Rapport nr. 24

Blandingsforholdene i Suldalslågen mellom surt og «nøytralt» vann.

Lakse-forsterkings-prosjektet i Suldalslågen fase II

DIREKTORATET FOR NATURFORVALTNING

Statkraft engineering

NVE NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK

Norges forskningsråd

Energiforsyningens Fellesorganisasjon EnFO

GLOMMENS OG LAAGENS BRUKSEIERFORENING

LAKSEFORSTERKINGPROSJEKTET I SULDALSLÅGEN FASE II

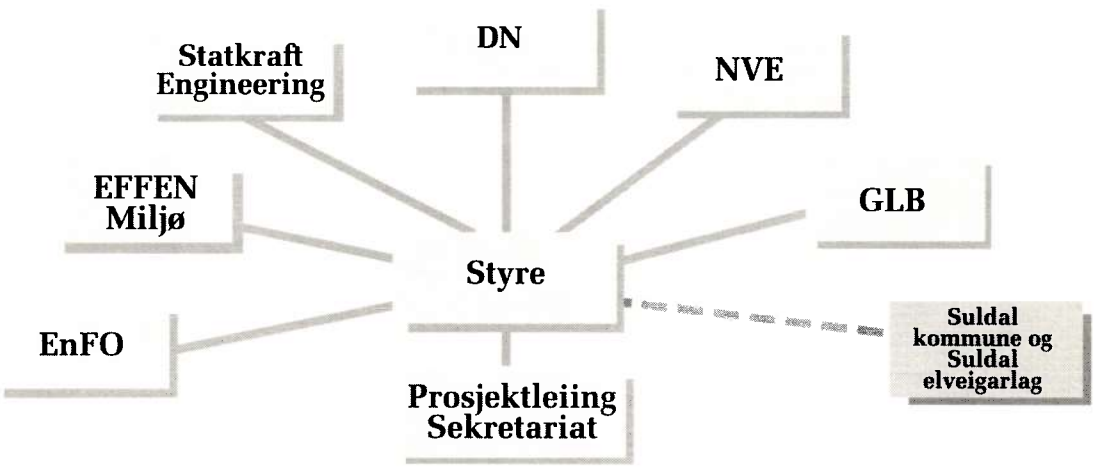
Lakseforsterkingsprosjektet i Suldalslågen fase II er knytt til manøvreringsreglementet for Suldalslågen som blei vedteke av Kronprinsregenten i Statsråd 22. juni 1990. Reglementet er eit prøvereglement som opphavleg hadde ei funksjonstid på 5 år, men som er forlenga.

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 enerigiverk (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 24

TITTEL:
BLANDINGSFORHOLDENE I SULDALSLÅGEN MELLOM SURT OG "NØYTRALT" VANN

FORFATTER: ÅNUND S. KVAMBEKK

INSTITUSJON: NVE

EKSTRAKT:
Blandingsforholdet i Suldalslågen mellom surt og "nøytralt" vann har blitt vurdert ut fra tre situasjoner: Uregulert, Regulert av Røldal-Suldal (RSK), Regulert med både RSK og Ulla-Førre (U-F). I flomepisoder er det er antatt at vann fra sidebekker til Suldalslågen og Suldalsvatn er surt, mens "gammelt" innsjøvann er "nøytralt". Ved hjelp av avrenningsdata er blandingsforholdet beregnet for vintersesongene (15/12-30/4) i perioden 1989-94. Når en tar hensyn til at dette var en periode preget av mye nedbør, kan en konkludere med at andelen surt vann ikke i nevneverdig grad ville overstige 80 % ved uregulert, 65 % ved RSK og 93 % ved U-F. Ved en kombinasjon av ekstrem lavvannføring (3 m^3/s) og påfølgende brått mildvær med mye regn, kan det tenkes situasjoner (trolig flere hundreårs intervaller) hvor blandingsforholdet også når 90% ved uregulert. Snøens evne til å fange opp og forsinke avrenningen vil være en faktor som motvirker den tenkte brå overgangen fra lav til høy vannføring. Videre vil blandingsforholdet overskride 40% i 6-11 døgn pr vintersesong ved uregulert og 2-4 døgn ved RSK. Ved U-F overskrides 80% i 3-4 døgn pr vintersesong og 90% i et halvt døgn.

ABSTRACT:
The mixing conditions in the river Suldalslågen between acid and "neutral" water have been examined for three alternatives: Unregulated, Regulated with the Røldal-Suldal scheme (RSK), Regulated with both RSK and the Ulla-Førre scheme (U-F). It is assumed that tributaries to the lake Suldalsvatn and the river Suldalslågen are acid in flood-periods, while "old" water in the lake is "neutral". The mixing ratio has been calculated from discharge data for the winter seasons (15 Dec-30 Apr) for the period 1989-94. Taking into account that this was a period characterised by high precipitation, we may conclude that the mixing ratio for unregulated will exceed 40% (i.e. 40% of the water is acid) in 6-11 days per winter season, and 2-4 days for RSK. The mixing ratio almost never exceeds 80% for unregulated and 65% for RSK. At U-F 80% will be exceeded for 3-4 days per winter season and 90% for approximately half a day. Unregulated, an extremely low discharge period followed by a sudden change to mild and wet weather might lead to mixing ratios at 90%. However, the snows' capability to capture and delay the water discharge will prevent a sudden change from low to high discharges. Such an event would probably have a return period larger than 100 year.

EMNEORD: SULDALSLÅGEN, VANNFØRING, VANNKVALITET, BLANDINGSFORHOLD

Høvik, Mai 1996

Prosjektleder: Jakob Kraasa

ISBN 82 -554-0526-7
ISSN 0806-3729

INNHOLD

SAMMENDRAG 4

FORKORTELSER 5

INNLEDNING 7

TIDSSERIENE 9
RSK-området (E-feltet) 9
Suldalslågen restfelt (A-feltet) 11
Uregulert nedbørfelt til Suldalsvatnet (C-feltet) 12
Nedbørfelt til Suldalsvatnet regulert ved U-F (D-feltet) 13
Vannføring ut av Suldalsvatnet 13
Vannføringen ved Lavika 14

SULDALSVATNET NEDENFOR SULDALSPORTEN 14
Dimensjoner 14
Blanding av vannmassene 14
Modellering og Rhodaminforsøk 16

BLANDINGSFORHOLDENE I SULDALSLÅGEN 23
Beregnet ved utløpet i fjorden 1989-94 23
Sannsynlighet for ekstreme blandingsforhold 29

LITTERATUR 31

VEDLEGG A. "ROUTING" DETALJER 32

SAMMENDRAG

Blandingsforholdene i Suldalslågen mellom surt og nøytralt vann har blitt vurdert ut fra de tre reguleringssituasjonene:

- Uregulert
- Regulering av Røldal/Suldal (RSK)
- Regulering med RSK og Ulla-Førre (U-F)

Ved hjelp av avrenningsdata har blandingsforholdene blitt beregnet for de tre reguleringsalternativene for vintersesongene (15/12-30/4) i perioden 1989-94. Tidsintervallet i beregningene var 4 timer.

Ved uregulert var blandingsforholdet i snitt over 40% (dvs. 40% av vannet var surt) i bare 6-11 døgn pr. vintersesong, og ved RSK i bare 2-4 døgn. Blandingsforholdet var aldri over 80% for uregulert eller 65% for RSK. Ved U-F var det derimot langt høyere blandingsforhold. 80% ble overskredet i gjennomsnittelig 6-8 døgn pr. vintersesong. 90% forekom i underkant av ett døgn pr. sesong og blandingsforholdene ble beregnet helt opp til 93-95%. Resultatene var i godt samsvar med det som tidligere er funnet av andre fra andre perioder.

Da perioden 1989-94 var preget av unormalt mye nedbør viste et studie av de "normale" årene 1990/91 og 1993/94 at 80% ble overskredet i 3-4 døgn pr. vintersesong, og 90% i 0.25 døgn døgn pr. vintersesong. Som et langtidsmiddel kan en derfor anslå at 80% vil bli overskredet i 5 døgn pr. vintersesong og 90% i et halvt døgn pr. vintersesong. Det var ubetydelige endringer for RSK og uregulert.

Fra modellering og observerte temperatursjiktninger finner en at vannmassene i Suldalsvatnet nedstrøms Suldalsporten ("Tarmen") stort sett er godt blandet. Dette sammen med god innblanding ved Osvadet dam gjør at det er lite sannsynlig at et surt bidrag fra sidebekkene kan legge seg på toppen av innsjøvannet og nå Suldalslågen raskt og konsentrert. Blandingsforholdene ved Suldalsosen kan i perioder komme opp i 10-20% ved uregulert eller RSK, og 50-70% under U-F.

Blandingsforhold i Suldalslågen passerer altså 90% i korte perioder. Et lignende blandingsforhold for uregulert eller RSK synes svært lite sannsynlig. Ved en kombinasjon av ekstrem lavvannføring (3 m^3/s) og brått mildvær med mye regn kan det tenkes situasjoner hvor blandingsforholdet når 90%. Snøens evne til å fange opp og forsinke avrenningen vil være en faktor som motvirker den tenkte brå overgangen fra lav til høy vannføring. Bortsett fra ekstreme hendelser (trolig flere hundreårsintervaller) vil derfor blandingsforholdet ikke overstige 80% i nevneverdig grad for uregulert, og under RSK vil den neppe nå særlig over 70%.

FORKORTELSER

A = A-feltet. Nedbørfeltet nedenfor Suldalsvatnet. Også kalt Restfeltet.
A_F = Vannføring i Fossåna, et delområde av A-feltet
A_{RSK} = Vannføring fra A-feltet etter RSK-utbyggingen
A_{UF} = Vannføring fra A-feltet etter RSK- og U-F-utbyggingene
A_{UR} = Uregulert vannføring fra A-feltet
$B_{UF\text{-}SP}$ = Spill fra Mosvatnet (B-feltet) etter U-F-utbyggingen
B_{UR} = Uregulert vannføring fra B-feltet (Mosvatnet)
$Bl_{RSK\text{-}1}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 1 ved RSK.
$Bl_{UF\text{-}1}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 1 ved RSK og U-F.
$Bl_{UR\text{-}1}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 1 ved uregulert.
$Bl_{RSK\text{-}2}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 2 ved RSK.
$Bl_{UF\text{-}2}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 2 ved RSK og U-F.
$Bl_{UR\text{-}2}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 2 ved uregulert.
$Bl_{RSK\text{-}3}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 3 ved RSK.
$Bl_{UF\text{-}3}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 3 ved RSK og U-F.
$Bl_{UR\text{-}3}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 3 ved uregulert.
$Bl_{RSK\text{-}4}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 4 ved RSK.
$Bl_{UF\text{-}4}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 4 ved RSK og U-F.
$Bl_{UR\text{-}4}$ = Blandingsforhold ved Lavika etter blandingsmodell 4 ved uregulert.
$Bo_{RSK\text{-}1}$ = Blandingsforhold ved Suldalsosen etter blandingsmodell 1 ved RSK.
$Bo_{UF\text{-}1}$ = Blandingsforhold ved Suldalsosen etter blandingsmodell 1 ved RSK og U-F.
$Bo_{UR\text{-}1}$ = Blandingsforhold ved Suldalsosen etter blandingsmodell 1 ved uregulert.
$Bo_{RSK\text{-}2}$ = Blandingsforhold ved Suldalsosen etter blandingsmodell 2 ved RSK.
$Bo_{UF\text{-}2}$ = Blandingsforhold ved Suldalsosen etter blandingsmodell 2 ved RSK og U-F.
$Bo_{UR\text{-}2}$ = Blandingsforhold ved Suldalsosen etter blandingsmodell 2 ved uregulert.
$Bo_{RSK\text{-}3}$ = Blandingsforhold ved Suldalsosen etter blandingsmodell 3 ved RSK.
$Bo_{UF\text{-}3}$ = Blandingsforhold ved Suldalsosen etter blandingsmodell 3 ved RSK og U-F.
$Bo_{UR\text{-}3}$ = Blandingsforhold ved Suldalsosen etter blandingsmodell 3 ved uregulert.
D = D-feltet. Nedbørfeltet til Suldalsvatnet regulert av U-F
D_{SP} = Spill fra U-F til Suldalsvatnet.
E = E-feltet. Nedbørfeltet til Suldalsvatnet regulert av RSK
E_N = E-feltet nedenfor Røldalsvatnet
$E_{N\text{-}UR}$ = Uregulert vannføring fra E_N
E_O = E-feltet ovenfor Røldalsvatnet

$E_{O\text{-}UR}$ = Uregulert vannføring fra E_O
E_{RSK} = Vannføring fra E-feltet etter RSK-utbyggingen
E_{RSK1} = Målt vannføring i kraftverk 1 ved RSK
$E_{RSK1\text{-}SP}$ = Målt spill fra kraftverk 1 ved RSK
E_{RSK2} = Målt vannføring i kraftverk 2 ved RSK
$E_{RSK2\text{-}SP}$ = Målt spill fra kraftverk 2 ved RSK
E_{UR} = Uregulert vannføring fra E-feltet
Hy = Målt vannføring i Hylen kraftverk
Kv = Målt vannføring i Kvilldal kraftverk
La = Målt vannføring ved Lavika (nær utløpet i fjorden)
La_{UR} = Beregnet vannføring ved uregulert vassdrag
La_{RSK} = Beregnet vannføring etter RSK
La_{UF} = Beregnet vannføring etter RSK og U-F utbyggingene
So_{RSK} = Beregnet vannføring ved Suldalsosen etter RSK-utbyggingen
So_{UR} = Uregulert beregnet vannføring ved Suldalsosen
So_{4RSK} = So_{RSK} tidsforskjøvet frem 4 timer for å simulere ankomst Lavika
So_{4UR} = So_{UR} tidsforskjøvet frem 4 timer for å simulere ankomst Lavika
St = Målt vannføring ved Stråpa (rett nedenfor Suldalsvatnet)
St_4 = St tidsforskjøvet frem 4 timer for å simulere ankomst Lavika
Ts = Tilløp til Suldalsvatnet
ΔSv = Magasinendring i Suldalsvatnet
ΔV_A = Blandingsforhold i sidebekkene til Suldalslågen
$\Delta V_{A\text{-}UF}$ = Blandingsforhold i sidebekkene til Suldalslågen ved U-F
$\Delta V_{A\text{-}UR}$ = Blandingsforhold i sidebekkene til Suldalslågen ved uregulert
ΔV_T = Blandingsforhold i sidebekkene til tarmen

INNLEDNING

Etter Ulla-Førre-utbyggingen har det ved flere anledninger blitt målt lave Ph-verdier i Suldalslågen om vinteren. En mener dette skyldes et komplisert samspill mellom sur nedbør, berggrunnen og vannets ulike transporttider. Om vinteren akkumuleres nedbøren vanligvis som snø. Ved kraftig regnvær vil snøen smelte, og de sure komponentene har en tendens til å vaskes ut først. En kan altså oppleve at svært surt vann kommer ned fjellsidene. Bergartene i området er granittiske bergarter som i liten grad nøytraliserer vannet og kan gi fra seg toksisk aluminium. Samtidig gir det grunne jordsmonnet korte transporttider ned til dalbunnen. Det sure vannet når altså hovedelva raskt og med nesten uforandret surhet.

Suldalsvatnet virker som en buffer som både forsinker flomtoppen, og som blander det sure støtet med vannmasser med mer normal surhet. Ovenfor Suldalsporten vil det sure støtet bare bidra til en svak økning i surheten i Suldalsvatnet. Nedenfor Suldalsporten (her kalt "Tarmen") er vannet grunt og smalt med et gjennomsnittelig dyp på omtrent 20 m. Sidebekkene til "Tarmen" kan derfor nå Suldalslågen som et surt støt, særlig hvis temperatursjiktningen gjør at det sure vannet legger seg på toppen av det "gamle" innsjøvannet, og dermed transporteres raskt til Suldalsoset.

Vannet i Suldalslågens restfelt (A i Fig. 1) når Suldalslågen uten å renne gjennom noen magasiner. Det vil derfor kunne komme med raske og sure støt.

Da Suldalsvatnet forsinker vannføringsøkningen ved starten av en flomperiode, vil vannet fra "Tarmen" og Restfeltet dominere vannstandsøkningen i Suldalslågen i de første timene . En spør seg så om reguleringene av Røldal/Suldal (RSK) og Ulla-Førre (U-F) har endret blandingsforholdet mellom dette vannet og det mindre sure vannet fra Suldalsvatnet.

Det har tidligere vært skrevet flere rapporter om forholdene, hovedsakelig konsentrert rundt flomsituasjoner. Denne rapporten er ment å samle de viktigste konklusjonene fra disse arbeidene. I tillegg vil det legges vekt på forholdene ved mer normale vannføringer. Målte vannføringer i perioden 1989-1994 vil bli brukt til å gjenskape blandingsforholdene slik de ville vært ved følgende reguleringer:

- Uregulert
- Regulert med RSK
- Regulert med RSK og U-F

De beregnete tidsseriene vil da være fra samme periode, noe som forbedrer sammenligningen.

HØYDEFORDELING SULDALSLÅGEN

Høyde-intervall m.oh.	A	B	C	D	E	B+F+G
	km2					
0 - 300	46	-	75	-	-	-
3 - 600	49	6	82	2	24	14
6 - 900	32	17	122	34	104	105
9 - 1200	8	1	79	78	295	482
> 1200	-	-	-	40	374	98
Sum	135	23	358	153	796	699

A: Uregulert restfelt Suldalslågen
B: Mosvatn-feltet, overført til Blåsjø
C: Uregulert restfelt Suldalsvatn
D: Regulert felt Suldalsvatn, Ulla-Førre
E: Regulert felt Suldalsvatn, RSK
B, F, G: Blåsjø med overføringer

Sum A-E: Naturlig felt Suldalslågen
Sum C-E: Naturlig felt Suldalsvatn

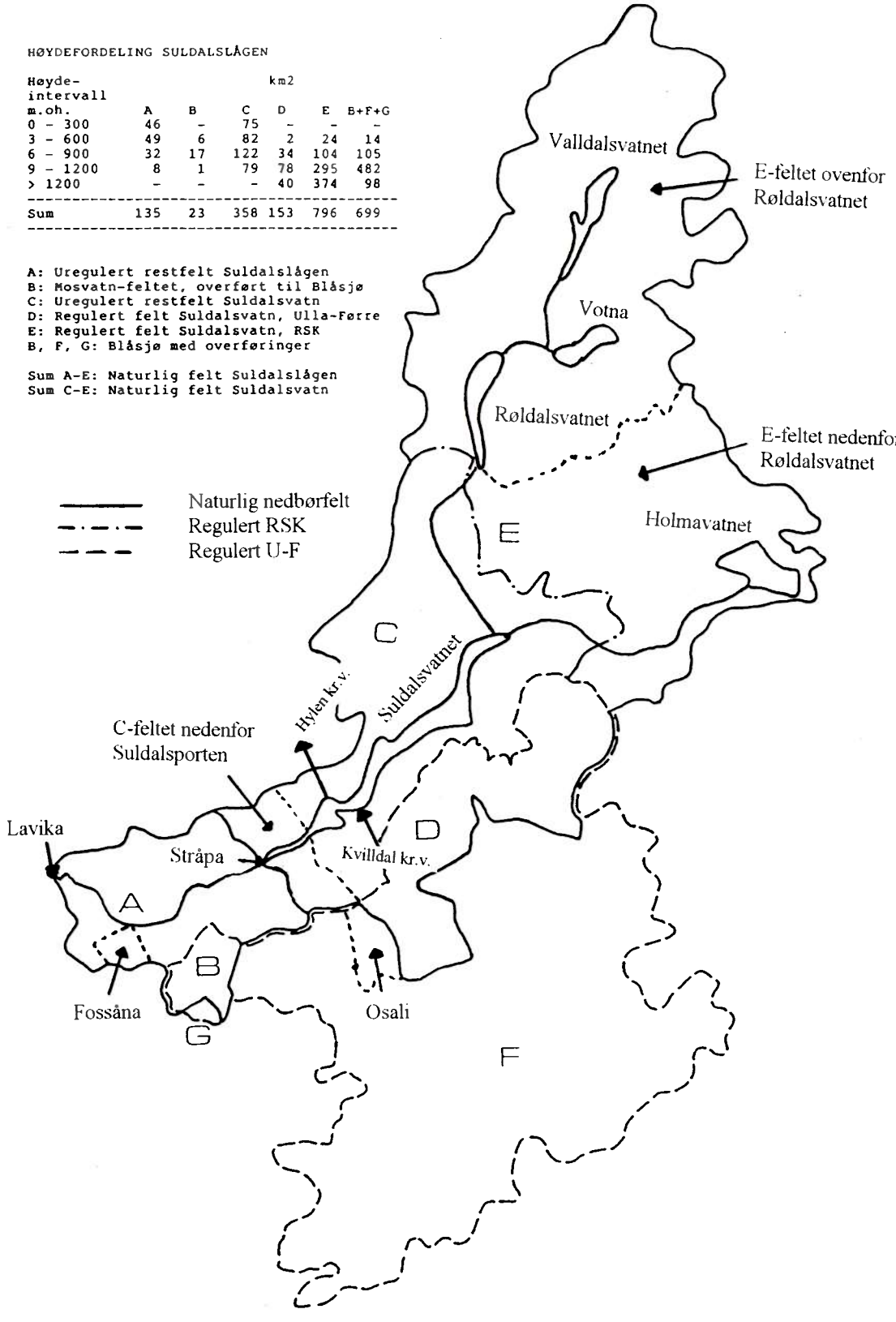


Fig. 1 Skisse som viser fordelingen av feltene samt stedsnavnene som brukes i teksten.

TIDSSERIENE

For perioden 1. januar 1989 til 5. januar 1995 var datagrunnlaget:

- Vannføring ved Osali (Timesverdier)
- Driftsvannføring og spill ved RSK (Døgnverdier)
- Driftsvannføring Hylen og Kvilldal (Døgnverdier)
- Spill til Suldalsvatnet fra U-F (Døgnverdier)
- Spill fra Mosvatnet til Suldalslågen (Døgnverdier)
- Vannføring Stråpa og Lavika (Timesverdier)
- Vannføring Fossåna (Døgnverdier)
- Vannstand i de største magasinene i RSK (Døgnverdier)

Alle døgndataene ble gitt tidspunktet 07.00 frem til og med 1992, deretter ble de satt til kl. 00.00 (endret observasjonstidspunkt). Det ble så interpolert til 4 timers verdier for alle datasettene. Fremgangsmåten var i grove trekk den samme som Steinar Myrabø brukte (Myrabø, 1991), men tidsoppløsningen var her 4 timer mot Myrabøs døgnverdier. Den forfinete tidsoppløsningen ble først og fremst gjort for å få bedre nøyaktighet på "routingen" gjennom magasinene, men det var også ønskelig å se på korttids-variasjoner i blandingsforholdet da en har timesmålinger ved Stråpa og Lavika.

RSK-området (E-feltet)

Osali (Os) ble valgt som skaleringsstasjon for hele E-feltet da det er en stasjon som har hatt god kvalitet på målingene. Ulempen er at det er en stasjon med lite nedbørfelt, og en skalering til et større område vil da ofte gi overdrevne flomtopper. Transporten gjennom både Røldalsvatnet og Suldalsvatnet vil glatte ut flomtoppene noe. Den store forsinkelsen i Suldalsvatnet gjør at blandingsforholdet ved uregulert eller RSK er størst før flomtoppen kommer ut av Suldalsvatnet. Størrelsen på flomtoppen er altså ikke avgjørende for de konklusjoner som trekkes her. Osali anses derfor for å være en bra stasjon til vårt formål.

Det forelå timesverdier for Osali (HYKVAL), men disse dataene var ikke isredusert, og det var enkelte hull i tidsserien. Det forelå også en isredusert og interpolert døgndatafil (HYDAG). Interpolasjonen er der foretatt vha. nærliggende målestasjoner. For å få en fornuftig tidsserie ble dataene behandlet som følger:

- Satte inn døgnmidler fra isredusert fil (kl. 12.00) hvor data manglet.
- Interpolerte til 4-timers verdier.
- Beregnet døgnmidler fra 4-timers tidsserien.
- Beregnet forholdstallet mellom de to døgnmiddelseriene.

- Korrigerte 4-timers dataene i hvert døgn vha. forholdstallet slik at døgnmiddelet i 4-timers tidsserien tilsvarte døgnmiddelet i den isreduserte filen på HYDAG.

E-feltet ble delt inn i områdene ovenfor (E_O) og nedenfor (E_N) Røldalsvatnet. Det ble bare skalert på areal, så faktorene var henholdsvis 18.80 og 10.96. For å ta litt hensyn til tidsforsinkelse i det forholdsvis store arealet oppstrøms Røldalsvatnet ble det lagt inn en 4-timers tidsforsinkelse på vannet fra E_O. Det ble så "routet" gjennom Røldalsvatnet. Startvannstanden ble satt til 378.83 m (som Myrabø, 1991). Detaljer fra routingen er vist i vedlegg A. En ny 4-timers forsinkelse ble lagt inn for å ta hensyn til transporten ned Stølsåna til Suldalsvatnet. Her ble vannføringen lagt til den skalerte vannføringen fra E_N (ingen tidsforsinkelse). Sammen dannet de forventet vannføring fra E-feltet uten RSK:

$$E_{UR} = E_{O\text{-}UR} + E_{N\text{-}UR} \qquad \textit{Uregulert}$$

For å være sikker på kvaliteten til Osali ble de beregnete dataene for perioden 1. august 1989 til 1. august 1992 samholdt med målte verdier av produksjon og spill ved RSK kraftverkene. 1. august er en tid på året da magasinene ofte er fulle. Tabell 1 viser magasinendringen i denne perioden for de fire største magasinene i RSK-utbyggingen.

Tabell 1. Magasinendringer i de fire største magasinene i RSK-utbyggingen i periode 1. august 1989 til 1. august 1992. Tabellen viser også beregnet og målt vannføring samt forholdstallet mellom dem.

Magasinnavn	**Magasinendring 1/8-1989 til 1/8-1992**	
Holmavatnet	0.00	Mill. m^3
Valldalsvatnet	0.07	Mill. m^3
Røldalsvatnet	-6.33	Mill. m^3
Votna	-5.62	Mill. m^3
SUM	-11.88	Mill. m^3

Beregnet vannføring: 68.60 m^3/s
Målt vannføring: 70.28 m^3/s

Tap i magasiner 11.88 Mill. m^3 over tre år tilsvarer 0.13 m^3/s.

Forholdstall målt/beregnet:
(70.28 - 0.13) / 68.60 = 1.0226

Samlet nedgang i magasinene var 11.88 Mill. m^3, som tilsvarer en vannføring på 0.13 m^3/s over tre år. Når en tar hensyn til at det er flere mindre magasiner som kanskje heller ikke var helt fulle, så finner en et forholdstall mellom målt og beregnet vannføring på 1.022. Osali viser seg altså å være en god skaleringsstasjon. Til tross for den lille forskjellen ble vannføringen beregnet på nytt med de korrigerte forholdstallene 19.21 (E_O) og 11.20 (E_N).

Vannføringen etter RSK-utbyggingen var summen av vannføringene i de to kraftverkene samt spill.

$$E_{RSK} = E_{RSK1} + E_{RSK2} + E_{RSK1\text{-}SP} + E_{RSK2\text{-}SP} \qquad \textit{RSK}$$

Suldalslågen restfelt (A-feltet)

Først ble det laget 4-timers tidsserier for Stråpa (St) og Lavika (La) på samme måte som for Osali. Vannføringen ved Stråpa ble tidsforskjøvet 4 timer (St_4) som er antatt midlere transporttid ned til Lavika nær utløpet i fjorden. Bidraget fra områdene nedstrøms Suldalsosen (Suldalslågen restfelt) ble så beregnet som differansen mellom vannføringen ved Lavika og den tidsforskjøvete vannføringen ved Stråpa. Ved små differanser får måleusikkerheter stor relativ virkning. Ved vannføring under 2 m^3/s ble det heller brukt skalerte vannføringer fra delfeltet Fossåna dersom de fantes.

Fossåna ble satt i drift i 1992 og har et nedbørfelt på 11.1 km^2, og bidrar med omtrent 11% av vannføringen i restfeltet (Holmqvist, 1995a). Målingene i Fossåna er avlest en gang om dagen og er ikke isredusert. Fossåna er ikke blitt kalibrert ved store vannføringer, så det må stilles spørsmåltegn ved målingene i en flomsituasjon (Holmqvist, 1995a). På grunn av transporttiden vil flomtoppene fra sidebekkene nå Lavika til ulike tider, spredt med minst 4 timer. Flomtoppen fra Restfeltet vil derfor bli lavere og vare lengre enn om alle flomtoppene nådde Lavika samtidig. En direkte skalering av Fossåna vil derfor gi en for stor og skarp flomtopp for Restfeltet. Da det ikke forelå data med fin tidsoppløsning ved Fossåna, var det ikke mulig å vurdere hvordan en skulle skalere. Ved lave vannføringer i restfeltet ble likevel Fossåna-dataene foretrukket fremfor differansemetoden. Fossåna-dataene ble interpolert til 4-timers verdier og skalert med 9.09 som tilsvarer de observerte 11% av restfeltet..

Uregulert vannføring for restfeltet ble beregnet som vannføring under Ulla-Førre fratrukket overløp fra Mosvatnet (B-feltet) og addert med uregulert avrenning fra B-feltet. Uregulert avrenning fra B-feltet ble funnet ved å skalere Osali med 1.02, dvs. etter areal.

$$A_{UF} = \begin{cases} La - St_4 & \text{når } (La\text{-}St_4) \geq 2\ m^3/s \\ A_F \cdot 9.09 & \text{når } (La\text{-}St_4) < 2\ m^3/s \end{cases} \qquad \textit{U-F}$$

$$A_{UR} = A_{UF} - B_{UF\text{-}SP} + B_{UR} = A_{UF} - B_{UF\text{-}SP} + (Os * 1.02) \qquad \textit{Uregulert}$$

$$A_{RSK} = A_{UR} \qquad \textit{RSK}$$

Uregulert nedbørfelt til Suldalsvatnet (C-feltet)

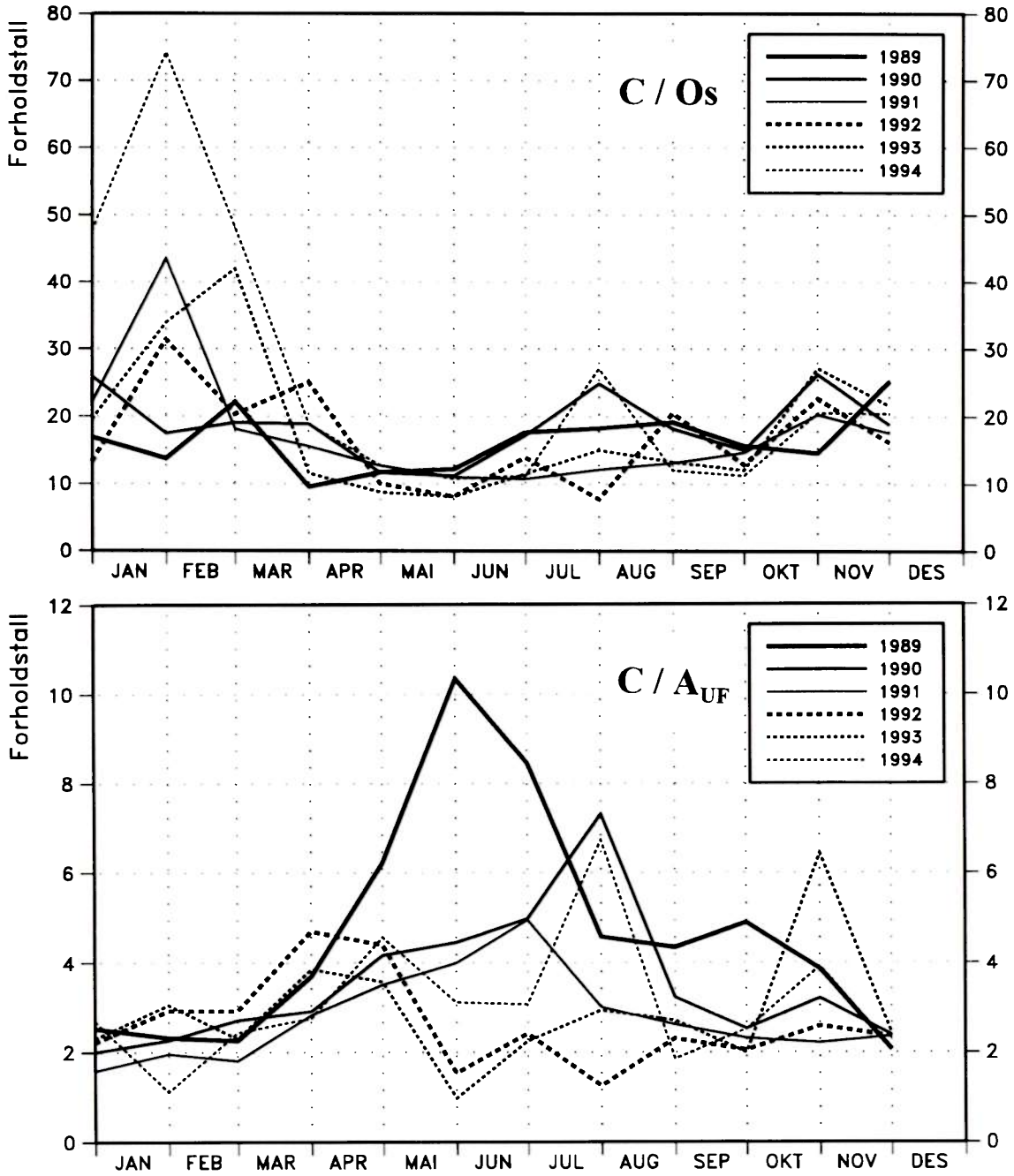


Fig. 2 Forholdene mellom månedsmidlene i avrenning for C-feltet og Osali (øverst) samt forholdet mellom C-feltet og Suldalslågens restfelt regulert ved U-F (A_{UF}) (nederst).

Fra målte vannstander og magasintabellen (se vedlegg A) ble magasinendringene i Suldalsvatnet (ΔSv) beregnet. Tilløpet (Ts) ble så beregnet fra magasinendringene og målt avløp (Stråpa) . Det uregulerte C-feltet ble så beregnet som den ukjente resten når alle de målte størrelsene var regnet med. Målingene omfattet RSK-kraftverkene (E_{RSK}), Hylen

kraftverk (Hy), Kvilldal kraftverk (Kv) og spill fra U-F utbyggingen (D_{SP})

$Ts = \Delta Sv + St$
$C = Ts - Kv - E_{RSK} - D_{SP} + Hy$

Differanser av så mange målinger må nødvendigvis gi støy i dataene ved høy tidsoppløsning, men månedsmiddelet forventes å ha god nøyaktighet. C-feltet dekker store vertikale høydeforskjeller. Det har områder som ligner mest på A-feltet, men også områder som ligner på høyereliggende Osali. Fig. 2 viser forholdet mellom månedsmidler for C/Os og C/A_{UF}. En ser der at avrenningen ligner mest på A-feltet om vinteren (mildvær i lavere strøk) og mest på Osali om sommeren (snøsmelting). Som et kompromiss ble det valgt å veie de like tungt. En ny tidsserie for C-feltet ble så dannet slik at månedsmiddelet ble opprettholdt:

$$C = (Os \cdot (\mathbf{C/Os}) + A_{UF} \cdot (\mathbf{C/A_{UF}})) / 2$$

der fete typer angir månedsmidler.Sideelvene nedenfor Suldalsporten har spesiell interesse da de har relativ kort transporttid ned til Suldalslågen. Her omtales dette området som "Tarmen". Det antas at avrenningen er lik for dette området som for resten av C-feltet. Avrenningen fra "Tarmen" (C_T) blir da som C-feltet skalert med 0.1.

$$C_T = C \cdot 0.1$$

Nedbørfelt til Suldalsvatnet regulert ved U-F (D-feltet)

Det fraførte feltet D (Kvildalsåna og Mostøl) ble skalert på areal fra Osali. Skaleringsfaktoren var 6.79.

Vannføring ut av Suldalsvatnet

Vannføringen ut av Suldalsvatnet (Suldalsosen) ved uregulert (So_{UR}) og ved RSK-regulering alene (So_{RSK}) ble beregnet ved routing. Vannføringen inn i vannet var:

$C + D + E_{UR}$	*Uregulert*
$C + D + E_{RSK}$	*RSK*

Startvannstanden ble satt til 67.13 m (som Myrabø, 1991). Se vedlegg A for detaljer. Vannføringen ut av Suldalsvatnet ved U-F ble satt lik den målte vannstanden ved Stråpa (St).

Vannføringen ved Lavika

Vannføringen ved Lavika er lik summen av vannføringen ved Suldalsosen og vannføringen fra sideelvene. Vannføringen ved Suldalsosen ble først forskjøvet frem 4 timer for å kompensere for transporttiden ned vassdraget.

$La_{UR} = So_{4UR} + A_{UR}$		*Uregulert*
$La_{RSK} = So_{4RSK} + A_{UR}$		*RSK*
$La_{UF} = St_4 + A_{UF}$		*U-F*

SULDALSVATNET NEDENFOR SULDALSPORTEN

Dimensjoner

Området nedenfor Suldalsporten betegnes her som "Tarmen". Det er en smal og grunn utløper av Suldalsvatnet som ender ved utløpet ved Suldalsosen. Middeldypet er i overkant av 20 m og totalvolumet er 27 Mill. m^3 (Holmqvist,1995b). Til sammenligning har Suldalsvatnet et totalvolum på 4486 Mill. m^3 (NVE, 1984). Avrenningen på døgnbasis fra sidebekkene til "Tarmen" kan under 10-års flommer utgjøre 10-20% av vannvolumet i "Tarmen" (Holmqvist, 1995b). Nedbørfeltet til tarmen er på 35.9 km^2.

Blanding av vannmassene

Ved Suldalsporten blir Suldalsvatnet brått både trangere og grunnere. Vannmasser fra flere dyp blandes godt når de passerer over terskelen, spesielt ved store vannføringer. Vinden i det trange og grunne partiet vil også føre til en god omrøring av vannmassene. På vei mot Suldalsporten vil vann fra sidebekkene kunne føre til nye sjiktninger dersom de har annen tetthet enn innsjøvannet. Før Ulla-Førre utbyggingen var det en anseelig vannstrøm gjennom sundet om vinteren, og vannet fra sidebekkene dominerte i liten grad. Etter utbyggingen har sidebekkene tilsynelatende fått mer innvirkning. Tvede (1991, 1994 og 1996) viser målingene av temperaturvertikaler i Suldalsvatnet. Fra 1992 har vanntemperaturen blitt målt i 11 dyp ovenfor Osvadet dam. Samtidig har temperaturen på vannet som renner ut gjennom dammen blitt målt (Stråpa).

Etter passeringen av Suldalsporten kan lettere vann fra sidebekkene skape sjiktninger i vannmassene. Det vanlige er likevel at vannmassene forblir godt blandet. Loggeren ovenfor Osvadet dam ligger nedenfor alle sidebekkene, og bør måle sjiktningene hvis de finnes. Fig. 3 viser at tynne temperatursjiktninger (mellom 1.1 m og 0.3 m) nesten aldri overstiger 1°C om vinteren , men kan være over 0.5°C i 15% av vinteren. Differansen

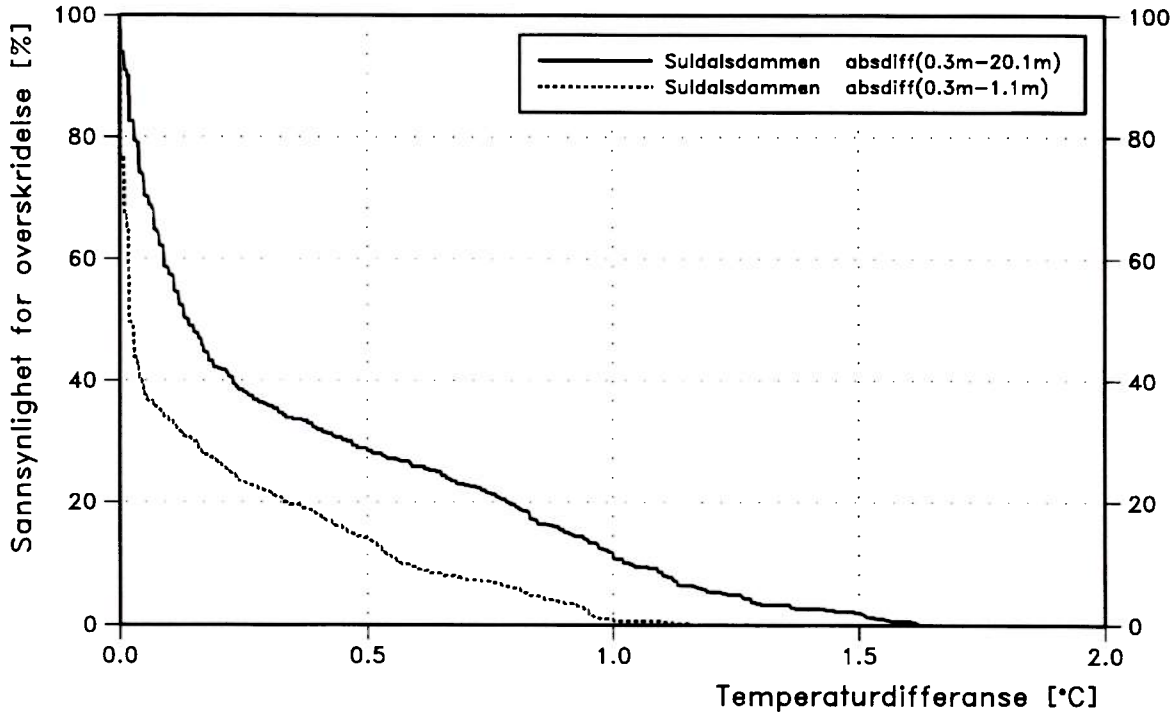


Fig. 3 Sannsynlighet for at absoluttverdien av vanntemperaturdifferansen mellom 0.3 m og 20.1 m samt 0.3 m og 1.1 m skal overskride gitte differanser. Dataene er for Suldalsvatnet ovenfor dammen for vinterperioden 1992-94

mellom 20.1 m og 0.3 m overstiger 1°C i 12% av vinteren, men er aldri over 2°C. Selv om sjiktninger finnes, så er de svake og sjeldne. Tross alt er differansen fra topp til bunn mindre enn 0.3°C i 75% av vintersesongen.
Når en sammenligner temperaturmålingene ovenfor Osvadet dam med vannet som renner ut gjennom dammen (Stråpa) (Fig. 4), så ser en at vannet ut av dammen har en temperatur som mest følger temperaturen i dypet ovenfor dammen. Vannet renner ut av dammen i en kanal i overflaten som når ned til LRV, og som derfor trekker med seg vannmasser fra flere dyp.

Når det gjelder forsurning av vassdraget er det spesielt fokusert på situasjoner hvor vann fra sidebekkene legger seg som et tynt overflatelag, og dermed raskt kan transporteres til Suldalsosen. Disse analysene viser at sjiktninger finnes i 10-15% av vintersesongen, men at det skjer en kraftig innblanding ved utløpet der vannkvaliteten domineres av vannmassene under det tynne overflatesjiktet.

Når tarmen er islagt vil vinden ikke lenger kunne blande vannmassene. Nær isen vil en ha en stabil sjiktning pga. nedkjølingen fra isflaten. Kaldt vann fra sidebekkene kan da legge seg i dette øvre sjiktet. Friksjon fra isen vil øke transporttiden for de øvre vannmassene. Sannsynligvis vil bekkevannet nå dammen med høyere konsentrasjon enn uten is, men det

vil gå lengre tid, og fortsatt vil det skje en innblanding ved utløpet. Det foreligger ingen systematiske målinger av isen i "Tarmen", men fra reiserapporter kan en se at "Tarmen" er åpen i milde vintre og islagt i kalde vintre.

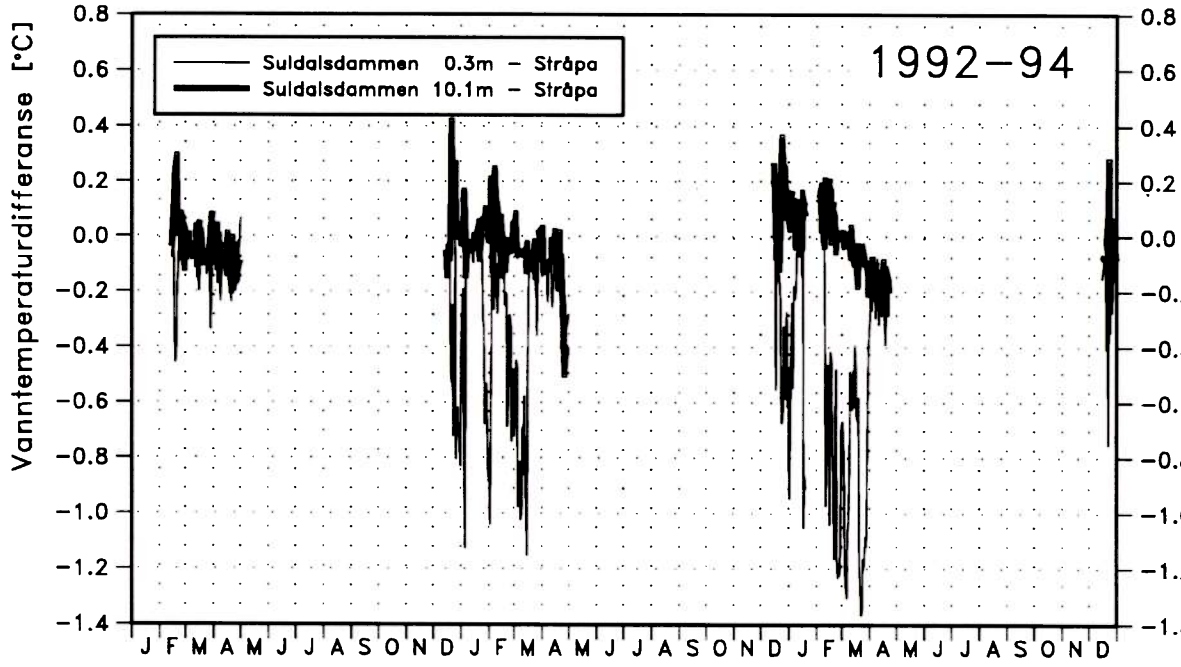


Fig. 4 Vanntemperaturdifferanser mellom Suldalsvatnet ovenfor dammen og vannet ut av dammen (Stråpa). Differansene er vist for dypene 0.3 m og 10.1 m for vinterperiodene 1992-94.

Modellering og Rhodaminforsøk

Blandingsforholdene i "Tarmen" er blitt modellert vha. modelleringsverktøyet FIDAP (Ellingsen 1994,1996). Det er også foretatt fire rhodaminutslipp fra Vekaåna som ligger omtrent 1.5 km ovenfor dammen. (Holmqvist, 1995c). Rhodaminutslippene ble foretatt under forhold hvor bekkevannet var lettere, og derfor hadde mulighet til å legge seg på toppen av innsjøvannet. Målinger av konsentrasjonen ved utløpet viste at bekkevannet likevel ble godt blandet inn med innsjøvannet på vei fra Vekaåna til Suldalsoset. Vannføringen ved utslippene varierte fra 0.1-1.5 m^3/s i Vekaåna, og vannføringen ut av Suldalsvatnet var 12 m^3/s under de tre vinterutslippene og 35 m^3/s under juni-utslippet. Transporttidene om vinteren var 1-2 døgn, mens det bare tok 4 timer i juni. Transporttidene som ble målt var atskillig kortere enn de som ble simulert av Ellingsen i 1994.

Ny og forbedret modellering (Ellingsen, 1996) gir derimot omtrent de samme transporttidene. Også Ellingsen fant at vannet var godt blandet når det nådde Suldalsosen. Ved uregulert eller RSK vil utslipp fra Vekaåna (bekk 1) nå dammen etter omtrent 5 timer med topp etter 15-22 timer. Konsentrasjonen når 15-20%. De to andre bekkene i "Tarmen" (bekk 2 og 3) ligger nærmere Suldalsporten og vil komme etter 1-2 døgn med topp etter 5-7 døgn. Trolig vil de ikke ta igjen pulsen fra bekk1. Konsentrasjonen ved dammen kan da nå opp i nesten 10%. For Bekk 2 og 3 vil trolig RSK gå litt raskere og uregulert litt langsommere da flomvannføringen vil være henholdsvis høyere eller lavere enn simulert de første døgnene. Ved uregulert vil også noe vann renne ut Suldalsporten den første tiden.

Etter Ulla-Førre utbyggingen vil den første pulsen fra bekk 1 nå frem etter omtrent ett døgn, men toppen nås atskillig senere, etter 7-8 døgn med konsentrasjon på 50-55%. De andre bekkene vil tildels renne nordøstover gjennom Suldalsporten, så vann derfra vil ta flere uker før det når frem til Suldalsosen.

Ellingsen (1996) simulerte også med en svak medvind av størrelsesorden 3.5 m/s, men fant ingen vesentlige endringer i transporttiden.

Vannføringene fra sidebekkene som ble brukt i simuleringene A-D kuliminerte ved:

- 50 m^3/s 12-timers verdi *U-F*
- 80 m^3/s 2-timers verdi *RSK og uregulert*

De beregnete 4-timers verdiene fra sidebekkene om vinteren for perioden 1989-1994 hadde maksimum på 46 m3/s. 36 m3/s eller mer ble gjennomsnittelig funnet bare en gang pr. sesong. Selv om forholdet mellom momentan og døgnmidler kan være rundt 2.0 (Holmqvist, 1995b), må en si at vannføringene er unormalt høye. Vannføringene ut av "Tarmen" er derimot innenfor det en finner i mange flomsituasjoner. Videre simulerte Ellingsen med en temperaturdifferanse i de øverste 3 m på hele 3.5°C mens det aldri ble observert differanser på over 1.5°C om vinteren i perioden 1992-94. Ellingsens resultater gjenspeiler altså ekstremt gunstige situasjoner for påvirkning fra sidebekkene. Vanligvis vil en altså finne lavere konsentrasjoner enn simulert, både pga. lavere vannføring og svakere sjiktning.

Det viktigste resultatet av simuleringen synes å være at den bekrefter at vannmassene blandes godt, og at raske støt i form av et tynt konsentert overflatelag synes lite sannsynlig. Videre kvantifiseres blandingsforholdet ved flere ekstreme situasjoner.

I naturen har en gjerne lengre perioder preget av mye nedbør. Innen bekk 2 og 3 når Suldalsosen har ny nedbør gitt bidrag i bekk 1 igjen. Bekkene 2 og 3 vil derfor ha mest effekt på å sette midlere blandingsforhold i "Tarmen", mens bekk 1 er den eneste som kan

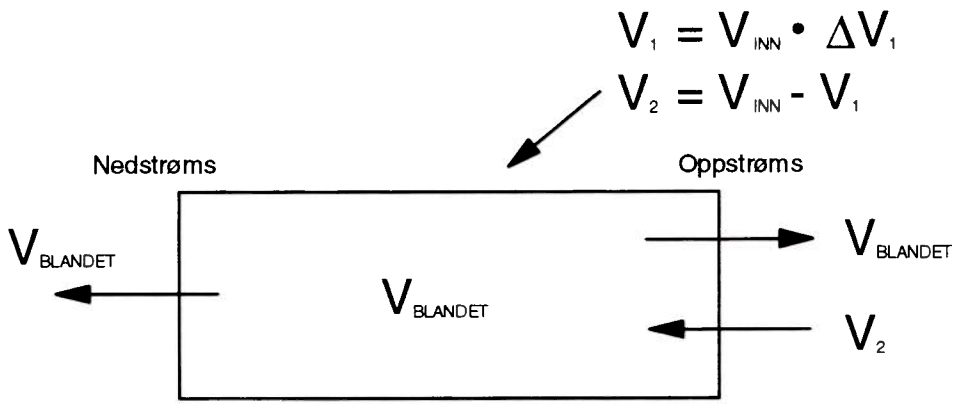


Fig. 5 Skisse av blandingsforholdmodellen for "Tarmen". "Nedstrøms" tilsvarer Suldalsoset og "Oppstrøms" tilsvarer Suldalsporten.
V_1 = Surt vann
V_2 = Nøytralt vann
V_{INN} = Vann fra sidebekkene
ΔV = Blandingsforhold mellom surt og nøytralt vann i bekkene
$V_{BLANDET}$ = Blandet vann i "Tarmen"

skape sure støt av betydning. Når en skal gjenskape blandingsforholdet for en lang periode med variabel vannføring er det vanskelig å bruke resultatene fra simuleringene direkte da de rett og slett dekker et for lite spekter av vannføringer. For å få et estimat av blandingsforholdene ved Suldalsosen i perioden 1989-1994 ble det laget en enkel blandingsmodell for "Tarmen". Fig. 5 viser modell skissen.

Modellen antar at det kommer en blanding av surt (V_1) og nøytralt (V_2) vann fra sidebekkene. I "Tarmen" skjer det en fullstendig blanding med innsjøvannet. Vannet som renner ut av tarmen er av typen $V_{BLANDET}$, og vannet som renner inn oppstrøms er nøytralt (V_2). En kjenner til enhver tid hvor mye vann som renner inn fra sidebekkene, blandingsforholdet i sidebekkene, og hvor mye som renner ut nedstrøms. Hvis det blir overskudd av vann vil vann renne ut oppstrøms. Dette vannet antas å være av type $V_{BLANDET}$. Til enhver tid holdes det regnskap over mengden av de to vanntypene V_1 og V_2 som utgjør $V_{BLANDET}$. Det ble også tatt hensyn til vannstandsendringer, men det har liten betydning i en modell med fullstendig blanding. Blandingsforholdet for surt vann (B) er gitt som:

$$B = \text{Volum}(V_1) / (\text{Volum}(V_1) + \text{Volum}(V_2))$$

Det ble simulert med et totalvolum på 27 Mill m^3. Tre typer bidrag med surt vann ble simulert:

1) $\Delta V_T = 0.0$ (bare nøytralt vann).
2) Alt vann fra sidebekkene er surt. $\Delta V_T = 1.0$ konstant.
3) Vannet fra sidebekkene er bare surt ved store vannføringer:
   $\Delta V_T = 1.0$ når vannføringen er større enn månedsmiddelet + 2 m^3/s (bare surt vann).
   $\Delta V_T = 0.0$ når vannføringen er mindre (bare nøytralt vann).

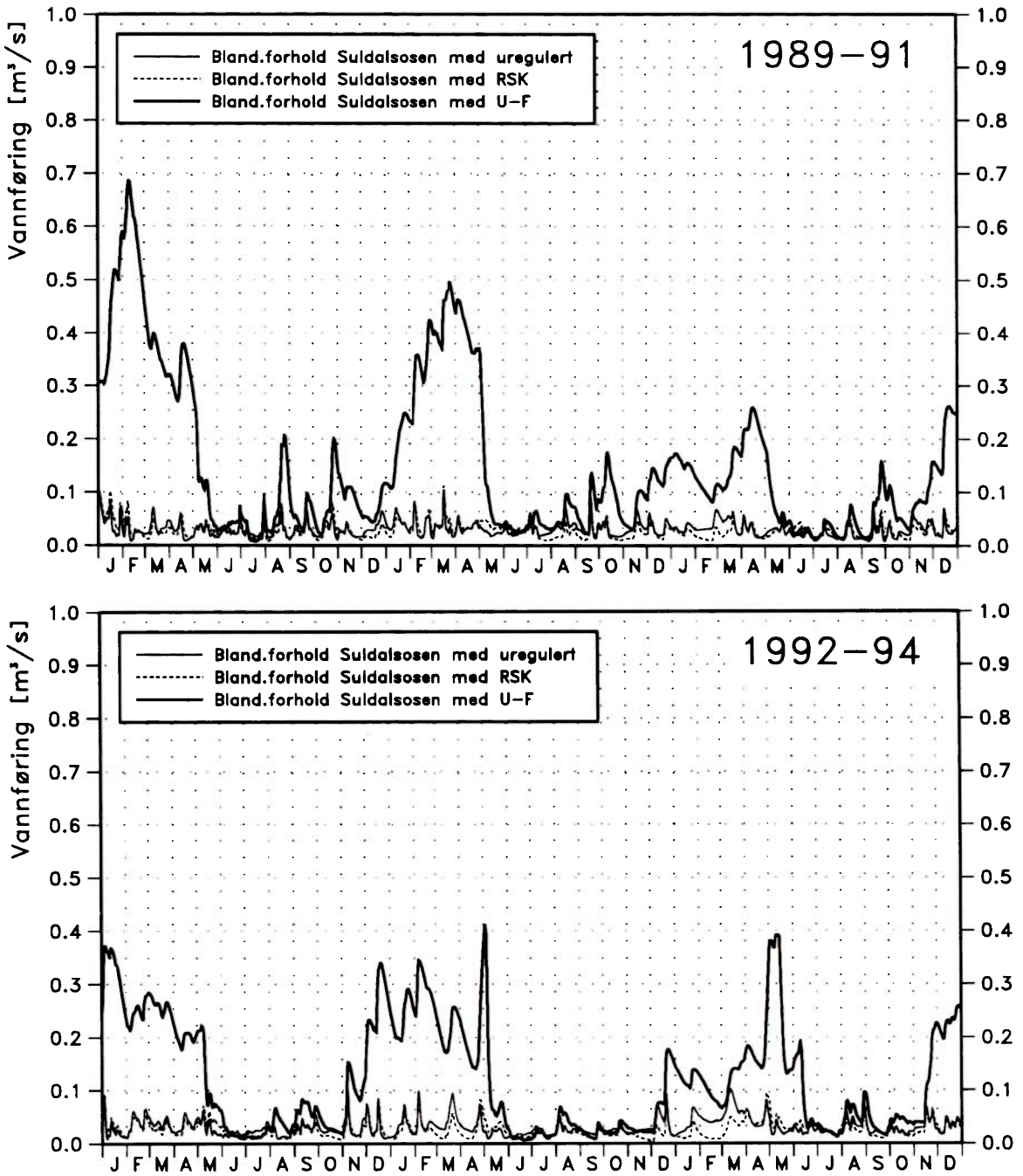


Fig. 6 Blandingsforholdet mellom surt og nøytralt vann ved Suldalsosen beregnet vha. blandingsmodellen med følgende forutsetning (a):
Alt vann fra sidebekkene er surt. $\Delta V = 1.0$ konstant.
Figuren viser resultatene for uregulert, RSK og Ulla-Førre utbyggingene

Blandingsforholdene ved Suldalsosen ble betegnet med:

Bo_{UR-1}, Bo_{UR-2}, Bo_{UR-3} = Uregulert, type 1, 2 og 3.
Bo_{RSK-1}, Bo_{RSK-2}, Bo_{RSK-3} = RSK, type 1, 2 og 3.
Bo_{UF-1}, Bo_{UF-2}, Bo_{UF-3} = RSK og Ulla-Førre, type 1, 2 og 3.

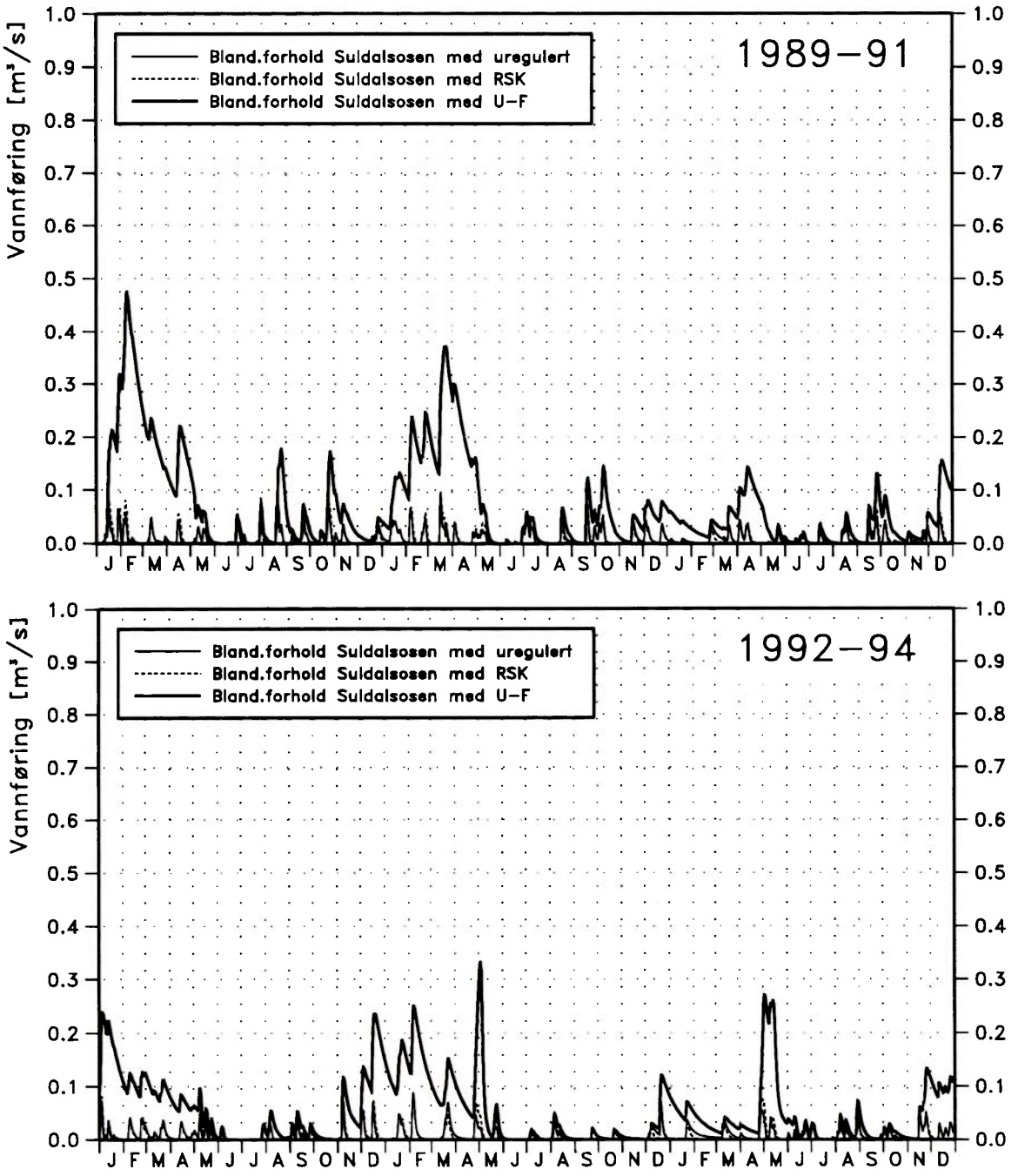


Fig. 7 Blandingsforholdet mellom surt og nøytralt vann ved Suldalsosen beregnet vha. blandingsmodellen med følgende forutsetning (b):

Vannet fra sidebekkene er bare surt ved store vannføringer:
$\Delta V = 1.0$ når vannføringen er større enn månedsmiddelet + 2 m^3/s (bare surt vann).
$\Delta V = 0.0$ når vannføringen er mindre (bare nøytralt vann).
Figuren viser resultatene for uregulert, RSK og Ulla-Førre utbyggingene.

Her anses simulering 3) å være mest fysikalsk korrekt. En tror at de sure støtene kommer i forbindelse med snøsmelting, og da øker også vannføringen til over middelverdien. Type 1) og 2) ble tatt med for å representere ytterpunktene. Type 1) ble strengt tatt ikke simulert da det alltid vil gi blandingsforholdet 0 ved Osen. Fig. 6 og 7 viser resultatene fra type 2) og 3) simulert for de tre reguleringsalternativene. Som en ser har sidebekkene klart mest betydning etter Ulla-Førre utbyggingen. Konsentrasjonene som Ellingsen fant ligger mellom de som fås vha. type 2) og 3), noe som skyldes det overdrevne bidraget av surt vann i type 2) og den overdrevne innblandingen i type 3).

Ph-verdien måles ved Suldalsosen og danner grunnlaget for kalking av Suldalslågen. Fig. 8 viser sammenhengen mellom simulert blandingsforhold ved type 3) og målt Ph-verdi for vintersesongene. Ph-verdiene er ukorrigerte måledata og vil være beheftet med feil. Feilen vil sjelden overstige 0.1, så dataene er bra nok til å skille ut store forandringer. En ser fra figuren at alle store fall i Ph samsvarer med økt blandingsforhold. Videre er det god

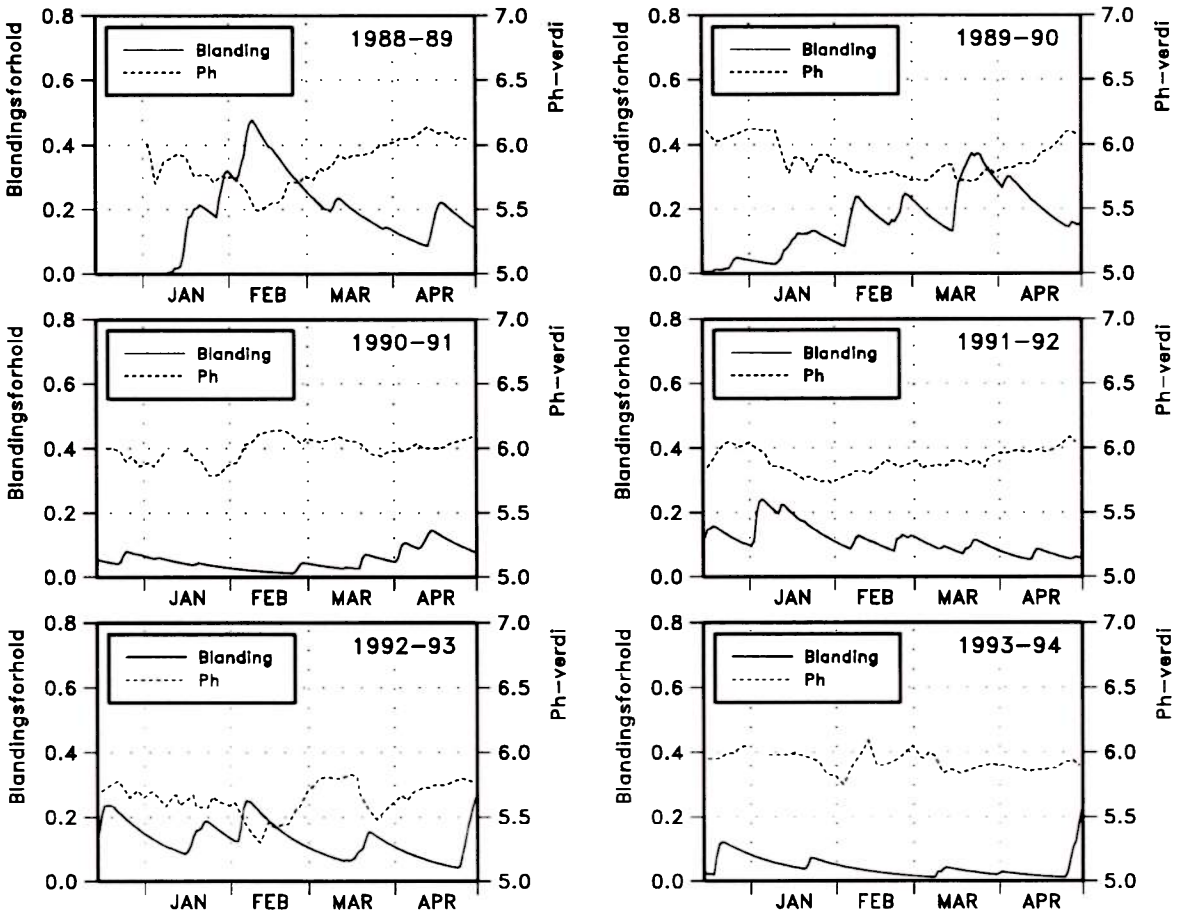


Fig. 8 Sammenhengen mellom simulert blandingsforhold ved type b) og målt Ph-verdi. Ph-verdiene er ukorrigerte måledata og vil være beheftet med feil. Feilen vil sjelden overstige 0.1, så dataene er bra nok til å skille ut store forandringer. Dataene viser bare vintersesongen (15/12-30/4).

sammenheng mellom varigheten på hendelsene. Tidspunktene for ekstrempunktene er derimot noe tidsforskjøvet. Modellen foretar en øyeblikkelig blanding, mens det i virkeligheten tar tid før det sure vannet når Suldalsosen. Fig. 9 viser et detaljstudie av de sure bunnivåene i februar 1989 og februar 1993. En ser der at modellen foregriper begivenhetene med størrelsesorden 2-5 døgn. Det må her bemerkes at Ph-dataene rundt disse hendelsene hadde et måleintervall på 1-3 døgn (se markeringer i Fig. 9). Likevel bruker vi modellresultatene i de videre analysene da den store tregheten i systemet medfører at blandingsforholdet endrer seg lite over denne tiden.

Det generelle nivået på Ph'en varierer fra sesong til sesong uten at tilsvarende endring kan spores i blandingsforholdet (se f.eks. 1991/92 mot 1992/93). Dette har ikke blitt studert nærmere her, men har enten sammenheng med storstilte nedbørsystemer som gir variasjon i surheten i hele området fra år til år, eller med tapping av magasiner med ulik surhet.

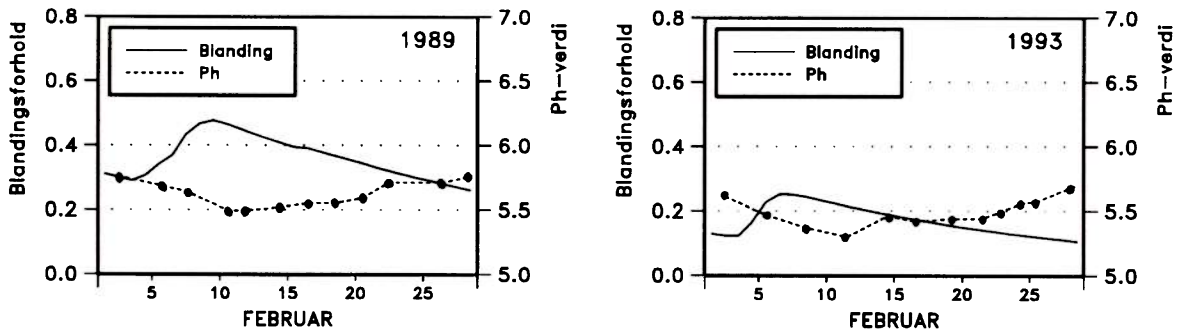


Fig. 9 Sammenhengen mellom simulert blandingsforhold ved type b) og målt Ph-verdi for februar 1989 og 1993. Ph-verdiene er ukorrigerte måledata og vil være beheftet med feil. Feilen vil sjelden overstige 0.1, så dataene er bra nok til å skille ut store forandringer.

Blandingsmodellen vil glatte ut hendelsene, og fanger ikke godt nok opp sure støt fra bekk 1. Tabell 2 sammenligner simuleringer fra blandingsmodellen og Ellingsens resultater (A-D) ved tiden for Ellingsens maksimum. En ser da at blandingsmodellen underestimerer blandingsforholdet ved tiden for det sure støtet. I ettertid kan en se at det kanskje hadde vært bedre å konsentrert arbeidet om nedstrøms bekk 1. Bekk 1 har et nedbørfelt som er omtrent 1/3 av alle sidebekkene, og volumet nedstrøms bekk 1 er omtrent 6/27 av "Tarmens" volum. Dette ville gitt blandingsforhold som var omtrent en halv gang større enn de vi fant ved denne simuleringen, og da ville boksmodellen gitt ekstremer som var svært nær de Ellingsen fant. Det kan også tenkes å bruke modeller med flere bokser etterhverandre.

Siden simuleringene viser at forholdene i "Tarmen" ikke er så kritiske for blandingsforholdene i Suldalslågen, ble simuleringene fra type 2) og 3) brukt. Vi må da regne med en viss underestimering i korte perioder for type 3), og en generell overestimering for type 2). Usikkerheten rundt når det kommer surt eller nøytralt vann fra

sidebekkene vil fortsatt være en usikkerhetsfaktor som ikke er nærmere belyst her.

Tabell 2. Sammenheng av konsentrasjoner mellom boksmodellen og Ellingsen (1996) ved tidspunktene for høyest konsentrasjon fra bekk 1 hos Ellingsen.

HENDELSE	TID ETTER START	KONSENTRASJON	
		Blandings modell	Ellingsen
A (Ulla-Førre)	7-8 døgn	34 %	52 %
B (RSK)	15 timer	8 %	14%
C (Uregulert, normal vannføring)	18 timer	10 %	18%
D (Uregulert, lav vannføring)	22 timer	11 %	20%

BLANDINGSFORHOLDENE I SULDALSLÅGEN

Beregnet ved utløpet i fjorden 1989-94

Blandingsforholdene ved Lavika mellom surt og nøytralt vann ble beregnet etter fire tenkte tilfeller:

1) Alt vann fra Restfeltet er surt (ΔV_A=1.0). Fra Suldalsosen kommer bare nøytralt vann (modell 1).
2) Alt vann fra Restfeltet er surt (ΔV_A=1.0). Fra Suldalsosen er alt vann som kom fra sidebekkene til "Tarmen" surt, mens resten er nøytralt (modell 2).
3) Vannet fra Restfeltet er bare surt ved store vannføringer. Fra Suldalsosen kommer bare nøytralt vann (modell 1).
   ΔV_A = 1.0 når vannføringen er større enn månedsmiddelet + 8 m^3/s (bare surt vann).
   ΔV_A = 0.0 når vannføringen er mindre (bare nøytralt vann).
4) Vannet fra Restfeltet er bare surt ved store vannføringer. Tilsvarende er sidebekkene til "Tarmen" sure når vannføringen overskrider månedsmiddelet med 2 m^3/s, ellers er det nøytralt. Det øvrige innsjøvannet er nøytralt (modell 3).
   ΔV_A = 1.0 når vannføringen er større enn månedsmiddelet + 8 m^3/s (bare surt vann).
   ΔV_A = 0.0 når vannføringen er mindre (bare nøytralt vann).

Blandingsforholdene ved Lavika ble betegnet med:

Bl_{UR-1}, Bl_{UR-2}, Bl_{UR-3}, Bl_{UR-4} = Uregulert, type 1, 2, 3 og 4.
Bl_{RSK-1}, Bl_{RSK-2}, Bl_{RSK-3}, Bl_{RSK-4} = RSK, type 1, 2, 3 og 4.
Bl_{UF-1}, Bl_{UF-2}, Bl_{UF-3}, Bl_{UF-4} = RSK og Ulla-Førre, type 1, 2, 3 og 4.

Blandingsforholdene ble beregnet som følger:

$$Bl_{UR-1} = A_{UR} / La_{UR}$$
$$Bl_{RSK-1} = A_{UR} / La_{RSK}$$
$$Bl_{UF-1} = A_{UF} / La_{UF}$$
$$Bl_{UR-2} = (A_{UR} + So_{UR} \cdot Bo_{UR-2}) / La_{UR}$$
$$Bl_{RSK-2} = (A_{UR} + So_{RSK} \cdot Bo_{RSK-2}) / La_{RSK}$$
$$Bl_{UF-2} = (A_{UF} + So_{UF} \cdot Bo_{UF-2}) / La_{UF}$$
$$Bl_{UR-3} = (A_{UR} \cdot \Delta V_{A-UR}) / La_{UR}$$
$$Bl_{RSK-3} = (A_{UR} \cdot \Delta V_{A-UR}) / La_{RSK}$$
$$Bl_{UF-3} = (A_{UF} \cdot \Delta V_{A-UF}) / La_{UF}$$
$$Bl_{UR-4} = (A_{UR} \cdot \Delta V_{A-UR} + So_{UR} \cdot Bo_{UR-3}) / La_{UR}$$
$$Bl_{RSK-4} = (A_{UR} \cdot \Delta V_{A-UR} + So_{RSK} \cdot Bo_{RSK-3}) / La_{RSK}$$
$$Bl_{UF-4} = (A_{UF} \cdot \Delta V_{A-UF} + So_{UF} \cdot Bo_{UF-3}) / La_{UF}$$

Bare data i perioden 15. desember til 30. april ble brukt i de videre analysene. I tillegg ble de fem første døgnene av 1989 fjernet for å unngå usikkerheter pga. feil startvannstand i "routingen". Det ble så beregnet medianverdier av blandingsforholdene for henholdsvis 1, 2 og 4 døgn. Når en medianverdi overskrider en grense, så betyr det at verdien ble overskredet i minst halve tidsperioden. Medianverdiene sier oss altså noe om varigheten på en hendelse. Videre ble sannsynlighet for overskridelse beregnet og resultatene er vist i tabell 3. Type 4 anses for å være den som samsvarer best med virkeligheten, da en antar at sure støt opptrer ved stor vannføring. Ved Ulla-Førre reguleringen viser modellering at det tar lang tid før det sure vannet når Suldalslågen, så lang tid at flomtoppen i Restfeltet har passert. Det kan derfor argumenteres at type 3 (Nøytralt vann fra Suldalsvatnet) er det mest korrekte for dette reguleringsalternativet. Dette er nok riktig for isolerte hendelser, men ofte kommer nedbør og smelting over flere dager slik at vannet ut av Suldalslågen er jevnt surt over en lengre periode. Denne tregheten gjenspeiles også i Ph-målingene ved Suldalsosen (Fig. 8). Trolig er en mellomting mellom type 3 og 4 det mest sannsynlige for Ulla-Førre reguleringen. De mest sannsynlige verdiene er skrevet med uthevet skrift i tabell 3. Fig. 10 viser sannsynligheten for overskridelse plottet for type 4 for alle data. Som en så av Fig. 6 og 7 var det stor forskjell på om en lot alt vann fra sidebekkene til "Tarmen" være surt, eller om en bare lot det være surt ved store vannføringer. I Restfeltet har det lite betydning med tilsvarende skille. De store blandingsforholdene får en når bidraget fra Restfeltet er stort, og da blir det jo surt uansett definisjon. Forskjellen mellom type 1 og 4 er derfor liten ved store blandingsforhold. Type 4 er litt større da det også er tatt hensyn til surt vann fra "Tarmen".

Tabell 3. Sannsynlighet for overskridelse av 40, 60, 70, 80 og 90 % i blandingsforholdet mellom surt og nøytralt vann ved utløpet av Suldalslågen. Tabellen viser også største beregnete forholdstall. Dataene gjelder for sesongen 15. desember til 30. april (137 døgn). Enhet i tabellen er døgn pr. sesong for overskridelse og % for maksimumsverdien. Sannsynlighetene er beregnet på grunnlag av fire datafiler hvor en inneholdt alle 4-timers verdier, og de tre andre var medianverdier for henholdsvis 1, 2 og 4 døgn.

Uregulert = Ingen regulering, naturlig tilstand.
RSK = Regulert med Røldal/Suldal utbyggingen.
Ulla-Førre = Regulert med RSK og Ulla-Førre.

Fire typer blandingsmodeller er brukt:

BL1: Alt vann fra Restfeltet (A) er surt, alt annet er nøytralt.
BL2: Alt vann fra Restfeltet (A) og fra nedre del av C-feltet ("Tarmen") er surt, resten er nøytralt.
BL3: Vannet fra Restfeltet (A) er surt når vannføringen overskrider månedsmiddelet med 8 m^3/s, resten er nøytralt.Alt vann fra nedre del av C-feltet ("Tarmen") er nøytralt.
BL4: Vannet fra Restfeltet (A) og fra nedre del av C-feltet ("Tarmen") er surt når vannføringene overskrider månedsmiddelet med henholdsvis 2 og 8 m^3/s, resten er nøytralt.

De mest sannsynlige verdiene for de tre reguleringsalternativene er skrevet med uthevet skrift.

GRENSE	MEDIAN	UREGULERT				RSK				ULLA-FØRRE			
		BL1	BL2	BL3	BL4	BL1	BL2	BL3	BL4	BL1	BL2	BL3	BL4
40 %	Alle	9.2	11	6.6	**7.0**	3.1	4.2	3.1	**3.5**	64	95	**24**	**24**
	1 døgn	8.7	9.8	6.0	**6.0**	2.3	3.2	2.3	**2.3**	64	95	**22**	**23**
	2 døgn	6.4	8.4	3.3	**4.0**	0.33	1.0	0.33	**0.67**	66	96	**19**	**19**
	4 døgn	4.7	6.7	2.7	**3.3**	0	0.67	0	**0.67**	67	95	**17**	**18**
60 %	Alle	1.7	2.2	1.7	**1.7**	0.03	0.11	0.03	**0.03**	29	55	**21**	**23**
	1 døgn	1.2	1.7	1.2	**1.2**	0	0	0	**0**	28	55	**20**	**21**
	2 døgn	1.0	1.3	1.0	**1.0**	0	0	0	**0**	25	54	**18**	**18**
	4 døgn	0.67	1.3	0.67	**0.67**	0	0	0	**0**	24	52	**15**	**16**
70 %	Alle	0.31	0.42	0.31	**0.33**	0	0	0	**0**	16	35	**14**	**18**
	1 døgn	0.17	0.17	0.17	**0.17**	0	0	0	**0**	14	34	**12**	**16**
	2 døgn	0	0	0	**0**	0	0	0	**0**	13	34	**11**	**15**
	4 døgn	0	0	0	**0**	0	0	0	**0**	9.2	32	**6.5**	**8.7**
80 %	Alle	0	0	0	**0**	0	0	0	**0**	5.7	15	**5.7**	**8.0**
	1 døgn	0	0	0	**0**	0	0	0	**0**	4.5	13	**4.5**	**6.9**
	2 døgn	0	0	0	**0**	0	0	0	**0**	3.0	13	**3.0**	**4.7**
	4 døgn	0	0	0	**0**	0	0	0	**0**	1.3	10	**1.3**	**4.0**
90 %	Alle	0	0	0	**0**	0	0	0	**0**	0.37	3.3	**0.37**	**1.0**
	1 døgn	0	0	0	**0**	0	0	0	**0**	0	2.8	**0**	**0.50**
	2 døgn	0	0	0	**0**	0	0	0	**0**	0	2.0	**0**	**0**
	4 døgn	0	0	0	**0**	0	0	0	**0**	0	0.67	**0**	**0**
Maks [%]	Alle	78	79	78	**79**	63	64	63	**63**	93	97	**93**	**95**
	1 døgn	71	72	71	**71**	54	56	54	**54**	90	96	**90**	**93**
	2 døgn	65	66	65	**65**	41	44	41	**42**	85	93	**85**	**89**
	4 døgn	63	64	63	**63**	40	44	40	**40**	82	92	**82**	**86**

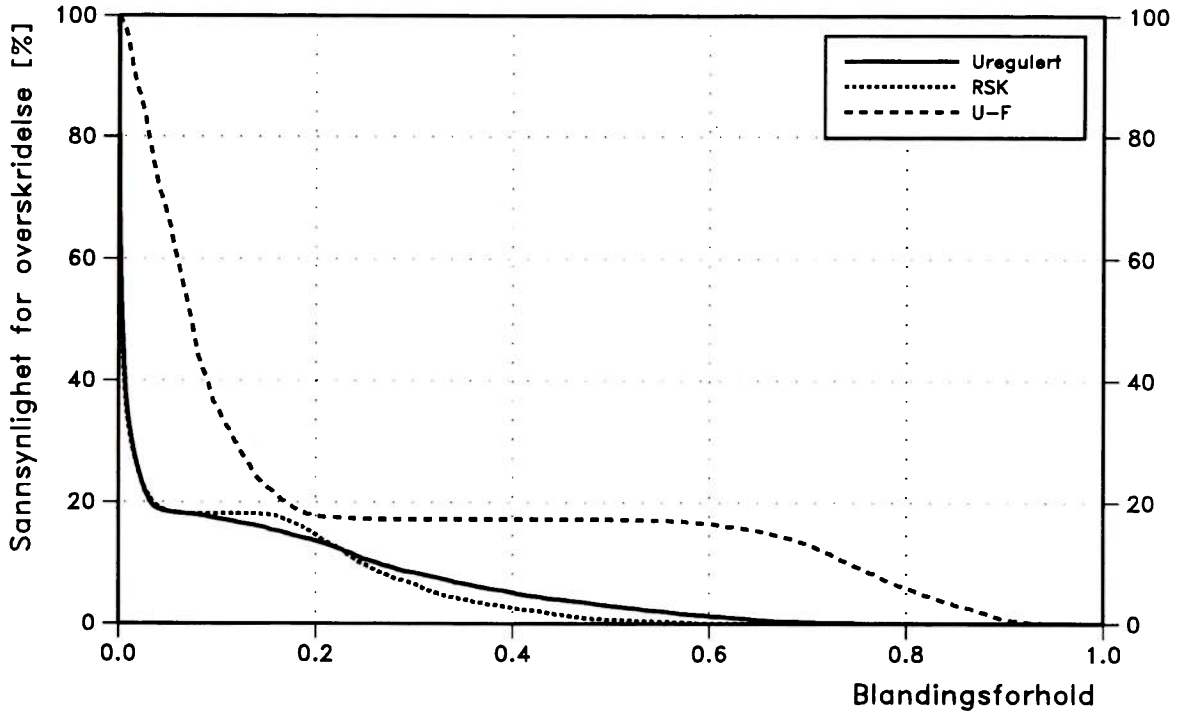


Fig. 10 Sannsynlighet for overskridelse for alle data av blandingsforholdet ved Lavika. Dataene er beregnet etter blandingstype 3 for de tre reguleringsalternativene for perioden 1989-94:

Vannet fra Restfeltet er surt når vannføringen overskrider månedsmiddelet med 8 m^3/s, ellers er det nøytralt. Tilsvarende er sidebekkene til "Tarmen" sure når vannføringen overskrider månedsmiddelet med 2 m^3/s, ellers er det nøytralt. Det øvrige innsjøvannet er nøytralt.

De største blandingsforholdene får en fra type 2, men etter all sannsynlighet er dette en overvurdering da vannet fra "Tarmen" trolig er nøytralt i perioder med lav vannføring.

For perioden 1989-1994 viser beregningene at blandingsforholdet ikke ville overskredet 80% dersom Suldalslågen hadde vært uregulert, og ikke overskredet 65% dersom den bare var regulert med RSK. Etter Ulla-Førre utbyggingen har derimot den reduserte vintervannføringen ført til at vi hadde et blandingsforhold på over 80% i gjennomsnittelig 6-8 døgn i løpet av vintersesongen. 90% forekom i underkant av ett døgn pr. sesong, og blandingsforholdene ble beregnet helt opp i 93-95%. En ser også at varigheten på de sure periodene er ganske lang. Medianverdier over fire døgn hadde et blandingsforhold helt opp i 86%.

Disse resultatene stemmer veldig bra med det Myrabø (1991) fant ved å studere forholdene vha. døgnmidler i periodene:

1962-65	Uregulert
1966-80	RSK
1981-89	RSK og U-F

Han fant at blandingsforholdet ved uregulert stort sett lå godt under 50% med maksimum

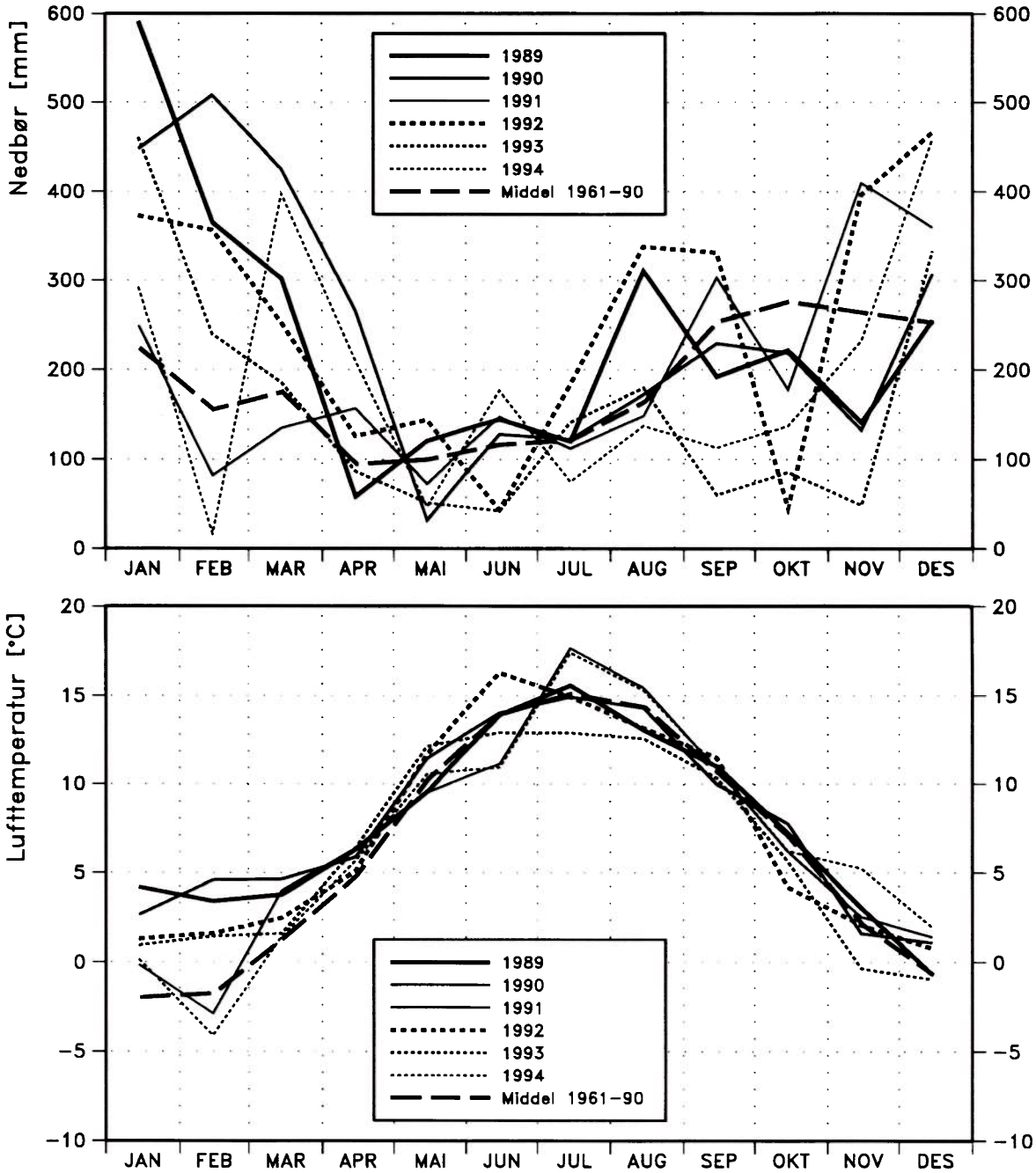


Fig. 11 Månedsmidler av lufttemperatur samt månedssummer av nedbør for årene 1989 til 1994. Med i plottene er også normalen for perioden 1961-90.

opp i 70-80%. Ved RSK var det sjeldent over 50%, og gjennomgående lavere verdier i de sure støtene. Etter Ulla-Førre lå blandingsforholdet i enkelte vintre over 50% det meste av tiden, og i snitt en gang i året oversteg det 90%.

Det må ikke underslås at 6 år (1989-94) er en for kort periode til å snakke om normalverdier. Fig. 11 viser månedsmidler av lufttemperatur og nedbør sammenholdt med 1961-90 normalen, og en ser klart at denne perioden ikke var normal. Den var preget av milde og nedbørrike vintre. Vannføringene om vinteren lå derfor i snitt godt over det en normalt kan forvente. Holmqvist (1995d) fant at avrenningen fra Restfeltet var over 100 m^3/s 10 ganger i perioden 1963-93. 7 av gangene var i perioden 1989-93. For å belyse dette nærmere kan en se på tilsvarende statistikk for kun vintrene 1990/91 og 1993/94 som var nær det normale når det gjelder temperatur og nedbør. Også snømengden i fjellene var nær det normale (Tvede, 1996). Fig. 12 viser sannsynligheten for overskridelse for disse vintrene. Blandingsforholdet overskrider nå 80% bare i 3-4 døgn pr. sesong mot 7-8 døgn når hele perioden var med i datagrunnlaget. Likevel ble det observert blandingsforhold helt opp til 92%. Trolig vil et langtidsmiddel ligge nærmere disse siste beregningene,

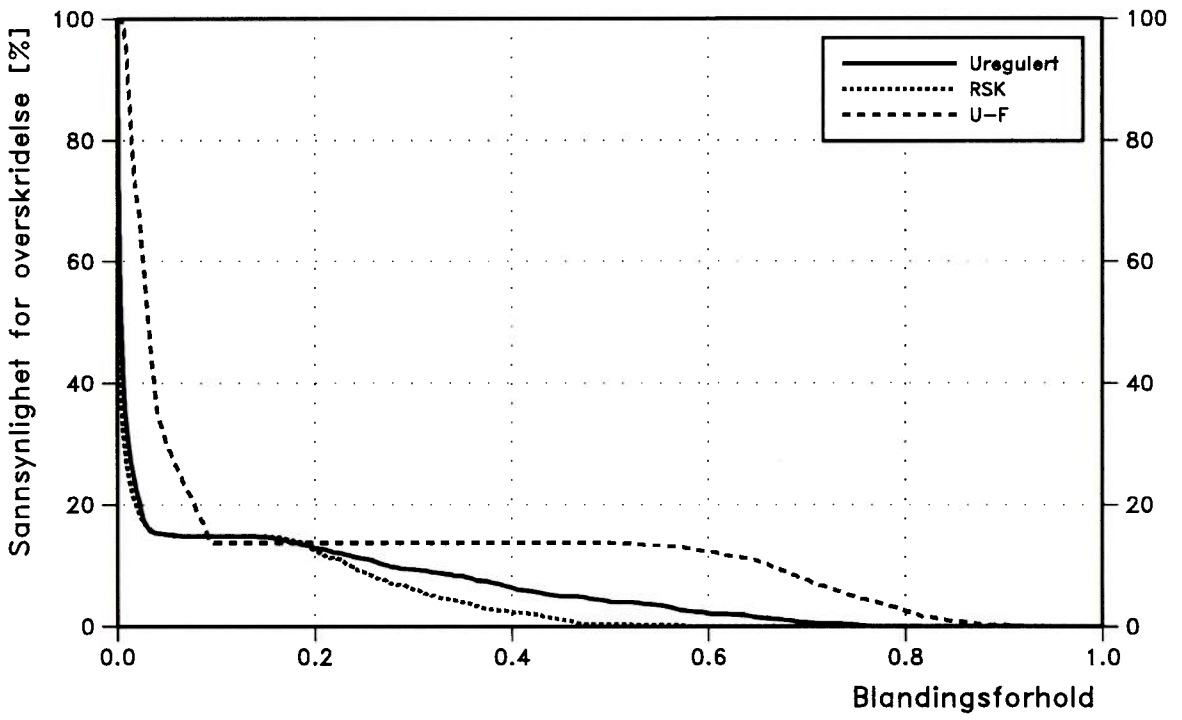


Fig. 12 Sannsynlighet for overskridelse for alle data av blandingsforholdet ved Lavika. Dataene er beregnet etter blandingstype 3 for de tre reguleringsalternativene for vintrene 1990/91 og 1993/94:

Vannet fra Restfeltet er surt når vannføringen overskrider månedsmiddelet med 8 m^3/s, ellers er det nøytralt. Tilsvarende er sidebekkene til "Tarmen" sure når vannføringen overskrider månedsmiddelet med 2 m^3/s, ellers er det nøytralt. Det øvrige innsjøvannet er nøytralt.

anslagsvis 5 døgn for 80%-grensen og et halvt døgn for 90%-grensen. For uregulert og RSK ble det bare bagatellmessige endringer.

Disse beregningene er gjort med 4-timers oppløsning på avrenningsdataene ved Osali, Stråpa og Lavika. Holmqvist (1990, 1995d) så nærmere på en situasjon under RSK i desember 1973. Ved 2-timers oppløsning ble høyeste blandingsforhold 65%, mens det med tidsskritt på ett døgn ble bare 40%. Ved å studere medianverdiene i tabell 3 ser en at sannsynligheten for overskridelse avtar med periodelengden. Ved høye blandingsforhold er derimot forskjellen mindre enn ved lave blandingsforhold. Under forutsetning at 1-døgns medianverdier tilsvarer det en ville funnet ved å beregne vha. døgnmidler, kan en kan grovt sette opp følgende sammenheng mellom blandingsforhold beregnet vha. døgnverdier og blandingsforhold beregnet vha. 4-timers verdier.

Døgnmidler	4-times verdier
70 %	77 %
80 %	85 %
90 %	93 %
93 %	95 %

Sannsynlighet for ekstreme blandingsforhold

Holmqvist (1995d) har sett nærmere på historiske flommer og lavvannsføringer. Sammenlignet med uregulert fant han at vinterflommene ut av Suldalsvatnet var 25% høyere under RSK, mens de ble redusert til omtrent en fjerdedel etter Ulla-Førre utbyggingen. Vannføringen ut av Suldalsvatnet ved starten på flommen er avgjørende for blandingsforholdet. Simuleringene viser at RSK vanligvis hadde størst vannføring. Situasjonen var derfor litt gunstigere etter RSK og klart ugunstigere etter Ulla-Førre.

Holmqvist (1990) viser at vannstandsendringen i Suldalslågen er nesten helt dominert av Restfeltet i de første 12 timene av en flomsituasjon. Den store dempingen i Suldalsvatnet gjør nemlig at flomtoppen derfra forsinkes med et halvt til ett døgn, avhengig av startvannstanden. Stor vannstand (vannføring) før flommen gir liten tidsforsinkelse. Det som i hovedsak skiller Ulla-Førre situasjonen fra uregulert er nettopp vannføringen ut av Suldalsvatnet. Som Holmqvist (1995d) påpeker ville en 10-års flom rett etter en ekstrem lavvannsperiode (3 m3/s) gi blandingsforhold på hele 90% ved uregulert vassdrag. Ved startvannføring på 10 m^3/s blir blandingsforholdet 80%. Spørsmålet blir da om dette kan skje, og i tilfelle hvor ofte?

En så ekstrem lavvannsperiode som 3 m^3/s er det laveste som er observert i perioden 1904-64. Hvert tredje år ble det observert lavvannføringer mindre enn 6 m^3/s. Men hvor

ofte etterfølges slike perioder direkte av en 10-års flom? Holmqvist viser endel eksempler på historiske flommer i bakkant av en lavvannsperiode. I de tilfellene hvor det er en relativ rask økning i vannføringen (1-3 døgn) er startvannstanden ikke under 30 m^3/s. I de eksemplene hvor startvannstanden har vært nede i 5-6 m3/s tar det minst 10 døgn før flomtoppen nås.

En ekstrem lavvannsperiode henger sammen med kaldt og tørt vær. Ved slutten av en slik periode vil snøen være godt nedkjølt, og dermed i stand til å binde opp en god del nedbør. Smeltingen vil altså starte langsommere enn hvis snøen var fuktig fra før. Dette vil også gjelde for Restfeltet, da en må forvente at store deler er snødekt etter en lavvannsperiode. Det vil derfor gå noen dager før avrenningen når de store høydene, og da er vannføringen fra Suldalsosen allerede passert det lave nivået. Selv om en ser bort fra denne tregheten, så er det statistisk svært lite sannsynlig at en 10-års flom skal kunne oppstå rett etter en statistisk sjelden hendelse som lavvannføring. Vi snakker da plutselig om 100-års sannsynligheter. Det er derfor svært lite sannsynlig at blandingsforholdet i uregulert tilstand ville ha oversteget 80% i nevneverdig grad, og enda mindre sannsynlig at det skulle skje etter RSK.

Ekstreme hendelser skjer likevel av og til. Denne vinteren (1995/96) ligger forholdene godt til rette for ekstreme blandingsforhold, uansett reguleringstype. Det er lav vannføring i uregulerte vassdrag og ekstremt små snømengder i fjellet (mindre enn en halv meter i 1000 m.o.h.). Kommer det et kraftigt regnvær vil snøens evne til å oppta nedbøren være sterkt begrenset. Det gjenstår å se.

LITTERATUR

Ellingsen, E. 1994: Strømningsmønsteret i Suldalsvatn (en numerisk modell). LFS-prosjektet Ulla-Førre, Statkraft Engineering.

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

Holmqvist, E. 1990: Forsuringssituasjonen i Suldalslågen januar 1989 i et hydrologisk perspektiv. PGB-notat 25.05.90, Statkraft.

Holmqvist, E. 1995a: Vannføringsregistreringer i Fossåna. Rapport Ulla-Førre/LFS hydrologi. Statkraft Engineering.

Holmqvist, E. 1995b: Suldalsvatn/Suldalslågen. Forholdene nedstrøms Suldalsporten, forholdet mellom momentan- og døgnmiddelflom. Notat til Inggard Blakar (NLH) 14.11.95. Statkraft Engineering.

Holmqvist, E. 1995c: Rhodaminforsøk Suldalsvatn, Resultater. LFS-rapport 16.08.95, Statkraft Engineering.

Holmqvist, E. 1995d: Hydrologiske forhold i Suldalsvassdraget. Rapport Ulla-Førre/LFS hydrologi. 30.08.95, Statkraft Engineering.

Myrabø, S. 1991: Surt vann i Suldalslågen. HV-notat 1/91, NVE.

NVE, 1984: Dybdekart over norske innsjøer. Meddelelse nr. 48 fra Hydrologisk avdeling, NVE.

Tvede, A.M. 1991: Suldalsvatn januar 1989 - sjiktningsforhold. HM-notat 4/91, NVE.

Tvede, A.M. 1994: Vintertemperaturen i Suldalsvatn 1981-93. Forholdet mellom innsjøtemperatur og temperaturen på uregulert tilsig. HM-notat 14/94, NVE.

Tvede, A.M. 1996: Vanntemperaturen i Suldalsvassdraget 1962-1995. Lakseforsterkings-prosjektet i Suldalslågen. Rapport nr. 23, Statkraft Engineering.

VEDLEGG A. "ROUTING" DETALJER

Magasintabeller:

Røldalsvatnet		Suldalsvatnet		"Tarmen"	
Vannstand (H) [m]	**Volum * [Mill m³]**	**Vannstand (H) [m]**	**Volum * [Mill m³]**	**Vannstand (H) [m]**	**Volum [Mill m³]**
377.00	92.84	67.00	0.00	67.00	27.00
379.00	107.38	68.50	44.00	70.00	30.60
381.00	123.01				
383.00	139.28				

* Volumene er i forhold til dagens magasinvolumer. Volumendring ved vannstandsendring er det som trengs i routingen.

Vannføringskurve Røldalsvatnet:

$19.9553 \cdot (H - 377.83)^{1.8214}$ når $H > 377.83$ m

Vannføringskurve Suldalsoset:

$18.5534 \cdot (H - 65.91)^{2.7456}$ når $H > 65.91$ m
$29.9903 \cdot (H - 65.91)^{2.1200}$ når $H > 68.07$ m

Startvannstander:

Røldalsvatnet : 377.83 m
Suldalsvatnet : 67.13 m
"Tarmen" : 67.13 m

Rapportar utgjeve av Lakseforsterkings-prosjektetet i Suldalslågen fase I:

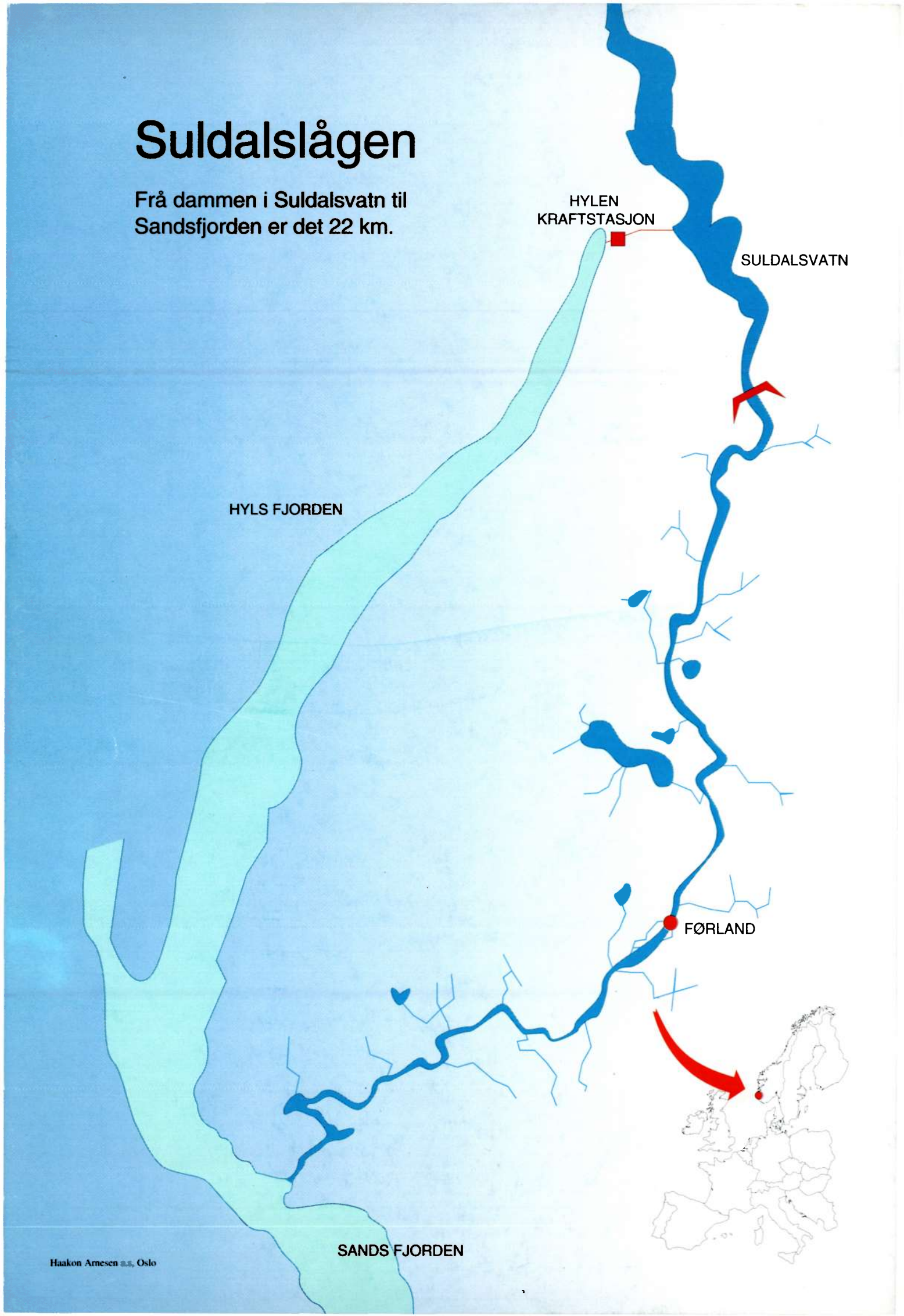
1. Effekt av mose- og algebegroing på bunndyr og fisk: Et litteraturstudium.
2. Overvåking av ungfiskbestanden i Suldalslågen. Tetthetsutvikling og vekst hos laks- og ørretunger i perioden 1977 til 1992.
3. Effekten av tilført organisk materiale på bunndyr, driv og fisk.
4. Landbruksvirksomhet langs 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. Blandingsforholdene i Suldalslågen mellom surt og «nøytralt» vann.

Suldalslågen

Frå dammen i Suldalsvatn til Sandsfjorden er det 22 km.



Haakon Arnesen a.s, Oslo