

# Bruk av aktivert-karbon til drikkevannsrensing

Av Eilen A. Vik og Ragnar Storhaug.

Eilen Arctander Vik, Ph.D. og Siv.ing. Ragnar Storhaug er ansatt i Aquateam - Norsk vannteknologisk senter A/S.

*Fra en presentasjon på Nedre Romerike Vannverk, Hauglifjell, 11. mai 1992.*

## Sammendrag

Artikkelen er et sammendrag av generell informasjon om aktivert karbon og dets bruk i drikkevannssammenheng, spesiell informasjon fra norske vannverk og resultater fra norsk forskning. Artikkelen er basert på et foredrag som ble gitt på Nedre Romerike Vannverk i mai i år. I artikkelen presenteres informasjon fra de norske vannverkene (>100 pe) som benytter filtrering med aktivert karbon (GAC). Disse er:

- \* Sarpsborg - Tune vannverk, GAC fra 1977
- \* Nedre Romerike Vannverk (NRV), fra 1982
- \* Vansjø vannverk, fra 1985.

Man har ikke ved noen av disse vannverkene karakterisert de spesifikke stoffene man ønsker å fjerne. Det er derfor ikke etablert noe eget internkontrollprogram for å bestemme regenereringstidspunktet for karbonet. I

dag regenereres karbonet etter en bestemt tid, uten at man vet om dette er for ofte eller for sjelden.

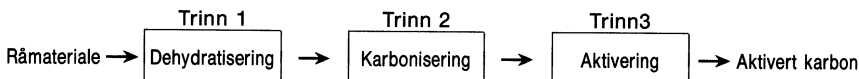
I artikkelen presenteres typiske lukt- og smaksstoffer som forekommer i drikkevannsanlegg. Praktiske resultater fra forsøkskjøring med vann fra Mjøsa (på Stange vannverk) for fjerning av algeproduserte lukt- og smaksstoffer er presentert. Litteraturreferansene er gitt til relevante nasjonale og internasjonale publikasjoner. Mye av det arbeidet som er presentert, ble utført gjennom NTNFs Utvalg for drikkevannsforskning. Disse rapportene er tilgjengelige gjennom NORVAR.

## Generelt om aktivert-karbon

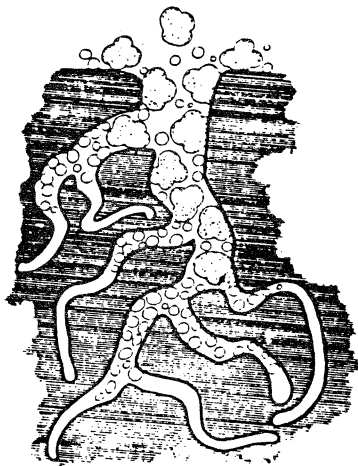
Aktivert-karbon framstilles ved aktivering av ulike karbontyper, bl.a. tre, kull, torv, lignin og kokosnøttskall.

Framstilling av aktivert-karbon skjer i en tre-trinns prosess, se figur 1.

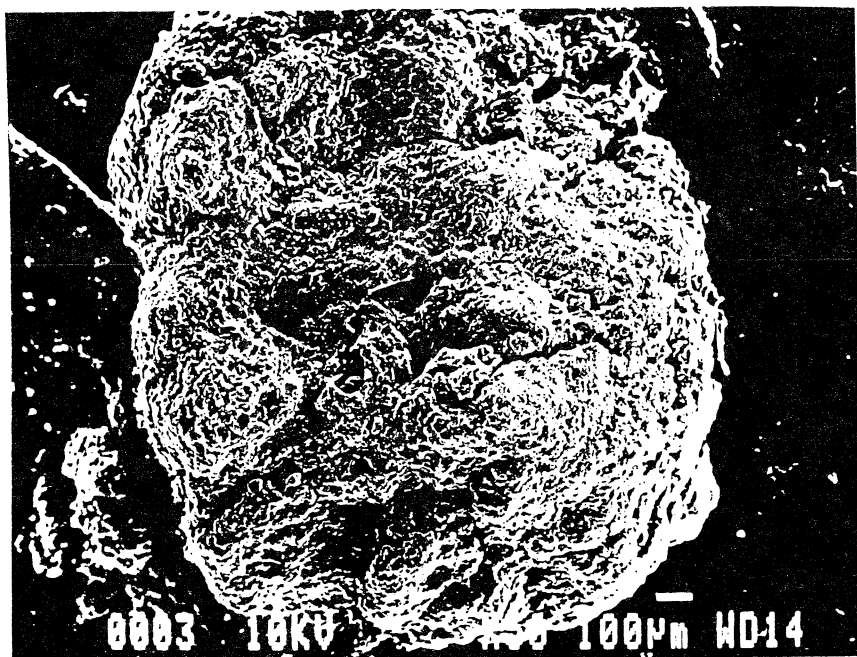
Råmaterialet dehydreres i trinn 1 gjennom langsom oppvarming (opp til 120°C) uten tilgang på oksygen. I karboneringsprosessen (trinn 2) overføres råstoffet til elementært karbon, bestå-



Figur 1. Skjematisk presentasjon av aktiveringsprosessen.



Figur 2. Skjematisk fremstilling av poredannelser i en karbonpartikkel etter aktiveringsprosessen.



Figur 3. Elektronmikroskopbilde av en karbonpartikkel.

Tabell 1. *Fysiske hovedforskjeller mellom granulert- og pulverisert aktivert-karbon (GAC og PAC).*

Fysiske data	GAC	PAC
Volumvekt (tørrvolum) (g/cm <sup>3</sup> )	0,42—0,48	0,32—0,72
Overflateareal (m <sup>2</sup> /g)	650—1150	500—600
Midlere partikkelstørrelse (mm)	1,2—1,6	<0,1

ende av en blanding av tjære, amorf karbon og krystallinsk karbon. Dette skjer ved en temperatur på 270—280°C. I denne perioden kan porene tettes igjen av tjære og andre avfallsstoffer som fjernes i aktiveringsprosessen (trinn 3).

Aktiveringen er en to-stepsprosess som innebærer at amorfe avfallsstoffer (tjære) brennes, og porene i det karboniserte materialet utvides. Brenningen frigjør poreåpningene og øker poreantallet. Normalt benyttes damp eller CO<sub>2</sub>, som aktiveringsmiddel (damp er mest benyttet). Dampen har en temperatur på fra 750 til 950°C. Figur 2 viser poredannelsen i en aktivert karbonpartikkel, og figur 3 viser et elektronmikroskopbilde av en karbonpartikkel.

Karbonpartiklene har på grunn av sin porøse struktur svært stor overflate. Avhengig av råstofftypen som benyttes ved framstillingen og framstillingsprosessen, varierer overflaten på karbonpartiklene i området 500—1400 m<sup>2</sup>/g. Hoveddelen av arealet som er tilgjengelig for adsorpsjon er arealet av poreveggene. Diameteren på porene er av molekyllstørrelse. Dette betyr at store molekyler ikke vil klare å trenge inn i de minste porene.

### **Anvendelse av aktivert-karbon ved behandling av drikkevann**

To utforminger av aktivert-karbon benyttes i drikkevannsrensing:

- granulert aktivert-karbon (GAC)
- aktivert-karbon i pulverform (PAC)

Fysiske hovedforskjeller mellom GAC og PAC er vist i tabell 1.

PAC er ikke i bruk i drikkevannsrensing (anlegg >100 pe) i Norge, men i utlandet benyttes PAC i stor grad i små anlegg som periodevis har problemer med lukt og smak. PAC tilsettes vann som tørr vare eller utblandet i slurry. Etter en viss kontakttid, filtreres karbonet fra vannet. PAC kan ikke regenereres (1).

GAC er regenererbart og benyttes i hovedsak i to-prosess-sammenhenger og i kombinasjon av disse (fig. 4).

#### *Aktivert-karbon filtrering*

GAC kan erstatte deler av eller all filtermassen i f.eks. et hurtigsandfilter. GAC-filteret har da som hovedoppgave å fjerne partikler (turbiditet), men vil også fjerne løste organiske forbindelser.

#### *Aktivert-karbon adsorpsjon (kontakt-kolonne)*

Kontaktkolonnen er normalt plassert som siste trinn i en vannbehandlingsprosess, og «alle» partikler er fjernet i

Tabell 2. *Generelle opplysninger om norske vannverk med filtrering gjennom aktivert-karbon.*

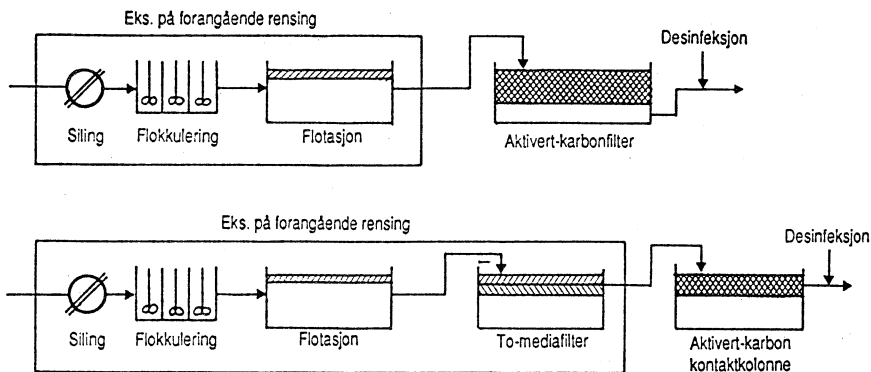
Navn	Kilde	Driftsstart	Prosess	Belastning		Diverse
				Dimensjonering (m <sup>3</sup> /d)	Dagens belastning (m <sup>3</sup> /d)	
Sarpsborg-Tune fellesvannverk	Glomma	1965 Aktivert karbon fra 1977	Siling Koagulering - Al-sulfat - Polymer Sedimentering Aktivert karbon-filtrering Klorering	35 000	19 000-20 000	Anlegget måtte ta i bruk filter med aktivert-karbon for å fjerne lukt og smak
Vansjø vannverk	Vansjø	1985	Mikrosiling Karbonatisering - kalk - CO <sub>2</sub> Koagulering - Al-sulfat - Polymer Filtrering (3-mediafilter) Aktivert karbon-filtrering Klorering Korrosjons-kontroll	45 000	20 000	Filter med aktivert-karbon tatt i bruk for å fjerne lukt og smak
Nedre Romerike vannverk	Glomma	1982	pH-justering - lut Koagulering - Al-sulfat - Polymer Sedimentering Sandfiltrering Aktivert karbon-filtrering pH-justering	50 000	35 000	Filter med aktivert-karbon tatt i bruk for å fjerne organiske mikroforurensninger

Tabell 3. *Spesielle opplysninger om aktivert-karbonfiltre brukt ved norske vannverk.*

Navn	Karbon-type	Antall filter (m <sup>2</sup> )	Areal pr. filter (m <sup>2</sup> )	Dybde av filter-seng (m/h)	Filterhastighet		Kontaktid		Tilbake-spyling	Regenerering
					Dim. (m/h)	Dagens bel. (m/h)	Dim. (min.)	Dagens bel. (min.)		
Sarpsborg-Tune felles-vannverk	Filtra-sorb F-200	4	50	1.0	7.3	4-4.8	8.2	12.5-15	Hver 2. dag (ca. 200 filtervolum)	Hvert 2. år (ca. 70.000 filtervolum)
Vansjø vannverk	Filtra-sorb F-200	6	36	1.5	9.2	3.85	10.4	23	1 gang/uke (ca. 925 filtervolum)	1) Hvert 2. år (ca. 45.000 filtervolum)
Nedre Romerike vannverk	Filtra-sorb F-200	4	80	1.0	6.5	4.6	9.2	13.2	1 gang/uke (ca. 770 filtervolum)	2)

1) Anlegget har vært i drift i ca. 2 år, første filter ble regenerert høsten 1988.

2) Aktivert karbon skiftet ut i 1987.



Figur 4. Eksempel på bruk av aktivert-karbon i drikkevannsrensing.

prosessene foran (fig. 4). GAC-kontaktkolonnen skal først og fremst fjerne lukt- og smakstoffer, samt andre organiske mikroforurensninger. Tilbakespylings-frekvensen er derfor betydelig lavere enn for GAC-filtret.

### Aktivert-karbon i norske drikkevannsbehandlingsanlegg

Det er i dag tre norske vannverk (>100 pe) som benytter aktivert-karbon (2), se tabell 2. Alle 3 vannverk har en råvannskvalitet som gjør det nødvendig med fullrensing. På Vansjø og Nedre Romerike passerer vannet hurtigsandfilter før det ledes inn på aktivert-karbon filtrene. Filtrene spyles derfor mindre hyppig på disse anleggene sammenlignet med Sarpsborg-Tune. Spyling 1 gang pr. uke er normalt. Tabell 3 gir en oversikt over drifts- og dimensjoneringsparametre for aktivert-karbonfiltrene på de tre anleggene.

*Lukt- og smakstoffer* i drikkevannet er kanskje den viktigste grunnen til at aktivert-karbon anvendes i drikkevannsrensing. Lukt- og smaksproblemer er svært vanlig i vannforsyning. I

Norge har vi ingen full oversikt over omfanget av problemet. Eksempelvis kan det imidlertid nevnes at i en spørreundersøkelse til 120 vannverk i USA og Canada (3) i 1974, svarte 85% av de vannverkene som brukte overflatevann som råvannskilde og 40% av de som brukte grunnvann at de periodevis hadde lukt- og smaksproblemer. Lukt og smak kan skyldes en mengde ulike forhold. Stoffene kan dannes i råvann, i vannbehandlingen eller i ledningsnettet. Tabell 4 viser de vanligste kildene til kraftige lukt- og smaksstoffer, og gir noen eksempler på stoffer som kan være årsaken til problemene.

Spesielt for lukt- og smaksstoffer er at konsentrasjonene som forårsaker lukt og smak er meget lave. Eksempel på lukterskelen for en del stoffer er gitt i tabell 5.

Noen generaliseringer kan gi:

#### \* *Naturlig lukt og smak:*

- Jordaktig, muggen, råtten, sur og treaktig. Kan assosieres med organismer som aktinomyceter.
- Agurkaktig, fisk- og grasaktig; alger.

Tabell 4. *Opprinnelse til lukt og smak i drikkevann (4).*

<i>Kilder til lukt og smak</i>	<i>Eksempler</i>
1. Alge- og mikrobiell produserte produkter i råvann	Metylisoborneol, geosmin, 2-iso-propyl-3-metoksyppyrasen, 2-isobutyl-3-metoksyppyrasen
2. Industrielle forurensninger i råvann	Alkylbensener, klorbensener, alkaner, bensalaldehyd, bensothiasol
3. Vannbehandlingsprodukter	Klorin, klorfenoler, nitrogen triklorid
4. Mikrobielle- og korrosjonsprodukter i ledningsnett	

— Astringent, metallisk og råttent egg: Jern- og svovel mikroorganismer.

\* *Industriell lukt og smak*

Klorfenoler, hydrokarboner, jod, medisinsaktig eller petroleum.

**Fjerning av algeprodusert lukt- og smaksstoffer med aktivert-karbon**

I et relativt omfattende forsøksopplegg i forbindelse med planlegging av nytt vannverk til Hamarregionen, ble det i 1984 igangsatt en litteraturstudie med etterfølgende pilotforsøk (1986—88) med fjerning av de lukt- og smaksstoffene som var påvist i Mjøsa i forbindelse med store algeoppblomstringer (6,7,8,2). Disse stoffene forekommer ikke i Mjøsa hvert år til bestemt tid, men bare av og til uten at man foreløpig kan forutsi når. To parallelle prosesslinjer ble studert i pilotforøk (se figur 5).

Lukt- og smaksstoffene geosmin og metylisoborneol (MIB) som er påvist i Mjøsa, er i dag såpass vanlige at de kan produseres i laboratorium eller kjøpes kommersielt. Disse ble derfor dosert til anlegget for å kunne bestemme de ulike prosessenes effektivitet. Før valg av kar-

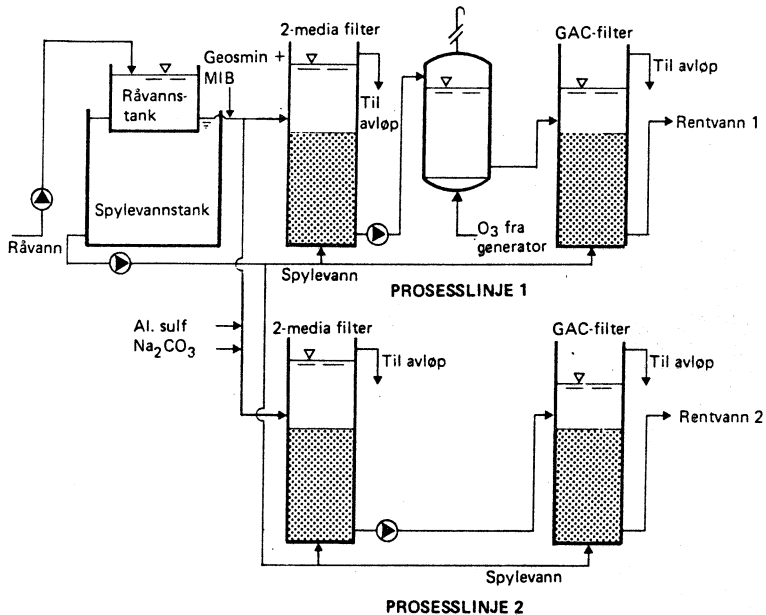
bontype til filteret, ble forstudier (isotermforsøk) kjørt på Folkehelsa (6). Ulike karbontypers adsorpsjonskapasitet mhp. geosmin (se fig. 6) ble bestemt. Av figuren går det fram at F-400 hadde den største kapasiteten mhp. geosmin. Denne karbontypen ble valgt til forsøkene. Den høye adsorpsjonskapasiteten som denne karbontypen har, kan forklares ut fra det store overflatearealet som utgjøres av mikroporene i karbonpartikkelen. Resultatene behøver ikke være det samme i større skala. Dersom lukterskelen for geosmin er ca. 10 µg/l, kan man teoretisk fastslå at F-400 har en adsorpsjonskapasitet på ~0,5 mg/g karbon.

Det er kjent at naturlige organiske stoffer, f.eks. humus, vil innvirke på resultatene ved at adsorpsjonskapasiteten reduseres. F-400 er regenererbart karbon. For et konvensjonelt filter med aktivert karbon vil ca. 75% av driftsutgiftene gå med til regenerering. Det er derfor nødvendig å finne en teknisk løsning som gir lengst mulig brukstid før filterene må regenereres. Mesteparten av vannets organiske stoff er humus. Dersom disse for-osenes, blir

Tabell 5. Luktterskel for en del ulike stoffer i vann (5)

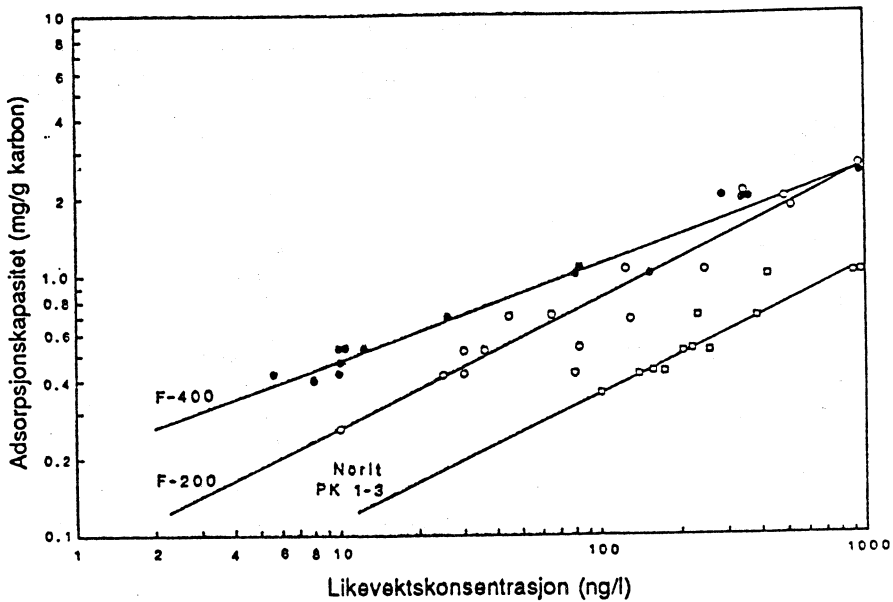
Forbindelse	Luktterskelkonsentrasjon (mg/l)
2-Oktanol	10,13
Styren	0,15
Etylbensen	0,10
p-Diklorbensen	0,15
Kloroform	20,00
Nonanal	0,001
Metylsulfid	0,003
Geosmin	0,00005 <sup>1</sup>
Metylisborneol (MIB)	0.000005 <sup>1</sup>
Trikloretan	2,60
Tetrakloretan	2,80
Diklormetan	24,0
Toluen	0,14

1) Generelt diskuterer man en luktterskel på 10 µg/l for geosmin og 29 µg/l for MIB (7).

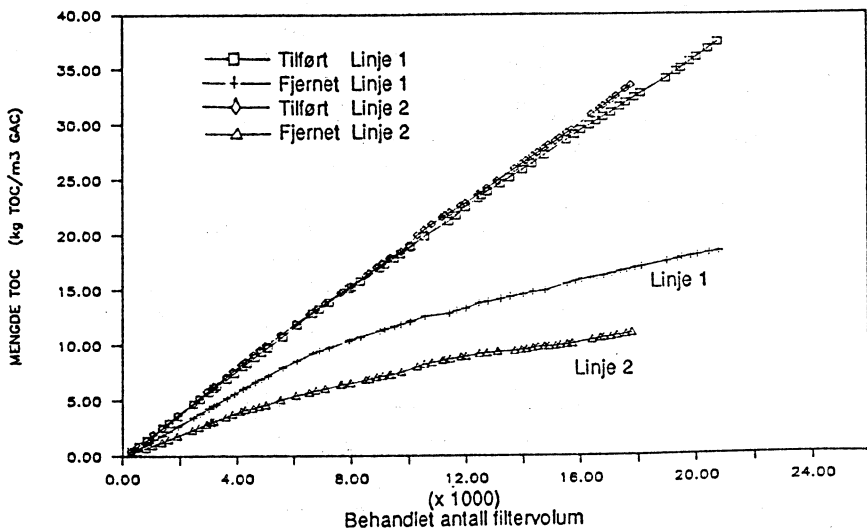


Linje 1: Filtrering i to-media filter + osonering + aktivert karbon  
 Linje 2: Filtrering i to-media filter + aktivert karbon.

Figur 5. Flytskjema for pilotanlegget på Frangstøa.

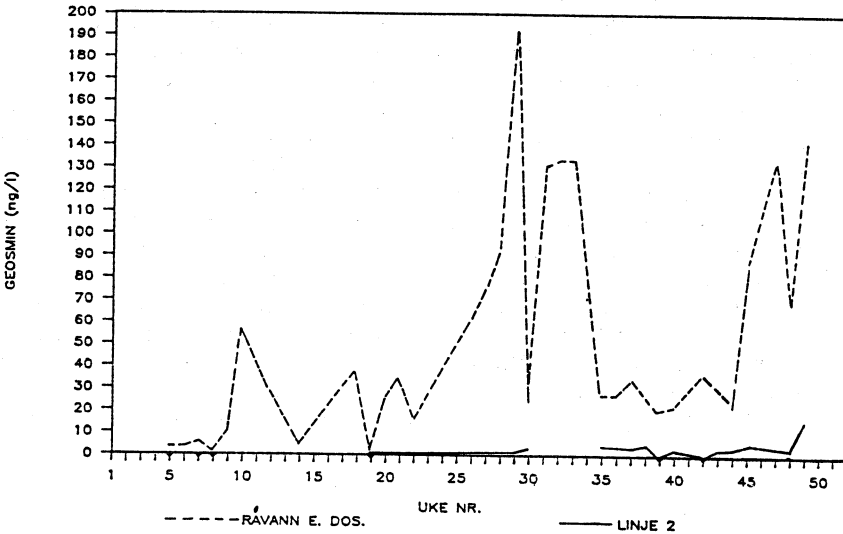
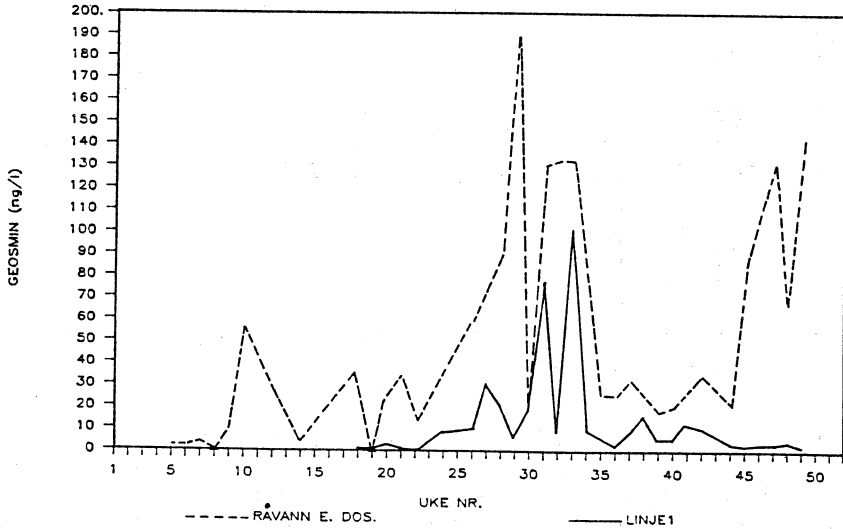


Figur 6. Resultater fra isotermforsøk (6): Ulike karbontypers adsorpsjonskapasitet mhp. ulike likevektkonsentrasjoner av geosmin.

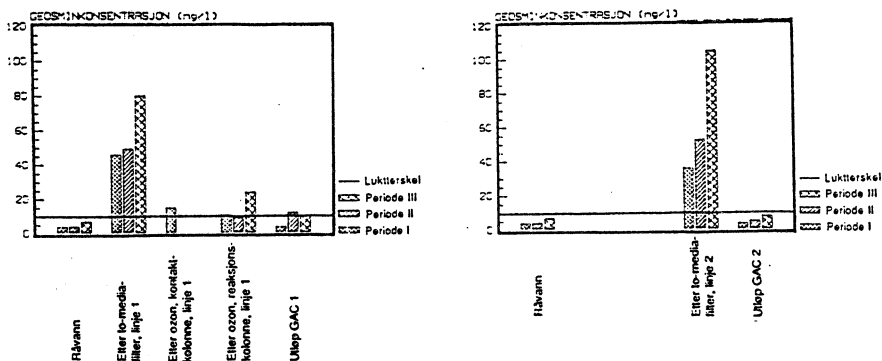


Figur 7. Akkumulert opptak av totalt organisk karbon (TOC) i GAC-filter 1 og 2 som funksjon av behandlet filtervolum.





Figur 8. Geosmin-konsentrasjonene i rå- og rentvann ved kontinuerlig forsøkskjøring over ca. 1 år.



Figur 9. Geosmin-konsentrasjonene ulike steder i anleggets linje 1 og 2 under tre ulike forsøksperioder.

de oksidert til ulike lavmolekylære forbindelser. En del av disse er lett biologisk nedbrytbare, og spaltes til mindre molekyler som er lettere adsorbable til karbonet ved at de utnyttes porekapasiteten bedre (10). Økt biologisk aktivitet i filteret gir også omsetning av karbon til  $\text{CO}_2$ , og derved mulighet for å kunne drive filterne lengre tid mellom hver regenerering. Figurene 7—9 viser eksempler på resultatene fra forsøkene.

Av figur 7 går det fram at linje 1, som har pre-ozonering foran filteret, har 28% større kapasitet for fjerning av TOC enn linje 2. Detaljerte studier av filterne verifiserte at dette filtret (GAC 1) også hadde betydelig høyere biologisk omsetning enn GAC 2. Ved gjennomgang av rensresultatene for geosmin og MIB, eksempel gitt i fig. 8 og 9,

kunne man ikke finne noen større kapasitet i GAC 1 enn i GAC 2. Omtrent samme resultat ble oppnådd i begge. Dersom man så ser tilbake på de filterne som er i bruk i Norge, tabell 2—3, skal man merke seg at filterne i hovedsak anvendes for å sikre seg mot uspesifiserte lukt- og smaksstoffer og uspesifiserte organiske mikroforurensninger. Her vet man ikke hva man skal analysere på for å bestemme dimensjoneringskriterier, velge karbontype eller velge regenereringstidspunkt. I et NORVAR-prosjekt avsluttet i 1991 (9), ble ulike anvendte metoder for å bestemme regenereringstidspunkt for karbonet vurdert. I en etterfølgende studie i 1992, gjennomgås GAC-filtrene på Vansjø. For filtre der man fjerner uidentifiserte organiske stoffer, er dette ikke helt enkle spørsmål å besvare.

#### Referanser:

- (1) AWWA (1976): Introduction to Water Treatment, Vol. 2: Principles and Practices of Water Supply Operations, American Water Works Association, ISBN 0-89867-180-9.

- (2) Storhaug, R. (1989): Fjerning av algeprodusert lukt og smak i drikkevann. Forsøk i pilotskala ved Stange vannverk. Sluttrapport, NTNFs Utvalg for drikkevannsforskning. Drikkevannsrapport 28/29. januar.
- (3) AWWARF (1976): Handbook of Taste and Odor Control Experiences in the U.S. and Canada. American Water Works Association.
- (4) Bartels, J.H.M.; Burlingame, G.A. and Suffet, I.H. (1986): Flavor Profile Analysis: Taste and Odor Control of the Future, Journ. AWWA, 50 (3), 50.
- (5) Montgomery, James M., Consulting Engineers, Inc. (1985): Water Treatment Principles and Design. John Wiley & Sons.
- (6) Næs, H. (1987): Factors Influencing Geosmin Production by the Cyanobacterium *Oscillatoria brevis* and the Removal of Geosmin and 2-Methylisoborneol from Drinking Water. Dissertation for the Dr.Scient. degree in Plant Physiology, Department of Biology, the Pythron, University of Oslo.
- (7) Vik, E.A. (1984): Drikkevannsforsyning til Hamar-regionen. Lukt- og smaksproblemer på grunn av geosmin og 2-metylisoborneol - Litteraturstudium. NTNFs Utvalg for drikkevannsforskning, Drikkevannsrapport 11/84.
- (8) Storhaug, R. (1987): Fjerning av algeprodusert lukt og smak i drikkevann. Forsøk i pilotskala ved Stange vannverk. Delrapport 1, NTNFs Utvalg for drikkevannsforskning, Drikkevannsrapport 24/87, oktober.
- (9) Storhaug, R. (1991): Driftsovervåking av aktivert-karbonfiltre. NORVAR Prosjektrapport 15/91.
- (10) Fløgstad, H. og Brattebø, H. (1986): Behandling av humusvann med ozon/GAC. Prosjektrapport 54/86, NTNFs Program for VAR-teknikk.