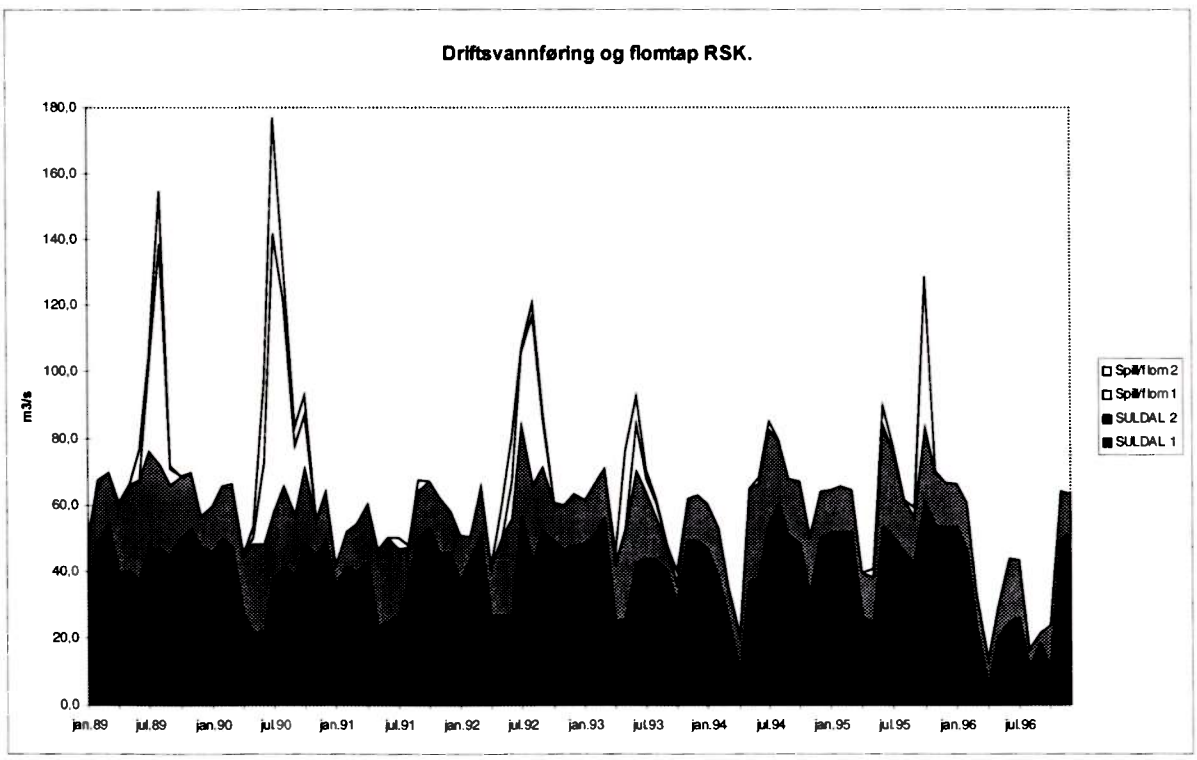
Driftsvannføringer/ flomtap Røldal-Suldal

Driftsvannføringene fra kraftverkene Suldal I og II er nokså stabile gjennom året. I sum har vannføringen fra disse kraftverkene stort sett variert mellom 50 og 70 m³/s. I enkelte måneder med store tilsig er imidlertid driftsvannføringen økt til drøyt 80 m³/s (juli-92, juli-94, juni og oktober -95).

Perioden fra mars til oktober 1996 skiller seg imidlertid ut med svært lav driftsvannføring. Månedsmiddelet for april 1996 var helt nede i 14 m³/s. Dette skyldes det svært lave snømagasinet en hadde vinteren 1995/96 som medførte at vårflommen nærmest uteble.

Det er flomtap/ spill som skaper den største variasjonen i avrenning fra RSK-feltene. Både i juli og august har det vært et gjennomsnittlig vanntap på mellom 20 og 30 m³/s. Størst flomtap var det i juli 1990, med et månedsmiddel på nær 120 m³/s. Enkelte dager var flomtapet i overkant av 200 m³/s denne måneden.

I sum tilsvarer avrenningen fra RSK-området 65 m³/s i perioden 1989-96 eller 16 % mer enn midlere avløp (56 m³/s) for normalperioden 1931-60. Av den totale avrenningen utgjør flomtapet drøyt 10 %.



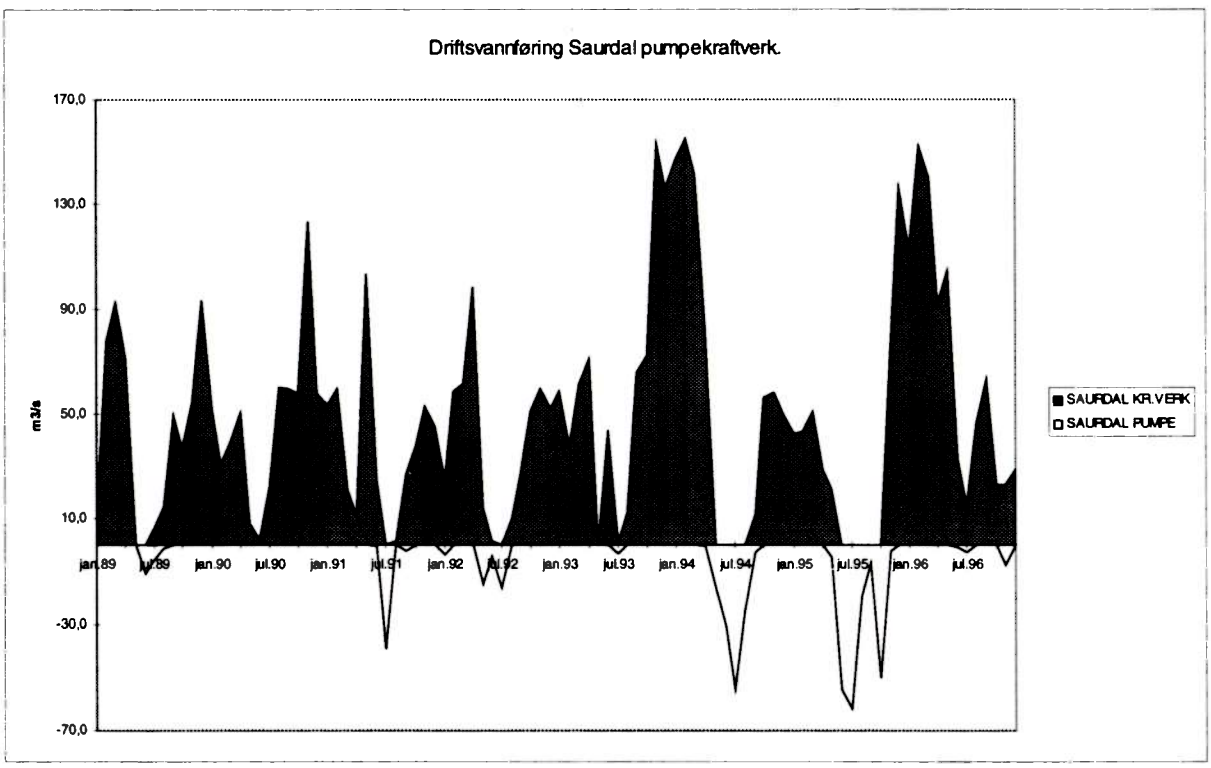
Figur 5
Driftsvannføringer Suldal I (svart) og II (grå) og flomtap (hvit) for perioden 1989-96. Det er månedsmidler som er gitt. Kurvene er summert. Det betyr for eksempel at i juli 1990 tilførte kraftverkene ca. 60 m³/s til Suldalsvatn, mens flomtapet utgjorde ca. 120 m³/s.

Driftsvannføringer/ flomtap Ulla-Førre

Saurdal pumpekraftverk

Vannføringen gjennom Saurdal pumpekraftverk har en nokså klar sesongmessig variasjon. Produksjonsvannføringen er høyest i månedene november - april, med en midlere driftsvannføring som varierer mellom 60 og 80 m³/s. I overgangsperioden vår og høst (mai, august - oktober) er tilsvarende variasjon mellom 20 og 40 m³/s. I juni og juli er produksjonen normalt lavest (ca. 10 m³/s), dette skyldes blant annet at Hylen kraftverk skal stå i denne perioden.

Det er imidlertid store variasjoner fra måned til måned med over 150 m³/s (februar i 1994 og i 1996) og ned mot 10 m³/s (januar 1989 og april 1991). Midlere driftsvannføring gjennom Saurdal kraftverk i perioden 1989-96 er 48 m³/s.



Figur 6.
Driftsvannføring Saurdal pumpekraftverk 1989 - 96. Det er månedsmidler som er gitt. Negative verdier betyr at vann pumpes.

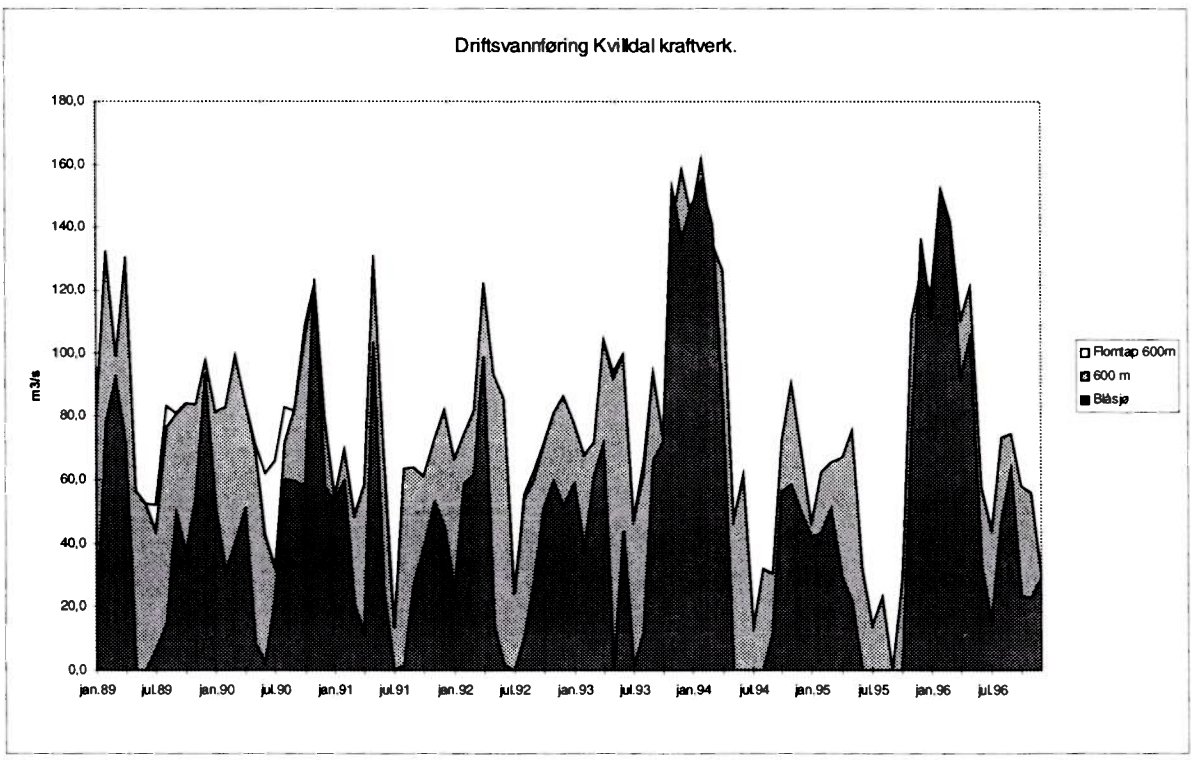
Ved bruk av Saurdal pumpe kan vann pumpes fra 600 meters nivå til 1000 meters nivå/ Blåsjø. Pumping forekommer hyppigst i juni/ juli. I gjennomsnitt er det disse månedene pumpet ca. 10 og 20 m³/s. Mest pumping var det sommer og høst 1994 og 1995 med et volum på henholdsvis 344 og 531 mill m³. Dette utgjør 11 og 17 % av det volum en har i Blåsjø når denne er fylt. Juli-95 er den enkelt måned med mest pumping (62 m³/s).

Det har og forekommet pumping i kortere perioder vinterstid i forbindelse med kraftig mildvær (for eksempel 2-5 januar 1992). I middel for hele perioden 1989-96 er det pumpet ca. 5 m³/s.

Kvilldal kraftverk

Driftsvannføringen gjennom Kvilldal kraftverk har naturlig nok noe av den samme sesongmessige variasjonen som Saurdal kraftverk. Kvilldal kraftverk får dels vann fra Saurdal/ Blåsjø og dels fra magasinene på 600 meters nivå. Fra figur 7 ser en at andelen vann fra Blåsjø naturlig nok er størst om vinteren, mens andelen fra 600 meters nivå vanligvis er størst om sommeren.

Fra november til mai varierer midlere driftsvannføring mellom 80 og 100 m³/s. Mens fra juni til oktober er variasjonen fra 30 til 70 m³/s. Variasjonen fra måned til måned er imidlertid stor også for Kvilldal kraftverk med over 150 m³/s (februar i 1994 og i 1996) og ned mot 30 m³/s (desember 1996). I en periode høsten 1995 (26 august til 8 oktober) stod Kvilldal kraftverk på grunn av revisjonsarbeider.



Figur 7

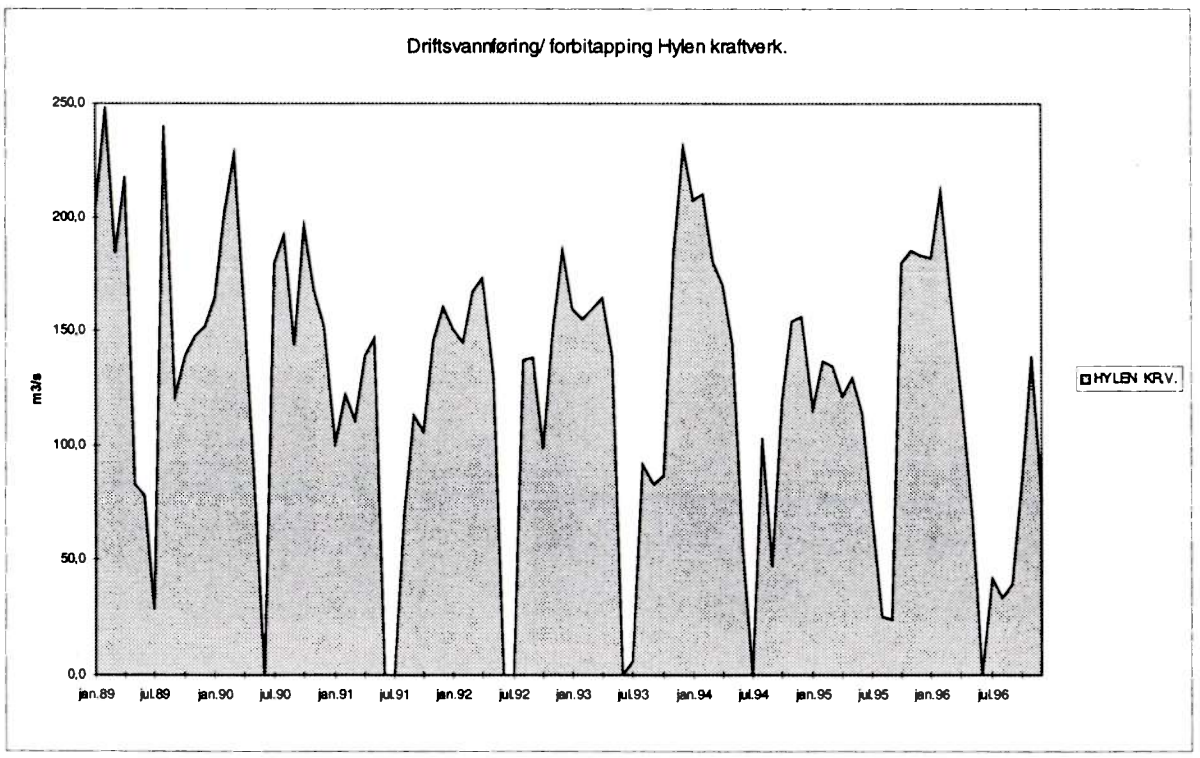
Driftsvannføring Kvilldal kraftverk 1989-96. Det er månedsmidler som er gitt. Det er skilt mellom vann fra Blåsjø (mørk grå) og vann fra 600 meters nivå (lys grå). I tillegg er flomtap på 600 meters nivå som renner til Suldalsvatn angitt (hvit).

Midlere driftsvannføring for Kvilldal kraftverk i perioden 1989-96 er 77 m³/s. Samtidig er Blåsjø tappet ned ca. 1600 mill m³, som tilsvarer ca. 6 m³/s i 8 år. Det medfører at tilsiget til Kvilldal kraftverk (ikke medregnet flomtap) i perioden 1989-96 har vært 71 m³/s eller tilsvarende midlere tilsig (71 m³/s) for normalperioden 1931-60.

Lauvastølsvatn er inntaksmagasin for Kvilldal kraftverk. Både overløp fra magasinet og vanntap fra tunnelen som overfører vann til Lauvastølsvatn fra nord renner videre til Suldalsvatn. I følge data fra Statkraft Ulla-Førre har det vært svært lite vanntap fra denne del av reguleringen. I perioden 1989-96 er det kun sommeren 1990 som ga vanntap av betydning (figur 7). I juli måned dette året rant det drøyt 30 m³/s videre til Suldalsvatn. Kvilldal kraftverk har og flomtap som ikke renner til Suldalsvassdraget. Disse er ikke behandlet her.

Hylen kraftverk

Hylen kraftverk skal etter gjeldende reglement normalt ikke kjøres i juni og juli bortsett fra under kraftig flom. Imidlertid er det de senere år åpnet for prøvedrift av Hylen i perioder også disse månedene. Under flom kan det tappes vann til Hylsfjorden via en omløpstunnel.



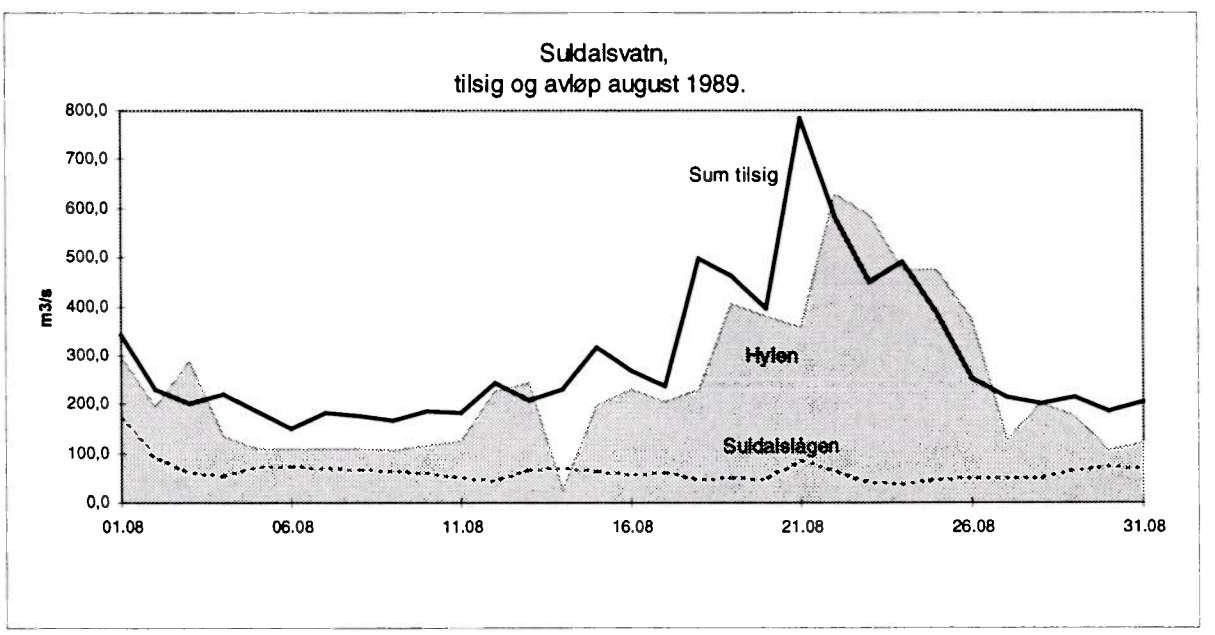
Figur 8
Driftsvannføring/ forbitapping Hylen kraftverk 1989-96. Det er månedsmidler som er gitt.

Vannføringen gjennom Hylen kraftverk følger også den sesongmessige variasjonen en finner i Kvilldal og Saurdal kraftverk. Midlere vannføring fra november til april varierer mellom 160 og 180 m³/s. I overgangsperioden vår og høst (mai, august - oktober) er tilsvarende variasjon mellom 90 og 130 m³/s. Naturlig nok er midlere vannføring gjennom Hylen kraftverk/ omløpstunnel lavest i juni, juli med 30 - 40 m³/s.

Variasjonen er imidlertid stor også for Hylen kraftverk med nesten 250 m³/s i februar 1989 som den høyeste registrerte. Midlere driftsvannføring i perioden 1989-96 er 125 m³/s.

Både sommeren 1989 og 1990 ble Hylen kraftverk og omløpstunnelen benyttet for å begrense flomvannføringen i Suldalslågen. For eksempel ble det flere dager i juli 1990 tappet fra 250 til over 400 m³/s til Hylsfjorden.

Største flomdemping hadde en imidlertid i august 1989. Forholdene er illustrert i figur 9. En ser at tilsiget til Suldalsvatn i løpet av et døgn var opp mot 800 m³/s, mens det ble tappet 400 - 600 m³/s til Hylsfjorden i flere dager. Vannføringen i lågen ved Stråpa var under 100 m³/s.



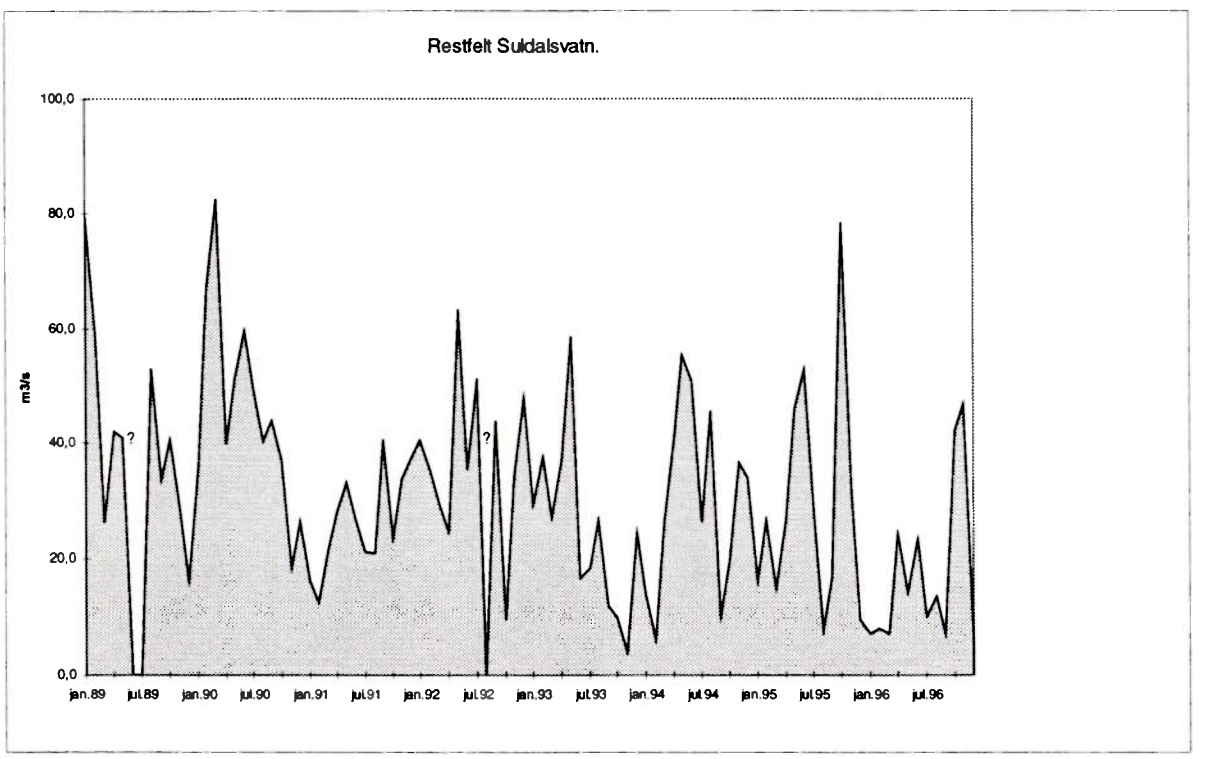
Figur 9
Øverste kurve viser sum tilsig til Suldalsvatn i august 1989, det skraverte området angir hvor mye vann som ble tappet til Hylsfjorden og den stiplede kurven viser vannføringen ut av Suldalsvatn ved Stråpa. Alle vannføringene er døgnmidler.

Sommeren 1995 og 1996 var det periodevis drift av Hylen kraftverk i juni og juli i forbindelse med en undersøkelse av laksens vandringsmønster i fjordsystemet.

Avrenning fra restfeltet til Suldalsvatn

Avrenningen fra restfeltet til Suldalsvatn er beregnet som differansen mellom sum vann ut og sum vann inn i Suldalsvatn. Det er tatt hensyn til driftsvannføringer, flomtap/ spill fra reguleringene, vannstandsendringer i Suldalsvatn og vannføring ut av Suldalsvatn ved målestasjonen Stråpa.

Slike differanser skaper en del "støy", med negativt tilsig som resultat enkelte dager. Dette skyldes at det er usikkerhet forbundet med alle ledd i regnestykket. Problemet er vesentlig mindre ved bruk av månedsmidler enn for eksempel døgndata, men 3 måneder i perioden 1989-96 (juni, juli 1989 og august 1992) gir ikke konsistente data for restfeltet. I alle disse månedene var det betydelige flomtap. Men også i tørre perioder vil usikkerheten i beregnet avrenning fra restfeltet bli betydelig, fordi "støyen" i beregningene da får relativt større innvirkning.



Figur 10
Avrenning fra Suldalsvatns restfelt 1989 - 96. Det er månedsmidler som er gitt.

For årene 1989 - 96 er det ingen klar sesongmessig variasjon i avrenningen fra Suldalsvatns restfelt. I middel er imidlertid avrenningen fra Suldalsvatns restfelt høyest i mai (45 m^3/s) og lavest i desember (25 m^3/s). Flere milde vintre har medført at innslaget av vårflom er mindre enn det en "normalt" ville forvente.

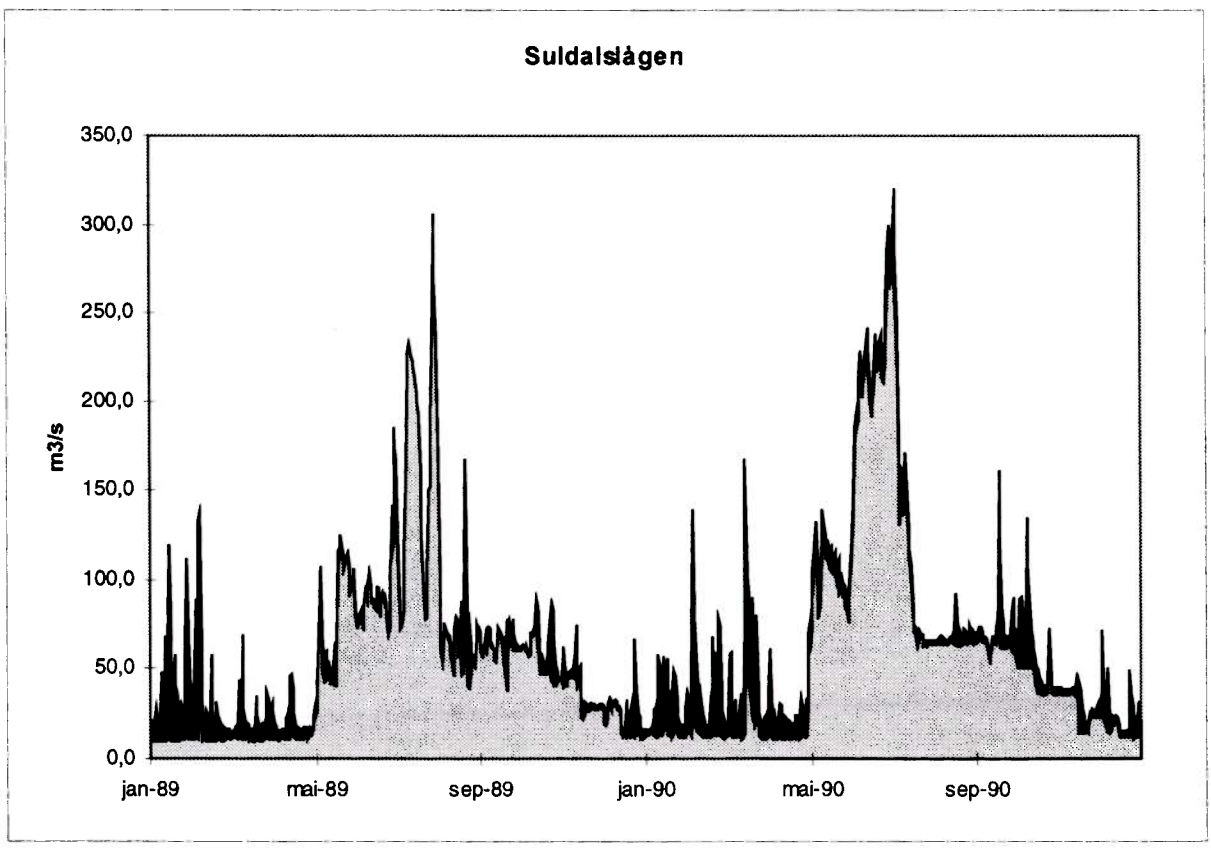
Januar 1989, februar - mars 1990 og oktober 1995 skiller seg ut som spesielt vannrike med månedsmidler på i størrelsesorden 70 - 80 m³/s. Mens november 1993 og en rekke måneder i 1996 (januar - mars, september og desember) skiller seg ut som vannfattige med månedsmidler fra 4 - 7 m³/s. Disse periodene faller godt sammen med tilsvarende variasjoner i referansefeltet Stordalsvatn.

Midlere avrenning fra Suldalsvatns restfelt i perioden 1989-96 er beregnet til 32 m³/s.

I løpet av perioden 1989-96 har det vært 14 episoder med avrenningen fra Suldalsvatns restfelt på 250 - 400 m³/s i løpet av et døgn. 8 episoder har vært om vinteren (desember - mars), mens 6 episoder har vært fra juli til oktober.

Vannføring i Suldalslågen

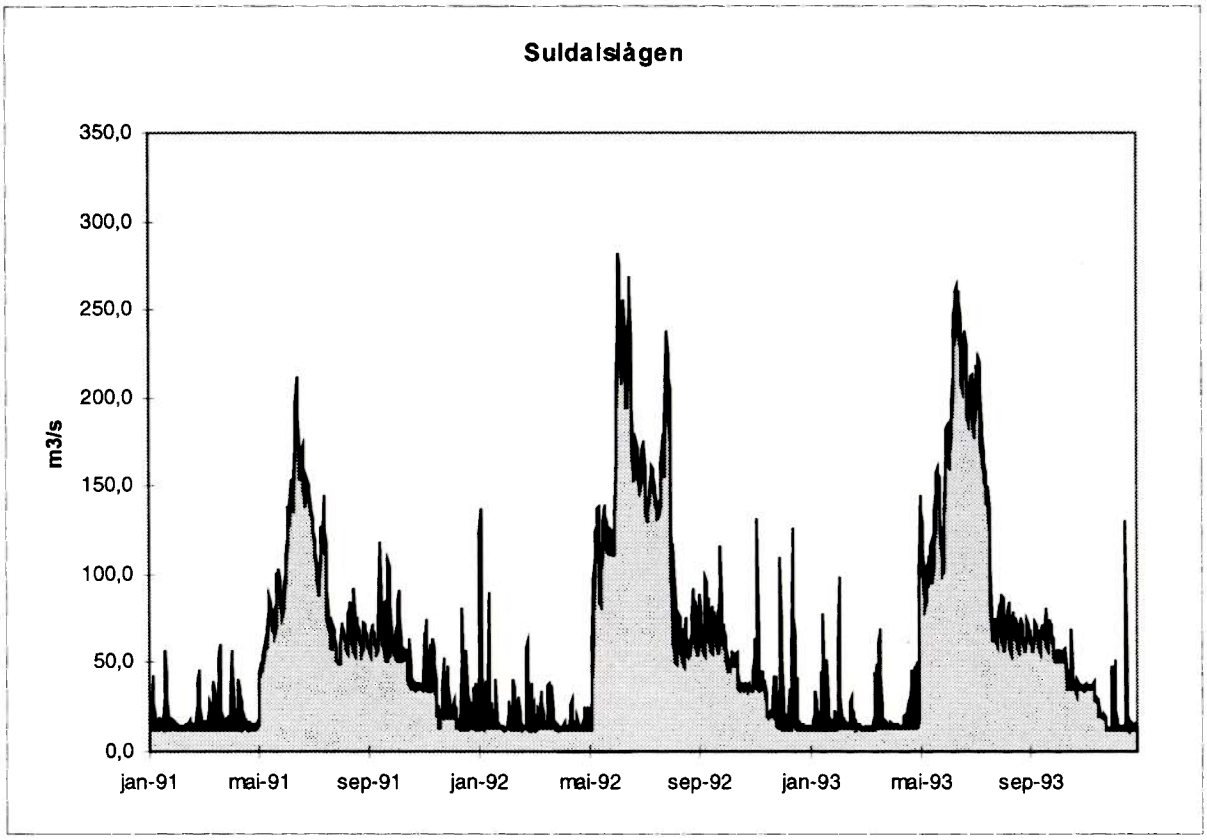
Vannføringen i Suldalslågen for årene 1989 - 96 er vist i figurene 11, 12 og 13. For lågen er døgnverdier benyttet for å illustrere forholdene.



Figur 11
Vannføring i Suldalslågen ved Larvika (øverste kurve) og Stråpa i 1989 og 1990. Det er døgnmidler som er vist.

Det var en rekke flomepisoder vinterstid i 1989 og 1990. Vannføringen ved Larvika var flere ganger over 100 m³/s i perioden med minstevannføring på 12 m³/s ut av Suldalsvatn. Men uten bruk av Hylen kraftverk ville en fått langt større vannføringer i lågen. For eksempel ville vannføringen ved Larvika i januar 1989 blitt over 300 m³/s.

Ellers ser en at det er betydelige vårflommer både i 1989 og 1990. Begge disse årene var det store snømagasin som medførte blant annet store flomtap fra RSK-området. Hylen kraftverk og omløpstunnelen ble benyttet aktivt begge disse somrene for å redusere flomvannføringen i lågen. Uten bruk av Hylen kraftverk i august 1989, er det sannsynlig at vannføringen i lågen ved Stråpa ville blitt opp mot 700 m³/s og over 800 m³/s ved Larvika (jfr. figur 9).



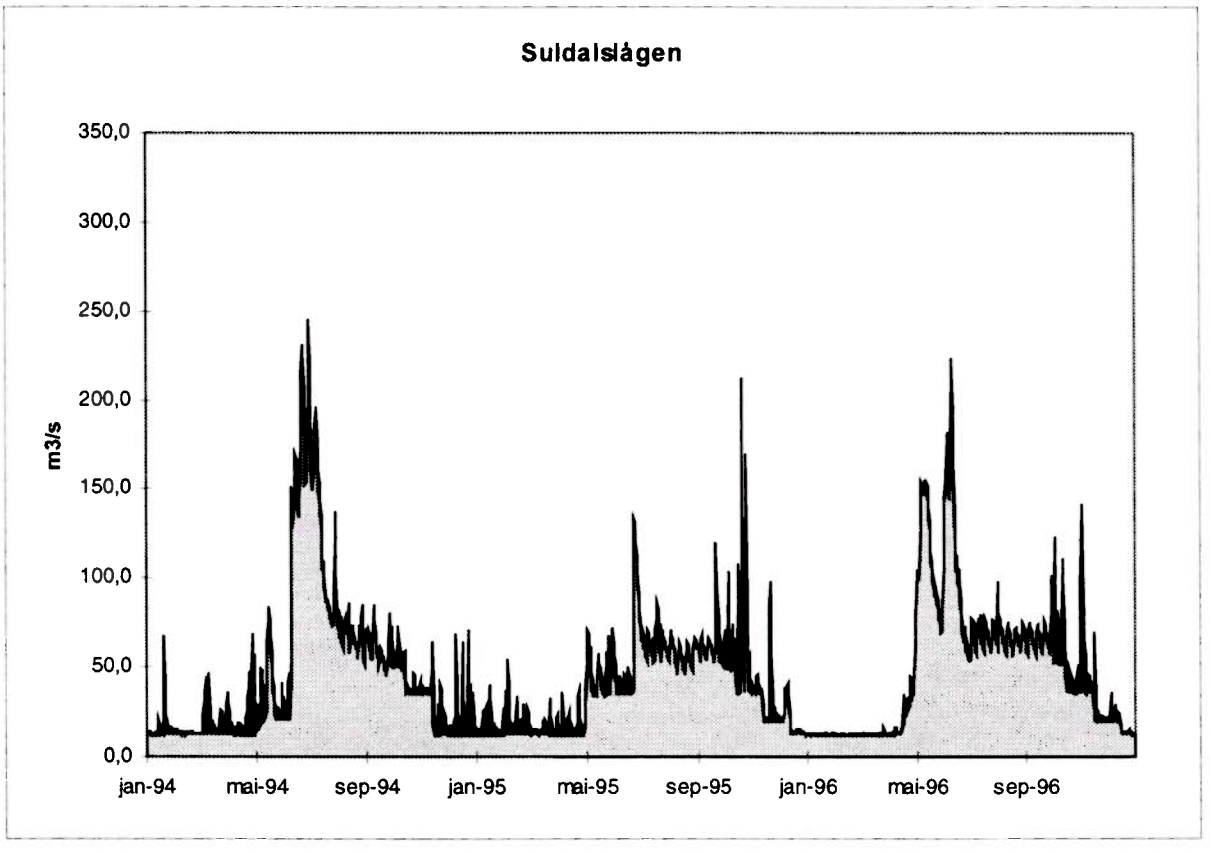
Figur 12
Vannføring i Suldalslågen ved Larvika (øverste kurve) og Stråpa i 1991, 1992 og 1993. Det er døgnmidler som er vist.

I 1991 var det "normale" snøforhold i Suldalsvassdraget. Det resulterte i lite flomtap fra reguleringsområdene. Med unntak av 1995, som var et spesielt år, var vårflommen i 1991 den laveste i perioden 1989-96. Men vannføringen i lågen var likevel langt større enn reglementets minstevannføringsbestemmelse. Dette har sin årsak i at Hylen kraftverk skal stå i juni og juli, og tilsiget til Suldalsvatn fra RSK og Kvilldal kraftverk var betydelig større enn de 51 m³/s som ifølge reglementet skal kompenseres fra disse reguleringene. Dette har og skjedd en rekke

andre somrer. Hvis minimumskravet hadde vært fulgt, ville vannføringen ved Stråpa variert mellom ca. 60 og 120 m³/s i juni/ juli 1991, den aktuelle vannføring var opp mot 200 m³/s.

Ellers ser en at vannføringen ved Stråpa på ettersommeren ikke er konstant, men pendler om 62 m³/s. Dette ble gjennomført for å gi fisk impulser til å gå opp elva og er også gjentatt årene etter.

I 1992 og 1993 var det igjen innslag av flere kraftige vinterflommer i vassdraget. Begge disse årene var det og betydelige snømengder i området. Men det var likevel relativt lite flomtap fra reguleringsområdene. Av samme grunn som i 1991, var vannslippet til lågen i juni - juli -92 og -93 inntil 160 m³/s mer enn minimumskravet.



Figur 13
Vannføring i Suldalslågen ved Larvika (øverste kurve) og Stråpa i 1994, 1995 og 1996. Det er døgnmidler som er vist.

Også i 1994 og 1995 er det innslag av enkelte vinter- og høstflommer i vassdraget. Vinteren 1996 var spesielt kald og nedbørfattig. Resultatet var liten avrenning fra uregulerte felt både gjennom vinteren og i smeltesesongen.

I perioden 1994 til 1996 ble det gjort en rekke forsøk med alternative vårflommer i Suldalslågen. I 1994 var det en "lokkeflom" midt i mai, deretter ble vannføringen ut av Suldalsvatn holdt lav frem til 10 juni.

I 1995 ble det igjen gjort forsøk med redusert vannføring fra 1 mai til 23 juni (ca. 35 m^3/s) kun avbrutt av tre små "lokkeflommer". Etter en sen flomtopp i slutten av juni pendlet vannføringen resten av sommeren omkring 62 m^3/s ved Stråpa.

I 1996 ble det gjort forsøk med tidlig vårflom. Vannføringen ved Stråpa økte fra 12 m^3/s den 15 april til ca. 150 m^3/s den 10 mai. Vintervannføringen ble således avsluttet 2 uker tidligere enn reglementet tilsier. En ny flomtopp i juni skyldtes at Hylen kraftverk stod samtidig som Kvilldal kraftverk var i drift.

Vinteren 1996 var svært kald og nedbørfattig. Uten reguleringer i Suldalsvassdraget ville vannføringen store deler av denne vinteren vært langt lavere enn 12 m^3/s. Data fra Stordalsvatn antyder at vannføringen ville vært minst like lav som i 1940. Vannføringen var da nede i 5 m^3/s i lågen.

Avrenning fra restfeltet til Suldalslågen

Avrenningen fra restfeltet til Suldalslågen er beregnet som differansen mellom vannføringen ved målestasjonene Larvika og Stråpa nederst og øverst i Suldalslågen. I tillegg er det korrigert for overløp fra Mosvatnet som renner ut i Mosåna og videre til lågen. Også i denne beregningen oppstår det "støy" på grunn av usikkerhet i grunnlagsdataene.

NVE's offisielle data for Suldalslågen gir i enkelte perioder høyere vannføring øverst i elva enn nederst selv i perioder hvor det renner noe vann i sidebekkene til Suldalslågen. Dette er ikke logisk og er derfor korrigert i disse beregningene. Men for juni - juli 1989 er usikkerheten i datagrunnlaget så stor at det ikke er beregnet verdier for restfeltet. Også vinteren 1996 er de beregnede verdiene ekstra usikre på grunn av isproblemer ved målestasjonen Larvika.

Heller ikke i restfeltet til Suldalslågen er det noen klar sesongmessig variasjon i avrenningen. I middel har avrenningen i perioden 1989-96 vært høyest i januar (!) og juni (13 m^3/s) og lavest i august (8 m^3/s). Flere milde vintre har ført til høy vinteravrenning også her.

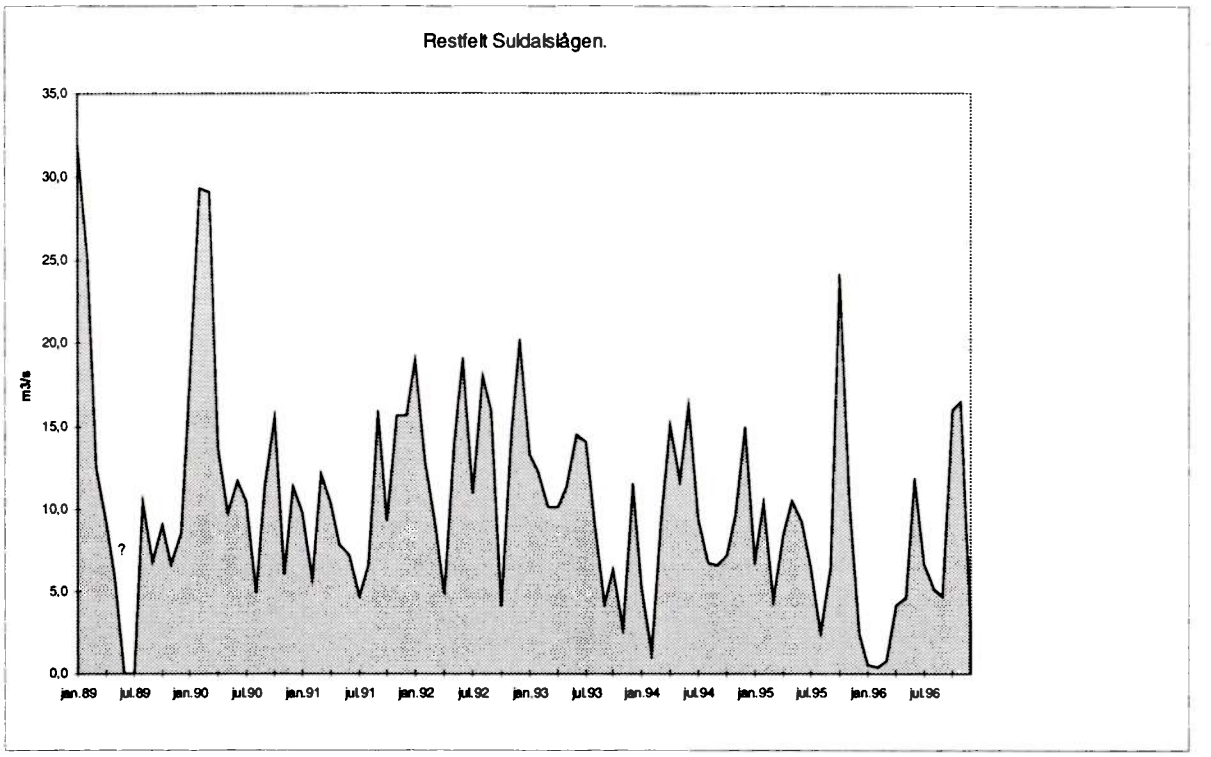
Januar - februar 1989, februar - mars 1990 og oktober 1995 skiller seg ut som spesielt vannrike med månedsmidler fra 24 - 32 m^3/s. Mens november 1993, februar 1994, august 1995, desember 1995 – mars 1996 og desember 1996 skiller seg ut som vannfattige med månedsmidler fra 0,4 - 3 m^3/s.

Variasjonene faller godt sammen med tilsvarende variasjoner i avrenningen fra referansefeltet Stordalsvatn.
Midlere avrenning fra Suldalslågens restfelt i perioden 1989-96 er beregnet til 11 m^3/s.

Det har vært 7 episoder med døgnverdier på 100-140 m^3/s fra Suldalslågens restfelt i årene 1989-93. Alle episodene var i månedene fra desember til mars. Episodene sees tydelig på figur 11 og 12 som viser vannføringen i Suldalslågen de aktuelle årene. I 1994-96 har det ikke vært så intens avrenning, størst avrenning i denne perioden var det en dag i november 1995 med ca. 90 m^3/s.

Til sammenligning var vannføringen større enn 100 m^3/s kun 3 ganger vinterstid i perioden 1963-85. Men i denne perioden er det flere eksempler på døgnverdier fra 100 til 300 m^3/s i de øvrige månedene. Høyeste beregnete vannføring fra Suldalslågens restfelt i løpet av 1 døgn hadde en i oktober 1963 med nær 300 m^3/s. (Om momentanverdier under flom se kapitlet om Fossåna, side 40).

Vannkvaliteten i sidebekkene til Suldalslågen er i flomperioder dårlig. Spesielt ved kraftige flomepisoder vinterstid kan avrenningen fra Suldalslågens restfelt føre til "sure sjokk" i lågen. Disse forholdene er utførlig kommentert i Blakar (1995) og Kvambekk (1996).



Figur 14
Avrenning fra Suldalslågens restfelt i perioden 1989-96. Det er månedsmidler som er gitt.

Blåsjø, magasinforhold

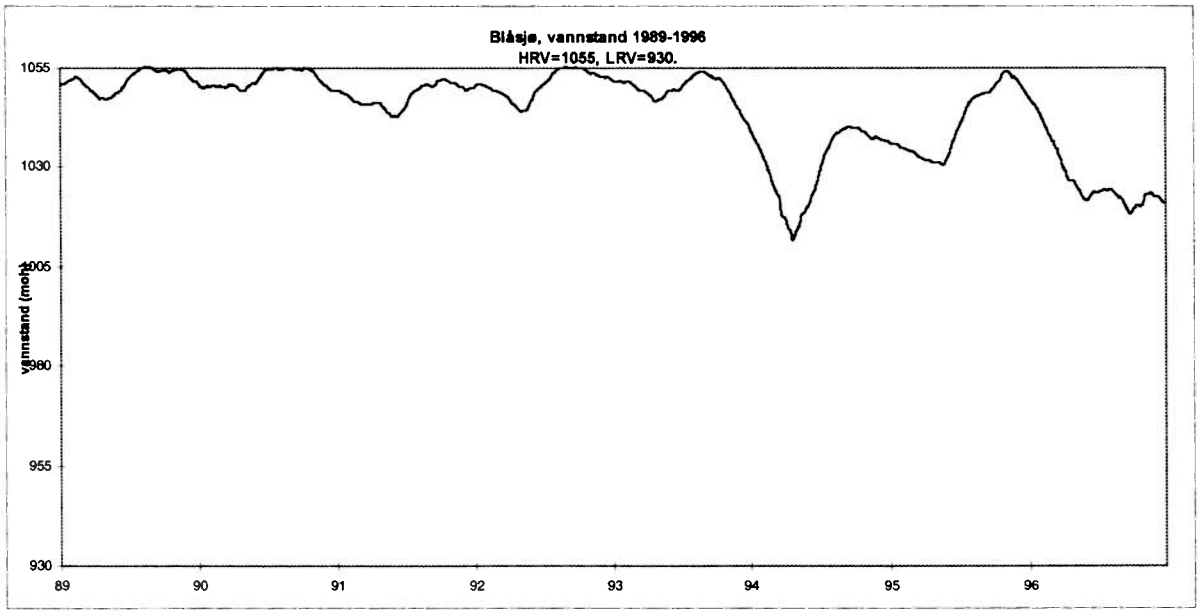
Blåsjø kan reguleres mellom kote 1055 (HRV) og kote 930 (LRV). Magasinet har et volum på 3105 mill m^3, og det tar ca. 3 år å fylle det med normalt tilsig fra eget felt.

Magasinvannstanden i Blåsjø registreres på tre steder i Storvatn, Førrevatn og Oddetjørna. Vannstanden på disse stedene er tilnærmet lik for vannstander over kote 1020. Når magasinet kommer lavere enn dette, deler det seg og vannstanden varierer noe ulikt (Magnell 1994). Figurene som er presentert nedenfor er basert på et aritmetisk middel av de tre målingene.

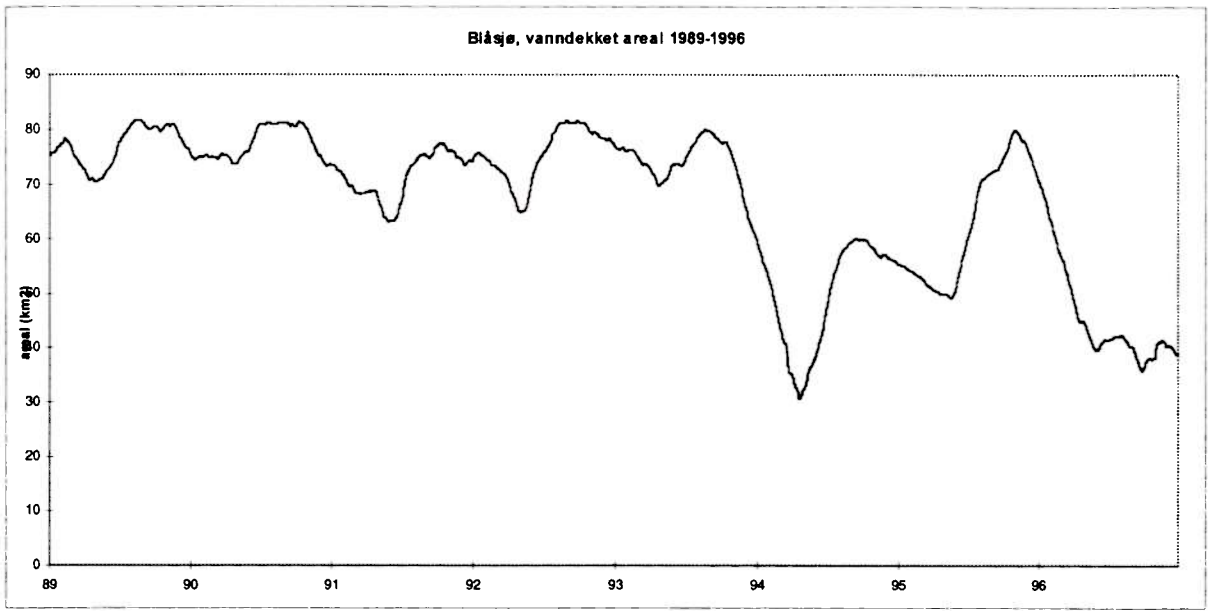
Frem til 1989 var Blåsjø under første gangs oppfylling. Sommeren 1989 ble HRV nådd første gang. Mye nedbør og milde vintre medførte høy magasinvannstand de neste årene. Vannstanden var ikke lavere enn kote 1040 før vinteren 1994. Våren 1994 nådde Blåsjø sitt laveste nivå (ca kote 1012) i perioden 1989-96. Nedtappingen høsten 1993 og vinteren 1994 medførte at vannvolumet i Blåsjø ble redusert med 2180 mill m^3 og vanndekket areal i Blåsjø ble redusert fra ca. 80 til 31 km^2.

Sommeren 1994 og 1995 ble det ved hjelp av Saurdal pumpestasjon overført store mengder vann fra 600 meters nivå til Blåsjø, henholdsvis 344 og 531 mill m^3. Forøvrig er tilsiget til Blåsjø dominert av tilsig fra eget felt.

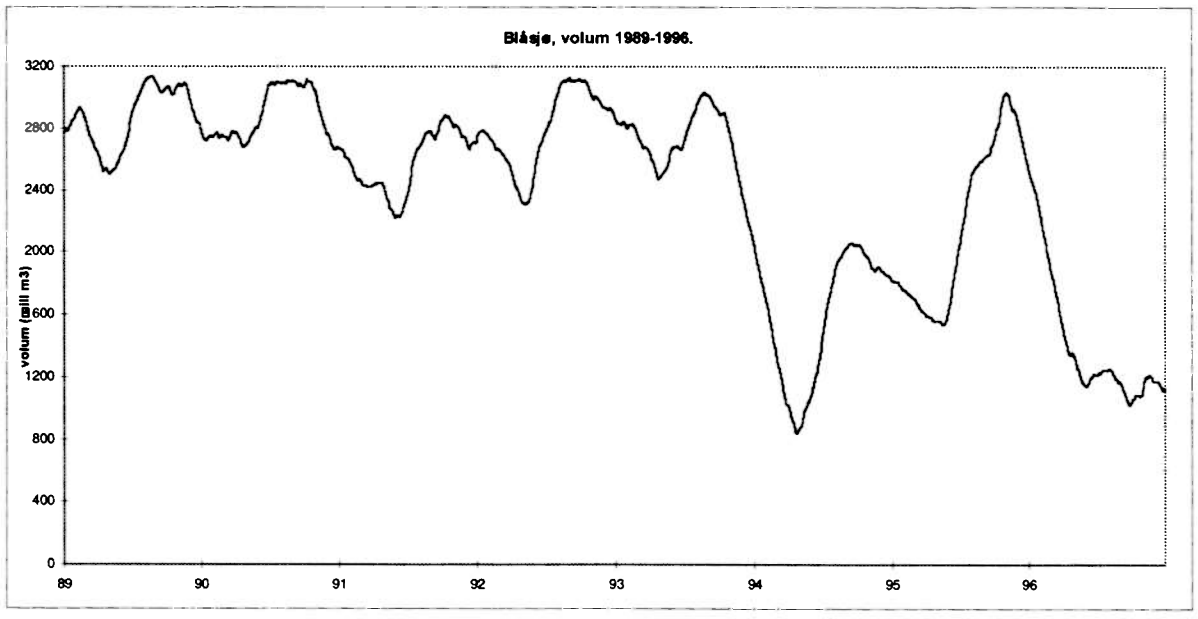
En ser av figur 15 c at også vinteren 1995-96 ble det tappet betydelige volum fra Blåsjø. Lite snø i fjellet denne vinteren kombinert med stor etterspørsel av kraft også sommeren 1996 medførte at vannstanden i Blåsjø forble lav utover i 1996. For første gang fungerte Blåsjø som en tørrårs-sikring.



Figur 15a
Vannstand i Blåsjø i årene 1989 -1996. Vannstanden er beregnet som et aritmetisk middel fra tre målepunkter i Blåsjø.



Figur 15 b
Vanndekket areal i Blåsjø i årene 1989 -1996.



Figur 15c
Vannvolum i Blåsjø i perioden 1989 - 1996.

ANDRE HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER

Vannføring i Fossåna

I forbindelse undersøkelsene av vannkvalitet i Suldalsvassdraget er det etablert en stasjon for måling av vannføring i Fossåna. Stasjonen ble satt i drift 27 mars 1992. Hensikten var å registrere vannføring i en uregulert sidebekk til Suldalslågen. Stasjonen er utstyrt med en skrivende limnigraf som registrerer vannstanden i bekken.

I tillegg er det tatt en rekke manuelle vannprøver og installert utstyr for automatisk logging av pH og vanntemperatur i Fossåna. Det har og vist seg at Fossåna er et interessant felt med hensyn på tilførsler av sedimenter til Suldalslågen. Det er en svært aktiv løsmasseravine i feltet, som muligens er forårsaket av skogsdrift for ca. 20 år siden.

Statkraft Region Sør har ansvar for drift og vedlikehold av utstyret i Fossåna. Limnigrammene ble i 1996 digitalisert og lagt inn i NVE's database med stasjonsnummer 36.12.0.1001.1.

Nedbørfeltet til Fossåna er 10,9 km² og middelhøyden er ca. 600 moh. I henhold til NVE's avrenningskart er normalavløpet (1931-60) for Fossåna ca. 1,1 m³/s (105 l/s km²). Men for små felt uten målinger i normalperioden er det stor usikkerhet i beregnet normal.

Vannføringsmålinger - vannføringskurve:
Det er foretatt systematiske målinger av sammenhengen mellom vannstand og vannføring i Fossåna. En har målinger fra 0,04 m³/s til nesten 9 m³/s (tabell 12).

Tabell 12
Vannføringsmålinger i Fossåna
(data fra Statkraft Region Sør, Dagfinn Hernes).

Vannstand (m)	Vannføring (m³/s)	Vannstand (m)	Vannføring (m³/s)
0,35	0,040	0,50	0,430
0,37	0,066	0,54	0,618
0,39	0,089	0,58	0,945
0,395	0,109	0,67	1,88
0,42	0,153	0,71	2,38
0,43	0,143	0,82	4,46
0,47	0,280	0,905	8,82

Utfra disse dataene er følgende vannføringskurver konstruert (Hernes):

$Q = 25{,}4\ (H-0{,}20)^{3.4}$, $0{,}20 \leq H < 0{,}81$

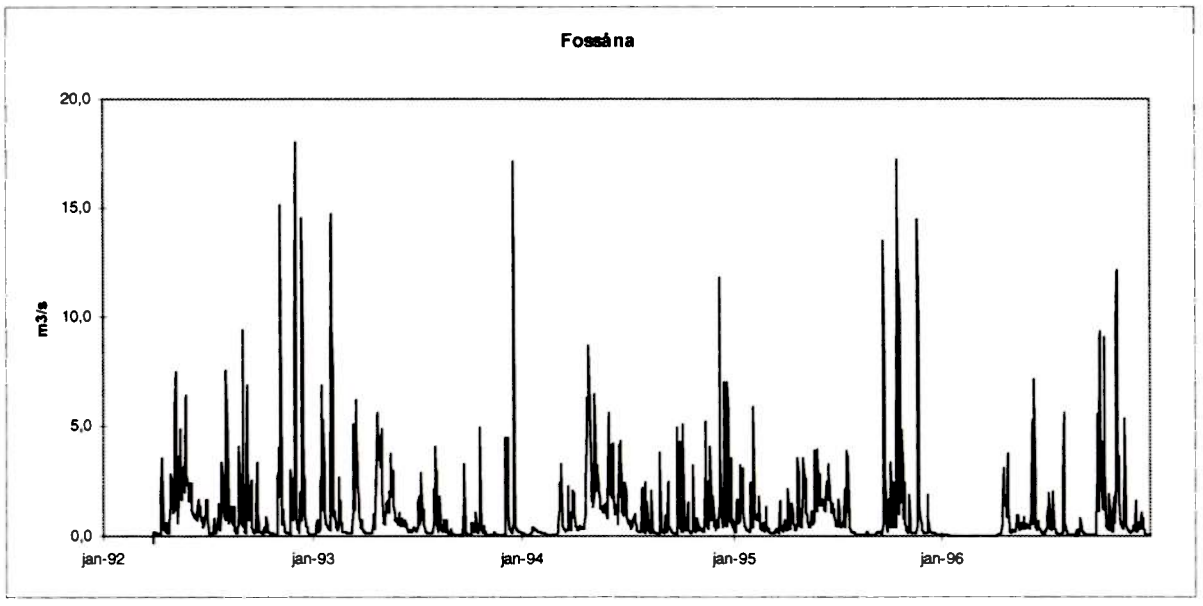
$Q = 32{,}9\ (H-0{,}20)^{4.0}$, $H \geq 0{,}81$

Høyeste registrerte vannstand i løpet av observasjonsperioden er 1,23 m (19/12-93). Utfra ovenstående kurve tilsvarer det en vannføring på 37 m³/s, eller 4 ganger høyere enn ved den vannføring en har foretatt målinger. Vannføringer over ca. 10 m³/s er derfor svært usikre.

Vannføringsmålingene er utført med flygel. Ved høye vannføringer er slike målinger usikre på grunn av mye turbulens. Ved en annen målemetode, saltfortynningsmetoden kan en få langt sikrere data for den øvre del av vannføringskurven. Slike målinger er bestilt utført av NVE, men det har foreløpig ikke lykkes å utføre saltmålinger under flom i Fossåna.

Vannføringen i Fossåna

Av figur 16 ser en hvordan vannføringen i Fossåna har variert fra slutten av mars-92 og ut 1996. Det er døgnmidler som er vist. En ser at vannføringen fluktuerer svært raskt. De høyeste enkeltverdier er registrert på høsten og vinteren (september til februar). Den raske responsen illustreres godt av en hendelse i desember 1993. Vannføringen økte da fra 1,8 m³/s den 18 desember, til 37 m³/s dagen etter - døgnmiddelet var 17 m³/s. To dager etter var vannføringen igjen under 2 m³/s.

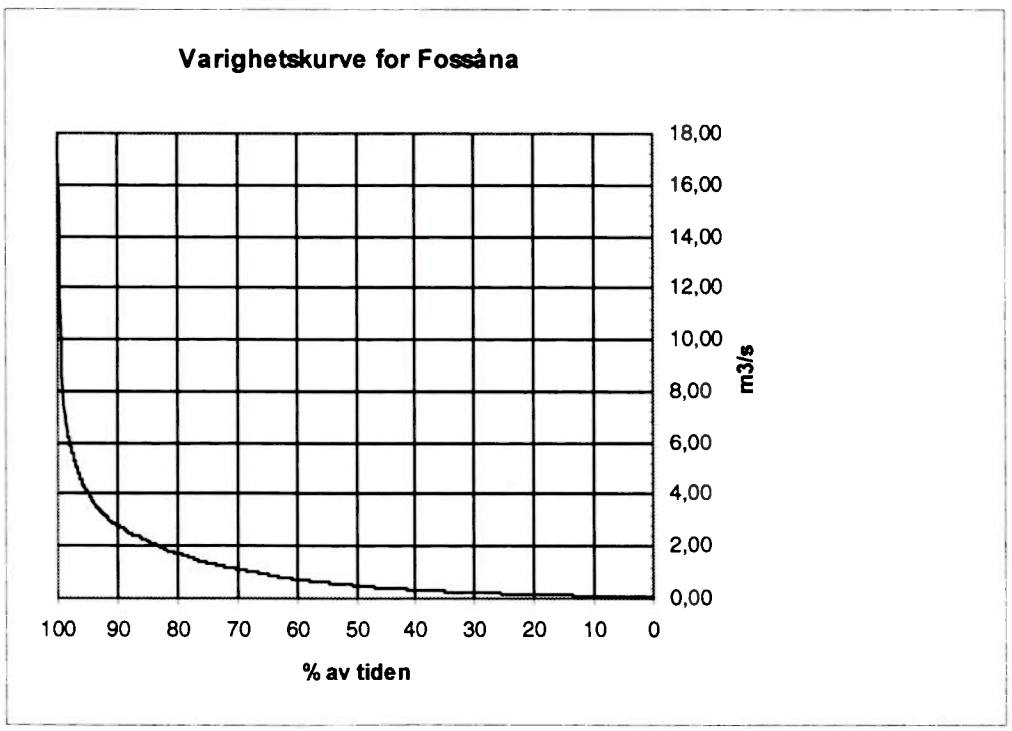


Figur 16.
Vannføring Fossåna fra 27 mars 1992 til 31 desember 1996. Det er døgndata som er vist.

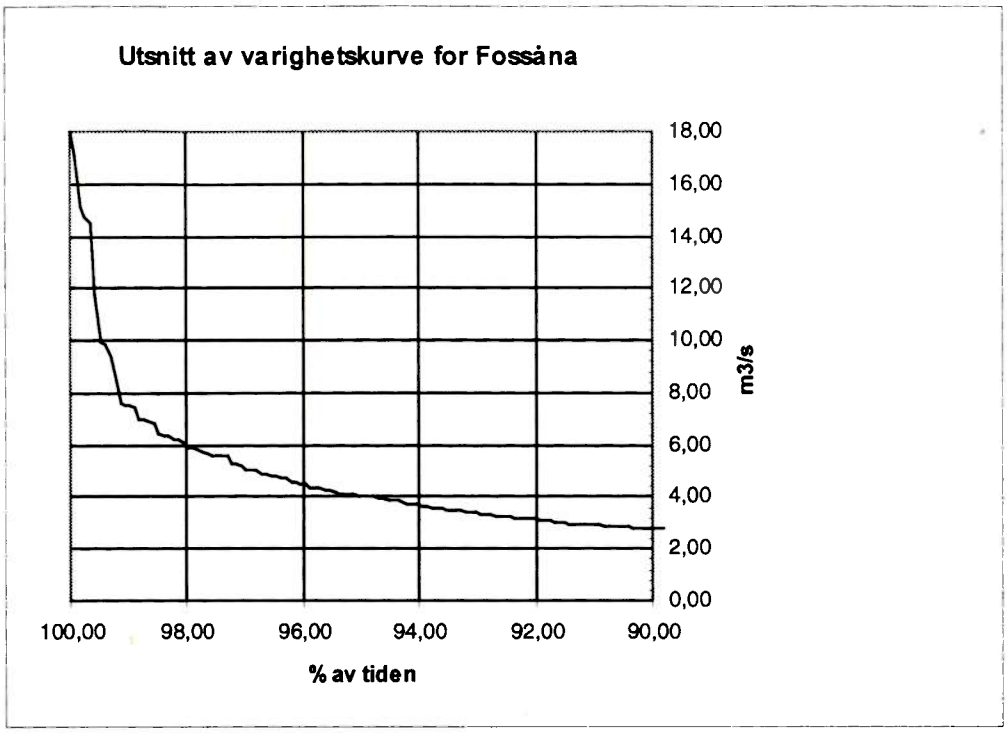
I middel for hele observasjonsperioden i Fossåna har vannføringen vært 1,0 m³/s. Ellers var oktober 1995 den mest vannrike måneden med en gjennomsnittlig vannføring på 3,3 m³/s (300 l/s km²) og februar/ mars 1996 de tørreste med 0,01 m³/s (1 l/s km²).

Verdiene fra vinteren 1996 er imidlertid usikre p.g.a isproblemer i Fossåna. I denne perioden er derfor vannføringen beregnet ved hjelp av andre stasjoner (pers. medd. L.G Ruud, NVE). At det var lite vann i Fossåna er imidlertid udiskutabelt. I forbindelse med innhenting av vannprøver har prøvetakeren flere ganger denne vinteren notert "tørr" om Fossåna.

Varighetskurvene for Fossåna (figur 17 a og b) viser at døgnmiddelvannføringen har vært mindre enn 2 m³/s i over 80% av tiden . Videre har vannføringen vært 4 m³/s (ca. 370 l/s km²) eller større i 5 % av tiden og større enn 6 m³/s (ca. 550 l/s km²) i 2 % av tiden. Årlig har vannføringen imidlertid vært større enn 11 m³/s (1000 l/s km²) i minst et døgn.



Figur 17 a
Varighetskurve for Fossåna. Kurven er basert på døgndata fra mars 1992 til desember 1996.



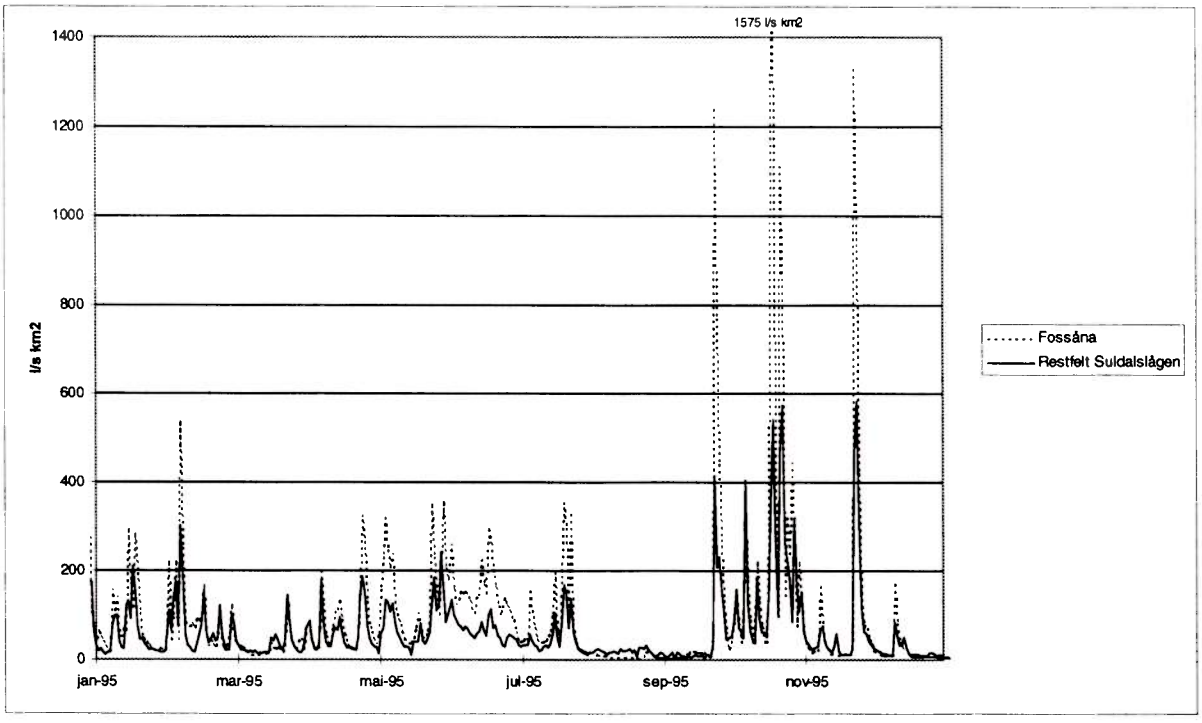
Figur 17 b
Øvre del av varighetskurven for Fossåna. Kurven er basert på døgndata fra mars 1992 til desember 1996.

Vannføringen i Fossåna sammenlignet med avrenningen fra Suldalslågens restfelt
Nedbørfeltet til Fossåna utgjør 8 % av restfeltet til Suldalslågen (10,9 av 134,9 km²). I henhold til NVE's isohydatkart er avrenningen pr arealenhet høyere i Fossåna enn fra det totale restfeltet (105 mot 90 l/s km²). Det medfører at avrent volum fra Fossåna forventes å utgjøre 9-10 % av restfeltets totale avrenning.

I perioden 1992-96 tilsvarte vannføringen i Fossåna 1992-96 11 % av avrenningen fra hele restfeltet. Når en tar hensyn til både usikkerheten i isohydatkartet og ved beregning av avrenningen fra restfeltet, er det godt samsvar mellom forventet og observert vannføring i Fossåna.

Korrelasjonsanalyse mellom Fossåna og Suldalslågens restfelt på døgndata gir en korrelasjonskoeffisient på 0,82. Det viser at feltene har omtrent den samme dynamikk, men at koeffisienten ikke blir høyere skyldes:

- naturlige variasjoner blant annet på grunn forskjell i feltstørrelser
- middelhøyden i Fossåna-feltet er noe høyere enn for restfeltet (ca. 600 og 450 moh), det gir utslag på utviklingen av snømagasinet
- det er «støy» i dataene fra restfeltet
- vannføringskurven for Fossåna er usikker på høye vannføringer



Figur 18
Vannføring pr. arealenhet i Fossåna og for restfeltet til Suldalslågen i 1995.

I figur 18 er avrenning pr arealenhet for et år vist for Fossåna og Suldalslågens restfelt. En ser at feltene har svært lik dynamikk, men at flomtoppene er høyest i Fossåna. Det skyldes at et større felt utjevner avrenningen noe mer. Blant annet Ritlandsvatn vil ha en utjevnende effekt på avrenningen fra restfeltet.

Ellers kan en merke seg at avrenningen i Fossåna er større enn fra restfeltet på forsommeren. Dette skyldes sannsynligvis et større snømagasin i Fossåna-feltet fordi dette ligger noe høyere enn restfeltet.

I årene 1992-94 er det enkelte perioder (31/5-1/6-92, 13-14/3-93 og 16/2-4/3-94) hvor beregnet vannføring i m^3/s er høyere i Fossåna enn for hele Suldalslågens restfelt. Dette er naturligvis ikke korrekt og skyldes først og fremst usikkerhet i registreringene som ligger til grunn for restfeltserien (stasjonene Stråpa, Larvika og overløp Mosvatn).

I tabell 13 er det gitt en oversikt over flommer i Fossåna med en intensitet i løpet av et døgn større enn 1000 l/s km^2. Tilsvarende verdier fra Suldalslågens restfelt er satt opp til sammenligning. Dataene viser at under flom er intensiteten i avrenningen fra Fossåna omkring det dobbelte av hva en har fra hele restfeltet. Videre at flommene i Fossåna har kulminert med en avrenning som er ca. 4 ganger høyere enn døgnverdiene for restfeltet.

Det bør imidlertid bemerkes at en eventuell endring av det øvre segmentet på vannføringskurven for Fossåna (jfr. over), vil kunne endre noe på dette.

Tabell 13
Flommer i Fossåna med en intensitet større enn 1000 l/s km².

Dato	Fossåna døgnmiddel (l/s km²)	Fossåna maksimum (l/s km²)	Restfelt Suldalslågen døgnmiddel (l/s km²)
6/11-92	1391	2900	714
2/12-92	1651		706
14/12-92	1333	2370	778
3/2-93	1352	1510	632
19/12-93	1570	3390	868
10/12-94	1082	2570	413
24/9-95	1237		416
19/10-95	1575		542
23/11-95	1326		582
3/11-96	1116		669
Gjennomsnitt	**1363**		**632**

Forholdet mellom momentan- og døgnmiddelflom for høstflommer er undersøkt for flere andre avløpsstasjoner på Vestlandet (tabell 14). Det gir midlere forholdstall mellom 1,1 og 2,5. En rekke feltegenskaper vil være med å bestemme dette forholdstallet, som for eksempel andel og plassering av innsjøer i feltet, løsmassemektighet osv. For enkeltflommer er det større variasjon.

For Fossåna er forholdstallet innenfor den variasjonsbredden en ellers har i området. Middelet er ca. 2.

Ut fra dette er det rimelig å anta at en har omtrent den samme variasjonen også i restfeltet til Suldalslågen. Det betyr at med en avrenning fra Suldalslågens restfelt på 100 m³/s (døgnmiddel), er det sannsynlig at det har vært timesverdier på 150 - 200 m³/s.

Tabell 14
Forholdet mellom momentan- og døgnmiddelflom for noen avløps-stasjoner på Vestlandet. Det er høstflommer som er analysert.

Stasjon	Areal (km²)	Forholdstall	Antall år
Stordalsvatn	127	1,2	22
Kløvtveitvatn	4,3	1,1	20
Gramstad	0,67	2,5	7
Årmot	88,1	2,5	6
Tysvær	2,96	1,2	16
Dyrdalsvatn	3,05	2,5	12

Strømningsforhold i nedre del av Suldalsvatn

Målinger av vannkvalitet i Suldalsvassdraget har vist at bekkene som renner ut i Suldalsvatn nedstrøms Suldalsporten ("Tarmen") til tider er svært sure. Sure episoder er spesielt registrert i forbindelse med kraftig regnvær vinterstid med påfølgende høy vannføring i bekkene (Blakar 1995).

FIDAP, som er en generell hydrodynamisk modell, er anvendt for å studere strømningsforholdene i Suldalsvatn (Ellingsen, 1994, 1996). Ved hjelp av denne modellen er transporttider og konsentrasjon av surt bekkevann ved utløp av Suldalsvatn beregnet for ulike reguleringsforhold. For å verifisere simuleringene er det utført sporstofforsøk med rhodamin i en av bekkene, Vekaåna. Vekaåna er den bekken som renner ut i "Tarmen" nærmest utløpet av Suldalsvatn.

Simuleringer med innsjømodellen gir transporttider av samme størrelsesorden som en fant ved sporstofforsøkene. Simuleringene viser og at bekkevannet under flom ikke vil transporteres i overflatelaget i "Tarmen" og dermed føre til et surt "sjokk" øverst i Suldalslågen. Følgende forhold forklarer dette:

- Ved stor vannføring i bekkene vil disse blandes godt både horisontalt og vertikalt i innsjøen på grunn av friksjon som skaper turbulens. Slike krefter er mye sterkere enn eventuelle lagdelinger på grunn av temperaturforskjeller.

- Vind og bølger fører til blanding av vannmassene, bortsett fra når vannet er islagt

- "Tarmen" har et grunt parti ved Veka bru der bekkevannet er tvunget til å passere. Mye turbulens skaper god blanding i dette området.

- Vannet som renner ut av Suldalsvatn trekkes fra flere dyp, ikke bare overflatelaget.

Men likevel står det fast at vannet fra sidebekkene til "Tarmen" i flomperioder kan bety mye for vannkvaliteten ut av Suldalsvatn. Dette skyldes det store volum vann som tilføres fra bekkene i forhold til volumet i "Tarmen". Beregninger basert på observasjoner i Fossåna, viser at lokaltilsiget til "Tarmen" i løpet av et døgn kan tilsvare 15 - 20 % av vannvolumet i "Tarmen" og ca. 50 % i løpet av 5 døgn (tabell 15).

Tabell 15
Tilsig Vekaåna og totalt til "Tarmen" under en flom i oktober 1995.
Dataene er beregnet ut fra observert flom i Fossåna.

	Vekaåna	"Tarmen"
1 døgn	0,9 mill m^3	5 mill m^3
2 døgn	1,6 mill m^3	9 mill m^3
3 døgn	1,9 mill m^3	10 mill m^3
4 døgn	2,1 mill m^3	11 mill m^3
5 døgn	3,1 mill m^3	14 mill m^3
Innsjøvolum	Nedstrøms Vekaåna 6 mill m^3	Hele "Tarmen" 27 mill m^3

Simuleringene med innsjømodellen viser at etter Ulla-Førre kan konsentrasjonen av bekkevann ved utløp av Suldalsvatn nå 50 - 55 %, men først 7 - 8 døgn etter at flommen har kulminert. Mens under RSK og naturlig kunne en få opp mot 20 %. Men maksimum ble da nådd allerede ½ - 1 døgn etter flomkulminasjon. Dette gir derfor en større sannsynlighet for overlapp med surt tilsig fra sidebekkene til Suldalslågen enn etter Ulla-Førre utbyggingen.

Forholdene er mer omfattende diskutert i Ellingsen (1996), Kvambekk (1996) og i Ellingsen og Holmqvist (1997). I sistnevnte rapport er det og redegjort nærmere for simuleringene med innsjømodellen, de hydrologiske forutsetningene for beregningene og rhodaminforsøkene.

Grunnvannstand Kvestad

I Suldal dannes/ fornyes grunnvann ved nedbør som infiltrerer og trenger ned gjennom jorda. Det finnes og eksempler på at grunnvann "mates" av vann i elver, men det er ikke vanlig i Norge og heller ikke tilfelle i Suldal. I grove masser, som en har her, vil det imidlertid dannes et sammenhengende grunnvannspeil som fluktuerer med vannstanden i elva. Endringer i elvevannstanden vil gi utslag på grunnvannstanden i det meste av den flatere del av dalbunnen. Men utslagenes størrelse vil dempes med økende avstand fra elva (Bryn 1980).

I begynnelsen av mai 1994 ble det satt ned 3 rør for måling av grunnvannstand på Kvestad. Vannføringen i lågen var da ca. 20 m^3/s. Rørene ble satt ca. 6 meter, 35 meter og 110 meter fra elvekanten. Rør 1, som står nærmest elva blir stående i vann ved vannføringer større enn ca. 100 m^3/s (se figur 21). Arbeidet ble utført av Sønsterud (NVE), mens observasjonene er utført av gårdbruker Magne Kvestad som eier grunnen der rørene ble nedsatt.

Hensikten med målingene var å undersøke hvilken effekt endringer av vannføringen i Suldalslågen hadde på grunnvannstanden langs elva. Det har blant annet vært stilt spørsmål om redusert vannføring kan medføre økte tørkeskader som følge av redusert grunnvannstand. Målingene ble gjennomført i mai - juni i 1994 og 1995. I begge disse periodene ble det etter anbefaling fra driftsutvalget gjort forsøk med redusert vannføring i elva.

Kvartærgeologi

Marin grense i denne del av landet er ca. 80 m.o.h., eller 10 - 15 meter over Suldalsvatn. Ved avslutningen av siste istid ble det over marin grense vesentlig lagt igjen grove masser, ut i havet - det som nå er Suldal, ble det avsatt grus og sand nærmest elvemunningen og finsand/ leire lenger ut (Bryn 1980).

Suldalslågen og sidebekkene har noen steder gravet seg ned i gamle avsetninger, andre steder er nye avsetninger lagt opp. Resultatet har blitt skiftende avsetningstyper ned gjennom hele dalføret. I hovedtrekk inneholder avsetningene i Suldal grove til middels kornete lag. Lag med rullestein er også vanlig (Bryn 1980). Det øverste jordlaget er ofte dominert av finsand/ silt. I de nedre delene av Suldal (Eide, Eidsvika) er det og rapportert om mer leirholdige forekomster (NVE 1986).

I henhold til Time (1980) er det øvre jordlaget i området mellom Suldalsosen og Førland fra 20 til 120 cm tykt. Nærmere utløpet av Suldalslågen er laget med finmateriale opp til 2 meter tykt. I området ved Kvestad, der grunnvannsbrønnene er satt ned, er det funnet finsand/ silt ned i de øverste 85 cm, under dette er det grovere masser med grus og stein.

Elva som vannkilde ved planteproduksjon

Følgende er hentet fra uttalelse om Ulladalen (Time 1979). Som i Suldal er avsetningene også i Ulladalen stort sett grove med mye stein og med et sand, grusholdig jordsmonn. Den kapillære fosyningsevnen er derfor relativt liten i disse områdene. Selv tørrlegging av Ulla *"vil ha lite å seie for den kapillære vassforsyninga, bortsett frå lågtliggjande areal innåt sjølve*

elvekanten. Derimot vil vasskapasiteten, kapillær metningsgrad ved vekstsstart, jordstruktur og nedbør vera avgjerande faktorar for kor snøgt jorda her vil lida av tørke."

Både i Suldal og i Ulladalen vil jorda som regel være bra *"vassmetta ved vekststart"*, og plantene antas å kunne ta opp fuktighet fra et ca. 50 cm tykt jordlag som inneholder ca. 10 volumprosent vann, eller 50 mm vann. *"På soldagar kan ein kultur i sterk vekst bruka 5-6 mm. Grovt forenkla skulle såleis ei grus/ sandjord då ha vasskapasitet for ei snau veke."* Men også i mai og juni kan en ha perioder med sterk varme og vind *"då jorda lid av vassmangel, og då det løner seg å vatna. Desse periodane kan vi ha jamvel om nedbørsummane for mai og juni er normale"* (Time 1978).

Også langs Suldalslågen kan det være grensetilfelle (lavtliggende areal nær elvekanten) som blir mer utsatt for tørke ved redusert vannføring. Det ble derfor besluttet å foreta målinger av grunnvannstand i et utsatt område.

Målingene

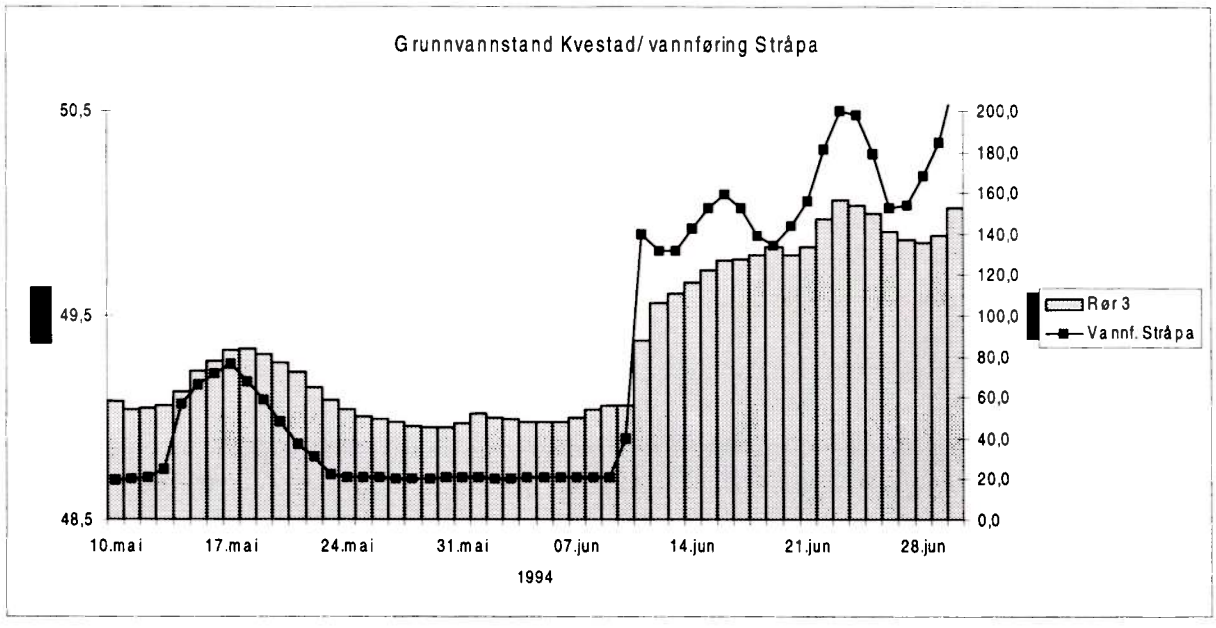
I 1994 ble det foretatt daglige målinger av grunnvannstand på Kvestad fra 10 mai til 30 juni. Frem til den 10 juni var vannføringen i lågen ved Stråpa omkring 20 m^3/s bortsett fra noen dager midt i mai hvor vannføringen ble økt til 70 - 80 m^3/s. Etter 10 juni varierte vannføringen stort sett mellom 130 og 200 m^3/s (figur 19).

I 1995 ble grunnvannstand målt daglig fra 3 mai til 7 juli. Frem til den 24 juni pendlet vannføringen mellom 35 og 55 m^3/s. Deretter økte vannføringen raskt til ca 130 m^3/s for så å bli gradvis redusert til 60 m^3/s.

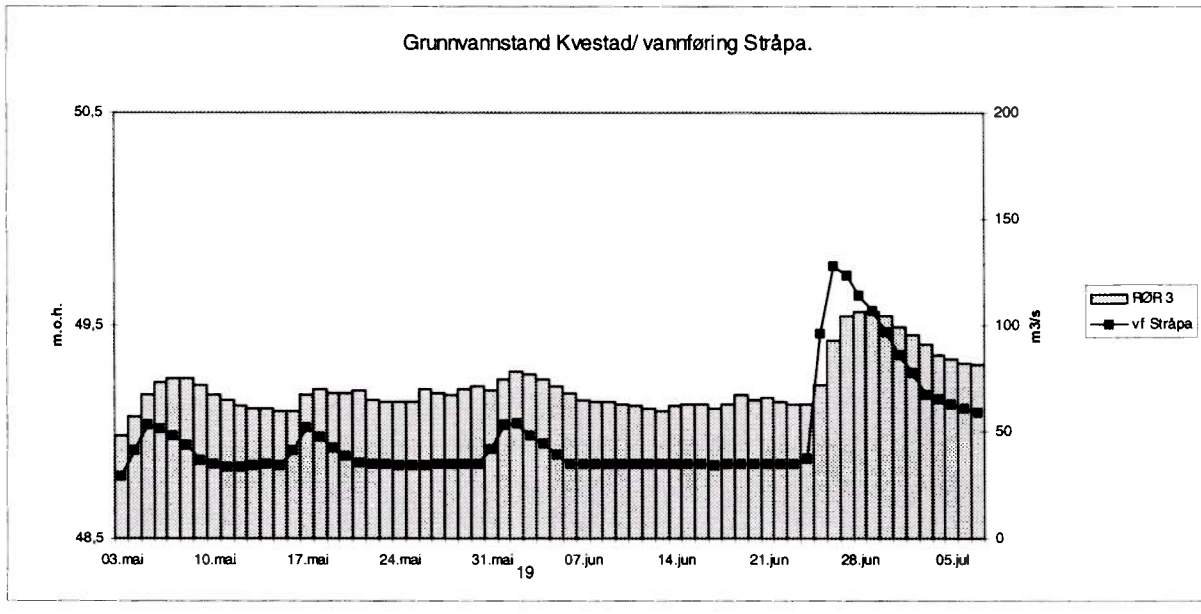
Målingene viser at det er en klar sammenheng mellom vannføring i Suldalslågen og grunnvannstanden på Kvestad. Også i rør 3, som ligger mer enn 100 meter fra elvekanten er det en klar samvariasjon mellom vannføring og grunnvannstand. Forholdene er illustrert i figurene 19 og 20.

For rør 3 ser en at vannstanden fortsetter å stige ca. 1 døgn etter at vannføringen har nådd et lokalt maksimum. Dette kommer og frem ved korrelasjonsanalyse (tabell 16). For rør 3 oppnås høyest korrelasjon ved å sammenligne grunnvannstanden "idag" med vannføringen "igår". For rørene nærmere elvekanten, er det naturlig nok ikke den samme forsinkelsen.

En ser at det er dårligere korrelasjon mellom grunnvannstand og vannføring i 1995 enn i 1994. Dette skyldes sannsynligvis at det var raskere svingninger i vannføringen i 1995 enn året før.



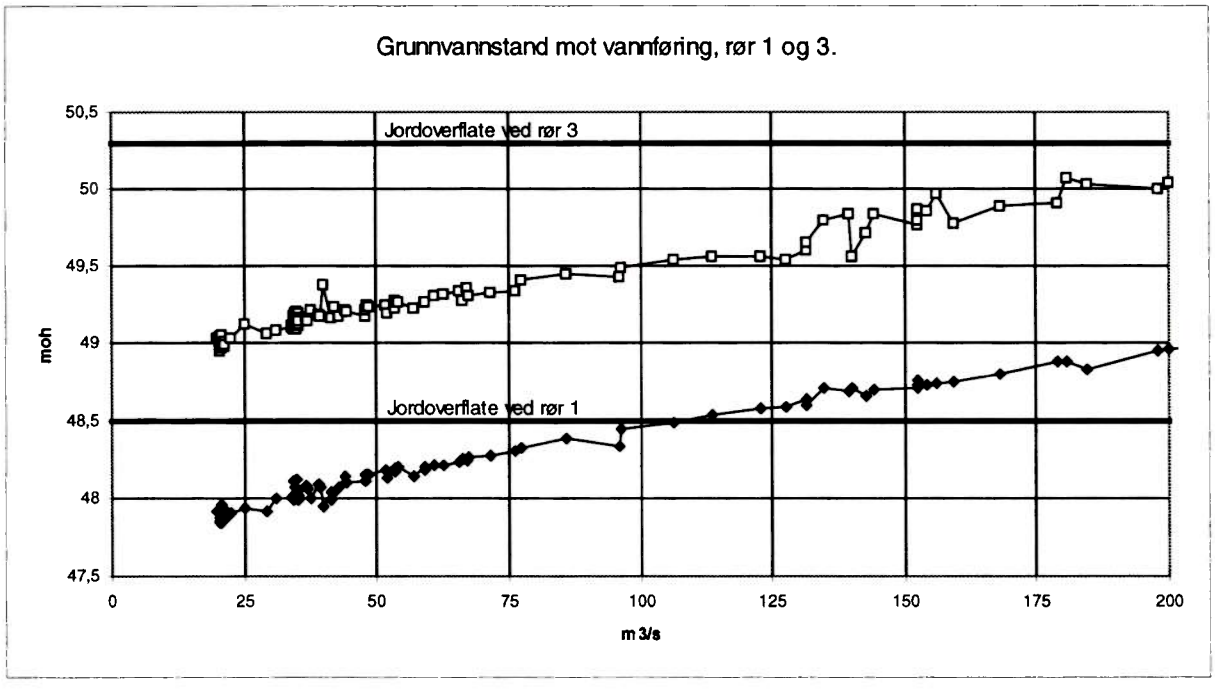
Figur 19
Grunnvannstand Kvestad og vannføring Stråpa 10 mai til 30 juni 1994. Det er grunnvannstanden i rør 3, som ligger lengst fra elvekanten som er vist.



Figur 20
Grunnvannstand Kvestad og vannføring Stråpa 3 mai til 7 juli 1995. Det er grunnvannstanden i rør 3, som ligger lengst fra elvekanten som er vist.

Tabell 16
Korrelasjonsanalyse mellom grunnvannstand og vannføring i Suldalslågen ved Stråpa.

	1994	1995	
Rør 1 - Stråpa	0,99	0,86	Samme dag
Rør 2 - Stråpa	0,99	0,82	Samme dag
Rør 3 - Stråpa	0,98	0,63	Samme dag
Rør 1 - Stråpa	0,96	0,78	1 dags forsinkelse
Rør 2 - Stråpa	0,98	0,82	1 dags forsinkelse
Rør 3 - Stråpa	0,99	0,81	1 dags forsinkelse
Rør 1 - Stråpa	0,91	0,42	2 dager forsinkelse
Rør 2 - Stråpa	0,93	0,50	2 dager forsinkelse
Rør 3 - Stråpa	0,96	0,67	2 dager forsinkelse



Figur 21
Grunnvannstand mot vannføring for rør 1 (svarte firkanter) og rør 3 (hvite firkanter). Rør 1 står nærmest elva. For rør 3 er det lagt inn 1 døgns forsinkelse i grunnvannsdataene ved plotting. Alle data fra 1994 og 1995 er benyttet.

Av figur 21 ser en at grunnvannstanden stiger like mye ved rør 3 som ved rør 1 med økende vannføring. Det tyder på svært god hydraulisk kontakt (grove masser). Noe forenklet kan en si

at en vannføringsøkning fra 25 til 100 m³/s vil medføre en økning av grunnvannstanden med 50 cm (tabell 17).

Videre ser en at grunnvannstanden er omkring 1 meter høyere ved rør 3 enn rør 1. Dette medfører at grunnvannet "mater" elva og ikke omvendt.

For at grunnvannstanden skal ha betydning for planteproduksjonen bør grunnvannet nå opp i det øvre jordlaget. Plantene antas å nyttiggjøre seg vann fra de øvre 50 cm av jorda. Fordi den kapillære forsyningsevnen er liten i dette området, bør derfor grunnvannstanden nå ca. 50 cm under jordoverflaten. Ved rør 3 ser en av figur 21 at denne vannstanden nås ved ca. 150 m³/s, mens ved rør 1 nås tilsvarende grunnvannstand ved ca. 30 m³/s.

Forholdene vil sannsynligvis være omtrent de samme for andre lavtliggende arealer nær elvekanten, men lokale variasjoner spesielt avhengig av terrengets helning vil en selvfølgelig ha. Dette skulle bety at selv en kortvarig vårflom på ca. 150 m³/s, vil redusere sannsynligheten for eventuelle tørkeskader i lavtliggende arealer langs lågen.

Tabell 17
Endring av grunnvannstand på Kvestad som følge av endring i vannføring.
Referansenivået er grunnvannstand ved en vannføring på 25 m³/s.

Vannføring	25 m³/s	50 m³/s	100 m³/s	150 m³/s	200 m³/s
Endring grunnvannstand	0 cm	20 cm	50 cm	75 cm	100 cm

LITTERATUR

Bjørbæk, G. 1994: Norsk vær i 100 år. Teknologisk forlag.

Blakar, I. 1995: Vannkvaliteten i Ulla-Førre og Suldalsområdet i perioden 1990-93. LFS rapport nr. 21.

Bryn, K.Ø. 1980: Uttalelse om brønner. Ulla-Førre, skjønn sesjon IV.

Ellingsen, E. 1994: Strømningsmønsteret i Suldalsvatn. En numerisk modell. LFS-prosjektet, Statkraft Engineering.

Ellingsen, E. 1996: Transport av bekkevann gjennom Suldalsvatns nedre del. LFS-prosjektet, Statkraft Engineering.

Ellingsen, E. og Holmqvist, E. 1997: Transport av surt bekkevann og vann fra Kvilldal kraftstasjon gjennom Suldalsvatn. LFS rapport nr. 36.

Krokli B. 1988: Analyse av lavvannføringer.

Kvambekk, Å.S. 1996: Blandingsforholdene i Suldalslågen mellom surt og "nøytralt" vann. LFS rapport nr. 24.

Magnell J.P. 1994: Blåsjømagasinet, hydrologiske forhold 1985-94. Ulla-Førre utbyggingen, jaktskjønn. Statkraft Engineering.

Magnell J.P. 1995: Ulla-Førre utbyggingen. Overskjønn Suldalslågen. Supplerende hydrologi. Statkraft Engineering.

NVE, 1986: Vannforsyning til settefisk/ smoltanlegg i Suldal.

Time, E.K. 1978, 1979 og 1980: Sakkunig fråsegn om jordbruksforhold. Skjønn Ulla-Førre.

Tvede, A.M. 1996: Vanntemperaturen i Suldalsvassdraget, 1962-95. LFS rapport nr. 23.

Rapportar utgjeve av Lakseforsterkings-prosjektetet i Suldalslågen fase I:

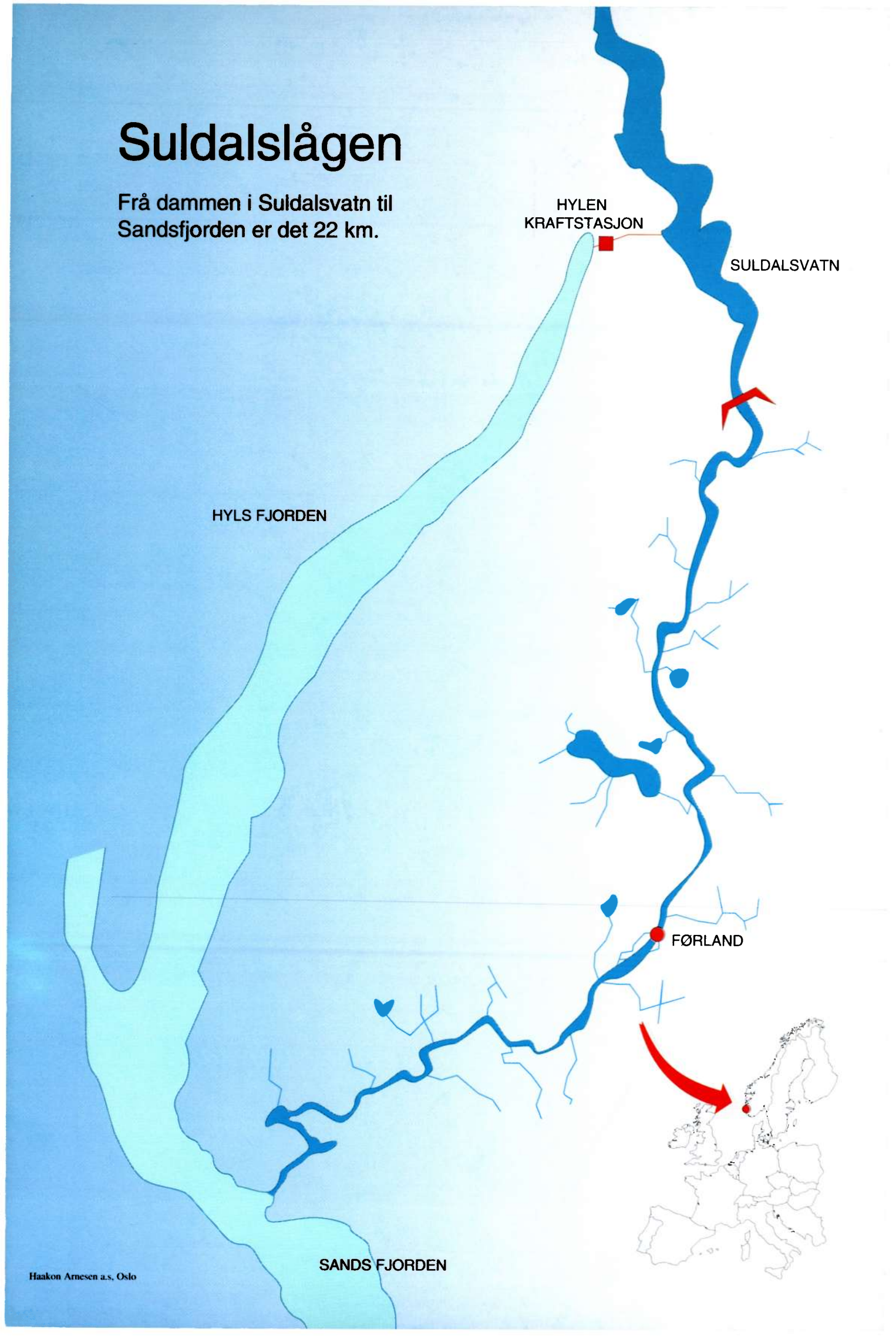
1. Effekt av mose- og algebegroing på bunndyr og fisk: Et litteraturstudium.
2. Overvåking av ungfiskbestanden i Suldalslågen. Tetthetsutvikling og vekst hos laks- og ørretunger i perioden 1977 til 1992.
3. Effekten av tilført organisk materiale på bunndyr, driv og fisk.
4. Landbruksvirksomhet langs Suldalslågen.
5. Lakseforsterkingsprosjektet i Suldalslågen 1990-95. Undersøkelser og status pr. 1.1. 1994.
6. Vanntemperaturen i Suldalslågen. Forholdet mellom vanntemperatur, vannføring og værforhold i perioden 15. april - 15. juni.
7. Målsetting med forvaltningen av laksestammen i Suldalslågen.
8. Studier av bunn- og drivfaunaen i et manipulert kanalsystem.
9. Habitatvalg til laks- og ørretunger i Suldalslågen. Modellerte konsekvenser av ulike vannføringer.
10. Førlandskanalen: Oppvekstvilkår for laksunger i et kontrollert kanalsystem.
11. Laksungers atferdsrespons ved forandring av habitatforhold.
12. Smoltutvandring og smoltproduksjon hos laks i Førlandskanlalen og Suldalsvassdraget; preliminære resultater.
13. Næringsvalg hos laksunger utsatt i en oppvekstkanal.
14. Innvirkning av mose på bunndyr og laksunger; et eksperimentelt studie.
15. Mose og algebegroing. Flompåvirkning og gjengroing etter rensking.
16. Overvåking av ungfiskbestanden i Suldalslågen. Tetthet og vekst hos laks- og ørretunger.
17. Effekt av økning i vannføring på fisk og bunndyr.
18. Tetthet, bestandsutvikling, kondisjon og overlevelse hos utsatt laks i Suldalslågen.
19. Fysisk beskrivende vassdragsmodell anvendt i Suldalslågen.
20. Ei teoretisk vurdering av verknadene av utsleppa frå Hylen kraftverk på tilbakevandringa av laks til Suldalslågen.

Rapportar fase II:

21. Vannkvaliteten i Ulla/Førre og Suldalsområdet i perioden 1990–93.
22. Skjønnsmessig vurdering av habitatforhold for laksunger og ørret i hele Suldalslågen.
23. Vanntemperaturen i Suldalsvassdraget 1962–95.
24. Blandingsforholdet i Suldalslågen mellom surt og nøytralt vann.
25. Gytelaks og gyting i Suldalslågen i 1995/1996.
26. Blomstringene av *Prymesium* i Ryfylke i perioden 1989–95. Sammenstilling av data.
27. Effekt av regulering på tetthet og sammensetning av bunndyr i Suldalslågen.
28. Undersøkelser av laksens vandringer i Sandsfjordsystemet og i Suldalslågen i 1995 ved hjelp av radiotelemetri.
29. Vekst hos lakseunger ved lave temperaturer.
30. Effekt av mose på bunndyr i Suldalslågen.
31. Hydrologiske forhold i Suldalsvassdraget, med hovedvekt på forholdene etter Ulla-Førre utbyggingen.

Suldalslågen

Frå dammen i Suldalsvatn til Sandsfjorden er det 22 km.



Haakon Arnesen a.s, Oslo