NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK
VASSDRAGSDIREKTORATET
HYDROLOGISK AVDELING

SEDIMENTTRANSPORT I DRIFTSVANNET TIL JOSTEDAL KRAFTVERK

OPPDRAGSRAPPORT
10 - 86

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

OPPDRAGSRAPPORT

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

10-86

Rapportens tittel:	Dato: 1986-10-07
SEDIMENTTRANSPORT I DRIFTSVANNET TIL JOSTEDAL KRAFTVERK	Rapporten er: Åpen Opplag: 200

Saksbehandler/Forfatter	Ansvarlig:
Jim Bogen, Brekontoret Hans Chr Olsen, Brekontoret	Bjørn Wold

Oppdragsgiver:
STATKRAFT

Sammendrag

Denne rapporten gir en vurdering av sedimentkilder, erosjon og sedimenttransport i driftsvannet til Jostedal kraftverk.

Bunnsedimentene i Styggevatn og Austdalsvatn er den viktigste sedimentkilden for turbinslitasje. Modellberegninger viser at opp mot $8.0 \cdot 10^5 m^3$ eroderbare sedimenter kan nå frem til inntaket. Korn fordelingsanalysene viser at størstedelen består av finsilt. $14 \cdot 10^3 m^3$ er imidlertid grovsilt i fraksjonen 0.063-0.016 mm. Slipende mineraler, kvarts, feltspat og amfibol utgjør 85-90% av prøvene. Kvarts utgjør alene rundt 18-20%.

Erosjonen av bunnsedimentene vil imidlertid først finne sted i noe omfang når magasinet tappes ned mot LRV, noe som skjer svært sjelden. I år hvor magasinet ikke tappes under normalvannstand vil sedimentføringen være ubetydelig. Vetledølas materialtilførsel kan imidlertid også være av betydning under høy vannstand. Under ugunstige strømforhold i magasinet kan selv sandpartikler nå frem til inntaket i Styggevatn fra Vetledølas innløp.

Austdalsbreens produksjon av suspendert materiale er anslått til 1200 t/år. Beregninger viser at størstedelen av massene sedimenteres i magasinet og vil være uten betydning for turbinslitasjen under normale forhold. Hvis breen smelter helt tilbake ved kalving vil det imidlertid frigjøres store materialmengder og en viss andel kan nå frem til inntaket.

Et brefremstøt vil føre til at sedimenttransporten i driftsvannet vil øke fordi størrelsen på de naturlige klaringsbassengene foran breene vil avta.

Det kan ikke påregnes at sedimentføringen i driftsvannet vil avta med tiden. Sedimentføringen kan være lav i lange perioder, men kan plutselig øke betydelig i visse situasjoner.

Et system for kontinuerlig overvåking av sedimentføringen i driftsvannet er skissert. Systemet kan brukes til å holde oversikt over hvilke situasjoner som fører til de største konsentrasjonene og holde regnskap med hvor mye slipende materiale som til enhver tid er igjen i magasinet.

ISBN 82-554-0468-6

FORORD

Vann fra breområder inneholder etter norske forhold store mengder sedimenter. Dette skaper problemer ved kraftutbygging i brevassdrag med slitasje av turbiner.

Flere av elvene som blir regulert i forbindelse med byggingen av Jostedal kraftverk har betydelig materialtransport. I tillegg har hovedmagasinet, Styggevatn-Austdalsvatn, fungert som sedimentasjonsbasseng for deler av Jostedalsbreen siden istidens slutt. Disse sedimentene vil bli erodert ved nedtapping av vannene.

Kjerneprøver av bunnsedimentene ble tatt opp vinteren 1985 og endel materiale ble samlet inn ved en befaring sommeren 1985.

Undersøkelsene er finansiert av Statkraft. Jim Bogen har forfattet rapporten og foretatt beregninger og analyser. Laboratorieanalysene er utført dels av Hans Chr Olsen ved Brekontoret og dels eksternt. Evy Vollmo har maskinskrevet teksten og redigert rapporten sammen med Ola Kjeldsen.

Oslo, oktober 1986

Arne Tollan
Avd.dir.

INNHOLD

		Side
1.	SEDIMENTTILFØRSEL FRA MAGASINET	5
1.1	Bunnsedimentene i Styggevatn og Austdalsvatn	5
1.2	Vurdering av de enkelte prøver	5
1.2.1	Styggevatn	5
1.2.2	Austdalsvatn	7
1.3	Suspensjonsmaterialets kornfordeling	8
1.4	Suspensjonsmaterialets mineralsammensetning	9
1.5	Suspensjonsmaterialets kornform og rundhet	14
1.5.1	Styggevatn	15
1.5.2	Austdalsvatn	15
1.6	Sedimenttilførsel fra magasinet. Modellberegninger	16
1.7	Austdalsbreen	19
1.8	Vetledølaoverføringen	19
1.9	Kupvatn	20
2.	BEKKEINNTAKENE PÅ TILLØPSTUNNELEN	21
2.1	Sandhaugdalen	21
2.2	Vanndalen	21
2.3	Vigdalen	21
3.	SENSORER FOR MÅLING AV SEDIMENTTRANSPORT	22
3.1	Overvåking	24
4.	SAMMENFATTENDE DISKUSJON. ÅRSVARIASJONER	24
4.1	Anbefalinger	25
5.	REFERANSER	26

Innledning

Denne rapporten omhandler resultatet av undersøkelser gitt i oppdrag av Statkraft i brev av 9. september 1985. Oppdraget omfattet undersøkelser av sedimenttransporten i driftsvannet til Jostedøla kraftverk (fig. 1) og var spesifisert som:

Mengde av suspendert materiale som vil følge driftsvannet inn i tilløpstunnelen fra bunnsedimenter i Kupvatn, Austdalsbreen og Vetledølaoverføringen, mulige variasjoner over året, og i hvilken grad volumet vil avta over en del år. Dessuten var det ønskelig å anslå tilførselen av suspendert materiale fra bekkeinntakene på tilløpstunnelen ut fra tilgjengelige opplysninger uten undersøkelser i marken.

Det skulle også angis siktekurver for suspendert materiale og mineralsammensetning og kornform i forskjellige fraksjoner, og total løsmassetransport i Vetledøla forbi inntaksstedet. Muligheten for å måle mengden av suspendert materiale inne i tunnelen med automatisk registrering for å holde kontroll med turbinslitasjen skulle også utredes, med kostnadsoverslag.

Kalvingen fra Austdalsbreen er beskrevet i en egen rapport.

JOSTEDALSUTBYGGINGEN

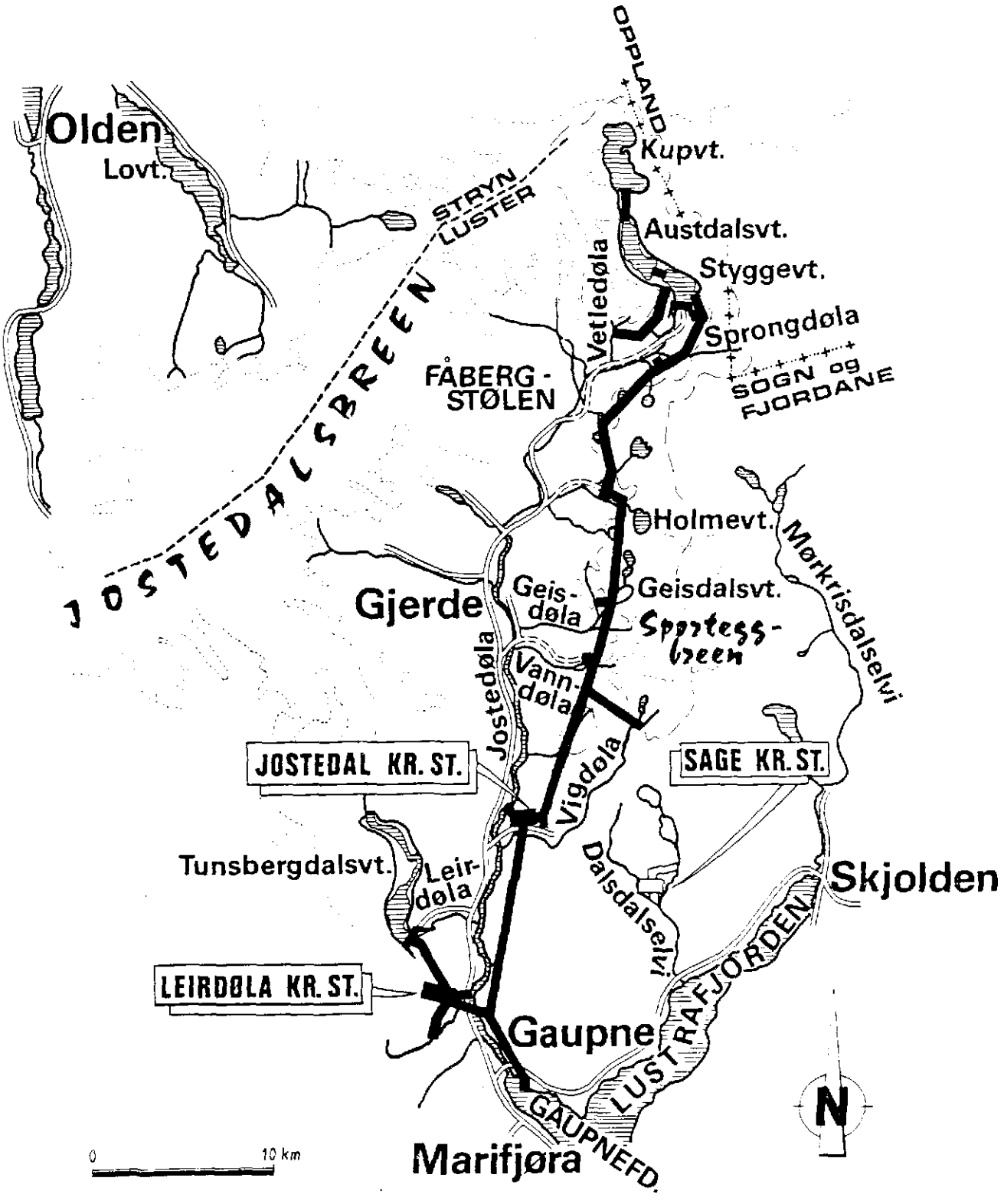


Fig. 1 Jostedal kraftverk. Inntak og magasin.

1 SEDIMENTTILFØRSEL FRA MAGASINET

Austdalsvatn og Styggevatn er to kommuniserende innsjøer. Styggevatn er opp mot 76 m dypt. Austdalsvatn er noe grunnere med maksimumsdyp på 42 m. Når kraftverket er i drift vil dypet i magasinet bli opptil 120 m.

Størstedelen av bunnsedimentene i de to innsjøene er tilført fra Austdalsbreen. Seismiske målinger i noen utvalgte punkter viser at tykkelsen på bunnsedimentene kan variere fra 16 m nær breen og ned til 1-2 m i Styggevatn ca 5 km fra breen. Morener på vestre siden av innsjøene viser at under brefremstøtene på 1700-tallet var breområdene større og tilførte sannsynligvis mer sedimenter. I dag har noen av disse breene smeltet nesten helt vekk. Mye tyder på at det også har blitt tilført noe materiale fra kvartære avsetninger langs strendene og fra elver og bekker som drenerer de brefrie områdene rundt innsjøene. Dette gjelder spesielt sandavsetninger i Styggevatn som ikke kan ha blitt tilført fra Austdalsvatn.

1.1 Bunnsedimentene i Styggevatn og Austdalsvatn

I Styggevatn ble det tatt opp 8 prøver fra 7 forskjellige lokaliteter. Lengden av kjerneprøvene varierte fra 25 til 65 cm.
I Austdalsvatn ble det tatt opp 9 prøver fra 5 forskjellige lokaliteter. Lengden varierte fra 6 til 87 cm.

Totalt ble det tatt opp 17 prøver i 12 forskjellige lokaliteter i de to vannene (fig. 2). 14 av prøvene ble røntgenfotografert straks etter ankomsten til Oslo. Senere ble prøvene preparert og fotografert med farge og svart-hvitt film. Vanninnholdet er målt i 8 av de 12 lokalitetene i 13 forskjellige prøver. Innholdet av organisk materiale (glødetapet) er målt i alle lokalitetene. Vanninnhold og glødetap er i de fleste prøver målt for hver cm nedover i sedimentet.

1.2 Vurdering av de enkelte prøver

1.2.1 Styggevatn

S-14. Prøvestedet ligger i sørøstenden av vannet på ca 45 m dyp ved foten av en meget bratt skrånende bunn. Borkjernen er 62 cm lang og viser et fint siltsediment av vekslende type. De øverste 12 cm viser et svakt sjiktet materiale men videre nedover er det tydelig spor av naturlige bevegelser. Det er antydning til deformasjon under prøvetakingen. De nederste 14-15 cm består av silt med høyt organisk innhold, hvor glødetapet ligger på 20-25% mot vanligvis 2-4%. Også andre sjikt i prøven viser høyt innhold av organisk materiale. Vanninnholdet veksler sterkt men øker merkbart i den organiskholdige delen og ligger her godt over 80%.

Det relativt høye vanninnholdet i materialet gjør sedimentene ustabile i dette området av vannet.

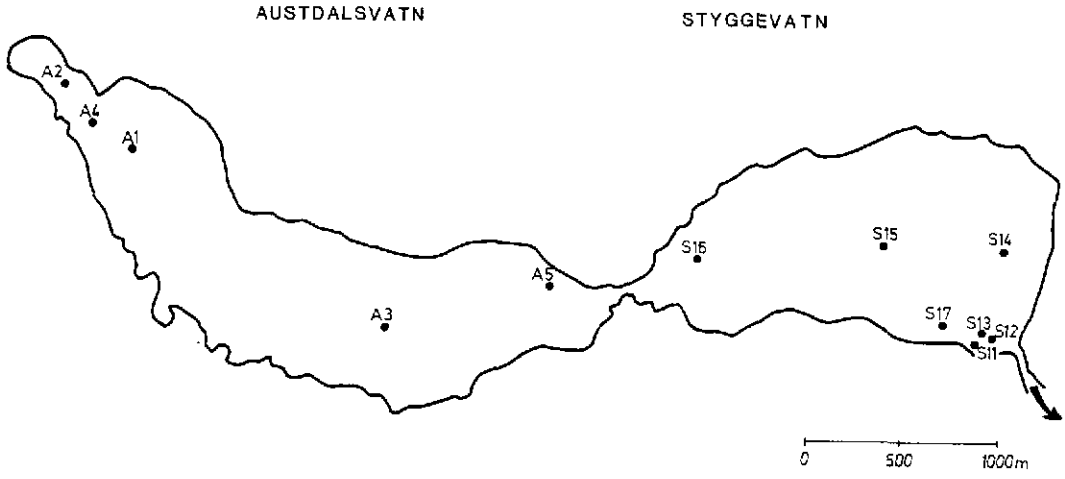


Fig. 2 Lokaliteter for borkjerner fra bunnsedimentene i Austdalsvatn og Styggevatn.

S-11 ligger 25 m fra vestre endepunkt for seismisk profil for damfoten, på 6.6 m dyp på skrånende bunn. Prøven er 24 cm lang og består av vekslende fin og middels silt. I de nedre 4-5 cm er det antydning til noe sjiktning i en tett homogen silt med et vanninnhold på ca 40%. For øvrig ligger vanninnholdet opp mot 70% i den sentrale del av kjernen. Innholdet av organisk materiale ligger mellom 3 og 6%.

S-13. Prøvestedet ligger lenger nede i samme skråning som S-11, 10 m fra ytre endepunkt på seismisk tverrprofil på 7.7 m dyp. Lengden av prøven er 24 cm. De øvre 12 cm består av grå til gråbrun fin silt med svak sjiktning. Videre nedover ses noe tydeligere sjiktning og de nedre 4-5 cm viser et varvig materiale bestående av middels til grov silt, med finsand i bunnen. Denne varvige delen har antakelig høy alder. Vanninnholdet er meget høyt i de nedre 15 cm (ca 75-80%). Innholdet av organisk materiale er ikke beregnet foreløpig. Vanninnholdet i både S-11 og S-13 er såpass høyt at sedimentene i dette området sannsynligvis er meget ustabile.

S-17. Prøvestedet ligger ved ytterpunkt for søndre tverrprofil (profil 8) ved omløpstunnel (kote 1140) på 29 m dyp på sterkt skrånende bunn. Det ble tatt opp to prøver på henholdsvis 25 og 65 cm. Deler av prøven synes å ha vært utsatt for noe deformasjon. Fra 10 cm og nedover er det en jamn økning av vanninnholdet ned til ca 50 cm hvor det er ca 80%.

S-15. Prøvestedet ligger på svakt skrånende bunn på 55 m dyp nær vannets dypeste område. Prøven er 43 cm lang. Den viser i de øvre 6-7 cm et sjiktet finsilt-sediment og mellom 7 og 15 cm en varvig finsilt. Mellom 15 og 22 cm finnes spor av "skred materiale" med grus. Det representerer sikkert et breframstøt fra breene på fjellet Vivakulen. Vanninnholdet i prøven er sterkt varierende, men ligger ofte mellom 50 og 60%. Innholdet av organisk materiale varierer noe, men som oftest er glødetapet mellom 3 og 4%.

S-16. Prøvestedet ligger i nordøstenden av vannet ved antatt posisjon for seismisk profil på svakt skrånende bunn, på ca 15 m dyp. Prøven er ca 50 cm lang. De øvre 7 cm viser en gråbrun silt med noe sjiktning. Det finnes to markerte horisonter med sandig materiale med enkeltkorn opp til 3-4 mm. Ved ca 10 cm dyp ble det funnet to forholdsvis store korn av gneis. Videre nedover til 30 cm består materialet av et gråbrunt siltsediment med høyt innhold av gruskorn opp til 8-9 mm. Fra 30 cm og ned til bunnen er det et betydelig innhold av grus (korn opp til 12-13 mm).

Det høye innhold av grus i denne kjernen er sikkert vasket ut fra den nærliggende bekken eller generell utvasking av strandsonen.

1.2.2 Austdalsvatn

A-5. Prøvestedet ligger i sørenden av vannet ved seismisk profil på 16-17 m dyp på en forholdsvis bratt bunn. Prøven er 34 cm lang og består i de øvre 10-11 cm av et gulbrunt varvig siltsediment hvor en grovtelling viser ca 6 mm avsetning på 10 år, hvilket vil si at de øvre 18 cm representerer ca 300 års sedimentasjon. På røntgenbilde ses fragmenter av gruskorn opptil 5 mm i diameter enkelte steder. For øvrig ligger gruskornene spredt uten noe spesiell orden. Mellom 10-15 cm har sedimentet vært utsatt for naturlig deformasjon. De nedre 13-14 cm består av en gråblå silt med dårlig utviklet sjiktning. På røntgenbilder ses en grov sjiktning med endel horisonter av grus.

I den varvige delen av materialet ligger vanninnholdet mellom 38 og 40% men i de nedre deler går det opp mot 45-46%. Innholdet av organisk materiale er foreløpig ikke beregnet.

A-3. Prøvestedet ligger ca 1 km fra utløpet omtrent midt i vannet på ca 30 m dyp på en forholdsvis flat bunn. Det ble tatt to prøver her, A-3 (L) på 86 cm og A-3 (K) på 48 cm. Begge prøvene viser et meget godt utviklet varvig siltsediment ned til ca 43 cm dyp. En grovtelling viser at dette representerer ca 400 års sedimentasjon eller vel 1 mm pr år.

Det er en gradvis økning i vanninnhold fra ca 35% i de øverste deler og til 47-48% ved ca 45 cm dybde. I de eldste avsetningene varierer det noe mer og kan gå helt opp mot 55%.

A-1. Prøvestedet ligger i den indre del av Austdalsvatn ca 900 m fra fronten av Austdalsbreen. Dybden er 18.5 m på noe kupert bunn. Det ble tatt opp to kjerneprøver, en på 9.5 cm og en på 23 cm. Begge viser et godt utviklet varvig siltsediment. Den lengste prøven viser ca 240 års sedimentasjon eller omtrent 1 mm pr år. De siste 60 år representerer imidlertid omtrent 40% av sedimentmengden noe som betyr at det har vært en betydelig større sedimentasjon i denne siste perioden.

Vanninnholdet viser i begge prøver fra dette stedet en synkende tendens i de øvre 5 cm av sedimentet, men dypere nedover er det et rotete bilde med store variasjoner hvor vanninnholdet stedvis er oppe over 50%. Under prøvetakingen var det problemer med å få opp

kjerner fra denne lokaliteten fordi materialet virket meget bløtt. Innholdet av organisk materiale varierer lite. Det ligger mellom 1 og 2% i den korteste prøven ned til 8.5 cm og mellom 2-3% i de samme avsetningene i den lengste. Videre viser den et svakt økende innhold nedover i sedimentet. Ved 11 cm dyp eller for ca 60 år siden var det en 5 års periode med noe mer innhold av organikk, ca 7%.

A-4. Prøvestedet ligger omtrent 250 m fra brefronten mellom to nes som begrenser det innerste smale basseng. Dybden er 14 m og bunnen har en forholdsvis slak helning. Det ble tatt opp 3 kjerneprøver, to på ca 13 cm og en på 32 cm. De viser et godt utviklet varvig siltsediment. Den lengste prøven A-4 III viser ved en grov telling totalt ca 200 år. Fra bunnen i 1780-årene og ca 130 år framover til ca 1915 var sedimentasjonen liten, (omtrent 0.6 mm pr år) eller totalt ca 8 cm. Her inntrådte imidlertid en økning av materialtilførselen som har pågått fram til vår tid. I de siste 70 år har sedimentasjonen vært hele 22 cm i denne lokaliteten eller ca 3.1 mm pr år. Vanninnholdet minker i denne lokaliteten fra ca 28% i overflatesedimentene til omtrent 20% nede ved 22 cm dyp men øker igjen i de eldre sedimentene. Innholdet av organisk materiale er lite (mellom 0.5 og 1%) ned til 24 cm dyp, (ca år 1900) for så å øke gradvis nedover til ca 2%.

A-2. Lokaliteten ligger umiddelbart foran brefronten i en overfordypning i bunnen på ca 15 m dyp. Prøven er bare 6 cm lang. Den viser et godt utviklet varvig sediment av grov silt. Etter varvlagene å dømme utgjør disse bare 13-14 år eller tilbake til 1972.

Vanninnholdet er ikke målt, på grunn av naturlig uttørking. Innholdet av organisk materiale er målt på 13 sjikt (varv) og ligger svært lavt, 0.9 til 2.5%.

1.3 Suspensjonsmaterialets kornfordeling

Kornfordelingen på et utvalg av prøver fra borkjernene er omtalt i denne rapporten. Analysene representerer materiale som er tilført i suspensjon fra breen eller erosjon i istidsavsetninger langs breddene.

Størstedelen av bunnsedimentene i Austdalsvatn og Styggevatn består av svært fine kornfraksjoner, men i visse områder fins det grovere kornstørrelser i sedimentene.

På lokalitet S17 i Styggevatn er medianverdien på overflatesedimentene 0.0054 mm, fig 3. 92.1% av sedimentene er mindre enn 0.016 mm og omlag 26% av prøven er leire mindre enn 0.002 mm. Av det resterende ligger størstedelen i fraksjonen 0.016-0.032 mm. Bare 1% er større enn 0.032 mm. Ca 10 cm under overflaten er kornfordelingen svært lik, men noe forskjøvet mot finere fraksjoner og med en medianverdi på 0.049 mm.

På lokalitet S14 (nær det planlagte inntaket) viser kornfordelingskurvene grovere materiale med innslag av sandfraksjoner, fig 4. Medianverdiene ligger mellom 0.0159 mm og 0.0415 mm. I prøven som

er tatt 55 cm under overflaten er bare 24.7% mindre enn 0.016 mm og hele 32% er større enn 0.064 mm.

Sanden på lok. S14 kommer sannsynligvis fra utvasking av løsmateriale langs strendene. Alle kornfordelingskurvene fra lokalitet S14 er også bimodale med et minimum i intervallet 0.064-0.032 mm, noe som understøtter oppfatningen om forskjellige sedimentkilder for de ulike fraksjonene, fig. 4.

På lok. S13 er også materialet finfordelt med medianverdier mellom 0.0117 mm og 0.058 mm. I enkelte av prøvene er det imidlertid et visst innslag av grovsilt. I prøven tatt 15 cm under overflaten er det hele 37.2% mindre enn 0.016 mm.

På lok. S11, innerst på grunt vann, varierer medianverdiene fra 5.9 til 37.4%, fig. 5. I den mest grovkornige prøven er hele 79.0% større enn 0.016 mm og 27.8% består av sand. Prøvene fra lok. S16 inneholder også sand og hele 63.4% er større enn 0.016 mm.

I Austdalsvatn som ligger nærmere den største aktive materialkilden i nyere tid er materialet forholdsvis finkornet. Kornfordelingsanalyser fra 8 prøver i ulik dybde på lok. A5, nær utløpstunnelen til Styggevatn viser medianverdier fra 0.068 mm til 0.0178 mm, fig 6.

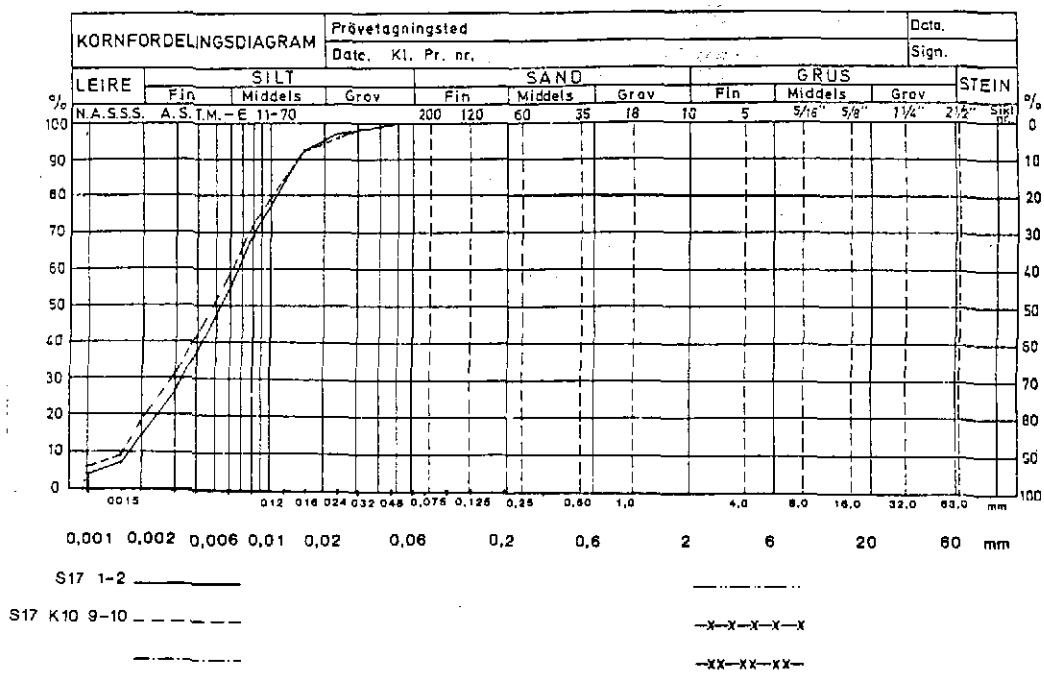
I gjennomsnitt er 13.9% av materialet på denne lokaliteten større enn 0.016 mm. Under 1% av dette er større enn 0.048 mm.

På lok. A1 nærmest Austdalsbreen, er også materialet forholdsvis finkornet, fig. 3,4 og fig. 6. Medianverdiene ligger mellom 0.0111 mm og 0.007 mm. I enkelte av prøvene er det opp mot 3.1% sand dvs. mindre enn 0.063 mm. På denne lokaliteten er sanden avsatt under flomforhold. På lokalitet A2 dominerer sandfraksjonene. Grensen for hvor langt sandfraksjonene kan transporteres under uregulerte forhold ligger altså i området ved lok. A1.

1.4 Suspensjonsmaterialets mineralsammensetning

Mineralsammensetningen ble bestemt ved røntgendifferaksjonsanalyse (XRD). Det ble analysert tre prøver fra Styggevatn og fire prøver fra Austdalsvatn. Prøvene ble delt i fire fraksjoner 0.125-0.063 mm, 0.063-0.016 mm og 0.016-0.002 mm og materiale mindre enn 0.002 mm. Resultatene er vist i tabell 1. De dominerende mineralene i alle prøvene er glimmer, kvarts, kalifeltspat, plagioklas, amfibol og leirmineraler. Kvarts, feltspat og glimmer utgjør størstedelen av prøvenes volum. Det er bare to prøver, S11 og S13 som inneholder sandfraksjoner. Sanden i disse prøvene kommer ikke fra Austdalsbreen, men fra erosjon i kvartære avsetninger, sannsynligvis bølgeerosjon og utvasking langs strendene.

Kvarts og feltspat har størst sliteevne. Kvartsinnholdet i sandfraksjonene ligger på rundt 18-20%. Ifølge KSV (1983) sliter feltspat halvparten så mye som kvarts, men noe varierende for forskjellige feltspattyper. I forsøkene til KSV (1983) virket amfibol også slitende, men ikke i samme grad som kvarts og feltspat.



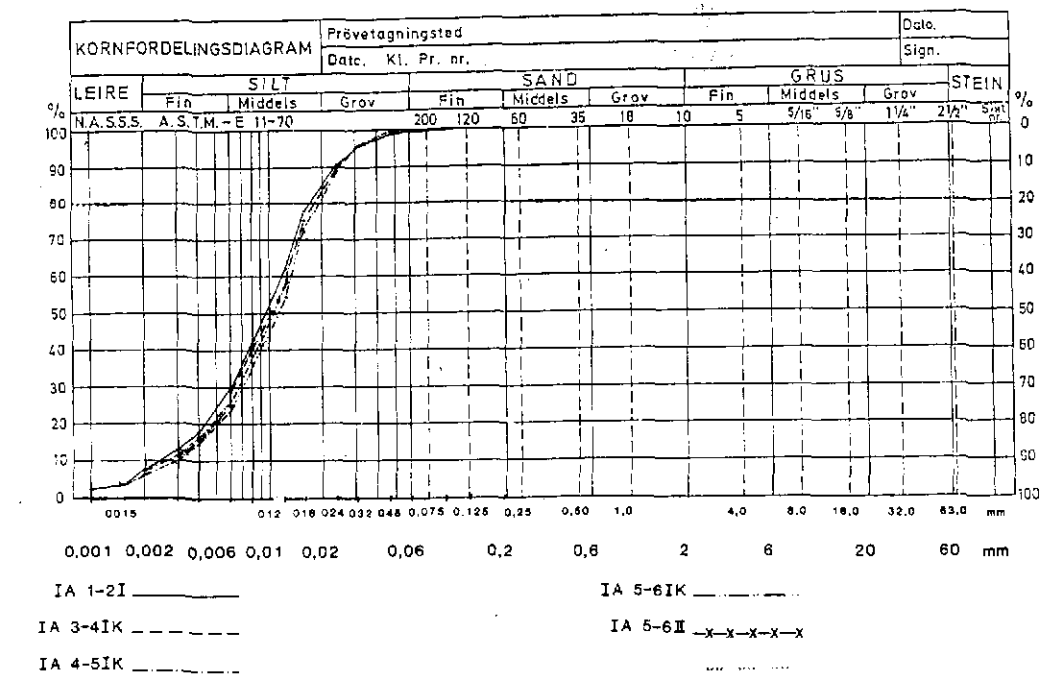
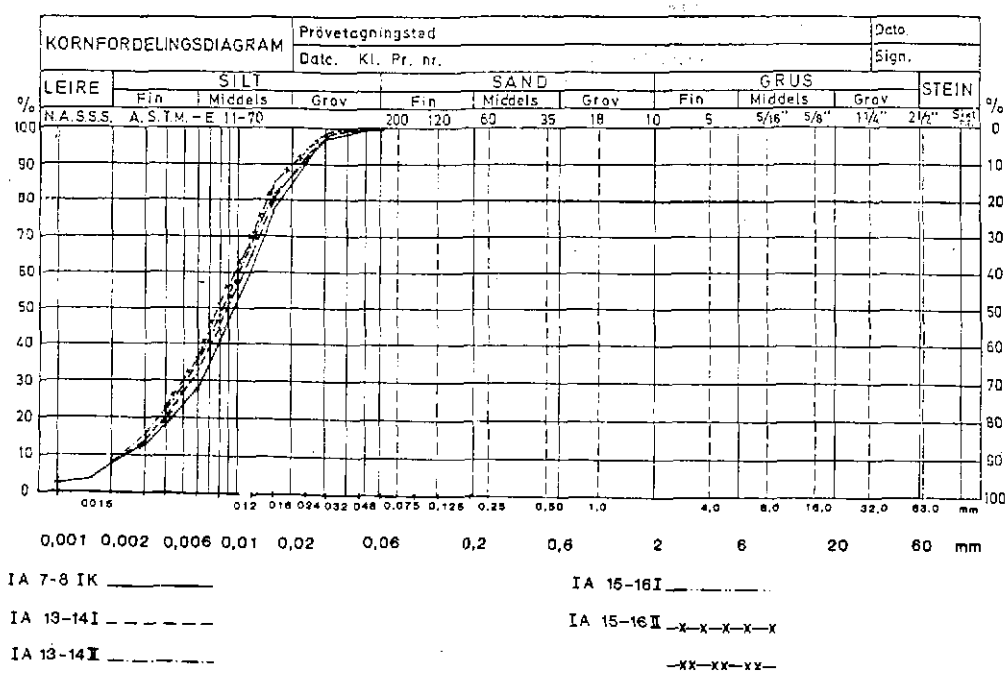


Fig. 3 Kornfordelingskurver fra Styggevatn og Austdalsvatn, lokalitet A1 og S-17. Tallet til høyre i lokalitetsbetegnelsen angir dyp under overflaten i cm.



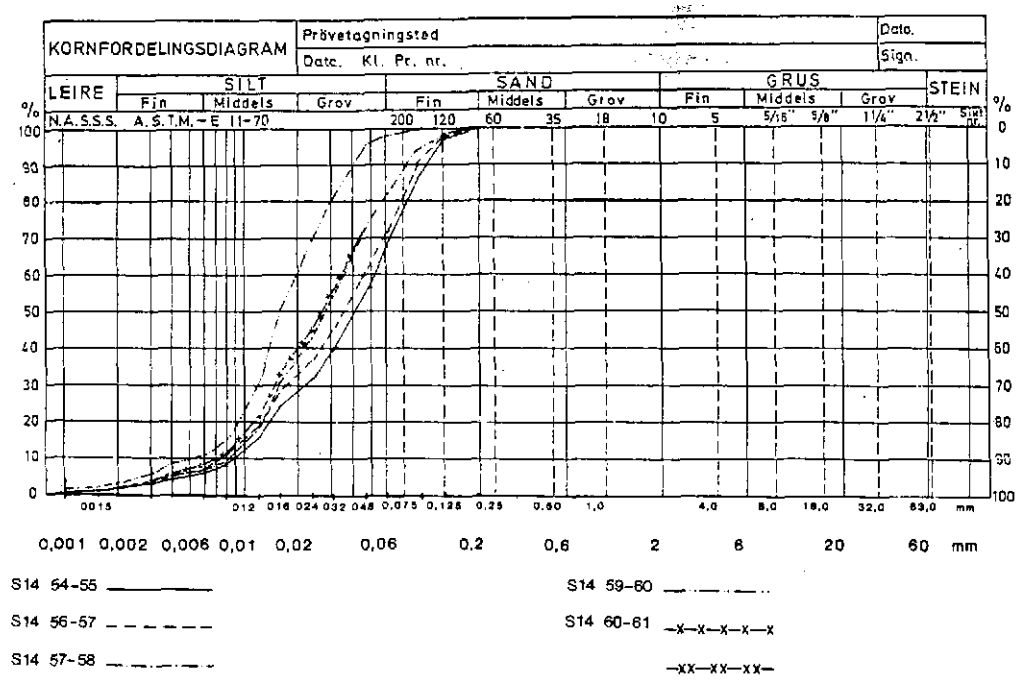
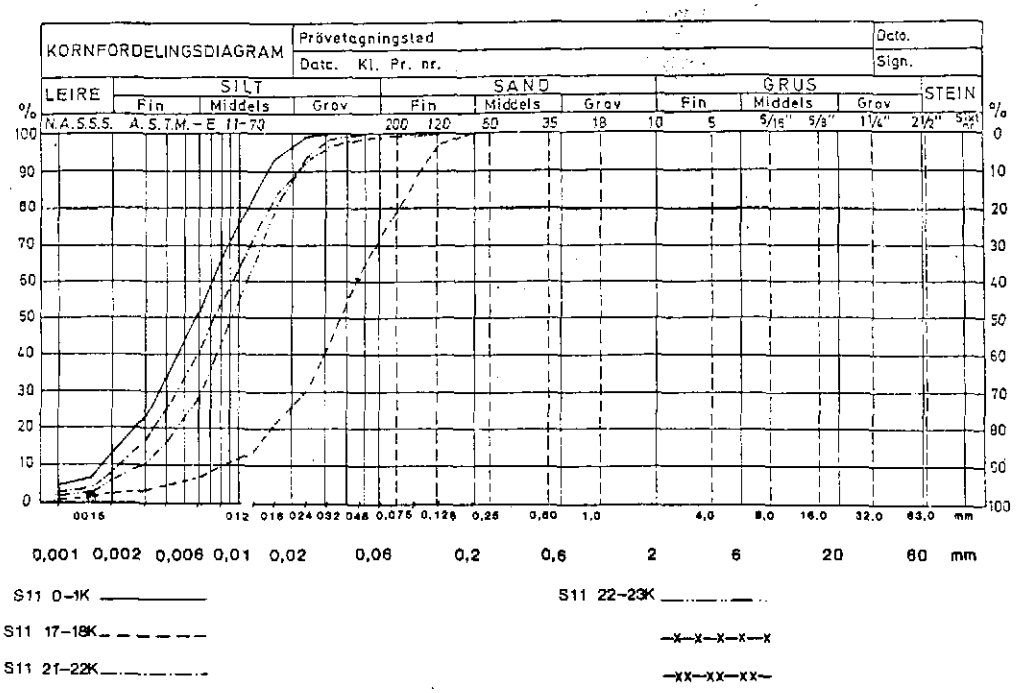


Fig. 4 Kornfordelingskurver fra Styggevatn, lokalitet S-13 og S-14.



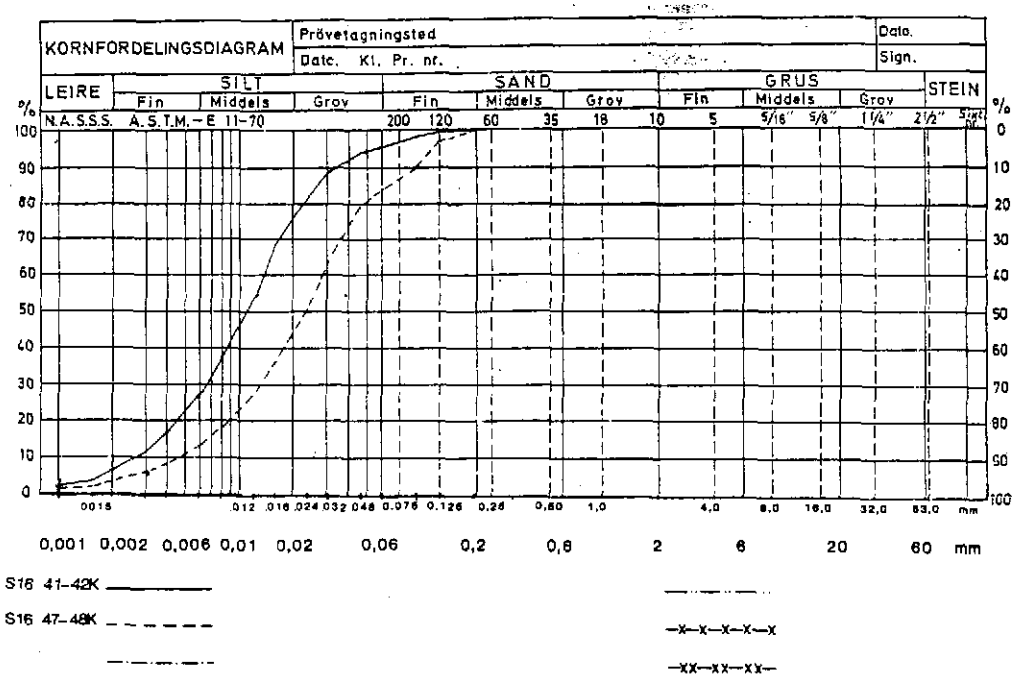
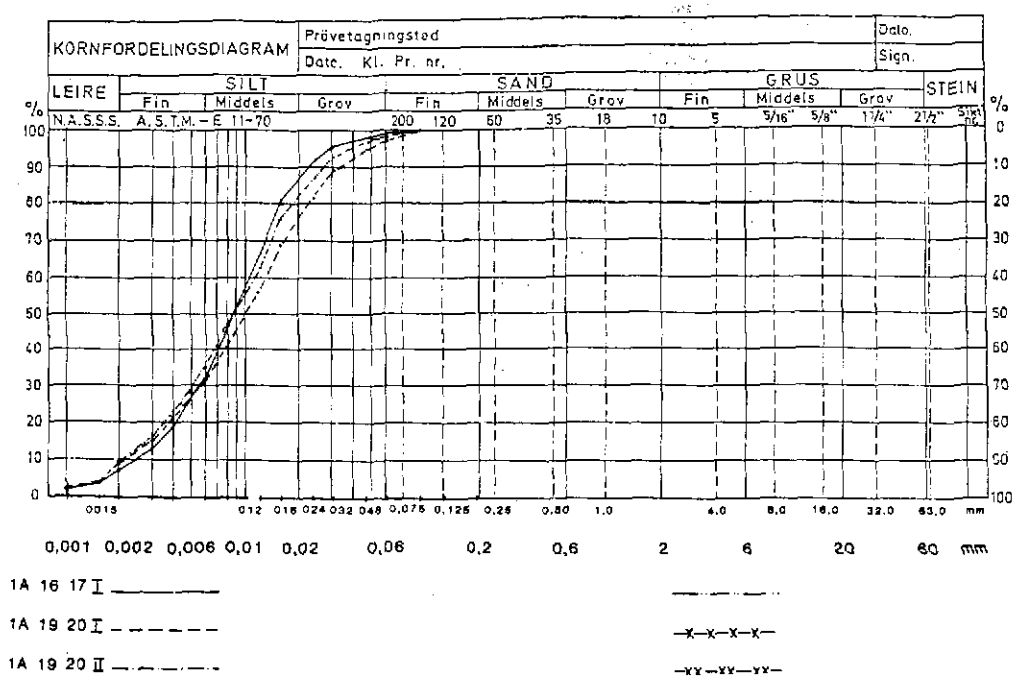


Fig. 5 Kornfordelingskurver fra Styggevatn, lokalitet S-16 og S-11.



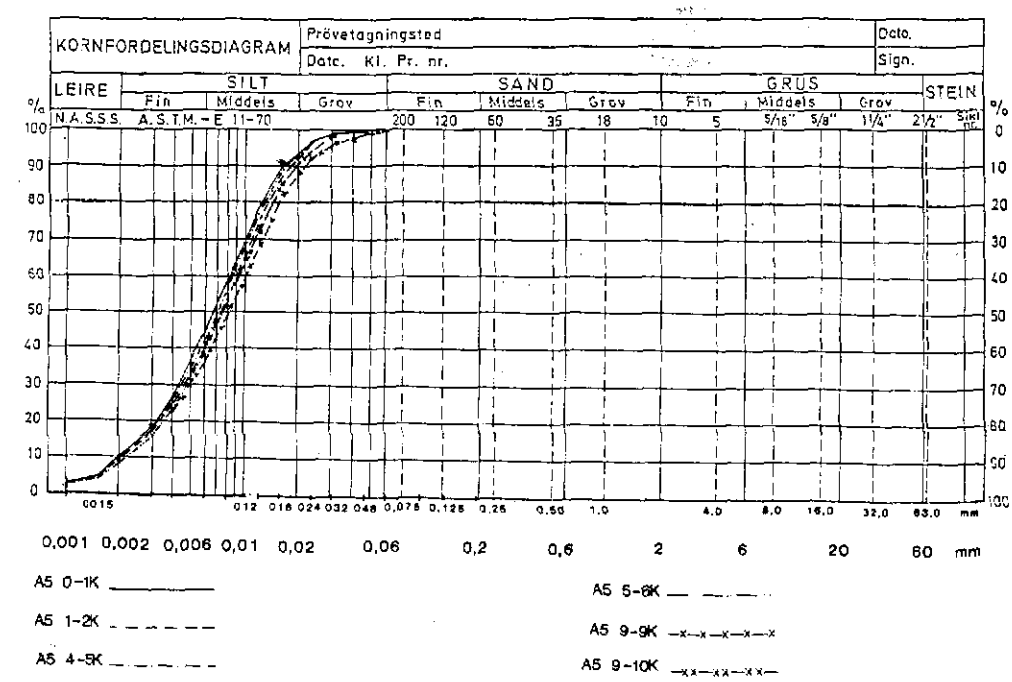


Fig. 6 Kornfordelingskurver fra Austdalsvatn, lokalitet A1 og A5.

I sandfraksjonene utgjør altså slipende mineraler 85-90% av prøvene. Siltfraksjonene 0.063-0.016 mm kan også føre til slitasje på høyt fall. I siltfraksjonene er kvartsinnholdet lavere, fra 7 til 15%. Det er imidlertid betydelige mengder feltspat, slik at de slipende mineralene utgjør fra 43 til 75%. Finsilt, 0.016-0.002 mm vil sannsynligvis ha svært liten slipende effekt. Kvarts og feltspat utgjør imidlertid opp mot 90% av denne fraksjonen.

I prøvene fra Austdalsvatn er det ikke sandfraksjoner. Sandavsetningene fra breen ligger så langt inne at de ikke vil nå frem til inntaket. Grovsiltfraksjonen består imidlertid av over 90% slipende mineraler, hvor kvartsinnholdet kan variere fra 14 til 25%. I finsilt utgjør kvarts og feltspat fra 46 til 91%.

1.5 Suspensjonsmaterialets kornform og rundhet

Kornformene av sedimentpartiklene fra Styggevatn og Austdalsvatn er undersøkt visuelt under mikroskop. Inndelingen av rundhetsgraden er hentet fra Pettijohn 1957. Se fig. 7. Det meste av materialet ligger i siltfraksjoner og her lar kornfordelingen seg ikke bestemme uten bruk av andre metoder som for eks. elektronmikroskop.

AUSTDALSVATN

Lokalitet	A-2			A-3 bunn			A4 III			AI-Ia		
Fraksjon i µmm	63-16	16-2	<2	63-16	16-2	<2	63-16	16-2	<2	63-16	16-2	<2
Leirmineraler	-	1	9	1	3	4	-	-	5			5
Glimmer	5	9	61	13	48	75	4	8	74	12	15	78
Kvarts	22	16	5	14	7	2	25	16	2	22	15	2
Kalifeltspat	20	17	5	21	11	5	13	18	4	16	19	4
Plagioklas	51	56	17	48	28	9	56	57	11	48	30	8
Amfibol	2	1	3	2	2	4	2	1	3	2	1	3

STYGGEVATN

Lokalitet	S11				S13				S14			
Fraksjon i µmm	125-63	63-16	16-2	<2	125-63	63-16	16-2	<2	125-63	63-16	16-2	<2
Leirmineraler		1	1	5		2	-	4		4	3	6
Glimmer	15	55	12	57	9	38	8	61		17	41	56
Kvarts	20	7	17	6	18	14	18	15		15	10	5
Kalifeltspat	17	8	17	9	23	13	25	9		18	11	9
Plagioklas	47	28	50	17	48	31	47	17		42	32	16
Amfibol	2	-	2	5	2	2	2	4		4	4	8

Tabell 1 Mineralanalyser av prøver fra bunnsedimentene i Austdalsvatn og Styggevatn.

Fig. 7 Visuell inndeling av rundhetsgrader av sedimentpartikler, a-kantet, b-noe rundet, c-noe rundet, d-rundet, e-godt rundet.

1.5.1 Styggevatn

S-11. Det forekommer tynne soner av et kvartsrikt materiale med kornform b "noe kantet".

S-13. Under 15.5 cm er materialet noe grovere enn høyere opp. Dypere enn 21 cm består materialet av fin sand. Det ser ut til å være svært kvarts/feltspatrikt med kornform b "noe kantet".

S-15. Materialet mellom 15 og 20 cm består overveiende av kvarts og feltspatkorn opptil 3 mm. Kornformen varierer fra "noe rundet" til "rundet".

S-16.De to store kornene av gneis bergarter ved 8-12 cm har en kornform mellom c og e "noe rundet" til "godt rundet". De ligger for øvrig i en finsilt. Muligens er de droppstein fra "isfjell" etter kalving av Austdalsbreen. For øvrig ligger korn av kvarts/-feltspat samt bergartsfragmenter jamt fordelt i siltmateriale gjennom hele prøven fra ca 8 cm og ned til bunnen. Deres kornform varierer fra "noe rundet" til "rundet". De øvrige 8 cm er mer fin-kornet enn resten av prøven.

1.5.2 Austdalsvatn

A-5. Det finnes endel "grove korn" av bergartsfragmenter, kvarts og feltspat fra 0-5 cm og 10-15 cm dyp og en større ansamling ved 30 cm dyp. Kornformen er for det meste "noe rundet".

A-3. Det finnes noen få spredte grove korn av bergartsfragmenter med kvarts og feltspat gjennom hele prøven med kornform c "noe rundet". Ved ca 50 cm dyp i lokaliteten finnes en større ansamling av feltspat og bergartsfragmenter med kornform a "kantet".

A-1. Et finkornet siltsediment med enkelte horisonter av kvartsrikt materiale. Kornform d "rundet" til e "godt rundet".

A-4. Siltfraksjoner med kornform a "kantet". Materialet virker kvarts- og feltspatrikt, men det er også litt biotittglimmer, samt noe pyroksen. Pyroksenkornene virker også skarpkantet.

A-2. Grov/middels silt materiale. Kvarts- og feltspatrikt, men lite biotitt. Kornformen er for det meste av type a "kantet".

1.6 Sedimenttilførsel fra magasinet. Modellberegninger.

Partikkelbevegelsen i magasinet kan beskrives av likningen

$$h \frac{\partial C_d}{\partial t} = -V_s C_d \Phi(V_s)(1-\varphi(V_s))$$

der C_d er middelkonsentrasjonen av partikler med diameter d og fallhastighet V_s i en vertikal i intervallet mellom V_s og $V_s+\partial V_s$ (jfr. Sundborg 1957).

(V_s) er forholdet mellom antall partikler som bringes i suspensjon eller sedimenterer. $\Phi(V_s)$ uttrykker turbulens effekt på partikkelbevegelsen slik at konsentrasjonen av partikler like over bunnen er lik $\Phi(V_s)C_d$.

Hvis det antas at det ikke foregår noen resuspensjon kan vi sette $\varphi=0$. Likningen kan da integreres:

$$C_d(t) = C(0)e^{-V_s \Phi(V_s)t/h}$$

Hvis strømhastigheten over den betraktede strekning antas konstant lik $\bar{V}$ kan vi sette:

$$C_d(X) = D_d(0)e^{-V_s \Phi(V_s)X/\bar{V}h}$$

der X er avstand fra sedimentkilden.

Relasjonene kan benyttes til å beregne hvor store mengder av det suspenderte materialet som vil følge driftsvannet inn i tilløpstunnelen fra forskjellige områder i innsjøene.

Beregningene ble gjennomført med utgangspunkt i en to-dimensjonal modell av innsjøene. Innsjøene ble delt i en rekke sektorer med forskjellig avstand fra inntaket, varierende fra 200 m til 5 000 m, fig. 8. Mengden bunnsedimenter innenfor hver sektor ble anslått fra de seismiske undersøkelsene. Kornfordelingsanalyser fra borkjernene gir andelene av hver fraksjon innenfor hver sektor. Fraksjonenes fallhastighet ble beregnet for en vanntemperatur på 4°C. I beregningene ble middeldybden satt til 40 m. Strømhastigheten ble satt til 1 cm/s på hele strekningen.

Beregnede sedimentkonsentrasjoner for forskjellige kornfraksjoner relativt til konsentrasjon ved sedimentkilden er vist i fig. 9. med avstand fra inntaket som parameter. Under de gitte forutsetningene når ikke sandfraksjoner fra sektorer utenfor 200 m frem til inntaket. Det er imidlertid betydelige mengder siltfraksjoner som kan transporteres med driftsvannet under lav nedtapping.

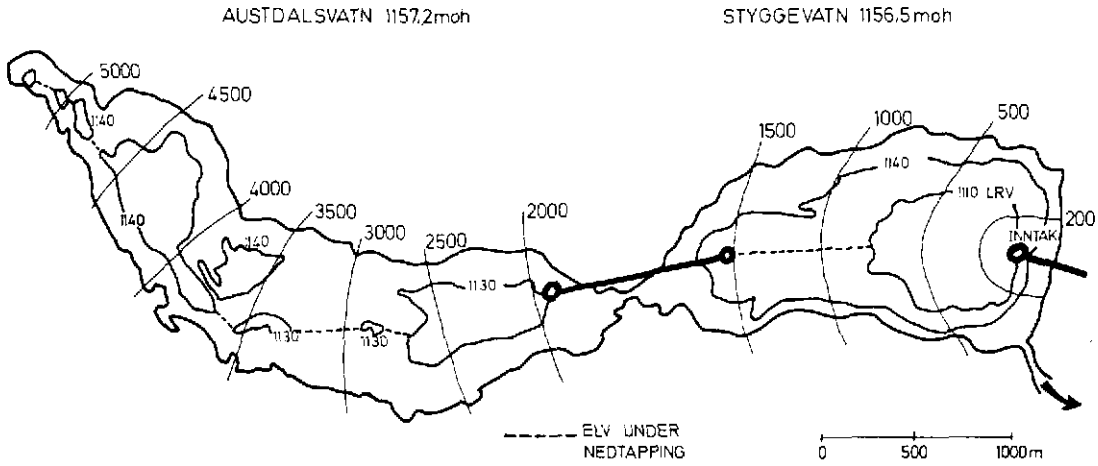


Fig. 8 Modell for sedimentpartiklenes bevegelse gjennom Austdalsvatn og Styggevatn. Avgrensing av sektorer i forskjellig avstand fra inntaket.

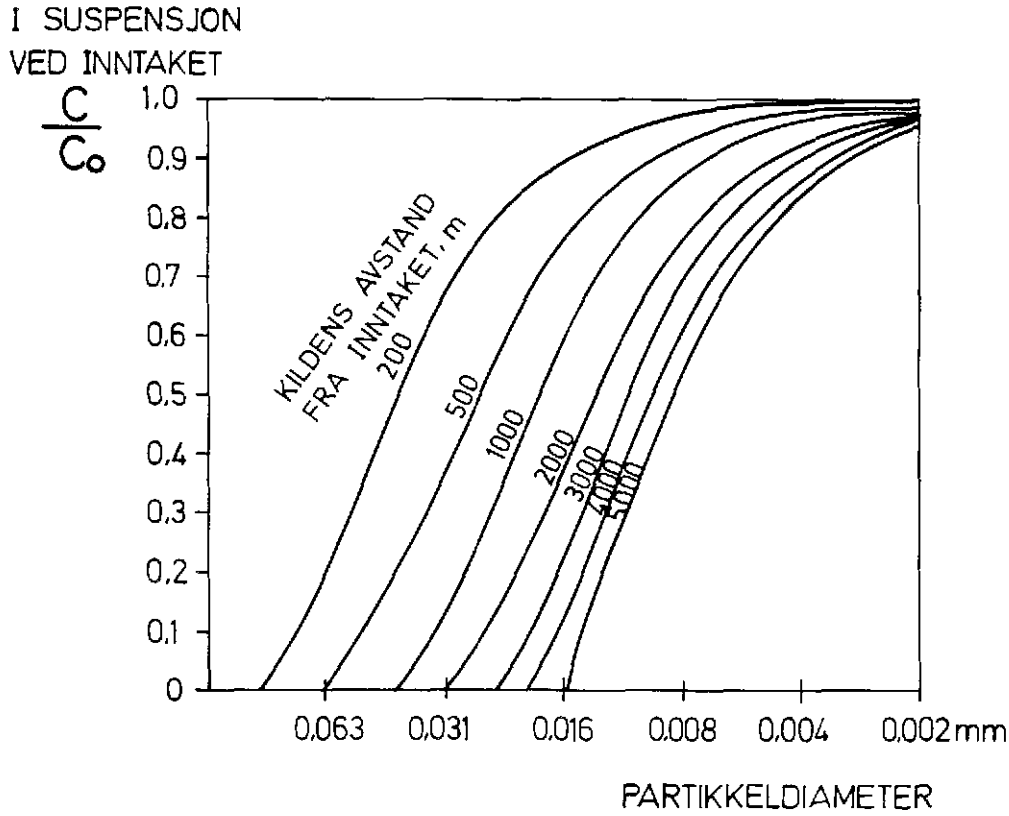


Fig. 9 Konsentrasjonen av materiale i suspensjon ved inntaket relativt til konsentrasjonen ved kilden, for kilder i varierende avstand fra innløp.

Beregnet masse summert opp fra hver sektor viser at tilsammen vil $8.0 \cdot 10^5 m^3$ masse holdes i suspensjon helt frem til inntaket hvis alle bunnsedimentene ned til LRV i Austdalsvatn og Styggevatn ble erodert og bragt i suspensjon.

Av dette kommer 25% fra Styggevatn og 75% fra Austdalsvatnet. Effekten av tunnelen mellom sjøene er ikke tatt med i beregningen. Denne vil redusere bidraget fra Austdalsvatn. Størstedelen av materialet utgjøres av leire og finsiltfraksjoner. $14 \cdot 10^3$ m^3 er siltfraksjoner i intervallet 0.064-0.016 mm. I denne fraksjonen kan det være opp mot 25% kvarts. Det er imidlertid betydelige mengder feltspat som også virker slipende. Se tabell 1.

Den ujevne bunntopografien i Austdalsvatnet medfører at det oppstår en rekke mindre bassenger når magasinet tappes ned, til LRV (fig. 8). Seismiske undersøkelser vil vise om tersklene vil eroderes ned eller om de består av fjell. De mindre bassengene vil etterhvert fylles opp med materiale som tilføres ovenfra. Klaringseffekten på LRV vil derfor avta med tiden.

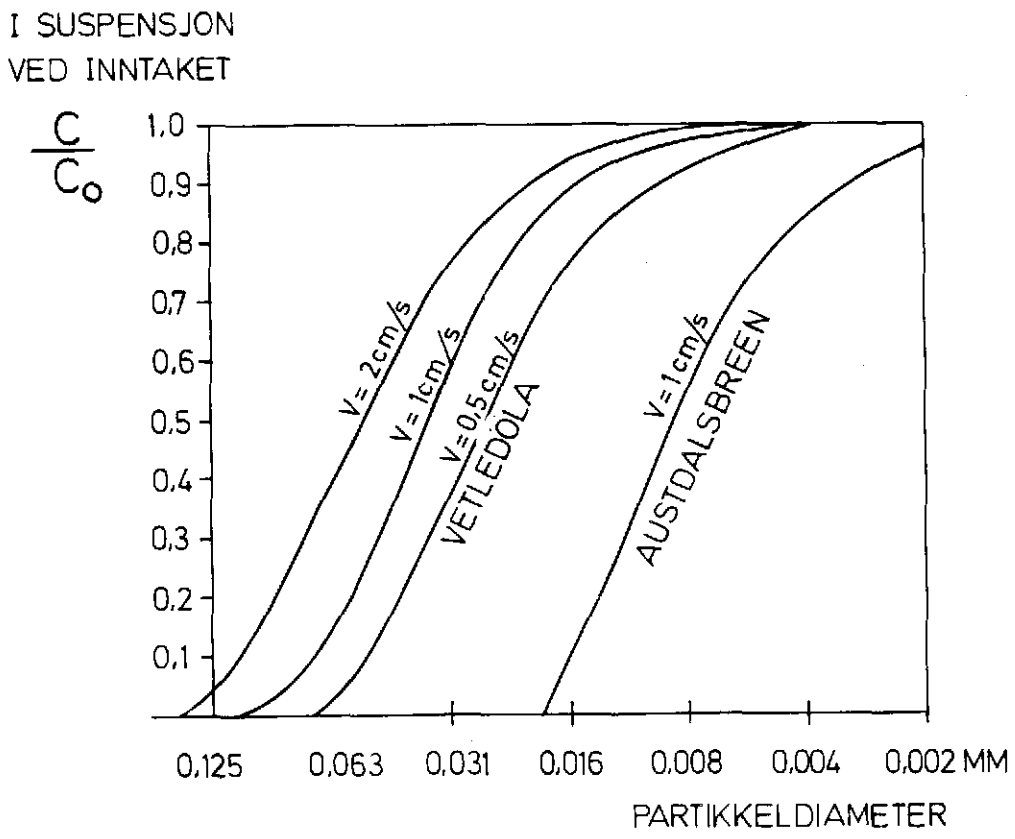


Fig.10 Konsentrasjonen av materiale i suspensjon ved inntaket relativt til konsentrasjon ved kilden for forskjellige strømhastigheter i magasinet for Vetledøla og Austdalsvatn.

1.7 Austdalsbreen

De varvige sjiktningene i bunnsedimentene viser at Austdalsbreens nåværende materialproduksjon ligger rundt 1 200 t/år. Sedimenttilførselen fra Austdalsbreen ble beregnet etter samme metode som i avsnitt 1.5.

Beregningene viser at den direkte materialtilførselen fra Austdalsbreen vil være av liten betydning for turbinslitasjen, fig.10.

Hvis middelstrømhastigheten i magasinet antas lik 1 cm/s vil partikler større enn 0.032 mm ikke nå frem til inntaket. Det vil bare være 10% av partikler med diameter 0.016 mm som holdes i suspensjon helt frem. Bare 57% av fraksjonen 0.008 mm vil holdes i suspensjon. Dette stemmer bra med de små konsentrasjonene på maksimalt 3-4 mg/l som er målt i utløpet av Styggevatn under naturlige forhold. Når magasinet tappes helt ned vil transporten langs bunnen være som en elv og masseforflytningen vil foregå på en annen måte enn hva som er forutsatt i modellen. Det kan dermed eroderes i materiale som er sedimentert tidligere.

Sjiktninger i borkjernene i Austdalsvatn kan imidlertid tyde på at det av og til har oppstått tunge bunnstrømmer i Austdalsvatn. Det er imidlertid lite sannsynlig at slike bunnstrømmer fra breen vil øke turbiditeten i Styggevatn i særlig grad, selv om de skulle bevege seg gjennom hele Austdalsvatnet.

Hvis hele de nedre deler av Austdalsbreen smelter vekk ved kalving i tilknytning til oppdemningen vil det frigjøres store mengder sedimenter fra breens såle. Dette kan anslagsvis dreie seg om minst 500 000 tonn.

1.8 Vetledølaoverføringen

Det ble gjennomført målinger av sedimenttransporten i Vetledøla i sommersesongen 1986. Disse dataene er imidlertid ikke bearbeidet ennå. Breen på Vivakulen produserer en viss mengde materiale. Breen har et areal på omtrent 3 km^2 hvis det antas at isskillet ligger nær kote 1550. Det kan imidlertid ikke utelukkes at breen kan strekke seg helt opp mot Austdalsnuten. Dette vil i så tilfelle innebære en økning i brearealet på 1 km^2. En nærmere fastsettelse av breens areal kan ikke gjøres uten nærmere undersøkelser. Brearealets størrelse og høyde over havet har betydning for breens massebalanse og materialhusholdning. En bre med tilsig fra arealene på Austdalsnuten vil reagere raskere med et brefremstøt på en økning i vinternedbør enn en bre som slutter ved kote 1550. Sedimentproduksjonen vil også bli større. Gjennomsnittlig erosjonsintensitet for norske breer ligger på omlag 1 000 $t/km^2/år$ hvis det regnes med en bunntransport på 50% av totaltransporten. Etter dette kan breens materialproduksjon estimeres til 3 000 $t/km^2/år$ som vil tilsvare et volum på 6000 m^3.

Sedimenttransportens variabilitet er imidlertid så stor på de observerte breene at tallet må anses som høyst usikkert.Det er imidlertid grunnlag for å anta at et klaringsbasseng av moderat størrelse foran breen vil kunne innfange bunntransporten med spyling

bare en gang i året. Hvis all materialtransporten føres gjennom tunnelen og deponeres i Styggevatn vil dette kunne føre til en forsterkning av erosjonsintensiteten i bunnsedimentene i områdene nær inntaket.

Ved vurdering av inntaket i Vetledøla bør en ha for øye at et åpent vannbasseng vil øke avsmeltingen noe langs brefronten og dermed forsinke et eventuelt brefremstøt.

Det kan ikke utelukkes at breen vil gå frem i løpet av kraftverkets driftstid. Erfaringer fra kraftverket Grande Dixence i Sveits viser at det hadde vært best om subglasiale inntak hadde vært konstruert til å begynne med. Grande Dixence ble konstruert i 1960-årene like før en rekke brefremstøt satte inn. Det viste seg at den mest ugunstige situasjonen med tilstopping av inntaket oppsto når brefronten ble liggende rett over inntaket og materialet faller rett ned. Ombygging av inntakene når breen går frem er også vanskelig og kostbart. Et vanlig elveinntak fungerer dårlig når det havner under breen.

Det ble gjort en modellberegning av hvilke fraksjoner som kan nå frem til inntaket i Styggvatn.

Materialet fra Vetledøla vil tilføres under bresmeltingen når magasinet ligger over naturlig vannstand. På denne tiden av året kan vinden sette opp strømmer i magasinet. Det kan også utvikles sjiktninger i magasinet som vil føre til at turbulensintensiteten på sprangsjiktet øker slik at partiklene holdes lenger i suspensjon.

Resultatet av modellberegninger med inngangsparametere som er representative for en slik situasjon er vist i fig.10 for tre forskjellige strømhastigheter i magasinet.

Beregningene viser at for ugunstige forhold kan selv sandfraksjoner nå fram til inntaket. Hvor mye silt som vil transporteres frem er avhengig av strømforholdene. Hvis middelhastigheten på strekningen frem til inntaket settes lik 2 cm/s vil 40-80% av grovsiltfraksjonen 0.063-0.032 mm nå frem. Mengdene avtar imidlertid raskt for lavere strømhastigheter.

En kornfordelingskurve fra Vetledalsbreen vil gi informasjon om hvor store sand og siltmengder som kan forventes.

1.9 Kupvatn

Nedtappingene av Kupvatn tørrlegger et areal på 2.5 km^2 ved LRV. De seismiske undersøkelsene viser overdekning av samme størrelsesorden som i Styggevatn med maksimalt 1-2 m i området rundt inntaket. Det har ikke lykkes å få opp noen borkjerne fra Kupvatn. En grabbprøve viser finsilt med svært høyt vanninnhold. En viss andel av massene vil derfor eroderes og transporteres gjennom tilløpstunnelen til Austdalsvatn og Styggevatn. Det vil imidlertid dreie seg om fraksjoner med lav slipende effekt.

2. BEKKEINNTAKENE PÅ TILLØPSTUNNELEN

Generelt sett er det relativt lite løsmasser i områdene rundt inntakene. Det er derfor bare de inntakene hvor det kan bli sedimenttilførsel av betydning som er tatt med her. Se for øvrig Wium 1984.

2.1 Sandhaugdalen

Morener på sydsiden av Sandhaugdalsvatnet viser at en isbre har ligget her i postglasial tid, sannsynligvis i preboreal tid. Sandhaugdalsvatnet har derfor en større mengde bunnsedimenter enn innsjøer som ikke har mottatt sedimentasjon fra breer. Tykkelsen av sedimentlaget er avhengig av hvor lenge breen eksisterte. Settes tykkelsen på sedimentlaget til 1 m vil en nedtapping av innsjøen kunne føre til erosjon av 5000 m^3. Hvor mye som vil kunne føres inn i tilløpstunnelen kan avgjøres ved å gjøre kornfordelingsanalyser på bunnprøver fra innsjøen.

2.2 Vanndalen

En arm av Spørteggbreen kalver i et lite vann på kote 1300. Vannet er ca 100 m langt og 150 m bredt. Det danner nå et effektivt sedimentasjonsbasseng foran breen hvor størstedelen av materialtilførselen akkumuleres.

Hvis breen går frem vil imidlertid sedimentasjonen frem til inntaket øke. Hvor store mengder dette anslagsvis vil dreie seg om kan estimeres fra deltaet i Vanndalen på kote 1045.

Deltaets utseende med en bare delvis overlagring av istidsavsatt materiale tyder på at sedimenttilførselen fra denne brearmen er av relativt moderat størrelsesorden. Pålagringen på deltaet var sannsynligvis størst under de store brefremstøtene på 1700-tallet. Et grovt estimat av volumet på massene som ble pålagret da brearmen lå fremme på bergterskelen gir ca 100 000 m^3. Antas det at brefremstøtet varte i 500 år gir dette omlag 200 m^3/år eller 400 t/år. Dette tallet er av samme størrelsesorden som hva som er målt for Vesledalsbreen i Nordfjord. Hvis breen går frem må det altså påregnes en materialtilførsel av denne størrelsesorden. Sandfangene vil dermed kunne fylles opp forholdsvis raskt under en slik situasjon. Noen sedimentprøver fra vatnet på kote 1045 vil kunne gi svar på om antagelsene er rimelige. Kornfordelingsanalyser av bunnsedimentene vil i tilfelle gi opplysninger om forholdet mellom silt og sand i suspensjonsmaterialet.

2.3 Vigdalen

Sedimenttransporten i Vigdøla ble målt til 1 900 tonn i 1975 og 1 950 tonn i 1976 (Harsten 1979). Sedimenttransporten har en lav konstant verdi opp mot ca 10 m^3s. Det syntes å være en

terskelverdi i systemet slik at for høyere vannføringer stiger transporten G_s raskere når vannføringen Q øker. Regresjonsanalyse viser at relasjonen mellom vannføring og sedimentføring følger en potensialfunksjon:

$$G_s = 3.3 \cdot 10^{-3} Q^{2.21}$$

Breprosenten i Vigdølas nedbørsfelt er relativt lav. På grunn av en rekke mindre innsjøer i vassdraget mellom breene og målestasjonen er det sannsynligvis at en overveiende andel av den observerte transporten har sine kilder i kvartære istidsavsatte løsmasser.

*Spørteggbreen er en av de få breene i Syd-Norge som dekker Kambro-*siluriske bergarter. Jfr. Bogen 1979. Selv om materialtilførselen til inntaket må antaes å være forholdsvis lav og hovedsaklig bestå av silt så viser målinger fra Svartisen at slike bergarter kan gi store mengder materiale i disse fraksjoner. Nærmere informasjon kan eventuelt oppnåes ved å ta opp noen bunnprøver i de små innsjøene foran breen.

3. SENSORER FOR MÅLING AV SEDIMENTTRANSPORT

Sedimenttransporten består av partikler i et bredt spektrum av kornfraksjoner. Det suspenderte materialet omfatter partikler fra leire til sand. Sedimentkonsentrasjonen kan fluktuere hyppig i naturlige vassdrag og det er nødvendig med hyppig prøvetaking. Det har derfor lenge vært gjort forsøk med automatisk prøvetaking og sensorer av forskjellig type: Turbiditetsmålere, lasermålere, ultralydmålere og systemer basert på absorpsjon av stråling fra en hhv. radioaktiv kilde eller røntgenstråling. Det er bare turbiditetsmålere og lasermålere som er kommersielt tilgjengelige. De øvrige systemer er ikke tilstrekkelig utviklet til at det går an å utpeke noe system som gir brukbare resultater.

Det er derfor bare resultatet av vurderingen av turbiditetsmålere som er tatt med her. Disse målerne har en utbredt anvendelse spesielt i renseanlegg for kloakk. Her er det midlertid mye høyere konsentrasjoner og en annen type materiale enn hva som er vanlig i brevassdrag.

I naturlige vassdrag kan det være vanskelig å kalibrere målerne. Dette har sammenheng med at kornfordelingen på det suspenderte materialet kan variere med tiden. Luftbobler og turbulens i vannet vil innvirke på målingene. Oppløste stoffer og organisk materiale vil også innvirke slik at det blir vanskelig å sammenlikne resultater fra flere forskjellige vassdrag. Spredningstubidimetrene gir *bedre resultater enn gjennomskinnelighetsturbidimetre under slike* forhold.

Kornfordelingen på materialet som transporteres i tilløpstunnelen til Jostedal kraftverk forventes imidlertid å variere lite med tiden. Sandfraksjoner vil komme fra tunnelsålen og fra bekkeinntakene. I de aktuelle måleprofilene vil det være minimalt med luftbobler og lav turbulensgrad. Det vil være lite humus, slik at fargen på vannet vil ligge i den grønne delen av spekteret.

Et turbidimeter kan altså gi brukbare resultater. I dette tilfelle er Partech modell 7000 3RP et egnet instrument. Dette turbidimeteret kan dekke konsentrasjonen av suspendert materiale i et område fra 0-10 mg/l og opp mot 50 g/l. Andre modeller fra Partech dekker ikke så store konsentrasjonsintervall som 7000 3RP. Pris ca kr 45 000.- + mva. Målingene kan registreres på en datalogger.

I Norge har E. Aas ved Geofysisk institutt, Universitetet i Oslo utviklet en analysemetode som også brukes av NHL. Instrumentet kan muligens utvikles videre og tilpasses målinger i driftsvannet til kraftverk.

Turbidimeterne må imidlertid kalibreres med manuelle vannprøver som analyseres med hensyn på konsentrasjon og kornfordeling. Kalibreringsprøvene kan innsamles manuelt eller ved hjelp av automatiske prøvetakere.

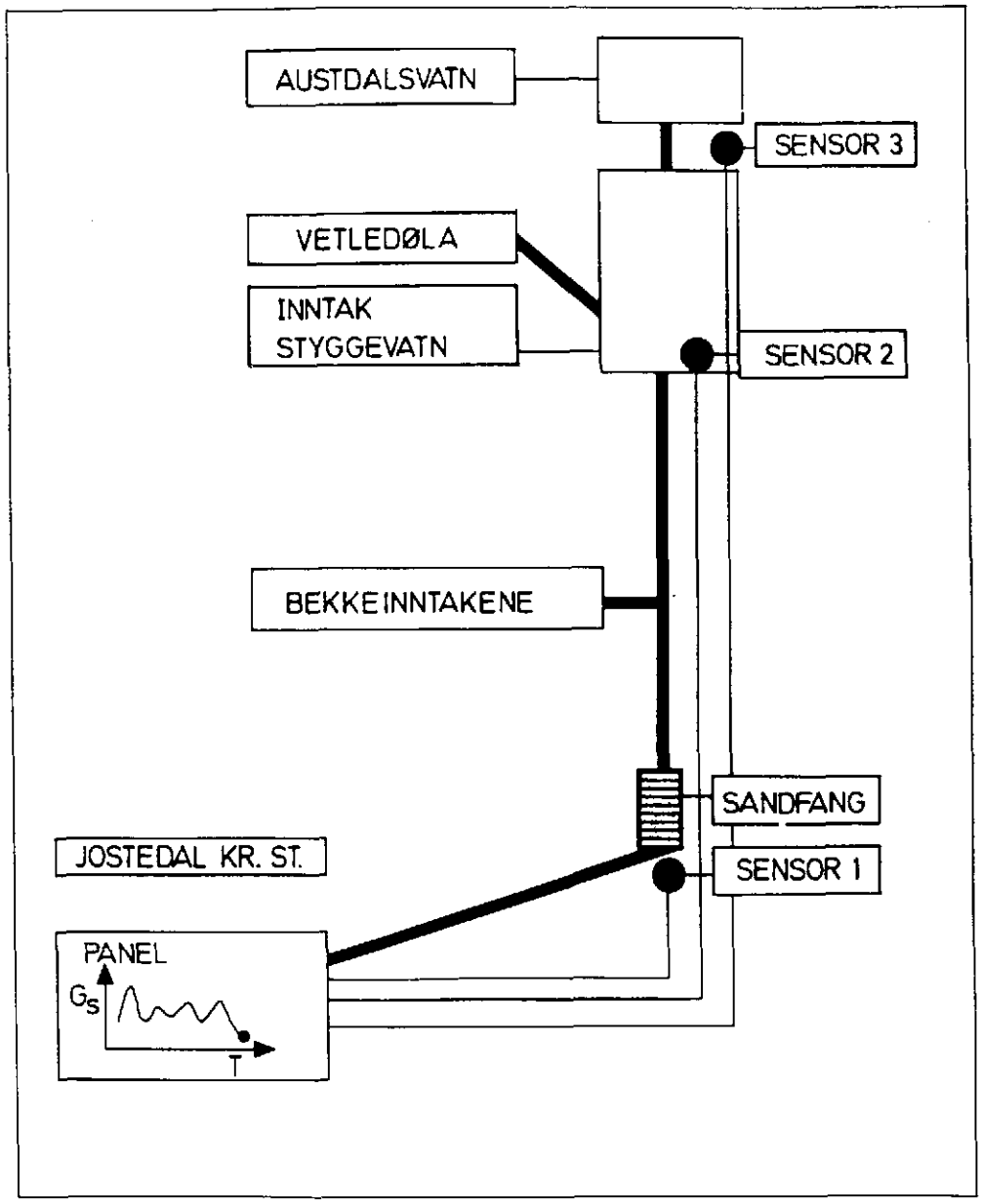


Fig 11 System som overvåker sedimentkonsentrasjonen i driftsvannet til Jostedal kraftverk.

3.1 Overvåking

En kontinuerlig overvåking av sedimenttransporten med varsel når konsentrasjonene blir ekstremt høye kan arrangeres ved å installere en sensor ved inntaket i Styggevatn og en sensor etter det siste sandfanget, eventuelt ved utløpet fra kraftstasjonen. Sensorer kan registrere on-line til en mikrocomputer i kontrollrommet i kraftstasjonen (fig.11). Mikrocomputeren bør ha software som kan vise partikkeltransport og konsentrasjon som funksjon av tiden og lagre resultater for hvert år. Et slikt målesystem vil være nyttig for driften av kraftverket på lang sikt. Siden den totale mengden eroderbare sedimenter i magasinet er kjent vil det kunne føres nøye regnskap med hvor mye slipende materiale som til enhver tid er igjen i magasinet og hvorvidt erosjonsforholdene har stabilisert seg. Det vil også være mulig å holde oversikt over hvilke situasjoner som fører til de største konsentrasjonene og eventuelt stoppe nedtappingen hvis sedimenttransporten blir for stor. Tilførselen fra andre kilder kan eventuelt registreres ved egne sensorer.

4. *SAMMENFATTENDE DISKUSJON. ÅRSVARIASJONER*

De enkelte sedimentkildenes mulige sedimentproduksjon er sammenstilt i fig.12.

De teoretiske beregningene av sedimenttransporten i driftsvannet viser at det er bunnsedimentene i Austdalsvatn og Styggevatn og sedimenttilførselen fra Vetledøla som vil bidra til turbinslitasje.

De ulike sedimentkildenes bidrag vil variere over året. Breene bidrar mest med sedimenter spesielt i månedene juni, juli og august.

Erosjon i de brefrie feltene foregår i denne delen av landet dels under snøsmelting tidlig i juni og under regnværsflommene i august-september. Erosjon i bunnsedimentene vil variere sterkt med vannstanden i magasinet og være mest intens når magasinet er tappet ned i vintermånedene. På denne tiden av året er innsjøene isdekket og erosjonen vil ikke være så sterk som under tilsvarende nedtapping under sommerforhold. Målinger fra Bjerka kraftverk viser imidlertid høye konsentrasjoner av partikler i driftsvannet også under vinteren. Erosjonen vil imidlertid variere sterkt med vannstanden i magasinet. Over normalvannstand vil det være liten erosjon og magasinet har stor klaringseffekt. Ned mot 1 140 m o.h. er det sannsynlig at sedimentene i Styggevatn for en stor del vil bli utvasket mens innsjøen er nedtappet under dambyggingen. Sedimenttilførselen ved lavere vannstander vil komme mest fra Austdalsvatn. Under den videre nedtapping mot LRV på 1 110 m o.h. vil erosjon i begge innsjøene bidra med sedimenter. Det relativt høye vanninnholdet med opp mot 90% vann i bunnsedimentene og en betydelig andel av skråninger med hellingsvinkel over 10%, gir et lavt kritisk skjærstress slik at det må forventes utglidninger og omfordelinger av massene under nedtapping under normalvannstand. Hvor raskt disse prosessene vil forløpe kan iakttas når Styggevatn tappes ned under dambyggingen.

4.1 Anbefalinger

Et system som overvåker konsentrasjonen av slipende partikler i driftsvannet kan etableres med forholdsvis lave kostnader. Systemet vil kunne registrere hvordan erosjonsintensiteten øker når magasinet tappes ned og hvordan aktiviteten til de forskjellige sedimentkilder utvikler seg med tiden.

En seismisk kartlegging som gir volumet av eroderbare sedimenter i magasinet kan sammen med overvåkingsystemet angi hvor mye sedimenter som til enhver tid er igjen i magasinet og dermed benyttes til å optimalisere tidspunkter for revisjon av maskiner og utstyr.

Sedimenttilførselen fra Vetledøla kan begrenses ved å bygge en energidemper ved innløpet i magasinet og eventuelt et klaringsbasseng foran breen. Det bør gjennomføres mineralanalyser og kornfordelingsanalyser av sedimentene fra Vetledøla.

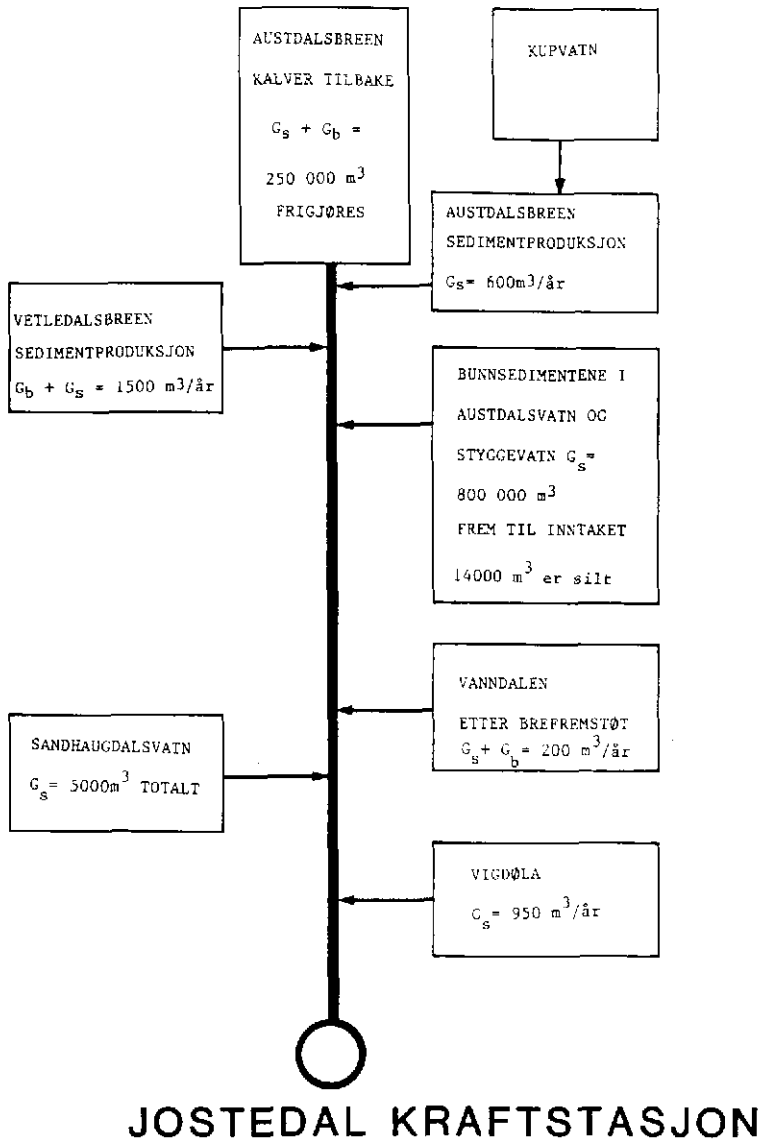


Fig.12 Sedimentkilder og sedimentproduksjon i kraftverkets tilsigsområde. G_s=suspensjonstrasport G_b=bunntrasport. Tetthet f=2.0

En glasiologisk modell som kan forutsi breenes respons på klimatiske endringer, vil kunne gi forvarsel om når det kan forventes brefremstøt som berører inntakene og gi en eventuell økning av sedimenttilførselen. En 6 m lang borkjerne ved lok AI, fig. 2 vil kunne dokumentere hvordan Austdalsbreen har oppført seg i postglasial tid og dermed gi data av betydning for kalibrering av en modell.

Det bør foretas supplerende undersøkelser av bunnsedimentene i Styggevatn når innsjøen er tappet ned under dambyggingen. Det bør også gjøres supplerende undersøkelser av bunnsedimentene i Sandhaugdalsvatn og på materiale fra vannet på kote 1045 ved brefronten i Vanndalen.

5. REFERANSER

Bogen, J. 1982. Mørkrivassdraget og Feigumvassdraget - Fluvialgeomorfologi. Kontaktutvalget for vassdragsreguleringer, Universitetet i Oslo rapp. nr 50, 51 s.

Harsten, S. 1979. Fluvialgeomorfologiske prosesser i Jostedalsvassdraget. Kontaktutvalget for vassdragsreguleringer. Universitetet i Oslo. rapp. nr 9, 114 s.

KSV (1983). Sandslitasje på vannkrafturbiner. Slitasjetesting. Vassdragsregulantenes forening. 18 s.

Sundborg, Å. 1956. The river Klaraelven. A study of fluvial processes Geogr. Annaler. 38, s.125-316.

Wium, E. 1984. Vurdering av sedimenttransport i elver/bekker i Jostedalen. Hovedoppgave. Institutt for vassbygging NTH, 102 s.