

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: 0-82070
Undernummer:
Løpenummer: 1677
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Undersøkelse av partikkelforurensning i Suldalslågen 1981 - 1983	Dato: 6. mars 1984
Forfatter(e): Olav Skulberg Jozsef Kotai	Prosjektnummer: 0-82070
	Faggruppe: Hydrobiologi
	Geografisk område: Rogaland
	Antall sider (inkl. bilag): 75

Oppdragsgiver: NVE - Statskraftverkene, Oslo	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt:
Sestonobservasjoner i Suldalslågen, Rogaland, ble utført 1981 - 1983. En omfattende partikkeldrift og slamdannelse tok til sommeren 1982. Partikkelforurensningen var relativt liten vurdert som veid mengde stoff. Partikkelinnholdets egenskaper (til dels kolloidal fase) var utslagsgivende for vannkvalitet og biologiske virkninger. Kiselgur utgjorde en betydelig andel av de findisperse partikler i vassdraget.

4 emneord, norske: Partikkelforurensning
1. seston
2. turbiditet
3. begroingsalger
4. kiselgur
Suldalslågen 1981-1983

4 emneord, engelske:
1. seston
2. turbidity
3. periphyton
4. diatomite

Prosjektleder:

Olav Skulberg

Divisjonssjef:

Rolf S. Amundsen

For administrasjonen:

H. J. Jansen

ISBN 82-577-0854-2

Kam Ove Ove

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Oslo

0-82070

UNDERSØKELSE AV PARTIKKELFORURENSNING

I SULDALSLAGEN 1981 - 1983

Oslo, 6. mars 1984

Olav Skulberg

Jozsef Kotai

F O R O R D

STATSKRAFTVERKENE - Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen - gjorde våren 1982 en henvendelse til NIVA om behov for å vurdere endringer av vannmassenes partikkelinnhold i Suldalslågen. Det ble gjort drøftelser med ULLA-FØRRE ANLEGGENE og SULDAL KOMMUNE. Dette innebar at et program for observasjoner og bearbeiding av prøver ble laget og gjennomført som oppdrag for STATSKRAFTVERKENE.

Programmet tok utgangspunkt i målinger fra Suldalslågen som var gjort gjennom deler av 1981, og videreført første halvår 1982. Det fant sted en vesentlig endring i vannkvalitet i Suldalslågen i løpet av sommeren 1982. En omfattende partikkeldrift og slamdannelse ble påvist. På grunn av fenomenets størrelsesorden, og karakteren av påvirkning av vassdraget, ble STATSKRAFTVERKENE underrettet om forholdet. Det ble nødvendig med noen forandringer i opplegg og gjennomføring av undersøkelsen i denne sammenheng.

Rapporten gir en generell innføring om seston (vannets innhold av partikler) i vassdrag som en bakgrunn til å forstå forholdene i Suldalslågen. Resultatene fra hele undersøkelsesperioden 1981 - 1983 blir fremstilt og drøftet.

Feltarbeidet ble utført i fellesskap med ULLA-FØRRE ANLEGGENE (avd.ing. Jonas Sømme) og SULDAL KOMMUNE (teknisk etat, komm.ing. Kjell H. Pettersen). Vi takker for det fruktbare samarbeidet som har funnet sted.

NIVA, 6.3.1984

Olav Skulberg

INNHOLDSFORTEGNELSE

	<u>Side:</u>
FORORD	1
1. SAMMENDRAG	5
2. NOEN GENERELLE OPPLYSNINGER OM SESTON	
I VASSDRAG	8
- Hva er seston?	8
- Partikkelinnhold og vannkvalitet	8
- Noen praktiske forhold	10
- Sestoninnhold og egenskaper til vann	11
3. SPESIELLE UNDERSØKELSER AV SESTON	18
3.1 Lokalteter, materiale og metoder	18
3.2 Utvikling av partikkelforurensning i Suldalslågen	23
3.3 Karakterisering av vannmassenes innhold av seston	24
- Opprinnelse	24
- Forhold i Suldalsvatnet	25
- Mengden av partikkelforurensning	26
- Partikkelforurensning i Suldalslågen	27
3.4 Sestonets sammensetning	29
- Geologiske forhold	29
- Kjemiske forhold	30
- Biologiske forhold	31
- Kiselgur	33
4. DISKUSJON AV RESULTATER	36
5. VURDERINGER OG TILRADNINGER	39
6. HENVISNINGER	41
TABELLER	46
FIGURER	67

TABELLOVERSIKT ¹⁾

	Side
* Tabell 1. Størrelsesforhold til sedimentmateriale i vann	10
* Tabell 2. Sammenlikning mellom ulike typer av løsninger	13
* Tabell 3. Fysiske og kjemiske analysemetoder	21
* Tabell 4. Skala for angivelse av mengdemessig forekomst av organismer	22
Tabell 5. Primærdata for sestonobservasjonene	47
* Tabell 6. Noen observasjoner av siktedyp målt med Secchi-skive i Suldalsvatnet	24
Tabell 7. Uorganisk seston og totalseston i Suldalsvatnet	59
Tabell 8. Turbiditet i Suldalsvatnet	59
* Tabell 9. Kvalitativ undersøkelse av sestonets mineralinnhold	30
Tabell 10. Fysiske og kjemiske analyseresultater	60
Tabell 11. Prøver innsamlet under feltarbeid	59
Tabell 12. Forekomst av alger i håvtrekk - Utløp Suldalsvatnet	63
Tabell 13. Forekomst av alger i håvtrekk - Lunde bru	64
Tabell 14. Forekomst av alger i håvtrekk - Tjelmane bru	65
Tabell 15. Systematisk oversikt over identifiserte algearter	66
* Tabell 16. Fordeling av algearter på systematiske klasser	32
* Tabell 17. Fremtredende algearter i sestonprøver	32

1) Noen tabeller står i teksten (merket *), de øvrige er samlet bak i rapporten.

FIGUROVERSIKT ¹⁾

	Side
* Figur 1. Skjematisk fremstilling av kolloidale partiklers ionebytteegenskaper	15
* Figur 2. Suldalslågen med nedbørfelt	19
* Figur 3. Observasjonsstasjoner for sestonundersøkelsene	20
Figur 4. Seston i Suldalslågen bestemt som tørrvekt ved utløp av Suldalsvatnet	68
Figur 5. Turbiditet i Suldalsvatnet ved Solheimsvik	69
Figur 6. Månedlige middelerverdier av seston bestemt som tørrvekt ved Utløp Suldalsvatnet og Lunde bru	70
Figur 7. Månedlig middelvannføring i Suldalslågen i under- søkelsesperioden	71
Figur 8. Sestonkonsentrasjoner og turbiditet i Suldalslågen og Suldalsvatnet 7. juli 1982	72
Figur 9. Verdier av turbiditet i Suldalslågen fra 1981 til 1983	73
Figur 10. Kjemiske forhold i filtrerte og ufiltrerte prøver	74
Figur 11. Fosforkomponenter og ortofosfat i Suldalslågen og Suldalsvatnet 7. juli 1982	75
* Figur 12. Kiselgur i Sandsavatnet	34
* Figur 13. Siktedyp, farge og turbiditet ved utløp Suldals- vatnet i perioden 1981-1983	38
* Figur 14. Årlig middelerverdi av sestontørrvekt i Suldalslågen i 1981, 1982 og 1983	38

1) Noen figurer står sammen med teksten (merket *),
de øvrige er samlet bak i rapporten.

1. SAMMENDRAG

Suledalslågen, amtets betydeligste vasdrag, gjennomstrømmer den nedre del af Suledal samt Sand, dannende afløb for det store Suledalsvand. Dette optager igjen en mængde elve og bække fra N, Ø og S, blandt hvilke den vigtigste, Bratlandselven, kommer fra det Søndre i Søndre Bergenhus amt liggende Røldalsvand, som atter modtager tilløb fra Hardangerfjeldene. Regnet efter denne kildeelv er vasdragets hele længde 92 km. Nd. 1632 km², hvoraf 1046 km² falder i Stavanger amt. *Strøm 1888.*

Dette oppdrag for STATSKRAFTVERKENE - Norges vassdrags- og elektrisitetstvesen - ble utført i tidsrommet 1981 - 1983 med observasjoner i Suldalslågen (Rogaland fylke) for å vurdere endringer av vannmassenes partikkelinnhold (seston). I løpet av 1982 ble det påvist en omfattende partikkeldrift og slamdannelse i vasdraget. Programmet for arbeidet ble utvidet i den forbindelse. Hensikten har vært å beskrive et utviklingsforløp, mens virkningssiden bare har hatt en innledende oppmerksomhet.

Som bakgrunn for rapporten er det gitt en enkel innføring om seston (vannets innhold av organismer, organiske- og uorganiske partikler). Hvordan seston generelt påvirker vannets egenskaper og kvalitet - fysisk, kjemisk og biologisk - blir behandlet.

Det praktiske feltarbeid for sestonundersøkelsen ble utført på fem faste stasjoner på elvestrekningen Suldalsvatnet - Sandsfjorden. Enkelte serier av observasjoner ble dessuten gjort i Suldalsvatnet og Sandsavatnet. Metodene for prøvetaking (vann, seston, sediment) og laboratoriebearbeiding (kjemiske og biologiske analyser) var de rutinemessige i bruk ved Norsk institutt for vannforskning.

Primærdata fra undersøkelsen er samlet i tabeller og grafiske fremstillinger bakerst i rapporten (side 47 til 75).

Da observasjonene ble innledet i 1981, var vannmassene i Suldalslågen preget av klart vann (0,4 FTU), med lite partikkelinnhold (omlag 0,5 g

m^{-3}) og lav egenfarge ($< 5 \text{ mg Pt l}^{-1}$). Gjennom vinteren 1982 ble det konstatert økende forekomst av seston. Sommeren 1982 kulminerte innholdet av totalseston i vannmassene i Suldalslågen. Konsentrasjonene (omlag 3 g m^{-3}) var da mer enn tredoblet sammenliknet med situasjonen i 1981. Avtakende innhold av seston gjorde seg gjeldende høsten 1982, og verdiene stabiliserte seg gjennom 1983 (omlag $1,9 \text{ g m}^{-3}$). På samme tid var vannmassenes turbiditet høy (4,0 FTU), og partikkelinnholdet medførte betydelig lysspredning som påvirket vannmassenes farge.

Partikkelforurensningen i Suldalslågen var relativt liten vurdert som veid mengde av stoff. Men partikkelinnholdets spesielle egenskaper og vassdragets utforming var bestemmende for situasjonen som oppstod i vassdraget. Selvrensningsprosessene i Suldalsvatnet resulterte i forandring av turbiditetsfordelingen i vannmassene. De tunge bestanddeler av tilførte partikkelforurensninger sedimenterte. De finfordelte bestanddeler (tildels kolloidal fase, partikkelstørrelse mellom 10^{-9} - 10^{-7} m) viste tendens til anrikning i Suldalsvatnets vannmasser. Forholdet tyder på at partikkelforurensningen vil bli av vedvarende karakter i vassdraget.

Den kvalitative undersøkelse av sestonets mineralinnhold viste at det hovedsakelig består av nedbrytningsprodukter av fyllittformasjonens bergarter (biotitt, mikroklin, kvarts etc.). Elve- og innsjøsedimenter av dette materialet i Sandsavatnet ble i 1982 sterkt utsatt for erosjon forårsaket av strømmende vann, bølger og utglidninger ved senkning av vannstand. En spesiell forekomst av kiselgur (anrikning av fossile diatoméer) ble oppdaget i Sandsavatnet. Kiselgur ble vasket ut av bunnelagene og hvirvlet opp i vannmassene. Små fragmenter av de fossile kisel-skall holdt seg lenge svevende. De utgjorde en betydelig del av de findisperse partikler i hele vassdraget nedstrøms Sandsavatnet.

Sestonet inneholdt mineralkomponenter som adsorberte fosfationer effektivt. Fosforforbindelser fulgte i stor grad partikkelforurensningen i vassdraget. Partikkelforurensningen fra Sandsavatnet medførte f.eks. en betydelig forhøyning av bakgrunnsbelastningen med fosfor i Suldalslågen. Forsøk har vist at denne fosforfraksjon er tilgjengelig for algevekst. Nitrogenforbindelser var i mindre utstrekning knyttet til partikkelforurensningen.

Plantematerialet i sestonet besto av flere hoveddeler, men begroingsorganismer fra Suldalslågen utgjorde likevel hovedbestanddelen. Den mikroskopiske analysen viste at grønnalger var viktigste gruppe av organismer (37 arter). Kiselalger (15 arter), gullalger (9 arter) og blågrønnalger (9 arter) var også av stor betydning. Dette gjenspeiler Suldalslågens algevegetasjon som er av næringsfattig natur (Zygnema-type).

Det er tidligere foretatt en rekke undersøkelser av erosjonsprosesser i vassdrag og virkninger av vassdragsreguleringer. Men i liten utstrekning hittil har partikkelforurensninger som oppstår av de endrede erosjonsbetingelser blitt studert på et vannkvalitetsmessig og hydrobiologisk grunnlag. Dette trenger oppmerksomhet for å kunne forstå skadevirkninger og gjøre motforholdsregler.

Det blir tilrådd at resultatene av denne undersøkelsen blir drøftet i sammenheng med de øvrige bidrag av naturfaglig art som arbeides frem om Suldalslågen. Særlig viktig er behandlingen av spørsmålsstillinger i grenseområdet mellom geologi, hydrologi og biologi. Noen problemstillinger og oppgaver som krever omtanke i det videre arbeid blir presisert. Det er bl.a. behov for en løpende oppfølgingsundersøkelse av partikkelforurensningen i vassdraget.

Denne undersøkelsen av seston i Suldslågen er gjennomført i samarbeid med ULLA-FØRRE ANLEGGENE, SULDAL KOMMUNE, NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN og NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING.

2. NOEN GENERELLE OPPLYSNINGER OM SESTON I VASSDRAG

Viele Klagen über ungünstige Zustände in gewässern kultivierten Gegenden haben ihren Hauptgrund in Überlastung des Wassers mit Seston. *Kolkwitz 1912.*

1. Hva er seston?

Seston er en fagbetegnelse for vannets innhold av partikler som lar seg filtrere ut. Det består av organiske og uorganiske partikler og organismer. Den levende del av dette materiale betegnes plankton.

Begrepet seston er gammelt innenfor hydrobiologi. Det ble først tatt i bruk av Kolkwitz (1912).

Seston vil som regel bestå av tre hovedbestanddeler:

- Partikler som kommer til vassdraget fra omgivelsene (f.eks. erosjonsmateriale), eller ved nedfall fra atmosfæren.
- Partikler og organismer som løsrives fra bunn og begroinger.
- Plankton som kan leve sitt liv i vannmassene og opprettholde en bestand gjennom vekst der.

Elver, innsjøer og fjorder har sitt naturlige innhold av seston. Gjennom utslipp av forurensninger og ved virksomhet i nedbørfeltene kan sammensetting og mengde av seston bli forandret.

Partikkelinnhold og vannkvalitet

Alle vannforekomster har et innhold av partikler i vannet. Vannmassene er en suspensjon - i stadig forandring av innhold og egenskaper. Alle vassdrag er ulike med hensyn til dette. Forholdene er bestemt av bl.a. geologi, klima og biologi i nedbørfeltet. Menneskelig virksomhet har ofte en betydelig innflytelse på vannets partikkelinnhold.

Det er ikke mulig å gjøre en klar avgrensning mellom suspenderte og løste stoffer i vann (Ruttner 1952). En stadig vekselvirkning mellom løst og uløst stoff finner sted. Stoffene i vannmassene kan delvis være i en likevekt mellom suspendert og løst fase. I vannmassene finner det sted både dannelse og oppløsning av partikler. Biologiske prosesser tar del i omformingene. Det er nødvendig å betrakte partikkelinnholdet som en del av et dynamisk system av tilstander (løst, kolloidalt og suspendert stoff). Dette har konsekvenser for forståelsen av hvordan sestoninnholdet påvirker vannkvaliteten kjemisk og biologisk.

De suspenderte partiklene innvirker på vannmassenes egenskaper direkte og indirekte. Partiklene kan f.eks. endre vannets vekt, og dermed influere på vannets bevegelse og lagdelingsforhold. Partiklene kan ha forskjellige natur med hensyn til absorptive og adsorptive egenskaper. Dette har konsekvenser for kjemiske og biologiske stoffomsetninger.

Det er en nær sammenheng mellom seston og sedimenter. Noen av de suspenderte partikler vil bunnfelles når vannbevegelsen er liten. Bli det sterkere strøm, kan partiklene igjen hvirvles opp. Dette har konsekvenser for stofftransport. Organismelivet på bunnen av elver og innsjøer har en nær avhengighet til disse miljøforhold. Det er derfor nødvendig å ikke gjøre en for skarp avgrensning mellom partikkelinnholdet i de frie vannmasser og sedimentene i vassdraget.

Vassdragene er karakterisert gjennom prosessene erosjon, transport og sedimentasjon (fluvial erosjon). Avhengig av transportforhold og sorteringsprosesser i ulike deler av vassdraget, vil sediment-materialet få sine særtrekk bestemt (f.eks. størrelsesforhold, struktur og kjemiske egenskaper). Geologisk har sedimenttilgangen opprinnelse i mekanisk og kjemisk forvitring av bergarter i nedbørfeltet. Bestanddelene varierer fra stein, grus, sand, silt og leirkolloider til kjemisk oppløste ioner (tabell 1).

Tabell 1. Størrelsesforhold til sedimentmateriale i vann (Røssert 1969).

Betegnelsen	Partikkeldiameter (mm)
Steiner	> 60
Grus	
grov	60 - 20
middels	20 - 6
fin	6 - 2
Sand	
grov	2 - 0,6
middels	0,6 - 0,2
fin	0,2 - 0,06
Silt	
grov	0,06 - 0,02
middels	0,02 - 0,006
fin	0,006 - 0,002
Leire	< 0,002

Noen praktiske forhold

Både direkte og indirekte har innholdet av seston stor betydning for vannets brukbarhet til ulike formål. Innholdet av seston i vannmassene varierer meget med tiden. Det er en sammenheng mellom sestoninnhold og vannføring, men det er ikke noe enkelt avhengighetsforhold. Gjennom observasjoner av seston avklares betydningen av nærtransport og langtransport av partikler samt betydningen av plankton og dødt materiale.

Erfaringene fra norske vassdrag viser at transport av erosjonsmateriale bør følges med stor oppmerksomhet. Lyset er en viktig økologisk faktor. Tiltakende innhold av partikulær substans innvirker bl.a. på lysklimaet, og selv små reduksjoner kan ha vidtrekkende konsekvenser for selvrensingsprosesser og fiskeribiologiske forhold. Foruten alle virkninger på organismelivet i vassdraget, kommer andre praktiske ulemper som er forbundet med partikkelinnhold i vannet. Et vann med meget seston er det vanske-

lig å bruke til vannforsyninger. Det dannes avsetninger og begroinger i ledningssystemene, filtrene tilstoppes og arbeid med vedlikehold er betydelig. Vannets kvalitet er på mange måter influert av sestoninnholdet. Lukt og smak er f.eks. ofte påvirket av forekomst av alger i vannet.

Sestoninnhold og egenskaper til vann

På en mangesidig og sammensatt måte påvirker sestoninnholdet vannets egenskaper. Tre hovedtyper av virkninger - optiske, kjemiske og biologiske - skal kort omtales i det følgende.

Optiske forhold. Sestoninnholdet i vannet gjør det grumset (turbid). Suspenderede uorganiske partikler av forskjellig kjemisk sammensetning, størrelse og form, eller organiske partikler (organismer eller organismefragmenter) av forskjellig natur kan gjøre vannet nesten ugjennomsiktig. Turbiditet er et uttrykk for dette partikulære materiale i vann. Turbiditeten kan måles ved hjelp av partiklenes evne til å spre innfallende lys.

Vannets farge er også nær knyttet til innholdet av seston i vannmassene. Fargen til vannet som vi oppfatter er bestemt av det uabsorberte lys som stråler tilbake fra vannet. Vannet har en egenfarge i blått. Dette tilskrives lysspredning fra vannmolekyler i bevegelse (Hutchinson 1975). Innenfor vannforskning er det vanlig å skille mellom ekte farge og tilsynelatende farge på vann. Ekte farge skyldes stoffer som er løst eller holdes i kolloidal suspensjon. Den bestemmes i laboratoriet ved måling i vann som er filtrert. Tilsynelatende farge er et resultat av samspill mellom lys og partikulært materiale, vannets egenfarge og forskjellige typer av lysrefleksjon (fra himmel, bunn osv.).

Vann som inneholder partikler som er mindre enn $0,1 \mu\text{m}$ og større enn $1,0 \mu\text{m}$ (se tabell 2) medfører at innfallende lys blir spredt. Dette kommer til syne gjennom den såkalte Tyndall-effekt (Wiberg 1945). En bunt lysstråler som sendes inn i vannet kan bli sett vertikalt på stråleretningen forårsaket av brytning og avbøying av det innfallende lyset. På grunn av partiklenes litenhet er det ikke mulig direkte å se dem. Men

et diffust lys gjør seg gjeldende fra strålebunten. Det er mange forhold som innvirker på lysspredningen (Wiberg 1945). Den er f.eks. avhengig av partiklenes stofflige sammensetning, deres størrelse og mengder. Når partikkelstørrelsen øker, vil langbølget lys (rødt) bli spredt mer enn kortbølget lys (blått). En forskyvning av spredningsfordelingen mellom blått og rødt lys kan også skje når partikkelmengden øker.

Spredningsfenomenet til lyset innebærer at lyset tilbakelegger en lengre strekning i vannet før det kommer frem til et gitt punkt, sammenliknet med hva det ville ha gjort uten at spredning fant sted. Den lengre distanse og energitapet som følger av brytning og refleksjon fra partiklene, medfører at de bølgelengder som påvirkes mest, samtidig blir raskest svekket i vannet.

Hvordan sollyset når fram til plantene i vannmassene, er avgjørende for hele det akvatiske økosystem. Praktisk talt all energi som de biokjemiske prosessene i organismelivet er avhengige av, kommer fra sollyset. Før sollyset blir tilgjengelig for organismene som har klorofyll (primærproducentene), blir det påvirket og modifisert gjennom refleksjon, brytning, absorpsjon og spredning (Hutchinson 1975). Sammensetning og styrke av lyset som trenger ned i vannet er helt avgjørende for bl.a. fotosynteseaktiviteten. Turbiditetens store betydning for lysklimaet i vannmassene følger av dette, og dermed den regulerende virkning på biologiske prosesser i vannforekomsten.

Kjemiske forhold. Vannmassene består av et dispergeringsmiddel (vann) og dispergert stoff (partikler). Etter hvor finfordelt partiklene er oppstår forskjellige systemer (faser) av tilstandsformer (tabell 2).

En ekte løsning - med molekyler, atomer eller ioner - er homogen og monodispers. Også når partiklene forekommer som større enheter - aggregater av molekyler, atomer eller ioner - kan løsningen være homogen selv om den er polydispers. Kolloidale løsninger skiller seg tydelig i sine egenskaper fra de ekte løsninger. Det er derfor naturlig å betrakte dem som en egen tilstandsform (van Olphen 1963).

Tabell 2. Sammenlikning mellom ulike typer av løsninger (Wittig 1979).

Egenskap	Ekte løsning			Kolloidal løsning		
	←-----→			←-----→		
Partiklernes art	Enkelte molekyler, atomer eller ioner	Makromolekyler	Aggregater av molekyler, atomer eller ioner			
Partiklernes størrelse	Inntil 10^{-9} m	$10^{-9} - 10^{-7}$ m	$10^{-9} - 10^{-7}$ m			
Filtrerings- evne	Passerer ultra- filtrene	Blir holdt til- bake i ultra- filtrene	Blir holdt tilbake i ultrafiltrene			
Diffusjons- hastighet	Relativt høy	Svært lav	Svært lav			
Lysspredning	Ingen spred- ning	Spredning	Spredning			
Dispersjons- grad	Monodispers	Monodispers	Polydispers			

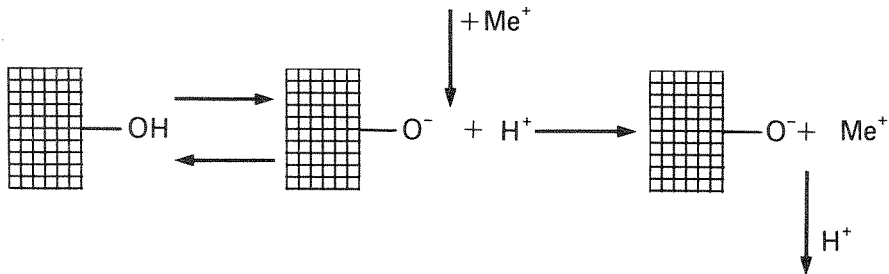
De kolloiddisperse løsninger har fysiske og kjemiske egenskaper som spesielt er knyttet til partiklernes overflateforhold. Kolloidale partikler har bl.a. meget store overflatearealer. Den spesifikke overflate til forskjellige leirmineraler kan f.eks. være $50-800 \text{ m}^2$ per gram (Millot 1970). Dette er en følge av partiklernes lagdelte oppbygning som gir en indre overflate mange ganger større enn den ytre (krystallstruktur - krystallgitter).

Spesielt for leirkolloider er deres store adsorpsjonskapasitet. Dette henger sammen med at partiklene har frie, negative ladninger knyttet til alle overflater. Negative ladninger danner et lag på kolloidenes ytre og indre overflater. Et slikt negativt overflatepotensial kompenseres ved en ekvivalent mengde positive ioner. Disse positive ioner har størst konsentrasjon nær partikkeloverflaten. Utenfor dette lag - hvor konsentrasjoner av positive ioner avtar - finnes diffuse varierende lag hvor konsentrasjon av negative ioner henholdsvis positive ioner veksler med avstanden fra partikkeloverflaten (van Olphen 1963).

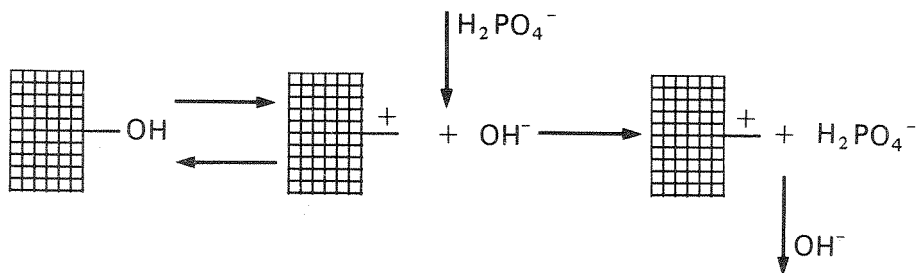
De dipolare vannmolekylene inngår i disse lag rundt kolloid-partiklene. Vannmolekylene blir bundet til de ladede kolloid-overflater, og til ioner som finnes i lagene rundt partiklene. Fenomenet betegnes hydratasjon. De vannmolekylene som inngår blir mer eller mindre fast bundet. Sterkest bundet er vannmolekylene som sitter nærmest partikkeloverflatene.

Kolloidenes adsorpsjonsegenskaper medfører at ioner av oppløste stoffer konsentreres på grenseflater mellom partiklene og vannfasen. Dette gjelder til dels også mikroorganismer (f.eks. bakterier, alger, sopp osv.). Mikroorganismenes celler har normalt negativt overflatepotensial. De vil derfor bli frastøtt av vanlig negativt ladede partikler. Men frastøttingsenergien blir opphevet mot de kolloidale partikler ved at de negative potensialer er kompensert av adsorberte positive ioner. Elektrostatisk tiltrekningskrefter får dermed overtak. Kolloidale partikler og mikroorganismer klumper seg sammen (flokkulering).

De adsorberte ioner som befinner seg i det diffuse lag på overflaten av de kolloidale partikler (og i den indre oppløsning) kan byttes ut mot andre ioner. En skjematisk fremstilling av eksempler med henholdsvis kationutbytte og anionutbytte er vist i figur 1. Hvor lett disse prosesser finner sted, avhenger av flere forhold. Inneholder f.eks. den ytre oppløsning ioner med større adsorpsjonsstyrke enn det den indre oppløsning har, vil ionene i den ytre oppløsning fortrenge ioner med svakere adsorpsjonsstyrke. Men i aktuelle tilfeller vil også ionekonsentrasjon og ioneaktivitet spille avgjørende rolle for resultatet.



- a. Eksempel på kationutbytte. Det kolloidale leirmineral kan avgi H⁺ ioner som erstattes av andre kationer (f.eks. metall - eller ammoniumioner) fra løsningen, her betegnet Me⁺. Det er OH - grupper som er utbytteaktive, de er knyttet til silisium - eller aluminium - atomer i krystallstrukturen.



- b. Eksempel på anionutbytte. Det kolloidale leirmineral knytter til seg dihydrogenfosfationer som adsorberte anioner.

Figur 1. Skjematisk fremstilling av kolloidale partiklers ionebytteegenskaper.

Biologiske forhold. Det har allerede vært omtalt sammenhenger mellom partikkelinnhold og organismeliv i vannet (f.eks. lysklima, adsorpsjonsegenskaper osv.). Dette gjelder sider ved økosystemet som bl.a. har betydning for produksjonsforhold og energiomsetting i organismesamfunnet. På fundamental måte griper dette direkte inn i vannforekomstenes stoffskifte. Men det er også enkelte andre virkninger som fortjener omtale i en generell fremstilling av problemene.

Det er hensiktsmessig å skille mellom forholdene i innsjøer og elver. Et velkjent sitat fra limnologen C.A. Kofoid (1903) kan illustrere dette:

"In this matter of silt and turbidity the river as a unit of environment stands in sharp contrast to the lake. Deposition of solids and clear water are normal to the environment of the lake, while solids in suspension and marked turbidity are the rule with river waters. Owing to their varied occurrence these elements, silt and turbidity, also add to the instability of fluvial conditions, as contrasted with lacustrine conditions."

Mange typer av seston-materiale bunnfeller imidlertid praktisk talt ikke under vanlige forhold i innsjøer. Dette gjelder i stor grad den kolloidale fraksjon, men også findisperse partikler som har spesifikk vekt nær til vannets. Videre gjelder dette plante- og dyre-organismer med egen bevegelse eller som kan modifisere sin spesifikke vekt gjennom spesielt utviklede flyteinnretninger (f.eks. reservestoffer, gassvakuoler). Det er flere faktorer som motvirker sedimenteringstendenser. Vannets turbulente bevegelser, og de kolloidale partiklenes gjensidige frastøting ved de elektriske ladningsforhold, er viktige eksempler. Når vannet kommer i strømmende bevegelser i et elvesystem, vil utfellingsmuligheter til dels bli forandret. Det er både kjemiske og fysiske årsaker til dette (Whitton 1975).

Tilslamming av bunn og strender har mange konsekvenser for dyre- og planteliv (Hynes 1966). Organismer som er avhengige av synet for å finne mat vil ikke trives under forhold med høy turbiditet. Dette gjelder både vertebrater og invertebrater. Mange dyr lever ved å filtrere organiske partikler fra vannet gjennom spesielt utviklede innretninger. Høyt partikkelinnhold i vannmassene kan tilstoppe filtreringsutstyr, og dermed ødelegge livsmuligheter.

Reproduksjonsforhold til bunndyr vil bli influert. Kolonisering og oppvekst av mikroorganismer på overflater er forskjellig under situasjoner med ulik turbiditet i vannet. Direkte og indirekte vil tilslamming på denne måten endre konkurranseforhold og suksesjon (Barett et al. 1981) i et vassdrags organismsamfunn.

3. SPESIELLE UNDERSØKELSER AV SESTON

Grovt regnet kan vi sette ratid mellom 11000 og 10000 år før nåtid. Da ble en stor del av jorden på Vestlandet skapt. En stor landis er aldri i ro, men glir stadig mot lavland og sliter på berget og legger det løse igjen som såkalt morene. Når isen har gått fram og stopper, blir det liggende igjen en bra jordvoll der isen stoppet, en endemorene, en voll med stein, grus, sand og leir, men av leir og sand blir mye ført bort av rennende vann. Bergarten som isen glir over, har også mye å si for en morene. Er bergarten hard og stiv, blir morenen storsteinet, men er bergarten bløt og seig, blir morenen leiret. *Undås 1963.*

3.1 Lokaliteter, materiale og metoder

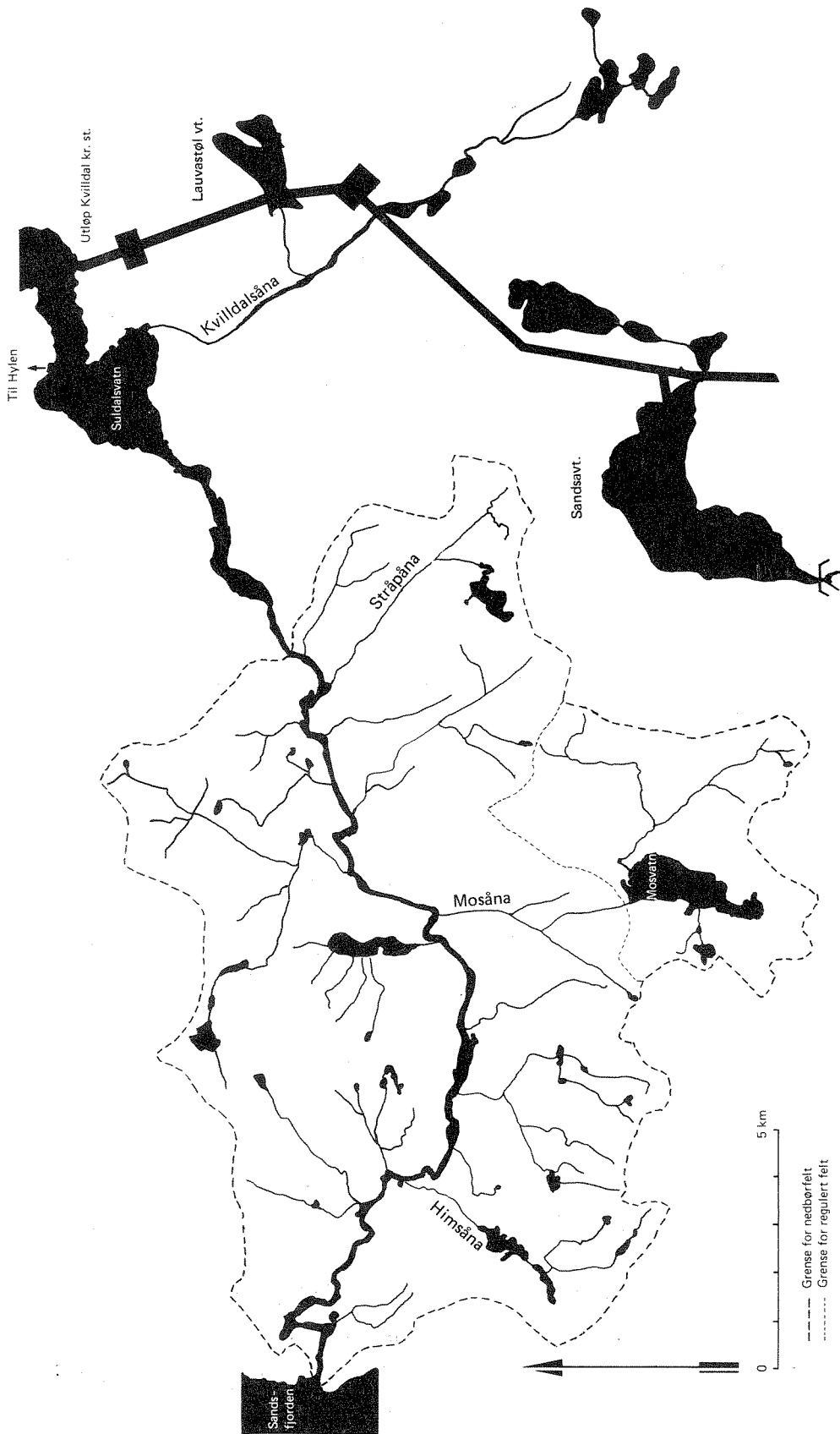
Lokaliteter. De fleste observasjoner ble foretatt i Suldalslågen på strekningen fra Suldalsvatnet til Sandsfjorden. Det er dessuten gjort enkelte observasjoner i Sandsavatnet og Kvilldalsåi. I perioden 3.8.1981 til 28.11.1983 ble det foretatt regelmessig prøvetaking på fem stasjoner i Suldalslågen:

- Utløp Suldalsvatnet
- Lunde bru
- Førland bru
- Littlehaga bru
- Tjelmane bru

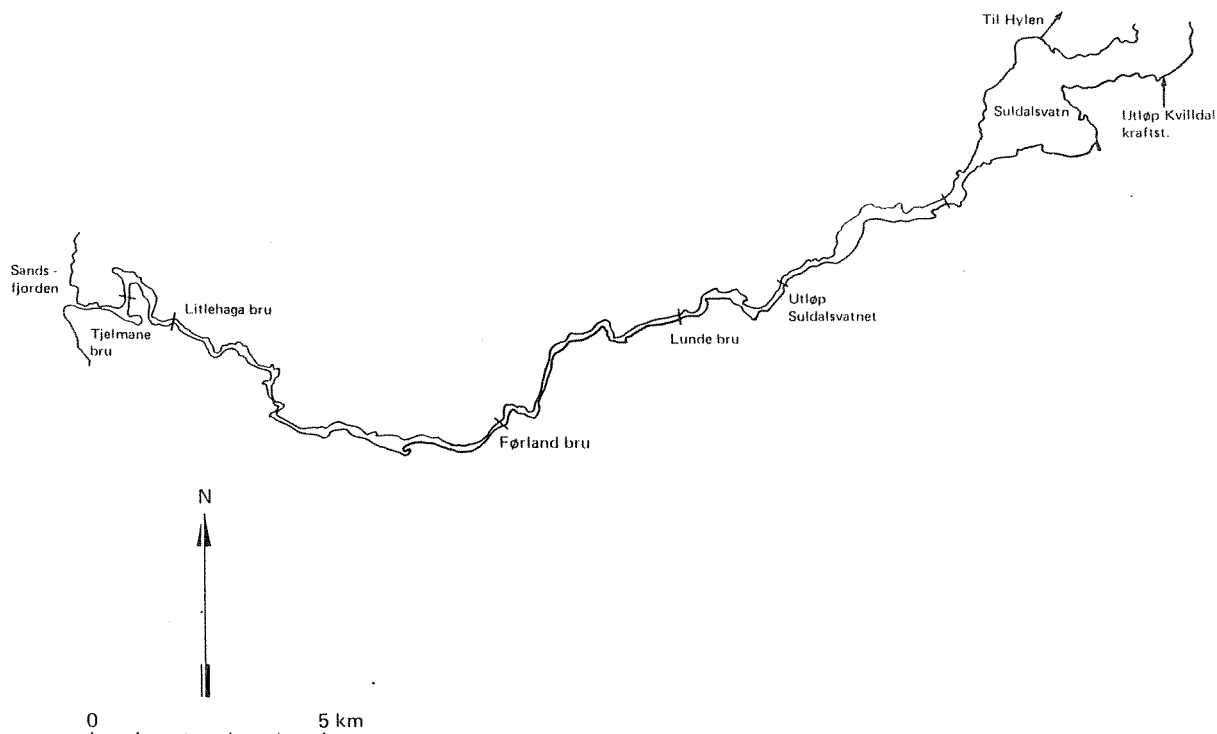
På kartskissen figur 2 er Suldalslågen med nedbørfelt tegnet inn. Figur 3 viser stedene for prøvetaking og observasjoner i denne undersøkelsen.

Materiale. Grunnlaget for undersøkelsen dannet flere typer prøver:

<u>Vannprøver</u>	<u>Sestonprøver</u>	<u>Sedimentprøver</u>
Innsamlet med:	Innsamlet med:	Innsamlet med:
- vannhenter	- membranfiltre	- bunnlodd
	- glassfiberfiltre	
	- planktonhåv	



Figur 2. Suldalslågen med nedbørfelt.



Figur 3. Observasjonsstasjoner for sestonundersøkelsene.

Vannprøvene ble benyttet til kjemiske analyser. Sestonprøvene omfattet innsamling av materiale for kvalitative og kvantitative undersøkelser.

Til bestemmelse av algedrift i Suldalslågen ble det gjort innsamlinger av prøver med planktonhåver (sildukens maskeåpninger henholdsvis 25 μm og 95 μm). Materialet er betegnet som håvtrekkprøver.

Metoder. De vannkjemiske analysene ble utført på laboratoriet til Norsk institutt for vannforskning i Oslo. Metodene var de rutinemessige for de aktuelle komponenter (tabell 3). Følgende faktorer ble analysert:

Surhetsgrad	Total fosfor	Klorid
Konduktivitet	Ortofosfat	Kalsium
Farge	Total nitrogen	Total organisk karbon
Turbiditet	Nitrat	

Tabell 3. Fysiske og kjemiske analysemetoder.

Analyseparameter	Enhet	Grense- verdi	Metode
Surhetsgrad	pH		NS 4720. ORION pH-meter 801A
Konduktivitet	$\mu\text{m S/cm}$, 20° C		NS 4721. PHILIPS PW9509
Fargetall	mg Pt/l	5 mg Pt/l	NS 4722. EEL-absorptiometer
Turbiditet	FTU	0,1 FTU	NS 4723. HACH 2100A
Totalfosfor	$\mu\text{g P/l}$	0,5 $\mu\text{g P/l}$	Oksydasjon til Orto P med H_2O_2 og UV-belysning
Ortofosfat	$\mu\text{g P/l}$	0,5 $\mu\text{g P/l}$	Filtrering gjennom membran- filter før konservering og analyse v.h.a. autoanalyser
Total nitrogen	$\mu\text{g N/l}$	10 $\mu\text{g N/l}$	UV-belysning. Bestemmes som NH_4 i autoanalyser
Nitrat	$\mu\text{g N/l}$	10 $\mu\text{g N/l}$	Autoanalyser
Klorid	mg Cl/l	0,2 mg/l	Autoanalyser
Kalsium	mg Ca/l	0,01 mg/l	Atomabs. Perkin-Elmer 2380
Tot.org.karbon	mg C/l	0,02 mg/l	Oksydasjon til CO_2 med per- sulfat. IR-metode.

Sestonprøvene ble bearbeidet etter flere fremgangsmåter:

- Partikkelundersøkelse med lysmikroskopi
- Partikkelundersøkelse med scanning elektronmikroskopi (SEM)
- Bestemmelse av sestonets stoffinnhold
- Vektbestemmelse av seston

Metoder og utstyr som ble benyttet er tidligere beskrevet, og det vises til foreliggende litteratur (Baalsrud et al. 1964, Lindstrøm et al. 1975, Skulberg 1978).

Innhold av organismer og partikulær substans i håvtrekkprøver ble til dels undersøkt i frisk tilstand. Alle prøver ble konserverert i nøytralisert formalin. I laboratoriet ble det biologiske materialet undersøkt med kvalitative metoder og vurdering av forekomst. Ved bedømmelsen av forekomst ble mengdeangivelsene i tabell 4 benyttet. Fremgangsmåten for mikroskopisk analyse av håvtrekkprøver er tidligere beskrevet (Skulberg 1959).

Partikkelundersøkelse med scanning elektronmikroskopi (SEM) ble utført ved Sentralinstituttet for industriell forskning. For mikrofotografiene tatt i SEM ble det benyttet spesielle filtertyper (Arnesen 1977).

Tabell 4. Skala for angivelse av mengdemessig forekomst av organismer

Betegnelser for forekomst i prøven	Kvantitetsgruppe
Til stede	+
Sjelden	1
Sparsom	2
Vanlig	3
Hyppig	4
Dominant	5

3.2 Utvikling av partikkelforurensning i Suldalslågen

Suldalsvatnet og Suldalslågen var fra gammelt karakterisert av klart og reint vann. Dette hang sammen med geografiske forutsetninger, naturforholdene i nedbørfeltet, og at menneskelig virksomhet i liten utstrekning påvirket vassdraget. Det store innsjøbassenget til Suldalsvatnet ($4500 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) ga vannmassene en lang oppholdstid før utbyggingen (teoretisk 1,4 år). Fysiske, kjemiske og biologiske faktorer i Suldalsvatnet medførte at omfattende selvrensingsprosesser fant sted. Klart vann med svært liten partikkelforurensning rant ut ved Suldalsosen. Suldalslågens vannmasser var derfor naturlig, reint vann.

Da de første observasjoner for denne undersøkelsen ble utført i 1981, var fremdeles lavt partikkelinnhold og klart vann dominerende egenskaper ved vannmassene. Noen resultater fra feltundersøkelsen sommeren 1981 kan nevnes for å illustrere forholdene (NIVA 1981).

- Det var stort siktedyp i Suldalsvatnet. Målt med Secchi-skive var siktedypet 12 m (5.7.1981).
- Vannmassene var preget av klart vann med liten egenfarge. Turbiditeten var mindre enn 0,4 FTU, og fargen tilsvarte omlag 6 mg Pt/l (5.7.1981).

Utviklingen av partikkelforurensningen i Suldalslågen 1981-1983 kommer frem bl.a. gjennom tørrvektbestemmelsene av vannmassenes sestoninnhold (tabell 5).

I den grafiske fremstilling i figur 4 er verdiene for tørrvektbestemmelsen av sestoninnholdet i vannmassene i Suldalslågen ved Utløp Suldalsvatnet valgt til å illustrere utviklingsforløpet.

I oktober og november 1981 var det en periode med tiltakende partikkelforurensning i Suldalslågen. Situasjonen var forbigående. Men tidlig på vinteren 1982 fant det sted en stadig økende forekomst av seston i vannmassene. Sommeren 1982 kulminerte verdiene. Det ble målt partikkelinnhold

på mer enn 3 g m^{-3} tørrvekt over lengre tid. Konsentrasjonen av totalseston var da mer enn tredoblet sammenliknet med forholdene sommeren 1981. Observasjoner med Secchi-skive i Suldalsvatnet i juli 1982 viste et siktedyp på ca. 2 m (NIVA 1982 I).

I november og desember 1982 var det avtakende innhold av seston i vannmassene. Partikkelinnholdet stabiliserte seg gjennom vinteren 1983 på verdier omkring $1,9 \text{ g m}^{-3}$. Med noen variasjoner i løpet av sommermånedene holdt dette nivå av seston seg ut over høsten. Det gjorde seg fortsatt gjeldende en viss reduksjon av sestoninnhold mot november 1983, da observasjonene ble avsluttet.

Vannmassenes gjennomsiktighet i Suldalsvatnet målt med Secchi-skive ved Solheimsvik er vist i tabell 6. I grove trekk viser disse resultatene utviklingen av partikkelforurensningen som har funnet sted i vassdraget i undersøkelsesperioden.

Tabell 6. Noen observasjoner av siktedyp målt med Secchi-skive i Suldalsvatnet.

Ar	April	Juli	September
1981		12 m	
1982	> 10 m	2 m	1,3 m
1983	2,9 m	2,4 m	

3.3 Karakterisering av vannmassenes innhold av seston

Opprinnelse. Det suspenderte sestonmaterialet i Suldalslågens vannmasser er til dels tilført fra nedbørfeltet (oppstrøms Suldalsosen), til dels tilført fra det lokale nedbørfelt eller direkte dannet på elvestrekningen (f.eks. fragmenter av begroing, opphvirvling av sedimenter).

Turbiditetsøkningen som ble registrert i vassdraget gjennom 1982 hadde hovedsakelig grunnlag i forholdene som utviklet seg i Sandsavatnet. Inngrepene som ble foretatt i forbindelse med kraftverksutbyggingen ga omfattende endringer i vannkvaliteten. Løsavsetningene i tilknytning til

Sandsavatnet består til dels av lett eroderbare masser. Erosjonseffekter forårsakes av strømmende vann, bølger og utglidninger ved senkning av vannstand. Partikkelforurensning fra slike prosesser førte til en markert, vedvarende blakking av vannmassene i innsjøen og nedover i hele vassdraget.

Partikkelforurensningen i vannmassene fra Sandsavatnet blir i stor grad påvirket av selvrensingsprosesser i Suldalsvatnet. Det er derfor et vesentlig modifisert materiale som utgjør sestoninnholdet i vannmassene som strømmer ut av Suldalsvatnet.

Forhold i Suldalsvatnet. Det ble ovenfor omtalt hvordan Suldalsvatnet endret karakter med hensyn til vannmassenes optiske egenskaper i løpet av sommeren 1982. Noen nærmere enkeltheter skal behandles i det følgende, for å utdype forståelsen av forholdene.

Fra utløpet til Kvilldal kraftstasjon tilføres Suldalsvatnet det partikkelrike vannet fra Sandsavatnet (se fotografi på rapportforside). Det finner sted en gradvis fraksjonering av materiale etter hvert som innblanding i Suldalsvatnet foregår. De større og tyngre partikler vil forholdsvis raskt bli gjenstand for sedimentering, de små og lette partikler vil først langsomt synke eller fortsatt holde seg svevende. I løpet av noen uker på forsommeren 1982 ble hele Suldalsvatnet (overflate $28,5 \text{ km}^2$, volum $4500 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) påvirket av partikkelforurensninger fra Sandsavatnet.

De grafiske fremstillinger i figur 5 gjengir karakteristiske situasjoner av hendelsesforløpet i Suldalsvatnet. Observasjoner av vannmassenes turbiditet ved Solheimsvik er vist for tidspunktene 5. juli 1981, 14. september 1982, 22. april 1983 og 14. september 1983. Enkelte momenter kan fremheves.

- Suldalsvatnet hadde sommeren 1981 et klart og blankt vann gjennom hele innsjøen.
- Etersommeren 1982 var vannmassene over sprangsjiktet (epilimnion) sterkt påvirket av partikkelforurensningen fra Sandsavatnet. Også vannmassene under sprangsjiktet (hypolimnion) viste markert innflytelse av partikkelforurensningen.

- Under fullsirkulasjonsperiodene blir vannmassene blandet fra overflate til bunn i Suldalsvatnet. Partikkelforurensningen blir dermed forholdsvis jevnt fordelt i hele innsjøens vannmasser. Situasjonen våren 1983 viser høy turbiditet i hele innsjøen.
- Septembersituasjonen i 1983 viser fortsatt høy turbiditet i Suldalsvatnet. Det har funnet sted en viss konsentrering av partikkelforurensning i området for sprangsjiktet (metalimnion).

Sammenfattende kan det understrekes at selvrensingsprosessene i Suldalsvatnet (her definert som helheten av eliminasjonsprosesser som virker på vannmassenes partikkelinnhold mellom to observasjonspunkter) hovedsakelig resulterer i forandringer i turbiditetsfordeling i vannmassene. De tunge bestanddeler av tilførte partikkelforurensninger sedimenterer. De finfordelte bestanddeler (til dels kolloidial fase) viser tendens til anrikning i Suldalsvatnets vannmasser.

Mengden av partikkelforurensning. Før forholdene i selve Suldalslågen blir behandlet, er det nærliggende å konkretisere noe mer de mengdene av partikler det dreier seg om i Suldalsvatnets vannmasser, og betydningen av de forskjellige bestanddeler.

I tabellene 7 og 8 er det laget sammenstillinger av vektbestemmelser av seston og måleresultater av turbiditet i Suldalsvatnet. Det er vist hvordan fordelingen av sestonet er i forskjellige dybdeintervaller av vannmassene ned til 150 m dyp. Noen hovedtrekk av det som kommer frem av resultatene kan omtales.

Vektbestemmelsene markerer at den største andel av sestonet består av uorganisk materiale. Det vil si at mineralske partikler er hovedkomponenten i Suldalsvatnets vannmasser bedømt ut fra sestonets vektforhold.

Noen eksempler kan nevnes. Observasjonene 14. september 1982 viser at vannmassene i dybdeintervallet 0 - 25 m hadde en konsentrasjon av totalseston tilsvarende $4,2 \text{ mg l}^{-1}$, av dette var $3,6 \text{ mg l}^{-1}$ uorganisk materiale. Året etter, 14. september 1983, var konsentrasjonen av totalseston i samme dybdeintervall $1,3 \text{ mg l}^{-1}$. Konsentrasjonen av uorganisk materiale var da $0,7 \text{ mg l}^{-1}$.

Sammenliknes Suldalsvatnets tilstand i 1982 og 1983 med hensyn til sestoninnhold, fremstår en avtakende tendens når det gjelder mengde (bedømt ut fra vekt) av partikkelforurensningen. For hele innsjøen, ned til 150 m dyp, utgjorde f.eks. 14. september 1982 uorganisk seston 9.320 tonn. På samme måte, 14. september 1983, utgjorde uorganisk seston 4.982 tonn i Suldalsvatnet (tabell 7).

Legges turbiditetsmålingene til grunn, fremstår imidlertid et annet bilde. På nytt kan septemberobservasjonene de to påfølgende år benyttes som eksempel. Turbiditeten i Suldalsvatnet 14. september 1982 varierte mellom 1,0 - 3,8 FTU. Tilsvarende varierte verdiene 14. september 1983 mellom 1,7 - 3,6 FTU. Det har funnet sted en økende tilgrumsing av vannmassene, når innsjøens tilstand blir vurdert samlet. For Suldalsvatnet som helhet (vannmassen i intervallet 0 - 150 m) har mengde turbiditet gradvis tiltatt, f.eks. 1.019 i 1981, 6.607 i 1982 og 7.295 i 1983 (tabell 8).

Det fremstår av dette at partikkelforurensningens grovere bestanddeler sedimenterer forholdsvis raskt i Suldalsvatnet. De finere bestanddeler derimot holder seg lenge fordelt i vannmassene. De sedimenterer ganske langsomt. Når det gjelder vektbestemmelsene av seston, er det de grove partiklene som slår mest ut. Imidlertid er det de finfordelte partiklene som bidrar sterkest til turbiditeten i vannmassene og særlig påvirker vannets egenskaper (se kapittel 2) fysisk, kjemisk og biologisk.

Partikkelforurensning i Suldalslågen. I tabell 5 er primærdata fra sestonobservasjonene på de faste målestedene (Utløp Suldalsvatnet, Lunde bru, Førland bru, Litlehaga bru og Tjelmane bru) stilt sammen. En grafisk fremstilling av månedlige middelveier av seston - bestemt som tørrvekt ved utløp Suldalsvatnet og Lunde bru - er vist i figur 6. Vannføringsforholdene i Suldalslågen - som månedlig middelvannføring - for undersøkelsesperioden er fremstilt grafisk i figur 7.

De fleste vassdrag som er lite påvirket av menneskelig virksomhet viser gjerne en nær sammenheng mellom konsentrasjoner av seston i vannmassene og vannføring (Østrem 1971). Forholdene varierer imidlertid gjennom året, og med geografiske egenskaper i nedbørfeltet. Det er f.eks. vanlig å finne at slamføring tiltar med økende vannføring i et vassdrag.

Resultatene fra Suldalslågen viste ingen direkte enkel sammenheng mellom verdiene for sestonkonsentrasjoner og vannføring. Dette er rimelig både ut fra årsakene til partikkelforurensningen, og Suldalsvatnets modifierende innvirkning på vannmassenes innhold av suspendert stoff.

Det er vannmassenes innhold av partikkelforurensning ved utløpet av Suldalsvatnet som er utslagsgivende for situasjonen på hele vassdragsstrekningen ned til Sandsfjorden. Dette fremgår såvel av de gjennomsnittlige forhold, som av observasjonene de enkelte dager. Figur 8 viser et typisk eksempel på hvordan konsentrasjon av seston og turbiditet gjør seg gjeldende på de forskjellige stasjoner i Suldalslågen (juli 1982).

Det er flere prosesser som påvirker vannmassenes sestoninnhold på elvestrekningen fra Suldalsvatnet til Sandsfjorden. Særlig viktige er selvrensingsforløp og lokalt forurensningsbidrag. Det finner bl.a. sted en betydelig fjerning av suspendert materiale gjennom utfellingsprosesser og filtreringsmekanismer i begroingssamfunn. Dette kommer til uttrykk i avtakende verdier for innhold av seston på observasjonsstasjonene nedstrøms Suldalsvatnet. Men da det samtidig er en ny tilførsel av erosjonsmateriale fra elvebunn, strandnære områder og sidevassdrag, blir virkningen delvis overskygget av dette (særlig nedstrøms samløpet med Mosåna). Imidlertid består det lokaltilførte erosjonsmaterialet særlig av sand og silt (tabell 1), og det påvirker derfor ikke vannmassenes turbiditet i så stor grad. I figur 9 er de observerte turbiditetsverdier for Suldalslågens vannmasser tegnet inn. Resultatene av turbiditetsmålingene gir klare holdepunkter for at en omfattende selvrensning finner sted i Suldalslågen. Gjennomgående innebærer dette bl.a. reduksjon av de findisperse bestanddeler av partikkelforurensningen i vannmassene på elvestrekningen. I tillegg gjør en fortykning seg gjeldende med nytt vann tilført Suldalslågen.

3.4 Sestonets sammensetning

Geologiske forhold. Kvalitative undersøkelser av mineralinnholdet i det suspenderte materialet er gjort med polarisasjonsmikroskopi og bruk av brytningsvæsker. Dette har gitt en oversikt over bestanddelene i den uorganiske komponent av sestonet (tabell 9). Resultatene viser at partiklernes geologiske opphav er bergartene som inngår i den kaledonske fjellkjede.

Sterkt omdannede lag - fyllittformasjonen - av sand, leire, kalk og vulkanske masser strekker seg som et belte gjennom denne del av Rogaland. Et eldre grunnfjellsunderlag var også med i fjellkjedebevegelsen. Bergartene gneis og presset granitt er typiske for dette eldre underlaget (Holtedahl 1953, side 294). Suldalslågens nedbørfelt er derfor et komplisert sammensatt geologisk område.

De løse jordlag i nedbørfeltet til Suldalslågen er dominert av supramarine dannelser (Holtedahl 1953). Morene, sand og grus er fremtredende jordarter. Langs dalsidene forekommer forvittringsjord - ofte med bruddstykker av fyllitt - morenerester og i forsenkninger myrjord (Bjørlykke 1940).

Da forholdene i og rundt Sandsavatnet har spesiell interesse, kan noen detaljer om morenematerialets struktur her omtales. Etter karakteren av det finere materialet (partikkeldiameter mindre enn 60 mm - se tabell 1) kan det skilles mellom grusmorener, sandmorener og leimorener (Holtedahl 1953, side 762). Grunnfjellsbergartene gir morenemateriale med en masse som har lite av leirstoff og er forholdsvis grovkornet. Fyllittformasjonen - omdannede kambro-siluriske bergarter - gir derimot morenemateriale med mye finstoff (bindestoff). Morener med opphav i fyllittformasjonen er nettopp utbredt i Sandsavatnets nedbørfelt.

Elve- og innsjøsedimenter utgjør selve Sandsavatnets løsavsetninger. Utvaskningsmateriale fra morenejord og bresjøavsetninger preger mineralinnholdet. Materialet er avsatt under varierende strømforhold og vannbevegelse. Dette har hatt betydning for fordelingen av materialet (partikkelstørrelse) og avsetningenes mektighet.

En forekomst av kiselgur (anrikning av fossile diatoméer) ble oppdaget i Sandsavatnet ved denne undersøkelse, som vil bli behandlet under omtalen av sestonets biologiske opprinnelse.

Tabell 9. Kvalitativ undersøkelse av sestonets mineralinnhold.

Mineral	Kjemisk sammensetning	Spesifikk vekt	Forekomst i seston
Biotitt	K, Mg, Fe, Al, silikat	2,8 - 3,2	mye
Mikroklin	$K(AlSi_3O_8)$	2,54 - 2,57	mye
Plagioklas*	$Na(AlSi_3O_8)$ $CaAl_2Si_2O_8$	~ 2,57	lite
Kvarts	SiO_2	2,65	mye
Hornblende	Ca, Mg, Fe, Al, silikat	3,2	lite
Kalkspat	$CaCO_3$	2,71	lite
Hematitt	Fe_2O_3	5,26	lite
Magnetitt	Fe_3O_4	5,18	lite
Titanitt	$CaTiO(SiO_4)$	3,40 - 3,55	lite
Diatomitt	Kiselgur	2,00 - 2,07	mye

* En del korn viser sterk omdannelse til andre mineraler, antagelig ved sericittisering og/eller saussurittisering.

Kjemiske forhold. Mineralene som er omtalt ovenfor er stort sett tungt løselige i vann. De vil derfor i liten grad direkte påvirke vannmassenes kjemiske sammensetning bedømt ut fra vanlige betraktninger av vannkvalitet. Indirekte vil mineralinnholdet imidlertid ha stor betydning, spesielt i sammenheng med stoffenes fordeling og omsetningsforhold i vassdragsøkosystemet (Kjensmo 1972).

Vesentlig informasjon om sestonets virkning på vannkjemiske forhold fremkommer av analysene av ufiltrerte vannprøver og filtrerte vannprøver. I tabell 10 er det gitt en oversikt over primærdata fra slike bestemmelser.

Den grafiske fremstilling i figur 10 gir eksempler på kjemiske forhold i filtrerte og ufiltrerte prøver fra Sandsavatnet og ved Kvilldal kraftstasjon. Ved denne filtrering er det benyttet glassfiberfilter med poreåpning 0,5 μm . Spesielt forholdene knyttet til fosfor- og nitrogenfor-

bindelser skal fremheves. Når det gjelder fosfor er det stor forskjell mellom verdier i filtrerte og ufiltrerte prøver, mens det tilsvarende for nitrogen er relativt små forskjeller. Dette henger sammen med stoffenes ulike egenskaper og reaksjoner knyttet til partikkelfraksjoner. Sestonet inneholder mineralkomponenter (tabell 9) som adsorberer fosfationer effektivt. Fosfor følger altså partikkelfraksjonen i vannmassene i stor grad. Nitrogenet er derimot i langt mindre utstrekning partikkelbundet. Det vaskes derfor forholdsvis lite ut fra sestonet.

Fosfor- og nitrogenforbindelser har avgjørende betydning for biologisk produksjon i vann (Skulberg 1980). Med få unntak er det disse stoffene som f.eks. regulerer algeutviklingen i vannforekomstene. Stoffkonsentrasjonene som finnes i vassdragene er en funksjon av flere faktorer. De bestemmes bl.a. av belastningsforholdene, det vil si mengden tilført stoff per tidsenhet, og av vannvolumet som stoffet fortynnes i. For Suldalslågen er konsentrasjonen av fosfor- og nitrogenforbindelser under de rådende naturforhold i nedbørfeltet lave - oligotrofe vanntyper. Partikkelforurensningen fra Sandsavatnet medfører at det blir en betydelig forhøyning av bakgrunnsbelastningen, spesielt med fosforforbindelser (figur 11). Det kan nevnes at fosforinnholdet i partikkelfraksjonen av sestonet i stor utstrekning er tilgjengelig for algevekst (NIVA 1982 I).

Biologiske forhold. Det undersøkte materialet omfattet prøver fordelt på stasjonene som ble benyttet under feltarbeidet (tabell 11). Primærdata for stasjonene Utløp Suldalslågen, Lunde bru og Tjelmane bru er stilt sammen i tabellene 12, 13 og 14. Det er laget en systematisk oversikt over algeartene som ble identifisert (tabell 15), og som omfatter alle stasjonene som inngikk i undersøkelsen.

Plantematerialet i sestonet besto av flere hoveddeler. Planktonalger og detritus fra Suldalsvatnet var vanlig forekommende. Begroingsorganismer fra vegetasjonssamfunnene i Suldalslågen utgjorde likevel hovedbestanddelen. Tilførte planterester fra det lokale nedbørfelt var til dels et viktig innslag. I tabell 16 er det vist hvordan identifiserte arter av alger fordeler seg på systematiske klasser. Det er selvsagt avhengig av bl.a. hvor detaljert sestonmaterialet bearbeides, om det blir funnet mange arter eller ikke. Den mikroskopiske analysen som ble utført, gir i dette tilfelle en hovedsakelig beskrivelse med god tilnærming til de aktuelle

forhold i vassdraget. Det er tydelig at grønnalger utgjør den viktigste gruppe av organismer i sestonmaterialet. Kiselalger, gullalger og blågrønnalger har anslagsvis samme betydning i materialet. Fureflagellater og rødalger inngår med få arter i sestonet.

Noen betydningsfulle arter som er karakteristiske for de tre hovedstasjonene i denne undersøkelsen, er listet opp i tabell 17. Suldalslågen er når det gjelder algevegetasjon, fremdeles av *Zygnema*-type (Israelson 1949). Dette gjenspeiles også i algeinnslaget i sestonprøvene som ble analysert. Videre drøftelser av disse forhold vil bli gjort i forbindelse med undersøkelsen av algebegroing i Suldalslågen (NIVA 1983).

Tabell 16. Fordeling av algearter på systematiske klasser

CYANOPHYCEAE Blågrønnalger 12	CHLOROPHYCEAE Grønnalger 37	BACILLARIOPHYCEAE Kiselalger 15
CHRYSTOPHYCEAE Gullalger 9	DINOPHYCEAE Fureflagellater 2	RHODOPHYCEAE Rødalger 4

Tabell 17. Fremtredende algearter i sestonprøver

Organismer	Utløp Suldalsvatnet	Lunde bru	Tjelmane bru
CYANOPHYCEAE Blågrønnalger	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Chamaesiphon confervicolus</i>	<i>Chamaesiphon confervicolus</i>
CHLOROPHYCEAE Grønnalger	<i>Binuclearia tectorum</i> <i>Mougeotia</i> spp.	<i>Binuclearia tectorum</i> <i>Microspora</i> spp. <i>Mougeotia</i> spp. <i>Spirogyra</i> spp. <i>Zygnema</i> sp.	<i>Microspora</i> spp. <i>Mougeotia</i> sp.
BACILLARIOPHYCEAE Kiselalger	<i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Tabellaria flocculosa</i>	<i>Fragilaria</i> cf. <i>intermedia</i> <i>Tabellaria flocculosa</i>	<i>Fragilaria</i> cf. <i>intermedia</i> <i>Tabellaria flocculosa</i>
CHRYSTOPHYCEAE Gullalger	<i>Dinobryon</i> spp.	<i>Dinobryon</i> spp. <i>Hydrurus foetidus</i>	<i>Dinobryon</i> spp. <i>Hydrurus foetidus</i>
DINOPHYCEAE Fureflagellater	<i>Peridinium inconspicuum</i>	<i>Peridinium inconspicuum</i>	

Kiselgur. Under omtalen av de geologiske forhold knyttet til seston i Suldalslågen ble det nevnt påvisningen av kiselgurforekomsten i Sandsavatnet. Da dette har stor interesse i forbindelse med turbiditetspåvirkninger av vannmassene i vassdraget, vil det bli gjort noe nærmere rede for fenomenet.

Kiselgur er en forekomst av fossile diatoméer (kiselalger) i sedimenter (Noe-Nygaard 1955). I våt tilstand danner kiselgur en leir-aktig masse. Ved tørking blir den lys av farge og lett. Sediment av denne typen regnes til en spesiell kategori av algegyttje (Lundqvist 1927). Algegyttje med diatomeer kan ha et varierende innhold av jern, og går med økende jernutfelling gradvis over til diatoméoker. Med stor forekomst av diatoméer og lavt jerninnhold utgjør sedimentet ren kiselgur. Foreløpig er det bare et lite antall lokaliteter med kiselgurforekomst som er kjent her i landet (Holtedahl 1953).

På grunn av diatoméenes strukturerte cellevegger - porerike kisel skall - får kiselgur en meget stor overflate, med stor oppsugingsevne for andre stoffer. Det er foreløpig lite kjent hva som gir grunnlag for dannelse av kiselgur. Mens diatoméene lever, er kisel skallet på en eller annen måte beskyttet mot oppløsning. Etter at cellen dør, vil normalt kisel skallet bli løst opp. "In certain environments, however, the walls of planktonic diatoms may settle and accumulate on the bottom faster than they dissolve, thereby forming a diatomaceous ooze" (Lewin 1962). For at det skal kunne dannes avsetninger med så stor mengde som i Sandsavatnet, må det i postglacial tid muligens ha vært en periode med spesielt gunstige forutsetninger for vekst og utvikling av kiselalger.

Erosjonsprosessene som inngrepene i Sandsavatnet har satt igang, medfører nå at kiselgur blir vasket ut av bunnelagene og hvirvlet opp i vannmassene. Små fragmenter av de fossile kisel skall holder seg lenge svevende. De utgjør en betydelig del av de findisperse partikler i Sandsavatnet og i vannmassene nedstrøms i hele vassdraget.

Fotografier av kiselgur fra Sandsavatnet er vist i figur 12. Såvel skall av planktiske som benthiske arter inngår i massen av diatomésediment som er undersøkt.

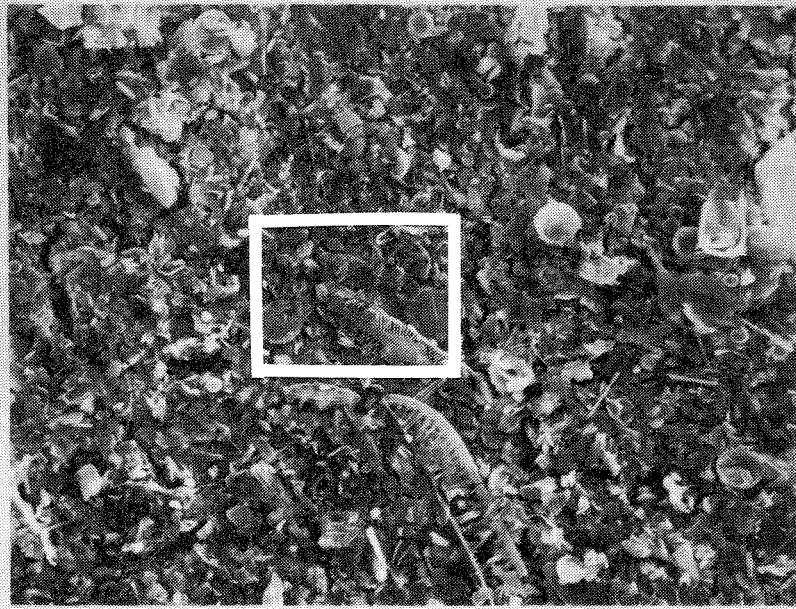
Figur 12. Kiselgur i Sandsavatnet

Fotografiene er tatt ved hjelp av elektronmikroskop. Materialet er innsamlet fra forekomsten av kiselgur i sedimentene i innsjøens sørvestlige del.

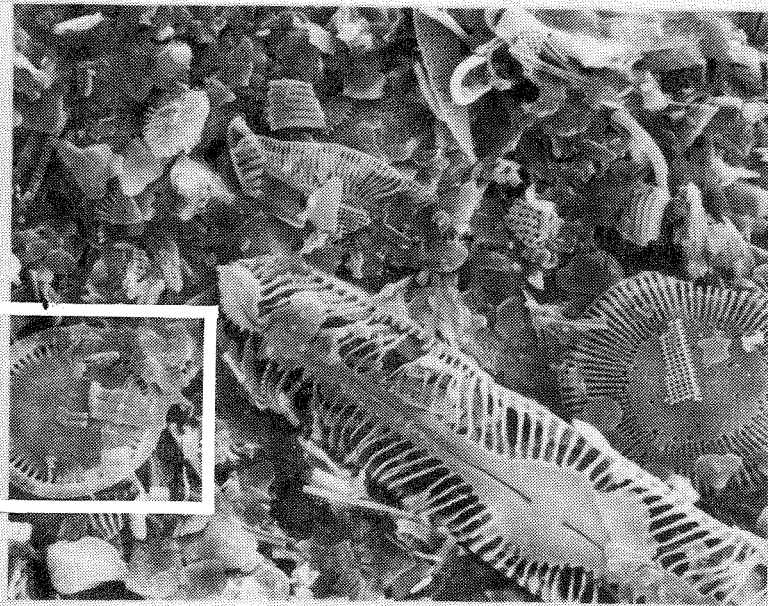
- a) Bildet viser en oversikt av partiklene i sedimentet. Skall av diatoméer utgjør den største andel av materialet i prøven. Det avmerkede utsnitt er gjengitt i større detalj i neste bilde (b).

- b) Den sirkelrunde diatoméen (Cyclotella kützingiana) til venstre på bildet er ca. 16 μm i diameter. Diatoméene omfatter mange arter av både planktiske og benthiske former. De befinner seg i mange stadier av nedbrytning. Det avmerkede utsnitt er gjengitt i større detalj i neste bilde (c).

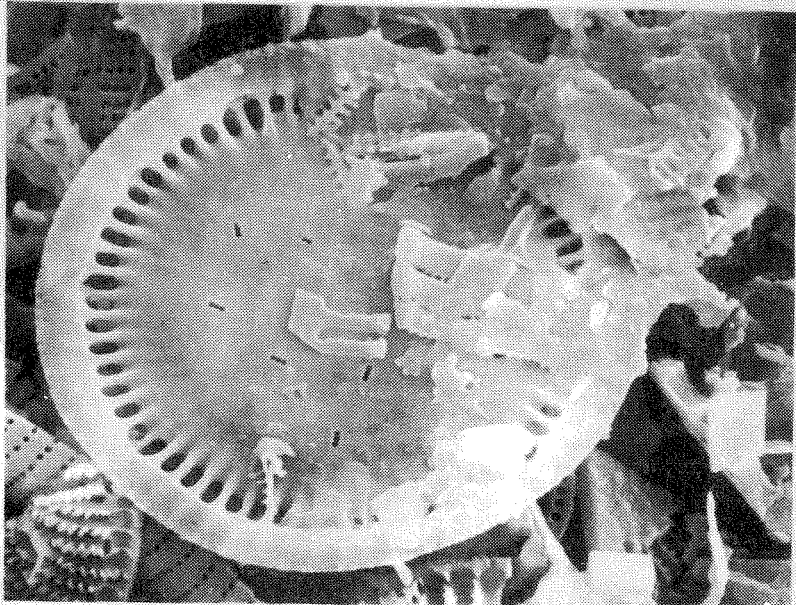
- c) Selv de minste synlige partikler består av fragmenter av diatoméer. Den sentriske diatoméen Cyclotella kützingiana kan identifiseres bl.a. på grunn av ringen rundt kanten av valva, og tettheten av radiære striper, 15 - 20 per 10 μm .



a



b



c

4. DISKUSJON AV RESULTATER

In modern terms, colloid science may be defined as the science dealing with systems consisting of a homogenous continuous phase in which kinetic units are dispersed which are large compared with simple small molecules. *van Olphen 1963.*

Det er foretatt en rekke undersøkelser av erosjonsprosesser i vassdrag og virkninger av vassdragsreguleringer. Hensikten med disse har vært flere, men oppmerksomhet har ofte vært rettet mot tidsforløp og mengdebestemmelse av suspendert stoff (Østrem et al. 1969, VHL 1977). Forholdet mellom erosjon, transport og sedimentasjon, samt hvordan vannhastighet og partikkelstørrelse influerer på prosessene, har vært sentrale problemstillinger. I mindre utstrekning har partikkelforurensninger som oppstår som følge av de endrede erosjonsbetingelser blitt studert på et vannkvalitetsmessig og hydrobiologisk grunnlag (Uhlmann 1978, Ward et al. 1979).

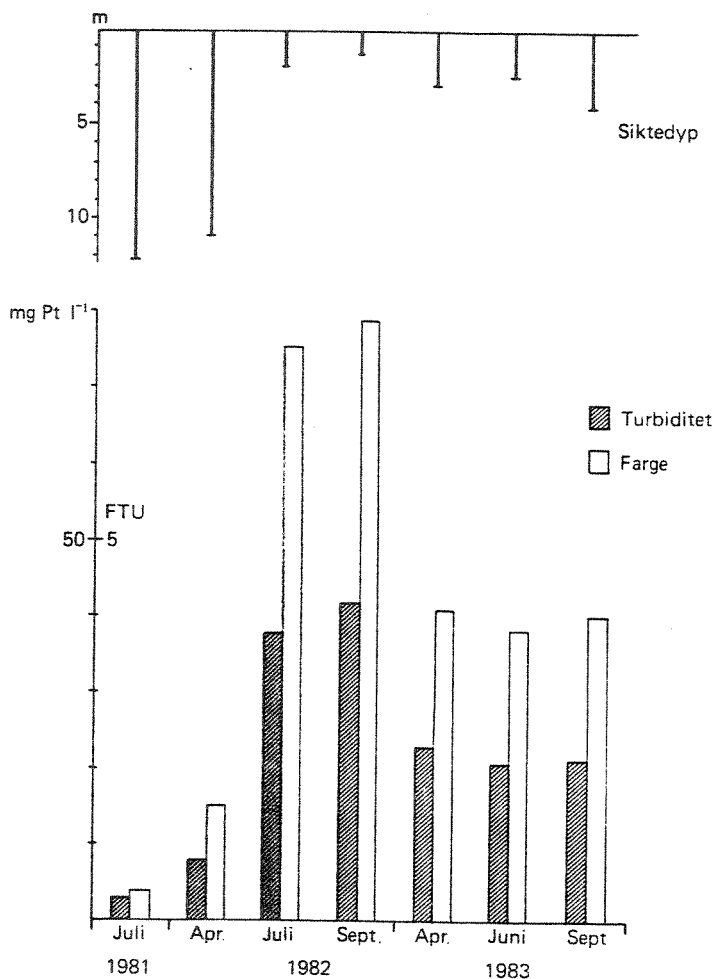
Det foreligger flere sammenfattende fremstillinger av sedimenttransport i vassdrag, og undersøkelser knyttet til ultrasninger og erosjon i senkede vann og innsjøer i Norge (Nordseth 1974, Korbøl 1975). Tilslamming av vassdrag i forbindelse med kraftverksutbygging er en vanlig erfaring (Oslo lysverker 1974, Aass 1979). Konsekvenser av slik forurensning for vassdrag og praktiske interesser er belyst i mange sammenhenger (Sundborg 1977).

Vannkvaliteten til Suldalslågen har fra alders tid vært preget av Suldalsvatnet. Klart vann med stor gjennomsiktighet er opprinnelig fremherskende for nedbørfeltets innsjøer, f.eks. Suldalsvatnet 1981 - siktedyp med Secchiskive 12 m. Også Sandsavatnet hadde tidligere klare vannmasser - siktedyp med Secchiskive 14,5 m (Steine 1978). Den store betydning til innsjøer som naturlige klaringsmagasiner for vannmassene er godt dokumentert (Jaag et al. 1964, Aarthun 1961). Suldalslågens økosystem - utviklet gjennom årtusener etter siste istid - var nettopp et resultat av disse geografiske forutsetninger, et typevassdrag for klart vann (Lillehammer 1966).

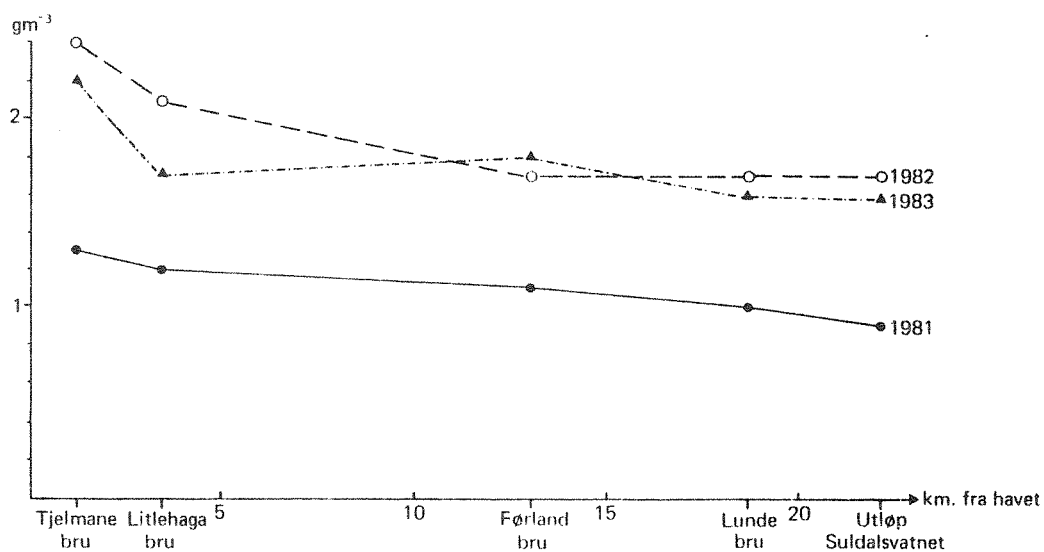
Situasjonen i vassdraget ble gjennomgripende forandret med partikkelforurensningen som oppsto i løpet av 1982. I store trekk kan den grafiske fremstilling av siktedyp i Suldalsvatnet samt turbiditet og farge i vannmassene ved utløpet av Suldalsvatnet, illustrere forandringene som har funnet sted (figur 13). Ennå i april 1982 var siktedypet i Suldalsvatnet målt med Secchi-skive mer enn 10 meter. Partikkelforurensningen som oppsto i Suldalsvatnet bredte seg raskt med vårløsning og flom. I juli 1982 var siktedypet i Suldalsvatnet redusert til omlag to meter. Fullsirkulasjonen i Suldalsvatnet medførte en fordeling av partikkelforurensningen gjennom alle dyp av vannmassene. Nye tilførsler av partikler fra Sandsavatnet i løpet av sommeren 1983 gjorde at siktedypet fortsatt var lite - mellom to og tre meter - i Suldalsvatnet. De finfordelte bestanddeler i partikkelforurensningen viste tendens til anrikning i Suldalsvatnet. Et slikt forhold kan innebære at partikkelforurensningen blir av vedvarende karakter i vassdraget.

I Suldalslågen var partikkelforurensningen relativt liten uttrykt som veid mengde stoff (figur 14). Årlige middelverdier for sestontørrvekt varierte f.eks. i 1982 og 1983 mellom 1,6 og 2,4 g m⁻³. Påvirkningen av vannkvalitet ble imidlertid bestemt av partiklenes finfordeling og stoffinnhold (mineraler, kiselgur). Det fant sted en betydelig tilslamming av Suldalslågen. Et belegg med partikler ble dannet gjennom sedimenterings- og filtreringsprosesser på alle elvestrekninger nedstrøms Suldalsvatnet. Dette hadde betydning for biologiske forhold og praktisk bruk av Suldalslågen.

Det skal til slutt understrekes at denne undersøkelse var lagt opp for å følge endringen av partikkelinnhold i Suldalslågens vannmasser. Det gikk derfor ut over rammen for arbeidet å gi svar angående virkningssiden til forurensningen av vassdraget. Noe som dessuten fordrer et annet opplegg for faglig utførelse (NIVA 1982 II).



Figur 13. Siktedyp, farge og turbiditet ved utløp Suldalsvatnet i perioden 1981 - 1983.



Figur 14. Årlige middelværdier av sestontørrevekt i Suldalslågen i 1981, 1982 og 1983.

5. VURDERINGER OG TILRADNINGER

Zwischen diesen beiden Extremen des biologischen Zustandes, einerseits des klaren Reinwassersees und andererseits des trüben, "kranken" Sees, liegt eine grosse Zahl von Gewässern, deren Regime zwar als gesund bezeichnet werden kann, deren Wasser aber nicht klar ist und nicht in seiner wirklichen Eigenfarbe erscheint, sondern das infolge seines hohen Gehaltes an suspendiertem, anorganischem Gesteinsmaterial (Schluff, Ton, Kolloidton) zeitweise oder andauernd trübe ist oder aber auffallende Färbungen aufweist, die auf Massenentfaltungen bestimmter Kleinorganismen sowohl aus dem Pflanzen- als auch aus dem Tierreich zurückzuführen sind. *Jaag et al. 1964.*

Hvor betydelige og vedvarende utslagene av partikkelforurensningen vil bli i Suldalslågen, kan ikke besvares på det foreliggende grunnlag fra denne undersøkelse. Resultatene gir imidlertid klart uttrykk for en gjennomgripende påvirkning av hele økosystemet. Mange faktorer vil være med å bestemme omfanget av virkningene i vassdraget. Ikke minst vil spørsmålet om partikkelforurensningens varighet og fortsatte utvikling være avgjørende. Tiltak som kan bidra til å minske belastningen, eller modifisere virkningene i vassdraget, kan også få betydning.

Det er behov for at resultatene av denne undersøkelsen blir drøftet i sammenheng med de øvrige bidrag av naturfaglig art som arbeides frem om Suldalslågen. Særlig viktig fremstår en behandling av spørsmålsstillinger i grenseområdet mellom geologi, hydrologi og biologi.

Noen problemstillinger og oppgaver som krever omtanke i det videre arbeid kan presiseres:

- Hvilke forandringer finner sted i Suldalsvatnets økosystem?
Dette angår først og fremst planktonsamfunnet og forhold knyttet til primærproduksjonen.
- Hvordan foregår tilslammingsprosessen i Suldalslågen?
Selvrensingsprosessen er hovedsakelig en type filtreringseffekt av begroingsamfunn og bunnsubstrat på elvestrekningen.

- Hvilke direkte og indirekte følger får de to forannevnte spørsmålsstillinger for de økologiske forhold i vassdraget?
I denne sammenheng står bl.a. vannkvalitet, trivsel til laksen og andre praktiske interesser i Suldalslågen.

- Hvilke tiltak kan iverksettes for å motvirke forurensningen av vassdraget?
Aktuelle alternativer bør vurderes. Vannmassene fra Sandsavatnet bør i minst mulig utstrekning slippes direkte til Suldalsvatnet. Erosjonsbegrensende forholdsregler i Sandsavatnet kan være mulige. For å motvirke tilslammingen i Suldalslågen kan kontrollerte utspylingsflommer være en brukbar løsning (NIVA 1982 II).

- Andre sider ved partikkelforurensningen bør studeres. Naturlige muligheter for beskyttelse mot forsureningseffekter i vassdraget trenger f.eks. avklaring.
Vannmassene i Suldalslågen er nå preget av svak surhet (pH 5,5 - 6,8). Det er indikasjoner på at en forskyvning mot høyere verdier for pH i vannmassene har gjort seg gjeldende gjennom de siste år. Hovedtyngden av målinger i perioden 1981 - 1983 viser f.eks. verdier mellom pH 6,0 og 6,5. Sestonundersøkelsen har vist at mineralske partikler - til dels kolloiddisperse løsninger - fra Sandsavatnet har påvirket vannkvaliteten i samme tidsrom. Sestonets mineralinnhold bærer preg av at det til dels har geologisk opphav i fyllittformasjonen, til dels består av innsjøsedimenter (bl.a. kiselgur). Disse forhold kan bidra til å forklare den økte buffringsevne til vannmassene i det aktuelle tidsrom.

- En plan for løpende oppfølgingsundersøkelse av partikkelforurensningen i vassdraget bør lages, og settes ut i livet.
Vannkvaliteten i Suldalslågen er i betydelig utstrekning påvirket av partikkeldrift (seston) som stammer fra Sandsavatnet. Fysiske, kjemiske og biologiske prosesser medfører en tilslamming av vassdraget med praktiske konsekvenser. Situasjonen i Sandsavatnet og nærområdet under de rådende forhold viser at det i tiden fremover sannsynlig vil gjøre seg gjeldende en partikkelforurensning av Suldalsvatnet og Suldalslågen. Det er behov for å ha løpende oppmerksomhet på situasjonen i vassdraget for å kunne bedømme utviklingen og gjøre eventuelle motforholdsregler.

6. HENVISNINGER

- Arnesen, R.T. (1977): Undersøkelse av partikkeltransport i resipienter for kisholdig avgang ved hjelp av elektronmikroskop.
Norsk institutt for vannforsknings årbok 1976, pp. 55-58, Oslo.
- Barett, G.W. and Rosenberg, T. (1981) : Stress effects on natural ecosystems. John Wiley & Sons, Chichester.
- Bjørlykke, K.O. (1940): Utsyn over Norges jord og jordsmonn.
Norges Geologiske Undersøkelse Nr. 156. H. Aschehoug & Co., Oslo.
- Baalsrud, K. and Henriksen, A. (1964): Measurement of suspended matter in stream water. J. Am. Wat. Wks. Ass. Vol. 56 No. 9, pp. 1194 - 1200.
- Holtedahl, O. (1953): Norges geologi. Bind I og II. Norges Geologiske Undersøkelse Nr. 164. H. Aschehough & Co., Oslo.
- Hutchinson, G.E. (1957): A treatise on limnology. Volume 1. Geography, physics and chemistry. John Wiley & Sons, New York.
- Hynes, H.B.N. (1966). The biology of polluted waters.
Liverpool University Press, Liverpool.
- Israelson, G. (1949): On some attached *Zygnemales* and their significance in classifying streams.
Botaniska Notiser, Häfte 4, pp. 313 - 358.
- Jaag, O. und Märki, E. (1964): Untersuchungen über die Trübungsverhältnisse, die Durchsichtigkeit und die Wasserfarbe in schweizerischen Gewässern.
Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, Bd. 26, pp. 1 - 51.
- Kjensmo, J. (1972): Gjende. A glacier-fed mountain lake.
Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol., 18, pp. 343 - 348.

- Kofoed, C.A. (1903): The plankton of the Illinois River, 1894 - 1899, with introductory notes upon the hydrography of the Illinois River and its basin. Part I. Quantitative investigations and general results.
Bull. Illinois State Lab. Nat. Hist., No. 6, pp. 95 - 629.
- Kolkwitz, R. (1912): Plankton und Seston.
Berichte Deutscher Bot. Gesellsch., Bd. XXX: pp. 334 - 346.
- Korbøl B. (1975): En undersøkelse omkring utrasninger og erosjon i senkede vann og innsjøer i Norge.
Norges geotekniske institutt, pp. 1 - 119, Oslo.
- Lewin, R.A. (1962): Physiology and biochemistry of algae.
Academic Press, New York.
- Lillehammer, A. (1966): Bottom fauna investigations in a Norwegian river. The influence of ecological factors.
Meddelelser fra Det Zoologiske Museum, Oslo. Nr. 76, pp. 1 - 29.
- Lindstrøm, E.-A. og Skulberg, O.M. (1976): Sestonobservasjoner i sammenheng med praktiske vannundersøkelser. Metoder, fremgangsmåter og eksempler på resultater.
Norsk institutt for vannforsknings årbok 1975, pp. 35 - 47, Oslo.
- Lundqvist, G. (1927): Bodenablagerungen und Entwicklungstypen der Seen. Die Binnengewässer, Band II, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Millot, G. (1970): Geology of clays.
Springer Verlag, Heidelberg.
- Noe-Nygaard, A. (1955): Geologi, prosesser og materialer.
Gyldendalske Boghandel, Nordisk Forlag, København.
- Nordseth, K. (1974): Sedimenttransport i norske vassdrag. Sammendrag av arbeider ved Geografisk institutt, Universitetet i Oslo 1969 - 1973.
NVE - Statskraftverkene, pp. 1 - 177, Oslo.

Norsk institutt for vannforskning (1981): Foreløpige observasjoner av begroingsforhold i Suldalslågen 1981.

0-80114, Blindern, 3. august 1981, pp. 1 - 16.

Norsk institutt for vannforskning (1982 I): Vannkvalitet og begroingsforhold. Notat utarbeidet til møte i Sand, 23.11.1982.

0-80114, Blindern, 18. november 1982, pp. 1 - 10.

Norsk institutt for vannforskning (1982 II): Fremføring av vassdragsundersøkelser i Suldalslågen. Virksomhet i 1982 og planer for 1983.

Brekke, 30. november 1982, pp. 1 - 17.

Norsk institutt for vannforskning (1983): Årsakssammenheng mellom eventuelle endringer av bunnvegetasjonsforholdene i Suldalslågen og Ulla-Førre-reguleringen. 0-80114, Oslo, 28. juli 1983, pp. 1 - 10.

van Olphen, H. (1963) Clay colloid chemistry.

Interscience Publication, New York.

Oslo lysverker (1974): Hovedrapport vedrørende undersøkelsen i Hallingdals- og Aurland - Flåmvassdraget.

Samfunnsteknikk VBB A/S, pp. 1 - 30, Oslo.

Ruttner, F. (1952): Grundriss der Limnologie.

Walter De Gruyter & Co., Berlin.

Rössert, R. (1969): Grundlagen der Wasserwirtschaft und Gewässerkunde.

R. Oldenbourg, München.

Skulberg, O.M. (1959): Biologiske metoder ved forurensningsundersøkelser.

Rapport, Norges teknisk-naturvitenskapelige forskningsråd, pp. 1 - 86, Blindern.

Skulberg, O.M. (1980): Nitrogen som begrensende faktor for algevekst.

Bidrag til en avklaring om nitrogenets rolle i eutrofisammenheng.

NTNF-prosjekt: Planktonalger i eutrofisammenheng, ISBN 82-7224-152-8, Blindern.

- Steine, J. (1978): Fiskeribiologiske granskningar.
Vatn nr. 17, Sandsavatn, p. 71. Tilleggsuttalelse 1. november 1978,
Bergen.
- Strøm, B. (1888): Topografisk-statistisk beskrivelse over Stavanger amt.
Norges Land og Folk. XI Stavanger Amt.
H. Aschehoug & Co., Kristiania.
- Sundborg, A. (1977): Älv, kraft, miljö - vattenkraftutbyggnadens miljö-
effekter.
Statens naturvårdsverk, pp. 1 - 150, Stockholm.
- Uhlmann, D. (1978): Hydrobiology. A text for engineers and scientists.
John Wiley & Sons, Chichester.
- Undås, I. (1963): Ra-morener i Vest-Norge.
J.W. Eides Boktrykkeri A.S, Bergen.
- Vassdrags- og havnelaboratoriet (1977): Erosjonsforhold ved Gjevilvatnet,
Oppdal. Samlerapport 1974 - 1977, pp. 1 - 36. Forskningsprogrammet
"Erosjon og avleiring som følge av regulering av vassdrag".
Konsesjonsavgiftsfondet, Trondheim.
- Ward, J.V. and Stanford, J.A. (1979): The ecology of regulated streams.
Plenum Press, New York.
- Whitton, B.A. (1975): River ecology. Studies in Ecology. Volume 2.
Blackwell Scientific Publications, London.
- Wiberg, E. (1945): Anorganische Chemie.
Walter De Gruyter & Co., Berlin.
- Wittig, R. (1979): Wasser. Lösungsmittel, Lebensraum und Ökofaktor.
Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden.
- Østrem, G. and Stanley, A. (1969): Glacier mass-balance measurements,
A manual for field and office work.
Brekontoret NVE, pp. 1 - 118, Oslo.

- Østrem, G. (1971): Materialtransport i vassdrag.
I: Hydrologi i praksis, redaktørene Otnes, J. og Ræstad, E.
Ingeniørforlaget, Oslo.
- Aarthun, K.E. (1961): Submarine daylight in a glacier-fed Norwegian fjord. Sarsia,1, pp. 7 - 20.
- Aass, P. (1979): Tilslamming i Hallingdalselva 1966 - 67. Fisket i Ustedalsfjorden og Strandafjorden.
Symposium om vassdragsregulerings virkning på fisket,
Leangkollen, 29. - 31. mars 1978.

TABELLER

Tabell 5. Primærdata for sestonobservasjonene

Dato 1981	Vannføring $m^3 s^{-1}$		Seston tørrvekt gm^{-3}				
	Utløp Suldalsv.	Tjelmane bru	Utløp Suldalsv.	Lunde bru	Førland bru	Littlehaga bru	Tjelmane bru
03.08.	120,0	-	0,6	0,8	0,8	1,0	0,9
07.08.	75,7	-	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
10.08.	75,7	-	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6
13.08.	73,7	-	0,7	1,1	0,7	0,8	0,9
17.08.	75,7	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
20.08.	73,3	-	1,2	1,3	0,8	1,2	0,6
24.08.	72,2	77,9	0,9	0,8	0,6	0,9	0,7
27.08.	72,2	77	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5
31.08.	75,7	77	0,5	0,8	0,6	0,7	0,9
August							
Min.	72,2	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Mid.	79,4	-	0,7	0,8	0,6	0,8	0,7
Maks.	120,0	-	1,2	1,3	0,8	1,2	0,9
03.09.	73,3	77,0	0,7	1,1	1,2	0,7	1,0
07.09.	73,3	77,0	0,5	0,6	0,6	0,8	0,5
11.09.	72,2	76,1	0,5	0,6	0,6	0,8	0,9
14.09.	72,2	75,2	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6
17.09.	71,0	77,0	0,9	0,6	0,7	0,8	0,7
21.09.	71,1	74,4	0,6	0,7	0,9	0,9	0,9
24.09.	65,0	83,0	0,5	1,4	1,1	3,0	4,3
28.09.	40,9	75,2	1,0	0,8	0,6	0,7	0,8
September							
Min.	40,9	75,2	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5
Mid.	67,4	76,9	0,7	0,8	0,8	1,0	1,2
Maks.	73,3	83,0	1,0	1,4	1,2	3,0	4,3

Tabell 5. Primærdata for sestonobservasjonene (forts.)

Dato 1981	Vannføring $m^3 s^{-1}$		Seston tørrvekt gm^{-3}				
	Utløp Suldalsv. bru	Tjelmane bru	Utløp Suldalsv. bru	Lunde bru	Førland bru	Littlehaga bru	Tjelmane bru
01.10.	35,5	63,7	1,4	1,6	1,1	1,0	0,9
05.10.	69,9	79,1	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1
08.10.	67,6	87,0	2,2	1,5	2,8	1,9	1,4
13.10.	61,3	89,0	1,3	1,0	1,3	1,5	1,9
15.10.	43,4	61,4	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
19.10.	40,9	61,4	0,9	1,3	1,6	4,5	5,1
22.10.	42,5	51,3	0,9	1,0	1,1	0,9	1,1
25.10.	40,9	53,7	0,9	1,0	0,7	0,8	0,9
29.10.	61,2	50,9	1,0	1,0	1,4	1,0	0,8
Oktober							
Min.	35,5	50,9	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8
Mid.	51,5	66,4	1,2	1,1	1,3	1,5	1,6
Maks.	69,9	89,0	2,2	1,6	2,8	4,5	5,1
02.11.	42,5	76,9	1,2	0,9	0,9	1,8	2,0
05.11.	35,5	134,0	1,2	1,2	1,1	1,3	1,4
09.11.	38,5	50,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8
13.11.	43,4	54,6	1,9	2,0	1,2	1,1	0,9
16.11.	20,2	39,6	2,0	1,5	1,2	1,7	1,6
20.11.	14,3	38,0	0,7	2,2	1,0	2,9	3,8
23.11.	10,7	133,0	1,5	11,4	10,3	8,7	9,1
26.11.	13,6	34,8	1,0	1,0	1,1	0,8	1,1
30.11.	22,6	34,8	0,7	0,8	0,8	1,0	1,3
November							
Min.	10,7	34,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8
Mid.	26,8	66,3	1,2	2,4	2,0	2,2	2,4
Maks.	43,4	134,0	2,0	11,4	10,3	8,7	9,1

Tabell 5. Primærdata for sestonobservasjonene (forts.)

Dato 1982	Vannføring $m^3 s^{-1}$		Seston tørrvekt gm^{-3}				
	Utløp Suldalsv.	Tjelmane bru	Utløp Suldalsv.	Lunde bru	Førland bru	Littlehaga bru	Tjelmane bru
01.03.	14,3	27,0	0,8	2,4	2,2	6,5	7,2
05.03.	11,4	21,6	0,8	0,5	0,5	0,7	1,1
08.03.	12,1	24,8	0,8	0,7	0,7	0,9	1,8
16.03.	10,3	23,6	1,0	0,8	1,0	1,4	1,7
23.03.	11,0	20,2	0,5	0,7	0,7	3,1	2,4
29.03.	10,3	21,6	0,9	1,2	0,9	3,1	1,2
Mars							
Min.	10,3	20,2	0,5	0,5	0,5	0,7	1,1
Mid.	11,6	23,1	0,8	1,0	1,0	2,6	2,6
Maks.	14,3	27,0	1,0	2,4	2,2	6,5	7,2
06.04.	10,7	28,2	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7
13.04.	10,7	20,2	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8
19.04.	10,7	25,8	0,9	1,1	1,1	1,1	1,2
26.04.	10,0	32,1	0,6	0,6	0,3	0,3	0,6
April							
Min.	10,0	20,2	0,6	0,6	0,3	0,3	0,6
Mid.	10,5	26,6	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1
Maks.	10,7	32,1	0,9	1,1	1,2	1,5	1,7
03.05.	42,5	51,8	0,7	1,1	1,2	1,6	1,9
11.05.	22,0	36,3	0,8	0,8	0,7	1,3	1,1
18.05.	88,1	91,6	0,9	2,2	3,8	3,6	4,2
24.05.	99,0	-	1,2	1,3	1,8	1,9	2,2
30.05.	108,0	135,0	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0
Mai							
Min.	22,0	36,3	0,7	0,8	0,7	1,3	1,1
Mid.	71,9	78,7	1,0	1,4	1,8	2,0	2,3
Maks.	108,0	135,0	1,3	2,2	3,8	3,6	4,2

Tabell 5. Primærdata for sestonobservasjonene (forts.)

Dato 1982	Vannføring $m^3 s^{-1}$		Seston tørrvekt gm^{-3}				
	Utløp Suldalsv.	Tjelmane bru	Utløp Suldalsv.	Lunde bru	Førland bru	Littlehaga bru	Tjelmane bru
07.06.	106,0	132,0	1,3	1,4	1,4	1,3	1,8
15.06.	102,0	120,0	1,0	1,3	1,1	1,3	1,7
21.06.	99,0	118,0	1,5	1,6	1,8	1,8	2,3
28.06.	198,0	197,8	1,1	1,2	1,7	2,0	2,5
Juni							
Min.	99,0	118,0	1,0	1,2	1,1	1,3	1,7
Mid.	126,3	142,0	1,2	1,4	1,5	1,6	2,1
Maks.	198,0	197,8	1,5	1,6	1,8	2,0	2,5
05.07.	221,0	-	3,0	3,1	2,9	3,2	3,7
12.07.	192,0	-	3,3	3,0	2,9	3,1	3,6
19.07.	151,0	153,0	3,6	3,5	3,4	3,3	3,5
25.07.	115,0	126,0	3,5	3,2	3,3	7,6	5,1
Juli							
Min.	115,0	-	3,0	3,0	2,9	3,1	3,5
Mid.	169,8	-	3,3	3,2	3,1	4,3	3,9
Maks.	221,0	-	3,6	3,5	3,4	7,6	5,1
02.08.	74,5	75,2	2,4	2,4	2,2	2,8	2,6
09.08.	74,5	75,9	2,0	1,8	1,9	2,0	2,0
16.08.	70,0	77,0	3,5	3,7	3,4	3,4	3,4
23.08.	65,4	75,9	2,4	2,1	2,2	2,2	2,4
31.08.	51,3	78,0	2,7	2,5	2,1	2,0	1,9
August							
Min.	51,3	75,2	2,0	1,8	1,9	2,0	1,9
Mid.	67,1	76,4	2,6	2,3	2,4	2,5	2,5
Maks.	74,5	78,0	3,5	3,7	3,4	3,4	3,4

Tabell 5. Primærdata for sestonobservasjonene (forts.)

Dato 1982	Vannføring $m^3 s^{-1}$		Seston tørrvekt gm^{-3}				
	Utløp Suldalsv.	Tjelmane bru	Utløp Suldalsv.	Lunde bru	Førland bru	Littlehaga bru	Tjelmane bru
08.09.	29,0	75,8	3,2	2,9	2,2	2,4	2,4
13.09.	40,9	114,0	3,2	3,3	2,5	2,0	2,1
19.09.	68,7	84,7	2,7	2,8	2,6	3,1	3,0
28.09.	60,2	84,7	3,4	3,3	3,3	3,3	3,1
September							
Min.	29,0	75,8	2,7	2,8	2,2	2,0	2,1
Mid.	49,7	89,8	3,1	3,1	2,7	2,7	2,7
Maks.	68,7	114,0	3,4	3,3	3,3	3,3	3,1
07.10.	67,8	76,9	2,8	2,5	2,4	2,4	2,2
11.10.	72,1	76,8	3,0	2,9	2,9	2,5	2,3
18.10.	47,7	51,6	3,0	2,8	2,8	2,9	2,9
25.10.	41,7	51,6	2,2	1,9	1,6	1,7	2,1
Oktober							
Min.	41,7	51,6	2,2	1,9	1,6	1,7	2,1
Mid.	57,3	64,2	2,8	2,5	2,4	2,4	2,4
Maks.	72,1	76,9	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9
01.11.	36,1	53,6	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0
11.11.	20,0	87,0	2,3*	2,4*	1,7*	2,1*	2,9*
16.11.	21,4	32,9	1,5	1,3	1,1	3,9	6,0
22.11.	12,3	70,0	1,8	1,6	1,8	4,2	3,8
29.11.	23,1	32,4	1,6	1,5	2,3	3,2	6,8
November							
Min.	12,3	32,4	1,5	1,3	1,1	2,0	2,0
Mid.	22,6	55,3	1,8	1,8	1,8	3,1	4,3
Maks.	36,1	87,0	2,3	2,4	2,3	4,2	6,8

* Verdiene er usikre

Tabell 5. Primærdata for sestonobservasjonene (forts.)

Dato 1983	Vannføring $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$		Seston tørrvekt gm^{-3}				
	Utløp Suldalsv.	Tjelmane bru	Utløp Suldalsv.	Lunde bru	Førland bru	Littlehaga bru	Tjelmane bru
03.01.	10,7	25,8	2,0	2,1	2,0	2,0	2,1
10.01.	10,7	30,9	1,5	1,3	1,0	1,4	1,9
17.01.	10,7	19,0	1,1	1,2	1,1	0,9	14,9
23.01.	10,3	77,0	1,5	1,3	1,0	1,2	6,8
31.01.	10,0	25,0	1,4	1,0	1,7	1,2	1,1
Januar							
Min.	10,0	19,0	1,1	1,0	1,0	0,9	1,1
Mid.	10,5	35,5	1,5	1,4	1,4	1,3	5,4
Maks.	10,7	77,0	2,0	2,1	2,0	2,0	14,9
08.02.	12,4	16,6	1,5	1,5	1,8	1,3	2,0
14.02.	10,0	15,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,7
22.02.	11,7	16,6	2,1	1,9	1,7	1,5	1,7
28.02.	12,8	16,0	1,8	1,7	1,5	2,0	1,5
Februar							
Min.	10,0	15,0	1,5	1,5	1,4	1,3	1,5
Mid.	11,7	16,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,7
Maks.	12,8	16,6	2,1	1,9	1,8	2,0	2,0
07.03.	11,0	46,7	2,0	1,7	3,5	2,4	2,3
14.03.	10,0	18,6	1,5	1,4	1,2	0,9	1,3
21.03.	10,7	33,4	1,6	1,5	1,0	1,4	1,7
28.03.	12,4	17,3	1,7	1,3	1,2	1,0	0,7
Mars							
Min.	10,0	17,3	1,5	1,3	1,0	0,9	0,7
Mid.	11,0	29,0	1,7	1,5	1,7	1,4	1,5
Maks.	12,4	46,7	2,0	1,7	3,5	2,4	2,3

Tabell 5. Primærdata for sestonobservasjonene (forts.)

Dato 1983	Vannføring $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$		Seston tørrvekt gm^{-3}				
	Utløp Suldalsv.	Tjelmane bru	Utløp Suldalsv.	Lunde bru	Førland bru	Littlehaga bru	Tjelmane bru
05.04.	12,8	16,6	1,8	1,5	1,4	1,5	1,6
11.04.	11,7	16,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,2
18.04.	11,0	24,5	1,6	1,4	1,1	1,1	1,4
25.04.	10,0	24,5	2,1	1,8	1,3	1,1	1,0
April							
Min.	10,0	16,6	1,6	1,4	1,1	1,1	1,0
Mid.	11,4	21,9	1,8	1,6	1,3	1,2	1,3
Maks.	12,8	24,5	2,1	1,8	1,4	1,5	1,6
02.05.	30,0	44,2	1,6	4,0	8,8	4,4	3,4
09.05.	82,0	101,0	1,9	3,4	4,9	5,3	6,3
16.05.	114,0	128,0	1,9	1,9	2,1	2,1	2,2
25.05.	100,0	114,0	1,6	1,6	1,9	1,9	2,4
30.05.	151,0	167,0	1,7	1,7	1,8	2,2	2,5
Mai							
Min.	30,0	44,2	1,6	1,6	1,8	1,9	2,2
Mid.	95,4	110,8	1,7	2,5	3,9	3,2	3,4
Maks.	151,0	167,0	1,9	4,0	8,8	4,4	6,3
07.06.	173,0	176,0	1,9	1,9	1,8	2,0	2,5
13.06.	198,0	198,0	1,6	1,5	2,1	2,1	2,4
21.06.	241,9	233,9	2,4	2,2	3,1	2,9	4,0
27.06.	196,0	193,0	2,5	2,5	2,6	1,9	2,9
Juni							
Min.	173,0	176,0	1,6	1,5	1,8	1,9	2,4
Mid.	202,2	200,2	2,1	2,0	2,4	2,2	3,0
Maks.	241,9	233,9	2,5	2,5	3,1	2,9	4,0

Tabell 5. Primærdata for sestonobservasjonene (forts.)

Dato 1983	Vannføring $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$		Seston tørrvekt gm^{-3}				
	Utløp Suldalsv.	Tjelmane bru	Utløp Suldalsv.	Lunde bru	Førland bru	Littlehaga bru	Tjelmane bru
05.07.	212,0	218,0	1,9	1,9	2,0	2,4	2,7
12.07.	151,0	149,0	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8
18.07.	164,0	161,0	1,8	2,1	2,7	2,3	2,0
25.07.	69,9	74,4	- *	- *	- *	- *	- *
Juli							
Min.	69,9	74,4	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8
Mid.	149,2	150,6	1,8	1,9	2,2	2,1	2,2
Maks.	212,0	218,0	1,9	2,1	2,7	2,4	2,7
02.08.	180,0	204,0	- *	- *	- *	- *	- *
08.08.	76,6	78,4	- *	- *	- *	- *	- *
16.08.	76,9	140,0	- *	- *	- *	- *	- *
23.08.	74,5	78,8	- *	- *	- *	- *	- *
29.08.	74,5	77,0	- *	- *	- *	- *	- *
August							
Min.	74,5	77,0	-	-	-	-	-
Mid.	96,5	115,6	-	-	-	-	-
Maks.	180,0	204,0	-	-	-	-	-
06.09.	67,6	90,0	- *	- *	- *	- *	- *
13.09.	61,0	65,0	1,8	1,9	1,4	2,1	1,8
19.09.	80,5	90,0	1,4	1,4	1,3	1,1	1,5
26.09.	100,0	109,0	2,1	2,2	1,8	2,1	1,5
September							
Min.	61,0	65,0	1,4	1,4	1,3	1,1	1,5
Mid.	77,3	88,5	1,8	1,8	1,5	1,8	1,6
Maks.	100,0	109,0	2,1	2,2	1,8	2,1	1,8

* veiefeil

Tabell 10. Fysiske og kjemiske analyseresultater.

A Analyser i ufiltrerte og filtrerte prøver.

Ufiltrerte prøver

Dato: 14.-16. sept. 1982	Farge mg Pt l ⁻¹	Turb. FTU	Tot-P µg P l ⁻¹	Ortofosfat µg P l ⁻¹	Tot-N µg N l ⁻¹	Nitrat µg N l ⁻¹	Klorid mg Cl l ⁻¹	Kalsium mg Ca l ⁻¹	TOC mg C l ⁻¹
Utløp Sandsavatnet	1160	43,0	29,0	25,5	500	160	-	-	-
Utløp Kvillidal kraftst.	232	9,7	10,0	7,0	400	140	-	-	-
Utløp Suldalsvatnet	47,0	3,0	4,0	5,5	-	130	-	-	-
Lunde bru	38,0	2,5	5,0	2,0	500	140	-	-	-
Førland bru	38,0	2,4	5,0	2,0	600	140	-	-	-
Tjelmane bru	29,5	1,7	6,0	1,0	400	150	-	-	-
Dato: 22.-27. juni 1983									
Utløp Sandsavatnet*	605	21,0	17,0	14,0	260	150	-	2,0	1,2
Utløp Kvillidal kraftst.	202	6,3	7,0	4,5	220	140	-	-	0,7
Utløp Suldalsvatnet	66,0	1,9	3,0	2,0	220	140	-	-	1,0
Lunde bru	48,5	1,8	3,5	1,5	210	150	-	-	0,7
Førland bru	51,0	1,6	3,5	1,5	210	150	-	-	0,7
Tjelmane bru	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dato: 14.-20. sept. 1983									
Utløp Sandsavatnet	304	14,0	16,0	9,5	220	130	2,7	1,4	1,0
Utløp Kvillidal kraftst.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utløp Suldalsvatnet	40,0	2,2	3,0	1,0	220	110	1,6	1,0	0,8
Lunde bru	35,0	1,9	3,0	1,0	210	120	1,6	1,0	0,9
Førland bru	40,0	1,9	4,0	1,0	260	110	1,7	1,0	1,4
Tjelmane bru	42,0	1,8	4,0	1,0	230	120	1,7	1,1	0,9

* Prøvetaking 22. mai 1983.

Tabell 10. Fysiske og kjemiske analyseresultater (forts.)

A Analyser i ufiltrerte og filtrerte prøver.

Filtrerte prøver

Dato: 14.-16. sept. 1982	Farge mg Pt l ⁻¹	Turb. FTU	Tot-P µg P l ⁻¹	Ortofosfat µg P l ⁻¹	Tot-N µg N l ⁻¹	Nitrat µg N l ⁻¹	Klorid mg Cl l ⁻¹	Kalsium mg Ca l ⁻¹	TOC mg C l ⁻¹
Utløp Sandsvatnet	70,5	6,2	1,0	1,0	230	160	1,8	-	-
Utløp Kvillidal kraftst.	24,0	2,4	3,5	4,0	210	140	1,4	-	-
Utløp Suldalsvatnet	7,5	0,59	< 0,5	< 0,5	220	130	1,5	-	-
Lunde bru	7,5	0,49	0,5	0,5	240	140	1,6	-	-
Førland bru	10,0	0,65	< 0,5	< 0,5	210	130	1,8	-	-
Tjelmåne bru	10,0	0,37	1,0	< 0,5	240	150	2,4	-	-
Dato: 22.-27. juni 1983									
Utløp Sandsvatnet*	20,0	2,3	2,0	1,0	-	-	-	-	1,1
Utløp Kvillidal kraftst.	5,5	0,54	1,5	0,5	200	140	-	-	0,7
Utløp Suldalsvatnet	4,0	0,29	1,0	< 0,5	210	150	-	-	0,7
Lunde bru	4,0	0,29	1,0	0,5	200	150	-	-	0,9
Førland bru	4,0	0,23	1,5	0,5	200	150	-	-	0,7
Tjelmåne bru	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dato: 14.-20. sept. 1983									
Utløp Sandsvatnet	11,5	13,2	4,0	0,5	260	130	2,7	1,4	0,8
Utløp Kvillidal kraftst.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utløp Suldalsvatnet	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lunde bru	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Førland bru	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tjelmåne bru	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Prøvetaking 22. mai 1983.

Tabell 10. Fysiske og kjemiske analyseresultater.

B Utvalgte vannkjemiske data.

Stasjon	Dato	Surhetsgr. pH	Kond. $\mu\text{S cm}^{-1}$ 20°C	Farge mg Pt l ⁻¹	Turb. FTU	Tot-P $\mu\text{g P l}^{-1}$	Ortofosfat $\mu\text{g P l}^{-1}$	Tot-N $\mu\text{g N l}^{-1}$	Nitrat $\mu\text{g N l}^{-1}$	Klorid mg Cl l ⁻¹	Kalsium mg Ca l ⁻¹	TOC mg C l ⁻¹
Utløp Sandsvatnet	9. juli 1982	6,4	15,2	880	55	42	30	300	170	-	-	-
	14. sept. 1982	6,4	15,0	1160	43	29	26	500	160	-	-	-
	22. mai 1983	7,1	23,4	605	21	17	14	260	150	-	2,0	1,2
	17. sept. 1983	6,5	18,3	304	14	16	9,5	220	130	2,7	1,4	1,0
Utløp Kvilldal kraftstasjon	16. apr. 1982	7,0	26,5	600	37	26	20	270	200	-	3,1	1,3
	8. juli 1982	6,2	11,8	425	21	23	17	270	150	-	-	-
	14. sept. 1982	6,3	12,0	232	9,7	10	6,5	400	140	-	-	-
	22. juni 1983	6,6	19,5	202	6,3	7,0	4,5	220	140	-	-	0,7
Utløp Suidalsvatnet	4. juli 1981	6,2	13,3	4	0,3	4,0	-	280	-	-	1,1	-
	6. juli 1982	6,3	13,1	76	3,8	6,0	4,0	320	140	-	-	-
	16. sept. 1982	6,3	14,0	79	4,2	8,0	6,5	500	140	-	-	-
	22. apr. 1983	6,3	17,0	41	2,3	3,5	2,0	250	130	-	1,2	0,8
	27. juni 1983	6,5	15,7	66	1,9	3,0	2,0	220	140	-	-	1,0
	17. sept. 1983	6,4	13,1	40	2,2	3,0	1,0	220	110	1,6	1,0	0,8

Tabell 12. Forekomst av alger i håvtrekk - utløp Suldalsvatnet

ORGANISMER	1981		1982		1983	
	05.06	04.07.	15.04.	06.07.	25.04.	19.09.
CYANOPHYCEAE (Blågrønnalger)						
<i>Chamaesiphon confervicola</i>					1	
<i>Merismopedia</i> sp.			+			
<i>Oscillatoria bornetii</i>	+					
<i>O.</i> sp. (7-8 µm)					2	
<i>Stigonema mamillosum</i>					+	
CHLOROPHYCEAE (Grønnalger)						
<i>Bambusina brebissonii</i>					+	
<i>Binuclearia tectorum</i>		+	1		2	1
<i>Bulbochaete</i> sp.					1	
<i>Closterium</i> sp.			+		+	
<i>Cosmarium</i> spp.		+				1
<i>Dictyosphaerium</i> sp.						1
<i>Euastrum elegans</i>		+				
<i>E. bidentatum</i>						+
<i>E.</i> sp.					+	
<i>Hyalotheca dissiliens</i>				+		+
<i>Microspora</i> cf. <i>floccosa</i>			1		2	1
<i>M. cf. palustris</i> var. <i>minor</i>					1	
<i>Mougeotia</i> spp.	1	+	2	1	2	1
<i>Oedogonium</i> sp.	1					
<i>Oocystis</i> sp.					+	
<i>Pleurotaenium</i> sp.						+
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>			+			1
<i>Spirogyra</i> sp.						1
<i>Staurastrum</i> sp.			+	+		+
<i>Staurodesmus</i> sp.	+	+	1			+
BACILLARIOPHYCEAE (Kiselalger)						
<i>Ceratoneis arcus</i>						+
<i>Cymbella</i> sp.					+	
<i>Eunotia</i> sp.					+	
<i>Fragilaria</i> cf. <i>intermedia</i>					1	
<i>Frustulia rhomboides</i>					+	
<i>Stenopterobia intermedia</i>			+			
<i>Surirella</i> sp.	+	1	+			
<i>Tabellaria fenestrata</i>		+	2	1	2	
<i>T. flocculosa</i>	1	1	2	1	2	2
Ubest. kiselalger						1
CHRYSTOPHYCEAE (Gullalger)						
<i>Dinobryon cylindricum</i>					3	
<i>D. sociale</i>		4				
<i>D. sociale</i> var. <i>americanum</i>				4	1	
<i>D.</i> spp.	1		4			2
<i>Hydrurus foetidus</i>		1				
<i>Mallomonas</i> sp.					+	
<i>Synura uvella</i>					1	
DINOPHYCEAE (Fureflagellater)						
<i>Peridinium inconspicuum</i>		2		1	2	3
<i>P. willei</i>						1

Tabell 13. Forekomst av alger i håvtrekk - Lunde bru

ORGANISMER	1982			1983	
	17.04.	06.07.	12.07.	21.04.	19.09.
CYANOPHYCEAE (Blågrønnalger)					
<i>Chamaesiphon confervicolus</i>				2	1
<i>Chroococcus</i> sp.					+
<i>Cyanophanon mirabile</i>	1				
<i>Oscillatoria</i> sp.					+
<i>Stigonema mamillosum</i>		+			
CHLOROPHYCEAE (Grønnalger)					
<i>Binuclearia tectorum</i>	2	1		2	2
<i>Bulbochaete</i> sp.	+		+	1	1
<i>Closterium</i> sp.		+		+	+
<i>Cosmarium</i> sp.	+			+	1
<i>Draparnaldia</i> sp.				+	
<i>Euastrum didelta</i>					+
<i>E. spp.</i>			1		
<i>Hormidium rivulare</i>					1
<i>Microspora cf. floccosa</i>	3	1	1	3	3-4
<i>M. cf. palustris</i> var. <i>minor</i>				1	
<i>Mougeotia</i> spp.	2	+	+		3
<i>Oedogonium</i> sp.	1				
<i>Pandorina morum</i>			1		+
<i>Scenedesmus</i> spp.		+			
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>					+
<i>Spirogyra</i> spp.	2			2	1
<i>Staurodesmus</i> sp.		+			
<i>Staurastrum</i> spp.		+		1	+
<i>Teilingia granulata</i>					+
<i>Zygnema</i> sp.	1			2	1
BACILLARIOPHYCEAE (Kiselalger)					
<i>Achnanthes</i> sp.	+				
<i>Cymbella</i> sp.	1			+	
<i>Eunotia</i> spp.	1	+		1	
<i>Fragilaria cf. intermedia</i>	2		+	1	1
<i>Frustulia rhomboides</i>					+
<i>Gomphonema acuminatus</i> var. <i>coronata</i>				1	
<i>Pinnularia</i> sp.		+	+		
<i>Stenopterobia intermedia</i>			+		
<i>Surirella</i> sp.		+			
<i>Tabellaria fenestrata</i>			+		
<i>T. flocculosa</i>	1	1	1		2
Ubest. kiselalger			+		
CHRYSOPHYCEAE (Gullalger)					
<i>Dinobryon cylindricum</i>				2	
<i>D. sociale</i> var. <i>americanum</i>		4	4		
<i>D. spp.</i>	1				3
<i>Epipyxis ramosa</i>				1	
<i>Hyalobryon</i> sp.	1				
<i>Hydrurus foetidus</i>	1			2	1
DINOPHYCEAE (Fureflagellater)					
<i>Peridinium inconspicuum</i>		2	1	+	3-4
RHODOPHYCEAE (Rødalger)					
<i>Pseudochantransia</i> -stadier	1			1	

Tabell 15. Systematisk oversikt over identifiserte algearter

CYANOPHYCEAE (Blågrønnalger)

Chamaesiphon confervicolus A. Braun
C. curvatus Nordst.
Chroococcus Nägeli sp.
Clastidium setigerum Kirchner
Cyanophanon mirabile Geitler
Merismopedia Meyen sp.
Oscillatoria bornetii Zukal
O. Vaucher sp. 6 µm
O. Vaucher sp. 7-8 µm
O. Vaucher sp. 8 µm
Stigonema mamillosum (Lyngb.) Ag.
Tolypothrix distorta Kütz.

BACILLARIOPHYCEAE (Kiselalger)

Achnanthes minutissima Kütz.
A. Bory sp.
Ceratoneis arcus Kütz.
Cymbella Agardh spp.
Eunotia Ehrenberg spp.
Fragilaria cf. *intermedia* Grun.
F. Lyngbye sp.
Frustulia rhomboides (Ehr.) De Toni
Gomphonema acuminatus var. *coronata* (Ehr.) W.Sm.
Pinnularia Ehrenberg sp.
Stenopterobia intermedia (Lewis) Fricke
Surirella Turpin spp.
Tabellaria fenestrata (Lyngb.) Kütz.
T. flocculosa (Roth) Kütz.

CHRYSOPHYCEAE (Gullalger)

Dinobryon sociale Ehr.
D. sociale var. *americanum* (Brunth.) Bachm.
D. cylindricum Imh.
D. Ehrenberg spp.
Epipyxis ramosa (Laut.) Hill. & Asm.
Hyalobryon Lauterborn sp.
Hydrurus foetidus (Vill.) Trév.
Mallomonas Perty sp.
Synura uvella Ehr.

DINOPHYCEAE (Fureflagellater)

Peridinium inconspicuum Lemm.
P. willei Huitf.-Kaas

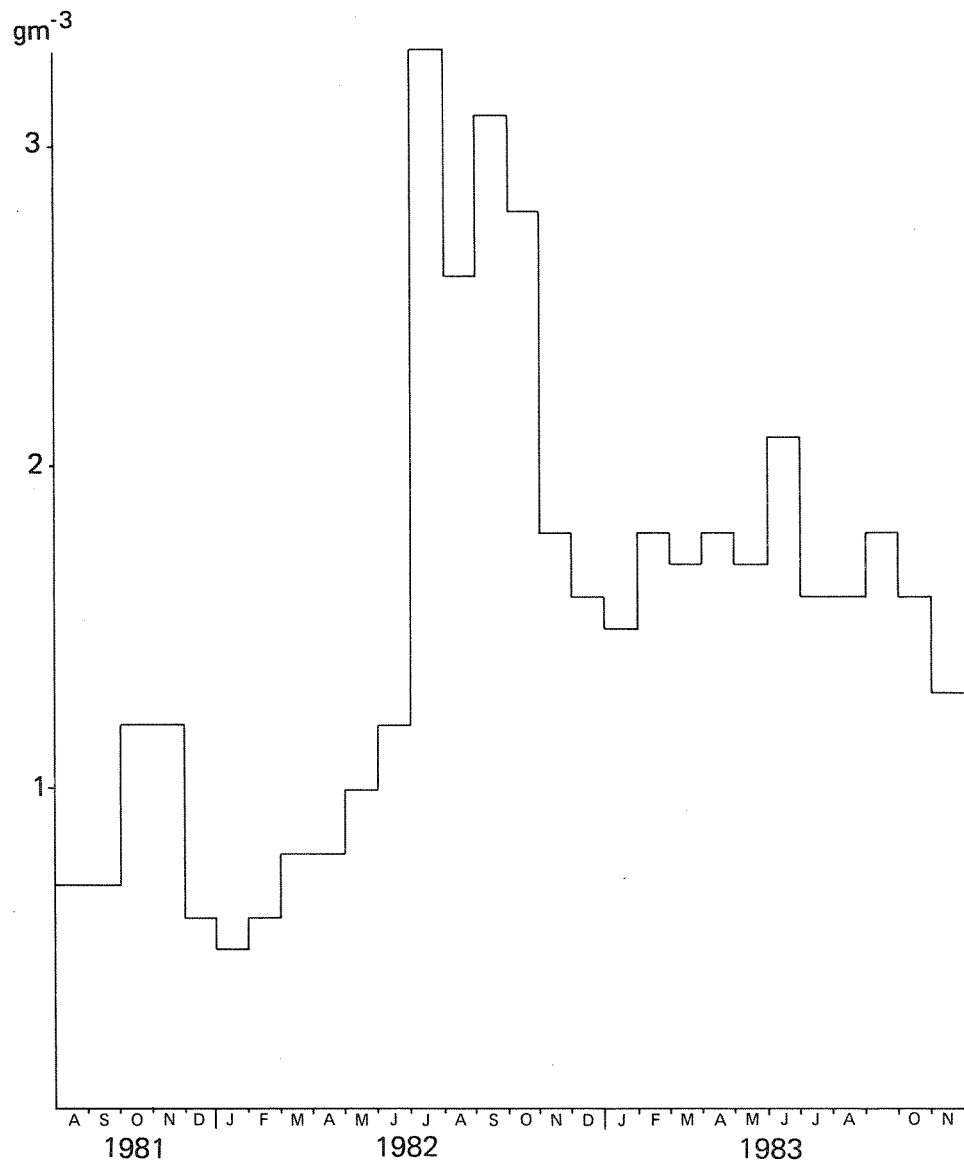
CHLOROPHYCEAE (Grønnalger)

Bambusina brébissonii Kütz.
Binuclearia tectorum (Witt.) Wichmann
Botryococcus braunii Kütz.
Bulbochaete Agardh. sp.
Closterium Nitzsch spp.
Cosmarium Corda spp.
Dictyosphaerium Nägeli sp.
Draparnaldia Bory sp.
Euastrum bidentatum Näg.
E. elegans (Bréb.) Kütz.
E. didelta Ralfs
Eudorina elegans Ehr.
Hormidium rivulare Kütz.
Hyalothece dissiliens (J.E. Smith) Bréb.
Microspora amoena (Kütz.) Rab.
M. cf. floccosa (Vauch.) Thuret
M. cf. palustris var. *minor* Wichm.
M. Thuret sp. 14 µm
M. Thuret sp.
Mougeotia Agardh spp.
Mougeotiopsis calospora Palla
Oedogonium Link sp.
Oocystis Nägeli sp.
Pandorina morum Bory
Penium Brébisson sp.
Pleurotaenium Nägeli sp.
Scenedesmus Meyen spp.
Sorastrum spinulosum Näg
Sphaerocystis schroeteri Chod.
Spirogyra Link spp.
Staurastrum Meyen spp.
Staurodesmus Teiling sp.
Stigeoclonium Kützing sp.
Teilingia granulata (Roy & Biss.) Bourr.
Xanthidium antilopaeum (Bréb.) Kütz.
X. armatum (Bréb.) Rab.
Zygnema Agardh sp. 23 µm

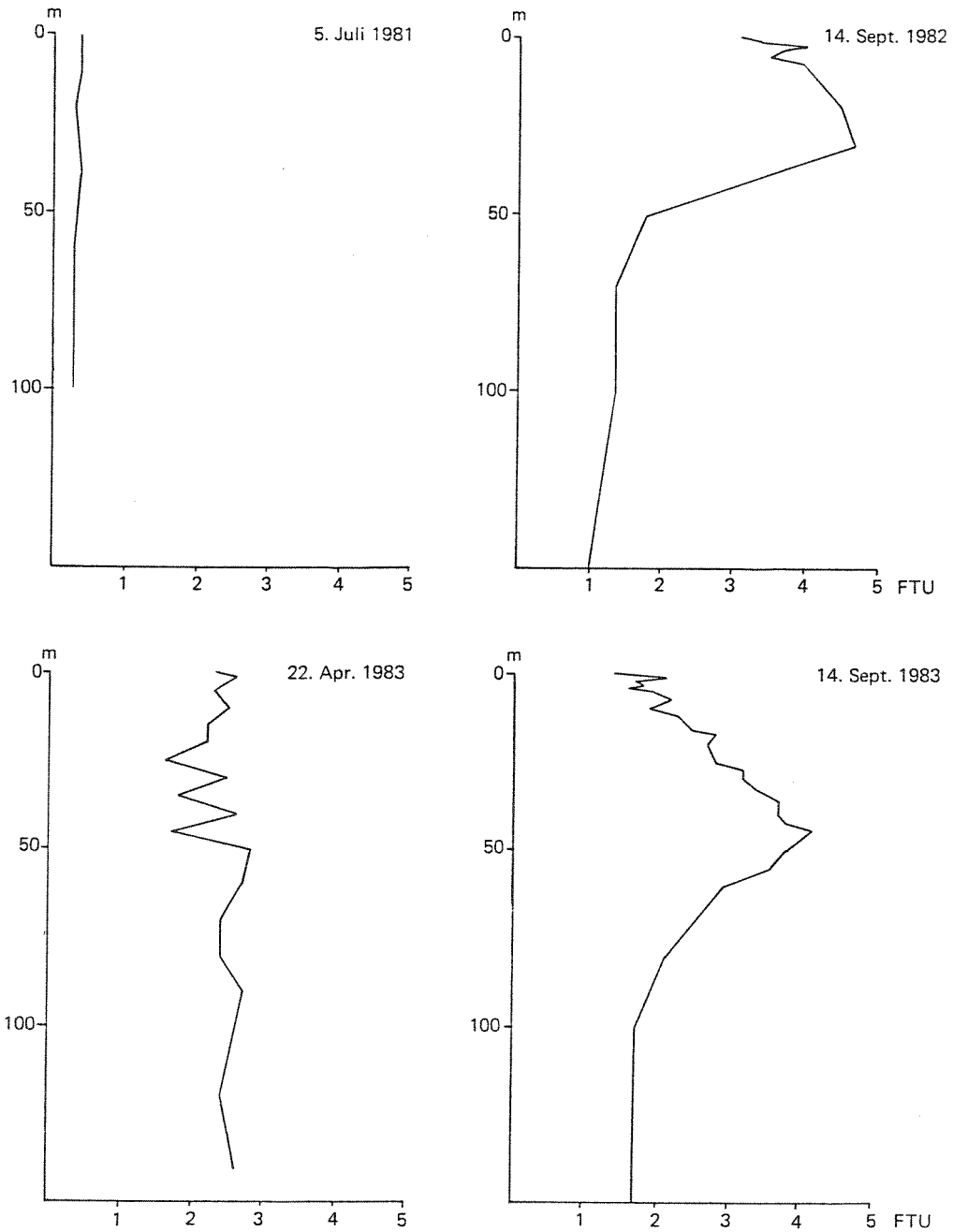
RHODOPHYCEAE (Rødalger)

Batrachospermum Roth sp.
Lemanea condensata Israels.
L. fluviatilis (L.) Ag.
Pseudochantransia-stadier

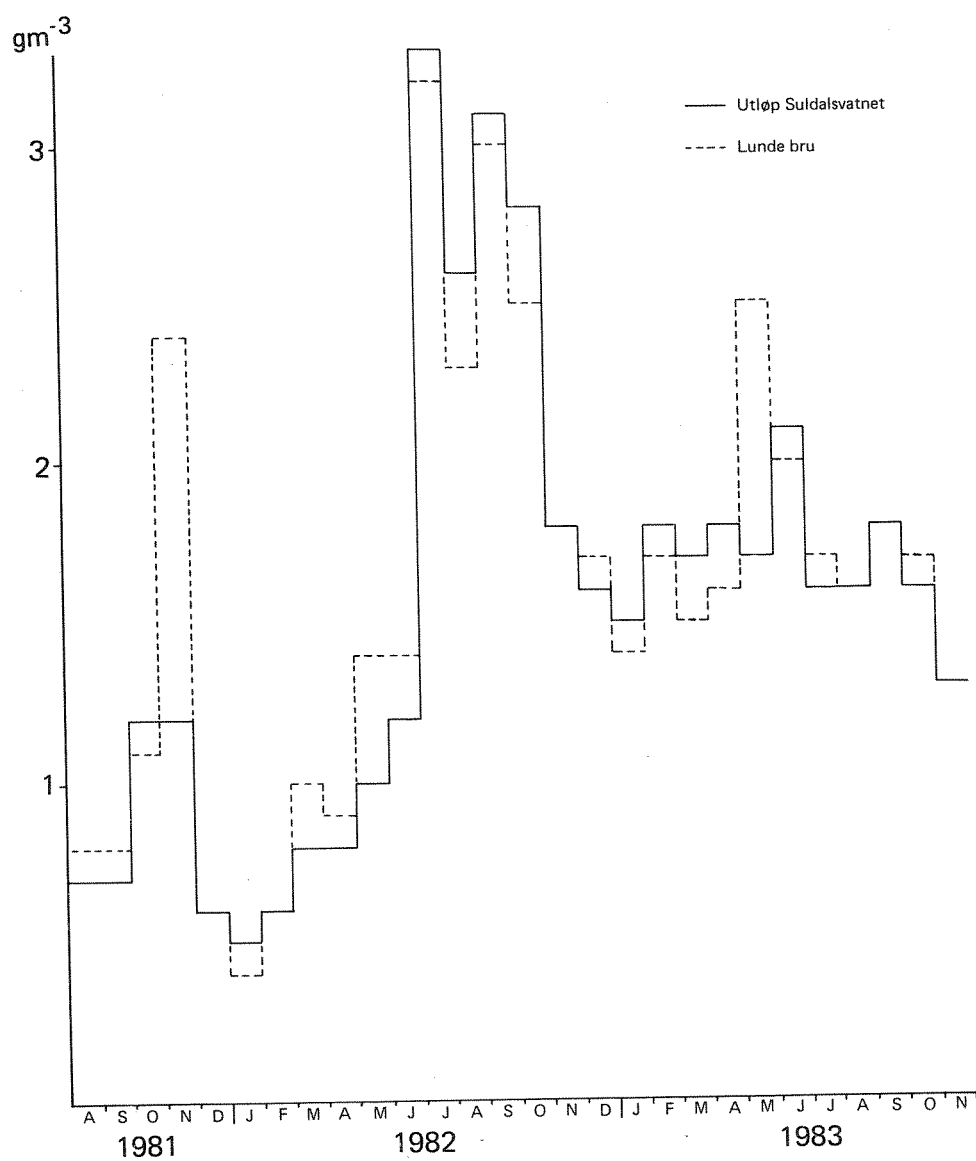
F I G U R E R



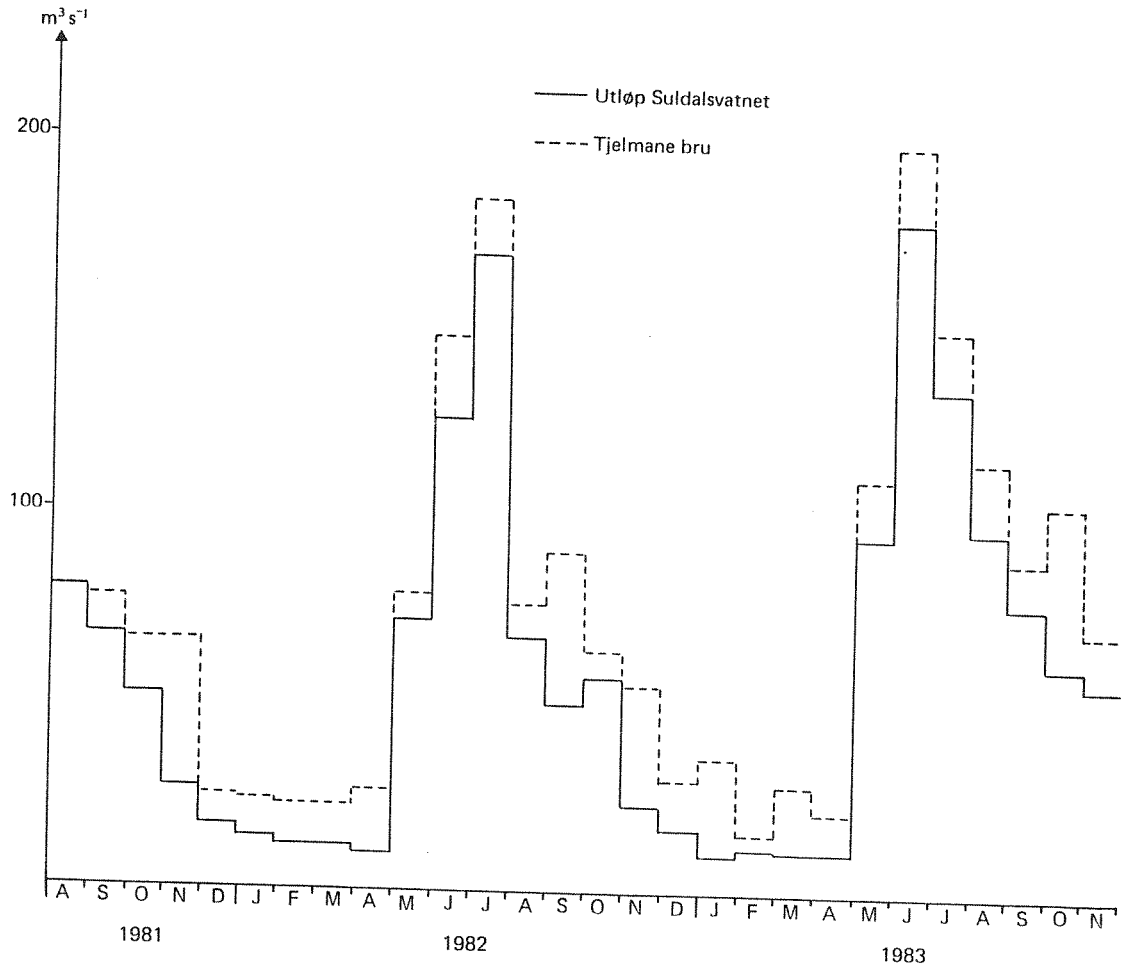
Figur 4. Seston i Suldaalslågen bestemt som tørrvekt ved utløp av Suldaalsvatnet



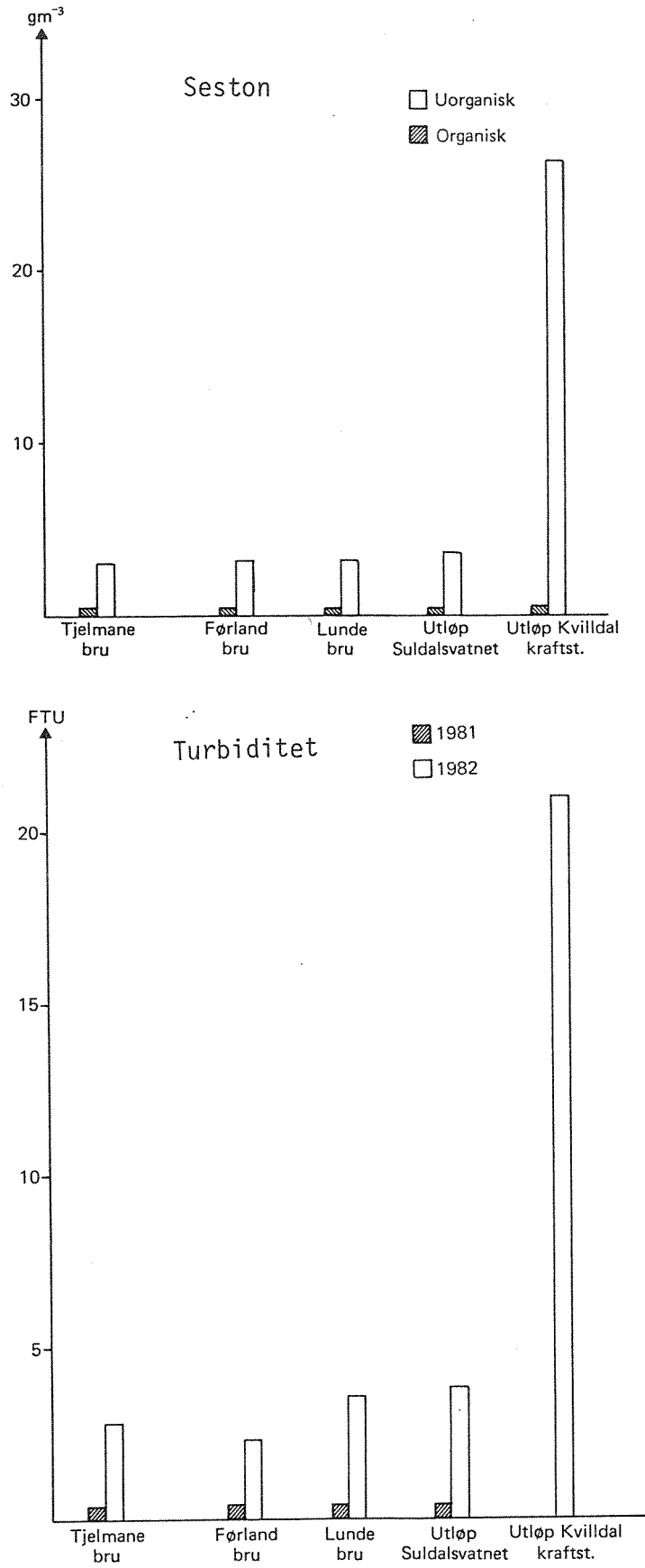
Figur 5. Turbiditet i Suldalsvatnet ved Solheimsvik



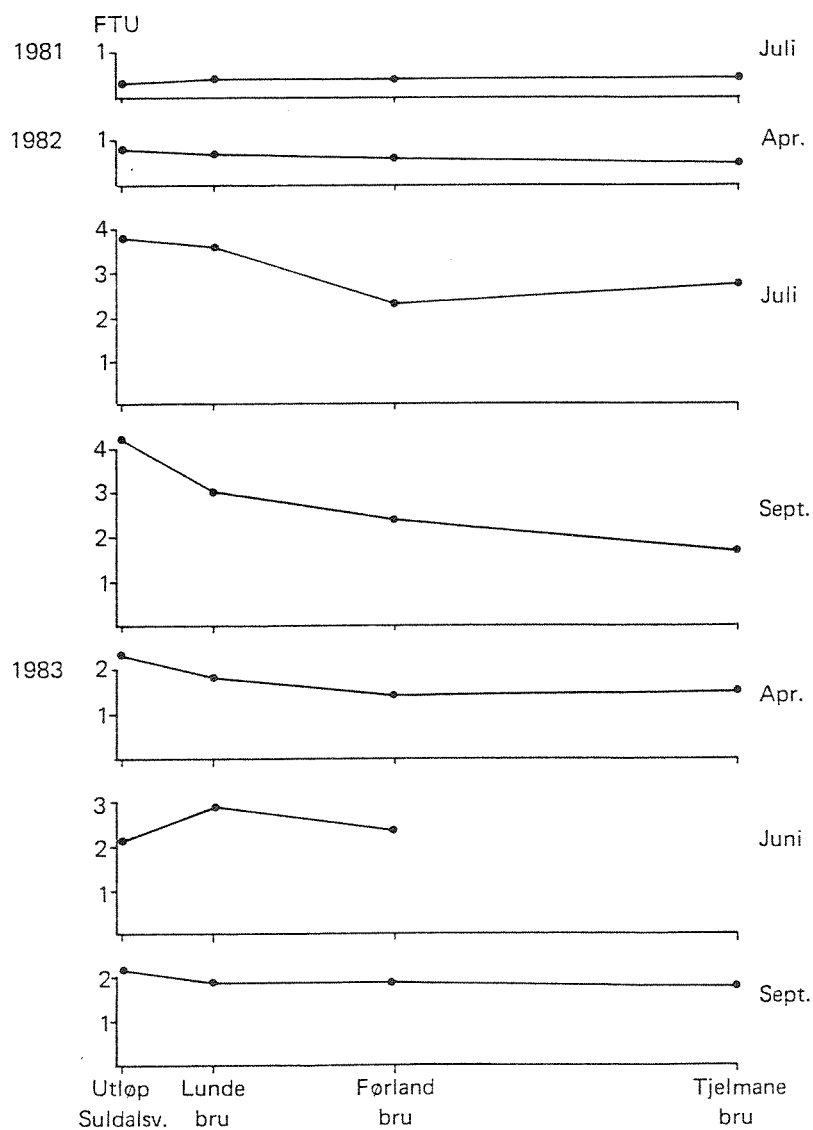
Figur 6. Månedlige middelværdier av seston bestemt som tørrvekt ved Utløp Suldalsvatnet og Lunde bru.



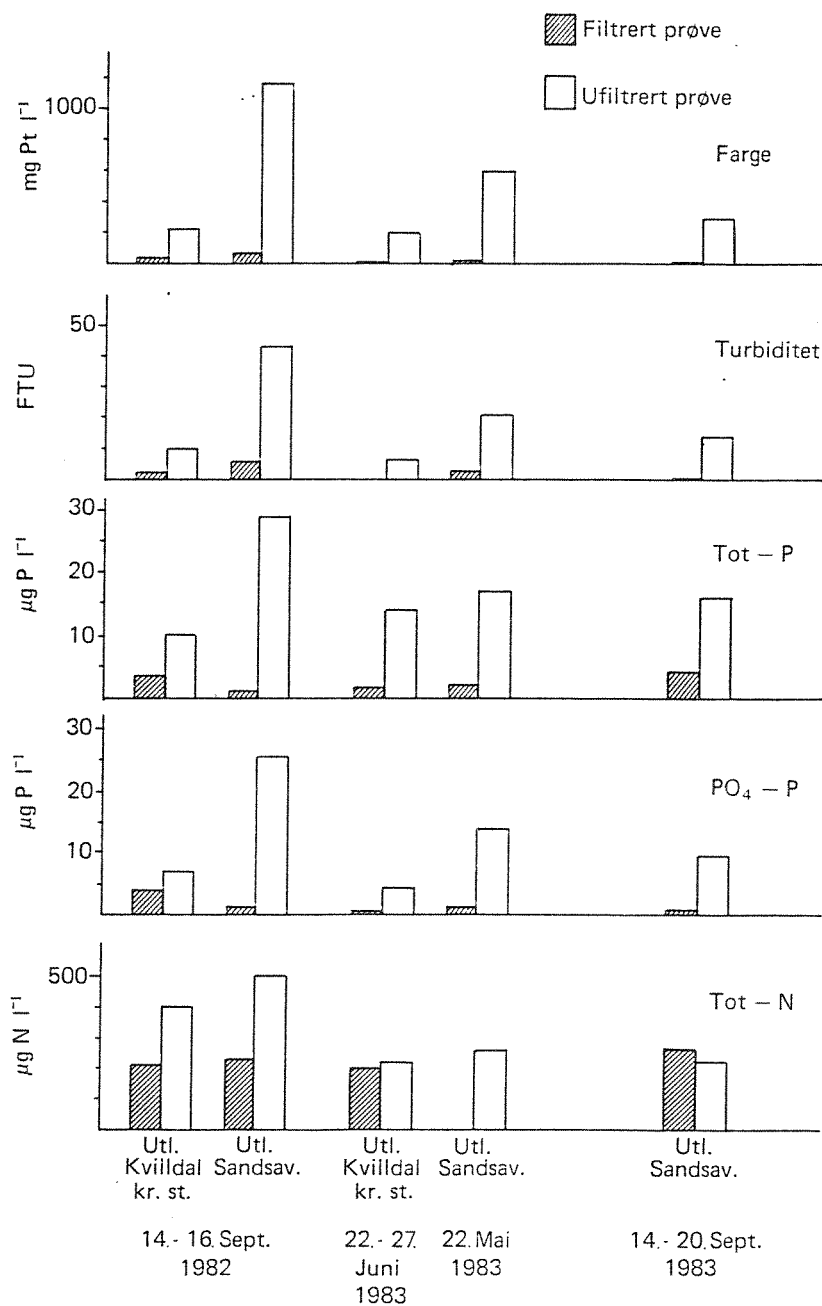
Figur 7. Månedlig middelvannføring i Suldalslågen i undersøkellesperioden



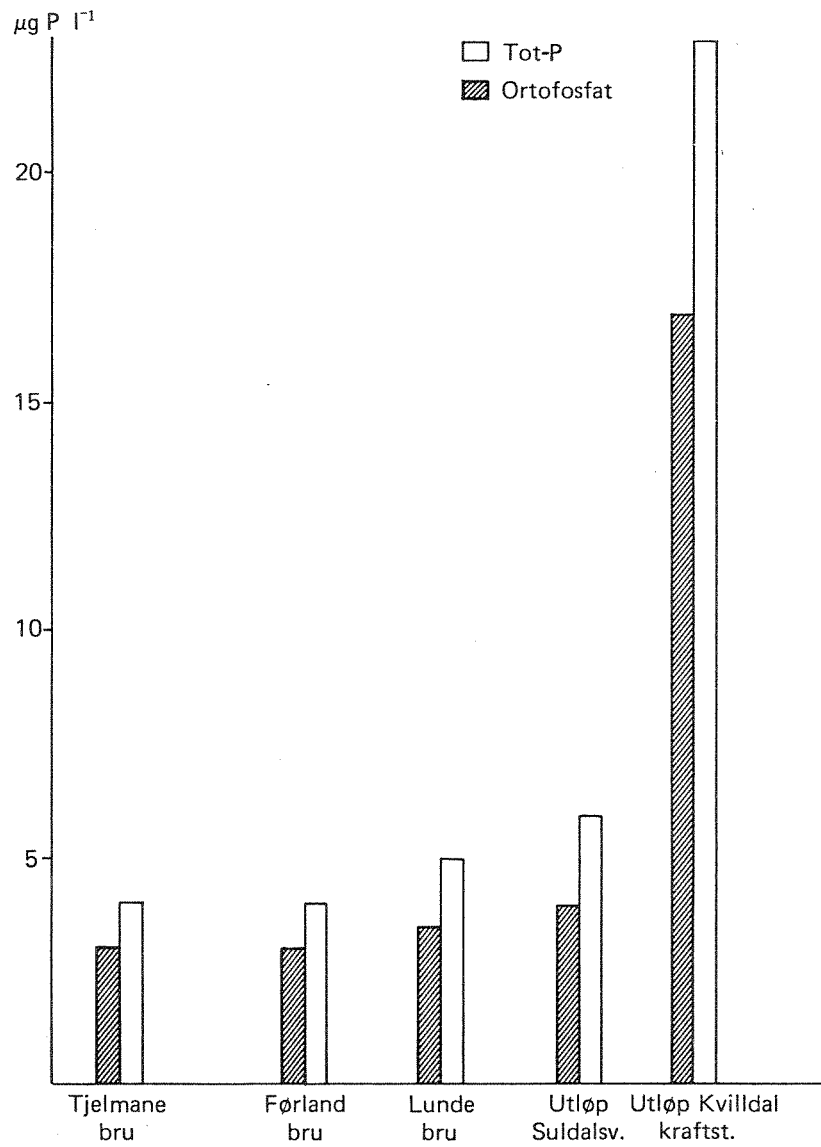
Figur 8. Sestonkonsentrasjoner og turbiditet i Suldalslågen og Suldalsvatnet 7. juli 1982



Figur 9. Verdier av turbiditet i Suldalslågen fra 1981 til 1983



Figur 10. Kjemiske forhold i filtrerte og ufiltrerte prøver



Figur 11. Fosforkomponenter og ortofosfat i Suldaalslågen og Suldaalsvatnet 7. juli 1982