



Bondhusvatn

Sedimenttilførsel før og etter reguleringen

Hans Christian Olsen

4
2006



OPPDRAGSRAPPORT A

Bondhusvatn

Sedimenttilførsel før og etter reguleringen

Rapport nr 4-2006

Bondhusvatn. Sedimenttilførsel før og etter reguleringen

Oppdragsgiver: Statkraft

Redaktør: Hans Chr. Olsen

Forfatter: Hans Chr. Olsen

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 20

Forsidefoto: Flåte fra prøvetakingen på Bondhusvatnet i 1974.

Sammendrag: Hensikten med prosjektet var å undersøke om reguleringen av vassdraget hadde påvirket suspensjonstransporten inn i Bondhusvatnet, og i særdeleshet få klarhet i hvordan spylingene av sedimentkammeret under Bondhusbreen hadde påvirket dette. I den forbindelse ble det analysert 18 sedimentkjerner fra vannets bunnsedimenter tatt opp i 2004 og 2005. Disse ble sammenliknet med tre prøver tatt opp 30 år tidligere i 1974. På dette grunnlaget ble sedimenttilførselen beregnet for en 20-års periode etter reguleringen, og sammenliknet med en 20-års periode før reguleringen. Dette viste at i de to valgte periodene (1976-1995 etter utbyggingen) og (1954- 1973 før utbyggingen) hadde vært en mindre økning av sedimenttilførselen etter reguleringen, i størrelsesorden 8000 m^3 , ca 10-12000 tonn. Dette tilsvarer ca 400 m^3 , eller ca 5-600 tonn på årsbasis. Analyser av sedimentavsetninger før 1950 og tilbake til begynnelsen av 1800-tallet viser bare en ubetydelig større årlig sedimenttilvekst i størrelsesorden 0,3-0,4 mm. Konklusjonen blir at det ikke er noen vesentlig forskjell på sedimenttilførselen av suspendert materiale til Bondhusvannet før og etter reguleringen.

Emneord: Sedimentmektigheter, sedimentvolum, kornfordelingsanalyser.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Juni 2006

Innhold

Forord	4
Sammendrag	5
1 Innledning	6
2 Områdebeskrivelse	7
3 Tidligere undersøkelser	9
4 Nye analyser av 1974 materialet.....	13
5 Bunnsedimentprøvetaking i Bondhusvatnet 2004 og 2005	15
5.1 Feltarbeide.....	15
5.2 Laboratorieanalyser og tolkningsmetodikk	15
5.3 Beskrivelse og tolkning av prøvene.....	17
6 Resultater	19
6.1 Konnektering av sedimentavsetninger fra 1974 og 2004 - 2005....	19
6.2 Sedimenttilførsel før reguleringen 1954 – 1973.....	19
6.3 Sedimenttilførsel etter reguleringen 1976 – 1995.....	21
6.4 Sedimenttilførsel før 1950.....	23
6.5 Årlige sedimentavsetninger korrelert med vannføring	24
6.6 Kornfordelingsanalyser av materiale avsatt før og etter reguleringen i tidsrommet 1954 - 1973 og 1976 - 1995	25
7 Feilkilder	28
8 Diskusjon og konklusjon	29
9 Referanser	31

Forord

På oppdrag for Statkraft har NVE, Hydrologisk avdeling, utført sedimentologiske undersøkelser i Bondhusvatn, ved Folgefonna i Hardanger.

Undersøkelsene har omfattet verifisering av tidligere sedimentundersøkelser, analyser av Bondhusvatnets bunnsedimenter og beregninger av reguleringenes innvirkning på sedimenttilførselen til vannet før og etter reguleringen.

Feltarbeidet ble utført i 2004 og 2005 og denne rapporten vinteren 2006. Rapporten er utarbeidet av Hans Chr. Olsen som også har vært ansvarlig for denne delen av oppdraget fra NVEs side. I tillegg har Halfdan Benjaminsen og Ole Magnus Tønsberg arbeidet på prosjektet.

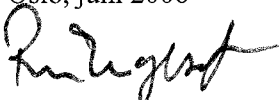
Denne rapporten må betegnes som sluttrapporten på denne type sedimentundersøkelser i Maurangervassdraget.

Prosjektleder for hydrologiske undersøkelser i Maurangervassdragene er Bjarne Kjøllmoen.


Margrethe Elster har gått gjennom rapporten og kommet med forslag til noen endringer.

Heidi Kannick har tilrettelagt rapporten for trykking.

Oslo, juni 2006



Rune Engeset
seksjonssjef



Bjarne Kjøllmoen
prosjektleder

Sammendrag

For å undersøke hvordan spylingene av sedimentkammeret under breen har påvirket sedimenttransporten inn i Bondhusvatnet etter reguleringene er det foretatt analyser av 18 prøver av vannets bunnsedimenter tatt opp i 2004 og 2005. Som støtte for analysene ble disse sammenholdt med 3 prøver tatt opp 30 år tidligere, høsten 1974. For å undersøke sedimenttransporten etter reguleringen ble valgt 20 års perioden 1976 – 1995. Denne ble sammenliknet med en 20 års periode før reguleringen, 1954 – 1973. Dette viste at det hadde vært en mindre økning i sedimenttransporten (suspensjonstransporten) inn i Bondhusvatnet på ca 8000 m³, ca 10 -12 000 tonn i 20 års perioden etter reguleringen, eller ca 15 %. Dette tilsvarer ca 400 m³, 500-600 tonn på årsbasis. Denne tendensen fortsetter, og til dels øker også etter 1995. Det er overveiende sannsynlig at dette har sammenheng med spylingene av sedimentkammeret, og årsaken kan være at når spylingene gjennomføres på stor vannføring vil mesteparten av det suspenderte materiale avsettes i vannet og lite på elvesletta. For øvrig er gjennomstrømningen i vannet kraftig redusert etter utbygging, noe som også vil føre til at relativt mer materiale vil akkumuleres i vannet.

Nå viser det seg at den sammenliknende 20 års perioden før reguleringen (54-73) har hatt en litt lavere årlig sedimenttransport enn fem av de foregående syv 20 års perioder tilbake til ca 1814. Dette baserer seg imidlertid på målinger fra bare tre lokaliteter, A, F og C. Tendensen er imidlertid heller ikke entydig da flere perioder i de tre lokalitetene vekselvis har hatt både større og mindre transport enn de to valgte periodene. Konklusjonen blir at den valgte perioden før reguleringen (54-73) ikke var den mest representative. Ut fra det prøvemateriale som forelå hadde en imidlertid ikke muligheter til å velge andre sammenliknende perioder, hvor en med tilfredsstillende grad av sikkerhet kunne måle og beregne sedimenttransporten.

Omregninger fra m³ til tonn baserer seg på en rekke tetthetsmålinger fra forskjellige lokaliteter, som i snitt viser mellom 1.3 og 1.5 g/cm³. Analyser av kornfordelingen i sedimentene viser ingen markant forskjell på materialet avsatt før og etter reguleringen.

Årlige sedimentavsetninger korrelert med årlige maksimal vannføringer ved stasjon 46.4.0 Bondhus og stasjon 46.3.0 Øyreselv viser før reguleringen periodevis brukbar korrelasjon, men etter reguleringen, og særlig etter 1990 ikke spesielt god sammenheng. Årsaken er at en vesentlig del av brefeltet som tidligere drenerte til Bondhusvatnet er fraført vassdraget.

1 Innledning

Forundersøkelsene i forbindelse med kraftutbygging omkring Folgefonna ble påbegynt i begynnelsen av 60 årene. Breundersøkelser har tidligere vært utført på Breidablikkbreen, Gråbreen og Bondhusbreen. Etter mange års opphold ble de pålagt gjenopptatt i 2002, ved de to førstnevnte breene. Disse målingene skal pågå i 10 år fram til 2011.

Sedimentundersøkelser ved brefronten og i Bondhusvatnet ble igangsatt i 1972 og ble avsluttet i 1974. I februar 1974 ble det tatt opp kjerneprøver av vannets bunnsedimenter fra 6 lokaliteter, for å studere langtidsvariasjonene i sedimenttransporten i vassdraget, for på den måten å kunne dimensjonere sedimentkammeret under breen til å ta i mot maksimale sedimenttransportvolum. I 1977 ble Mauranger kraftverk satt i drift og i overgangen 1977 – 1978 var det siste naturlige avløpet fra Bondhusbreen. I 1978 ble sedimentasjonskammeret under breen oppmålt for første gang. Fram til 2004 har NVE mottatt data fra disse oppmålingene for 15 av de 27 årene kraftverket har vært i drift.

I 1979, 1980 og 1981 ble suspensjonstransporten også målt i innløpet til sedimentasjonskammeret under breen. I 2002 ble det på ny igangsatt målinger av suspensjonstransporten ved fronten av Bondhusbreen. Samtidig ble det igangsatt liknende målinger ved utløpstunnelen i Mauranger kraftverk. Dette er begge målinger pålagt av NVE og vil pågå ut 2007.

I 2004 og 2005 ble det på ny tatt opp kjerneprøver av bunnsedimentene i Bondhusvatnet som en del av det hydrologiske pålegget gitt 05.02.04. Hensikten var å undersøke hvordan spylingen av materiale fra sedimentkammeret under breen hadde påvirket innsjøen siden utbyggingen ble iverksatt.

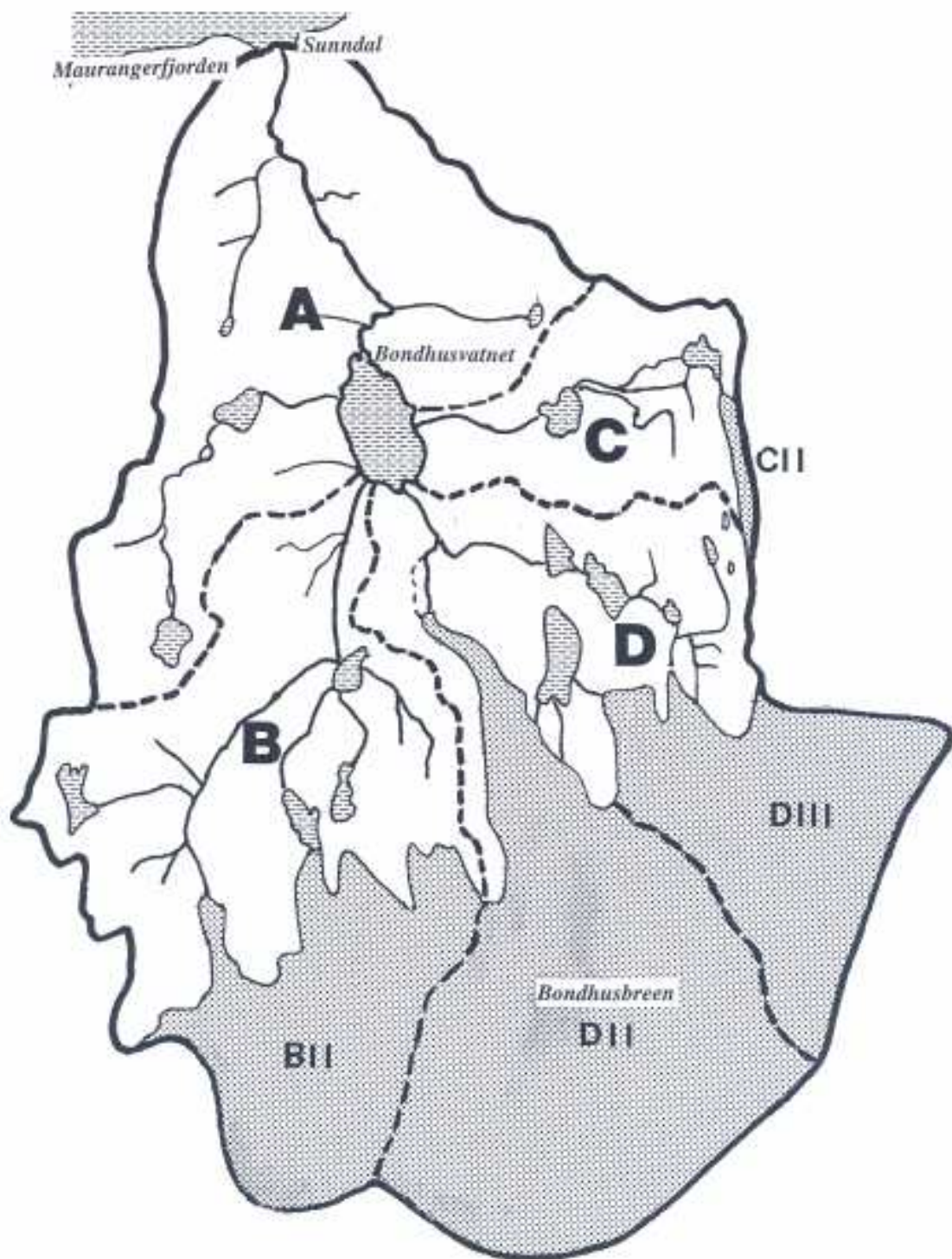
2 Områdebeskrivelse

Bondhusbreen er en nordvestlig utløper fra Søndre Folgefonna og har et areal på ca 12.5 km². Brefronten ligger i dag ca 500 m over havet. Mellom brefronten og en større sandur (elveslette) beliggende ca 300 m o.h., går breelva over bratte sva uten løsmasser. På sanduren ligger flere markerte morener som viser brefrontens ulike posisjoner, bl.a. fra 1920 årene. Fra sanduren renner elva forholdsvis bratt ned til Bondhusvatnet som ligger 190 m o.h. Totalt nedslagsfelt før utbyggingen til vannføringsstasjon nr 46.4.0, Bondhus som ligger nesten nede ved fjorden var ca 62 km². Av dette var ca 38 km² dekket av bre. Bondhusbrens nedslagsfelt, inkludert den brefrie delen utgjorde ca 32 % av totalfeltet. Selve breen utgjorde ca 53 % av totalt bredekket areal i totalfeltet.

Etter utbyggingen er alt avløp ovenfor det subglasiale inntaket på Bondhusbreen, hele brefeltet på Brufossbreen og Breidablikkbreen ført vekk, totalt ca 24 km². Det betyr at det totale brefeltet som drenerte til Bondhusvatnet er redusert med 77 %. Det er ikke tidligere utført sedimentmålinger fra Brufoss og Breidablikkbreen, men avløpet fra begge disse breene går gjennom flere vann på vei ned mot Bondhusvatnet, og hadde sannsynligvis heller ikke før utbyggingen noen stor sedimenttransport. Etter utbyggingen får Bondhusvatnet nå tilført sedimenter vesentlig fra området nedenfor inntaket på Bondhusbreen og Pyttabreen. Også vann fra deler av Pyttabreen passerer flere mindre sjøer før det går inn i Bondhusvatnet, og selv om det ikke foreligger sedimentmålinger i Pytteelva, er det antatt at transporten av suspendert materiale ikke er spesielt stor i denne elva.

Selve Folgefonna ligger på et platå av prekambrisk opprinnelse, vesentlig granitt og granodioritt. Hele området ligger i en maritim klimasone. Mildt klima og store nedbørmengder gjør at breen har en stor masseomsetning. Selve Bondhusbreen er ca 6 km lang utgjør en forholdsvis stor ismasse i bevegelse. I 70- årene ble det målt isbevegelser i brefallet på over 100 m pr. år. Før utbyggingen drenerte store vannmengder fra breoverflaten til undergrunnen og førte til stor materialtransport i breelva. Etter reguleringen er det derfor stort sett bare vann som drenerer nedenfor det subglasiale inntaket som kommer ut ved brefronten. Vannføringen er derfor betydelig redusert etter utbyggingen, men hvor mye vet vi ikke, da dette ikke har blitt registrert.

Bondhusvatnet ligger 189 m o.h., er ca 0,6 km², 1200 m langt og 5-600 m bredt. Bunnen er usedvanlig jevn med en dybde på 28- 30 m over store arealer. Dette tyder på stor sedimentasjon over et meget langt tidsrom. Det grove materiale som breen har ført med seg har delvis blitt avsatt på sandurområdet og delvis som et delta i vannet (fig. 1).



Figur 1 Nedslagsfeltet til vannføringsstasjon nr. 46.4.0 Bondhus, slik det var før reguleringen. De ulike delfelt er merket A-C

3 Tidligere undersøkelser

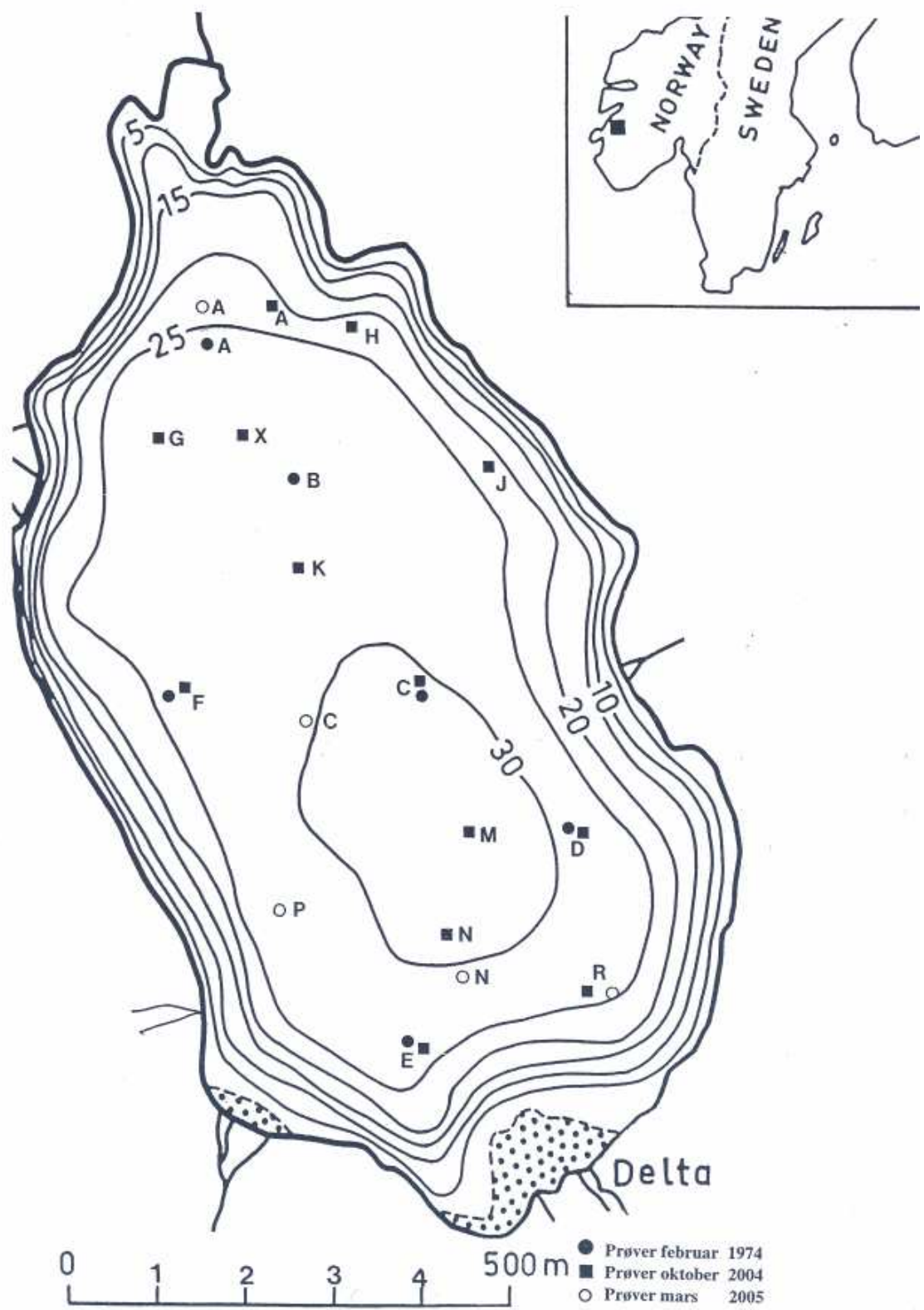
De første sedimentundersøkelser ved Folgefonna tok til ved fronten av Bondhusbreen i 1972. Hensikten var å få direkte målinger av materialtransportens volum, da elva fra breen skulle tas inn i et subglasialt vanninntak under breen og ledes i et såkalt takrennesystem sammen med andre bekkeinntak over til Mysuvatn. Disse undersøkelsene ble utført ved å måle suspensjonstransporten direkte i breelva med flere manuelle prøver daglig. Videre ble sanduren (elvesletta nedenfor brefronten) og deltaet i Bondhusvatnet oppmålt ved profiler i begynnelsen og slutten av breens smeltesesong i 1972 og 73.

I tillegg ble bunntransportens relative variasjoner i løpet av disse to sesongene målt ved hjelp av en spesiell bunnprøvetaker. Disse målingene ga i tillegg til transportvolum også informasjon om kornstørrelsesfordelingen av det grove materialet. Det ble også opprettet ett vannmerke i nedkant av sanduren, og forholdet mellom vannføring og vannstand ble bestemt ved den relative saltfortynningsmetode.

Totalt viste målingene i 1972 ca 7500 tonn suspendert materiale og ca 8000 tonn bunntransportert materiale i tidsrommet fra begynnelsen av juni til midten av september. I 1973 ble det målt ca 6500 tonn suspendert og ca 7000 tonn bunntransportert materiale (tabell 1). Målingene viste dermed at i begge disse årene utgjorde bunntransporten ca 50 % av total sedimenttransport. Oppmålingene av deltaet i vannet som ble utført i 1972 var ikke tilfredsstillende. Pålagring av materiale på sanduren ved brefronten viste ca 700 tonn i 1972. I 1973 ble deltapålagringen målt til ca 6800 tonn.

Det ble i 1972 også utført kornfordelingsanalyser av suspendert materialet ved brefronten. Et middel av et stort antall vannprøver viste at 50 % besto av silt, 20 % finsand, 20 % middels sand og 10 % grov sand. At materialet inneholdt så mye i sandfraksjonen kan tyde på at selve målestedet ikke har vært helt representativt. Grov sand hører tross alt til bunntransporten. En analyse av totaltransporten kombinerer fordelingen av suspendert materiale og materiale innfanget med bunn- prøvetakeren. Dette viser 24 % silt, 34 % sand, 27 % grus og 15 % i steinfraksjonen, (materiale større enn 60 mm).

I 1972 ble det også utført mineralanalyser av det suspenderte materialet ved brefronten, samlet inn fra spesielle prøver. Disse viste at innholdet av bergartsfragmenter avtok raskt med minkende kornstørrelse ned mot 0,2 mm. Innholdet av kvarts tiltok derimot jevnt med minkende kornstørrelse ned til 0,2 mm, og i fraksjon 0,075 mm var totalandelen ca 47 %. Dog varierer innholdet innen samme kornstørrelse en del med tiden. Det ser likevel ut til å være en tendens til at andel kvarts økte noe utover forsommeren, for deretter å avta litt. Innholdet av feltspat økte også jevnt med minkende kornstørrelse ned mot 0,2 mm, men i motsetning til kvarts avtok innholdet videre svakt nedover mot 0,075 mm. Variasjonene innen samme kornstørrelse i forskjellige perioder var omtrent som for kvarts. Størst andel feltspat var det i juli med ca 35 % av totalen.



Figur 2 Sedimentkjernelokaliteter i Bondhusvatnet fra prøvetaking i 1974, 2004 og 2005.

Av de resterende 18 % utgjorde glimmer ca 8 %. Resten er amfiboler, pyroksener og litt granat.

Etter at kraftverket kom i drift ble det årene 1979 -1981 også utført målinger av suspensjonstransporten direkte i innløpet til sedimentkammeret (tabell 2).

År	Obs. periode	Antall døgn	Tonn Tot.	Tonn døgn Tot	m ³	Kons mg/l	
						Mid.	Max
1972	8/6-12/9	100	7000	70	3500	140	760
1973	30/5-28/9	122	6520	53	3260	87	592
Mid		111	7010	64	3505	114	676

Tabell 1 Resultater fra suspensjonstransportmålingene ved fronten av Bondhusbreen i 1972 og 1973.

År	Obs. periode	Antall døgn	Tonn Tot.	Tonn/døgn Tot	m ³	Kons mg/l	
						Mid.	Max
1979	8/6- 18/8	72	3950	55	1975	86	784
1980	14/6- 26/8	74	2600	35	1733	63	244
1981	11/6-31/8	82	2950	36	1967	92	356
Mid		76	2883	38	1922	78	461

Tabell 2 Resultater fra suspensjonstransportmålingene ved innløpet til sedimentkammeret under Bondhusbreen i årene 1979-1981.

I 1974 ble det gjennomført undersøkelser av bunnsedimentene i selve vannet. Hensikten med dette var å undersøke langtidsvariasjonene i sedimenttransporten i vassdraget, for på den måten å få kunnskap om maksimale transportvolum som hadde forekommet i de siste 1 - 200 år. Resultatene fra disse undersøkelsene med hensyn til sedimentvolum og kornstørrelser skulle være grunnlaget for dimensjonering av sedimentkammeret under breen, som da var under planlegging.

Det ble det tatt opp kjerneprøver i 6 lokaliteter, med en såkalt "Kullenberg" stempelprøvetaker (fig. 2). Lengden av prøvene varierte mellom 105 og 160 cm med et snitt på 130 cm. Ved å måle middeltykkelsen av de maksimalt tykkeste årlige avsetningene i en 150 års periode i disse lokalitetene og multiplisere med representativt areal for disse ble det beregnet totalt volum av suspendert materiale som kunne bli tilført Bondhusvatnet på et år. Deretter ble sedimentvolumet redusert med 10 %, som en antok var den andelen som Pyttbreen og Brufossbreen bidro med. Det gjenværende volum utgjør i følge tidligere målt sedimentasjonsandel for vannet ca 70 % av den totale mengde suspendert materiale som kommer fra breen. Ut fra dette kom en fram til at største mulige årstransport av finmateriale kunne utgjøre ca 9100 m³, som tilsvarte ca 20 000 tonn. Da det etter målinger i 1972 og 73 ble funnet at bunnstransporten utgjorde omtrent 50 % av total sedimenttransport ville den maksimale årlige sedimenttransport ligge omkring 40 000 tonn.

Resultatene fra undersøkelsene i 1974 ga følgende i maksimal årlig sedimenttransport:

- Suspendert materiale inn i Bondhusvatn ca 10 090 m³.
- Suspendert materiale ut av Bondhusvatn ca 3030 m³
- Sedimentasjon i vannet 7060 m³
- Suspendert materiale fra Bondhusbreen ca 9100 m³
- Bunntransportert materiale fra Bondhusbreen ca 10 000 m³
- Total transport fra Bondhusbreen ca 19 100 m³
- Suspendert materiale som vil akkumuleres i sedimentkammeret ca 4550 m³
- Bunntransportert materiale som vil akkumuleres i sedimentkammeret ca 10 000 m³
- Volum som maksimalt kunne akkumuleres i sedimentkammeret ca 14 550 m³

Det ble imidlertid gjort visse beregninger for tenkbare reduksjoner av sedimentvolumet og dermed størrelsen på sedimentkammeret, bla. antok man at materiale erodert nedenfor inntaket var ca 5 % av breens totale sedimentproduksjon. Det ble også antatt, bla. ut fra observasjoner, at materiale innefrosset i breens bunnsåle kunne utgjøre ca 2000 m³, som først ville smelte ut nedenfor inntaket. I tillegg vil noe vann gå utenom inntaket, og føre vesentlig suspendert materiale. Det ble også etter en del vurderinger foretatt en nedjustering av vannarealet på 0,118 km², da en antok at sedimentasjonen ovenfor dybdekote 15 var svært liten. Totalt førte denne reduksjonen til at en anbefalte å dimensjonere kammeret for å ta i mot totalt ca 10 000 m³. I beregningene fra 1974 er det regnet en midlere tetthet i materialet på 2,2 g/cm³. For stein og grus er dette ganske riktig, men for suspendert materiale vesentlig i siltraksjonen er dette altfor høyt. Analyser fra andre sjøer, sterkt påvirket av breer og med vesentlig siltsedimenter viser tettheter mellom 1,2 og 1,5 g/cm³. Når en sammenlikner disse beregningene med det som har blitt målt akkumulert i sedimentkammeret i årene 1978 – 1985, i snitt ca 1600 m³, ca 3200 tonn i året, viser det seg at kammeret likevel er noe overdimensjonert. Selv det maksimale volum som ble målt i 1978 på 2630 m³, 5260 tonn, ligger godt under kammerets volum på ca 10 000 m³. Forklaringen på forskjellen må delvis ligge i følgende:

- 1) Oppmålingene av kammeret fanger ikke opp all transporten, fordi oppmålingene av volumet i kammeret vanligvis utføres i januar februar, og spyling av kammeret foregår i juli, hvilket betyr at det transportvolumet som akkumuleres etter oppmålingen det ene året og fram til spyling neste år ikke blir registrert.
- 2) Det blir også i noen tilfelle liggende igjen grovt materiale i kammerets indre del etter spyling.
- 3) Det akkumuleres mindre suspendert materiale i kammeret enn det man regnet med.
- 4) Andelen av både suspendert og bunntransportert materiale, (delvis innefrosset i breens bunnsåle) som passerer inntaket er større enn beregnet.
- 5) Prosentandelen av breens totale erosjon nedenfor inntaket er større enn de 5 % en hadde beregnet.
- 6) Volumberegningene i tonn med tetthet i materialet på 2,2 g/cm³ er alt for høyt. Dette gir selvsagt også for høye verdier i tonn.

4 Nye analyser av 1974 materialet

Hensikten med prøvetakingen i 2004 og 2005 var å sammenlikne disse prøvene med kjernemateriale tatt opp i 1974. Ved å ta opp prøver i de samme lokalitetene ned til dyp under 1974 avsetningene, skulle det være mulig å identifisere de samme avsetningene i prøver fra de ulike årene, eventuelt årlige avsetninger avsatt på samme tid. Ut fra disse analysene kunne en beregne eventuelle endringene i sedimenttilførselen til Bondhusvatnet før og etter reguleringen. Figur 2 viser prøvelokalitetene fra 1974 og de nye lokalitetene fra 2004 og 05. Prøvene fra 1974 var etter å ha vært lagret i 30 år, av noe varierende kvalitet. Prøver merket II og I er samme prøve, som av transportmessige grunner ble delt i felten i 1974. Prøve II er den øvre og I den nedre del av kjernen.

A : Denne var opprinnelig 105 cm lang og er redusert til 89 cm, hvorav ca 60 cm er tolkbar. De nedre 16 cm som mangler ble ødelagt allerede under prøvetakingen.

B-II : Denne var opprinnelig 11 cm, det samme nå. Noe desimert etter lagring, og ikke tolkbar.

B-1 : Prøven ble i 1975 sendt til analyse på Geologisk institutt ved UiO, og er ikke blitt returnert, og må anses tapt.

C-II : Var 53 cm, det samme nå. Prøven er noe desimert, og bare delvis tolkbar.

C-I : Var 105 cm, og det samme nå. Prøven er i meget god forfatning.

D-II : Var 35 cm. Er nå ikke tolkbar.

D-I : Var 105 cm, det samme nå. Meget oppsprukket og ikke tolkbar.

E-II : Var 35 cm lang. Er ikke i arkivet og må anses tapt.

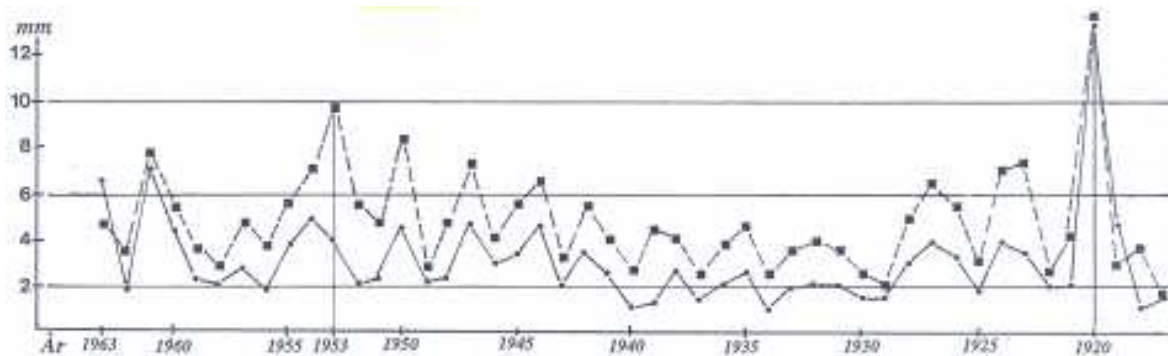
E-I : Var 127 cm. Er redusert til ca 90 cm. Delvis oppsprukket og ikke tolkbar.

F : Var 105 cm, og omtrent det samme nå. De øvre 4,6 cm er ikke tolkbare. Det var de heller ikke i 1974. De neste 3 cm har en noe skråstilt og utydelig sjiktning, og analysen av disse er usikker. Resten av prøven er i bra forfatning.

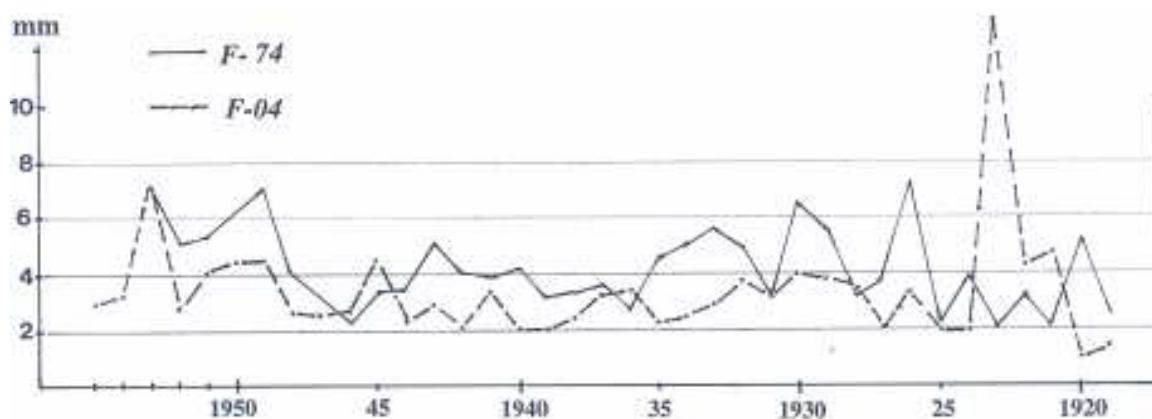
Ut fra prøvenes nåværende tilstand ble prøve A, C og F underkastet en ny analyse i de øvre deler ned til 30-40 cm dyp. Hensikten med å analysere disse på nytt, var for de dagens analysemetoder er bedre enn de var i 1974. Prøve C fra 1974 var den av prøvene som gikk lengst tilbake i tid, med de eldste avsetninger fra slutten av 1600 tallet. Prøve A er imidlertid den av prøvene som er i best forfatning, men de aller øverste årslagene mangler. Det gjorde de også da prøven ble tatt opp i 1974. Årsaken var at prøven ble skjøvet ut av prøvetakeren i våt tilstand, og dermed fløt de aller øverste og yngste avsetningene ut. Prøve F var omtrent i samme forfatning som da den ble tatt opp i 74.

Beklageligvis var de øvre 8,8 cm av prøve F, bare delvis tolkbare nå som den gang. En meget markert avsetning, med noe organisk materiale ble datert til 1953 i fem av de seks lokalitetene da de ble analysert i 1974. Konklusjonen etter de nye analysene av 1974 materiale er at en kom frem til omtrent det samme resultatet som tidligere i kjerner fra lokalitet A og C, mens kjernen fra lokalitet F avvek relativt meget. Den markerte avsetningen, sannsynligvis fra en flom i 1953 kunne ikke identifiseres i denne prøven nå. Denne befinner seg utvilsomt i de øvre 8 cm av kjernen som er relativt deformert.

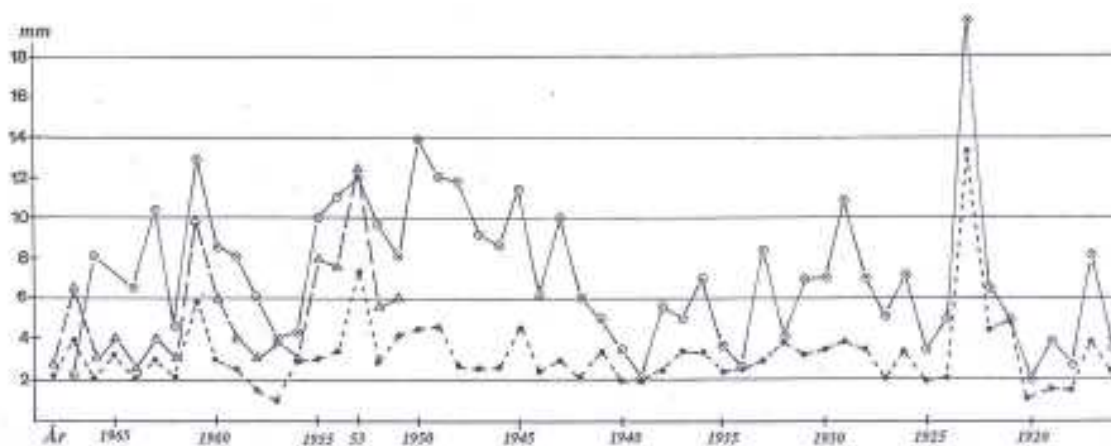
Et såkalt varvdiagram som viser de samme avsetninger i materiale fra lokalitet A-74 og A-04 er vist i figur 3. Sammenhengen mellom prøver i lokalitet F-74 og F-04 er vist i figur 4. Figur 5 viser relasjonen mellom C-74, C-05 og F-04.



Figur 3 Varvdiagram som viser sammenhengen mellom årlige sedimentavsetninger i prøver fra 1974 og 2004 i lokalitet A. Brutt strek og firkantsymbol A-74 og A-04 (hel strek). Prøvene dekker tidsrommet fra ca 1920 til ca 1960.



Figur 4 Varvdiagram som viser sammenhengen mellom årlige sedimentavsetninger i lokalitet F fra 1974 og 2004. Heltrukken strek viser avsetninger i F-74 og brutt strek de samme avsetningene i prøve F-04. Prøvene dekker tidsrommet fra ca 1915 til ca 1955.



Figur 5 Varvdiagram som viser sammenhengen mellom årlige sedimentavsetninger i prøve C fra 1974 (hel strek) og brutt strek de samme avsetningene i prøve F fra 2004 i tidsrommet ca 1915 - 1968. Prøve C fra 2005 dekker tidsrommet fra ca 1950 - 1968 (brutt strek og trekantsymbol).

5 Bunnsedimentprøvetaking i Bondhusvatnet 2004 og 2005

5.1 Feltarbeide

Planen var å ta opp prøver av vannets bunnsedimenter fra is, men da forholdene både i 2003 og 2004 var usikre ble det bestemt å ta opp prøvene fra en flåte. Dette ble gjennomført i tidsrommet 25. – 28. oktober 2004, med hjelp av personell fra Mauranger kraftverk. Ytterligere noen prøver ble tatt opp fra is i mars 2005.

Totalt ble det i 2004 tatt opp 13 stk. sedimentkjerner jevnt fordelt over hele vannet Fire av prøvene ble tatt opp i de samme lokalitetene som ved prøvetakingen i 1974, og ytterligere to nesten i samme posisjon. De øvrige lokalitetene var i de deler av vannet som ikke ble dekket av prøver i 1974. I mars 2005 ble det tatt opp ytterligere fem prøver fra lokaliteter hvor prøvetakingen i 2004 ikke var helt vellykket, med hensyn til å identifisere overgangen rundt året 1974, og 1953. Årsaken var at bunnsedimentet var forholdsvis hardt, noe som førte til at det var vanskelig å nå ned i avsetninger fra tiden før dette året. De supplerende prøvene tatt opp 2005, sikret imidlertid tilstrekkelig materiale som var avsatt før 1974, slik at det ble mulig å få en sikker identifikasjon av sedimentmektigheten avsatt etter reguleringen (fig. 2).

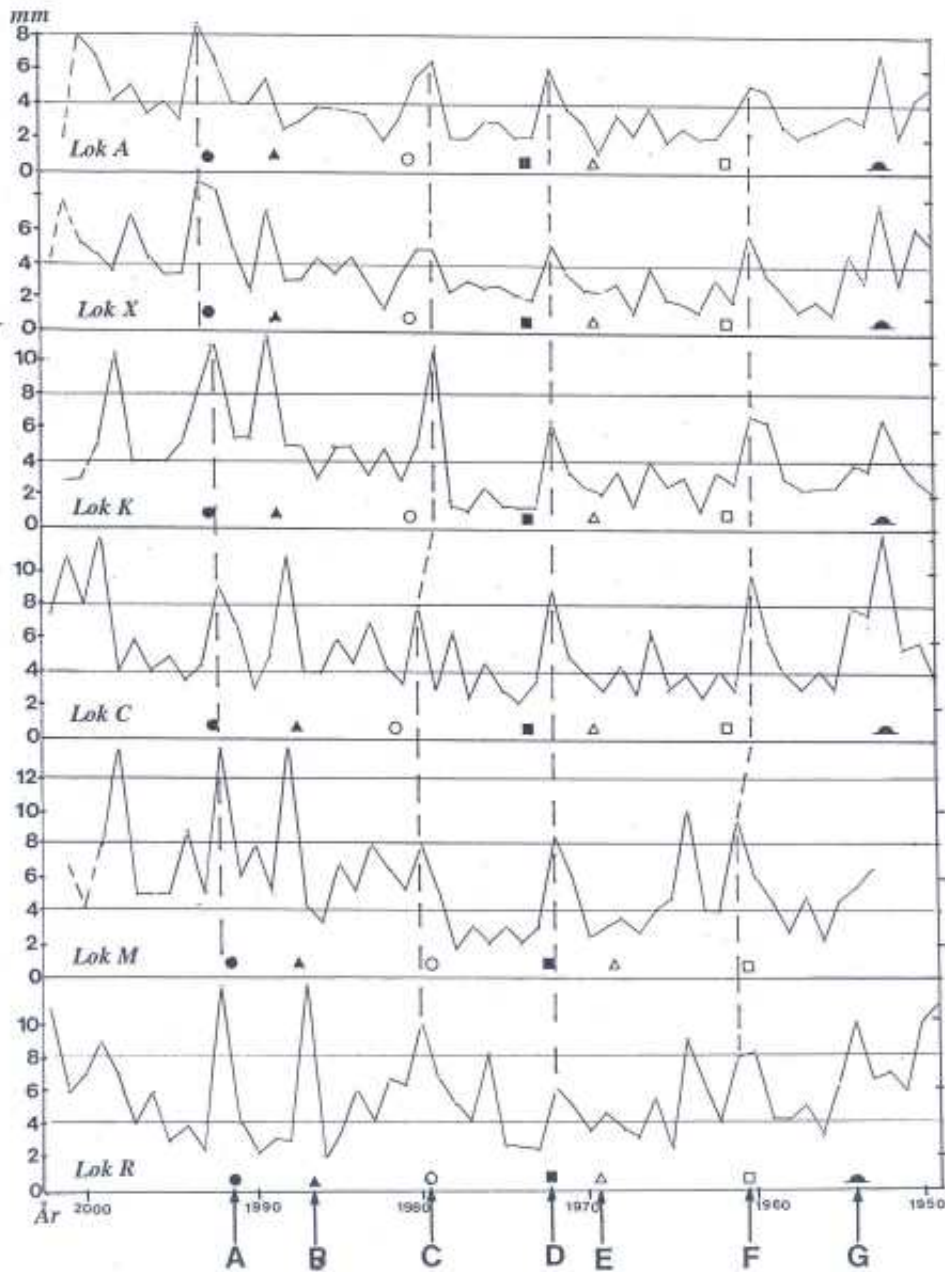
5.2 Laboratorieanalyser og tolkningsmetodikk

Samtlige prøver fra vannet ble transportert til HBMs laboratorium i Oslo, og analysert der. Det aller meste av materialet i kjernene ligger innenfor siltfraksjonen. Dog finnes enkelte lag av finsand, og organiske lag forekommer også. Prøvene nærmest deltaet inneholder mer materiale i sandfraksjonen. Det er utført tetthetsbestemmelser av sedimentene i lokalitet A, C og N fra 2004. Middelet av tre prøver i A-04 viste $1,3 \text{ g/cm}^3$. Tre prøver fra C-05 viste 1,5 og tre prøver fra N-04 ga 1,4. Det ble også utført kornfordelingsanalyser av materiale før og etter reguleringen i en del utvalgte lokaliteter.

Ut fra kvaliteten av kjernematerialet ble følgende lokaliteter valgt ut til nærmere analyse. A-04, X-05, G-04, J-04, K-04, F-04, C-05, M-04, D- 04, R-05 og N-05. I disse prøvene ble det identifisert syv såkalte referanselag. Dette var bl.a. spesielt tydelige årslag eller flomlag, markerte organiske lag, spesielt tykke vinter eller sommerlag, avsetninger med en markert fargetone eller eksempelvis to eller flere særlig tynne lag, såkalte mikrovarv. Forutsetningen for valget av et slikt referanselag var at de kunne gjenkjennes i samtlige lokaliteter. En sammenstilling av de ulike referanselagene i 6 av lokalitetene er vist i figur 6. Som det framgår av figuren ser en at det er visse forskyvninger i beliggenheten mellom de ulike avsetninger i de forskjellige lokalitetene. Foruten direkte tolkningsfeil kan dette også skyldes flere andre forhold. Et kan for eks. være at gjennomstrømmingen i vannet til dels skjer ved tetthetsstrømmer, som kan ta ulike løp til ulike tider avhengig av vanntemperatur og sedimentkonsentrasjon. Det er også flere sidebekker som kommer inn i vannet, og som tidvis kan føre mer materiale enn hovedløpet fra breen. Det finnes også tydelige tegn på at det har forekommet setninger og forkastninger i bunnsedimentene,

som kompliserte tolkningen. Snø og steinskred fra fjellsidene, som enten går direkte ut i vannet eller på isen om vinteren vil også kunne tilføre ekstra materiale i noen lokaliteter.

Tross alt er det en brukbar sammenheng mellom avsetningene i de ulike lokalitetene i vannet, som ga et brukbart grunnlag for sammenlikning av suspensjonstransporten i en lengre periode før og etter reguleringen.



Figur 6 Sammenstilling av såkalte varvdiagram fra lokalitet A, X, K, C, M og R fra 2004 og 2005. Syv såkalte referanselag er avmerket (A-G).

5.3 Beskrivelse og tolkning av prøvene

Totalt ble det tatt opp 13 kjerneprøver i 2004 og 5 prøver i 2005, til sammen 18 prøver fra 16 forskjellige lokaliteter.

A-04: Lengde 25 cm. Totalt analysert 74 årslag tilbake til ca 1930. Året 1953 identifisert mellom 17,4 og 18,3 cm dybde. Unormalt tykke årslag de siste årene med litt innhold av organisk materiale. Tydelig tynnere årslag 1930 – 1945.

A-05: Lengde 15,3 cm. Totalt analysert 49 årslag tilbake til ca 1953. 1953 identifisert mellom 14,3 og 15,1 cm dybde. Tykke topplag med litt forkastning.

H-04: Lengde 35,7 cm. Totalt analysert 50 årslag tilbake til 1953. Året 1953 identifisert mellom 16,3 og 16,5 cm dybde. (Bestemmelsen er litt usikker) Tykke topplag ned til 4 cm. Videre ned til 9 cm noe diffus lagdeling. Tydeligere laminering i materiale eldre enn 1950.

G-04: Lengde 22,7 cm. Totalt analysert 68 årslag tilbake til ca 1935. Året 1953 identifisert mellom 16,6 og 17,0 cm dybde. Ikke spesielt tykke topplag i denne lokaliteten. De er også meget veldefinerte. Markert tynne varv før 1945.

X-04: Lengde 22,9 cm. Totalt analysert 61 årslag tilbake til ca 1940. Året 1953 identifisert mellom 17,8 og 18,0 cm. Tykke topplag. Spesielt tykt vinterlag observert mellom 4,7 og 5,2 cm. Dette er også observert i andre lokaliteter, men ikke så utpreget.

J-04: Lengde 26,6 cm. Totalt analysert 64 årslag tilbake til ca 1940. 1953 er identifisert mellom 19,7 og 22,5 cm dybde. Meget tykke, men veldefinerte topplag.

K-04: Lengde 26,3 cm. Totalt analysert 61 årslag tilbake til ca 1940. Lamineringen er delvis noe diffus, med stedvis meget tykk lagdeling. Mer veldefinerte varv under 15 cm. 1953 er identifisert mellom 21,3 og 21,8 cm dybde. Omkring 1950 opptrer meget lyst materiale med turbiditter.

F-04: Lengde 27 cm. Totalt analysert 82 årslag tilbake til ca 1917. Året 1953 er identifisert mellom 15,1 og 15,6 cm dybde. Tykke topplag med litt organisk materiale.

C-04: Lengde 23,5 cm. Totalt 49 årslag tilbake til ca 1950. Prøven ikke lang nok til å nå ned i 1953 avsetningen. Topplagene er tykke også i denne kjernen. Mellom 2 og 2,5 cm rent organisk sjikt.

C-05: Lengde 30,0 cm. Denne lokaliteten ble prøvetatt på nytt fordi C-04 ikke omfattet 1953 avsetningen. Totalt 55 årslag tilbake til ca 1950. Året 1953 er identifisert mellom 27,1 og 28,5 cm dybde. Flere tykke topplag som ikke var tolkbare. For øvrig mange mikrovarv, som kompliserte tolkningen noe. Mellom 2,8 og 3,6 cm rent organisk lag.

D-04: Lengde 26,0 cm. Totalt 49 årslag tilbake til 1953. Dette året er registrert mellom 24,4 og 25,1 cm dybde. Topplagene er tykke, med litt organisk materiale, men veldefinerte. Litt tegn på setninger i sedimentet mellom 14,7 og 16,2 cm.

M-04: Lengde 28,0 cm. Totalt 49 årslag tilbake til 1953. Dette året er registrert mellom 27,5 og 28,2. Prøven inneholder mange såkalte mikrovarv, som kan være vanskelig å

skille fra normale årsvarv, men ettersom 1953 er rimelig godt identifisert anses tolkningen å være riktig. Topplagene er tykke og mellom 1,9 og 3 cm ligger et lag av vesentlig organisk materiale.

P-05: Lengde 13,9 cm. Det var problemer med å få opp prøver i denne lokaliteten, av ukjent årsak. Mellom 3 og 9 cm viste materialet tydelige tegn på bevegelse etter avsetning. De ulike årslag i denne del av kjernen og lot seg derfor ikke tolke. Prøven var ikke lang nok til å nå ned i 1953 avsetningen.

N-04: Lengde 24,0 cm. Totalt 28 sjiktninger hvorav de fleste er antatt å være årslag, tilbake til ca 1975. Prøven inneholder et markert organisk lag mellom 2,5 og 3,2 cm. Også ved 10,5 og 15,5 cm opptrer organisk materiale. Også i denne lokaliteten er de øvre sjiktene forholdsvis tykke. Prøven nådde ikke ned i 1953 avsetningen.

N-05: Lengde 35,1 cm. Lokaliteten ble prøvetatt på ny, da N-04 ikke nådde ned til 1953 avsetningen. Totalt 50 årslag tilbake til ca 1950. Året 1953 ble identifisert mellom 30,9 og 31,5 cm dybde. Mindre bevegelser i sedimentet ned til 12,5 cm, med litt usikker bestemmelse av årslag. En korrekt bestemmelse av 1953 avsetningen i denne lokaliteten var meget viktig, da den ligger ganske nær deltaet.

R-04: Lengde 23,3 cm. Totalt 42 årslag tilbake til ca 1965. Tykke topplag med spor av organisk materiale. For øvrig ganske veldefinert sjiktning. Prøven nådde ikke ned i 1953 avsetningen.

R-05: Lengde 32,5 cm. Lokaliteten ble prøvetatt på ny da R-04 ikke nådde ned til 1953 avsetningen. Totalt 55 årslag tilbake til ca 1949. Året 1953 identifisert mellom 27,4 og 28,0 cm. Tykke topplag med spor av organisk materiale.

E-04: Lengde 20,6 cm. Vanskelig å få opp prøver, da lokaliteten ligger i kanten av breelvas delta og materialet besto vesentlig av finsand. Tykke topplag også i denne lokaliteten med organisk materiale. For øvrig spor av organisk materiale gjennom hele kjernen. Noe diffus lagdeling og usikker tolkning, særlig mellom 8 og 15 cm. Totalt inneholder ikke prøven mer enn ca 12 årslag med en snitt tykkelse på ca 17 mm. Prøven nådde ikke ned i 1953 avsetningen.

6 Resultater

6.1 Konnektering av sedimentavsetninger fra 1974 og 2004 - 2005

For å identifisere de samme avsetningene i 2004 og 2005 prøvene med 1974 prøvenes avsetninger ble det i første omgang anvendt kjerner fra lokalitet A, C og F. Som følge av den meget markerte avsetningen fra 1953, samt noen få andre spesielle sjiktninger, som kunne gjenkjennes i prøver fra disse tre lokalitetene, kunne en identifisere overgangene i de ulike prøvene. Disse ble deretter sammenholdt med prøver fra de øvrige lokalitetene, som ikke var dekket med prøver fra 1974.

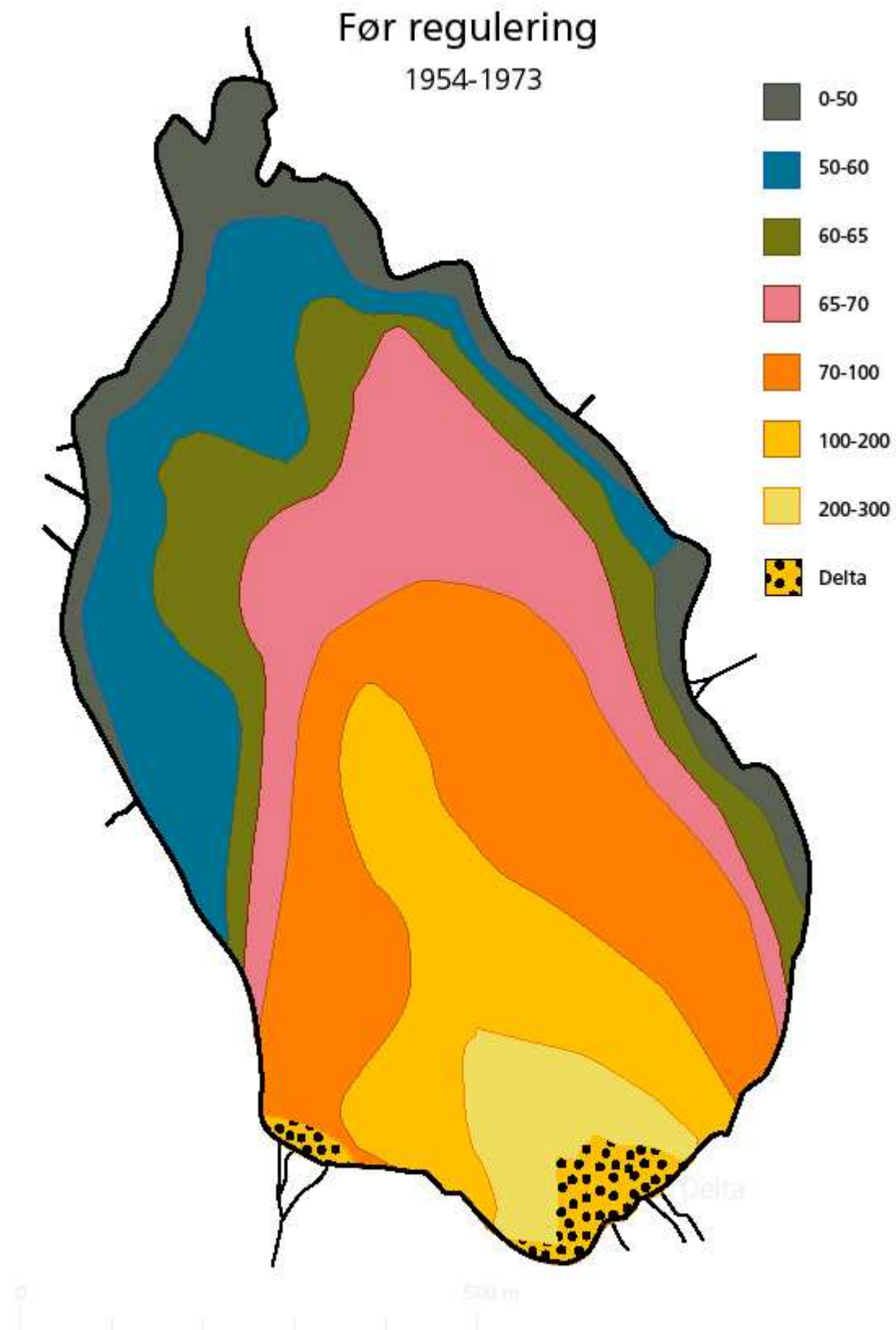
Sammenliknes A-04 med A fra 1974, er det meget god overensstemmelse mellom de enkelte årlige avsetninger i tidsrommet 1920 -1963, dog med den forskjell at sedimentlagene som ble målt på ny i 1974 materiale jevnt over er mellom 1 og 2 mm mektigere. Dette skyldes sannsynligvis en kombinasjon av høyere tetthet i de eldste sedimentene, som er mer konsolidert og en viss avstand mellom prøvestedene.

Sammenliknes kjerne fra C-05 med C- 1974, er det også her bra overensstemmelse mellom prøvene fra de to prøvetakingene, men også her er mektigheten av de årlige avsetningene større i det eldste materialet (fig 3 og 5). Da prøve C-05 ikke gikk lenger tilbake enn 1953 er det i figur 5 også plottet inn analysen av F-04, tilbake til ca 1915.

Flere av de øvrige prøvene i den indre delen av vannet gikk imidlertid lenger tilbake i tid, og det er brukbar korrelasjon til M-04, K-04, X-04 og R-05. Sammenlikninger mellom F-74 og F-04 viser at korrelasjonen her ikke er så god som i de to andre lokalitetene, men det er likevel tydelig at de fleste årslagene i de to kjernene er identiske. Her er det imidlertid mindre forskjell på mektigheten i de årlige avsetningene, og heller ikke entydig høyere tetthet i de eldste avsetningene (fig 4). I lokalitet N ble det ikke tatt prøver i 1974. N-04 og 05 ligger ca 150-200 m fra deltakanten, og påvirkes av skiftende løpsforhold i selve deltaet.

6.2 Sedimenttilførsel før reguleringen 1954 – 1973

Denne perioden ble valgt fordi 1953 avsetningen kunne gjenkjennes i prøver fra nesten alle lokalitetene. Mektigheten av sedimentavsetningene i denne 20 års perioden ble målt i nesten samtlige lokaliteter. Det er videre trukket såkalte ”isolinjer” gjennom områder med omtrentlig lik sedimentasjon. De enkelte områdene er deretter areal og volumberegnet. Omregning til tonn er gjort på grunnlag av tetthetsbestemmelser utført på materiale avsatt i 2004 og 2005 i lokalitet A, C og N. Målinger og beregninger viser at det i denne perioden ble akkumulert ca 54 000 m³ finsedimenter i vannet, vesentlig silt. Dette tilsvarer ca 70 000 tonn ved tetthet 1,3 og ca 81 000 tonn ved tetthet 1,5. Gjennomsnittlig blir dette ca 2700 m³ i året eller mellom 3500 og 4000 tonn (fig.7 og tabell 3).



Figur 7 Sedimentmektigheter i mm i Bondhusvatnets ulike deler, avsatt i tidsrommet ca 1954 – 1973 (før reguleringen)

Tykkelse mm	Areal mm	Volum m ²	Volum m ³	Tonn 1.3	Tonn 1.5
0 – 50	25,0	50750	1268,8	1649	1903
50 – 60	55,0	107500	5912,5	7686	8869
60 – 65	62,5	78250	4890,6	6358	7336
65 – 70	67,5	108250	7306,9	9499	10960
70 – 100	85,0	152750	12983,8	16879	19476
100 – 200	150,0	93250	13987,5	18184	20981
200 – 300	250,0	30500	7625,0	9913	11438
Delta	Beregn	13750	84,0	109	126
0 – 300		635000	54059,1	70277	81089

Tabell 3 Bondhusvatnet 1954 – 1973. (Før reguleringen). Totale sedimenttykkelser ,(mm) areal (m²), volum (m³) og total akkumulasjon i tonn ved tetthet 1,3 og 1,5.

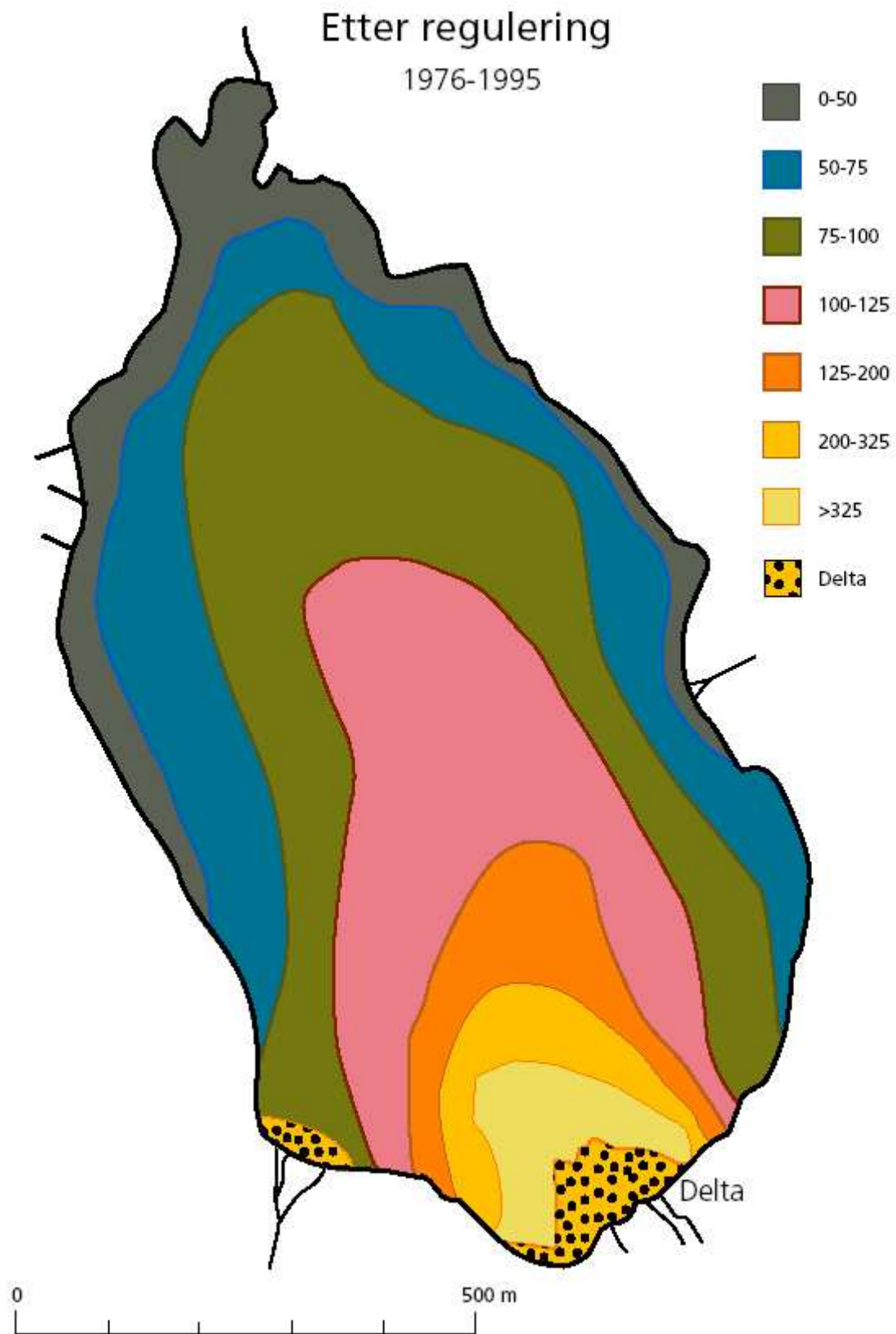
6.3 Sedimenttilførsel etter reguleringen 1976 – 1995

Denne perioden er valgt fordi den unngår de siste årene hvor sedimentpålagringen syntes å være spesielt mektig, uten at det er funnet noen entydig forklaring på hvorfor.

Beregningene er utført som for tidsperioden før reguleringen. De viser at det i denne perioden ble akkumulert ca 62 000 m³ finsedimenter i vannet, vesentlig silt. Dette tilsvarer ca 81 000 tonn ved tetthet 1,3 g/cm³, og ca 94 000 tonn ved tetthet 1,5. I gjennomsnitt blir dette ca 3100 m³ i året jevnt fordelt i dette tidsrommet, eller mellom 4000 og 4700 tonn. Dette viser at det har vært en liten økning i sedimenttilførselen til Bondhusvatnet i perioden etter reguleringen på ca 8000 m³ (mellom 10 000 og 12 000 tonn), sammenliknet med perioden 1954-1973. Dette tilsvarer ca 15 %. Dette utgjør i snitt på årsbasis ca 400 m³, (mellom 500 og 600 tonn) Ser en på de midlere årlige sedimenttykkelser før reguleringen var de 3,97 mm (4,0) mot 5,05 mm (5,0) etter reguleringen. Det vil si en økning på ca 27 % (fig.8 og tabell 4). Det presiseres at disse beregningene kun gjelder disse to periodene utvalgte periodene.

At tilførselen av suspendert materiale til Bondhusvatnet er litt større etter reguleringen i den analyserte 20 års perioden, må vesentlig skyldes to forhold:

- 1) Spylingene av sedimentkammeret gjennomføres på høy vannføring, som fører til en relativt konsentrert sedimentstrøm i et begrenset tidsrom. Lite av det suspenderte materiale fra dette blir liggende igjen mellom breen og vannet.
- 2) Gjennomstrømningen i vannet er betydelig redusert etter reguleringen, noe som fører til at mer suspendert materiale akkumuleres i vannet ved middels og lav vannføring enn tidligere. Det er vanskelig å tallfeste volumet av dette, da det ikke tidligere har blitt gjennomført målinger ved utløpet.



Figur 8 Sedimentmektigheter i mm i Bondhusvatnets ulike deler avsatt i tidsrommet 1976 - 1995 (Etter reguleringen).

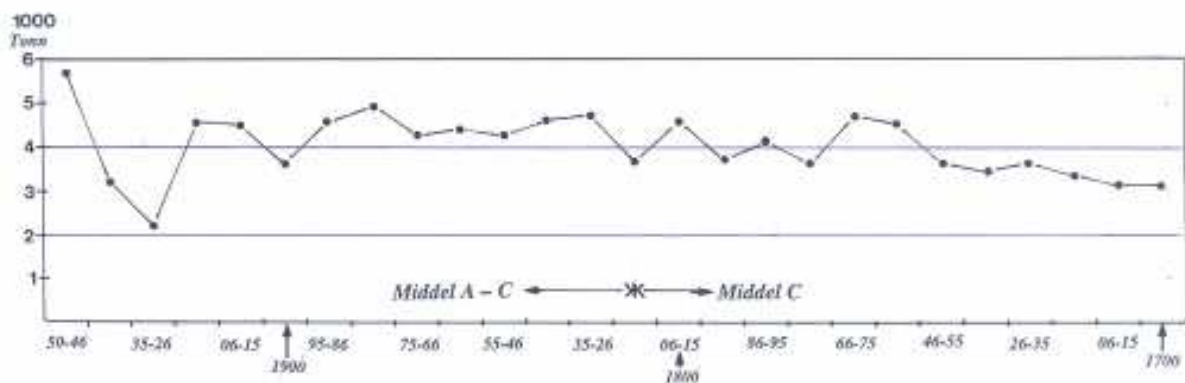
Tykkelse mm	mm	Areal m ²	Volum m ³	Tonn	
				1.3	1.5
0 – 50	25,0	78750	1968,8	2559	2953
50 – 75	62,5	131500	8218,9	10684	12328
75 – 100	87,5	188750	16515,6	21470	24773
100 – 125	112,5	134500	15131,3	19671	22697
125 – 200	162,5	40500	6581,3	8556	9872
200 - 325	262,5	23000	6037,5	7849	9056
>325	325,0	24250	7881,3	10246	11822
Delta	Beregn	13750	100,0	130	150
0 – 325		63500	62434,6	81165	93652

Tabell 4 Bondhusvatnet 1976 – 1995. (Etter reguleringen) Totale sedimenttykkelser, (mm) areal (m²), volum (m³) og total akkumulasjon i tonn ved tetthet 1.3 og 1.5.

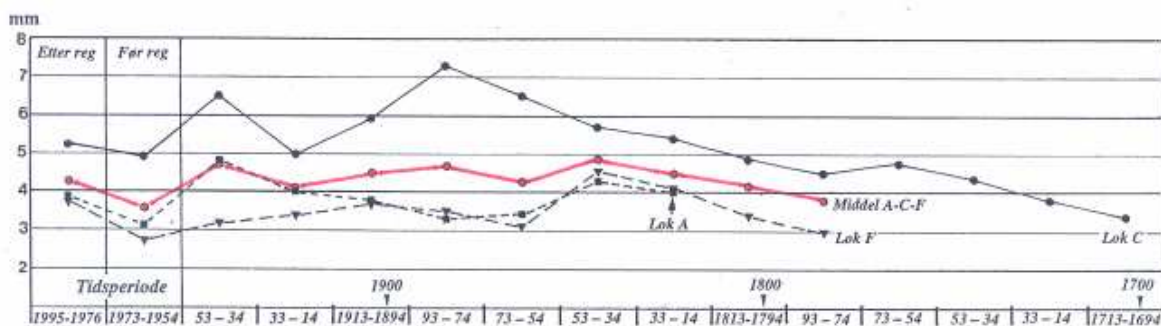
6.4 Sedimenttilførsel før 1950

På grunnlag av prøver fra lokalitet A og C fra 1974 er det gjort en grov beregning på midlere årlig sedimenttilførsel av suspendert materiale i 10 års perioder fra ca 1700 til 1950. Prøve fra lokalitet C tatt opp i 1974 dekker hele dette tidsrommet, mens A dekker tidsrommet tilbake til ca 1816. I tidsrommet ca 1816 – 1950 er vannet delt i to der lokalitet A representerer den ytre delen og lokalitet C den indre del av vannet. Som det fremgår av figur 9 ser en at i de seks første 10 års perioder fra 1696 til 1755 var den årlige suspensjonstransport inn i vannet jevnt mellom 3000 og 3500 tonn. Deretter følger en periode på ca 140 år med noe varierende sedimenttransport, for så etter ca 1830 å øke til ca 4500 tonn i året. Dette var et nivå som holdt seg fram til ca 1925 da det gikk ned til ca 2000 tonn i en periode. I den siste 10 års perioden fram til ca 1950 ser transporten ut til å være større enn i noen annen av disse 10 års periodene. Dette er selvfølgelig ikke helt korrekte tall, da de bare er basert på data fra to lokaliteter, men hovedtrenden i transporten er tydelig nok.

I figur 10 er vist midlere sedimenttykkelser i 20 års perioder fra ca 1694 til 1995 basert på prøvemateriale fra lokalitet A, C og F. Som det framgår av denne ser en at den nærmeste 20 års perioden før reguleringen hadde lavere sedimenttilvekst i alle de tre lokalitetene, sammenliknet med perioden etter utbyggingen. Videre bakover i tiden ser en at de tre lokalitetene har hatt litt ulik sedimenttilførsel. I lokalitet A har det bare vært mindre endringer, mens lokalitet C jevnt over har hatt større tilførsel før reguleringen tilbake til 1800 tallet. Lokalitet F har hatt omtrent samme sedimentasjon før som etter, tilbake til 1850 årene. Et middel for de tre lokalitetene tilbake til ca 1790 viser at i disse ti 20 års periodene har sedimentpålagringen i denne del av vannet vært lik eller ubetydelig større i seks av disse periodene, tilsvarende ca 120 år, sammenliknet med 20 års perioden etter reguleringen 1976- 1995.



Figur 9 Midlere sedimenttilførsel i 10 års perioder fra ca 1700 til 1950. Fram til 1825 er dataene bare basert på prøve C-74, og fra 1826 til 1950 på middelerverdi av prøve A-74 og C74.



Figur 10 Midlere årlige sedimenttykkelser i lokalitet A, F og C i 20 års perioder fra 1694 (lok C), fra 1814 (lok A) og fra 1893 (lok F) i Bondhusvatnet.

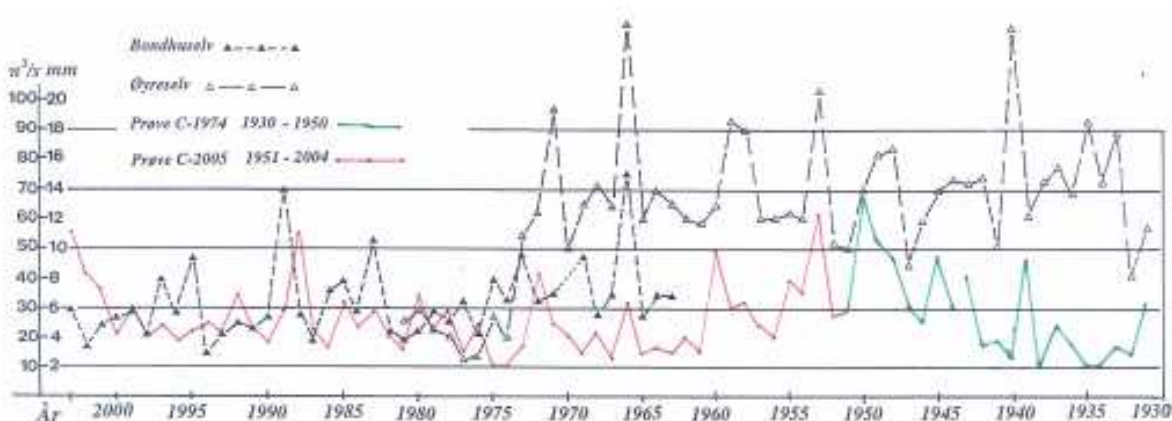
6.5 Årlige sedimentavsetninger korrelert med vannføring

Vi vet at det ikke alltid er noen enkel sammenheng mellom vannføring og sedimenttransport i et vassdrag. Vassdraget som drenerer nedbørfeltet til stasjon nr 46.4.0 Bondhus før reguleringen, besto av en rekke delfelt, som til sammen var på ca 62 km². Delfeltet til selve Bondhusbreen/Brufossbreen var på 19,8 km², hvorav 12,8 km² var dekket av bre. Dette feltet utgjorde før utbyggingen ca 32 % av totalfeltet. Noen av de andre delfeltene var brefrie mens andre hadde en betydelig breprosent. Totalt var ca 38 % av nedslagsfeltet bredekket.

Etter utbyggingen er den bredekkede del av feltet som drenerer til stasjon Bondhus redusert til ca 6,3 km², og totalfeltet er redusert med 24 km² til 38 km². Det vil si at totalfeltet nå har en breprosent på bare ca 17, hvorav det aller meste kommer fra Pyttabreen og breområdet mellom Pyttahorga og Fynderdalshorga. Her vil imidlertid en betydelig andel av materialtransporten sedimentere i flere vann mellom breen og Bondhusvatnet.

Det er sannsynlig at de ulike delfeltene i en del situasjoner reagerer ulikt på nedbør og bresmelting. Stasjon 46.4.0 har vært i drift siden 1963, og var fram til 1977 ikke påvirket av reguleringer. I figur 11 er vist vannføringsdata (maksimalvannføringer) ved stasjon Bondhus sett i relasjon til årlige sedimenttykkelser fra lokalitet C-05. Vannføringsdata før 1963 og tilbake til 1927 er hentet fra stasjon 46.3.0 Øyreselv, og disse er sett i relasjon til sedimenttykkelser fra lokalitet C-74. Som det fremgår av figur 11 er det tydelig at selv ikke vannføringen i de to feltene varierer helt i takt.

Tykkelsen av de årlige sedimentavsetninger sett i relasjon til maksimalt observerte vannføringer ved stasjon Bondhus, viser at sammenhengen mellom en stasjon som fanger opp vann fra mange ulike delfelt, hvor noen er brepåvirket og andre ikke, ikke kan ventes å ha bedre korrelasjon med sedimenttransporten enn det som er tilfelle her. I perioden fra ca 1935 og fram til ca 1970, er korrelasjonen likevel ganske bra med visse mindre justeringer i enkelte år med større flommer, hvor det utvilsomt må ha vært stor sedimenttransport i vassdraget.



Figur 11 Vannføringer m^3/s (årlige maksimumsverdier) fra stasjon nr 46.4.0 Bondhus og fra stasjon nr. 46.3.0 Øyreselv sett i relasjon til årlige sedimenttykkelser fra lokalitet C. Diagrammet viser verdier fra ca 1930 til 2003

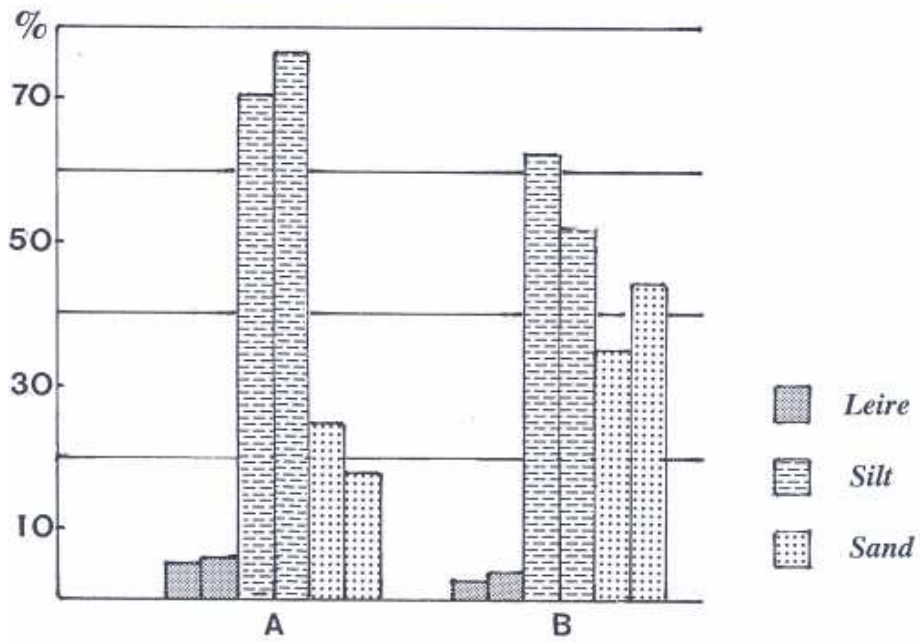
6.6 Kornfordelingsanalyser av materiale avsatt før og etter reguleringen i tidsrommet 1954 - 1973 og 1976 - 1995

Det er utført kornfordelingsanalyser av materiale fra syv av de 16 lokalitetene som ble prøvetatt i 2004 og 2005. A-04, K-04, C-05, M-04, R-05, N-II-05 og E-04. I tillegg ble tatt en analyse av materiale i lokalitet E fra 1974, da kjerne E-04 ikke nådde ned i sedimentene fra før reguleringen. Analysene omfatter de to 20 års periodene, før reguleringen i tidsrommet 1954 - 1973, og etter reguleringen 1976 - 1995. Resultatene er vist i tabell 5 og figur 12. Som det fremgår av tabellen representerer de to periodene noe ulike mektigheter av sedimentene i de forskjellige lokaliteter. I snitt for samtlige lokaliteter bortsett fra E, representerer perioden før reguleringen (1954 - 1973) et dyp mellom 16,3 og 25,3 cm (9,0 cm). I perioden etter reguleringen representerer dette et dyp i snitt mellom 4,8 og 15,3 cm (10,5 cm). Det vil si at det i de 20 årene etter reguleringen er avsatt i snitt 1,5 cm mer når en regner med samtlige lokaliteter. Det fremgår av figur 12

at innholdet av leire er omtrent det samme før som etter reguleringen. Materiale i siltfraksjonen er 6-7 % høyere etter reguleringen, mens sandinnholdet er ca 7 % lavere. Analyser av materiale fra lokalitet E-04 og E-74 viser litt større forskjeller, bl.a. er det ca 10 % mindre materiale i siltfraksjonen og ca 9 % mer i sandfraksjonen etter reguleringen.

Lok	Dybde cm	Lengde cm	Leire %	Silt %	Sand %
*A -04	12.3 - 17.8	5.5	6.5	86.5	7.0
A- 04	3.6 - 11.3	7.7	7.0	83.5	9.5
*K -04	15.2 - 21.3	6.1	5.5	68.0	26.5
K- 04	4.1 - 14.2	10.1	6.5	88.5	5.0
*C- 05	17.0 - 27.0	10.0	4.5	63.0	32.5
C- 05	6.5 - 16.5	10.0	4.6	70.4	25.0
*M- 04	18.2 - 27.3	9.1	5.8	72.2	22.0
M- 04	5.1 - 17.4	12.3	5.9	75.3	18.8
*R- 05	17.6 - 27.4	9.8	4.8	69.7	25.5
R- 05	5.0 - 16.1	11.1	6.0	80.8	13.2
*N-II- 05	17.5 - 31.0	13.5	4.7	62.3	33.0
N-II- 05	4.2 - 16.2	12.0	4.5	61.7	33.8
E – 74 *	35.0 – 50.0	15.0	2.8	62.2	35.0
E- 04	9.0 – 20.0	11.0	4.0	52.0	44.0
Mid. Før reg. *		9.0	5.3	70.3	24.5
Mid. Etter reg.		10.5	5.8	76.7	17.6

*Tabell 5 Kornfordelingsanalyser av bunnsedimentet i 7 lokaliteter i Bondhusvatnet. Prøver merket med * er fra før reguleringen i 20 års perioden 1954 – 1973. De øvrige er fra materiale avsatt etter reguleringen i 20 års perioden 1976 – 1995. Prøver fra lokalitet E- 74 og E- 04 er ikke medregnet i middelverdiene.*



Figur 12 A: Midlere kornfordeling fra analyser av seks lokaliteter, før og etter reguleringen. B: Kornfordeling av materiale i lokalitet E. Venstre kolonne E-74 er før, og høyre E-04 etter utbyggingen.

7 Feilkilder

Av figur 6 vil det fremgå at både de ulike referanselagene merket A - G og enkelte mektige årslag ikke ligger i nøyaktig samme posisjon i de seks lokalitetene som er presentert. Dette gjelder forøvrig også noen av de øvrige lokalitetene. Årsaken til dette er sannsynligvis en kombinasjon av flere faktorer som beskrevet i kapittel 5.2, men det antas at rene feiltolkninger av hva som faktisk er årlige avsetninger, eller bare flomavsetninger er viktigste årsak. For øvrig er korrelasjonen mellom de enkelte lokaliteter i ytre og midtre deler av vannet brukbar. Inn mot deltaet i breelva er tolkningen av årslagene i noen av lokalitetene mer usikker fordi avsetningene her er mektigere, og utseende mellom flomlag og årslag er mindre tydelig. Når elveløpet med jevne mellomrom skifter leie i deltaet som følge av erosjon eller pålagring vil retningen av hovedstrømmen av sedimenter også påvirke de nærmeste lokalitetene ulikt, og komplisere tolkningen.

Hovedhensikten med prosjektet var å se om det var vesentlig forskjell i sedimenttransporten (suspensjonstransporten) til vannet før og etter reguleringen av vassdraget, og hvilken effekt spylingene av sedimentkammeret har hatt på suspensjonstransporten inn i Bondhusvatnet. Det viste seg at bare tre av de seks prøvene som var tatt opp i 1974 kunne anvendes til å sammenlikne avsetningene fra den gang med avsetningene i de nye prøvene som ble tatt opp. Det var heldigvis tilstrekkelig til å gjenkjenne årene mellom 1953 og 1974 i de fleste av prøvene tatt opp i 2004 og 2005. Det var imidlertid ikke tilstrekkelig med bare tre lokaliteter i 1974 materialet til å beregne transporten bakover i tid for hele vannet med like stor nøyaktighet. En konsentrerte seg derfor om en 20 års periode etter reguleringen (1976 - 1995) og sammenliknet den med en 20 års periode like før, (1954 – 1973). Begge disse periodene var dekket av prøver tatt opp i 2004 og 05. Overraskende nok viste det seg at de 20 siste årene rett før reguleringen ble iverksatt hadde gjennomsnittlig mindre sedimenttilførsel enn 20 års perioden rett etter reguleringen.

I beregning av transportvolum før og etter reguleringen er resultatene oppgitt både m^3 og tonn. Sedimentvolumet i m^3 , må anses som relativt riktig. Det er gjort en del målinger av tettheten i ulike dybder i sedimentene, men ettersom prøvene ikke er lenger enn maksimalt 35 cm, kunne en ikke forvente særlig økning med dybden. De fleste målingene ga verdier mellom 1,2 og 1,5 g/cm^3 , verdier som må anses som rimelige ut fra tidligere målinger i andre sjøer med vesentlig materiale i siltfraksjonen, med opphav i liknende berggrunn. Enkelte lag og sekvenser i bunnsedimentene kan imidlertid ha både lavere og høyere tetthet, slik at en absolutt riktig tetthetsbestemmelse av hele den analyserte sedimentpakke gjennom hele vannet selvsagt ikke lar seg gjøre. Det er derfor valgt verdier med tetthet på både 1.3 og 1.5 g/cm^3 i beregningene, da det meste av den analyserte sedimentpakken tilbake til 1950 årene høyst sannsynlig har verdier innenfor dette.

8 Diskusjon og konklusjon

En gjennomgang av prøver fra tre av lokalitetene hvor det ble tatt prøver i 1974 viser at tolkningen den gang, som ble rapportert i 1975, i alt vesentlig ser ut til å være riktig. Særlig viktig var det å gjenfinne og identifisere beliggenheten av en markant avsetning tolket til året 1953, i prøvene fra 2004 og 2005. Beklageligvis var det bare kjerner fra lokalitet A, C og F som kunne tolkes på ny, da mer enn halvparten av kjernematerialet fra den gang var i så dårlig forfatning at nye tolkninger ikke var mulig. Prøve E-74 kunne imidlertid anvendes til kornfordelingsanalyse, selv om de enkelte års avsetninger ikke kunne tolkes i denne.

Beregninger utført på grunnlag av målte sedimentavsetninger i Bondhusvatnet viser at det i den valgte 20 års perioden før reguleringen av vassdraget (1954 – 1973) i gjennomsnitt har blitt avsatt ca 2700 m³ finsedimenter i året, vesentlig materiale i siltfraksjonen (0,002 – 0,06 mm). Dette tilsvarer mellom 3500 og 4000 tonn avhengig av tettheten. Etter reguleringen (1976-1995) viser beregningene en liten økning til ca 3100 m³ (4-4700 tonn) i året. Den mest sannsynlige forklaring på dette, må være at det er spylingene av sedimentkammeret som er årsaken. Vi vet for øvrig at det spyles ut mer materiale enn det oppmålingene av kammeret viser, men vi har beklageligvis ikke volumet av det suspenderte materiale ved brefronten, da vi mangler vannføringsregistreringer. Andre årsaker til den registrerte økningen i denne perioden, kan være endringer i de subglasiale vannveiene og tilgjengeligheten av sedimenter i disse. For øvrig er gjennomstrømmingen i Bondhusvatnet betydelig redusert etter utbyggingen, noe som fører til at mer materiale akkumuleres i vannet. Endringer i akkumulasjonsmønsteret i de to analyserte periodene er som vist i figur 7 og 8 en indikasjon på dette. Endringer i breens dynamikk kan også ha vært en medvirkende årsak. Denne trenden ser også ut til å fortsette etter 1995 med relativt tykke avsetninger.

Nå viste det seg imidlertid at i 20 års perioden 1974-1995 hadde vannet litt mindre sedimenttilførsel, sammenliknet med et lengre tidsrom tidligere. Dette vises best ved å sammenlikne med de syv forutgående 20 års periodene, (tilbake til begynnelsen av 1800 tallet) beregnet ut fra avsetningene i lokalitet A, C og F. Midlere verdier for disse tre lokalitetene, som dekker mesteparten av den ytre del av vannet, viser at i fem av de syv 20 års periodene før reguleringen var sedimenttilveksten i størrelsesorden 4,7 mm i året, og dermed litt større enn etter reguleringen. En periode (1854- 1873) hadde omtrent samme tilførsel, (4,3 mm) og i perioden (1854- 1873) var tilførselen mindre før reguleringen. Et snitt for samtlige tre lokaliteter viser at det totalt har vært en midlere sedimenttilvekst på 4,5 mm i hele tidsrommet 1814 – 1953. Snittet for perioden 1976 - 1995 var 4,3 mm, hvilket betyr at forskjellen i sedimentavsetninger i vannet før og etter reguleringen bare er i størrelsesorden 0,3 mm.

Konklusjonen på denne undersøkelsen må derfor bli at tilførselen av suspendert materiale til Bondhusvatnet ikke har endret seg vesentlig som følge av reguleringen, tross for at det totale brefeltet som tidligere drenerte til Bondhusvatnet er redusert med 77 %. Det finnes neppe noen annen forklaring på dette enn at spylingene av sedimentkammeret, kombinert med sedimenttilførsel fra breområdet nedenfor det subglasiale inntaket tilfører vannet omtrent like mye suspendert materiale som den naturlige transporten gjorde tidligere. Spylingene gjennomføres for øvrig helst på relativt stor vannføring, noe som

også fører til at mesteparten av det suspenderte materialet tilføres vannet, og bare mindre mengder avsettes på sanduren. Tilførselen av suspendert materiale fra breområdet vest for Bondhusbreen er ikke påvirket av reguleringen, og er derfor uendret. Nå har imidlertid sedimenttransporten herfra aldri vært særlig stor, da en vesentlig del sedimenterer i tre mindre vann beliggende like nedstrøms brefrontene.

Først når en kommer tilbake til 1700 tallet var sedimenttransporten i vassdraget mindre enn i dag, noe som klart henger sammen med at breene den gang lå lenger frem, klimaet var kjøligere og breens smeltesesong var kortere. Selv om dette bare baserer seg på analyser fra tre lokaliteter er tendensen nokså entydig. En hadde imidlertid ikke noen mulighet for å velge andre sammenliknende perioder, ut fra det kjernematerialet som forelå, både fra prøver tatt opp i 1974 og det som ble tatt opp i 2004 og 05.

Sammenlikner en de årlige avsetningene på grunnlag av kjernene, med det som ble målt av suspendert materiale i årene 1972 og 73 ved brefronten, ser en at snittet av målingene der på ca 6700 tonn ligger ca 2500 tonn høyere. Sammenliknet med målingene i kammeret 1979-81 med et snitt på ca 3000 tonn er det imidlertid bedre overensstemmelse. Uansett viser dette at en del materiale, særlig på lavere vannføringer avsettes mellom breen og vannet, vesentlig på sanduren. Enda bedre overensstemmelse blir det om en regner om alle frontmålingene og målingene i kammeret til 100 observasjonsdøgn og multipliserer med middeltransport av observerte døgn. Dette gir i snitt ca 5000 tonn mot mellom 3500 og 4700 tonn på grunnlag av sedimentkjerner avhengig av hvilken tetthet en bruker.

Kornfordelingsanalyser av materiale avsatt i de to utvalgte periodene, før og etter reguleringen viser ikke store endringer i materialsammensetningen fra seks utvalgte lokaliteter, noe som virker rimelig ut fra at sedimenttilførselen i volum ikke har endret seg vesentlig i dette tidsrommet. Et middel av prøvene viser nesten ingen forskjell på materiale i leirfraksjonen. Innholdet av silt har gått opp med ca 6 % etter reguleringen og innholdet av sand vesentlig finsand (0,06-0,2 mm) er gått ned med ca 7 %. I lokalitet E, som ligger nær deltaet er det som ventet grovere materiale, med 44 % sand i materialet etter reguleringen, mot 35 % før. Siltinnholdet har derimot gått ned fra 56 til 52 %, mens leirinnholdet ligger mellom 3 og 4 %. At forskjellene ikke er større, viser at selv om tilførselen av suspendert materiale også kan komme fra andre kilder enn tidligere, har dette i alt vesentlig den samme kornstørrelsesfordeling som tidligere i hvert fall av det materiale som er avsatt etter 1954.

Sammenlikner en vannføring (maksimumsverdier m^3/s) i de enkelte år ved stasjonen i Bondhuselva og Øyreselv med årlige sedimenttykkelser, viser disse periodevis brukbar korrelasjon, særlig i en lengre periode før reguleringen, ca 1935 – 1970. Korrelasjonen kan for øvrig ikke forventes å være bedre ved en stasjon som registrerer vann fra så mange felt utenom selve elva fra Bondhusbreen. Likevel kan det se ut til at sedimenttransporten inn i vannet fra de ulike brefeltene har svingt noenlunde i takt i de fleste årene det finnes registreringer fra. For øvrig er det ikke bestandig at vannføringen de to vassdragene svinger helt i takt.

At sedimentavsetningene etter 1995, også er usedvanlig mektige må skyldes det samme som beskrevet ovenfor. Dette er forøvrig en av grunnene til at NVE ønsket bedre data fra transporten av suspendert materiale ved brefronten og i tillegg vannføringsregistreringer her. Så langt har imidlertid ikke disse målingene gitt noe informasjon, som kan bidra

til å forklare de siste års mektige avsetninger av suspendert materiale, som er funnet i prøver fra de aller fleste lokalitetene i Bondhusvatnet.

9 Referanser

Hagen J. O. 1986. Glasiøle prosesser ved utvalgte breer. Meddelelse fra Geografisk Institutt UiO. Naturgeografisk serie. Rapport nr 4.

Hooke Roger LeB, Wold B. og Hagen J. O. 1985. Subglacial hydrology and sediment transport at Bondhusbreen, Southwest Norway. *Geological Society of America Bulletin* vol. 96, (p. 388 - 397).

Kjeldsen O. Østrem G. og Olsen H. C. 1975. Bunnprøvetaking i Bondhusvatn. Materialtransportundersøkelser i norske breelver 1974. Rapport nr 3-75 s 50-75. NVE, Vassdragsdirektoratet, Hydrologisk avd.

Kjølmoe B., Bønsnes T. E. og Kvambekk Å. S. 2006. Hydrologiske undersøkelser ved Maurangervassdraget. Årsrapport 2005. Oppdragsrapport serie B nr. 2. Norges vassdrags og energidirektorat, Hydrologisk avd.

Lambert A og HSU K. J. 1979. Non-annual cycles of varve-like sedimentation in Walensee, Switzerland. *Sedimentology* 26, 453-461.

Renberg I. 1981. Improved methods for sampling, photographing and varve-counting of varved lake sediments. *Boreas*. Vol. 10. pp. 255-258. Oslo.

Østrem G., Haakensen N. og Olsen H. C. 2005. Sediment transport, delta growth and sedimentation in lake Nigardsvatn, Norway. *Geogr. Ann.*, 87A (1): p. 243-258.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Oppdragsrapportserie A i 2006

- Nr. 1 Lars A. Roald, Stein Beldring, Torill Engen Skaugen, Eirik J. Førland and Rasmus Benestad: Climate change impacts on streamflow in Norway (74 s.)
- Nr. 2 Nils-Henrik Mørch von der Fehr: Produksjonstilpasningen i kraftmarkedet (s.)
- Nr. 3 Lars-Evan Pettersson: Flommen i Arnevikselva vinteren 2006 (10 s.)
- Nr. 4 Hans Christian Olsen: Bondhusvatn. Sedimenttilførsel før og etter reguleringen (31 s.)

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Oppdragsrapportserie A i 2006

- Nr. 1 Lars A. Roald, Stein Beldring, Torill Engen Skaugen, Eirik J. Førland and Rasmus Benestad:
Climate change impacts on streamflow in Norway (74 s.)
- Nr. 2 Nils-Henrik Mørch von der Fehr: Produksjonstilpasningen i kraftmarkedet (s.)
- Nr. 3 Lars-Evan Pettersson: Flommen i Arnevikselva vinteren 2006 (10 s.)
- Nr. 4 Hans Christian Olsen: Bondhusvatn. Sedimenttilførsel før og etter reguleringen (31 s.)