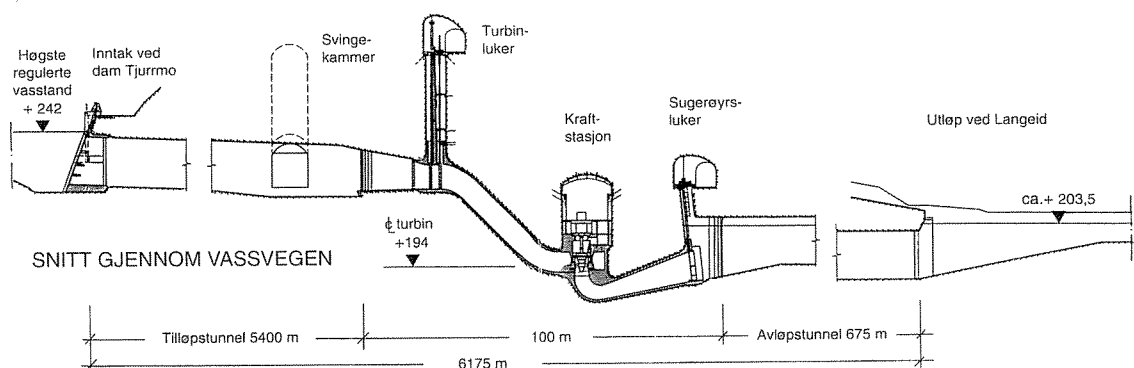


0-95008

# Igangkjøring av Hekni Kraftverk

## 1. Konsekvensanalyse av partikkelforurensning



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Prosjektnr.:	Undemr.:
O-95008	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
3228	

<b>Hovedkontor</b>	<b>Sørlandsavdelingen</b>	<b>Østlandsavdelingen</b>	<b>Vestlandsavdelingen</b>	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b>
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel:	Dato:	Trykket:
<b>Igangkjøring av Hekni Kraftverk.</b>	12. mars 95	NIVA 1995
<b>I. Konsekvensanalyse av partikkelforurensning</b>	Faggruppe:	Vassdragsregulering
Forfatter(e):	Geografisk område:	Aust-Agder
Vilhelm Bjerknes Torulf Tjomsland Noralf Rye (Universitetet i Bergen)	Antall sider:	Opplag:
	29	

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref.:
Aust-Agder Kraftverk	Per Juell Larsen

<b>Ekstrakt:</b>
Igangkjøringen av Hekni kraftverk høsten 1995 vil medføre utvasking av finstoff fra kraftverkstunnelen, og partikkelforurensning av Otravassdraget nedstrøms Langeid. Partiklenes skadepotensiale overfor fisk er vurdert ut fra kornfordelingsanalyse, mineralsammensetning, morfologi, og modellberegninger av spredningsforløpet. Lave partikkelkonsentrasjoner gjør at de potensielle skadevirkningene bedømmes som små. Forsuringen av Otravassdraget og Byglandsfjordblekens marginale situasjon gjør imidlertid at selv små tilleggsforstyrrelser av miljøet kan slå negativt ut for blekepopulasjonen. Derfor anbefales gjennomføring av eksponeringsforsøk med suspendert partikulært materiale og gjelleundersøkelser på bleke ved Syrtveit fiskeanlegg våren 1995. Slike undersøkelser vil gi grunnlag for vurdering av videre tiltak, undersøkelser og vassdragsovervåking ved igangkjøringen av Hekni kraftverk.

4 emneord, norske

1. Tunnelsprenning
2. Suspenderte partikler
3. Bleke
- 4.

4 emneord, engelske

1. Tunnel blasting
2. Suspended particles
3. Landlocked salmon
- 4.

Prosjektleder

*Vilhelm Bjerknes*

Vilhelm Bjerknes

For administrasjonen

*Dag Berge*

ISBN82-577-2722-9

**O-95008**

**Igangkjøring av Hekni Kraftverk.**

**I. Konsekvensanalyse av partikkelforurensning.**

**12. mars 1995**

**Vilhelm Bjerknes  
Torulft Tjomland  
Noralf Rye (Universitetet i Bergen)**

# FORORD

*Aust-Agder Kraftverk og Vestfold Kraftselskap har bygget Hekni Kraftverk, som skal settes i drift høsten 1995. Kraftverket utnytter fallet i Otra mellom Straume i Valle kommune og Langeid i Bygland kommune. I tilløps- og avløpstunnelene ligger det igjen rester av utsprengt masse, for en stor del finpartikulært materiale, som vil bli vasket ut i forbindelse med igangkjøringsprogrammet for kraftverket.*

*I et møte i Grimstad 25. januar 1995 mellom Fylkesmannens Miljøvernavdeling i Aust-Agder, Aust-Agder Kraftverk og NIVA, ble NIVA bedt om å levere et forslag til undersøkelser av mulige skader fra uorganiske partikler på fisk og bunndyr i vassdraget nedstrøms Langeid, samt et program for overvåking av vannkvalitet og fisk under oppstartingen av kraftverket. Det er særlig den truede Byglandsfjordbleken man ønsker ivare tatt gjennom slike undersøkelser.*

*I programforslag fra NIVA levert 3. februar 1995 foreslås trinnvise undersøkelser i 4 faser:*

*Fase 1: Karkterisering av partikler.*

*Fortynnings- og spredningsestimater av partikulært matetriale.*

*Foreløpig vurdering av skadevirkninger.*

*Fase 2: Eksperimentell eksponering av fisk for suspendert materiale fra kraftverkstunnelen.*

*Fase 3: Forundersøkelse i vassdraget og overvåking av vannkvalitet og fisk under igangkjøringen av Hekni Kraftverk.*

*Fase 4: Etterundersøkelse av biologiske effekter.*

*I prosjektbeskrivelsen som er levert Aust-Agder Kraftverk, er de ulike delprosjektene grovt skissert Det forutsettes at den endelige formulering av det enkelte delprosjekt skal bygge på resultatene av foregående delprosjekt.*

*Aust-Agder Kraftverk v/Per Juell Larsen er oppdragsgiver for prosjektet. I prosjektfase 1, som presenteres her har forsker Vilhelm Bjerknes vært NIVA's prosjektleder, med forsker Torulf Tjomsland, NIVA som medarbeider på partikkeltransport og spredningsberegninger. Professor Noralf Rye, Geologisk Institutt, Universitetet i Bergen har bidratt med partikkelfordelingsanalyser, mineralanalyse og partikkelmorfologi.*

*Bergen i mars 1995*

*Vilhelm Bjerknes*

# Innhold

FORORD .....	1
Sammendrag .....	3
1. Innledning .....	4
2. Kornfordeling, morforlgi og bergartssammensetning .....	4
3. Partikkeltransport.....	5
4. Effekter.....	7
4.1. Diskusjon .....	7
4.2. Konklusjon og anbefaling.....	9
5. Referanser. ....	10
VEDLEGG	

## Sammendrag

Aust-Agder Kraftverk skal sette i drift Hekni kraftverk høsten 1995. Dette medfører utvasking av finstoff fra kraftverkstunnelen, og partikkelforurensning av vassdraget nedstrøms kraftstasjonen. På oppdrag fra Aust-Agder Kraftverk har NIVA gjennomført en konsekvensanalyse av partikkelforurensningen.

På grunnlag av kornfordelingsanalyser, analyser av mineralsammensetning og studier av partikkelmorforlogi er det gitt en vurdering av partiklenes skadepotensiale overfor fisk, først og fremst fiskens gjeller.

Med utgangspunkt i kornfordelingsanalysene og i det oppsatte igangkjøringsprogrammet for kraftverket, er det foretatt modellberegninger av spredningsforløpet nedstrøms Hekni kraftverk.

Ut fra partiklenes morfologi og bergartssammensetning blir partikkelforurensningen karakterisert som potensielt skadelig for fisk. Stor spredningsgrad gir imidlertid lave konsentrasjoner i de områdene av vassdraget som idag er ansett som de viktigste for Byglandsbleken, dvs. gyte- og oppvekstområdene i Storstraumen og de øvre elvestrekningene nedstrøms Byglandsfjord.

I det forsurete Otravassdraget kan det ikke utelukkes at selv en marginal tilleggsforstyrrelse i form av en tidsavgrenset partikkelforurensning i lave konsentrasjoner kan slå negativt ut. Byglandsfjordbleken står i en særstilling som en sårbar fiskepopulasjon som det knytter seg nasjonale verneinteresser til. NIVA vil derfor anbefale at man gjør det som er mulig for å framskaffe forhåndsinformasjon om blekens reaksjoner på suspenderte partikler fra kraftverkstunnelen.

Det forslås å gjennomføre eksponeringsforsøk med suspendert partikulært materiale på bleke ved Syrtveit fiskeanlegg våren 1995, der gjeller fra forsøksfisken undersøkes m.h.t. mulige partikkelskader. Resultatene av forsøket vil bla. bli benyttet til å vurdere videre tiltak og undersøkelser i forbindelse med igangkjøringen av Hekni kraftverk.

# 1. Innledning

På oppdrag fra Aust-Agder Kraftverk er det foretatt undersøkelser av partikler fra seks støvprøver tatt fra henholdsvis såle og vegg på tre ulike punkt i tunnelen til Hekni Kraftverk. Prøvene er merket som følger:

SÅLE 1.260	VEGG 1.260
2.800	2.800
3.250	3.520

Det er foretatt kornfordelingsanalyse og gjort undersøkelse av bergartssammensetning og mineralinnhold i hver prøve. Prøvene fra lokalitet 2.800 er fotografert i elektronmikroskop.

På grunnlag av kornfordelingsanalysene og på bakgrunn av det presenterte programmet for igangkjøring av kraftverket (Skoglund 1994), er det gjort estimater av spredningsforløpet ved hjelp av en enkel spredningsmodell (Tjomsland og Molvær 1986).

Ovennevnte undersøkelser og beregninger danner grunnlag for en vurdering av partikkelforurensningens mulige skadevirkninger på fisk i vassdraget nedstrøms kraftverket. Vurderingen munner ut i en anbefaling av videre effektstudier, med utgangspunkt i NIVA's programforslag av 3. februar 1995.

## 2. Kornfordeling, morfologi og bergartssammensetning

Det er utført kornfordelingsanalyse av alle prøvene. Dette er gjort ved sikting og pipetteanalyse av små, representative deler av prøvematerialet. Resultatene er satt opp i tabellform for hver prøve (Vedlegg 1a, b - 6a, b). Kumulative kurver for to og to av prøvene er tegnet inn på samme skjema (Vedlegg 7a, b og c). Det vil si at de to prøvene fra samme lokalitet står på ett skjema.

Prøver fra både vegg og såle fra en av lokalitetene (2800) er fotografert i elektronmikroskop, de samme fire fraksjonene fra hver av de to prøvene (Vedlegg 8 a, b). De fire fraksjonene er 125-250 µm, 45-63 µm og 4-5 µm.

Kornform og rundingsgrad er svært lik i begge disse prøvene. Rundingsgraden i alle kornfraksjonene har overvekt av angulære til subangulære korn uten noen tydelig forskjell i den største og den minste fraksjonen. Forskjellen på prøvemateriale fra vegg og såle er også til en viss grad synliggjort på bildene i at mye finmateriale er klistret på kornene i alle de fire fraksjonene som er undersøkt fra prøve VEGG 2.800, mens fraksjonene fra prøve SÅLE 2.800 er mye bedre sortert/vasket (høyere energi). Samme prepareringsprosedyre var benyttet på de to prøvene.

Bergartssammensetning og mineralinnhold i prøvene viser at bergartene i området er granittiske, trolig med pegmatittganger og biotittiske ganger. Flere fraksjoner i noen av prøvene er undersøkt i mikroskop og lupe, og den følgende fordeling av mineralene er prosentvise anslag på dette grunnlag. De undersøkte fraksjonene er 8-16 mm, 4-8 mm, 0.125-0.25 mm (125µm-0.25 µm) og 0.063-0.125 mm (63µm-125 µm).

Mineralfordelingen i to fraksjoner fra prøvene 2.800 er gjengitt i vedlegg 9. De dominerende mineralene er kvarts og feltspat, tils. ca. 85%. I tillegg er det mest mørk glimmer (biotitt), ca. 10%, noe ambifol og epidot samt små innslag av andre mineraler. Kvartsen opptrer som skarpkantete, kubeformete korn. Feltspaten er noe flatere og mer prismeformet. Biotitt opptrer for det meste i

flakform, mens amfibolkomene er mer fibrige og stenglige. At materialet er knust fører til at komene som regel er skarpe i kantene, noe som framgår av bildene.

### 3. Partikkeltransport

Med utgangspunkt i kornfordelingskurvene (Vedlegg 7) er det foretatt beregninger av partikkelkonsentrasjoner og kornstørrelser på blekens gyteplasser i Storstraumen mellom Åraksfjorden og Byglandsfjorden, ved Byglandsfjordens utløp og ved oppdrettsanlegget ved Syrtveit, som følge av utvasking av steinstøv fra kraftverkstunnellen under oppstart av Hekni kraftstasjon.

Igangkjøringsprogrammet vil ha en estimert varighet på 55 døgn. Tabell 3.1 angir igangkjøringsplan og partikkelkonsentrasjoner (Skoglund 1994):

Tabell 3.1. Igangkjøringsprogram og massetransport.

Periode	Vannføring i tunnell (m <sup>3</sup> /s)	Periode-lengde (timer)	Maksimal konsentrasjon (mg/l)	Konsentrasjon i Otra ved vannføring = 100m <sup>3</sup> /s (mg/l)	Tidsrom for maksimal konsentrasjon (timer)	Utspylt mengde i maks. døgn (kg)
1	15	13	85	13	13	60000
2	35	6	100	35	5.5	70000
3	55	300	65	36	3.5	51000
4	85	1000	31	17	2.3	59000
5	140		30		1.4	363000

De fineste partiklene, under 0.1 mm, vil fortrinnsvis bli spylt ut i løpet av den første perioden.

Vi antar at partikkelkonsentrasjonene etter at spylevannet fra tunnelen er blandet med vann fra Otra forblir uforandret til utløpet i Åraksfjorden. Spredningsforløpet i innsjøen ble beregnet ved en enkel spredningsmodell (Tjomsland og Molvær 1986), som blant annet forutsetter kontinuerlig stofftilførsel og konstant strømretning og fart. Karakteristiske forutsetninger er som følger:

Vannføring i Otra: 100 m<sup>3</sup>/s  
 Partikkelkonsentrasjon i Otra (periode 1): 13 mg/l  
 Tykkelsen på det partikkeltransporterende laget i innsjøen: 10 m

Disse forutsetningene danner grunnlag for konsentrasjons- og kornfordelingsberegningene i tabell 3.2.



Tabell 3.2. Beregnete maksimalkonsentrasjoner og fraksjonsfordelinger av partikulært materiale under periode 1 ved to alternative strømhastigheter.

Kornstørrelse, mm	Synke- hastighet m/time	Strøm- hastighet cm/s	Partikkelmengde i Otra redusert til:					Konsentrasjon		
			Vekt Prosent		Utløp Byglandsfjord			Otra ved Langedeid mg/l	Stor- straumen mg/l	Utløp Byglandsfjord mg/l
			Otra ved Langedeid %	Stor- straumen %	Utløp Byglands- fjord %	Otra ved Langedeid mg/l				
colloider 0-0.001	0	5	4	20	4	0.52	0.104	0.11		
"	0	1	4	100	96	0.52	0.520	0.500		
leire 0.001-0.002	0.021	5	4	16	2	0.52	0.083	0.010		
"	0.021	1	4	36	5	0.52	0.187	0.024		
fin silt 0.002-0.016	0.216	5	12	3	0.1	1.56	0.042	0.002		
"	0.216	1	12	0.1	0	1.56	0.002	0		
grovere matr., >0.016	1.5	5	80	0	0	10.4	0	0		
"	1.5	1	80	0	0	10.4	0	0		
Totalt		5	100	2	0.2	13	0.229	0.023		
"		1	100	5	4	13	0.709	0.524		

Resultatene representerer en øvre grense. Stoffkonsentrasjonene blir fortennet ved transport i Otra. Partiklens transportavstand gjennom innsjøene vil være lengre enn korteste vei mellom innløp og utløp, noe som vil øke sedimentasjonen. Videre vil modellens forutsetning om kontinuerlige stofftilførsler gjøre at de presenterte resultatene blir for høye.

Partikkelkonsentrasjonen ved Storstraumen ved utløpet av Åraksfjorden og ved utløpet av Byglandsfjord blir lavere enn henholdsvis 1 mg/l og 0.5 mg/l. Sannsynligvis vil reelle verdier være under tiendeparten av disse. Korndiameteren forventes å være under 0.01 mm, dvs. fin silt eller finere materiale. Grovere korn vil sedimentere i Åraksfjorden. De høyeste konsentrasjonene vil inntreffe i tilknytning til utspylingens første periode hvor mengden av de fineste partiklene er størst.

## 4. Effekter

### 4.1. Diskusjon

Suspenderte partikler i vassdrag kan ha ulike direkte og indirekte effekter på fisk. Finpartikulært materiale irriterer gjelleepitelet, spisse kantete partikler kan i verste fall føre til sårdannelser. Fiskens gjeller er uhyre følsomme overfor endringer i fiskens ytre miljø, herunder all form for forurensning av vannet. I tillegg til respirasjonen har gjellene viktige funksjoner i fiskens osmoregulering, og står sentralt i bla. forbindelse med smoltifiseringen. Effektene av partikkelforurensning kan altså variere avhengig av fiskens livsstadium.

Fra fiskeoppdrett kjenner vi i Norge til ett tilfelle der partikkelforurensning fra anleggsvirksomhet førte til massiv dødelighet på en hel generasjon av laks i et settefiskanlegg (Jacobsen m.fl. 1987). Her var konsentrasjonene av uorganiske partikler relativt lave (<50 mg/L), mens partiklens form ble ansett som hovedårsak til dødelige skader på fiskens gjeller (spisse, nåleaktige partikler).

Ved høy turbiditet svekkes også fiskens evne til å se og fange byttedyr, noe som fører til redusert fødeopptak og redusert tilvekst (Hynes 1971).

Bunndyr påvirkes direkte på samme måte som fisk. Det er påvist redusert bunndyrproduksjon i vassdrag som har vært midlertidig påvirket av partikulært materiale fra anleggsvirksomhet (Hessen m. fl. 1989; Bjerknes m. fl. 1991).

Sedimentasjon av finpartikulært materiale reduserer substratets permeabilitet, og fører til redusert oksygentilførsel til rogn og yngel av fisk, og til bunndyr som lever i sedimentet. Sedimentert finstoff og turbid vann fører også til nedsatt primærproduksjon og redusert næringstilgang for plantespisende bunndyr.

De partikkelkonsentrasjoner som er beregnet for områdene nedstrøms Hekni kraftverk må isolert sett betraktes som udrumatiske. Imidlertid er dyrelivet i vassdraget allerede stresset på grunn av suboptimal vannkvalitet (forsuring) (Grande & Wright 1982). Ethvert tilleggssstress, stort eller lite, kan derfor antas å gi mer avgjørende utslag enn det en vil forvente der de vannkjemiske bakgrunnsverdiene er mer optimale.

Brett (1958) definerer stress hos dyr som en tilstand forårsaket av at en eller flere miljøfaktorer

overlevingsmulighetene reduseres. I Otra representerer forurensningen en stressfaktor som stadig er tilstede i varierende grad, mens en forbigående partikkelforurensning vil representere et "tilleggsstress".

Det er betydelig morfologisk forskjell på leirpartikler og f.eks. partikler fra sprengstein. Mens sprengsteinpartikler gjerne er kantete og tildels spisse, er leirpartiklene avflatete og avrundete (Hessen 1992). Ellis (1944) hevder at jo større, harde og kantete partiklene er, jo større er mulighetene for skader på fiskegjeller. NGI (1975) gir retningslinjer for beskrivelse av partiklers egenskaper. Partikkelform er imidlertid ikke tatt med.

Mikroskopiske undersøkelser av partikkelform og undersøkelse av størrelsesfordeling gir nyttig informasjon for å vurdere biologiske effekter. Partiklene som er undersøkt fra tunnelen ved Hekni kraftverk er kantete og tildels spisse, og består av harde mineraler. De minste størrelsesfraksjonene vil holde seg lengst i suspensjon. Av disse antar vi at at siltfraksjonen (0.002-0.06 mm) vil ha de største direkte virkningene på fisk (1+ og eldre) på grunn av forholdet mellom partikkelstørrelse og gjellegitter, mens leirfraksjonen (<0.002 mm) vil være mest skadelig for yngelstadiet. Begge fraksjoner vil påvirke gruspermeabiliteten ved sedimentasjon, med mulighet for å påvirke overleving av rogn og yngel.

I de senere år er det i Norge rapportert flere tilfeller der partikkelforurensning fra anleggsarbeid har ført til skader på villfiskebestander i vassdrag og på oppdrettsfisk i fiskeanlegg, og der årsak og virkning er søkt kartlagt gjennom undersøkelser (bla. Jacobsen m.fl. 1987 og Hessen m.fl. 1989). Et fellestrekk ved disse undersøkelsene er at de er satt igang i ettertid, med de vansker det skaper med å rekapitulere de faktiske forhold.

Det finnes også eksempler på at betydelig partikkelforurensning fra anleggsarbeid har funnet sted uten påviselige effekter på vassdragsbiologi eller på fisk i oppdrettsanlegg (Grande 1992). I dette tilfellet fant forurensningen sted i vinterhalvåret, dvs. i en periode med naturlig lav tilvekst. Dette har trolig medvirket til negliserbare effekter av partikkelforurensningen. I de tre sistnevnte tilfellene stammet partiklene vesentlig fra sprengstein.

Det finnes flere eksempler der fiskens tilvekst synes upåvirket av høye konsentrasjoner av suspendert materiale. F.eks. fant Swenson & Matson (1976) ingen vekstforandringer hos lagesild ved eksponering for leirkonsentrasjoner på 28 mg/L i 62 dager.

Bachmann (1958) undersøkte effekter av suspenderte partikler på cutthroat ørret (*Salmo clarkii*), og fant at fisk som ble eksponert for 35 mg/L i to timer var uskadd, men søkte skjul og sluttet å spise. Herbert & Richard (1963) rapporterer om laboratorieeksperimenter der ørret som ble eksponert for 50 mg/L av trefiber fikk redusert tilvekst. Økning av konsentrasjonen av suspendert materiale førte til ytterligere tilvekstreduksjon.

Subletale effekter av partikkelforurensning, f.eks. redusert tilvekst er sparsomt beskrevet i litteraturen. Fra Norge foreligger ett kjent tilfelle av redusert fisketilvekst i et settefiskanlegg forbindelse med partikkelforurensning fra anleggsarbeid (Bjerknes & Liabø 1995). Dette tilfellet dreide seg om episodisk forurensning av erodert leirslam gjennom en vekstsesong.

Det er rapportert en rekke tilfeller nasjonalt og internasjonalt der partikkelforurensning i vassdrag har medført redusert produksjon av bunndyr og villfisk, og til redusert avkastning av fisket. Av norske undersøkelser kan nevnes bla. Borgstrøm (1973), Andersen (1979), Aass (1979), Borgstrøm m.fl. (1986), Hessen m.fl. (1989), Bjerknes m.fl. (1991).

Det er nylig rapportert et tilfelle av sykdom, redusert tilvekst og økt dødelighet hos regnbueaure i merdoppdrett i sjøen nær munningen av et patikkelforurenset vassdrag, og der denne forurensningen ble ansett for å være medvirkende årsak (Bjerknes m.fl. 1994).

Ved vurdering av suspenderte partiklers betydning må det legges vekt på følgende hovedparametre (Hessen 1988):

- Konsentrasjon
- Størrelse
- Form (morfologi)

I tillegg er eksponeringstid og trolig også variasjon i partikkelkonsentrasjon viktige parametre.

Den europeiske innlandsfiskekommisjonen (EIFAC) foreslår følgende gradering av grenseverdier for effekter på ferskvannsfiske ved eksponering for suspenderte partikler (Alabaster & Lloyd 1980):

- <25 mg/L: Ingen skadelige effekter.
- 25-80 mg/L: Godt til middels godt fiske. Noe redusert avkastning.
- 80-400 mg/L: Betydelig redusert avkastning.
- >400 mg/L: Meget dårlig fiske, sterkt redusert avkastning.

Det må presiseres at disse grenseverdiene er angitt for effekter på avkastning av fiske, og derfor ikke kan nyttes som direkte uttrykk for skader på fisk. Selv om det ut fra denne graderingen kan slås fast at fisket i Byglandsfjorden ikke vil bli nevneverdig påvirket av partikkelforurensning fra Hekni kraftverk, sier graderingen ingen ting om påvirkningen av produksjonen, og dermed om avkastningen av fisket på lengre sikt.

Litteraturstudier og forsøk med korttidseksponering av ørret for høye konsentrasjoner av uorganiske partikler (~1000 mg/L) tyder hverken på akutt dødelighet eller alvorlige gjelleskader (Hessen 1992). Imidlertid er det etter det vi kjenner til, ikke gjort systematiske studier av fødeopptak og tilvekst hos fisk ved eksponering for partikler.

## 4.2. Konklusjon og anbefaling

Konsentrasjonen av suspenderte partikler vil være lav i de viktige vassdragsavsnittene for bleke nedstrøms Hekni kraftverk. Under normale forhold vil en ikke forvente registrerbare skader av de partikkelkonsentrasjoner vi her har beregnet oss fram til. Marginal vannkvalitet i utgangspunktet øker imidlertid muligheten for at en tilleggsbelastning på dyrelivet i form av partikulært materiale kan gi negative utslag. De aktuelle partiklenes morfologiske karakter svarer også til det en normalt forbinder med potensielle skader på gjelleepitel hos fisk.

Byglandsfjordbleken står i en særstilling som en sårbar fiskepopulasjon i et marginalt miljø, og som en populasjon det knytter seg nasjonale verneinteresser til. Det er uvisst om turbid vann i samband med åpningen av Brokke kraftverk på 1960-tallet var medvirkende årsak til den dramatiske tilbakegangen i blekebestanden som fant sted i de etterfølgende årene (Matzow 1994).

NIVA anbefaler at en nytter de foreliggende muligheter til eksperimentell og kontrollert eksponering av bleke for partikulært materiale forut for igangkjøringen av Hekni kraftverk. Forsøket kan gjennomføres ved Syrtveit fiskeanlegg for å oppnå et mest mulig "riktig" bakgrunnsmiljø. Under forsøket tas det ut prøver for å skaffe informasjon om eventuelle skader og skadegrad.

Slike forsøk må nødvendigvis gjennomføres om våren, mens partikkelforurensningen av vassdraget vil finne sted om høsten, dvs. under andre temperaturforhold og med andre livsstadier av fisk i vassdraget. Likevel mener vi at et forsøk gjennomført våren 1995 kan gi nyttig informasjon om eventuelle effekter. Slik informasjon vil være nyttig både ved planlegging og dimensjonering av de videre undersøkelsene (jfr. programforslag), og for vurdering av eventuelle skadebegrensende tiltak. Det vil dessuten være for sent å framskaffe slik informasjon dersom det i ettertid oppstår tvil om effektene av igangkjøringen av Hekni kraftverk.

Vi anbefaler å gjennomføre enkle eksponeringsforsøk ved Syrtveit fiskeanlegg, med en mindre serie av konsentrasjoner. Under forsøket tas gjelleprøver av eksponert og ueksponert fisk. Gjellene undersøkes med sikte på registrering av partikkelskader. Det forventete forurensningsnivået gjør det rimelig å foreslå et mer beskjedent omfang m.h.t. praktisk gjennomføring og kostnader ved denne undersøkelsen enn opprinnelig skissert i NIVA's programforslag.

## 5. Referanser.

Alabaster, J. S. & Lloyd, R. (eds.) 1982. Water Quality Criteria for Freshwater Fish. Butterworths, London. 361 pp.

Andersen, C. 1979. Reguleringer og utvaskinger i Målselvvassdraget. I: Gunnerød, T & Mellquist, P. (red.), s. 116-136. Vassdragsregulerings biologiske virkninger i magasiner og lakseelver. Symp. 1978. NVE-DVF, 1978. 294 s.

Bachmann, R. W. 1958. The ecology of four North Idaho trout streams with reference to the influence of forest road construction. Masters Thesis. Univ. of Idaho.

Borgstrøm, R. 1973. The effect of increased water level fluctuation upon brown trout population in Mårvann, a norwegian reservoir. Norw. J. Zool 21: 101-112.

Borgstrøm, R., Brabrand, Å. & Solheim, J. T. 1986. Tilslamming og redusert siktedyp i Ringdalsmagasinet: Virkning på habitatbruk, næringsopptak og kondisjon hos pelagisk aure. LFI Rapport nr. 90, Universitetet i Oslo. 36 s.

Bjerknes, V., Aanes, K. J. & Bækken, T. 1991. Flomsikring av Vangsvatn. Miljøvirkninger av anleggsarbeid. NIVA-rapport nr. 2676. 36 s.

Bjerknes, V., Lydersen, E., Golmen, L. G., Hobæk, A. & Holtet, L. 1994. Nefrokalsinose hos regnbueørret i oppdrettsanlegg ved Trengereid. Miljømessige årsaker. NIVA-rapport nr. 3027. 22 s.

Bjerknes, V. & Liabø, L. 1995. Slamføring i Høvikelva under anleggsarbeid. Konsekvenser for Høvik Fiskeanlegg. NIVA-rapport nr. 3194.

Brett, J. R. 1958. Implications and Assessments of environmental Stress. In: Investigations of Fish-power Problems, pp. 69-83. H. R. MacMillan Lectures in Fisheries, University of British Columbia.

- Ellis, M. M. 1944. Water purity standards for freshwater fishes. Spec. sci. Rep. U.S. Fish Wildl. Serv. 2.
- Grande, M. & Wright, R. F. 1982. Hekni kraftverk. Vurdering av forhold i forbindelse med eventuell utbygging. NIVA rapport nr. 1438.
- Grande, M. 1986. Virkning av partikler på fisk. I: Nicholls, M. & Erlandsen, A. H. Foredrag fra seminar 22. og 23. mai 1986, Dombås, Norge, s. 71-91. Norsk Limnologiforening.
- Grande, M. 1992. Vassdragsforurensning fra vegtunnelbygging. Storrasshammeren, Snillfjord 1991. NIVA-rapport nr. 2802. 15 s.
- Heath, A. G. 1987. Water Pollution and Fish Physiology. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 245 pp.
- Herbert, D.W.M. & Richards, J.M. 1963. The growth and survival of fish in suspensions of solids of industrial origin. Int. J. Air. Wat. Poll. 7, 297-302.
- Hessen, D. O. 1988. Biologiske effekter av av partikler i vann. Limnos, 3-88. s. 1-7.
- Hessen, D. O. 1992. Uorganiske partikler i vann; effekter på fisk og dyreplankton. NIVA-rapport nr. 2787. 39 s.
- Hessen, D. O., Bjercknes, V., Bækken, T. & Aanes, K. J. 1989. Økt slamføring i Vetlefjordelva som følge av anleggsarbeid. Effekter på fisk og bunndyr. NIVA-rapport nr. 2226. 36 s.
- Hynes, H.B.N. 1971. The Biology of polluted Waters. Liverpool University Press. 202 pp.
- Jacobsen, P., Grande, M., Aanes, K. J., Kristiansen, H. & Andersen, S. 1987. Vurdering av årsaker til fiskedød ved G. P. Jægtvik A.S., Langstein. NIVA-rapport nr. 2038. 38 s.
- Matzow, D. 1994. Kompensasjonstiltak for fisk ved Hekni kraftverk, Otra. Brev fra Fylkesmannen i Aust-Agder til Direktoratet for naturforvaltning. Saksnr. 91/3578, Ark. nr. 832.021.Z.10, datert 14.12.94.
- NGI 1975. Retningslinjer for presentasjon av geotekniske undersøkelser. NGI, Oslo. 16 s.
- Skoglund, M. 1994. Sedimentutspyling i forbindelse med igangkjøringsprogrammet for Hekni kraftstasjon, versjon 2. SINTEF NHL, Trondheim.
- Swenson, W.A. & Matson, M.L. 1976. Influence of turbidity on survival, growth and distribution of larval lake herrings (*Coregonus artedii*). Trans. Am. Fish. Soc. 4, 541-545.
- Tjomsland, T. og Molvær, J. 1986. Test av en enkel matematisk spredningsmodell på Glomfjord. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Aass, P. 1979. Tilslammingen av Hallingdalselva 1966-67. Fisket i Ustedalsfjord og Strandafjord. I: Gunnerød, T. og Mellquist, P. (red.), s. 93-115. Vassdragsregulerings biologiske virkninger i magasiner og lakseelver. Symp. 1978. NVE-DVF, 1978. 294 s.

## SIKTING -PIPETTE ANALYSE

Prøve nr. SÅLE 1.260Total vekt 196.71

Sikter mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %
19,0	Pebbles (grus)			
16,0				
8,0		2.72	1.38	1.38
4,0		4.62	2.35	3.73
2,0		6.4	3.25	6.98
1,0	mg S	12.74	6.48	13.46
0,5	g A	26.57	13.51	26.97
0,25	m N	38.94	19.80	46.76
0,125	f D	40.8	20.74	67.51
0,063	mf	25.81	13.12	80.63
<0,063	beregnet	38.11		
	innveiet	27.74		

mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %
0,031	g S	10.32	5.25	85.87
0,016	m I	9.05	4.60	90.47
0,008	f L	7.05	3.58	94.06
0,004	mf T	4.79	2.44	96.49
0,002	C	3.17	1.61	98.10
<0,002	L L			
0,001	A E	2.02	1.03	99.13
0,0007	Y I	0.6	0.31	99.44
<0,0007	R	1.1	0.56	99.99

Sylinder nr. 1Prøve nr. SÅLE 1.260Disperg.midd. 1.25 P.analyse 27.74

Tid	1'56"	7'44"	31'	2t3'	8t10'	32t43'	32t43'
my	0.031	0.016	0.008	0.004	0.002	0.001	0.0007
Skål nr.1	1	2	3	4	5	6	7
Vekt m/skål	23.4001	23.399	23.3924	23.345	23.4149	23.3899	23.4022
Tara	23.1853	23.2501	23.2948	23.2823	23.3753	23.365	23.3817
	0.2148	0.1489	0.0976	0.0627	0.0396	0.0249	0.0205
-disp.	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
Matr.i skål	0.2023	0.1364	0.0851	0.0502	0.0271	0.0124	0.008
Vekt mell.fraksj.	7.51	6.59	5.13	3.49	2.31	1.47	0.44

0.0875  
0.5215  
0.8

Rest matr.	254.95
-tara	226.57
	28.38
	27.74



## SIKTING -PIPETTE ANALYSE

Prøve nr. SÅLE 2.800Total vekt 194.39

Sikter mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %	
19,0	Pebbles (grus)				
16,0					
8,0		7.82	4.02	4.02	-3
4,0		13.54	6.97	10.99	-2
2,0		8.92	4.59	15.58	-1
1,0	mg S	7.91	4.07	19.65	0
0,5	g A	11.13	5.73	25.37	1
0,25	m N	21.19	10.90	36.27	2
0,125	f D	30.06	15.46	51.74	3
0,063	mf	35.54	18.28	70.02	4
<0,063	beregnet	58.3			
	innveiet	32.88			

mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %	
0,031	g S	16.81	8.65	78.67	5
0,016	m I	16.84	8.66	87.33	6
0,008	f L	11.12	5.72	93.05	7
0,004	mf T	6.17	3.17	96.22	8
0,002	C	3.33	1.71	97.94	9
<0,002	L L				
0,001	A E	2.07	1.06	99.00	10
0,0007	Y I	0.46	0.24	99.24	11
<0,0007	R	1.49	0.77	100.01	12

Sylinder nr. 2Prøve nr. SÅLE 2.800Disperg.midd. 1.25 P.analyse 32.88

Tid	1'56"	7'44"	31'	2t3'	8t10'	32t43'	32t43'
my	0.031	0.016	0.008	0.004	0.002	0.001	0.0007
Skål nr.2	1	2	3	4	5	6	7
Vekt m/skål	23.6788	23.6278	23.554	23.5085	23.5148	23.518	23.5182
tara	23.4323	23.4763	23.4652	23.4545	23.4796	23.4945	23.4973
	0.2465	0.1515	0.0888	0.054	0.0352	0.0235	0.0209
-disp.	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
Matr.i skål	0.234	0.139	0.0763	0.0415	0.0227	0.011	0.0084
Vekt mell.fraksj.	9.48	9.5	6.27	3.48	1.88	1.17	0.26

0.0875  
0.5329  
0.84

Rest matr.	251.97
-tara	218.46
	33.51
	32.88

## SIKTING -PIPETTE ANALYSE

Prøve nr. SÅLE 3.520Total vekt 197.6

Sikter mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %	
19,0					
16,0	Pebbles (grus)	6.69	3.39	3.39	4
8,0		2.39	1.21	4.60	3
4,0		8.87	4.49	9.08	2
2,0		11.07	5.60	14.69	1
1,0	mg S g A m N f D mf	10.95	5.54	20.23	0
0,5		16.69	8.45	28.67	1
0,25		24.43	12.36	41.04	2
0,125		20.84	10.55	51.58	3
0,063		18.52	9.37	60.96	4
<0,063	beregnet	77.16			
	innveiet	31.3			

mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %	
0,031	g S m I f L mf T	12.52	6.34	67.29	5
0,016		12.57	6.36	73.65	6
0,008		12.92	6.54	80.19	7
0,004		11.76	5.95	86.14	8
0,002	C L L A E Y I R	9.61	4.86	91.01	9
<0,002					
0,001		7.96	4.03	95.04	10
0,0007		2.81	1.42	96.46	11
<0,0007		7	3.54	100.00	12

Sylinder nr. 3Prøve nr. SALE 3.520Disperg.midd. 1.25 P.analyse 31.30

Tid	1'56"	7'44"	31'	2'13'	8'10'	32'43'	32'43'
my	0.031	0.016	0.008	0.004	0.002	0.001	0.0007
Skål nr.3	1	2	3	4	5	6	7
Vekt m/skål	23.8153	23.7607	23.7302	23.679	23.6182	23.959	23.6762
Tara	23.5406	23.537	23.5589	23.5554	23.5336	23.9067	23.6353
	0.2747	0.2237	0.1713	0.1236	0.0846	0.0523	0.0409
-disp.	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
Matr.i skål	0.2622	0.2112	0.1588	0.1111	0.0721	0.0398	0.0284
Vekt mell.fraksj.	5.08	5.1	5.24	4.77	3.9	3.23	1.14

0.0875  
0.8836  
2.84

Rest matr.	242.11
-tara	210.53
	31.58
	31.30

## SIKTING -PIPETTE ANALYSE

Prøve nr. VEGG 1.260Total vekt 201.67

Sikter mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %	
19,0	Pebbles (grus)				
16,0					
8,0		2.24	1.11	1.11	-3
4,0		2.06	1.02	2.13	-2
2,0		4.57	2.27	4.40	-1
1,0	mg S	6.42	3.18	7.58	0
0,5	g A	19.02	9.43	17.01	1
0,25	m N	24.59	12.19	29.21	2
0,125	f D	32.17	15.95	45.16	3
0,063	mf	34.04	16.88	62.04	4
<0,063	beregnet	76.56			
	innveiet	42.84			

mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %	
0,031	g S	19.52	9.68	71.72	5
0,016	m I	20.09	9.96	81.68	6
0,008	f L	15.99	7.93	89.61	7
0,004	mf T	9.33	4.63	94.23	8
0,002	C	5.49	2.72	96.96	9
<0,002	L L				
0,001	A E	3.23	1.60	98.56	
0,0007	Y I	1	0.50	99.05	
<0,0007	R	1.91	0.95	100.00	2

Sylinder nr. 4Prøve nr. VEGG 1.260Disperg.midd. 1.25 P. analyse 42.84

Tid	1'56"	7'44"	31'	2t3'	8t10'	32t43'	32t43'
my	0.031	0.016	0.008	0.004	0.002	0.001	0.0007
Skål nr.4	1	2	3	4	5	6	7
Vekt m/skål	23.9757	23.8537	23.7627	23.6914	23.671	23.6284	23.7134
Tara	23.644	23.6344	23.6329	23.6138	23.6241	23.5996	23.6902
	0.3317	0.2193	0.1298	0.0776	0.0469	0.0288	0.0232
-disp.	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
Matr.i skål	0.3192	0.2068	0.1173	0.0651	0.0344	0.0163	0.0107
Vekt mell.fraksj.	10.92	11.24	8.95	5.22	3.07	1.81	0.56

0.0875  
0.7698  
1.07

Rest matr.	251.76
-tara	208.53
	43.23
	42.84

## SIKTING -PIPETTE ANALYSE

Prøve nr. VEGG 2.800Total vekt 158.33

Sikter mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %
19,0	Pebbles (grus)			
16,0				
8,0				
4,0			0.00	0.00
2,0			2.12	1.34
1,0	mg S	4.87	3.08	4.41
0,5	g A	12	7.58	11.99
0,25	m N	24.82	15.68	27.67
0,125	f D	30.25	19.11	46.78
0,063	mf	20.14	12.72	59.50
<0,063	beregnet	64.13		
	innveiet	22.84		

mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %
0,031	g S	12.69	8.01	67.51
0,016	m I	12.55	7.93	75.44
0,008	f L	12.19	7.70	83.14
0,004	mf T	10.81	6.83	89.96
0,002	C	7.36	4.65	94.61
<0,002	L L			
0,001	A E	4.44	2.80	97.42
0,0007	Y I	1.21	0.76	98.18
<0,0007	R	2.89	1.83	100.01

Sylinder nr. 5Prøve nr. VEGG 2.800Disperg.midd. 1.25 P.analyse 22.84

Tid	1'56"	7'44"	31'	2t3'	8t10'	32t43'	32t43'
my	0.031	0.016	0.008	0.004	0.002	0.001	0.0007
Skål nr.5	1	2	3	4	5	6	7
Vekt m/skål	23.9265	23.8472	23.82	23.8052	23.7786	23.7629	23.7801
Tara	23.7308	23.6962	23.7124	23.7361	23.7357	23.7358	23.7573
	0.1957	0.151	0.1076	0.0691	0.0429	0.0271	0.0228
-disp.	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
Matr.i skål	0.1832	0.1385	0.0951	0.0566	0.0304	0.0146	0.0103
Vekt mell.fraksj.	4.52	4.47	4.34	3.85	2.62	1.58	0.43

0.0875  
0.5287  
1.03

Rest matr.	231.65
-tara	208.18
	23.47
	22.84



## SIKTING -PIPETTE ANALYSE

Prøve nr. VEGG 3.520Total vekt 173.33

Sikter mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %	
19,0	Pebbles (grus)				
16,0					
8,0					
4,0		1.27	0.73	0.73	-2
2,0		2.98	1.72	2.45	-1
1,0	mg S	6.57	3.79	6.24	0
0,5	g A	14.66	8.46	14.70	1
0,25	m N	24.2	13.96	28.66	2
0,125	f D	30.42	17.55	46.21	3
0,063	mf	34.31	19.79	66.01	4
<0,063	beregnet	58.92			
	innveiet	35.41			

mm		Vekt i g	Vekt %	Kumulativ %	
0,031	g S	15.96	9.21	75.21	5
0,016	m I	16.01	9.24	84.45	6
0,008	f L	11.4	6.58	91.03	7
0,004	mf T	6.79	3.92	94.95	8
0,002	C	3.89	2.24	97.19	9
<0,002	L L				
0,001	A E	2.5	1.44	98.63	0
0,0007	Y I	0.73	0.42	99.05	1
<0,0007	R	1.65	0.95	100.01	2

Sylinder nr. 6Prøve nr. VEGG 3.520Disperg.midd. 1.25 P.analyse 35.41

Tid	1'56"	7'44"	31'	2t3'	8t10'	32t43'	32t43'
my	0.031	0.016	0.008	0.004	0.002	0.001	0.0007
Skål nr.6	1	2	3	4	5	6	7
Vekt m/skål	24.0273	23.9464	23.8952	23.8272	23.827	23.8294	23.8349
Tara	23.7566	23.7719	23.7892	23.762	23.7852	23.8026	23.8125
	0.2707	0.1745	0.106	0.0652	0.0418	0.0268	0.0224
-disp.	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
Matr.i skål	0.2582	0.162	0.0935	0.0527	0.0293	0.0143	0.0099
Vekt mell.fraksj.	9.59	9.62	6.85	4.08	2.34	1.5	0.44

0.0875  
0.6199  
0.99

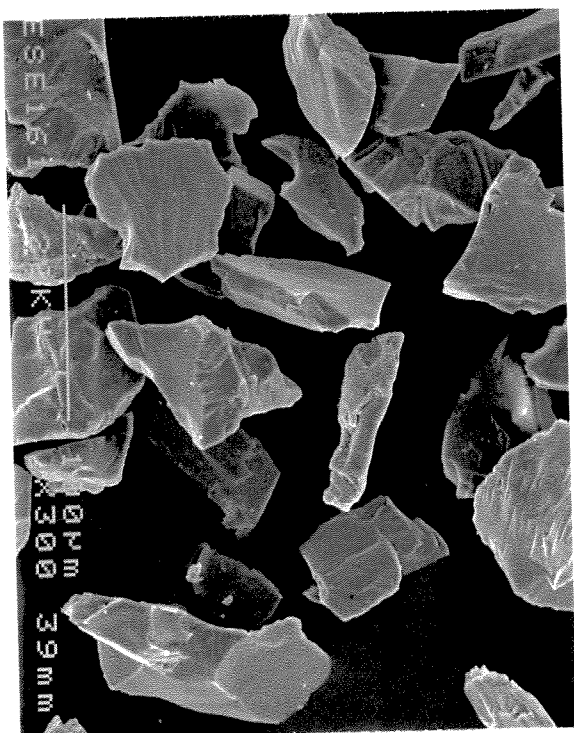
Rest matr.	243.49
-tara	207.54
	35.95
	35.41



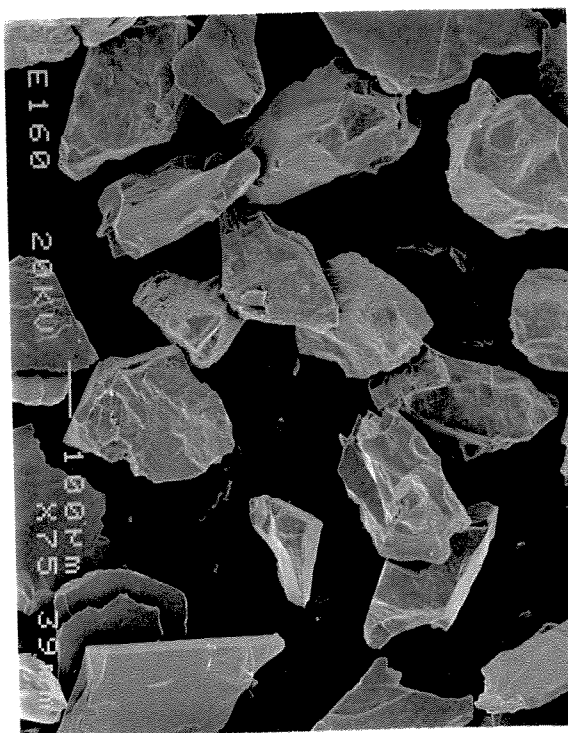




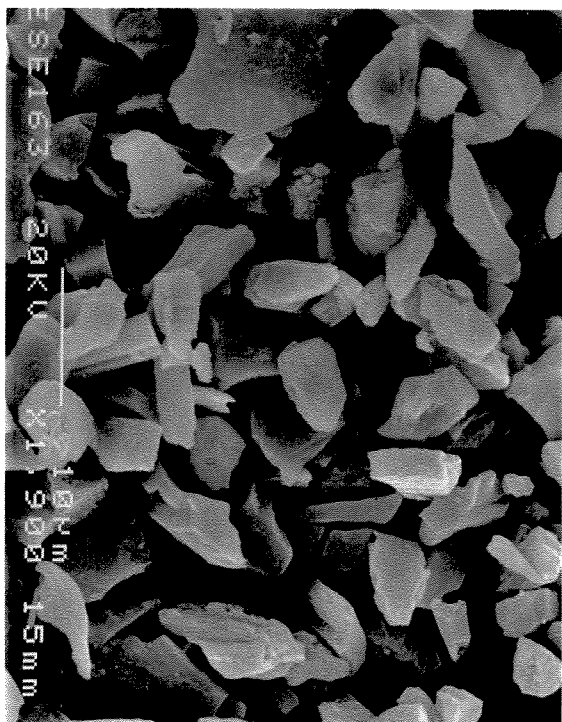
45-63  $\mu$ m



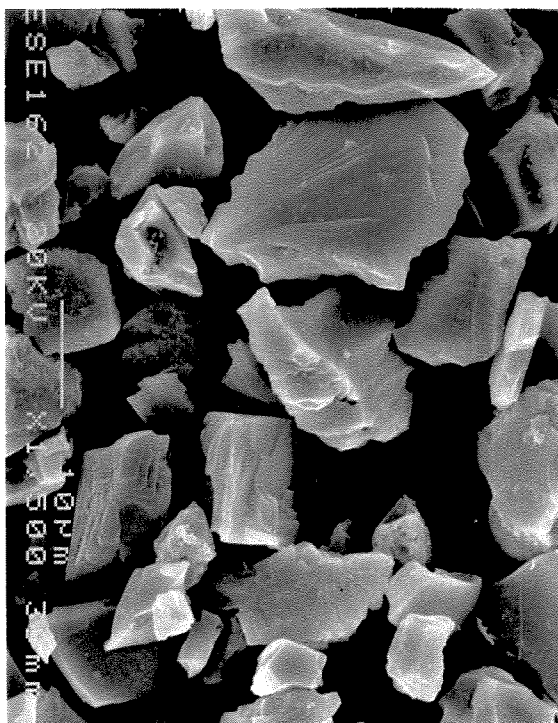
125-250  $\mu$ m



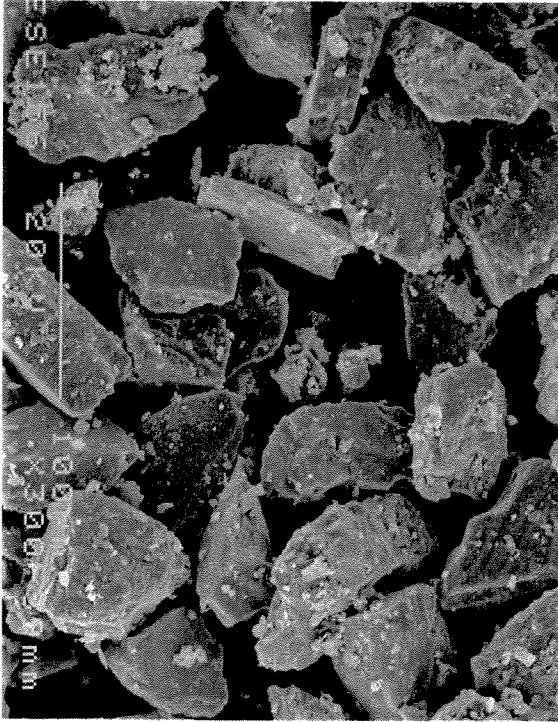
4-5  $\mu$ m



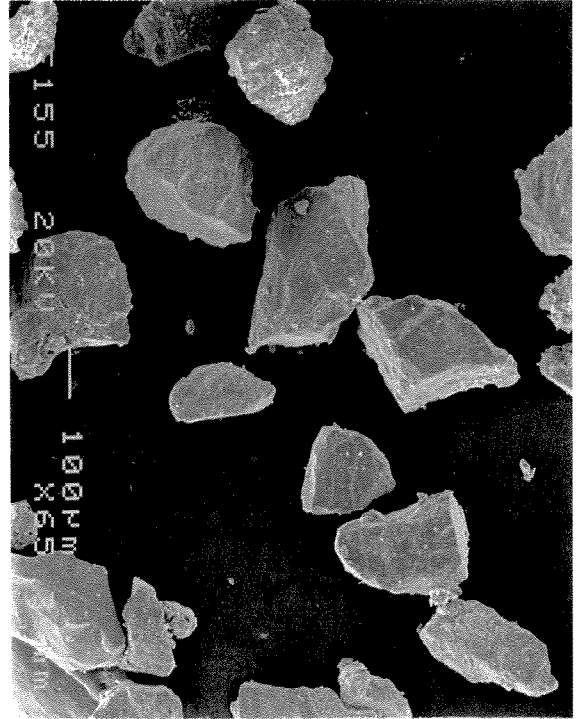
10-20  $\mu$ m



45-63  $\mu$ m



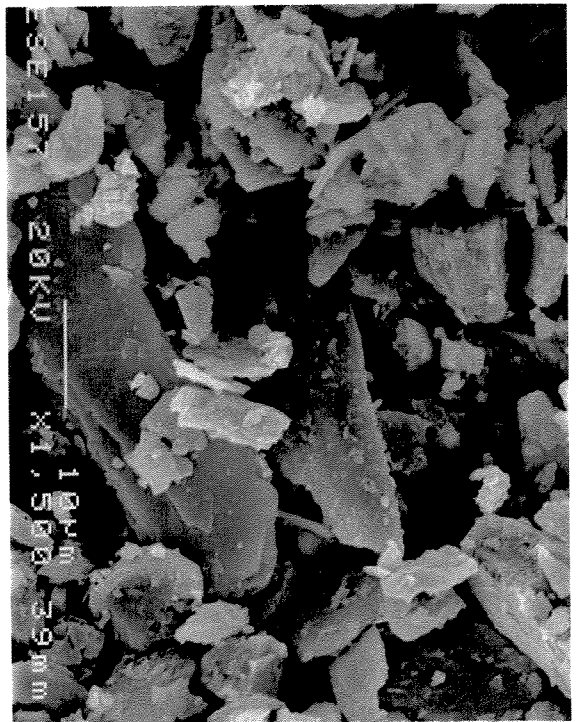
125-250  $\mu$ m



4-5  $\mu$ m

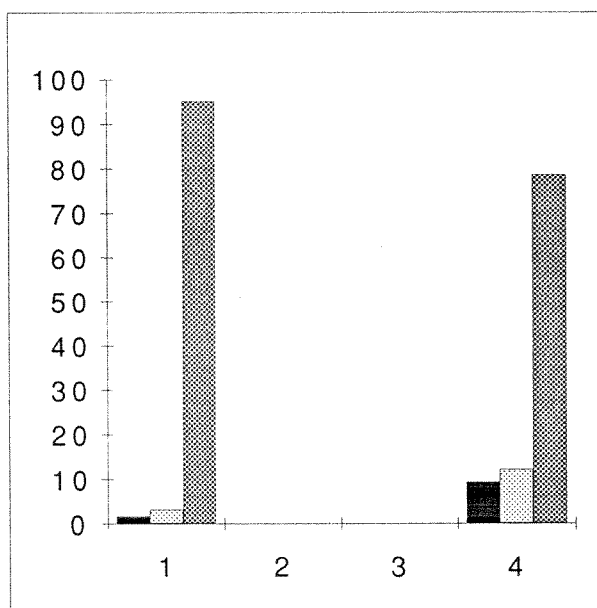


10-20  $\mu$ m



**Vegg 2800**(125-250  $\mu\text{m}$ )**Såle 2800**(125-250  $\mu\text{m}$ )

<u>Mineraler</u>	<u>Prosent</u>	<u>Prosent</u>
Glimmer	1,7	9,3
Mørke mineraler (hovedsakelig: amfibol, hornblende, malmer)	3,2	12,1
Lyse mineraler (hovedsakelig: kvarts, feldspat)	95,1	78,6





---

**NIVA**



**Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2722-9