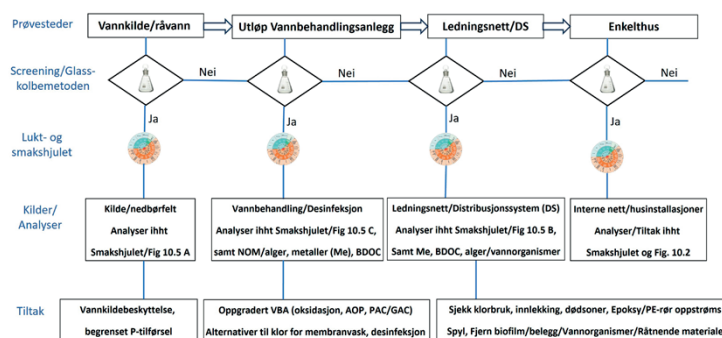
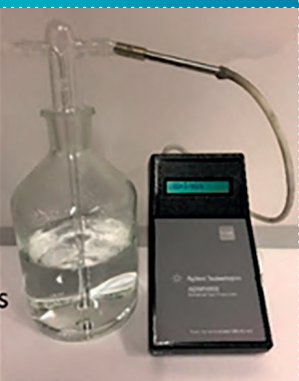




# LOSINOR – Lukt- og smaksproblemer i norsk drikkevann



# Norsk Vann Rapport

Det utgis tre typer rapporter:

## Rapportserie A

Dette er de opprinnelige hovedrapportene.

Dette kan være:

- Rapportering av prosjekter som er gjennomført innenfor organisasjonens eget prosjektsystem
- Rapportering av spleiselagsprosjekter hvor to eller flere andelseiere i Norsk Vann BA samarbeider for å løse felles utfordringer
- Rapportering av prosjekter som er gjennomført av andelseiere eller andre.  
Rapporten vil i slike tilfeller kunne være en ren kopi av originalrapporten eller noe bearbeidet

Fortløpende nummer xx-årstall

## Rapportserie B

Dette er en serie for «enklere» rapporter, for eksempel forprosjekter, som vil være grunnlag for videre prosjektvirksomhet mm.

Fortløpende nummer Bxx-årstall

## Rapportserie C

Dette er rapporter delfinansiert av Norsk Vann, men som er utgitt av andre.

Fortløpende nummer Cxx-årstall

Forsidefoto:

Colourbox.com



Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2321 Hamar  
Tlf: 62 55 30 30 E-post: [post@norsk vann.no](mailto:post@norsk vann.no)  
[www.norsk vann.no](http://www.norsk vann.no)



Prosjektresultatene fra Norsk Vann Rapport (serie A og B) kan fritt benyttes internt i egen organisasjon. Når prosjektresultatene benyttes i skriftlig materiale, må kilde oppgis. Videre salg/ formidling av resultatene utover dette er kun tillatt etter skriftlig avtale med Norsk Vann BA.

Norsk Vanns rapporter utarbeides i samspill mellom rådgiver, styringsgruppe og referansegruppe for prosjektet og er ikke behandlet i Norsk Vanns styrende organer. Norsk Vann har ikke ansvar for feil eller ufullstendigheter som måtte forekomme i rapporten og kan ikke stilles økonomisk eller på annen måte til ansvar for problemer som måtte oppstå som følge av bruk av rapporten.

# Norsk Vann Rapport

## Ekstrakt

### Hovedproblemstillinger og mål

LOSiNOR prosjektet har hatt følgende hovedproblemstillinger og mål:

1. Optimalisere analysemetoder
2. Etablere en analyseplattform for lukt- og smaksstoffer
3. Finne årsakssammenhenger og kilder til lukt og smak
4. Avhjelpe vannverkernes problemstillinger
  - a. Identifikasjon av ukjente stoffer
  - b. Kvalitativ og kvantitativ stoffbestemmelse
  - c. Utrede aktuelle tiltak
5. Bygge kompetanse og fagmiljø

Gjennom prosjektet er det etablert kunnskap og metodikk (en plattform) for analyser av lukt og smak i drikkevann med deteksjonsgrenser som er svært lave, inkludert metodikk for identifisering av ukjente stoffer. Følgelig gir dette vannverkene er godt verktøy for systematisk arbeid med å identifisere årsakene til lukt- og smaksproblemer. Rapporten beskriver dette arbeidet.

Rapporten har et eget kapittel/veikart med anbefalinger for håndtering av lukt- og smaksproblemer i drikkevannsforsyningen. Har du et problem med lukt- og smak – start med å gå gjennom dette veikartet. Her er det også samlet en del rapporterte erfaringer med lukt- og smaksepisoder, noe som kan være til hjelp i et ofte komplekst og vanskelig arbeid med sporing av årsaker og identifikasjon/iverksetting av tiltak mot lukt- og smaksproblemer i drikkevann.

## Norsk Vann BA

Adresse: Vangsvegen 143, 2321 Hamar  
Telefon: 62 55 30 30  
E-post: post@norskvann.no  
Internettadresse: norskvann.no

## Rapportens tittel

LOSiNOR - Lukt- og smaksproblemer i norsk drikkevann.

## Forfattere

Bjørnar Eikebrokk, Kolbjørn Zahlsen,  
Gunhild Hageskal, Trude Guldberg og Cathrine Løvmo.

**Rapportnummer: 278/2023**  
**ISSN 1890-8802** (elektronisk utg.)  
**ISSN 1504-9884** (trykt utg.)  
**ISBN 978-82-414-0476-4**

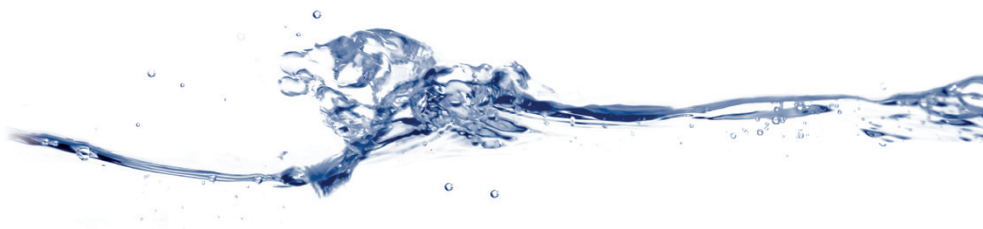
## Emneord, norsk

Lukt  
Smak  
Drikkevann  
Norske vannverk

## Emneord, engelsk

Odour  
Taste  
Drinking water  
Norwegian Waterworks

# Forord



Bakgrunnen for igangsettelse av prosjektet var vannverkernes store behov for et fagmiljø som kunne være behjelpelig med å løse problemstillinger knyttet til lukt- og smaksproblematikk i drikkevann. Over tid har vannverkene erfart at det stadig foreligger et kunnskapsbehov for i hvilken grad stoffer av mikrobiologisk opprinnelse, ulike kjemiske forbindelser og stoffer av ukjent opprinnelse bidrar til lukt og smak. Det er i stor grad et behov for identifikasjon av "nye" miljøforurensninger og kjemiske forbindelser som vi hittil ikke har viet nok oppmerksomhet. Det var dessuten påpekt behov for et akkreditert nasjonalt laboratorium og et sterkt bredt fagmiljø som kunne ivareta disse problemstillingene.

Lukt og smak i drikkevann er et komplekst fagfelt. For å løse problemer som oppstår, kreves god kunnskap om vannkilde, vannbehandling og distribusjonssystemet. Samspillet mellom et kompetansemiljø innen lukt og smak i drikkevann, og anleggseier er nødvendig for å løse disse utfordringene. I tillegg til å bygge opp denne kompetansen har prosjektet også bidratt til å etablere et sterkt fagmiljø innen analyse av lukt og smak i vann. Vi ønsker at vannbransjen nå benytter seg av denne kompetansen videre i sin daglige drift, slik at vi kan bygge erfaringer og kunnskap om lukt og smak i drikkevann.

En stor takk går til kommunene som har deltatt i prosjektet og SINTEF som har bidratt med betydelig egeninnsats:

- Odda kommune
- Sirdal kommune
- Vågå kommune
- Åfjord kommune
- Bærum kommune
- IVAR IKS
- Nedre Romerike Vannverk
- Trondheim kommune

En spesiell takk går til følgende personer som med sin innsats har gitt viktige bidrag til prosjektet:

- Torunn Holten, Anders Brunsvik, SINTEF Bioteknologi og Nanomedisin for bidrag til utvikling og uttesting av analysemetoder for lukt og smak.
- Tone Haugen, Anna Lewin og Tonje M.B. Heggset, SINTEF Bioteknologi og Nanomedisin for gjennomføring av molekylære og bioinformatiske analyser.
- Trine Margrete Hårberg Ness, NTNU, Institutt for bygg- og miljøteknikk for prøveprosessering, TOC og ATP-analyser av vannprøver og beleggprøver fra biofilmmonitorer (BFM).
- Marianne Kjos, SINTEF Bioteknologi og Nanomedisin for elementanalyser på ICP-MS av vann- og beleggprøver.
- Sven Morten Klungland, Sirdal kommune for nyttig informasjon og for prøvetaking av vann og biofilm/belegg fra PE-rør.
- Karl Olav Gjerstad og Unni Lea, IVAR, samt Lisbeth Sloth, Bærum kommune, for kommentarer og innspill til rapporten.

Over tid har vannverkene erfart at det stadig foreligger et kunnskapsbehov for i hvilken grad stoffer av mikrobiologisk opprinnelse, ulike kjemiske forbindelser og stoffer av ukjent opprinnelse bidrar til lukt og smak.

SINTEF sine medarbeidere med Bjørnar Eikebrokk, Kolbjørn Zahlsen og Gunhild Hageskal i spissen, har vist stor vilje og tro på å fremme nye metoder og etablere et analysetilbud for lukt og smak nasjonalt. Takk for denne faglige iveren og evnen til å bygge ny kunnskap til beste for vannbransjen.

Hamar, 20.08.2023  
Kjetil Furuberg, Norsk Vann

# Sammendrag

Et mangelfullt analysetilbud for lukt- og smaksstoffer i drikkevann ble påpekt allerede for mer enn 20 år siden av Næringsmiddeltilsynet<sup>1)</sup>. Lite har imidlertid skjedd siden den gang, og dette var noe av bakgrunnen for etableringen av LOSiNOR-prosjektet (Lukt Og Smaksproblemer i NORsk drikkevann). Prosjektet har vært et samarbeid mellom 8 deltakende kommuner og vannverk, Norsk Vann, relevante rørprodusenter/leverandører og SINTEF/Drikkevannskonsult.

I likhet med analysetilbudet mangler det også støtteverktøy til kommuner/konsulenter på dette området. Det finnes ingen veiledere, og aktuelle lærebøker skraper bare i overflaten når det gjelder lukt- og smaksproblematikk. På grunn av dette famler ofte vannverk og rådgivere i blinde når de står ovenfor lukt- og smaksutfordringer. Spesielt små kommuner og vannverk er særlig utsatt, da de ofte har manglende ressurser (økonomi og kompetanse) til å løse problemene. Noen kommuner har hatt problemer i 5-10 år, uten å ha funnet en løsning.

Rapporten beskriver ulike kilder til lukt og smak i drikkevann, og den gir en omtale av hvordan man sanser lukt og smak i vann. Den beskriver videre lukt- og smaksforhold rundt prosjektets fire prioriterte områder: 1) Algeprodusert lukt og smak, 2) Lukt og smak fra PE-rør, 3) Lukt og smak fra vannbehandling, og 4) Klogenerert lukt og smak. Her beskrives en rekke stoffer som kan være lukt- og smaksdannende, enten direkte eller som følge av kjemisk eller biologisk omsetning. Videre beskrives typiske lukt- og smaksstoffer i vannkilde/nedbørfelt, i vannbehandling, desinfeksjon og i distribusjonssystemet/ledningsnettet, herunder også hus-interne systemer.

Rapporten beskriver ulike metoder for fjerning av lukt- og smaksstoffer, samt verktøy (luke- og smakshjulet) som kan anvendes for identifisering og sporing av lukt og smaksstoffer i vann. Videre beskrives analyseplattformen for kjemiske analyser som er etablert ved SINTEF som en av hovedleveransene fra LOSiNOR-prosjektet. I tillegg er genetiske analysemetoder (sekvensering av markørgener) beskrevet og anvendt i en av tre case-studier som er beskrevet i et eget vedlegg til rapporten. Rapporten inneholder også en veiledning for prøvetaking og prøvefremstilling.

Siden mange lukt- og smaksstoffer er dokumentert å stamme fra materialer i kontakt med drikkevann, er det utviklet metoder for ekstraksjon av tilsetningsstoffer fra polyetylen og andre typer rørmaterialer. Det er behov for mer kunnskap om lukt- og smaksrelevansen til ulike kjemikalier som inngår i overflatebelegg og produksjon av plastrør (PE, PEX), herunder sammenhengen mellom mikrobiell omsetning og produksjon av lukt- og smaksstoffer, og hvilke ytre faktorer som eventuelt påvirker dette.

Rapporten har et eget kapittel/veikart med anbefalinger for håndtering av lukt- og smaksproblemer i drikkevannsforsyningen. Dette veikartet er tenkt utgitt i Norsk Vann-regi som et eget «levende» dokument som jevnlig oppdateres i tråd med ny kunnskap og ny viten. Her har man også samlet en del rapporterte erfaringer med lukt- og smaksepisoder, noe som kan være til hjelp i et ofte komplekst og vanskelig arbeid med sporing av årsaker og identifikasjon/iverksetting av tiltak mot lukt- og smaksproblemer i drikkevann.

1) Gjerstad, K.O. (1996) Lukt- og smaksproblem i drikkevann, NFR rapport nr. 3/96

# English summary

**This report is published in Norwegian by Norwegian Water BA (Norsk Vann BA).**

Address: Vangsvegen 143, NO-2321 Hamar, Norway  
Phone: + 47 62 55 30 30  
E-mail: [post@norskvann.no](mailto:post@norskvann.no)  
Website: [www.norskvann.no](http://www.norskvann.no)

Report No: 278 - 2023  
Report title: LOSiNOR – taste and odour problems  
in Norwegian drinking water  
Date of issue: 20.08.2023

Author:  
Bjørnar Eikebrokk, Kolbjørn Zahlsen, Gunhild Hageskal,  
Cathrine Løvmo and Trude Guldborg

## Summary

A lack of established analysis for odor and flavor substances in drinking water was already pointed out more than 20 years ago by the Norwegian Food Safety Authority<sup>1)</sup>. However, little has happened since then, and this was part of the background for the establishment of the LOSiNOR project (odor and taste problems in Norwegian drinking water). The project has been a collaboration between eight participating municipalities and water utilities, Norwegian Water, relevant pipe manufacturers/suppliers, SINTEF and Drikkevannskon-sult – B. Eikebrokk.

Similar to the analysis, there is also a lack of support tools for municipalities/consultants in this area. There are no guides, and current textbooks only scratch the surface when it comes to smell and taste issues. Because of this, waterworks and consultants often grope blindly when faced with odor and taste challenges. In particular small municipalities and water-works are vulnerable, as they often lack the resources (finances and expertise) to solve the problems. Some municipalities have had problems for 5-10 years, without having found a solution.

The report describes various sources of odor and taste in drinking water, and it gives a description of how one perceives odor and taste in water. It further describes

odor and taste conditions around the project's four priority areas: 1) Algae-produced smell and taste, 2) Smell and taste from PE pipes, 3) Smell and taste from water treatment, and 4) Chlorine-generated smell and taste. Here, a number of substances are described which can be odor and taste-forming, either directly or as a result of chemical or biological turnover. Furthermore, typical odors and tastes are described in water sources/rainfall fields, in water treatment, disinfection and in the distribution system/mains, including also internal house systems.

The report describes various methods for removing odors and tastes, as well as tools (the smell and taste wheel) that can be used to identify and track odors and flavors in water. Furthermore, the analysis platform for chemical analyses that has been established at SINTEF is described as one of the main deliverables from the LOSiNOR project. In addition, genetic analysis methods (sequencing of marker genes) are described and applied in one of three case studies which are described in a separate appendix to the report. The report also contains a guide for sampling and sample shipment.

Since many odorous and flavoring substances have been documented to originate from materials in contact with drinking water, methods have been developed for the extraction of additives from polyethylene and other types of pipe materials. There is a need for more knowledge about the odor and taste relevance of various chemicals that are included in the surface coating and production of plastic pipes (PE, PEX), including the connection between microbial turnover and the production of odor and taste substances, and which external factors that can possibly influence this.

The report has a separate chapter/road map with recommendations for handling odor and taste problems in the drinking water supply. A number of reported experiences with odor and taste episodes have also been collected here, which can be of help in the often complex and difficult work of tracing causes and identifying/implementing measures against odor and taste problems in drinking water.

---

1) Gjerstad, K.O. (1996) Lukt- og smaksproblem i drikkevann, NFR rapport nr. 3/96

# Innhold

1. Bakgrunn og mål	9	11. Analysemetoder	42
2. Prosjektopplegg og gjennomføring	10	11.1. Kjemiske analysemetoder	42
2.1. Prosjektpartnere og finansiering	10	11.2. Genetiske analysemetoder	49
3. Kilder til lukt og smak i drikkevann	11	11.3. Øvrige vannkvalitetsanalyser	49
4. Hvordan vi sanser lukt og smak i vann	14	12. Konklusjoner og anbefalinger	51
4.1. Smakssansen	14	13. VEDLEGG – Terskelverdier og CASE STUDIER	52
4.2. Luktesansen	15	13.1. Case Årdal: Lukt av hydrokarboner i vann og mistanke om utslipp fra bensinstasjon/bilvaskehall (bruk av Metode 2)	53
4.3. Lukt og smakshjulet	15	13.2. Case Åfjord: Membranfiltrering, klorvask og kloranisoler på ledningsnett	54
5. Prioriterte lukt- og smaksutfordringer i LOSINOR	17	13.3. Case Sirdal: Lukt og smak fra PE-rør	59
5.1. Lukt/smak fra PE-rør	17	Tidligere utgitte rapporter	65
5.2. Lukt/smak fra vannbehandling	17		
5.3. Klorering	17		
5.4. Algeprodusert lukt og smak	18		
6. Lukt/smak fra PE-rør	19		
7. Lukt og smak fra alger	25		
7.1. Analyse av alge-produsert lukt og smak	26		
7.2. Fjerning av algeprodusert lukt og smak	26		
8. Lukt og smak fra vannbehandling/ desinfeksjon	29		
9. Lukt og smak dannet i ledningsnett	30		
10. Veikart for håndtering av lukt og smaksproblemer i vannforsyningen	31		
10.1. Kildesporing - Screening	31		
10.2. Innomhus vanninstallasjoner	31		
10.3. Eksterne vannforsyningssystemer	33		
10.4. Avgrensning av problemområdet, kildesporing, analyser og tiltak	34		
10.5. Lukt- og smakshjulet	38		
10.6. Flytskjema for sporing av lukt- og smaksepisoder	39		
10.7. Guide for prøvetaking og analyse	40		
10.8. Erfaringer med lukt- og smaksepisoder	40		

# Forkortelser, begreper og definisjoner

**AOC - Assimilerbar Organisk Carbon:** Andelen av organisk karbon i en vannprøve som kan konverteres til biomasse av nærmere angitte bakterier. Konvertert biomasse relateres til den som oppnås med et kjent substrat (acetat)

**ATP:** Adenosin trifosfat - Energibæreren i levende celler

**BDOC:** Angir mengde bionedbrytbar organisk karbon i en vannprøve

**BFM:** Biofilmmonitor - en innretning for måling av mengde og sammensetning av belegg i rør

**GC-MS:** Gasskromatografi kombinert med massespektrometri  
- for flyktige komponenter

**LC-MS:** Væskekromatografi kombinert med massespektrometri  
- for tyngre polare komponenter

**ICP-MS-MS:** Inductively Coupled Plasma MS  
- for uorganiske forbindelser ("det periodiske system")

**16S rRNA sekvensering:** 16S rRNA er en genetisk markør felles for alle bakterier, sekvenseringsanalyse gir et bilde på relativ forekomst av taksonomiske enheter (f.eks. bakterieslekter) i en prøve.

**NOM:** Naturlig Organisk Materiale, vanligvis målt som farge, UV-abs eller TOC/DOC i vann.

**TOC:** Mengde total organisk karbon i en vannprøve (løst mengde angis som DOC)

**TON:** Threshold Odor Number er et mål for luktintensitet i en vannprøve, og tallet angir antallet fortyngninger som er nødvendig for at lukten ikke lenger kan kjennes.

# 1. Bakgrunn og mål

Lukt- og smaksproblemer i drikkevann har hatt begrenset oppmerksomhet i Norge. I en rapport fra vannverksregisteret (FHI 2015) angis det at kun 39 % og 41 % av vannverkene har gitt tilstrekkelige data for henholdsvis lukt og smak. FHI begrunner dette med at det mangler laboratorier som er akkreditert til å analysere lukt- og smakparametere.

Det er symptomatisk for det manglende fokuset på lukt og smak at det per dags dato ikke finnes et eneste laboratorium i Norge med akkreditert analyse av lukt- og smakparametere. Unntaket kan være visse petroleumskomponenter. Minst like mangelfull er muligheten for mer avanserte analyser av spesifikke lukt- og smaksstoffer i Norge. Eneste mulighet for slike analyser (og rådgivning) har vært i utlandet (bl.a. Frankrike), noe som gjerne innebærer høye kostnader, rådgivning uten kjennskap til norske forhold og lange transporttider med risiko for endringer i vannkvalitet før analyse.

Det mangelfulle analysetilbudet i Norge ble påpekt allerede for 20 år siden av Næringsmiddeltilsynet.<sup>1)</sup> Dessverre har lite blitt gjort siden den gang, noe som er en del av bakgrunnen og behovet for etableringen av LOSiNOR-prosjektet (Lukt Og Smaksproblemer I NORsk drikkevann). Prosjektet er et spleiselag mellom deltakende kommuner/vannverk, Norsk Vann og leverandører/produsenter assosiert med problemet.

På grunn av det manglende analysetilbudet har det heller ikke blitt opparbeidet noe særlig støtteverktøy til kommuner/konsulenter. Det finnes ingen veiledere, og aktuelle lærebøker skraper bare i overflaten når det gjelder lukt- og smaksproblematikk. På grunn av dette famler ofte vannverk og rådgivere i blinde når de står ovenfor lukt- og smaksutfordringer. Spesielt små kommuner og vannverk er særlig utsatt, da de ofte har manglende ressurser (økonomi og kompetanse) til å løse problemene. Noen kommuner har hatt problemer i 5-10 år, uten å ha funnet en løsning.

SINTEF besitter i dag avansert og relevant massespektrometrisk analyseutstyr (FT-ICR-MS, det eneste av sitt slag i Norden), og har via LOSiNOR etablert et fagmiljø og en analyseplattform for lukt og smak i vann. Dette bidrar til å skape en grobunn for norsk kompetanseutvikling innenfor lukt- og smaksproblematikk, med et fagmiljø som kan bli ledende også i nordisk sammenheng.

Målet for LOSiNOR-prosjektet var å utvikle kompetanse og analysetilbud/verktøy for lukt- og smaksproblematikk for vannsektoren i Norge ved å:

- Identifisere egnede analysemetoder og utvikle en analyseplattform for lukt- og smaksstoffer i drikkevann
- Finne årsakssammenhenger for ulike lukt- og smaksproblemer i norsk drikkevann
- Utrede tiltak mot lukt- og smaksutfordringer
- Utarbeide en rapport av prosjektet
- Formidle kunnskap gjennom faglige artikler og foredrag
- Bidra til økt kompetanse med hensyn til lukt og smak i drikkevann
- Bidra til å bygge opp et fagmiljø rundt lukt og smak i Norge, herunder årsaker, analyser og aktuelle tiltak
- Skape grobunn for videre prosjekter og FoU-aktivitet innen lukt og smak i drikkevann i Norge

1) Gjerstad, K.O. (1996) Lukt- og smaksproblem i drikkevann, NFR rapport nr 3/96

## 2. Prosjektopplegg og gjennomføring

---

### 2.1. Prosjektpartnere og finansiering

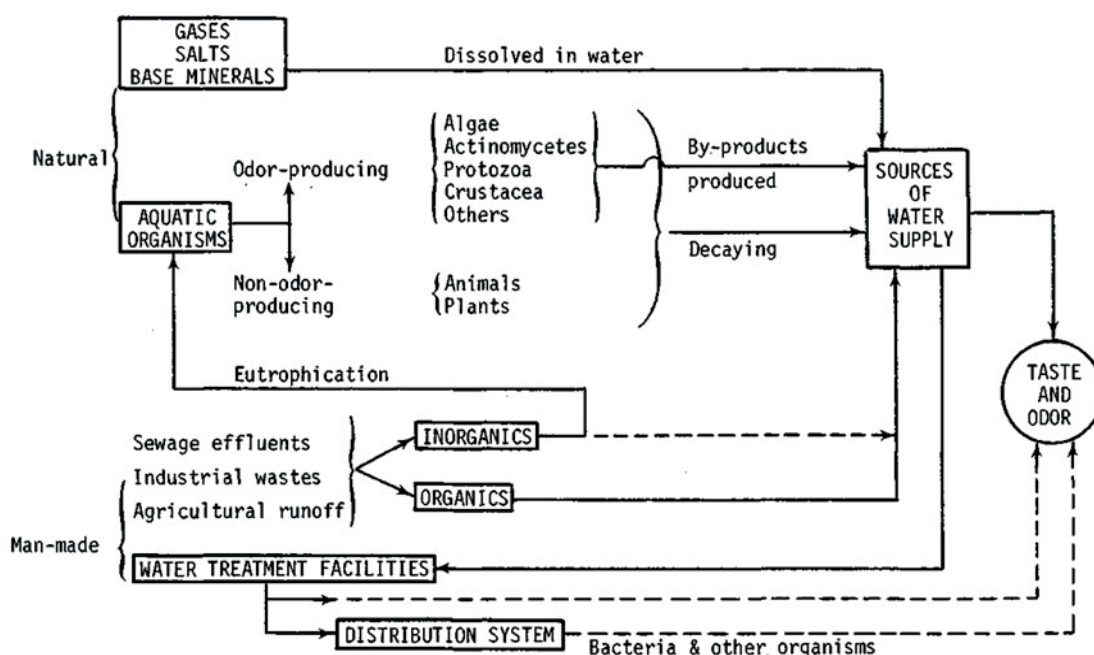
Prosjektet hadde en total økonomisk ramme på 4.25 mill. NOK, og det ble finansiert som et spleiselag mellom deltagende kommuner/vannverk, Norsk Vann og SINTEF (egeninnsats for vannanalyser):

- Odda kommune
- Sirdal kommune
- Vågå kommune
- Åfjord kommune
- Bærum kommune
- IVAR IKS
- Nedre Romerike Vannverk
- Trondheim kommune
- Norsk Vann
- SINTEF

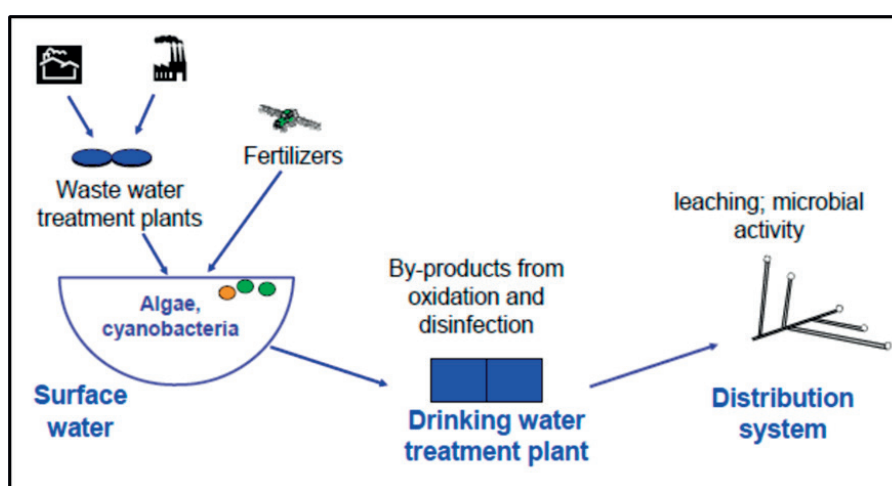
### 3. Kilder til lukt og smak i drikkevann

Årsakene til lukt- og smaksproblemer i drikkevann er ofte sammensatte og komplekse, og slike utfordringer kan være svært vanskelige å forstå og løse. Kildene til lukt og smak i drikkevann kan være naturlige eller menneskeskapt, slik som illustrert i Figur 3.1. I vann-

forsyningsystemer kan lukt og smak oppstå i vannkilde/nedbørfelt, under selve vannbehandlingen, og ute på ledningsnettet/distribusjonssystemet (Figur 3.2). Lukt og smak kan også oppstå i vanninstallasjoner innomhus.



Figur 3.1. Naturlige og menneskeskapt kilder til lukt og smak i drikkevann<sup>2)</sup>



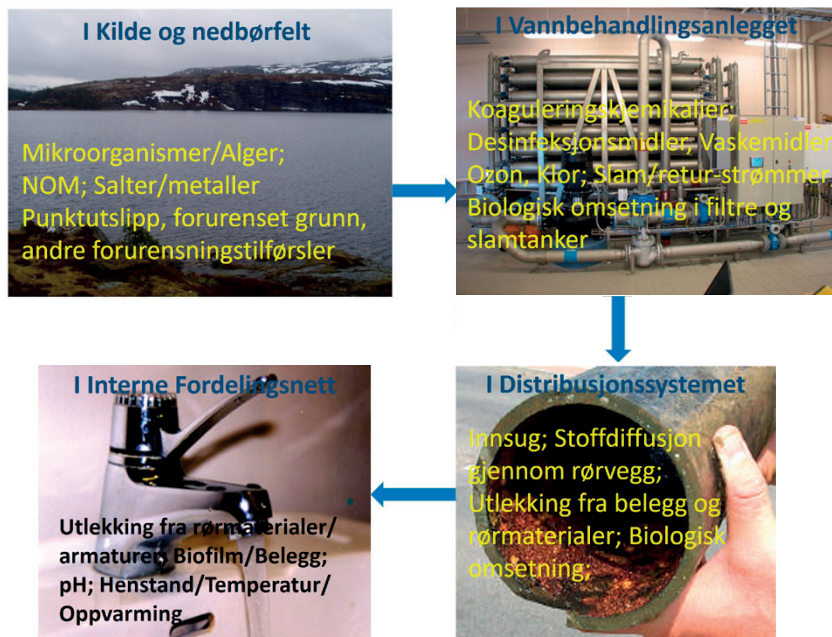
Figur 3.2. Kilder til lukt og smak i vannforsyningsystemer<sup>3)</sup>

2) Lin, S.D. 1977 State of Illinois ISWS/CIR-127/77. <https://www.isws.illinois.edu/pubdoc/C/ISWSC-127.pdf>

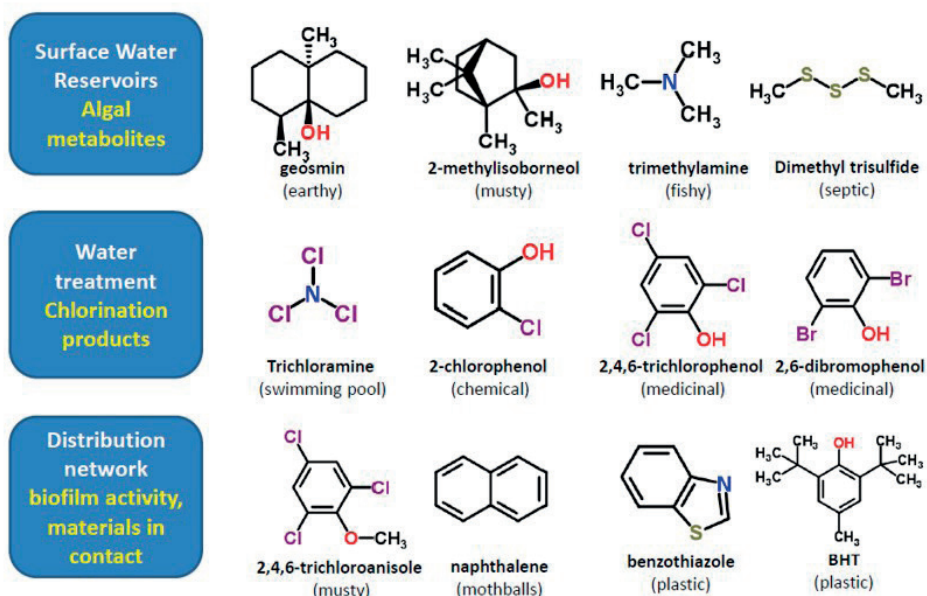
3) Peter, A. (2008). Taste and odor in drinking water - Sources and mitigation strategies. Ph.D. dissertation No. 17761, ETH, Zürich. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-005645175>

Eksempler på spesifikke lukt- og smaksstoffer, årsaker og prosesser i kilde/nedbørfelt, vannbehandlingsanlegg, distribusjonssystem og hus-interne rørføringer og vanninstallasjoner er vist i Figur 3.3. Videre viser Figur 3.4 eksempler på typiske algegenererte lukt- og

smaksstoffer fra vannkilde/nedbørfelt, fra vannbehandling/desinfeksjon (kloreringsbiprodukter), og fra distribusjonssystem/ledningsnett (biologisk aktivitet; migrasjon fra rørmaterialer).



Figur 3.3. Kilder til lukt og smak i vannkilde/nedbørfelt, samt i vannbehandlingsanlegget, distribusjonssystemet og hus-interne fordelingsnett<sup>4)</sup>.



Figur 3.4. Spesifikke lukt- og smaksstoffer fra vannkilde (alger), vannbehandling (klorering) og i distribusjonssystem<sup>5)</sup>

4) Eikebrokk, B. 2023. Hvordan finne årsakene til Lukt og Smak? Lukt og smaksilder - Erfaringer - Tiltak. Norsk Vann Fagtreff, Thon Hotel Oslo Airport, 16-17 Mars, 2023

5) Hiskia, A. (2021) WaterTOP Meeting, Sept 2021, Greece. [Παρουσίαση του PowerPoint \(wordpress.com\)](https://www.wordpress.com)

Som en oppsummering viser Figur 3.5 en oversikt over typiske lukt- og smaksproblemer i norske drikkevann,

med kilder/årsaker, spesifikke substanser og eksempler, samt terskelverdier.

### Utslipp/forurensninger i nedbørfelt/vannkilde

- NOM, kloakk, avrenning, forurensningsutslipp kan påvirkes av oksygenmangel/biologiske prosesser

### Algeproduserte stoffer (blågrønnalger)

- *Geosmin* m/lukterskel på ~10 ng/l
- *2-methylisoborneol (2-MIB)* m/lukterskel på ~ 29 ng/l
- Typisk "jordaktig – fuktig", eller "mugglignende"
- *Mjøsa/Glomma-vassdraget 1969-76; Moss/Rygge 2000 (2-MIB)*

### Utslipp/kjemikalier

- *Metaller fra råvann, vannbehandling og korrosjon*
- *Stoffer som kan diffundere gjennom rørvegger; MTBE (metylbutylester fra bensin)*

### Stoffer som kan lekke ut fra materialer i kontakt med vannet

- *Høydebasseng (overflatebelegg, gelcoat, etc)*
- *Plastmaterialer/PE-rør/epoksy/lim*
- *Jern, Kobber og andre metaller fra rør/armatur*

### Kloreringsbiprodukter

- *Klorfenoler; klororganiske forbindelser*

### Biologiske omsetningsprodukter

- *Kloranisoler (med ekstremt lav lukterskel, < 0.1 ng/L)*

Figur 3.5. Oppsummerende oversikt over kilder/årsaker til lukt og smak i norske drikkevann, spesifikke substanser og terskelverdier.

## 4. Hvordan vi sanser lukt og smak i vann

Store medisinske leksikon beskriver våre lukt- og smakssanser, og angir forhold som påvirker lukt- og smaksopplevelsen:

### 4.1. Smakssansen<sup>6)</sup>

Dette er en [sans](#) knyttet til egne spesialiserte sanseceller ([smaksceller](#)) og til [nervefibre](#) som leder informasjon fra smakscellene på [tungen](#) til bestemte områder i [hjernen](#). Sansecellene for smakssansen er [kjemoreseptorer](#) som finnes i små grupper på [tungen](#) ([smaksløker](#)). Mens luktecellene i [nesens](#) slimhinne er følsomme for molekyler i gassform, stimuleres smakscellene i tungens slimhinne av smaksstoffer oppløst i vann.

Smakscellene har tallrike, ytterst fine sansehår som til sammen danner en utløper som rager litt frem av poren. Endegrener av smaksnervefibre danner [synaptiske](#) forbindelser med sansecellene i smaksløkene. De [nerveimpulsene](#) som oppleves som smakspåvirkninger, utløses når de oppløste smaksstoffenes molekyler kommer i kontakt med reseptorene på smaksløkenes sansehår. Når reseptorene aktiveres, [depolariseres](#) smaksceller, og det frigjøres [transmittersubstans](#) som i sin tur aktiverer endegrener av de [sensoriske](#) nervefibre som står i kontakt med smakscellene. Disse sensoriske nervefibre løper inn til hjernen gjennom sjuende, niende og tiende [hjernenerve](#). På denne måten blir aktivering av smaksreseptorene og formidlingen av signalet til [hjernen](#) i prinsippet lik signalformidlingen for de andre sansekvalitetene.

Sansecellene i smaksløkene lever bare noen dager, og de nydannes stadig fra dypere liggende celler i smaksløkene. Smaksløkene er meget ujevnt fordelt over [tungen](#). Langt de fleste finnes i furene omkring de store [papillene](#) bakerst på tungen, og resten ligger mer spredt, i de sopplignende papillene foran på tungen og tungespissen og dessuten i de bladlignende papillene langs tungens kanter. Det er også enkelte smaksløker i slimhinnen på [ganen](#) og [ganebuene](#), i [nesesvelgrommet](#) og på [strupelokket](#). I alt er det rundt 10 000 smaksløker, litt flere hos barn enn hos voksne, men antallet avtar allerede fra 45-årsalderen. Dette forklarer kanskje at behovet for [krydder](#) i maten ofte er stigende med alderen.

Hver smaksløk inneholder 50–100 smaksceller. Smakscellene er spesialiserte til å reagere på én av fem forskjellige smaks-kvaliteter: surt, salt, søtt, [bittert](#) og [umami](#), som er et japansk ord for smaksinntrykket man får fra [glutaminsyre](#).

Med unntak av de smakscellene som reagerer på bitter smak, har alle smaksceller kun én type reseptormolekyl som kan reagere på visse kjemiske stoffer og gi én bestemt smaks-kvalitet. Smaksceller som reagerer på bittert har mange ulike reseptormolekyler som ser ut til å binde forskjellige bitre stoffer i ulike grader, slik at den enkelte bittert-smakscelle har en preferanse for visse bitre stoffer.

Smaksinntrykk er i stor grad avhengig av et samspill mellom smakssansen og [luktesansen](#). Uten bruk av [luktesansen](#) blir de fleste smaksinntrykk fattige, og man får store problemer med å identifisere og skille ulike smaker. Holder man for nesen når man for eksempel spiser sjokolade, vil søtheten og bitterheten i sjokoladen kunne oppleves, men selve sjokoladesmaken vil utebli. Det er ikke uten grunn at vinsmakere bruker både nesen og munnen når de skal oppleve vinen. I tillegg til samspillet mellom smakssansen og luktesansen, vil informasjon fra nerveender i slimhinnen i nesen, munnhulen og halsen bidra til smaksinntrykk fordi de kan reagere på stoffer som [ammoniakk](#), [mentol](#) og [chili](#). De tusener av smaksinntrykk som mennesker kan skille mellom, må derfor tilskrives forskjellige kombinasjoner av signaler som hjernen mottar og bearbeider fra smaksceller, luktesansen og andre kjemoreseptive nerveender. Smaksløkene for søtt finnes overveiende på tungespissen, for salt på tungens sider foran, for surt på tungens sider bak, og for bittert på bakre del av tungen. Selv om smaksløkene i et gitt område av tungen kan være særlig følsomme for én av de fem typene av smaksstoffer, reagerer de som regel også på én eller flere av de andre typene. Bare for surt, salt og umami er det en klar sammenheng mellom smaks-kvalitet og smaksstoffenes kjemiske karakter.

Det rene smaksinntrykket kan man neppe oppleve utenfor smaks-laboratoriet. Normalt bidrar kulde- eller varmefornemmelser, matens konsistens og av og til også smerteinntrykk, for eksempel fra visse krydder eller sterke alkoholholdige drikker, til smaksopplevelsen. Størst betydning har imidlertid luktesansen. Undersøkelser har vist at manglende smaksopplevelse under [forkjølelse](#) ikke skyldes at smaksløkene er svekket, men at luktecellene er satt ut av funksjon.

6) Jansen, J.K.S. og Glover, J. Smakssansen. Store Medisinske Leksikon. <https://sml.snl.no/smakssans>

---

## 4.2. Luktesansen<sup>7)</sup>

Luktesansen er evnen til å oppfatte lukt. Luktesansen er en [sans](#) som påvirkes av kjemiske forbindelser i gassform.

Luktesansen er knyttet til lukteregionen, som finnes øverst i [nesehulen](#) på begge sider av neseskilleveggen. Det er et gulbrunt parti i den rødlig slimhinnen hvor flimmerepitelet som ellers bekler luftveiene, er erstattet av et [sanseepitel](#) som består av lukteceller omgitt av støtteceller. Lukteregionen har et samlet areal på om lag fire kvadratcentimeter, og er egentlig en del av [hjernen](#). Cellene som er ansvarlig for sansningen, luktecellene, er nerveceller. Hver celle sender en kort utløper ([dendritt](#)) utover i epitelets slimlag og en lang utløper ([nevritt](#)) innover. Dendrittene er i spissen splittet opp i fine luktehår, som øker deres overflate. Nevrittene forener seg til omtrent tyve trådbunter (fila olfactoria), som under ett kalles [luktenerven](#) (nervus olfactorius) eller første [hjernenerve](#).

Luktesansen er i likhet med [smakssansen](#) en kjemisk sans. Luktecellene stimuleres bare av flyktige stoffer, det vil si av stoffer som fordampes og avgir molekyler til luften. Et luktestoff må dessuten være oppløselig i vann for å kunne passere slimlaget over luktehårene og formodentlig også være oppløselig i fett for å kunne trenge inn i celleveggene.

Luktestoffene (odorantene) binder seg til luktereseptorer på luktecellene. Når odoranten binder seg til sin [reseptor](#), vil den sette i gang en biokjemisk reaksjonskjede som fører til en elektrisk nerveimpuls som sendes til hjernen og registreres som lukt.

Mennesker kan skille mellom opptil 10 000 forskjellige lukter. Det er uklart om vi har én reseptor for hvert luktestoff, eller om lukten føles spesiell fordi flere

reseptorer aktiveres samtidig. Det er imidlertid funnet flere hundre ulike luktereseptorer, som antagelig aktiveres av hver sin type luktestoff.

Luktesansen er uhyre følsom for visse lukter. Det sterkeste luktende stoffet man kjenner, er [metylmerkaptan](#), som finnes i [hvitløk](#) og råtnende kjøtt. Det kan spores i en konsentrasjon på mindre enn et [nanogram](#) (en milliarddels gram) per liter luft. Selv den sterkeste og mest ubehagelige lukt blir umerkelig etter kort tid. Denne tilvenningen ([adaptasjonen](#)) kan bero på en eller annen form for utmatting av både luktecellene og av de luktoppfattende cellene i hjernen. Adaptasjonen er spesifikk, det vil si at vi bare slutter å legge merke til den ene lukten vi er vennet til; følsomheten for andre lukter bevares usvekket. De stikkende luktefølelsene som utløses av stoffer som [mentol](#), [klor](#), [ammoniak](#) og [salpetersyre](#), formidles ikke av luktesansen, men skyldes irritasjon av de smerteførende nerveendene fra hjernenerven [nervus trigeminus](#), som munner ut overalt i neselimplhinnen.

Luktesansen er av betydning for fordøyelsesprosessen, fordi lukten av mat hos den sultne fremkaller sekresjon av [spytt](#) og andre fordøyelsessafter. Og den er av største betydning for nytelsen av mat, fordi mange av våre smaksfølelser i virkeligheten er lukteintrykk. For eksempel kan det være vanskelig å smake forskjell på kaffe og te eller poteter og epler når man er forkjølet. Mennesker som har mistet luktesansen, klager ofte over at de ikke kan smake, mens de ikke klager over manglende lukteintrykk. Luktesansen kan svekkes eller ødelegges hvis sanseepitelet eller luktenerven blir skadet. Tap av luktesansen, [luktehallusinasjoner](#) og forvrengning av lukteintrykk kan forekomme som symptom ved svulster og andre sykdommer i hjernen, og ved kraniebrudd.

---

## 4.3. Lukt og smakshjulet

En lang rekke stoffer kan gi lukt- og smak i drikkevann, og det kan ofte være svært vanskelig å identifisere kilder og årsaker. Det såkalte lukt- og smakshjulet (Figur 4.1) kan være til hjelp i dette. Luktstoffene er her vist som brunaktige felter på figuren (nummerert fra 1 til 8),

mens smaksstoffer er vist i blå/grønne felter. Den indre ringen representerer generelle lukt- og smaksategorier, den midtre ringen representerer mer spesifikke beskrivelser, mens den ytre ringen angir spesifikke lukt- og smaksstoffer.

---

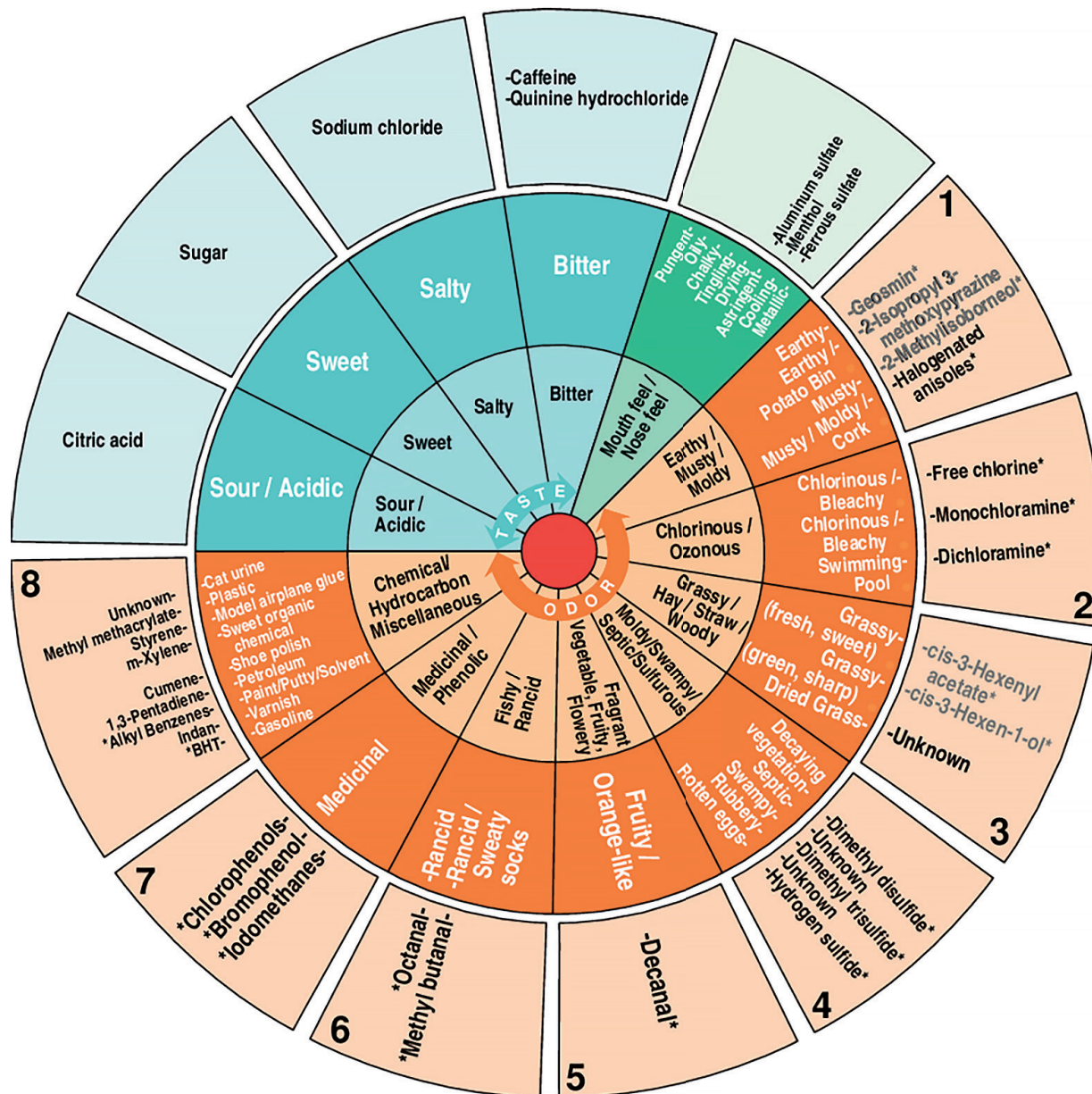
7) Winther, F.Ø. Luktesansen. Store Medisinske Leksikon. <https://sml.sn.no/luktesansen>

De 8 luktkategoriene kan beskrives som følger:

1. Jordaktig, muggen, potetbinge (earthy/musty/moldy/potato bin)
2. Kloraktig, ozonaktig (chlorinous/ozonous)
3. Gressaktig, treaktig, lukt av høy (grassy/woody/hay-like)
4. Råtne planter, sumpaktig, septisk, gummiaktig, råtne egg (decaying/swampy/septic/sulfurous)

5. Fruktig, blomsteraktig (fruity/flowery/fragrant)
6. Harsk, fiskelignende (rancid, fishy)
7. Medisinsk, fenolisk (medicinal/phenolic)
8. Kjemisk/maling (chemical/paint-like)

Terskelverdier for en rekke lukt- og smaksstoffer i vann er vist i vedlegg.



Figur 4.1. Lukt- og smakshjulet<sup>8)</sup> for klassifisering av lukt- og smaksstoffer i vann

8) Khiari et al. (2002). AWWA Research Foundation. [https://www.researchgate.net/figure/Taste-and-odor-wheel-for-the-drinking-water-industry-Khiari-et-al-2002-The-inner\\_fig1\\_274566584](https://www.researchgate.net/figure/Taste-and-odor-wheel-for-the-drinking-water-industry-Khiari-et-al-2002-The-inner_fig1_274566584)

# 5. Prioriterte lukt- og smaksutfordringer i LOSiNOR

Norsk Vann utførte i 2021 en kartlegging av lukt- og smaksproblemer i norsk drikkevann. I tillegg til en spørreundersøkelse med et spørreskjema som ble sendt ut til rundt 100 kommuner, ble kartleggingen basert på direkte henvendelser fra kommuner, henvendelser fra Norsk Vann til utvalgte kommuner, samt dialog med andre aktører og parter.

Ut ifra denne kartleggingen har fire lukt- og smaksutfordringer blitt prioritert i dette prosjektet. Utvelgelsen ble gjort basert på omfang, alvorligheten og fremtidig nytteverdi av en eventuell løsning. De fire prioriterte lukt/smaksutfordringene er kort omtalt nedenfor. En mer utfyllende gjennomgang er foretatt og beskrevet i de neste kapitler.

---

## 5.1. Lukt/smak fra PE-rør

Norsk Vann har fått tilbakemelding om lukt- og smaksproblematikk som stammer fra distribusjonssystemet, og i særlig grad fra nylagte PE-rør. Rørinspeksjon Norge (RIN-Norge) har også blitt gjort oppmerksom på problematikken<sup>9)</sup>. Ofte oppstår slike lukt- og smaksproblemer et par uker etter rørene er lagt, og lukten og smaken vedvarer i 1-2 år. Norsk Vann har vært i kontakt med en rekke kommuner som kan bekrefte at de opplever denne problematikken som reell. De kommunene Norsk Vann har vært i kontakt med er: Sirdal,

Vennesla, Iveland, Bykle, Lillesand, Odda, Arendal og Vågå kommune. Problemene ser ut til å være knyttet til vannkvaliteten, og det er kommuner som har problem ved noen vannverk, mens problemet er fraværende i andre vannverk. En hypotese er at migrasjonsprodukter fra plasten og humusstoffer i vannet kan bidra til mikrobiologisk vekst og dannelse av belegg/biofilm som kan generere lukt- og smaksstoffer.

---

## 5.2. Lukt/smak fra vannbehandling

I Norge er det om lag 120 NF-anlegg (membrananlegg) i drift. Også mer åpne ultrafilteranlegg (UF) kombinert med for-koagulering anvendes i økende grad, og andelen av slike membrananlegg vil trolig øke i fremtiden. Slike anlegg er også godt egnet til å takle framtidens utfordringer med økende NOM konsentrasjon i vannet. I Norge brukes NF-anlegg spesielt i mindre og mellomstore kommuner, der klor og i noen grad også spesielle vaskemidler (tensider) anvendes for å kontrollere beleggdannelsen på slike tette membraner. Lukt- og smaksutfordringer har oppstått i noen slike anlegg. Vannet får en typisk lukt av «myr» og/eller «mugg», og noen opplever en spesiell «stank» under dusjing. Det er

dokumentert<sup>10)</sup> at det dannes klorfenoler (inkl. di- og triklorfenoler) under den daglige vasken av membranbelegget i vannverkene i Åfjord og Hitra. Etter at klorfenolene er dannet, kan disse lekke gjennom membranen i relativt lang tid og deretter omdannes biologisk på ledningsnett til trikloranisoler med muggaktig lukt og smak med svært lave terskelverdier (< 1 ng/l). En slik mikrobiell konvertering av klorfenoler til trikloranisoler kan skje på grunn av muggsopp i ledningsnett, og fenomenet er kjent også fra andre vannverk (bl.a. Zürich).

---

## 5.3. Klorering

Lukt og smak assosiert med klorering av vann er en kjent utfordring. Flere større kommuner får tidvis klager på klorluk/klorsmak, uten at dette oppleves som et

stort problem. Men det er likevel et ønske om å forbedre forståelsen av problematikken, slik at passende tiltak kan settes inn. Problemet må sees i sammenheng med

---

9) <http://rin-norge.no/lukt-og-smak-i-ferske-pe-ledninger/>

10) Eikebrokk, B. (2013) Lukt- og smaksproblem i drikkevann – et eksempel fra Åfjord kommune, VA-dagene i Midt-Norge, 30-31 oktober 2013. [https://www.sintef.no/globalassets/project/vadagene/2013/foredrag/08\\_eikebrokk-2013-lukt-og-smak-afjord.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/project/vadagene/2013/foredrag/08_eikebrokk-2013-lukt-og-smak-afjord.pdf)

innhold av naturlig organisk materiale (NOM), som etter klorering kan danne klororganiske forbindelser i vannet. Selve kloreringen, som er en oksidasjonsprosess, kan også endre sammensetningen av NOM og gjøre denne mer biologisk tilgjengelig, og slik sett medføre økt biologisk aktivitet på ledningsnett. Dette er særlig relevant der man anvender lavklorering og klorfrie ledningsnett, slik tilfellet er i Norge. I land som eksempelvis USA og England anvendes klordoser som er så

høye at hele ledningsnett beskyttes mot biologisk vekst. Det finnes også en hypotese om at UV i høye doser kan føre til økt biologisk vekst/biofilmdannelse og økt dannelse av lukt/smaksstoffer. Dette er dog relevant bare i tilfeller der UV-dosene kan bli spesielt høye ( $>> 40 \text{ mJ/cm}^2$ ), eksempelvis i UV-anlegg med utilstrekkelig energitrimning/effektjustering, og/eller i perioder der vannstrømmen gjennom anlegget er svært lav.

---

## 5.4. Algeprodusert lukt og smak

Algeprodusert lukt og smak omfatter i hovedsak stoffene geosmin og 2-metylisoborneol (2-MIB) og fører til en jord/mugg/myrlignende lukt og smak på vannet. Slike lukt- og smaksstoffer er svært vanlig forekommende i mange land, og det dukker jevnlig opp tilfeller også i Norge (f.eks. Mjøsa, Aurevann, Vansjø). Visse alger kan i tillegg til lukt- og smaksstoffer også produ-

sere toksiner. Klimaendringene med et villere, våtere og varmere klima kan ikke bare medføre økt innhold av NOM (farge) i vannet. Økt temperatur, økt vindpåvirking og økt tilførsel/mobilisering av næringssalter kan også gi risiko for økte algeforekomster i norske drikkevannskilder.

## 6. Lukt/smak fra PE-rør

For å øke levetiden på rørmaterialer av polyetylen (PE) anvendes ulike tilsetningsstoffer. Rørprodusentene anvender selv ingen tilsetningsstoffer under produksjonen/ekstruderingen av PE-rør, siden det ferdigproduserte råmaterialet (plastgranulene) inneholder alle nødvendige additiver, hvorav de 3 viktigste hovedgrupper er nærmere beskrevet nedenfor:

- **Stabilisatorer**, herunder antioksidanter, anvendes for å sikre at polymermatrisen i plastrørene ikke nedbrytes over tid. Dette øker plastens motstandsevne mot UV-lys, varme og kjemisk nedbrytning ved oksidasjon, noe som kan forekomme både under selve rørproduksjonen (ekstruderingen) og under rørenes brukstid. Antioksidantene bidrar til å hindre dannelse av oksider på rørveggens overflate, og til å hindre at plastmaterialet brytes ned under sveising ved høye temperaturer (rundt 200°C). Antioksidantene er jevnt fordelt i råmaterialet, og diffunderer mot rørvæggen etter hvert som de forbrukes. Antioksidantenes forbruk av oksygen medfører dannelse av en lang rekke nedbrytningsprodukter. Når innholdet av antioksidanter på rørvæggen er brukt opp blir materialet sprøtt, og det kan derfor oppstå sprekker i rørvæggen. Det finnes flere eksempler på kjemiske brudd i PE-rør produsert før 1974, noe som skyldes bruk av feil type av antioksidanter eller for lavt innhold av slike. Antioksidantene forbrukes svært sakte, men forbruket øker eksponentielt med temperaturen. Forbruket er størst under ekstrudering, sveising og under lagring ved høye temperaturer, for eksempel i sollys. Til PE-rør anvendes typisk en blanding av antioksidanter, både fenolholdige og fosfatholdige. Stoffer med di-tert-butyl fenolgrupper og trivalente fosfatforbindelser er utbredt.
- **Fargestoffer/pigmenter og UV-stabilisatorer** tilsettes polymeren for å gi ønsket farge og for å hindre nedbrytning grunnet påvirkning av UV-lys. Til dette brukes gjerne pulver av kull (sot, carbon black, kjørnøk).
- **Hjelpestoffer**. Dette er stoffer som påvirker polymeriseringsprosessen og selve rørproduksjonen. Slippmidler og smøremidler for å lette ekstruderingsprosessen blir etter de opplysninger vi har fått fra rørprodusenter og leverandører av plastgranuler ikke anvendt i produksjonen av PE-rør. Det råstoffet som rørprodusentene mottar

(plastgranulene) skal inneholder alle de nødvendige tilsetningsstoffer/additiver.

Typisk sammensetning (vekt-%) av PE-rør for drikkevann er som følger<sup>11)</sup>:

- Polymer: 97,38 % (Polyetylen)
- Fargestoff/UV-stabilisator: 2.3 % (Carbon Black)
- Antioksidant: 0.22 % (Irganox 1010; Irgafos 168)
- Hjelpestoff/Acid scavenger: 0.15 % (Ca-stearat)

For å redusere migrasjonen av lavmolekylære forbindelser til vannet, tilstrebes en smalest mulig molekylvektfordeling av polyetylen. Denne kontrolleres ved hjelp av katalysatorer som i PE-rør foreligger som salter av Ti, Si, Al, Mg, Cl og Cr<sup>12)</sup>.

Rørmaterialer kan påvirke vannkvaliteten ved at:

- **Stoffer fra røret lekker (migrerer) ut i vannet.** Plastrør inneholder en rekke kjemiske forbindelser og nedbrytningsprodukter av slike som kan lekke ut i vannfasen. Utlekkingen vil normalt øke med vannets oppholdstid i ledningen og med rørveggens overflate i forhold til vannvolumet, et forhold som øker med avtagende rørdiameter. Innhold av oksiderende stoffer (for eksempel klor) i vannet vil i noen grad oksidere rørvæggen, og både utlekking og oksidasjon vil normalt øke med økende vanntemperatur. Konsentrasjonen av utlekkede stoffer fra en rørledning vil derfor være avhengig av en rekke faktorer, herunder: Type rørmateriale, vannkvalitet, vanntemperatur, strømningshastighet, rørdiameter og lengde på rørledningen, etc.
- **Stoffer i vannet feller ut/danner belegg på rørvæggen.** Dette kan skyldes partikler som sedimenterer/fester seg til røroverflaten, utfelling av metaller som jern og mangan
- **Mikroorganismer vokser på rørvæggen.** Dette kan skyldes innhold av organisk substrat i råvann og rentvann (BDOC, AOC). Det kan også skyldes utlekking av organiske stoffer fra PE-rør i distribusjonssystemet, slik som antioksidanter, UV-stabilisatorer og deres nedbrytningsprodukter. Dette kan gi næring til mikroorganismer og bidra til biofilm- og beleggdannelse.

Plastrør (PE-rør og PEX-rør) til bruk for drikkevann må være godkjent til slikt bruk, og testmetoder for helsemessige effekter og eventuelle toksiske migrasjonsprodukter er gjenstand for standardisering og harmonisering<sup>13)</sup>. Estetiske problemer og klager på lukt og smak er

11) Skjevraak, I. (2004). Migrasjon av organiske forbindelser fra plastrør brukt på distribusjonsnettet for drikkevann. Den 4. Nordiska Dricksvattenkonferensen, Esbo, Finland 18-20 oktober, 2004

12) Rehn, L. (2000). Polyetylen i rør for drikkevann. Borealis. Fagtreff i Norsk Vannforening: Utlekking av materialer som kommer i kontakt med drikkevann; 6.mars 1999

13) Miljøministeriet, Danmark (2012). Statusvurdering vedr. afgivelse af organiske stoffer fra plastrør til drikkevand. Miljøprojekt nr. 1443, 2012. ISBN 978-87-92903-53-2.

vanlige, særlig for nye rør og for rør der vannet har lang oppholdstid. Utlekkingsprodukter og deres nedbrytningsprodukter kan også gi næring til mikroorganismer og bidra til dannelse av biofilm og belegg. Mikrobiell aktivitet i biofilm og belegg kan danne nye lukt- og smaksstoffer i vannet, hvorav enkelte med ekstremt lav lukt- og smaksterskel (f.eks. kloranisoler). Belegg som løsner kan også gi klager på misfarging, lukt og smak.

**Diffusjon.** Vannkvaliteten kan også påvirkes ved at stoffer fra grunnen diffunderer inn i og gjennom PE-rørveggen. Dette kan primært oppstå for små rørdimensjoner med liten veggtykkelse ( $\varnothing < 50$  mm) og der vannets oppholdstid er lang.

Type og mengde av forurensning på utsiden av røret har selvsagt betydning, og flyktige forbindelser fra metanrik myr eller grunn som er forurenset via utslipp av olje, bensin, diesel, impregnerings-midler, etc., kan trenge gjennom rørveggen og påvirke vannkvaliteten. Dette omfatter stoffer med betydelig helsemessig risiko, (eks. benzen) samt stoffer som kan gi lukt og smak på vannet selv i lave konsentrasjoner.<sup>14)</sup> Diffusjonen av stoffer som benzen økte med avtagende rørdiameter og avtagende tykkelse på rørveggen<sup>15)</sup>. Det finnes plastrør med diffusjonssperre, men disse anvendes i liten grad for drikkevannsforsyning.

**Migrasjon og vannkvalitet.** Skjevraak (2004)<sup>16)</sup> testet migrasjon til testvann etter 72 timer fra syv ulike fabrikater av PE-rør med høy tetthet (HDPE), og påviste 37 flyktige enkeltforbindelser (VOC). Disse ble gruppert sammen i seks klasser:

1. Stoffer relatert til antioksidanter
  - a. 2,4-di-tert-butylfenol (DTBP), et sannsynlig nedbrytningsprodukt fra Irgafos 168
  - b. 2,6-di-tertbutylbenzokinon, et kjent nedbrytningsprodukt fra Irganox 1010/1076
  - c. Butylert hydroksty-toluen (BHT); 4-metyl-2,6-di-tert-butylfenol
2. Estere
3. Aldehyder
4. Ketoner
5. Terpenoider
6. Aromatiske hydrokarboner

Totalkonsentrasjonen av flyktig organisk stoff (VOC) varierte mellom de ulike PE-fabrikatene, men holdt seg relativt stabil i 3 påfølgende 72-timers tester. En langtidstest med ett av HDPE-rørene, der gjentatte 72-timers tester ble foretatt over en periode på 41 døgn, viste at konsentrasjonen av antioksidant-relaterte forbindelser var redusert til ca. halvparten av verdien fra den første 72-timers testen. For total organisk karbon (TOC) var innholdet lavere enn 0.4 mg/L i alle testvann.

Luktintensiteten i testvann ble kvantifisert som Threshold Odour Number (TON), der resultatet angir antall fortyninger før odøren ikke lenger kan påvises av et testpanel. Bare 2 av de 7 undersøkte PE-rørene hadde  $TON \leq 3$ , en vanlig grenseverdi for drikkevann. Fem av totalt syv PE-rør ga TON-verdier større eller lik 4.

Det ble ikke påvist noen entydig sammenheng mellom luktintensitet og konsentrasjonen av enkeltkomponenter i testvannet, men testvann med de høyeste VOC-nivåene hadde også høye TON-verdier. Rør som avgir høye mengder VOC har derfor også stor sannsynlighet for intens lukt og høye TON-verdier.

I HDPE-rørsløyfer plassert ute på ledningsnettet for drikkevann ble det etablert naturlig biofilm under kontinuerlig vanngjennomstrømning<sup>17),18),19)</sup>. Biofilmen ble prøvetatt over en periode på ca. halvannet år, og analysert for VOC, inklusive 2,4-di-tert-butylfenol og alifatiske C6-C10-aldehyder. Sistnevnte ble ikke påvist i biofilmen, noe som tyde på rask mikrobiologisk omsetning eller raskt avtagende utlekking. Konsentrasjonen av 2,4-di-tert-butylfenol var detekterbar og stabil i biofilmen i en periode på over 30 uker (2/3 av forsøksperioden). Deretter var den ikke detekterbar, noe som kan skyldes redusert migrasjon eller mikrobiologisk omsetning i biofilmen. Andre degraderingsprodukter fra antioksidantene eller andre typer av utlekkingsprodukter ble ikke påvist i biofilmen. Tilstedeværelse av klor i vannet synes å forsterke lukt- og smaksproblemer knyttet til biofilm. Dette gjelder også innomhus rørinstallasjoner med PEX-rør<sup>20)</sup>.

14) Nordisk Plastrørgruppe Norge 2014. Lærebok. <http://media.wp.npgnordic.com/2017/09/Laerebok-19-November-2014.pdf>

15) Mao, F. et al (2015) Modeling benzene permeation through drinking water high density polyethylene (HDPE) pipes. *Journal of Water and Health*, 13.3, 2015. <https://iwaponline.com/jwh/article/13/3/758/28400/Modeling-benzene-permeation-through-drinking-water>

16) Skjevraak, I. (2004). Migrasjon av organiske forbindelser fra plastrør brukt på distribusjonsnettet for drikkevann. Den 4. Nordiska Dricksvattenkonferensen, Esbo, Finland 18-20 oktober, 2004

17) Skjevraak, I. (2002). Naturlig biofilm i vannledning - en mulig kilde til luktepisoder på drikkevannsforsyningen, *VANN*, 4, 297-300

18) Skjevraak, I., Lund, V., Ormerod, K. and Herikstad, H. (2004). Biofilm in water pipelines: a potential source for off-flavours in the drinking water. *Water Science and Technology*, 49, No.9, 211-217

19) Skjevraak, I., Lund, V., Ormerod, K. and Herikstad, H. (2005). Volatile organic compounds in natural biofilm in polyethylene pipes supplied with lake water and treated water from the distribution network. *Water Research*, 2005.

20) Kelley, K.M. et al. (2014). Release of drinking water contaminants and odor impacts caused by green building cross-linked polyethylene (PEX) plumbing systems. *Water Research*, 67, 19-32

Dannelse av luktintensive biprodukter fra HDPE-granulat i vann er rapportert fra Finland<sup>21),22)</sup> der man fant karbonylforbindelser (aldehyder, ketoner og estere). Laboratorieforsøk med PE-rør, og analyser av vann fra ledningsnett for drikkevann i Danmark<sup>23),24)</sup> viste forekomst av en rekke fenolforbindelser.

Arvin (2016)<sup>25)</sup> angir at mer enn 100 kjemiske forbindelser er påvist i drikkevann i kontakt med PE, herunder alkaner, alkener, aromatiske hydrokarboner, alkoholer, aldehyder, cyclohexaner, estere, etere, ketoner, organiske syrer, peroksider, fenoler, ftalater, quinoner og terpenoider, og man konkluderer som følger med hensyn til migrasjon fra PE- og PEX-rør:

- PE-rør i drikkevannsledninger avgir en lang rekke organiske stoffer, bl.a. lukt- og smaksstoffer og «plastfenoler», normalt i konsentrasjoner < 1µg/l
- Plastfenolene er påvist i ledningsnett og i migrasjonstester
- Kun ca. 2 % er identifisert
- Plastfenolene er tungt nedbrytbare og bioakkumulerende
- Kunnskapen om stoffene toksisitet er mangelfull
- PE-rør avgir stoffer i lang tid, muligens opptil 50-100 år
- PEX-rør fremmer i særlig grad biologisk (uønsket) vekst

En rapport om avsmittning til drikkevann fra plastrør utarbeidet for Vandpanelet i Danmark angir additiver i PE, i form av stabilisatorer, hjelpestoffer og fargestoffer, og Tabell 6.1 er hentet herfra.

21) Villberg, K. et al. (1997). Analysis of odour and taste problems in high-density polyethylene. *J. Chromatography*, 791|, 213-219

22) Villberg, K. and Veijanen, A. (1998). Identification of off-flavour compounds in high-density polyethylene (HDPE) with different amounts of absents. *Polymer Engineering and Science*, 38, No. 6, 922-925

23) Brocca, D., Arvin, E. and Mosbæk, H. (2002). Identification of organic compounds migrating from polyethylene pipelines into drinking water. *Water Research*, 36, 3675-3680.

24) Brocca, D., Arvin, E. and Mosbæk, H. (2002). Quantification of organic compounds being released from polyethylene pipelines into drinking water. *Environmental Science and Technology*

25) Arvin, E. (Forfatter). (2016). Hvordan sikre god vannkvalitet helt frem til forbruker? - Trusler og løsninger. Lyd og/eller billed produktion (digital), Kgs. Lyngby: DTU Environment. Foredrag på Kursdagene NTNU/Tekna, 8. Jan 2016.

Tabell 6.1. Anvendte additiver i PE: Stabilisatorer, hjelpestoffer og fargestoffer<sup>26)</sup>.

Funksjon	Kjemisk navn	CAS nr.	TDI mg/kg/d	MW (Da)	Bruk	Mengde vekt-%	Handelsnavn
Stabilisatorer	Tetrakis [metylen(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxy) hydrocinna-mat)] methan	6683-19-8	3	1178	x	0.15 - 0.2	Irganox 1010
	Octadecyl 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) propionat	2082-79-3	0,1	531		< 0.1	Irganox 1076
	1,3,5-trimethyl-2,4,6-tris(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxybenzyl) benzen	1709-70-2	1	775	x	0.5	Irganox 1330
	2,2'-oxamido bis-(ethyl 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) propionat)	70331-94-1	10	988	x	0,2	NOBUX-ODB
	Tris(2,4-di-tert-butylphenyl) phosphit; Phenol	31570-04-4	1	647	x	0.1 - 0.2	Irgafos 168
	Dimethyl succinat-1-(2-hydroxy-ethyl)-4-hydroxy- 2,2,6,6-tetramethylpiperidin copolymer	65447-77-0	0.5	3100-4000	x	0.2-0.3	
	l-Propen, 1,1,2,3,3,3-hexafluoro-, polymer med 1,1-difluoroethen	9011-17-0	-	>7.000		0,01	
	1,1-difluoroethen Etylen-vinylacetat copolymer - 0,5 Fluoro elastomer/ polyetylen blanding	0/9002-88-7	-			0,01	
	Phtalocyaninato(2-)-n(29),n(30),n(31),n(32)]	14832-14-5	-			0,0138	14832-14-5 - 0,0138
	2-hydroxy-4-n-octoxy-benzophenon	1843-05-6	0.1	326		Max 0.25	Chimasorb 81
	2-(2'-hydroxy -3,-t-butyl-5'-methylphenyl)-5- chlorbenzo-triazol	3896-11-5	0.5	316			
	Poly[oxiran-co-(1,2-epoxy-propan)]	06-11-9003	-			0,0007	
	Polydimethylsiloxan	9016-00-6	-	6800		0.0013	
	Polytetrafluoroethylen	9002-84-0	-			max 0.01	
Hjelpestoffer	Calcium stearat	1592-23-0	>1	607	x	0.1 - 0.2	
	Zink stearat	557-05-1	>1	632	x	max 0.1	
	Silicumdioxid, amorf	112945-52-5	-		x	opp til 25	
	Titanium dioxid	13463-67-7	-		x	< 0.5	
	Aluminum oxid 1344-28-11 102 0,0044	1344-28-1	1	102		0.0044	
	Vinyl acetat	108-05-4	0.2	86		0.5	
	Calciumsalter av fettsyrer C16-C18	85251-71-4	-			max 0.15	
	Polyethylenglycol	25322-68-3	5			0.025	
	Hydrocarboner (C6-C7)		-				
Fargestoffer	Carbon Black	1333-86-4	-		x	opptil 2.5	
	Kobber phthalocyanin	147-14-8	-			opptil 2.5	
	Ultramarine Blue	57455-37-5	-			Max 0.5	

26) Rapport til Vandpanelet (2004): Afsmitning til drikkevand fra plastrør anvendt til vandforsyningsformål - Identifikation af potentielle stoffer, ISBN: 87-90455-43-6, Sep 2004

I rapporten beskrives 10 nedbrytningsprodukter som stammer fra tilsatte antioksidanter i plastrørene. Disse stoffene, som er vist i punktlisten nedenfor, finnes ofte i vann som har vært i kontakt med plastrør.

1. 4-ethylfenol
2. 4-tert-butyl fenol
3. 2,6-di-tert-butyl-p-benzoquinon
4. 2,4-di-tert-butyl fenol
5. 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxystyren
6. 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxybenzaldehyd
7. 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyacetophenon
8. 7,9-di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)-deca-6,9dien-2,8-dion
9. 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) methylpropanoate
10. 4-methyl-2,6-di-tert-butyl-phenol (BHT).

I undersøkelser av PEX-rør har man også funnet følgende stoffer:

1. 4-butoxyfenol
2. 5-metyl-2-hexanon
3. Metyl-tert-butyleter (MTBE)
4. Tert-butanol(2-metyl-2-propanol)

I en dansk oppfølgingsrapport fra Miljøstyrelsen i 2012 angis det at stoffene nevnt over bare utgjør en del av den samlede mengde nedbrytningsprodukter, og man angir en liste med hele 120 organiske stoffer som er påvist i vann fra PE- eller PEX-rør<sup>27)</sup>.

Rapporten beskriver også resultater fra migrasjonstester i forbindelse med rørleveranser, og analyser av vannprøver tatt i områder med PE-rør på ledningsnett. Tabell 6.2 gir en sammenfatning av norske og danske resultater fra migrasjonstester og feltstudier med PE-rør og PEX-rør.

Tallene viser at stoffmigrasjonen var betydelig lavere i ledningsnett enn i laborietestene. Dette skyldes etter all sannsynlighet forhold som alder på rørene (brukte rør i ledningsnett; nye rør i migrasjonstestene), høyere vanntemperatur i laboriestudiene, og at nettvannets innhold av mikroorganismer kan gi biologisk nedbrytning av enkelte stoffer. Dessuten var oppholdstiden i ledningsnett ofte kortere enn de 3 døgn (72 timer) som benyttes i migrasjonstesten. Stoffmigrasjonen var også betydelig lavere ved 3. ekstraksjon enn ved 1. ekstraksjon, noe som tyder på at migrasjonen avtar med testen/tiden.

Selv om migrasjonstestene ble utført etter samme metode (EN 12873-1), ble det funnet mye høyere konsentrasjoner av MTBE og 5-metyl-2-hexanon i de norske enn i de danske undersøkelsene av PEX-rør. De norske undersøkelsene konkluderte med at stoffmigrasjonen påvirket vannkvaliteten negativt, selv etter 1 års bruk. De danske undersøkelsene påviste at nedbrytningsprodukter avgis i hele rørets levetid. Migrasjonstestene viser også at stoffavgivelsen fra kan være betydelig større fra PEX-rør innomhus enn fra PE-rør i det eksterne vannledningsnett. I migrasjonstester er det målt konsentrasjoner over 10 µg/L for enkelte stoffer med PEX-rør, og mindre enn 4 µg/L med PE-rør.

Migrasjonstestene synes å være mer representative for PEX-rør enn for PE-rør med store dimensjoner. Undersøkelsene peker videre på at avgitte organiske stoffer fra plastrør kan utgjøre substrat for biologisk vekst i ledningsnett, noe som kan medføre hygieniske problemer og lukt-/smaksproblemer. Analyser av biologisk vekstpotensial (AOC; BDOC) bør derfor inngå i analyseprogrammet.

De stoffene som er angitt på neste side vil ikke alle kunne gi opphav til lukt og smak. Men listene kan likevel gi en god ledetråd for hvilke stoffer man kan se etter ved prøvetaking og analyse av potensielle lukt- og smaksforbindelser i drikkevann forsynt via PE- og/eller PEX-rør. Siden man i begrenset grad har omtalt mikrobiologisk stoffomsetning i biofilm og belegg, bør listen av potensielle analyseparametere muligens suppleres med kloranisoler. En oksidasjon i form av klorering ser også ut til å kunne forsterke dannelsen av lukt- og smaksstoffer fra belegg/biofilm i PE-rør.

Lukt- og smaksstoffer generert fra PE-rør vil normalt reduseres med tiden. En fjerning av slike stoffer kan normalt skje ved adsorpsjon på aktiv kull - i pulverform (PAC) eller som filtermateriale (GAC).

27) Miljøministeriet/Miljøstyrelsen (2012). Statusvurdering vedr. avgivelse af organiske stoffer fra plastrør tildrikkevand. Miljøprosjekt nr. 1443, 2012, ISBN 978-87-92903-53-2. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/09/978-87-92903-53-2.pdf>

Tabell 6.2. Sammenfatning av danske og norske undersøkelsesresultater fra migrasjonstester og feltstudier (\* angir forslag til anbudskriterier og DS sertifisering; \*\* angir kvalitetskriterier for drikkevann)<sup>28), 29)</sup>

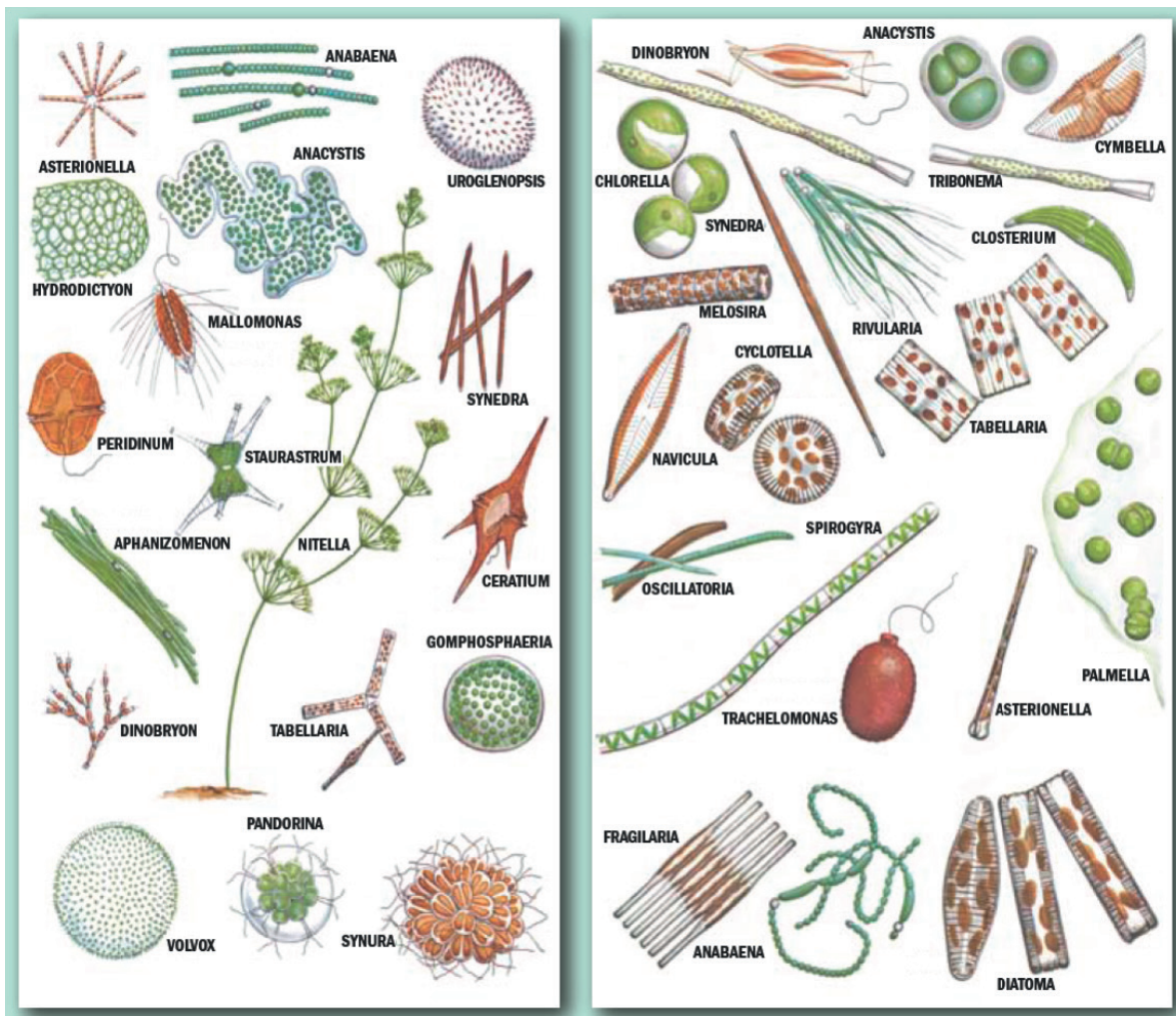
Parameter	PE rør migrasjons-test (µg/l)	PE rør feltunder-søgelse (µg/l)	PEX rør migrasjons-test (µg/l)	PEX rør feltunder-søgelse (µg/l)	Kriterier (µg/l)
Samleparametre					
NVOC	<50-480	-	<100-3500	-	300*
Vandopløselige stoffer fra krydsbindings-prosessen					
5-methyl-2-hexanon	<0,05-0,11	0,26-0,42	<0,05-16	<0,05	10**
MTBE	-	-	<0,02-179	<0,02-0,33	5**
Nedbrydningsprodukter fra antioxidant					
4-ethylphenol	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-
4-tertbutylphenol	<0,05-0,5	<0,05-3,7	<0,05	<0,05	-
2,6-di-tert-butyl-p-benzoquinone	<0,05-3,6	<1-2,6	<0,2-12	<0,1-5,6	(20***)
2,4-di-tert-butyl-phenol	<0,05-3,1	<0,1-0,3	<0,05-2,2	<0,05-0,31	20**
3,5-di-tert-butyl-4-hydroxystyren	<0,05-0,24	<0,05	<0,05	<0,05	-
3,5-di-tert-butyl-4- hydroxybenzaldehyde	<0,05-1,2	<0,05-0,15	0,05-1,5	<0,05-0,72	(1***)
3,5-di-tert-butyl-4- hydroxyacetophenon	<0,05-1,1	<0,05-0,27	0,05-0,5	<0,05	(20***)
7,9-di-tert-butyl- oxaspiro(4,5)deca-6,9-dien-2,8-dion	<0,05-3,0	<0,05-0,58	<0,05-33	<0,05-0,09	(1***)
3-(3,5-di-tert-butyl-4- hydroxyphenyl) methylpropanoate	<0,05-1,4	<0,05-0,09	<0,05-1,6	<0,05	(1***)
4-methyl-2,5-di-tert-butyl-phenol (BHT)	<0,05	<0,05-0,75	<0,05	<0,05-0,2	-

28) <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/09/978-87-92903-53-2.pdf>

29) Lund, V., Anderson-Glenna, M., Skjevrak, I. and Steffensen, I-L. (2011). Long-term study of migration of volatile organic compounds from cross-linked polyethylene (PAX) pipes and effects on drinking water quality. Journal of Water and Health, 09.3, 2011, 483-497. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21976195/>

## 7. Lukt og smak fra alger

Ferskvann kan inneholde flere ulike typer av alger, hvorav de vanligste er angitt i Figur 7.1.



Figur 7.1. Vanlige alger i ferskvann<sup>30)</sup>

Enkelte alger kan produsere lukt- og smaksstoffer, hvorav de mest kjente er følgende:

- Geosmin («jordlukt»)
- Metylisoborneol, 2-MIB («mugglukt»)
- $\beta$ -ionone
- $\beta$ -cyclocitral
- 2-isobutyl-3-methoxypyrazin
- 2-isopropyl-3-methoxypyrazin

Peter et al<sup>31)</sup> påviste alle de 6 overnevnte typer av algene generert lukt og smak i tre sveitsiske innsjøer, med konsentrasjoner i området 2-27 ng/L.

En spørreundersøkelse i 1997 viste at 13 av 121 grunnvannsværk og 103 av 229 overflatevannværk hadde hatt

problemer med lukt og smak<sup>32)</sup>. I 2015 ble et spørreskjema fra Norsk Vann sendt til 95 utvalgte kommuner. Svarene fra 51 kommuner (54 %) viste følgende:

- 18 vannverk (39 %) hadde hatt lukt- og smaksproblemer, herav 10 av 31 vannverk med overflatevann (32 %), og 6 av 7 vannverk med grunnvann
- 34 vannverk (72 %) tok rutinemessig prøver for lukt- og smaksanalyser
- Lukt- og smak var sesongavhengig: Mest fremtredende vår/sommer
- Flere årsaker ble angitt: Endret råvannskvalitet (6 vannverk); Prosesser i ledningsnett (5); PE-rør (2); Vannbehandlingen (2); Høy klordose (2); Klorvask av MF (1); Andre (8)

30) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

31) Peter, A. (2008). Taste and odor in drinking water - Sources and mitigation strategies. Ph.D. dissertation No. 17761, ETH, Zürich

32) Norsk Vann (2010). VA-Fakta V10 - Vannforsyning

Alger kan også produsere toksiner, men dette er et tema som ikke vil bli nærmere omtalt i denne rapporten.

Algeprodusert lukt og smak i råvannskilder er relativt vanlig også i Norge, eksempelvis i Mjøsa, Vansjø, Glomma, og Aurevann.

Vannplanter kan også gi opphav til lukt og smak, spesielt knyttet til grunne inntak med plantevekst i inntaksområdet<sup>33</sup>). Også krepsdyr kan generere lukt og smak, og slike kan sannsynligvis også etablere seg i ledningsnettet.

---

## 7.1. Analyse av alge-produsert lukt og smak

Ved mistanke om alge-produsert lukt og smak bør man kartlegge type algeforekomst, konsentrasjoner og årstidsvariasjoner (klorofyll, mm). Videre anbefales det at følgende lukt- og smaksrelaterte parametere inngår i analyseprogrammet (Tabell 7.1):

Tabell 7.1. Forslag til analyseparametere for algegenerert lukt og smak

Analyseparametre for algegenerert lukt og smak
▪ Geosmin («jordlukt»)
▪ Metylisoborneol, 2-MIB («mugglukt»)
▪ $\beta$ -ionone
▪ $\beta$ -cyclocitral
▪ 2-isobutyl-3-methoxy-pyrazin
▪ 2-isopropyl-3-methoxy-pyrazin

En enkel metode for å utrede et eventuelt algegenerert problem fra råvannet er å filtrere eksempelvis 10 L vann gjennom en planktonhov (5-10  $\mu$ m), ned til et volum på 10-100 mL. Ved å lukte på denne oppkonsentrerte prøven kan man få et godt bilde av problempotensialet i råvannskilden.

---

## 7.2. Fjerning av algeprodusert lukt og smak

Alger og cyanobakterier kan ha høyt innhold av algetoksiner og/eller lukt- og smaksstoffer inne i cellene (intracellulært). Effektiv fjerning kan derfor oppnås dersom man klarer å fjerne algene skånsomt, intakte og uten skade på celleveggene. Enhver skade på celleveggen kan medføre lekkasje av toksiner og lukt-/smaksstoffer ut i vannfasen. Celleveggenes tykkelse og robusthet varierer fra algetype til algetype. Stressede alger er også mindre robuste.

Har man blågrønnalger/cyanobakterier i vannet bør oksidasjonsprosesser unngås eller benyttes med

forsiktighet, siden dette kan medføre ødeleggelse av celleveggen og lekkasje av intracellulært innhold. En oksidasjon av geosmin og 2-MIB kan derved gi høye innhold av lukt- og smaksstoffer grunnet utlekking fra ødelagte algeceller<sup>34</sup>). Slike alger bør derfor primært fjernes fra vannet før oksidasjon/desinfeksjon med klor eller ozon.

Tabell 7.2 angir aktuelle metoder for fjerning av intakte algeceller og algemetabolitter fra vann, herunder lukt- og smaksstoffer.

---

33) Karl. O. Gjerstad (2023) pers. meddelelse

34) Newcombe, G. et al. (2010). Management strategies for cyanobacteria (Blue-green-algae): A guide for water utilities. Research Report No. 74, WQRA, ISBN 18766 16245

Tabell 7.2 Aktuelle vannbehandlingsmetoder for fjerning av geosmin og MIB<sup>35)</sup>.

Treatment Process	For Intact Cells
Coagulation/sedimentation	Very effective for the removal of intracellular T&O (Taste and Odor) provided cells accumulated in sludge are isolated from the plant
Rapid filtration	Very effective for the removal of intracellular T&O provided cells are not allowed to accumulate on filter for prolonged periods
Slow sand filtration	As for rapid sand filtration, with the additional possibility of biological degradation of dissolved T&O
Combined coagulation/ sedimentation/filtration	Extremely effective for the removal of intracellular T&O provided cells accumulated in sludge are isolated from the plant and any free cells are not allowed to accumulate on filter for prolonged periods
Membrane processes	Very effective for the removal of intracellular T&O provided cells are not allowed to accumulate on membrane for prolonged periods
Dissolved Air Flotation (DAF)	As for coagulation/sedimentation
Oxidation processes	Not recommended as a treatment for cyanobacteria cells as this process can lead to cell damage and lysis and consequent increase in dissolved T&O levels
Treatment Process	For dissolved metabolites
Powdered activated carbon (PAC) adsorption (doses required vary with water quality)	A microporous carbon (coconut or coal based, steam activated wood) 60 minutes contact time is recommended High doses may be required for high concentrations of T&O
Adsorption -granular activated carbon (GAC)	GAC adsorption is an effective treatment for T&O. The time required for breakthrough will depend on the contact time and water quality. Removal is not reliable in the presence of free chlorine
Biological filtration	When functioning at the optimum this process can be very effective for the removal of T&O. However, factors affecting the removal such as biofilm mass and composition, acclimation periods, temperature and water quality cannot be easily controlled
Ozonation	A residual of at least 0.3 mg L <sup>-1</sup> for 10 minutes should result in up to 50 % removal of the T&O. Doses will depend on water quality
Chlorination	Ineffective
Chloramination	Ineffective
Chlorine dioxide	Not effective with doses used in drinking water treatment

Viktige forhold vedrørende konvensjonell vannbehandling, flotasjon, slam og spylevannsdiskonering, samt membranfiltrering er nærmere beskrevet nedenfor.

**Konvensjonell vannbehandling.** Som angitt i Tabell 7.2 vil effekten av konvensjonell koagulering og flokkulering være svært avhengig av type og form på de aktuelle algene (i.e. individuelle algeceller, filamentære etc). Generelle anbefalinger for koagulering kan derfor vanskelig gis. En koaguleringsprosess som er tilpasset/ optimalisert for fjerning av NOM (farge, UV-abs, TOC) vil imidlertid normalt også gi god fjerning av cyanobak-

terier (blågrønnalger), herunder deres intracellulære algemetabolitter og lukt/smaksstoffer. Litteraturen gir motstridende opplysninger om hvilke koaguleringsmidler som er mest effektive, men en optimalisering av koaguleringsprosessen vil uansett være et godt virkemiddel også mot problematiske algeblomstringer og algeprodusert lukt og smak. Det er også motstridende opplysninger om hvorvidt og i hvilken grad alger kan ødelegges under vannbehandlingen slik at intracellulært materiale slipper ut. Dette synes å være avhengig av faktorer som algenes tilstand og vekstfase. Under en algeblomstring vil man normal ha alger i alle vekstfaser,

35) Newcombe, G. et al. (2010). Management strategies for cyanobacteria (Blue-green-algae): A guide for water utilities. Research Report No. 74, WQRA, ISBN 18766 16245

men en optimalisert koaguleringsprosess vil uansett utgjøre en effektiv behandlingsbarriere mot algeproduert lukt og smak.

Flotasjon (Dissolved air flotation (DAF)) er en svært effektiv prosess for fjerning av cyanobakterieceller, særlig de som har gassfylte hulrom (vakuoler) som gjør dem lite sedimenterbare. Også for flotasjon er det viktig at prosessen er optimalisert for at resultatet skal bli godt.

Disponering av slam og spylevann. En algecelle kan tape levedyktighet, dø og begynne å lekke løste algemetabolitter (intracellulære stoffer) til den omgivende vannfasen så snart den blir «innesperret» i slam. Dette kan skje allerede etter én dag for noen cyanobakterier, og kan potensielt gi svært høye konsentrasjoner av algemetabolitter. Også algeceller som tilføres filtersenger, både individuelle celler og innbakt i fnokker, kan raskt miste levedyktighet. Der man har toksinproduserende alger bør man derfor - om mulig - holde alt slam, dekantat og rejekt isolert i anlegget inntil algetoksiner er tilstrekkelig nedbrutt. Microcystin er relativt godt biologisk nedbrytbar slik at nedbrytningsprosessen normalt er overstått på 1-4 uker. Andre algetoksiner som Cylindrospermopsin og saxitoksiner er mindre biologisk nedbrytbare, noe som derved kan kreve spesiell oppmerksomhet.

Intracellulær geosmin og MIB kan også lekke ut fra algecellene under sedimenterings- og slambehandlingsprosesser, noe som kan gi økt lukt og smak fra vann- og slambehandlingen. Dette kan også gi betydelig økte innløpskonsentrasjoner av slike lukt- og smaksstoffer dersom dekantat og/eller rejektvann fra slambehandlingen returneres til innløpet av vannbehandlingsanlegget. Det er viktig at man tar hensyn til slike forhold ved design av prøvetakingsprogram. Under perioder med algeblomstring og økt tilførsel av algeceller til filtertrinnet vil trykktapet normalt øke, og filterspylefrekvensen må også økes. Hyppigere filterspyling vil normalt redusere risikoen for forekomst av løste algemetabolitter (lukt, smak, toksiner) i det filtrerte vannet. Økt

algeinnhold i filterutløpsvann kan også gi økt innhold i spylevannet. Dette utgjør en risiko for forhøyede nivåer av algemetabolitter i anlegget, med tilhørende driftsmessige utfordringer.

Membranfiltrering. Celler/kolonier av cyanobakterier har normalt en størrelse på 1 µm eller mer. Filtrering gjennom mikro- eller ultrafiltreringsmembraner med poreåpning på 1 µm eller mindre vil derfor normalt gi effektiv fjerning av slike celler. Fullskala erfaringer med membranfiltrering for fjerning av cyanobakterier er dog mangelfulle. Før valg av membran er det viktig å innhente spesifikk informasjon fra leverandøren vedrørende membranmaterialer, reelle poreåpninger, porestørrelsesdistribusjon, membranintegritet, m.v. Ultra- og mikrofiltreringsmembraner vil normalt ikke evne å fjerne algemetabolitter, herunder lukt- og smaksstoffer. Bruk av tettere membraner som nanofiltrering (NF) og omvendt osmose (RO) vil normalt kreve forbehandling for fjerning av partikler og organisk stoff (NOM), slik at kapasitetsreducerende beleggdannelse (fouling) av membranen kan minimaliseres. Algemetabolitter er imidlertid så små at også nanofiltrering vil ha minimal effekt.

Algeceller/cyanobakterier vil oppkonsentreres på membranen. Grad av skade på algecellene med tilhørende frigjøring av algemetabolitter vil avhenge av driftsmessige forhold som fluks gjennom membranen, trykkforhold, vaskefrekvens, etc. Som nevnt for koagulering, er det viktig å optimalisere prosessen med hensyn til vaskerutiner, spylefrekvenser, isolering av vaske/spylevann, etc.

Rutinemessig klorvask av NF-membraner for kontroll av beleggdannelse kan lede til dannelse av klorfenoler, noe som i neste omgang kan utgjøre forløpere/substrat for en mikrobiologisk omdanning til kloranisoler på ledningsnett. Lim som anvendes i nanofiltreringsmembraner kan også bidra til dette ved å avgi fenoler (bisfenol) til vannet. Mer om dette i vedlegg/Case Åfjord.

## 8. Lukt og smak fra vannbehandling/ desinfeksjon

Lukt- og smaksstoffer kan også dannes i vannbehandlingen, primært som biprodukter av oksidasjons- og desinfeksjonsprosesser. Dannelsen av slike biprodukter avhenger av vannkvaliteten, og som et eksempel kan klorering av bromidholdig vann medføre dannelse av bromfenoler slik som 2,6-dibromfenol med en luktterskel på bare 0.5 ng/L. Klorering av fenolholdig vann kan forsterke lukten og smaken.

Videre kan innhold av jern og/eller sulfat i vannet gi lukt og smaksproblemer knyttet til vekst av jernbakterier (e.g. *Crenothrix* sp., *Leptorix* sp.) og sulfatreduserende bakterier i ledningsnett. Foruten i vannbehandlingen (koaguleringen), kan jern tilføres vannet ved korrosjon av ledningsmaterialer og/eller andre materialer i kontakt med vannet.

Sulfat kan også tilføres vannet via koagulanter som eksempelvis aluminiumsulfat og jernkloridsulfat. Risikoen for vekst av sulfatreduserende bakterier og tilhørende lukt og smaksproblemer er størst i ledningsnett med lange oppholdstiden (dødszoner, henstandsvann).

Ozonering vil også danne biprodukter, eksempelvis aldehyder, ketoner og organiske syrer som kan gi lukt. Ozoneringsbiprodukter har imidlertid betydelig høyere smak/luktterskel enn kloreringsbiprodukter, og ozoneringsbiprodukter vil normalt lett kunne fjernes i etterfølgende biofiltre<sup>36</sup>.

---

36) Peters, A. and von Gunten, U. 2009. Taste and odor problems generated in distribution systems: a casestudy on the formation of 2,4,6 trichloroanisole. J. of Water Supply - Research and Technology-AQUA, 58-6, 2009

## 9. Lukt og smak dannet i ledningsnett

Lukt og smak kan også dannes i distribusjonssystemet, eksempelvis fra stoffer som migrerer fra PE-rør og/eller andre materialer (for eksempel epoksy) i kontakt med vannet.

Det er rapportert om lukt og smak fra rør rehabilitert med epoksybelegg og fra vanntanker med innvendig epoksybelegg. På 1980- og 1990-tallet ble det rapportert en rekke tilfeller av lukt- og smaksproblemer knyttet til epoksybelagte drikkevannstanker offshore, der det ble påvist stoffer som xylen, toluen og etylbenzen<sup>37)</sup>.

En fransk undersøkelse av 200 rørseksjoner som var rehabilitert med innvendig epoksybelegg påviste migrasjon av bisfenol A og F i en stor andel av rørene, med konsentrasjoner opptil 1 µg/L. I et tilfelle i 2008 fikk man en rekke klager på rosa farge og mugglukst av vannet fra et område med epoksyrehabiliterte rør og vann som var desinfisert med klor eller klordioksid, noe som kan akselerere aldringen av epoksy. Undersøkelser av vann fra 27 epoksybelagte vanntanker (60-1500 m<sup>3</sup>) påviste imidlertid ikke bisfenol<sup>38)</sup>. Man konkluderte med at bisfenolmigrasjon ikke burde representere noe problem i epoksybelagte tanker større enn 100 m<sup>3</sup> dersom belegget var lagt i henhold til spesifiserte krav om herdetid, temperatur og fuktighet.

Lukt og smak kan også dannes via mikrobiologiske omsetningsprosesser i ledningsnett. Et eksempel på dette er 2,4,6-trikloranisol, et stoff med en sterk lukt og en svært lav lukterskel (30 pg/L).<sup>39),40),41),42),43)</sup>

Et eksempel fra Sveits viser at det kan ta lang tid å identifisere årsaker og løse problemer knyttet til kloranisoler i ledningsnett. Man lanserte tre kriterier som førte til kloranisol-dannelsen:

1. Forløpere (klorfenoler) dannet ved klorering av fenoler i vannet
2. Biofilmer, med mikrobiell omsetning av klorfenoler til kloranisoler
3. Ledningsnett med lange oppholdstider

Det viste seg vanskelig å identifisere hvor fenolene i utgangspunktet kom fra, men man lanserte flere forslag til tiltak for å begrense slik kloranisol-dannelse<sup>28)</sup>:

- Lave klordoser/restklorkonsentrasjoner (< 0.5 mg/L) synes å favorisere dannelsen av kloranisoler. Det er derfor bedre enten å foreta en klorfri vandistribusjon, eller å bruke noe høyere klordoser.
- Bruk av klordioksid kan være et alternativ, siden dette ikke danner klorfenoler
- For å hindre lange oppholdstider og tilhørende dannelse av kloranisoler, bør man unngå dødsoner eller ledningsstrek med lav gjennomstrømning, og tilstrebe bruk av ringledninger.
- Bruk bare materialer som er testet og godkjent for kontakt med drikkevann, og unngå bruk av rørmaterialer og belegg som avgir biotilgjengelig organisk stoff og derved trigger biofilm-dannelse
- Vær nøye med rengjøring av husinterne installasjoner som renseinnretninger og partikkelfiltre. Dette for å unngå uheldig dannelse av biofilm/belegg.

Det vises også til case study Åfjord der kloranisoler ble påvist, og der mekanismene sannsynligvis tilsvarer de som er beskrevet over, der klorfenoler ble dannet ved klorvask av membranene. Fenolene stammet sannsynligvis fra naturlig forekomst i råvannet og/eller bisfenol fra epoksyholdig lim i membranmodulene. Foruten å være hormonhermende, kan bisfenol A utgjøre en forløper for mikrobiologisk omsetning til kloranisoler med sterk lukt og smak.

37) Gjerstad, K.O. (2023). Pers. meddelelse.

38) Bruchet, A. et al. 2014. Leaching of bisphenol A and F from new and old epoxy coatings: laboratory and field studies. *Water Science and Technology - Water Supply*, 14.3, 383-389

39) Peters, A. and von Gunten, U. 2009. Taste and odor problems generated in distribution systems: a case study on the formation of 2,4,6 trichloroanisole. *J. of Water Supply - Research and Technology-AQUA*, 58-6, 2009

40) Anselme, C. et al. (1985). Can PE-pipes impart odors in drinking water. *Env. Techn. Letters*, 6, 477-488

41) Tomboulia, P. et al. (2004). Materials used in drinking water distribution systems: Contribution to taste-and-odor. *Water Sci. Techn.*, 49, 219-226

42) Skjevraak, I. et al. (2004). Biofilm in water pipelines: a potential source for off-flavours in the drinking water. *Water Sci. Techn.*, 49, 211-217

43) Malleret, L. et al. (2001). Picogram determination of «earthy-musty» odorous compounds in water using modified closed loop stripping analysis and large volume injection GC/MS. *Analytical Chemistry*, 73, 1485-1490

# 10. Veikart for håndtering av lukt og smaksproblemer i vannforsyningen

Dette kapitlet beskriver et veikart for håndtering av lukt og smaksproblemer i drikkevann, og gir diverse anbefalinger basert på dagens viten. Veikartet vil også bli opprettet som et eget dokument i Norsk Vann-regi, og

det vil derfor inneholde noe overlappende informasjon med andre deler av denne rapporten. Veikartdokumentet vil bli gjort til gjenstand for jevnlig revidering og oppdatering i tråd med ny kunnskap og ny viten.

## 10.1. Kildesporing - Screening

En enkel metode som kan benyttes for en første screening/kildesporing av luktstoffer i vann i både husinterne og eksterne vannforsyningssystemer, er den såkalte Glasskolbe-metoden. Her fylles en 100 mL Erlenmeyerkolbe (Figur 10.1) med ca. 50 mL vannprøve og glasskorken settes så på før kolben settes i vannbad eller til romtemperering (1-2 timer; ca. 20°C). Ved at samme person lukter på prøver tatt ut på denne måten fra ulike steder i vannforsyningssystemet kan luktkilden ofte identifiseres og spores, siden denne metoden gir høy følsomhet for luktstoffer i vann<sup>44</sup>.



Figur 10.1. Erlenmeyerkolbe med glasskork for screening/kildesporing av lukt i vann.

## 10.2. Innomhus vanninstallasjoner

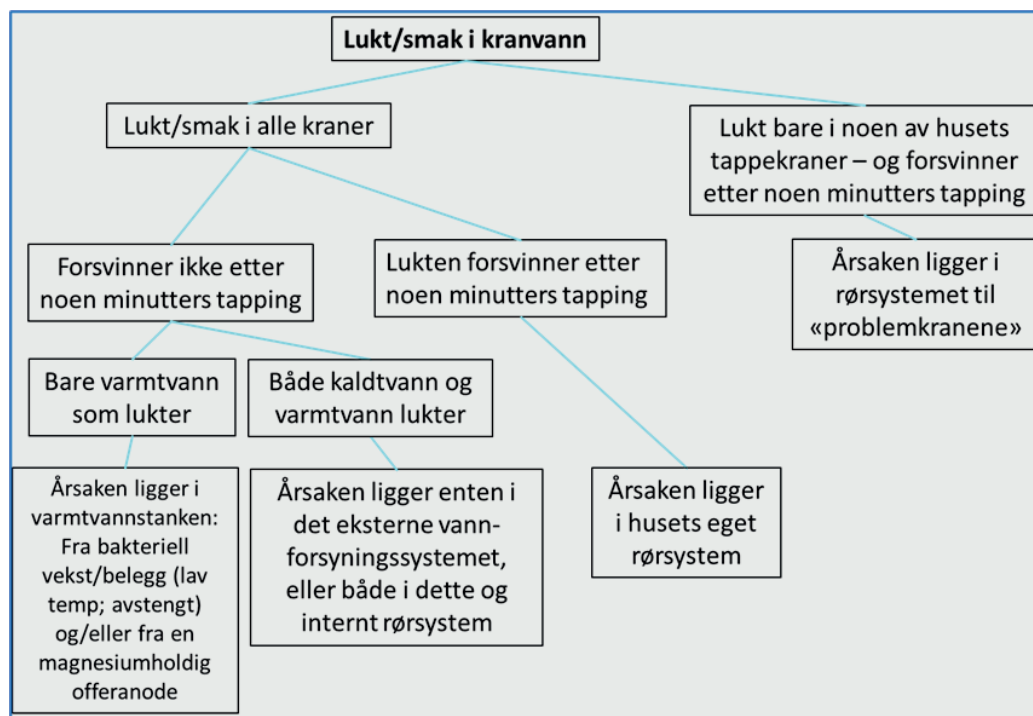
Klager på lukt og smak kommer ofte først fra enkelt-abonnenter eller grupper av abonnenter. For å spore mulige årsaker til lukt og smaksproblemer kan det derfor ofte være naturlig å starte innomhus siden årsakene også kan ligge her. Figur 10.2 angir en guide for sporing av lukt og smak innomhus<sup>45</sup>. Siden PEX-rør og rør-i-rør-systemer er utbredt, er det da naturlig å se etter/analysere typiske stoffer som løses ut fra PEX-rør. Belegg/biofilm som oppstår i husinterne rørsystemer og installasjoner som varmtvannsberedere, filtre og annet vannrenseutstyr kan være en kilde til biologisk vekst og mikrobiologiske omsetningsprodukter som eksempelvis anisol, med tilhørende lukt og smak.

**PEX-RØR.** PEX-rør er fremstilt av kryssbundet polyetylen (PE) uten tilsetning av fargestoffer. Under kryssbindingen fikseres polyetylenets naturlige krystallinske soner, slik at det dannes et tredimensjonalt gitter av molekylkjeder. Dette gir røret styrke og motstanddyktighet for mekaniske påvirkninger og temperatur.

De samme antioksidantene anvendes i PEX-rør som i PE-rør, og aktuelle analyseparametere er derfor de samme som for PE-rør.

44) Gjerstad, K.O. (2023). Pers. meddelelse

45) Etter Sala, U. et al. 2021 Your household water Quality - Odors in your water, UGA Circular 1016. <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C1016>



Figur 10.2. Guide for sporing av lukt og smak innomhus.

Lund et al. (2011)<sup>46</sup> undersøkte migrasjonen av flyktig organisk stoff (VOC) fra 8 typer av PEX-rør. De fant ingen sammenheng mellom migrasjon og produksjonsmetode. VOC-migrasjonen fra nye PEX-rør var generelt lav, og at den avtok med tiden. Blant migrasjonsproduktene som ble funnet var 2,4-di-tert-butyl fenol (0.8-2.2 µg/L) og metyl-tert-butyl-eter (MTBE; 0.2-213 g/L). Førstnevnte stammer fra antioksidantene og sistnevnte fra kryssbindingsprosessen. Smaks- og luktterskelen for MTBE kan være så lav som 15 µg/L<sup>47</sup>.

For sju av migrasjonsproduktene som ble funnet og der helsemessige konklusjoner om potensiell helsefare kunne trekkes, ble de helsemessige risiki ansett som svært lave eller ikke-eksisterende. Dog fant man at noen av PEX-rørene kunne påvirke drikkevannets odør i en periode på opptil 1 år. Lukt og smak ble testet ved en fortynningsmetode der resultatet angir antall fortyngninger som er nødvendige før man ikke lenger kan kjenne lukten (Threshold Odour Number, TON)<sup>48</sup>. Skalaen går fra 0 til 5, og alle de testede PEX-rør hadde TON i området 4-5 da rørene var nye. Etter 1 år var verdiene

imidlertid redusert til 0-2 for de fleste PEX-rørene, men for to av rørene var terskelverdien på samme nivå som for nye rør selv etter 1 års bruk.

Siden klor synes å forsterke lukten av visse migrasjonsprodukter fra plastrør, samt bidra til økt dannelse av lukt- og smaksstoffer i biofilmer, bør man muligens være forsiktig med bruk av klorholdige vaskemidler for fjerning av innvendig biofilm/belegg i PEX-rør.

**ANALYSER.** Et stort antall migrasjonsprodukter (>120) er påvist fra PE- og PEX-rør, herunder en lang rekke «plastfenoler». Disse synes ikke å innebære noen helsefare, og alle bidrar heller ikke til lukt og smak.

Stoffene som er angitt i punktlisten nedenfor er ofte påvist i vann fra PEX-rør, med konsentrasjonsnivåer som angitt<sup>49</sup>). De kan derfor være aktuelle for å inngå i vannanalyseprogrammer:

- 2,6-di-tert-butyl-p-benzoquinon (<0.2-12 µg/L)
- 2,4-di-tert-butylfenol (<0.05-2.2 µg/L)

46) Lund, V., Anderson-Glenna, M., Skjevraak, I. and Steffensen, I-L. (2011). Long-term study of migration of volatile organic compounds from cross-linked polyethylene (PAX) pipes and effects on drinking water quality. *Journal of Water and Health*, 09.3, 2011, 483-497. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21976195/>

47) WHO 2005. Methyl tertiary-butyl ether (MTBE) in drinking water. Background document for development of WHO guidelines for drinking water quality, WHO/SDE/WSH/05.08/122. <https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/methyl-tertiary-butyl-ether-background-document.pdf>

48) EN 1622, 1997. Water analysis 1997. Determination of the threshold odour number (TON) and threshold flavour number (TFN). <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/b2c5cc4a-bc16-4f92-ab6c-262460e115b6/en-1622-1997>

49) Miljøministeriet/Miljøstyrelsen (2012). Statusvurdering vedr. afgivelse af organiske stoffer fra plastrør til drikkevand. Miljøprojekt nr. 1443, 2012, ISBN 978-87-92903-53-2. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/09/978-87-92903-53-2.pdf>

- 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxystyren
- 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxybenzaldehyd (<0.05-1.5 µg/L)
- 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyacetophenon (<0.05-0.5 µg/L)
- 7,9-di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)-deca-6,9-dion-2,8-dion (<0.05-33 µg/L)
- 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) methylpropanoate (<0.05-1.6 µg/L)
- 5-methyl-2-hexanon (<0.05-16 µg/L)
- Metyl-tert-butyleter (MTBE) (<0.05-179 µg/L)

Videre kan følgende analyseparametere være aktuelle:

- TON (Treshold Odour Number)
- Løst Organisk Carbon (DOC)
- Flyktig organisk stoff (VOC)
- Metaller som Cu (fra kobberør) og Zn (fra varmtvannsberedere/offeranoder)
- Bionedbrytbarhet (BDOC; AOC)

**TILTAK.** Aktuelle tiltak mot husintern lukt- og smaksdannelse kan være:

- Fjern biofilm/belegg i husinstallasjoner og rørledninger
- Sjekk tilstanden på varmekolber, offeranoder, etc i varmtvannsberedere
- Unngå lange oppholdstider/lang tids henstand i alle deler av systemet
- Unngå unødig oppvarming av vannet
- Skift ut problematiske rørføringer (om nødvendig fra PEX rør-i-rør til kobber)

Bruk av husinterne vannbehandlingsenheter, gjerne basert på aktivkull, membraner, etc kan være et mulig avbøtende tiltak, uten at dette kan anbefales på generell basis. Slike enheter krever betydelig vedlikehold og kan være kostbare. I tillegg kan de ofte slite med biofilmdannelse og belegg, noe som kan bidra til ytterligere lukt og smaksdannelse.

### 10.3. Eksterne vannforsyningsystemer

Dersom man finner at kilden til lukt og smak ikke ligger innomhus, må man lete videre i det eksterne vannforsyningsystemet. Her kan kildene i utgangspunktet

finnes i vannkilde/nedbørfelt, i vannbehandlings-/desinfeksjonsanlegg og/eller i distribusjonssystem/ledningsnett (Figur 10.3).



Figur 10.3. Kilder til lukt og smak i vannkilde/nedbørfelt, i vannbehandlingsanlegget, i distribusjonssystemet og i husinterne fordelingsnett<sup>50)</sup>.

50) Etter Eikebrokk, B. (2023). Hvordan finne årsakene til lukt og smak? Norsk Vann Fagtreff, Mars 2023. <https://va-kompetanse.no/wp-content/uploads/2024.pdf>

---

## 10.4. Avgrensning av problemområdet, kildesporing, analyser og tiltak

Under en lukt- og smaksepisode er det viktig å forsøke å avgrense influensområdet mest mulig slik at søket etter årsakene kan begrenses. Vanligvis får man klager fra en eller flere abonnenter, og det er da naturlig å forsøke å finne ut om problemene gjelder hele distribusjonssystemet eller bare deler av det. Aktuelle verktøy i et slikt kartleggingsarbeid kan være ledningsnettmodeller, intervjuer med abonnenter, prøvetaking og analyse.

### Lukt og smak i hele distribusjonssystemet/ledningsnett

Dersom man finner at lukt- og smaksproblemer omfatter hele distribusjonssystemet, bør man lete etter årsakene oppstrøms, dvs. i vannkilde/råvann og/eller i vannbehandling/desinfeksjon. Figur 10.2 skisserer en rekke mulige årsaker, noe som også kan danne basis for utforming av vannprøvetakings- og analyseprogrammer.

### Lukt og smak bare i råvann

Dersom man finner lukt og smak i råvann, men ikke i behandlet vann, ligger kildene etter all sannsynlighet i vannkilde/nedbørfelt. Årsakene vil da ofte være relatert til algeblomstring, forhøyet innhold av NOM, Fe, Mn, etc, samt utslipp eller forurensende aktiviteter i nedbørfelt eller vannkilde, osv.

**ANALYSER.** Analyseprogrammet bør i slike tilfeller inkludere følgende parametere som et minimum:

- Geosmin
- 2-MIB
- Klorofyll a

Det kan også være aktuelt med typebestemmelse av alger.

**TILTAK.** Siden det i Norge sjelden er aktuelt å behandle algeforekomster i selve vannkilden (Cu, etc), må eventuelle alger og algeprodusert lukt/smak fjernes i vannbehandlingsanlegget.

### Lukt og smak i behandlet vann

Dersom man finner lukt og smak i behandlet vann, men ikke i råvannet, ligger årsakene etter all sannsynlighet i vannbehandling/desinfeksjon. Årsakene vil da ofte være relatert til reaksjoner mellom organisk stoff og oksidasjonsmidler, vanligvis klor.

Analysar. Analyseprogrammet bør i slike tilfeller inkludere følgende parametere:

- pH (høy/lave verdier kan bidra til lukt/smak)
- Metaller (Fe, Mn, Cu, Zn, etc)
- NOM (målt som farge, UV-abs eller TOC/DOC)
- Fenoler (bisfenol A fra limte membranmoduler)
- Klorfenoler
- Kloranisoler (returstrømmer fra slamfortykkere)
- Aldehyder (ved ozonering)

**VANNBEHANDLINGSTILTAK.** Fjerning av lukt og smaksstoffer fra vann innebærer betydelige utfordringer siden stoffene i utgangspunktet ofte forekommer i svært lave konsentrasjoner, og fordi de ofte må fjernes til nanogram-nivåer grunnet lave terskelverdier.

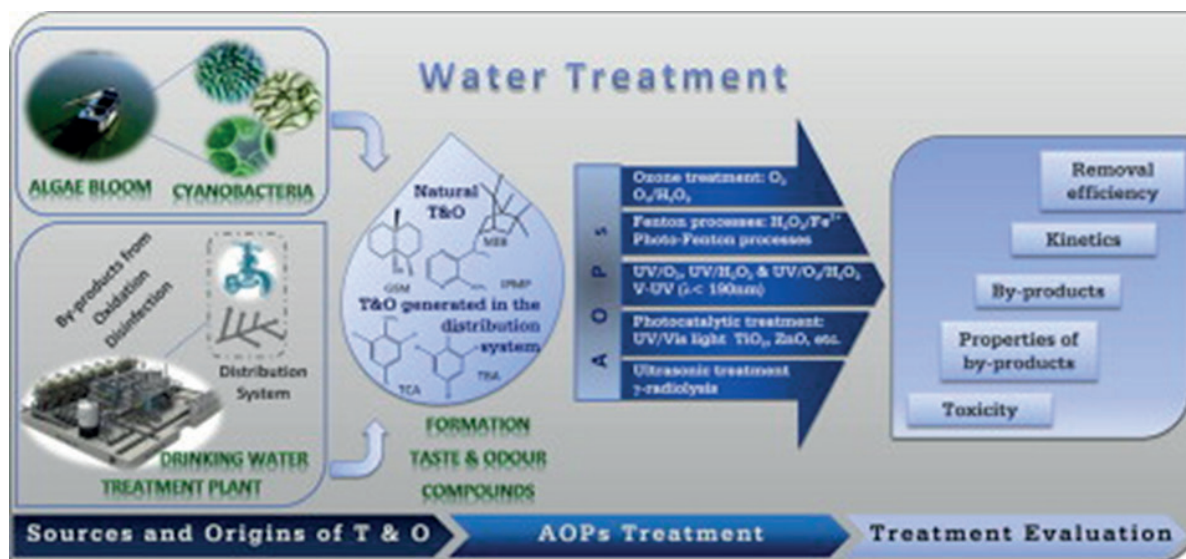
Dette innebærer at mange konvensjonelle vannbehandlingsmetoder slik som koagulering, flokkulering, sedimentering og filtrering ikke er effektive nok, ei heller vanlige desinfeksjons- og oksidasjonsmidler.

Metoder basert på aktivkull (PAC som pulver, eller GAC-filtre) og/eller ozonering er mer anvendbare. Dog kan innhold av naturlig organisk materiale (NOM) utkonkurrere lukt/smaksstoffer ved at høymolekylær NOM legger beslag på adsorpsjonsplasser og blokkerer porer i adsorbenten, og derved lede til redusert adsorpsjonskapasitet for lukt og smak.

Følgende metoder anses som mest aktuelle for fjerning av lukt og smaksstoffer fra drikkevann. For å oppnå en god effekt kreves normalt en optimalisering av eksisterende vannbehandlingsanlegg eller supplerende vannbehandlingstrinn.

- Lufting
- Aktivkull som pulver (PAC) anvendt i problemperioder
- Filtrering gjennom granulært aktivkull (GAC-filtre)
- Oksidasjon (Ozon, Kaliumpermanganat)
- Avanserte oksidasjonsprosesser (AOPs), e.g. Ozon/peroksid; UV/peroksid; UV/Ozon
- Koagulering (varierende effekt)
- Klordioksid (varierende effekt, ofte effektiv mot fenoler)
- Membranfiltrering

Viktige forhold å ta hensyn til ved valg og drift av vannbehandlingsmetode for lukt og smaksfjerning er vist i Figur 10.4.



Figur 10.4. Viktige forhold å ta hensyn til ved vannbehandling for fjerning av lukt og smak<sup>51)</sup>

Det skal her nevnes at oksidasjonsmidler som klor kan bidra til økt lukt/smak fra biofilmer/belegg, samt danne klorfenoler som så kan omsettes mikrobiologisk til kloranisoler på ledningsnettet. Klorering av migrasjonssprodukter som bisfenol A fra limte membranmoduler og materialer/belegg i kontakt med drikkevann kan også være relevante kilder til lukt/smak i en slik sammenheng. Dette kan bety at man bør finne alternativer til klorvask av membraner. Videre er det rapportert at lave doser av klor, som er for lave til å kontrollere vekst på nettet, kan bidra til forsterket lukt/smak fra biofilmer/belegg i ledningsnettet. Dette kan være relevant for en norske kloreringspraksis med svært lave klordoser.

#### Lukt og smak bare i deler av distribusjonssystemet

Dersom lukt- og smaksproblemene (klagen) er avgrenset til en del av distribusjonssystemet, ligger årsakene sannsynligvis i ledningsnettet oppstrøms, og ikke i vannkilde/nedbørfelt eller vannbehandling/desinfeksjon.

**PE-RØR.** En annen mulig årsak kan være nylagte PE-rør. Slike rør er kjent for å avgi en lang rekke organiske stoffer (>120), hvorav flere direkte eller indirekte kan generere lukt- og smaksstoffer, spesielt i den første tiden (1-2 år) etter at rørene er lagt. Blant de mange stoffene som kan migrere fra PE-rør er fenolforbindelser. Dette er stoffer som kan inngå i en mikrobiell omsetning

til lukt- og smakssterke kloranisoler i tråd med beskrivelsen i punktet under. Tilstedeværelse av oksidasjonsmidler som eksempelvis klor i vannet kan øke stoffmigrasjonen fra PE-rør<sup>52)</sup>.

Stoffene som er angitt i punktlisten nedenfor er ofte påvist i vann fra PE-rør, med konsentrasjonsnivåer som angitt<sup>53)</sup>. De kan derfor være aktuelle for å inngå i vannanalyseprogrammer:

- 2,6-di-tert-butyl-p-benzoquinon (<0.05-3.6 µg/L)
- 2,4-di-tert-butylfenol (<0.05-3.1 µg/L)
- 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxybenzaldehyd (<0.05-1.2 µg/L)
- 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyacetophenon (<0.05-1.1 µg/L)
- 7,9-di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)-deca-6,9dion-2,8-dion (<0.05-3.0 µg/L)
- 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) methylpropanoate (<0.05-1.4 µg/L)

Videre kan følgende analyseparametere være aktuelle:

- TON (Treshold Odour Number)
- Løst Organisk Carbon (DOC)
- Flyktig organisk stoff (VOC)
- Metaller (Fe, Mn, Cu, Zn, etc)
- Bionedbrytbarhet (BDOC; AOC)

51) Antonopoulou, M. et al. (2014) A review on advanced oxidation processes for the removal of taste and odor compounds from aqueous media. *Water Research* 53, pp 215-234

52) Rabaud, B. et al. (2012) What is the risk of plastic pipe long-term degradation on water quality? PPCA Conference, Barcelona, 2012. <https://www.pe100plus.com/PPCA/What-Is-The-Risk-Of-Plastic-Pipe-Long-Term-Degradation-On-Water-Quality-p662.html>

53) Miljøministeriet/Miljøstyrelsen (2012). Statusvurdering vedr. afgivelse af organiske stoffer fra plastrør til drikkevand. Miljøprojekt nr. 1443, 2012, ISBN 978-87-92903-53-2. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/09/978-87-92903-53-2.pdf>

**MATERIALER I KONTAKT MED DRIKKEVANN.** Ulike typer av overflatebelegg og materialer i kontakt med drikkevann (epoksy, limte membranmoduler, plaststrømper, etc) kan gi stoffmigrasjon til vannet. Slik migrasjon kan omfatte ulike typer av fenoler. Fenoler kan i seg selv gi lukt og smak, men de kan også inngå i mikrobiologiske omsetningsprosesser som kan medføre dannelse av lukt og smaksstoffer med betydelig lavere terskelverdier i tråd med omtalen nedenfor. Plastrør og overflatebelegg inneholder ofte lavmolekylære polymerforbindelser som er lett biologisk omsettbare, noe som gjør at biofilmer raskt kan etableres på slike overflater. For å unngå uheldig stoffmigrasjon og biofilmdannelse er det derfor viktig å anvende produkter som er designet for å være i kontakt med drikkevann og som er behørlig testet for migrasjon og uønsket vannkvalitetspåvirkning.

**BELEGG/BIOFILM.** Mikrobielle omsetningsprosesser og dannelse av lukt- og smaksstoffer i ledningsnett kan også ofte relateres til forekomst av biofilm/belegg, lange oppholdstider, innlekking, etc. Tiltak mot dette kan være spyling/pluggkjøring av aktuelle ledningsstrek, unngåelse av ledningsstrek med lange oppholdstider/henstand, ledningsfornyelse/lekkasjetting, etc.

**MIKROBIELL OMSETNING.** Et unntak kan likevel være tilfeller der man får en mikrobiologisk stoffomsetning på nettet, eksempelvis kloranisoler som kan dannes fra fenolforbindelser i råvann/nedbørfelt eller fra vannbehandling/desinfeksjon. Slike fenolforbindelser kan være naturlig forekommende i råvann/nedbørfelt, de kan stamme fra epoksybelegg i vannbehandlingsanlegg/bassenger, og de kan stamme fra bisfenol A-holdig lim i membranelementer. Klordesinfeksjon og/eller vask av membraner med klor kan så danne klorfenoler, noe som er kjente forløpere for mikrobiell kloranisoldannelse.

**ANALYSER.** Analyseprogrammet bør i slike tilfeller inkludere følgende parametere (Se også Figur 10.5 B):

- pH (høye/lave verdier kan bidra til lukt/smak)
- Restklor
- Aldehyder (hvis ozonering)
- Metaller (Fe, Mn, Cu, Zn, etc) fra vannbehandling og korrosjonsprosesser
- NOM (målt som farge, UV-abs eller TOC/DOC)
- Fenoler
- Klorfenoler
- Kloranisoler
- Typiske avløpsparametere (i tilfelle innlekking)

En sporing av lukt- og smaksproblemer til ulike deler av vannforsyningsystemet som beskrevet over gir også føringer for design av vannprøvetakingsprogram og analyseparametere. Figur 10.5 angir aktuelle analyseparametere i tilfeller der lukt og smak kan spores til henholdsvis vannkilde/nedbørfelt (A), distribusjonssystem (B), og vannbehandling/desinfeksjon (C).

#### TILTAK PÅ LEDNINGSNETTET

Aktuelle tiltak på ledningsnett kan inkludere følgende:

- Kontroll på restklor
- Kontroll av biofilmer/belegg (Spyling, pluggkjøring, etc). Kan innebære behov for økt fjerning av metaller og/eller substrat (BDOC/AOC) i vannbehandlingen
- Kontroll av innlekking
- Fornyelse/rehabilitering av relevante ledningsstrek
- Periodevis økning av vanngjennomstrømming/vannhastighet

**A) Natural T&O compounds in surface waters**

compound	structure	odor	source
$\beta$ -cyclocitral		fruity	cyanobacteria
2-trans,4-cis,7-cis-decatrienal		fishy	green algae
dimethyl trisulfide		decaying vegetation	bacterial decomposition of algal blooms and grass
geosmin		earthy	cyanobacteria and actinomycetes
trans,trans-2,4-heptadienal		fishy	green algae
cis-3-hexen-1-ol		grassy	green algae
$\beta$ -ionone		violets	green algae, cyanobacteria
2-isopropyl-3-methoxy-pyrazine		decaying vegetation	Actinomycetes; biochemical decay of grass
3-methyl-1-butanal (isovaleraldehyde)		fusel oil	cyanobacteria
2-methylisoborneol (MIB)		musty	cyanobacteria and actinomycetes
trans,cis-2,6-nonadienal		cucumber	green algae
1-penten-3-one		fishy - rancid	green algae, cyanobacteria

**B) T&O compounds generated in the distribution system**

compound	structure	odor	source
2,6-di- <i>tert</i> -butyl-4-methylphenol (BHT)		plastic	leaching from polyethylene pipes
2,4,6-trichloroanisole (TCA)		musty	methylation of 2,4,6-trichlorophenols by biofilms

**C) T&O compounds generated during drinking water treatment**

compound	structure	odor	source
low molecular weight aldehydes (> heptanal)		fruity	ozonation
low molecular weight aldehydes (< heptanal)		very individual (swampy - swimming pool)	ozonation
2-chlorophenol		medicinal	chlorination of phenols
2,6-dibromophenol		medicinal	chlorination of phenols in the presence of bromide
free chlorine	$\text{HO}-\text{Cl}$	chlorinous	disinfection with chlorine
iodoform		medicinal	chlorination in the presence of iodide
monochloramine	$\text{H}_2\text{N}-\text{Cl}$	chlorinous	disinfection with chloramine

Figur 10.5. Naturlige forekommende lukt og smaksstoffer i overflatevannkilder (A), lukt- og smaksstoffer generert i distribusjonsnettet (B), og lukt/smak generert i vannbehandling/desinfeksjon (C)<sup>54</sup>.

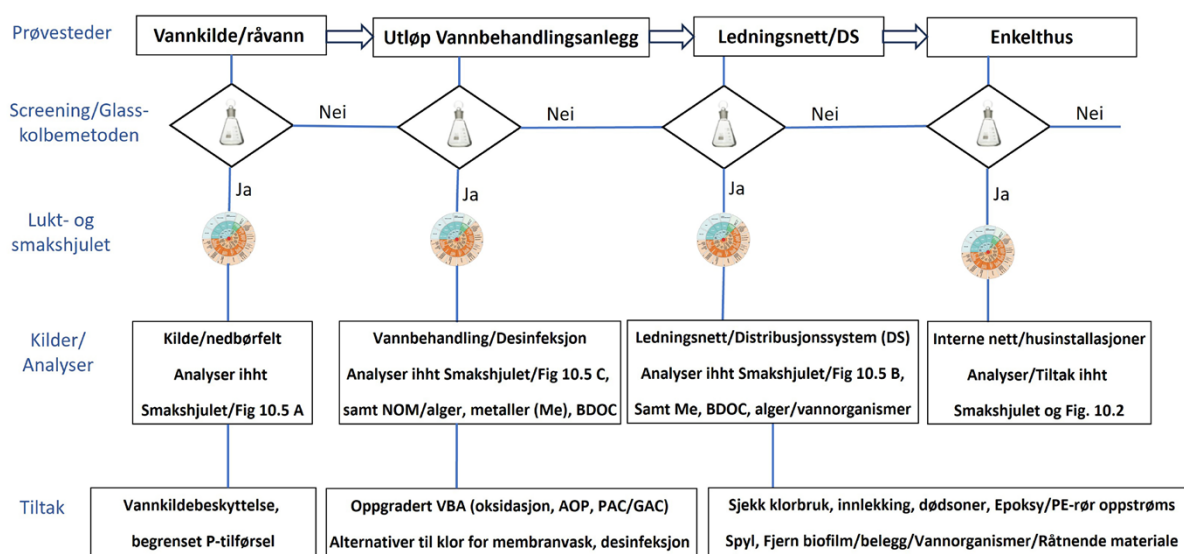
54) Peter, A. (2008). Taste and odor in drinking water – Sources and mitigation strategies. Ph.D. dissertation No. 17761, ETH, Zürich. [https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A12487/datastream/PDF/Peter-2008-Taste\\_and\\_odor\\_in\\_drinking\\_water-%28published\\_version%29.pdf](https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A12487/datastream/PDF/Peter-2008-Taste_and_odor_in_drinking_water-%28published_version%29.pdf)



## 10.6. Flytskjema for sporing av lukt- og smaksepisoder

Dersom årsakene ikke ligger i egne husinterne systemer, må man søke i eksterne vannforsyningsystemer. En oppsummerende guide for sporing av lukt- og smakproblemer i eksterne vannforsyningsystemer er vist i Figur 10.7. Det anbefales å starte sporingen med en screening av tempererte vannprøver fra aktuelle steder

etter glasskolbemetoden. Ved påvist lukt benyttes lukt- og smakshjulet som verktøy i den videre sporing-saktiviteten, og parametere for laboratorieanalyser velges ut med basis i lukt- og smakshjulet og parametere angitt i Figur 10.5 A, B og C.



Figur 10.7. Guide for sporing av årsaker til lukt og smak i vannforsyningsystemer.

## 10.7. Guide for prøvetaking og analyse

Figur 10.8 gir informasjon som kan være til hjelp i forbindelse med prøvetaking, prøvebehandling, logistikk, etc, for lukt- og smaksprøver av drikkevann. I figuren er

det angitt som et eksempel at prøvene sendes til SINTEF for analyse, men andre institusjoner og laboratorier som tilbyr relevante analyser er selvsagt også aktuelle.



Figur 10.8. Guide for prøvetaking, håndtering og logistikk for lukt/smaksprøver av drikkevann

SINTEF kan pr. dags dato tilby følgende analyser:

- Geosmin
- 2-MIB
- 2,4,6-trikloranisol
- 2-Isobutyl-3-Methoxy-pyrazine
- 2-Isopropyl-3-Methoxy-pyrazine
- 2,4-Heptadienal
- Anisoler
- Tungmetaller
- GS-MS Scan (ikke måltrett analyse av ukjente forbindelser)
- DNA sekvensering

## 10.8. Erfaringer med lukt- og smaksepisoder

Sporing av årsakene til lukt og smak i drikkevann kan være en kompleks og vanskelig oppgave. Også på dette feltet er det viktig med en god og riktig analyse/diagnose før man kan foreskrive en god kur. I tillegg til den informasjonen som ligger i en rask og måltrett prøvetaking og analyse, kan også kjennskap til andres erfaringer være til hjelp for sporing av årsaker og identifisering av kandidater/mulige lukt- og smaksstoffer.

Nedenfor følger derfor en oppsummering av noen rapporterte erfaringer med lukt- og smaksepisoder som er generert i kilde/nedbørfelt, vannbehandling og desinfeksjon, samt ledningsnett/distribusjonssystem. Håpet er at dette kan være til hjelp i sporingen, dvs «en knagg å henge egne observasjoner på».

### Lukt og smaksepisoder fra kilde og nedbørfelt

Et utvalg av rapporterte lukt- og smaksepisoder og forhold fra råvann, kilde og nedbørfelt er vist nedenfor:

- Svært personavhengig smaksopplevelse av mineraler i vann (fra erosjon, industri/gruvevirksomhet, vegsalt, etc (Avsalting (RO) gir ofte en flau/ubehagelig, bitter ettersmak)
- Sensitiviteten for ulike ioner er også personavhengig, og noen kan være mer sensitive for  $\text{Na}^+$  enn for  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{K}^+$
- For mye Ca og Mg kan gi en bitter smak. Vann med hardhet 10-100 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  er rapportert som «godt smakende», der kalsium bidrar mer til god smak enn magnesium
- Bløtt vann påvirker ikke smaken, men kan gi en «glatt» følelse på tungen

- Fe og Cu er sterke smaksdannere (metallisk/bitter), og Fe<sup>2+</sup> bør være < 5-50 µg/L, Cu < 0.1-0.5 mg/L
- Anioner som bikarbonat, klorid og sulfat kan gi smak
- Hydrogensulfid fra sulfatreduserende bakterier kan gi sterk lukt av «råtne egg»
- Utslipp av bromdiklormetan, kloroform, metyl-tert-butyl-ether (MTBE), perkloreten (PCE) og triklorethene (TCE) er rapportert å gi luktproblemer i grunnvann
- Nedbrytning av planter eller alger (cyanobakterier) kan gi «jordaktig» og «muggen» lukt (frigjøring av geosmin og 2-MIB, med terskelverdier på hhv 2-200 og 2-100 ng/L). Normalt oppstår ingen klager ved nivåer < 10 ng/L
- Grønnalger og diatoméer kan også produsere lukt («gress-, fisk-, medisin- og agurk-aktig»)
- Kjemikalier som hydrokarboner, MTBE, løsemidler, dioksaner og dioksolaner (fra polyester-produksjon)

### Lukt og smaksepisoder fra vannbehandling og desinfeksjon

Et utvalg av rapporterte lukt- og smaksepisoder og forhold fra vannbehandling og desinfeksjon:

- De fleste lukt/smaksstoffer som dannes i vannbehandlingen faller under kategoriene «fruktige» og «medisin-aktige»
- Ozonering er normalt effektiv for fjerning av lukt og smak, men aldehyder fra ozonering kan gi «appelsinaktig» lukt – som imidlertid lett kan fjernes i etterfølgende GAC-filtre eller biofiltre
- Klorering av vann som inneholder alger kan produsere betydelige mengder geosmin, 2-MIB og aldehyder
- Reaksjoner mellom klor og menneskeskapt eller naturlige substanser (fenoler; bisfenol fra epoksy), kan danne klorerte fenoler og biprodukter som karakteriseres som «medisin-» eller «fenolaktige» med luktterskel på noen få ng/L
- Klorering eller ozonering av vann som inneholder NOM, bromid eller iodid kan danne biprodukter med «medisin-» eller «farmasøytaktig» lukt

- Ved akkumulering over tid i bassenger, filtre og slamtanker kan mikrobiell aktivitet i slamavsetninger forårsake lukt og smak (via reduserte svovelforbindelser og lukt av «råtne egg», «sulfid», «septisk»), og omdanning av naturlige klorfenoler til kloranisoler<sup>56)</sup>
- Slam og returstrømmer bør derfor også overvåkes og analyseres som potensielle lukt- og smaksdannere

### Lukt og smaksepisoder fra ledningsnett

Et utvalg av rapporterte lukt og smaksforhold/-forbindelser fra ledningsnett/distribusjonssystemer:

- Stoffutlekkning fra materialer i kontakt med drikkevann (e.g. epoksy, PE-rør, armatur)
- Epoksy: Toluene, etylbenzen og xylener<sup>57),58)</sup>
- PE-rør: En rekke «Plastfenoler», hvorav < 5 % er identifisert<sup>59),60)</sup>
- Epoksybelagte høydebassenger (HB): Biofilm med mikrobiell omdanning av svovelforbindelser til organiske sulfidforbindelser med karakteristisk «skittlukt»<sup>61)</sup>
- Hydrokarboner i grunnen kan trenge gjennom PE-rør
- Endringer i klorose, og klorering under/etter reparasjonsarbeider på nettet. Klorering av biofilm kan danne nye forbindelser og mangedoble konsentrasjonene<sup>62)</sup>
- Fri klor beskrives ofte som «kloraktig», «svømmebasseng» og «blekende», og dette kan maskere eller interferere opplevelsen av andre lukt/smaksstoffer, for eksempel «jordaktig» geosmin
- Ved kloraminering har dikloramin en sterkere klorsmak enn monokloramin, og pH bør derfor holdes tilstrekkelig høy (ved pH 5-6 og 6-7 finnes henholdsvis 40 % og 20 % av total restklor som dikloramin). Anbefalt klor/ammonium-forhold er 3-5:1; med pH 7.5-8.5
- Klorfenoler adsorberes lett til plastmaterialer<sup>63)</sup>
- Mikrobiologiske prosesser i ledningsnettet: Dannelse av kloranisoler fra klorfenoler
- Vannets pH: pH<6.5 kan gi bitter smak, og pH>8.5 kan gi en «slippery» følelse
- Naturlige biofilmer/belegg kan være reservoar og kilde til luktintensivt organisk stoff (VOC)<sup>64)</sup>

56) Adams et al. (2021) Detection of T&O in Filter Media, JAWWA Oct 2021

57) Skjevraak, I. (1999) Luktepisoder forårsaket av kjemisk forurensing av drikkevann. VANN, 4,1999. [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1999\\_30776.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1999_30776.pdf)

58) Skjevraak et al. (2003). Volatile organic components migrating from plastic pipes (HDPE, PEX and PVC) into drinking water. Water Research-37-2003. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135402005766?via%3Dihub>

59) Arvin, E. (2017) Hvordan sikre god vannkvalitet helt frem til forbruker? - Trusler og løsninger. Tekna, Trondheim Jan 2017

60) Arvin, E. (2016). Hvordan sikre god vannkvalitet helt frem til forbruker? - Trusler og løsninger. DTU Environment, DK. [https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/126576684/Erik\\_Arvin\\_Trondheim\\_8\\_jan\\_2016\\_VA\\_seminar.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/126576684/Erik_Arvin_Trondheim_8_jan_2016_VA_seminar.pdf)

61) Skjevraak, I. (1999) Luktepisoder forårsaket av kjemisk forurensing av drikkevann. VANN, 4-1999

62) Skjevraak, I. 2002. Naturlig biofilm i vannledning- en mulig kilde til luktepisoder på drikkevannsforsyningen. VANN-4-2002. [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2002\\_30571.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2002_30571.pdf)

63) Tubic, A. et al. Significance of Chlorinated Phenols Adsorption on Plastics and Bioplastics during water treatment. MDPI Water 2019

64) Skjevraak, I. 2002. Naturlig biofilm i vannledning- en mulig kilde til luktepisoder på drikkevannsforsyningen. VANN-4-2002.

# 11. Analysemetoder

Bestemmelse av substanser som gir lukt og smak innebærer en rekke utfordringer knyttet til prøvetaking og analyse:

- De aktuelle lukt/smaksstoffer opptrer i svært lave konsentrasjoner (ofte ng/L), og identifikasjon og kvantifisering krever derfor høysensitive og selektive analysemetodikker
- Analysemetoder basert på GC-MS har vært dominerende, men sensitiviteten er ikke høy nok for mange substanser

- Forbehandling og oppkonsentrering av prøvene før analyse er derfor ofte nødvendig, og flere substans-spesifikke teknikker kan anvendes for dette formålet – hver med sine fordeler og ulemper
- Man må ha kontroll på alle mulige kontamineringsskilder fra laboratorium, utstyr og personell: Parfyme, personlige pleieprodukter, mm
- Et dedikert analyseområde bør settes av, og standarder og prøver må holdes atskilt
- Flyktige stoffer må ikke gå tapt under prøvetaking og analyse

## 11.1. Kjemiske analysemetoder

Flere analytiske metoder kan være relevante for analyse av lukt- og smaksstoffer i vann. SINTEF har utviklet fire ulike metoder basert på gasskromatografi og massespektrometri for analyse av lukt- og smaks-komponenter. Gasskromatografi er en teknikk som er godt egnet for analyse av volatile forbindelser (VOC).

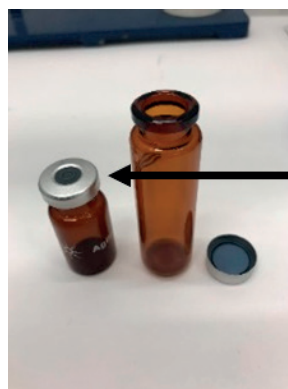
Metodene som er utviklet er:

- Head space GC-MS for analyse av væske og analyse av fast stoff som feks. direkte fra PE rør
- Purge-and-trap metode med Tenax rør og påfølgende termisk desorpsjon på ATD-GC-MS for analyse av vannprøver
- Væske-væskeekstraksjon av vannprøver og GC-MS analyse av ekstrakt
- Væske-væskeekstraksjon av vannprøver og GC-MS/MS analyse av ekstrakt

Metodene er brukt dels for målrettet analyse av et utvalg kjente lukt- og smaksstoffer og for ikke målrettet analyse. Målrettet analyse innebærer analyse og kvantifisering av kjente stoffer ved bruk av standarder (vi vet hva vi søker etter). I ikke målrettet analyse vet vi ikke nødvendigvis hva vi søker etter, men vi kan få en kjemisk profil for en prøve og identifisere forbindelser ved hjelp av spektersøk (database med forbindelser).

### Head space GC-MS teknikk

Prinsippet bak head space er at det innstilles en likevekt mellom en væskefase og en gassfase, og at det dermed vil være mulig å måle konsentrasjonen i vannfasen (1-10 ml) ved en analyse av gassfasen (head space). Metoden kan også benyttes på mindre prøver av fast stoff (<100 mg). Fordelen ved metoden er at den er rask, at det er mulig å analysere på en renere fase av luft, samt at det går raskt å innstille likevekt. Metoden er mindre sensitiv enn andre metoder.



**Head space glass**  
Prøve fra luftrommet over vannprøven ("head space") injiseres på GC-MS

Figur 11.1 Head space glass for å holde prøven tett/lukket.

Prøven holdes tett lukket med en kork med et septum som vist i Figur 11.1. Lokket kan perforeres med en nål etter å ha blitt oppvarmet (<100 grader for vann, opptil 300 grader for fast stoff) i en forhåndsinnstilt tid, for eksempel 15 min. Metoden er automatisert i en head space injektor, og prøven overføres automatisk til GC-MS instrumentet (Figur 11.2) hvor den blir analysert.



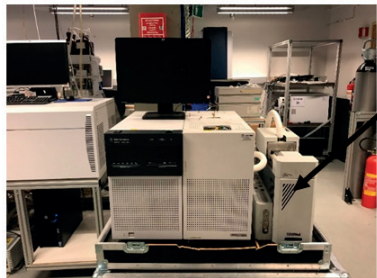
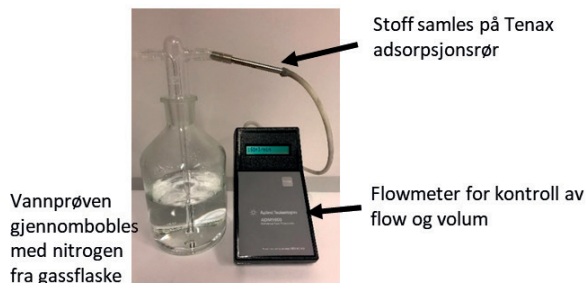
**GC-MS instrument**  
**Head space injektor**

Figur 11.2 GC-MS instrument

### Purge-and-trap metode med Tenax rør og termisk desorpsjon på ATD-GC-MS

Purge and trap er et velbrukt prinsipp som benyttes for større vannprøver (0,5 til 1,0 liter). Prinsippet går ut på at vannprøven gjennombobles med nitrogen med høy renhetsgrad og samles opp (adsorberes) på Tenax rør. Gjennomboblingen må foretas med kontrollert gassflow, temperatur og tid. Etter at desorpsjonen er utført plasseres Tenaxrøret i et GC-MS-ATD instrument (Automated Thermal Desorption). Her overføres det oppsamlede materiale til en GC hvor selve analysen foregår.

Metoden er brukt i case studie i Årdal med lukt av hydrokarbon i vann. Se vedlegg V1.



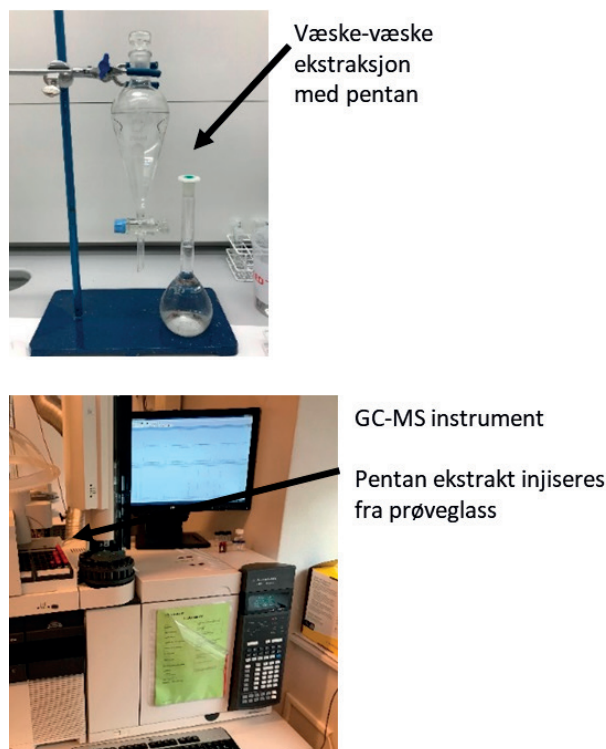
Figur 11.3 Analysemetode Purge and trap

Figur 11.3 viser prinsippene og de forskjellige trinnene i analysen. Purge and trap er mer tidkrevende og arbeidskrevende, og krever komplisert utstyr som ATD enhet og flowmeter. Følsomheten er høy, men det er utviklet nyere analysemetoder med en langt høyere følsomhet enn tidligere og det antas at disse kan nå samme og bedre nivå som purge and trap metoden.

### Væske-væskeekstraksjon av vann og GC-MS analyse

Væske - væske ekstraksjon er en klassisk metode for å trekke ut stoffer fra en vannfase og få disse oppkonsentrert i et egnet løsningsmiddel for GC-MS analyse. I LOSiNOR-prosjektet er metoden brukt for både målrettet analyse av et utvalg lukt- og smaksstoffer og for ikke målrettet analyse av samme prøve.

Figur 11.4 viser utstyr for ekstraksjon (skilletrakt) og GC-MS med automatisk injeksjon av inndampet (oppkonsentrert) løsemiddel. Inndamping er et viktig prinsipp for å øke følsomheten ved metoden. GC-MS har i mange år vært den viktigste instrumenttypen for analyse av små og flyktige molekyler, noe som de fleste lukt- og smaksstoffer er.



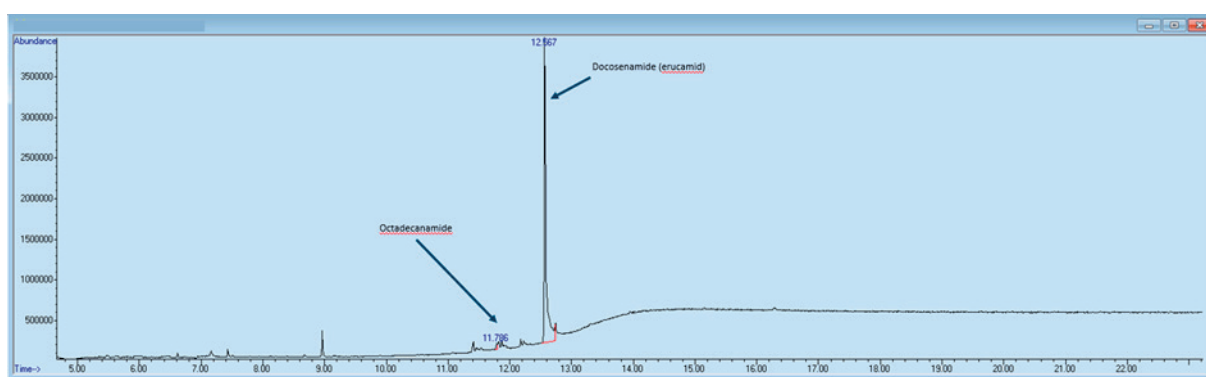
Figur 11.4 Væske-væske ekstraksjon og GC-MS analyse

Den målrettede analysen ga ingen funn for prøvene som ble analysert i prosjektet. Dette skyldes for lav følsomhet i metoden. For å forbedre følsomheten ble bruk av GC-MS/MS istedenfor GC-MS introdusert i slutten av prosjektet (se neste kapittel).

GC-MS scan (ikke målrettet analyse) benyttes som metode for å analysere ukjente forbindelser. Denne metodikken er mindre selektiv og sensitiv enn målrettede analyser. Ved ikke målrettede analyser benyttes ikke standardkurve slik som ved konsentrasjonsbestemmelse. GC-MS scan kan benyttes for å påvise og eventuelt avkrefte lukt- og smaks forbindelser i vannprøver ved å sammenligne prøvens analyseresultat mot kjente referankestoffer for lukt og smak som for eksempel nedbrytningsproduktene av tilsetningsstoffene (se Tabell 6.1. Anvendte additiver i PE) som antas tilsatt i PE rør.

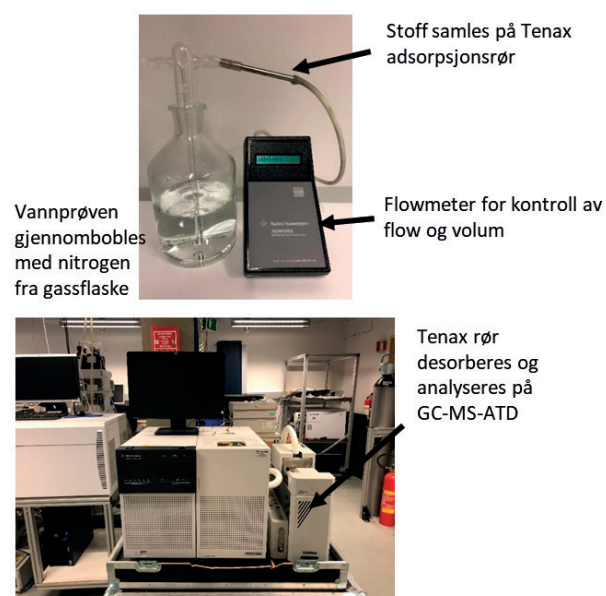
I den ikke målrettede analysen skjer identifikasjon ved hjelp av et spekterbibliotek, NIST (National Institute for Standards and Technology, Boulder, CO, USA) installert på GC-MS som inneholder spektra som er unike for ca. 200 000 kjemiske forbindelser. Identifisering av ukjente forbindelser har blitt en økende utfordring for vannverkene. Dette registreres som økt antall forespørsler om hva som skaper et lukt- og smaksproblem. Årsakene til dette kan være forskjellige, oppblomstring av sjeldne algetyper, klimaforandringer, utlekking fra vannrør og utilsiktet (og tilsiktet) søl/dumping av kjemikalier. Disse forholdene bør vies økt oppmerksomhet framover, gjennom økt beredskap og sikkerhet.

Vannprøver mottatt i prosjektet LOSiNOR er analysert på ikke målrettet analyse og figur 11.5 viser et GC-MS kromatogram av to forbindelser i en mottatt vannprøve som i utgangspunktet var ukjent, men som ble identifisert ved hjelp av massespektrometrisk spekersøk. Kromatogrammets x-akse viser retensjonstiden (den tiden det tar før en forbindelse kommer ut av GC-kolonnen), i dette tilfelle 12,6 minutter for den forbindelsen det er mest av. Docosenamid (erucamid)<sup>65),66)</sup> og octadecenamid er forbindelser som ble identifisert i dette tilfelle. Begge stoffene brukes som slippmiddel ved forming av termoplast.



Figur 11.5 Identifikasjon (GC-MS) av en ukjent forbindelse med retensjonstid 12,6 minutter.

Metoden er brukt i case studie i Årdal med lukt av hydrokarbon i vann. Se vedlegg V1.



Figur 11.3 Analysemetode Purge and trap

Figur 11.3 viser prinsippene og de forskjellige trinnene i analysen. Purge and trap er mer tidkrevende og arbeidskrevende, og krever komplisert utstyr som ATD enhet og flowmeter. Følsomheten er høy, men det er utviklet nyere analysemetoder med en langt høyere følsomhet enn tidligere og det antas at disse kan nå samme og bedre nivå som purge and trap metoden.

### Væske-væskeekstraksjon av vann og GC-MS analyse

Væske - væske ekstraksjon er en klassisk metode for å trekke ut stoffer fra en vannfase og få disse oppkonsentrert i et egnet løsningsmiddel for GC-MS analyse. I LOSiNOR-prosjektet er metoden brukt for både målrettet analyse av et utvalg lukt- og smaksstoffer og for ikke målrettet analyse av samme prøve.

Figur 11.4 viser utstyr for ekstraksjon (skilletrakt) og GC-MS med automatisk injeksjon av inndampert (oppkonsentrert) løsemiddel. Inndamping er et viktig prinsipp for å øke følsomheten ved metoden. GC-MS har

65) Erucamid er i litteraturen foreslått å kunne gi opphav til luktproblem "The lubricant erucamide is the key source of this off-odor problem" (Shi et al. 2004)."

66) From oxidative degeneration of erucamide one might expect the formation of several saturated and mono-saturated carbonyl compounds such as (Z)-dec-2-enal, (E)-dec-2-enal, (Z)-undec-2-enal, (Z)dodec-2-enal, (Z)-dodec-2-enal, (E)-dodec-2-enal, hexanal, octanal and nonanal." (Strube et al 2009).

i mange år vært den viktigste instrumenttypen for analyse av små og flyktige molekyler, noe som de fleste lukt- og smaksstoffer er.



Figur 11.4 Væske-væske ekstraksjon og GC-MS analyse

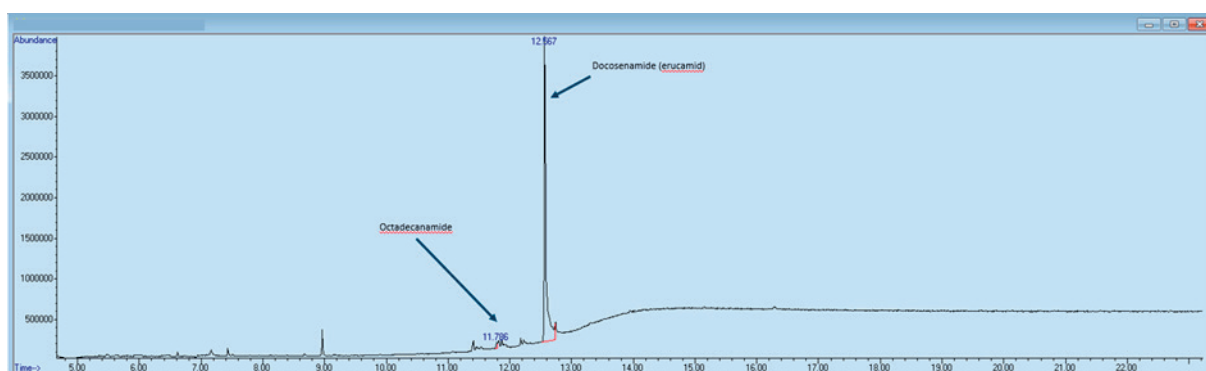
Den målrettede analysen ga ingen funn for prøvene som ble analysert i prosjektet. Dette skyldes for lav følsomhet i metoden. For å forbedre følsomheten ble bruk av GC-MS/MS istedenfor GC-MS introdusert i slutten av prosjektet (se neste kapittel).

GC-MS scan (ikke målrettet analyse) benyttes som metode for å analysere ukjente forbindelser. Denne metodikken er mindre selektiv og sensitiv enn målret-

tede analyser. Ved ikke målrettede analyser benyttes ikke standardkurve slik som ved konsentrasjonsbestemmelse. GC-MS scan kan benyttes for å påvise og eventuelt avkrefte lukt- og smaks forbindelser i vannprøver ved å sammenligne prøvens analyseresultat mot kjente referansestoffer for lukt og smak som for eksempel nedbrytningsproduktene av tilsetningsstoffene (se Tabell 6.1. Anvendte additiver i PE) som antas tilsatt i PE rør.

I den ikke målrettede analysen skjer identifikasjon ved hjelp av et spekterbibliotek, NIST (National Institute for Standards and Technology, Boulder, CO, USA) installert på GC-MS som inneholder spektra som er unike for ca. 200 000 kjemiske forbindelser. Identifisering av ukjente forbindelser har blitt en økende utfordring for vannverkene. Dette registreres som økt antall forespørsler om hva som skaper et lukt- og smaksproblem. Årsakene til dette kan være forskjellige, oppblomstring av sjeldne algetyper, klimaforandringer, utlekking fra vannrør og utilsiktet (og tilsiktet) søl/dumping av kjemikalier. Disse forholdene bør vies økt oppmerksomhet framover, gjennom økt beredskap og sikkerhet.

Vannprøver mottatt i prosjektet LOSiNOR er analysert på ikke målrettet analyse og figur 11.5 viser et GC-MS kromatogram av to forbindelser i en mottatt vannprøve som i utgangspunktet var ukjent, men som ble identifisert ved hjelp av massespektrometrisk spektersøk. Kromatogrammet x-akse viser retensjonstiden (den tiden det tar før en forbindelse kommer ut av GC-kolonnen), i dette tilfelle 12,6 minutter for den forbindelsen det er mest av. Docosenamid (erucamid)<sup>67),68)</sup> og octadecanamid er forbindelser som ble identifisert i dette tilfelle. Begge stoffene brukes som slippmiddel ved forming av termoplast.



Figur 11.5 Identifikasjon (GC-MS) av en ukjent forbindelse med retensjonstid 12,6 minutter.

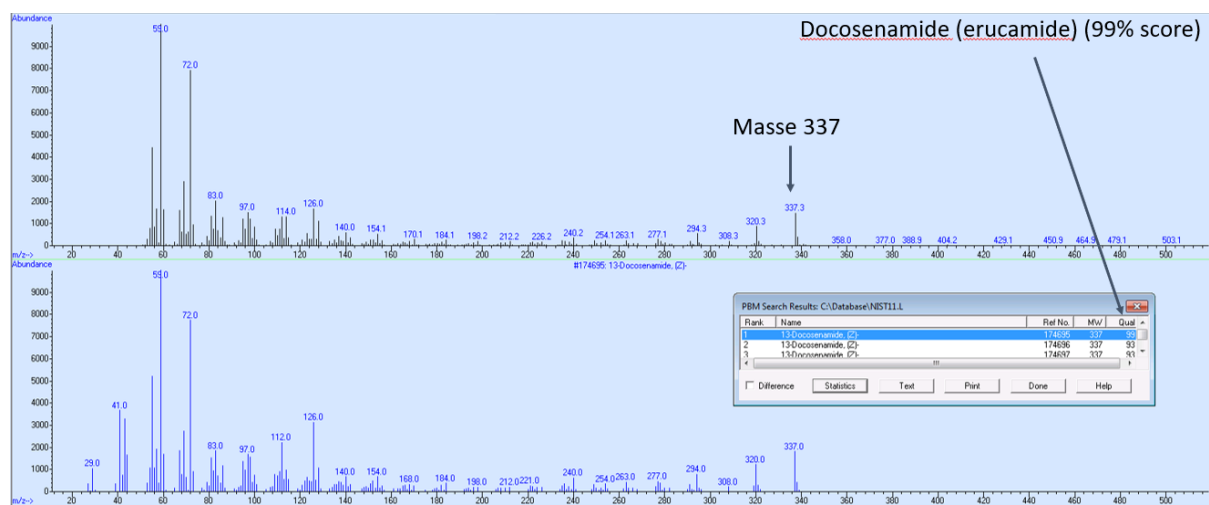
67) Erucamid er i litteraturen foreslått å kunne gi opphav til luktproblem "The lubricant erucamide is the key source of this off-odor problem" (Shi et al. 2004)."

68) From oxidative degeneration of erucamide one might expect the formation of several saturated and mono-saturated carbonyl compounds such as (Z)-dec-2-enal, (E)-dec-2-enal, (Z)-undec-2-enal, (Z)dodec-2-enal, (Z)-dodec-2-enal, (E)-dodec-2-enal, hexanal, octanal and nonanal." (Strube et al 2009).

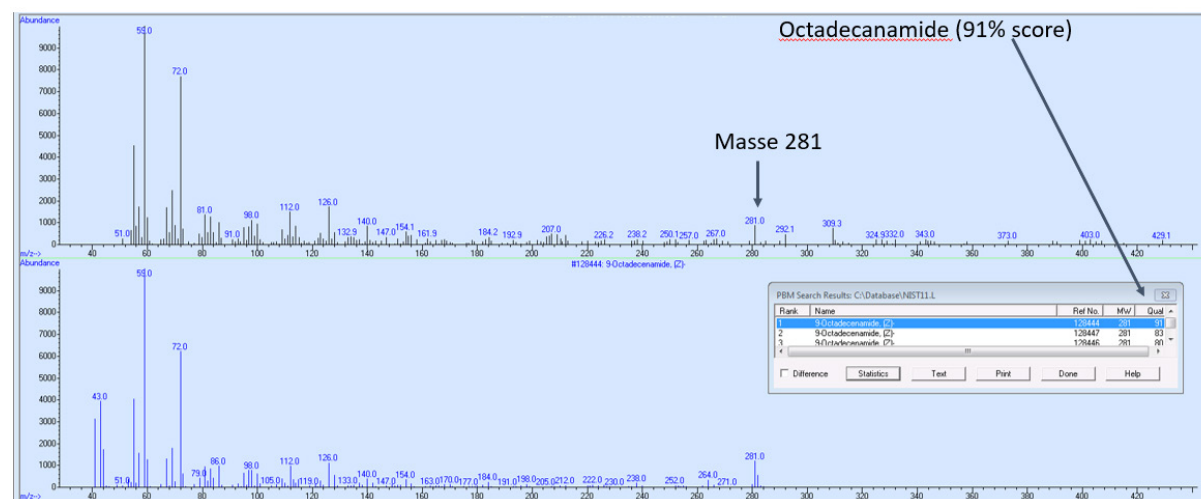
Spekterbiblioteket angir i tillegg til spekter en score på hvor likt spekteret til det ukjente stoffet som finnes i prøven er sammenlignet med spekteret til det kjente stoffet som ligger i biblioteket. Dette er kun en tentativ identifikasjon av stoffet som må bekreftes ved å kjøre prøven sammen med en kjent referanse av det foreslåtte stoffet i biblioteket.

Det øverste massespekteret (svart) i figur 11.6 tilhører den ukjente toppen på 12,6 minutter, mens det nederste spektret (blått) viser det spektret som ble funnet å ha

størst likhet med det ukjente i databasen (av ca. 200 000 kjente spektrere). Søk i spekterdatabasen tar ca. 1 sekund. Søk viser også molekylvekten (Mw 337) og treffprosenten (score 99%). Selv om likheten kan sees med det blotte øye, regnes score ut med en algoritme som spesielt tar hensyn til høyere masser (i dette tilfelle masse 337) slik at disse i større grad blir vektlagt. Det er de høye massene som er viktigst for identifikasjonen av den ukjente forbindelsen. Figur 11.7 viser resultatet for spektersøk med tilhørende score av stoffet octadecanamid.

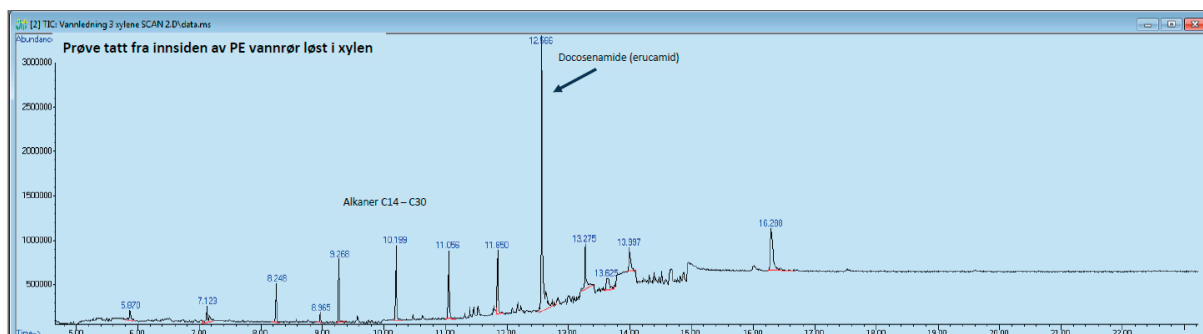


Figur 11.6 Spekter med tilhørende score for stoffet docosenamid (erucamid) ved scan på GC-MS



Figur 11.7 Spekter med tilhørende score for stoffet octadecanamid ved scan på GC-MS

Det ble også i prosjektet mottatt PE-rør som ble analysert på ikke målrettet analyse (GC-MS scan). Figur 11.8 viser spekter av prøve tatt fra innsiden av PE vannrør løst i xylol.



Figur 11.8 Spektet av prøve tatt fra innsiden av PE vannrør.

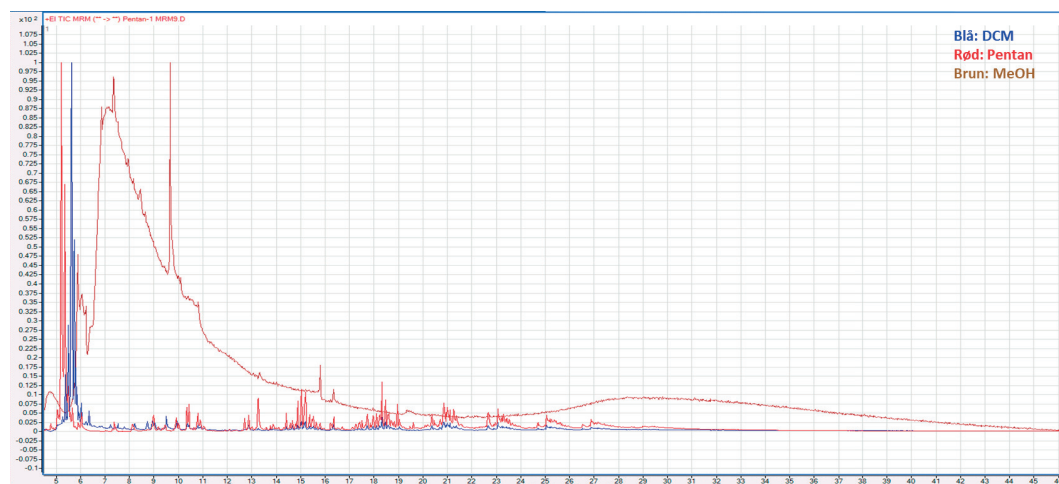
### Måltrett metode for lukt og smaksforbindelser i vann.

#### Forbedret følsomhet ved GC-MS/MS

I løpet av de siste årene har det skjedd en utvikling av en modifisert og forbedret type instrument, GC-MS/MS, som gir langt sikrere identifikasjon og en sterkt forbedret følsomhet, i størrelsesorden 10 ganger, eller mer. Denne instrumenttypen gir dermed en tilstrekkelig følsomhet for de vanskeligst påvisbare lukt- og smaksstoffene som en i dag har vansker med å detektere med tilstrekkelig følsomhet.

SINTEF har utviklet metode på GC-MS/MS for kvantitativ bestemmelse av lukt- og smaksstoffer. GC-MS/MS vil gi en vesentlig forbedring av instrumentell følsomhet sammenlignet med GC-MS, samt bedre selektivitet og spesifisitet for lukt- og smaksstoffene.

Ekstraksjonsmetode benyttet for GC-MS analyse var basert på pentan som løsemiddel. SINTEF har analysert 3 løsemiddel, pentan, metanol (MeOH) og diklormetan (DCM) på GC-MS/MS for å se hvilken bakgrunn de rene løsningene gir i instrumentet. For å optimalisere ekstraksjonsmetoden bør bytte av løsemiddel fra pentan til DCM vurderes. Se figur 11.9 for sammenligning av bakgrunn for pentan, MeOH og DCM.



Figur 11.9 Løsemiddelbakgrunn for stoffene pentan, diklormetan (DCM) og metanol (MeOH)








Ekstraksjonsmetoden er testet kun på rene standarder da vi ikke har hatt reelle prøver fra vannverk til å teste ut ny ekstraksjonsmetode. Uttesting av ekstraksjonsmetoden bør inkludere en oppkonsentrering av prøven på 1000x for å oppnå en lavere LOD for metoden.

Ved optimalisering av ekstraksjonsmetoden bør reduksjon av prøvemengde/volum vurderes for lettere transport til analyselaboratoriet.

Foreløpig inneholder analysemetoden 7 ulike lukt- og smaksforbindelser men det er mulig å legge til flere. Tabell 11.1 viser oversikt over de 7 lukt- og smaks-

forbindelsene som er etablert i metoden, samt deres grenseverdier for lukt og smak.

Tabell 11.1 Oversikt over lukt- og smaksforbindelser som er etablert i metoden

Analytt	Struktur	Grenseverdi lukt (ng/L) <sup>69)</sup>	Grenseverdi smak (ng/L)
2-Methylisoborneol (MIB)		6,3	2,5
Geosmin		1,3	75
2,4,6-Trikloranisole		0,08	25
2-Isobutyl-3-Metoxypyrazine		>0,05	0,40
2-Isopropyl-3-Methoxypyrazine		>0,03	10
2,4-Heptadienal		2500	-
Anisole		-	-

Under preparering av prøver til analyse kan det skje et tap av analyttkonsentrasjon. Det benyttes derfor internstandard for å kunne korrigere for et eventuelt tap av analytt under prøvepreparering og for eventuelle endringer i analysebetingelsene som for eksempel endringer i injeksjonsvolum. Internstandard er en kjent komponent som blir tilsatt i en kjent mengde til hver prøve. Kravene til valg av internstandard er at den skal ikke være i prøvene fra før og skal ikke reagere med komponenter som er til stede under analysen. Det er viktig at internstandard har egenskaper som er kjemisk

lik analytten, men at den fortsatt kan skilles fra analytten og andre stoffer i prøven. Dette gjøres ved å bruke en deuterert analog av stoffet. Dette skrives som D etterfulgt av et tall foran stoffet for å skille internstandard fra stoffet som skal måles. Tallet bak D viser antall deuterium atomer.

Analysemetoden for kvantitativ bestemmelse av kjente lukt- og smaksstoffer har tre internstandarder. Tabell 11.2 viser oversikt over internstandarder som benyttes i metoden, samt metodens måleområde.

Tabell 11.2 Oversikt over internstandarder og måleområder

Analytt	Internstandard	Måleområde
2-Methylisoborneol (2-MIB)	D3-2-Methylisoborneol	1 - 10 000 ng/L
Geosmin	D3-Geosmin	1 - 10 000 ng/L
2,4,6-Trikloranisole	D5-2,4,6-Trichloroanisole	1 - 10 000 ng/L
2-Isobutyl-3-Metoxypyrazine	D5-2,4,6-Trichloroanisole	0,5 - 10 000 ng/L
2-Isopropyl-3-Methoxypyrazine	D5-2,4,6-Trichloroanisole	5 - 10 000 ng/L
2,4-Heptadienal	D5-2,4,6-Trichloroanisole	1 - 10 000 ng/L
Anisole	D5-2,4,6-Trichloroanisole	1 - 10 000 ng/L

69) Standing Committee of Analysts, The determination of selected taste & odour causing contaminants in drinking waters by GC MS & GC MS/MS (2017), Methods for the Examination of Waters and Associated Materials, 500x concentrating of water samples

---

## 11.2. Genetiske analysemetoder

I case-studiene fra Åfjord og Sirdal (beskrevet vedlegg) ble det i tillegg til de direkte analysemetoder for lukt- og smaksstoffer brukt genetiske analysemetoder.

### Sekvensering av markørgener

DNA-sekvensering er en molekylærbiologisk metode som brukes for å kunne lese av rekkefølgen på nukleotidene (baseparene) i arvestoffet til f.eks. mikroorganismer. Målet med DNA-sekvensering er å kunne lese av organismenes genetiske kode for bl.a. å identifisere ulike grupper av mikroorganismer i en prøve. Den genetiske koden og dens baserekkefølge er avgjørende for hvordan gener er uttrykt, og forskjeller i baserekkefølgen er med på å forme alle de genetiske ulikhetene som eksisterer blant organismer. Denne rekkefølgen kan leses av i en sekvenseringsmaskin, og etterfølgende bearbeiding av sekvensdata (bioinformatisk analyse) avdekker sammensetningen av mikroorganismer i en prøve uttrykt som relativ forekomst av taksonomiske grupper (Operational Taxonomic Unit, OTU), som f.eks. bakterieslekter. Det finnes ulike markørgener som brukes til analyse av ulike organismer. 16S rRNA-genet finnes i alle bakterier og er dermed egnet for analyse av bakteriesamfunn. På samme måte brukes 18S-genet for eukaryote (flercellede) organismer og ITS-genet for analyse av sopp-samfunn.

I dette prosjektet ble sekvenseringsanalyser gjennomført i casestudiene Åfjord og Sirdal (beskrevet i vedlegg). Prøver ble tatt av vann og biofilm fra prøvepunkter med og uten tidligere lukt/smaks-episoder. Fra Åfjord ble vannprøver (8 L) filtrert gjennom filter med porevolum 0,2 µm vha. en vakuumpumpe, og filteret ble frosset ved -20°C for videre DNA-isolering. Biofilmprøver ble tatt ved å svabre innsiden av kraner med sterile Q-tips som deretter ble oppbevart kjølig fram til videre analyse. DNA ble isolert fra prøvene vha. prosedyre beskrevet i Kotlar et al. 2011<sup>70</sup>), korrigert for Q-tips og filter ved at disse ble ekstrahert direkte i rør ved 37°C. Deretter ble Q-tips og filter fjernet før videre ekstrahering og lysering ved 65°C. Fra Sirdal ble biter (ca. 3 cm) av biofilmmonitorer kuttet med en rørtang og sendt til laboratoriet i sterile prøvebeholder. Rørbitene ble dekket av autoklavert drikkevann og biofilmen ble fjernet i ultralydbad (37KHz i 4,75 min.), før 10 ml av væsken ble fordelt i sterile rør for videre analyser beskrevet under. For DNA-isolering ble 10 ml av væsken sentrifugert ved 5000 rpm i 20 min. DNA fra pellet (det faste stoffet fra sentrifugeringsrøret) ble ekstrahert med MasterPure Gram Positive DNA purification kit (Biosearch Tech., MPG04100), mens DNA fra væskefasen ble utfelt med isopropanol ved 4°C. Illumina MiSeq sekvensator ble benyttet for analyser av DNA, og en påfølgende bioinformatisk analyse (CLC programvare, Qiagen) ble gjennomført. Resultatene er presentert i case studier i vedlegg.

---

## 11.3. Øvrige vannkvalitetsanalyser

I tillegg til overnevnte analyse, ble det gjennomført analyser av total organisk karbon (TOC), adenosin trifosfat (ATP) og metaller (ICP-MS) på vannprøver og prøver av belegg fra biofilmmonitorer (BFM).

### ATP- og TOC-analyser

Adenosin trifosfat (ATP) er energibæreren i alle levende organismer, og analysen er basert på at ATP gir en lysreaksjon etter tilsats av et ildflue-enzym. Lysintensiteten måles og sammenlignes med en standardkurve, og ATP-innholdet kan derved kvantifiseres. Metoden

finnes også i en semi- online versjon, og enkelte vannverk (blant annet vannverket i Zürich) anvender denne metoden for overvåking av begroingstilstanden i ledningsnettverket. Her har man over tid etablert et godt referansegrunnlag, med varslings- og alarmgrenser for vannets ATP-innhold.

ATP-analysene ble gjennomført ihht. metode beskrevet av Hammes et al. 2010<sup>71</sup>). Det sterile røret med 10 ml prøve varmes ved 38°C i 2 min. i varmeblokk. 50µl reagens tilsettes i prøvekyvetten og varmes ved 38°C i 2

---

70) Kotlar et al. 2011. High coverage sequencing of DNA from microorganisms living in an oil reservoir 2.5 kilometres subsurface. *Applied Microbiology International* 3(6): 674-681.

71) Hammes et al. 2010. Measurement and interpretation of microbial adenosine tri-phosphate (ATP) in aquatic environments. *Water Research* 44(13): 3915-3923. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135410002551?via%3Dihub>

min. før 0,5 ml prøve overføres til kyvetten. ATP ble målt i en ATP-måler (Hygiene Pi -102). Dimensjonene på rørbiten måles med et skyvelær, slik at rørbittens indre overflateareal kan beregnes. Resultatene ble angitt som nmol/L ATP for vannprøver, og nmol ATP/cm<sup>2</sup> for BFM-rørbiter og tallene representerer et gjennomsnitt av tre parallelle målinger. Tilsvarende ble TOC angitt som mg TOC/L i vannprøver, og som µg TOC/cm<sup>2</sup> for BFM-rørbiter.

### **Elementanalyser**

Metallanalyser ble gjennomført med ICP-MS. Resultatet ble oppgitt som µg/L for vannprøver og µg/cm<sup>2</sup> for BFM-rørbiter

## 12. Konklusjoner og anbefalinger




Problemer med lukt og smak i drikkevann er ofte komplekse, og årsakene kan være mange. Årsakene kan ligge i kilde/nedbørfelt, i vannbehandling og/eller i distribusjonssystem/ledningsnett, herunder også husinterne systemer. Både kjemiske og mikrobiologiske prosesser kan være involvert i smaks- og luktdannelsen. Det er også betydelige utfordringer rundt prøvetaking og analyse, blant annet fordi konsentrasjonene og terskelverdiene for er svært lave for mange lukt- og smaksstoffer.

Rapporten beskriver årsaker, aktuelle analyseparametere samt mulig vannbehandling og tiltak mot lukt og smak i drikkevann. Man har prioritert 4 områder: 1) Algeproduisert lukt og smak; 2) Lukt og smak fra PE-rør; 3) Lukt og smak fra vannbehandling; og 4) Kloggenerert lukt og smak, herunder tilhørende kjemiske/mikrobiologiske prosesser i distribusjonssystemet.

For å finne årsaken til lukt og smaksproblemer er det viktig med god kjennskap til vannverket og vannforsyningssystemet, samt hvor og når problemet oppstod. I tillegg er prøvetaking og håndtering av prøver etter oppsamling viktig. Fylldig informasjon fra vannverket kan

være en god rettesnor for et laboratorium i jakten på mulige stoffer. Dette kan for eksempel være beskrivelse av lukt/smak (ved hjelp av smakshjulet), hvor problemet er, hvor prøven er tatt (dato, lokasjon, m.v.), spesielle hendelser i kilde, vannbehandling og distribusjonssystem, driftsmessige avvik, etc.

- Rapporten beskriver analyseplattformen som nå er etablert ved SINTEF: 1) Head space GC-MS for analyse av væske og analyse av fast stoff (f.eks. direkte fra PE rør), 2) Purge-and-trap metode med Tenax rør og påfølgende termisk desorpsjon på ATD-GC-MS for analyse av vannprøver, 3) Væske-væskeekstraksjon av vannprøver og GC-MS analyse av ekstrakt, og 4) Væske-væskeekstraksjon av vannprøver og GC-MS/MS analyse av ekstrakt. Man tilbyr også genetiske analyser (DNA-sekvensering). En kombinasjon av flere analytiske metoder kan gi en kjemisk og biologisk profil til en prøve med uønsket lukt og smak og hjelpe til med å finne årsaken til problemet. Figur 12.1 viser eksempel på analyseteknikker som kan benyttes for å lage en kjemisk/mikrobiologisk profil av uønsket lukt og smak.

	Uorganiske forbindelser	Organiske forbindelser	Mikroorganismer
Teknikk:	ICP-MS/MS	GC-MS scan	DNA sekvensering
			

Figur 12.1 Analyseteknikker som kan benyttes for profilering av lukt og smaksstoffer

Rapporten beskriver også en lang rekke erfaringer fra lukt- og smaksepisoder generert i kilde/nedbørfelt, vannbehandling og/eller distribusjonssystem/ledningsnett. Hensikten med dette er å kunne utnytte og bygge på andres erfaringer i et ofte vanskelig sporingsarbeid.

Rapporten inneholder et eget kapittel med et veikart for håndtering av lukt og smaksproblemer i vannforsynin-

gen. Dette veikartet planlegges utgitt av Norsk Vann som et eget «levende» dokument, med jevnlige revisjoner i takt med økt viten og kunnskap på dette området.

I vedlegg til rapporten angis terskelverdier for en rekke aktuelle lukt- og smaksstoffer i vann. Videre beskrives tre lukt og smaks-relaterte case studies.

# 13. VEDLEGG – Terskelverdier og CASE STUDIER

Tabell V1. Terskelverdier for lukt- og smaksstoffer i vann<sup>72)</sup>

Stoff	Kilde	Lukt	Luktterskel (µg/L)	Smakstterskel (µg/L)
2-MIB	Aktinomyceter, cyanobakterier, mikrosopp	Mugg/kamfer	0.0063	0.0025
Geosmin	Aktinomyceter, cyanobakterier, mikrosopp	Mugg/jord	0.0013	0.075
2-Kloranisol	Bakterie/sopp-metylering av klorfenoler	Søt/frukt/medisin	-	-
3-Kloranisol	Bakterie/sopp-metylering av klorfenoler	Søt/frukt/medisin	-	-
4-Kloranisol	Bakterie/sopp-metylering av klorfenoler	Søt/frukt/medisin	2.00	6.00
2,4,6-Trikloranisol	Bakterie/sopp-metylering av klorfenoler	Søt/frukt/medisin	0,00008	0.025
2,3,4-Trikloranisol	Bakterie/sopp-metylering av klorfenoler	Søt/frukt/medisin	-	-
2,4,6-Tribromanisol	Bakterie/sopp-metylering av bromfenoler	Søt/frukt/medisin	-	-
2-Isobutyl-3-Metoxypyrazin	Aktinomyceter	Jord/mugg	<0.00005	0.0004
2-Isopropyl-3-Metoxypyrazin	Aktinomyceter	Jord/mugg	<0.00003	0.010
2-Ethyl-5,5-dimethyl-1,3-dioxan	Industriavfall	Mugg/nøtt/søt	0.006	0.016
2-Ethyl-4-methyl-1,3-dioxolan	Industriavfall	Mugg/nøtt/søt	0.01	-
Fenol	Nedbrytning av vegetasjon/Industri	Karbolsk	10	<2.00
2-Metylfenol	Desinfeksjon og løsningsmiddel	Kreosot	90	3.00
3-Metylfenol	Desinfeksjon og løsningsmiddel	Kreosot	200	2.00
4-Metylfenol	Desinfeksjon og løsningsmiddel	Kreosot	55	2.00
2-Klorfenol	Klorering av fenol i VBA	Fenol	0.09	0.14
4-Klorfenol	Klorering av fenol i VBA	Fenol	10	39
4-Klor-3-metylfenol	Pesticider, lim, maling, konserveringsmidler	Mugg/fuktig/gammel	2.5	2.5
2-Bromfenol	Naturlig forekommende, Pesticidmetabolitt, kloreringsbiprodukt	Medisin	0.16	0.21
2,4-Diklorfenol	Klorering av fenol i VBA	Medisin	4.9	2.5
2,3-Diklorfenol	Klorering av fenol i VBA	Medisin	30	0.04
2,4,6-Triklorfenol	Klorering av fenol i VBA	Medisin	300	2
2,4,6-Tribromfenol	Naturlig forekommende, Pesticidmetabolitt, kloreringsbiprodukt	Medisin	6.9	6.7
Pentaklorfenol	Klorering av fenol i VBA	Medisin	9	8

72) Standing Committee of analysts (2017). The determination of selected taste and odour causing contaminants in drinking waters by GC-MS (oversatt utdrag).

## 13.1. Case Årdal: Lukt av hydrokarboner i vann og mistanke om utslipp fra bensinstasjon/bilvaskehall (bruk av Metode 2)

Årdal er et tettsted i Hjelmeland kommune og får vannforsyningen fra en grunnvannsbrønn i løsmasser. Brønnen ligger i kort avstand fra Årdalselva. I nedbørsfeltet oppstrøms er det jordbruksvirksomhet og i det nære nedbørsfeltet på nordsiden er det mindre industrivirksomhet med bensinstasjon, verksted, vaskehall og trelastforretning i tillegg til spredt boligbebyggelse.

Vannbehandlingen består av lufting (Radonette), tilsetning av vannglass og UV-behandling.

I januar 2017 var det enkelte abonnenter som klaget på appelsinlignende lukt av vannet. Også lukt som lignet på bensin/diesel ble etter hvert registrert. Det ble lukket på prøver av råvann, behandlet vann og vann fra fordelingsnett, noe som klart viste at problemene lå i selve råvannsforsyningen. Det ble levert vannprøver til Westlab i Stavanger for analyse av hydrokarboner, herunder de mer lukst sterke forbindelser xylen og toluen. Med den benyttede metode ble det ikke påvist hydrokarboner.

Vannverket har installert Radonett for lufting av radon og kullsyre fra grunnvannet. Installasjonen vil samtidig fungere som en strippeløsning for lettflyktige stoffer og ved lukting på utløpet av utluftingsenheten var luktbildet meget tydelig. Dette gav ideen til å samle opp de flyktige forbindelsene fra utluftingen på et absorpsjonsmateriale (Tenax) ved hjelp av tilhørende pumpeløsning.

Det ble besluttet at en egnet metode var adsorpsjon på ATD (automated thermal desorption) rør med etterfølgende GC/MS (gasskromatografisk analyse koblet med massespektrometri).

Etter å ha fått en orientering per telefon og mail, ble det klargjort en forsendelse bestående av Tenax rør, kalibrerte pumper og en lettfattet beskrivelse av prøvetakingsprosedyren, slik at den kunne utføres av lokalt vannverkspersonell i Årdal, uten behov for personell fra laboratoriet i Trondheim.

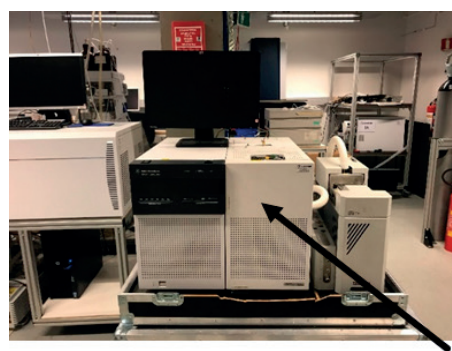
En del viktige parametere måtte noteres; sted og varighet (10, 20, 30, 40 og 60 minutter) av prøvetakingen, hvordan rør og pumper skulle kobles sammen, hvordan rørene skulle forsegles etter endt prøvetaking og hvordan rør skulle sendes til laboratoriet i Trondheim per vanlig post ved romtemperatur.

Ved ankomst til laboratoriet ble rørene klargjort og satt inn i ATD-enheten for analyse (Figur V1), og stoffene i kromatogrammet ble identifisert ved hjelp av spekterbiblioteket (Figur V2).

### Resultater oppsummert

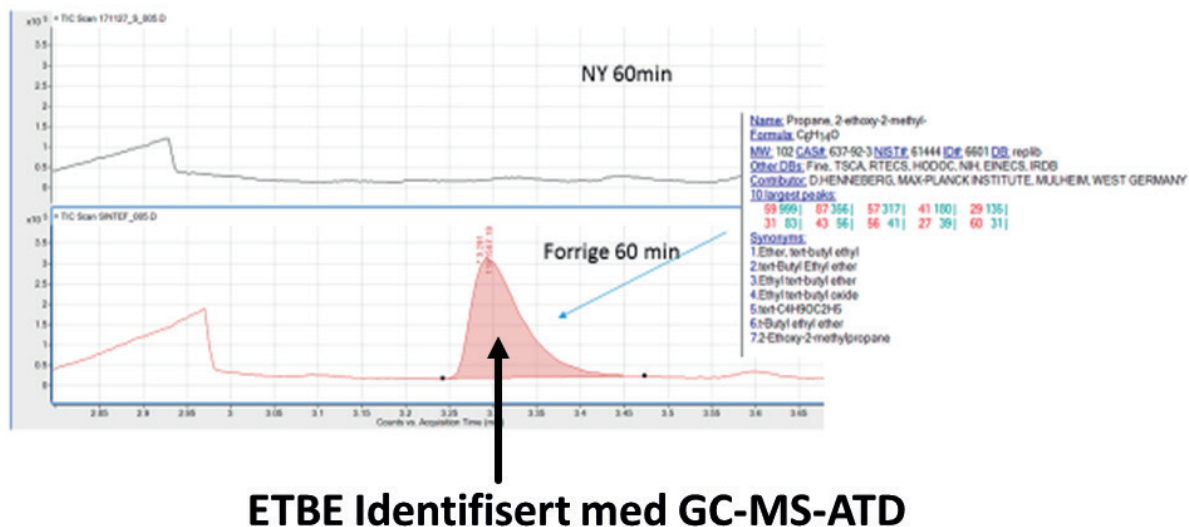
- Oppsamling på Tenax rør fra vannverkets Radonett enhet (60 min)
- Analyse og identifikasjon på GC-MS-ATD (Figur V1)
- Funn av etyl-tert-butyl-eter, ETBE (tilsetningsstoff i bensin), tridecan (hydrokarbon som finnes i whitesprit) gav en klar indikasjon på at en av kildene kunne være utløp fra vaskehall og/eller lekkasjer fra bensinstasjon (Figur V2).
- Det ble også påvist D-limonene som har en sitron/appelsin lignende lukt. I vaskehallen ble det funnet en kanne med vaskemiddel som der det i innholdsfortegnelse fremgikk at det inneholdt D-limonene og kilden til «appelsinlukten» var derved sannsynliggjort.

Kombinasjonen av en effektiv oppkonsentreringsmetode og kjøring på GC/MS pekte her på kilde/kilder som med høy sannsynlighet var årsak til luktproblemene og disse opphørte etter at det var utført diverse tiltak som hindret forurensning av grunnen og grunnvannstrømmen mot brønnen.



**GC-MS-ATD**

Figur V1. Bilde av analyseinstrumentet (GC-MS-ATD)



## ETBE Identifisert med GC-MS-ATD

Figur V2. Funn av etyl-tert-butyl-eter med GC-MS-ATD

## 13.2. Case Åfjord: Membranfiltrering, klorvask og kloranisoler på ledningsnett

I Åfjord i Trøndelag ble et nytt vannbehandlingsanlegg satt i drift sommeren 2010. Vannbehandlingen besto av mikrosiling, nanofiltrering og UV-desinfeksjon. Klor ble benyttet til vask av membranene for å hindre uønsket beleggdannelse på nanofiltermembranen. Anlegget omfattet også et nytt høydebasseng laget i GUP med innvendig gelcoat.

Etter oppstart fikk man umiddelbart klager på dårlig lukt og smak på vannet: *"Drikkevannet begynte å smake og lukte vondt straks det nye renseanlegget ved Stordalen Vassverk ble satt i drift"*. Fenomenet ble omtalt som «vannmysteriet i Stordalen», og kommunen satte i verk en rekke undersøkelser for å finne årsaken til problemene. Utfordringen var å identifisere hvilke stoffer er det som gir lukt/smak-problemene, hva som er årsakene – og hvilke tiltak som kan være aktuelle for å løse problemet.

- Lukt- og smaksproblemene kom med det nye anlegget – man hadde ingen slike problemer før 2010. Problemene kommer og går – det gjør også klagene
- "Myrlukt" og "myrsmak" synes å dominere, og noen opplever en spesiell "stank" under dusjing
- Daglig membranvask med klor/skyllemiddel og sporadisk bruk av hovedvaskemidler (tensider) for å holde membranbelegget (foulingen) under kontroll - vannet sendes til avløp de første 25 min etter fullført vask

- For å fjerne eventuelle innvendige belegg og avsetninger, pluggkjørte man alle ledninger som tillot dette (ikke stikkledninger)

Supplerende prøvetaking og analyse ble iverksatt for å gi svar på følgende:

- Tilføres vannet organisk stoff fra membranene, fra høydebasseng/gelcoat og/eller fra PE-rør – og kan dette bidra til lukt/smak, biologisk vekst?
- Dannes det klororganiske forbindelser ved den daglige klorvasken av NOM-holdig belegg på membranene, og kan slike forbindelser akkumulere i/leke gjennom membranene i lang tid etter avsluttet klorvask/skylling?
- I hvilken grad påvirkes vannkvalitet og biologisk vekstpotensial av UV?
- Hvilke lukt/smaksstoffer finnes i vannet, hvilke konsentrasjoner snakker vi om, og hvor kommer disse stoffene fra?
- Hvilke tiltak er aktuelle for å løse problemene?

Prøver ble tatt ut og sendt til analyse av NOM-fraksjoner og BDOC ved SINTEF. Siden analyse-plattformen for lukt- og smak på dette tidspunktet ikke var etablert ved SINTEF, ble analysene av lukt- og smaksstoffer utført ved Suez sitt laboratorium i Frankrike.

Som en innledende screening foretok Suez analyse av fire vannprøver: 1) Ubehandlet råvann, 2) Behandlet vann etter NF og UV; 3) Utløpsvann fra høydebassenget, og 4) Nettvann fra distribusjonssystemet.

Alle vannprøver ble karakterisert etter en skala fra 0-8 for lukt og smak. Lukten på råvannet ble karakterisert som muggen/mudderaktig (musty/muddy). Lukten av behandlet vann etter UV ble karakterisert som septisk/jordlignende (septic/earthy), og smaken som septisk/jordlignende/bitter. Nettvannet ble luktmessig karakterisert som muggen/jordlignende, og smaken som muggen/fruktig. Smaken var særlig sterk i behandlet vann og nettvann hvor man fant de høyeste karakterene (henholdsvis 6 og 8). Prøveflasken fra høydebassenget var dessverre knust ved ankomst laboratoriet i Frankrike. Man fant ingen av de klassiske algegenererte lukt- og smaksstoffene geosmin, MIB og isobutyl methoxy pyrazine, og man konkluderte derfor med at lukt- og smaksproblemene ikke skyldtes alger eller actinomyceter.

Nye prøverunder og analyser i november 2010 viste forekomst av 2,4,6 triklorfenol ut fra membrantrinnet (NF). Mens konsentrasjonen i råvannet ble målt til < 10 ng/L, lå konsentrasjonsnivået i utløpsvann fra NF, i utløp fra høydebassenget, etter en kort PE-rørstrekning og i nettvann alle i området 40-50 ng/L. Prøveuttaket fra nanofiltertrinnet omfattet 4 prøver, uttatt etter henholdsvis 10 minutter, 30 minutter, 1,5 time og 3 timer etter avsluttet klorvask. Det ble også påvist trikloranisol (2,4,6 trikloranisol) i prøven av nettvannet. Konsentrasjonen var 0.4 ng/L, noe som er betydelig høyere enn luktterskelen for dette stoffet (0.02-0.08 ng/L). Også prøven fra nanofilteret uttatt 3 timer etter avsluttet klorvask viste innhold av kloranisol (0.2 ng/L). For alle andre prøver var innholdet av kloranisol 0.1 ng/L eller lavere. Litteraturen angir flere eksempler på at mikroorganismer kan omdanne klorfenol til kloranisol i biofilm/belegg på ledningsnett<sup>73)</sup>, noe som også kan forekomme i slam fra filtersenger/slamtanker<sup>74)</sup>.

Det kan være flere mulige kilder til den påviste klorfenolen:

- Dannet naturlig via enzymatiske reaksjoner i jordsmonn<sup>75)</sup>
- Fra innsjøsedimenter etter å ha blitt dannet ved f.eks. skogbranner
- Fra impregnert treverk/båter, biocider/skog-sprøyting, etc
- Fra lufttransport og nedfall via nedbør
- Fra epoksybelegget i høydebassenget og/eller fra limet i enden av membranmodulene

Siden det ikke ble påvist klorfenol i råvannet, må denne komme fra vannbehandlingen, fra PE-rørledningen eller fra gelcoat/epoksy i høydebasseng og/eller membranmodulene. Siden konsentrasjonen av klorfenol økte fra < 10 ng/L i råvannet til et nivå på 40-50 ng/L etter membranfilteret og deretter holdt seg på samme nivå i nedstrøms prøvepunkter, ble det konkludert med at klorfenolen ble tilført i membranfiltertrinnet.

En tredje prøverunde påviste klorfenoler (2,4,6 triklorfenol) i alle prøvepunkter unntatt råvann og nettvann. Man påviste også spor av bisfenol A og F, noe som kan stamme fra epoksybelegget i høydebassenget, fra PE-røret eller fra limet i membranmodulene. Epoksy kan lekke bisfenol som så kan reagere med klor og danne klorfenol, forløperen til kloranisoler. Leverandøren av membranlegget bekreftet at bisfenol A var anvendt i epoksy/lim i membranmodulene på dette vannverket.

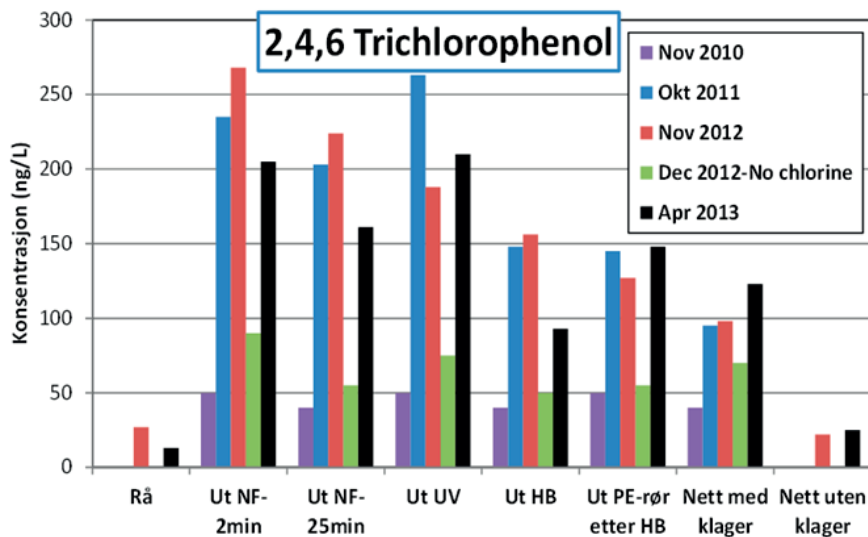
I november 2012 ble det foretatt nye prøver og analyser, og det samme ble gjort i desember 2012 etter at anlegget hadde vært drevet i én måned uten klorvask. Etter prøverunden i desember ble daglig klorvask igjen satt i gang, hvorpå nye prøver ble tatt i april 2013.

Resultatene er vist i Figur V3. Det fremgår at innholdet av triklorfenol ble betydelig redusert som følge av stansen i klorvask (Dec 2012-No chlorine). Etter at klorvask ble reetablert økte konsentrasjonene igjen (April 2013). Dette synes å bekrefte av klorfenoler og bisfenoler kan inngå som forløpere til mikrobiell dannelse av kloranisoler på ledningsnett. Figur V4 oppsummerer sannsynlige årsaker til lukt og smaksproblemene i Åfjord.

73) Peters, A. and von Gunten, U. 2009. Taste and odor problems generated in distribution systems: a case study on the formation of 2,4,6 trichloroanisole. J. of Water Supply - Research and Technology-AQUA, 58-6, 2009

74) Adams et al. (2021) Detection of T&O in Filter Media, JAWWA Oct 2021

75) Grimvall A, Jonsson S, Karlsson S, et al. 1991. Organic halogens in unpolluted waters.



Figur V3. Innhold av 2,4,6 triklorfenol i vannprøver fra Stordalen Vassverk, Prøvene fra desember 2012 ble tatt etter en måneds drift uten klorvask av membranene<sup>76)</sup>.

### Stordalen Vassverk – Sannsynlige årsaker

Fra fenoler og bisphenoler til triklorfenoler og trikloranisoler ?

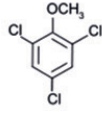


**Fenol/karbolsyre:** En del av NOM

**Klorfenol:** Kan dannes via enzymatisk reaksjon med NOM (kloroperoxydase) (Hodin et al,1991)



**Triklorfenol:** Fra klorvask av NOM-belegg på membran, og fra klorering av bisphenol som lekker fra lim/epoxy i membranmodulene



**Trikloranisol:** Dannes ved mikrobiell omsetning av triklorfenol på ledningsnett





Figur V4. Sannsynlige årsaker til lukt- og smaksproblemene i Åfjord

#### Tiltak

Aktuelle tiltak mot lukt- og smaksproblemene i Åfjord kan være:

1. Overgang til alternative membranvaskemidler (som ikke danner klorfenol)
2. Tiltak mot mikrobiell vekst/muggsopp og fjerning av biofilm/belegg på nettet, eksempelvis ved hyppig spyling/pluggkjøring  
Supplerende vannbehandlingstrinn, f.eks.
  - i. Aktiv-kullfiltrering etter membrantrinnet. Dette er en gunstig vannkvalitet for aktiv kullfiltrering siden nanofiltreringen har fjerne mesteparten av vannets NOM-innhold. Dette betyr marginal

poreblokkering og konkurranse fra NOM om adsorpsjonsplassene, og følgelig og høy kapasitet for fjerning av lukt og smaks-komponentene i aktivkullet.

- ii. Forozonering og aktivkullfiltrering etter membrantrinnet, der man også utnytter ozonets evne til å oksidere klorfenoler, lukt/smaks-stoffer, mm

For anlegg som benytter nanofiltrering og som har lukt og smaksproblemer bør analyseprogrammet inkludere fenoler, bisfenoler, klorfenoler, og kloranisoler.

76) Eikebrokk, B. 2018. Lukt og Smak i NORske drikkevann - LoSiNOR: Ny Kunnskap og Nye Analysemetoder. Vannprisseminaret 2018: Utviklingsarbeid i Vannbransjen, Norsk Vannforening, Ing. Hus, Oslo, 11. April 2018

### Mikrobielt samfunn i Åfjord vannverk

På bakgrunn av lukt- og smaksproblemer i Åfjord, ble molekylær mikrobekartlegging i vann og biofilm fra Åfjord vannverk gjennomført for å undersøke om problemene skyldes biologisk aktivitet. Planen var å analysere de genetiske markørene 16S (encellede bakterier), 18S (flercellede organismer) og ITS (sopp) for å få en oversikt over hvilke mikroorganismer som finnes i prøvematerialet og den relative forekomsten av dem. Dersom resultatene viste at noen dominerende organismer skilte seg ut, skulle det gjennomføres en helgenomanalyse på utvalgte prøver, for å kartlegge funksjonelle gener og lete etter genet som koder for produksjon av fenol oxidase, et enzym som er nødvendig for å omdanne klorfenol til kloranisol. Dessverre var det for lite og dårlig kvalitet på DNA fra prøvene, og spesielt fra biofilmprøvene var det vanskelig å få nok materiale, så det var ikke mulig å gjennomføre en helgenomanalyse. Kartleggingen resulterte allikevel i flere interessante funn som beskriver mikrosamfunnet på måter som ikke er vist tidligere. Det ble derfor besluttet å søke om tilleggsfinansiering fra Norsk Vann for å teste ut biofilmmonitorer installert hos Sirdal vannverk (se Figur V8).

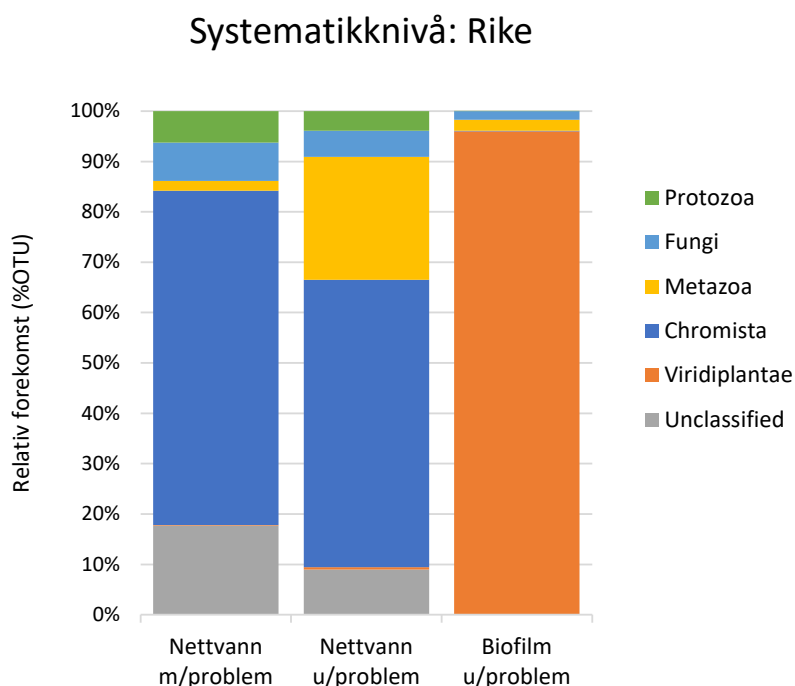
Forsknings spørsmål som lå til grunn for undersøkelsen var:

- Skyldes lukt/smaks-problemet biologisk aktivitet?
- Hvilke organismer er ansvarlig for problemet?
- Mikrobiologisk tilstand på vannet, inkludert mulige patogener

### Resultater/oppsummering mikrobefunn Åfjord

Generelt var mange av organismene i mikrobefunnene uklassifisert, og det ble kun tatt én prøve fra hvert punkt, derfor er det vanskelig å si noe om likheter/ulikheter. Det var ingen organismer som skilte seg ut med hensyn til lukt/smaks-komponenter basert på litteratursøk, det var heller ikke smak/luftpå problemer på prøvene ble tatt. Mikrobefunnene er beskrevet videre under.

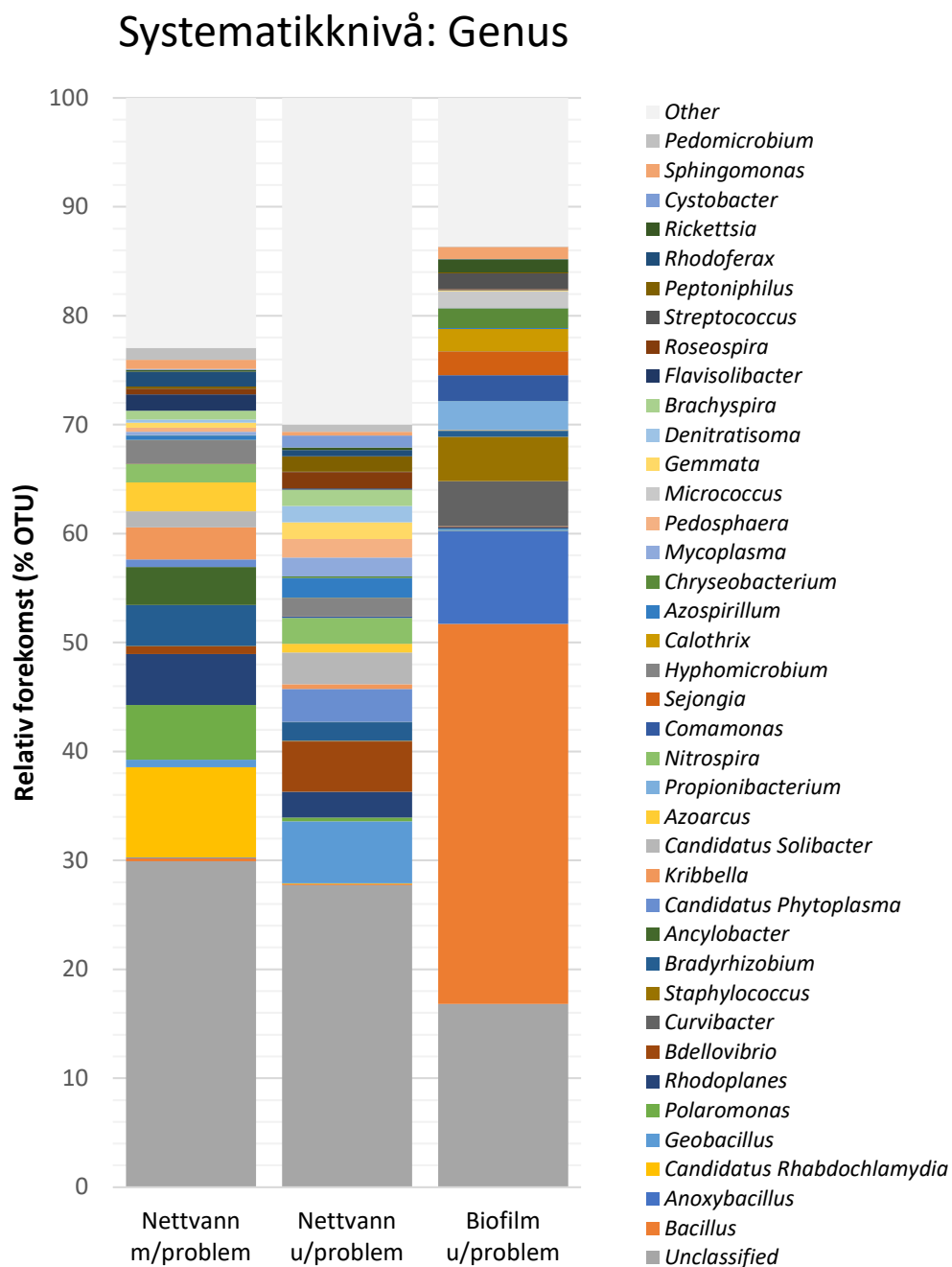
**Flercellede organismer (18S):** Figur V5: Biofilmen domineres av organismer tilhørende planteriket (gress, sannsynligvis organisk materiale i biofilmen). Nettvannet domineres av organismer i rike *Chromista* (gulbrune alger).



Figur V5. Relativ forekomst (%) av flercellede organismer i nettvann og biofilm i Åfjord, basert på sekvensering av 18S markørgen for flercellede organismer.

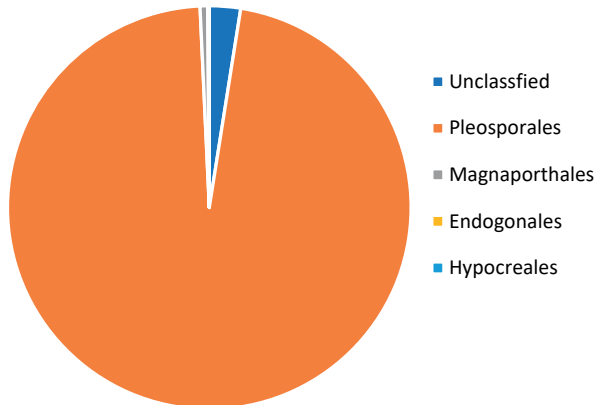
**Bakterier (16S rRNA):** Figur V6: Biofilmen domineres av genus *Bacillus*, ingen tydelig dominans i nettvannet. De påviste bakterieslektene er bakterier som har evne til å tilpasse seg næringsfattige og ekstreme miljø, og som kan utnytte ulike næringskilder, flere har evne til metallreduksjon/metallsorpsjon.

**Sopp (ITS):** Figur V7: Nettvann med lukt/smaksproblem domineres av orden *Pleosporales* (97%), disse er kjente saprofytter på dødt plantemateriale, er vanlig i ferskvann, sjøvann og jord. Flere plantepatogene arter hører til denne ordenen, men det er ingen kjent betydning ift. lukt/smak.



Figur V6. Relativ forekomst (%) av bakterieslekter i nettvann og biofilm i Åfjord, basert på sekvensering av 16S rRNA markørgenet for bakterier.

## Systematikknivå: Orden



Figur V7. Sammensetning (%) av soppsamfunn i nett vann i Åfjord, basert på sekvensering av ITS markørgenet for sopp.

### 13.3. Case Sirdal: Lukt og smak fra PE-rør

#### Mikrobielt samfunn i Sirdal vannverk

Sirdal har hatt flere episoder med smak/luftp problemer, derfor det ble plassert ut biofilmmonitører (Figur V8) på råvannsinntaket, ett sted på nettet med lukt/smaks-problemer (Tonstad) og ett sted på nettet uten problemer (Tunga). Monitørene ble laget av PE-rør, både brukte og nye, mikrobekartleggingen ble gjennomført på brukte PE-rør, for å sikre dannelse av biofilm. Biter av PE-rørene ble kuttet av og sendt til sekvenserings-analyser, samt analyse av metaller og ATP. Prøve-perioden ble gjennomført i 5 omganger, sommer, høst og vinter 2019/2020 (juni, august, september, november og januar).

**Forskningsspørsmål** som lå til grunn for undersøkelsen var:

- Teste ut DNA-isolering og sekvensering av biofilm fra biofilmmonitører
- Kartlegge mikrobefundet i biofilm, likheter/forskjeller mellom prøvepunkt med og uten lukt/smaks-problemer?
- Kan man finne sannsynlig mikrobiologisk kilde til lukt/smaks-problemet?

#### Resultater/oppsummering mikrobefund Sirdal

Generelt var det lite uklassifiserte organismer, men en del ukjente treff innen slektene, sannsynligvis fordi disse bakteriene ikke har vært dyrket eller beskrevet tidligere, noe som også reflekterer vanskeligheter relatert til prøvetaking av biofilm i vannsystemer. Utplussing av biofilmmonitører ser ut til å være en god metode for

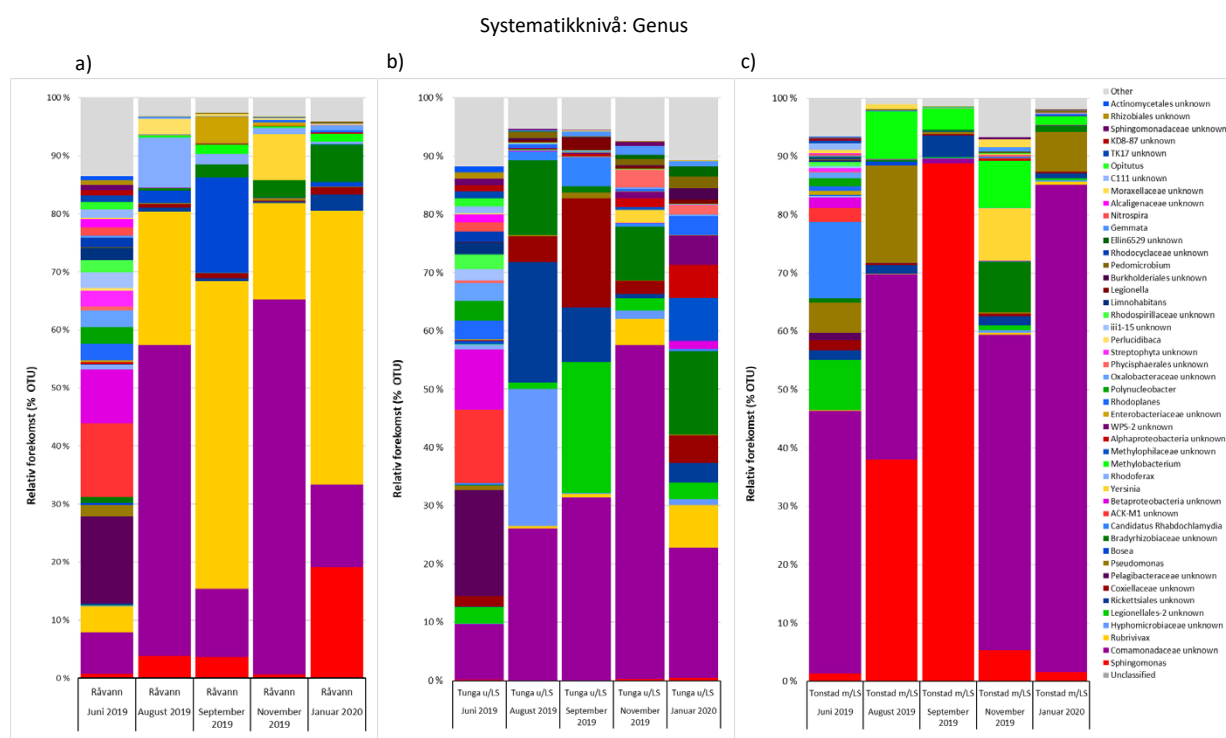


Figur V8. Bilde av biofilmmonitor (BFM) som ble anvendt i Sirdal (opprinnelig designet av Karl Olav Gjerstad, IVAR).

prøvetaking av biofilm. Det var noe begrenset DNA-materiale i den første prøverunden (juni), derfor bør BFM med fordel stå noe lenger enn 2 mnd. før prøvetaking for optimal biofilmdannelse i slike system. Ettersom sammensetning av mikrobefunn kan variere mellom og innad i prøver må resultatene tolkes i trendperspektiv og ikke på detaljnivå, men generelt kan man si at mikrobefunnet i biofilmprøvene fra Sirdal domineres av 3-4 bakterieslekter, 2-3 muggsoppslekter, og et par gjæringsoppslekter. Detaljer for de ulike analysene er beskrevet under.

Resultatene tyder på at det er forskjell i forekomst og artsrikhet av de ulike mikrobenes i biofilm fra råvann sammenlignet med nettpunktene. Det ser ut til at de aller fleste mikrobenes man finner i nettpunktene også er til stede i råvannet, for deretter å øke eller minske i relativ frekvens i nettpunktene, sannsynligvis som følge rensetrinn, ulike næringsstilgang, fysiokjemiske forhold, eller andre driftsparametere. Vi får her et lite innblikk i en naturlig utvikling av biofilm i et vannsystem.

**Bakterier (16S rRNA):** Bakterieanalysene gav best og mest resultater, og resultater ble generert fra alle prøvepunkter og -omganger (Figur V9). Hvis vi ser alle prøvene under ett er bakteriefamilien *Comamonadaceae* dominerende, denne bakterien ble reklassifisert fra genus *Pseudomonas* og er vanlig å finne i jord, vann og planter, så dette er nok en helt vanlig forekommende bakterie i drikkevann. Når vi sammenligner prøvepunktene ser vi at det i Tonstad i august- og spesielt i septemberprøven var en veldig dominans av bakterieslekten *Sphingomonas* (89%). *Sphingomonas* er en bakterieslekt som kan utnytte et stort spekter av naturlige forbindelser som næringskilde, men også miljøforurensende stoffer. Denne bakterien har derfor blitt brukt til bioremidering (opprensning av miljøforurensning), og nyere forskning viser at *Sphingomonas*-arter spiller en rolle i degradering av metallorganiske stoffer<sup>77</sup>. *Sphingomonas* er i liten grad til stede i råvannet og Tunga i septemberprøven, denne slekten skiller tydelig disse to nettpunktene.

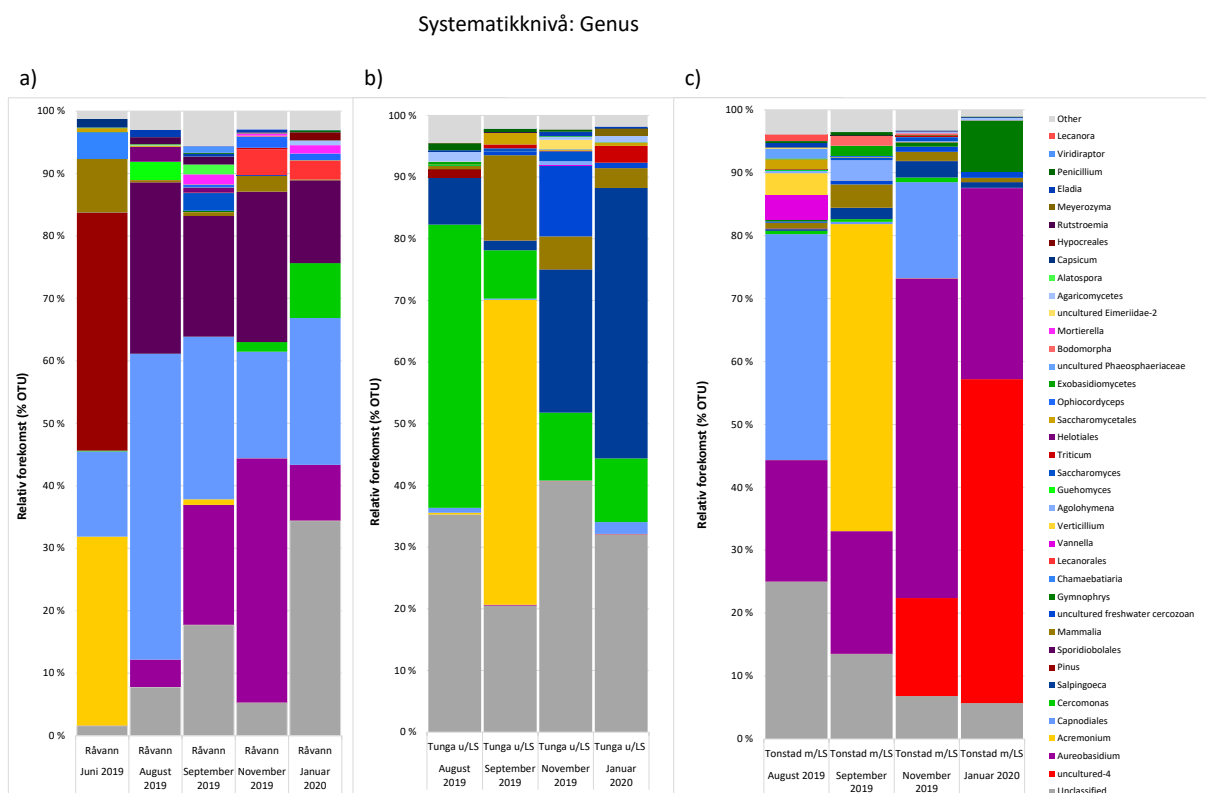


Figur V9. Sammensetning av bakterieslekter i biofilm fra biofilmmonitører utplassert i Sirdal, basert på sekvensering av 16S rRNA markørgenet. Figuren viser bakteriesammensetningen i biofilm fra a) råvann, b) nettpunkt Tunga, c) nettpunkt Tonstad. u/LS=uten lukt/smaksproblem, m/LS= med lukt/smaksproblem.

77) Asaf et al. 2020. *Sphingomonas*: from diversity and genomics to functional role in environmental remediation and plant growth. *Critical Reviews in Biotechnology* 40 (2): 138-152.

**Flercellede organismer (18S):** Muggsoppslekten *Aureobasidium* var til stede i råvannet, men skiller nettpunktene med og uten lukt/smaksproblemer, ettersom den kun forekommer i nettpunkt Tonstad (Figur V10). Denne slekten kan bruke xylan som karbonkilde (fluorpolymer som brukes som coating i industriprosesser, mest vanlig i teflonbelegg), og flere arter i denne slekten har evne til å degradere syntetiske kjemikalier. *Aureobasidium* er tolerant til mange metalli-

oner som er vanlig ifm. forurensning av jord og vann, og brukes bl.a. til avløpsrensing fra treforedlingsindustrien. Muggsoppslekten *Acremonium* dominerer biofilmen i begge nettpunktene i septemberprøven. *Acremonium* kan degradere organisk forurensning som f.eks. toluen, PAH, syntetisk farge, polyklorert bifenyli, og pesticider. Denne soppeslekten er også satt i forbindelse med produksjon av octenol som kan gi dårlig lukt og smak<sup>78)</sup>.



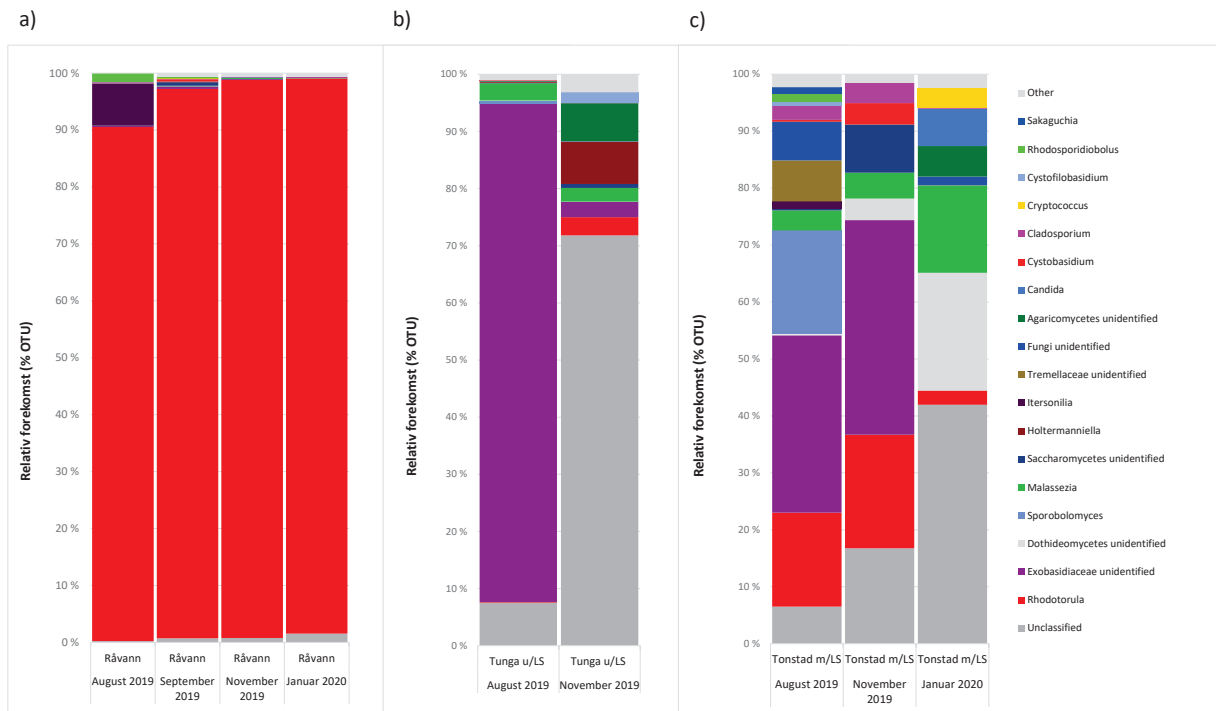
Figur V10. Sammensetning av flercellede organismer i biofilm fra biofilmmonitorer utplassert i Sirdal, basert på sekvensering av 18S markørgenet. Figuren viser sammensetningen i a) råvann, b) nettpunkt Tunga, c) nettpunkt Tonstad. u/LS=uten lukt/smaksproblem, m/LS= med lukt/smaksproblem.

**Sopp (ITS):** Flere punkter gav ikke resultater. Råvannet mangler resultat for juni, men har ellers fullstendig dominans av gjærsoppen *Rodotorula* (Figur V11). Denne soppen ser ut til å bli fjernet i rensetrinnet, og er mindre til stede i nettpunktene. Gjærsoppslekten

*Exobasidiaceae* er mest frekvent i nettpunktene, denne er vanlig i miljøet, og inneholder kjente plantepatogene arter. Disse to gjærsoppslektene er ikke tidligere blitt rapportert ift. lukt/smaksproblemer, men vi vet fra andre næringsmidler at gjærsopp både kan lukte og smake.

78) Goncalves et al. 2006. Survey and significance of filamentous fungi from tap water. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 209 (3):257-264.

### Systematikknivå: Genus

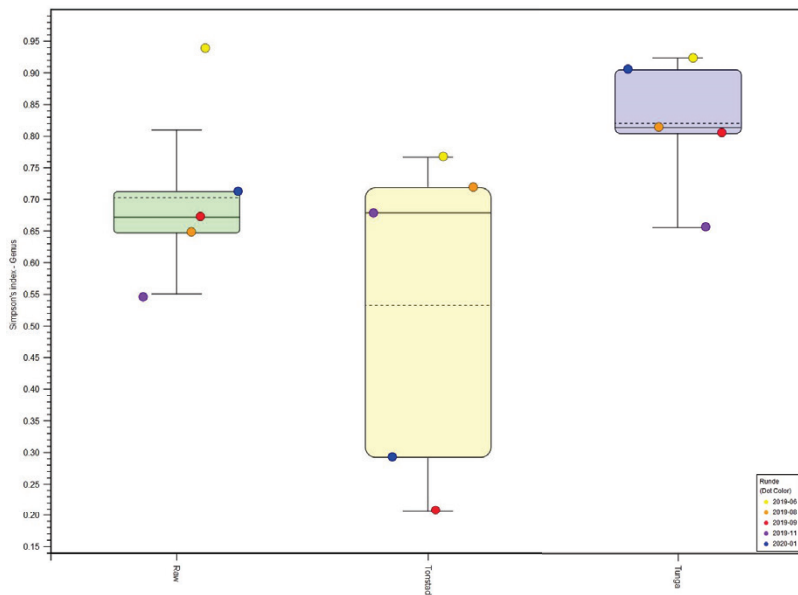


Figur V11. Sammensetning av soppfunn i biofilm fra biofilmmonitører utplassert i Sirdal, basert på sekvensering av ITS markørgenet. Figuren viser sammensetningen i a) råvann, b) nettpunkt Tunga, c) nettpunkt Tonstad. u/LS=uten lukt/smaksproblem, m/LS= med lukt/smaksproblem.

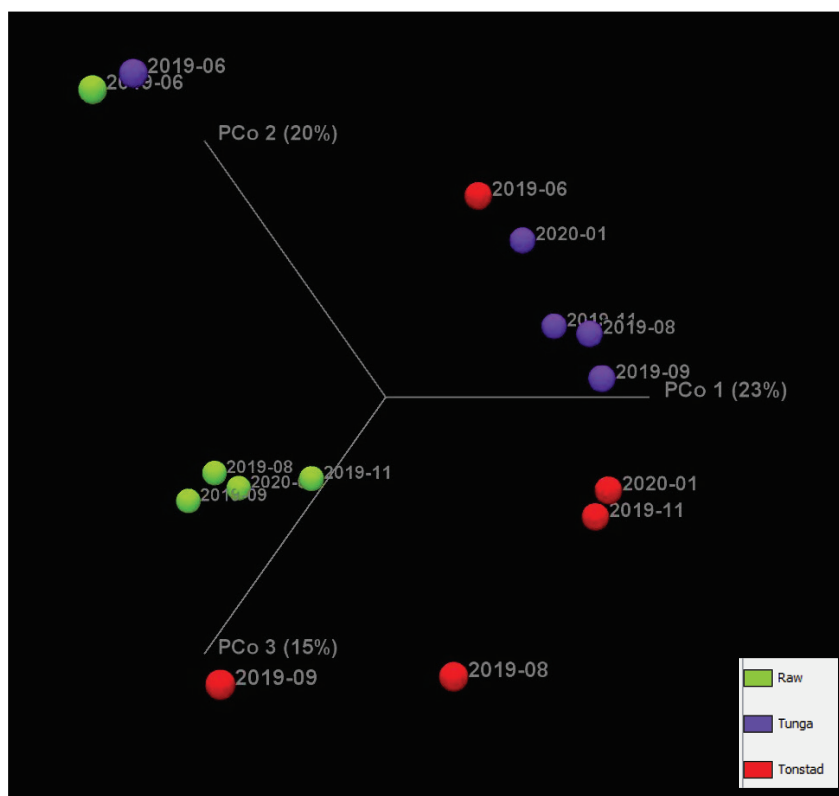
**Sammenligning av prøvepunkter basert på bioinformatisk diversitetsanalyse av bakteriesamfunn:** Simpson's Index er en statistisk diversitetsindex som gir info om endring i diversitet av bakterieslekter innad i et prøvepunkt. I Figur V12 viser boksene variasjonen i diversitet mellom prøveomganger for de ulike prøvepunktene. Vi ser at det er minst variasjon i diversitet i råvannsbiofilmen, mens diversiteten av bakterier i biofilmen varierer mest i Tonstad. Dette kan tolkes dithen at bakteriefunnet er mest stabilt i råvann og mest ustabil i Tonstad. Bakteriesamfunnet i Tunga er også mye mer stabilt enn i Tonstad.

Bray-Curtis analyse er en statistisk analyse av endringen i bakteriediversitet mellom prøvepunkter. Avstanden mellom punktene i PCoA plottet (Figur V13) sier noe om likhet/ulikhet i bakteriesamfunn mellom prøvepunkter og prøveomganger. Prøveomgangene grupperer seg samla og i hver sin retning for hvert prøvepunkt, hvilket betyr at hvert prøvepunkt har sin unike samfunnsprofil. Juniprøvene skiller seg ut ved å være mest ulik for alle prøvepunkter, dette var ikke uventa, siden dette er første prøverunde og pionerbakterier er forventet å bli utkonkurrert av andre slekter utover i tidsserien.

Råvannsprøven hadde mest lik diversitet, dvs. minst endring i sammensetning av bakterieslekter mellom prøveomganger, dette stemmer overens med resultater fra de andre analysene. Tonstad hadde mest endring i bakteriediversitet mellom prøveomganger. Et spørsmål man kan stille seg er hvorfor det er så stor forskjell mellom Tonstad og Tunga, og om det er noe driftsrelatert som skiller disse nettpunktene.



Figur V12. Variasjon i bakteriediversiteten på slektsnivå innad i prøvepunktene råvann, nettpunkt Tonstad og nettpunkt Tunga over tid (fargede sirkler angir prøverunder) basert på Simpson's Indeks (statistisk diversitetsindeks).

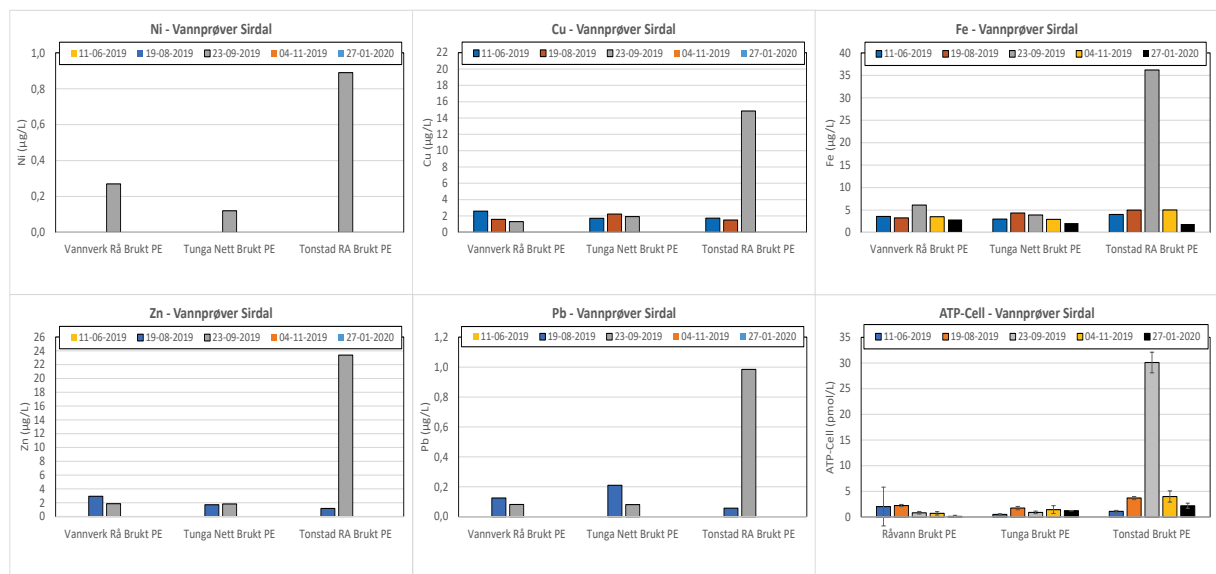


Figur V13. PCoA-plot basert på en Bray-Curtis statistisk analyse som viser endring i bakteriediversitet på slektsnivå mellom prøvepunktene råvann, nettpunkt Tonstad, nettpunkt Tunga (fargede sirkler angir prøvepunkter) for de ulike prøvetidspunktene.

## Sammenligning med andre analyser

Vannprøvene tatt i september 2019 fra Tonstad skiller seg tydelig ut med høyt nivå av tungmetaller (Cu, Ni, Fe, Zn, Pb) og ATP (Figur V14). Samtidig viser resultatene fra bakterieanalysen (16S) en veldig dominans av

bakterieslekten *Shingomonas*, denne er i liten grad til stede i råvannet og Tunga i september-prøven. Det ser ut til å være en link mellom analyseparameterne i Sirdal-prøvene, kan dette ha sammenheng med utlekking fra rørmateriale eller forurensning i vannet?



Figur V14. Forekomst av tungmetaller og ATP i vannprøver fra Sirdal i råvann, nettpunkt Tunga og nettpunkt Tonstad.

## Konklusjon Sirdal

Kartleggingen resulterte i flere interessante funn som beskriver mikrobefunn og utvikling av biofilm i drikkevann over tid på måter som ikke er vist tidligere. Nettpunkt Tonstad skiller seg ut ved å ha dominerende bakterieslekter forbundet med bioremidering og forurensning, spesielt gjelder dette i septemberprøven. Biofilmen i Tonstad har mest variasjon i slektsdiversitet i bakteriesamfunnet fra juni til januar. Resultatene kan tyde på at bakteriesamfunnet i Tonstad er ustabil sammenlignet med råvannet og i Tunga. Det er nærliggende å tro at årsaken til dette kan være ulik nærings-tilgang, men det kan også være fysiokjemiske forhold, eller andre driftsparametere. Resultatene stemmer også overens med ATP- og metallanalysene i de korrelerende vannprøvene, spesielt for septemberprøven, hvor påfallende høye nivåer av ATP og tungmetaller ble påvist.

Kommer vi noe nærmere svar på lukt/smaksproblemer i Tonstad? Resultatene tyder på at det er noe spesielt med Tonstad-punktet, sammenheng mellom kjemisk vannkvalitet og biofilmsamfunn tyder på at det muligens finnes en forurensningskilde her. Resultatene også tyder på at det sannsynligvis ikke er mikrobene selv som forårsaker problemet, men at de heller er en indikator/symptom på at det finnes et problem her. Det ble ikke rapportert lukt/smaksproblemer i tidsserien. En lukttest med 2,4,6-trikloranisol ga heller ikke samsvar med de luktproblemer man hadde i Sirdal, så problemene man hadde skyldtes sannsynligvis ikke denne forbindelsen. Kloranisol-lukten ble beskrevet som jordaktig/læraktig, mens lukten man hadde i Sirdal ble beskrevet som en blanding av katterpiss og diesel.<sup>79)</sup>

79) Klungland, S. M. Sirdal kommune. Personlig meddelelse i E-mail av 13-06-2023.

# TIDLIGERE UTGITTE RAPPORTER

2023	277	Nasjonal strategi for behandling og disponering av avløps slam	2011	187	Kommunal overtakelse av vannverk organisert som andelslag eller samvirkeforetak	
	276	Lange pumpeledninger for avløp på land og i sjø		186	Veiledning i omorganisering av andelsvannverk til samvirkeforetak	
2022	275	Mikroforurensninger og legemidler i avløpsvann	2010	185	Fett i avløpsnett. Kartlegging og tiltaksforslag	
	274	Korrosjonsbeskyttelse - erfaring og ny kunnskap		184	Tilsyn med utslipp fra avløpsanlegg innen kommunens myndighetsområde	
	273	Veileder i samfunnsøkonomiske analyser for vannbransjen		183	Veiledning om regulering av VA-tjenester til næringsmiddelindustri	
	272	Sikker utforming av åpne overvannsløsninger		182	Prøvetaking av avløpsvann og slam	
	271	Åpen fordrøyning - Etablering av anlegg for permanente og midlertidige vannspeil med dybde over 20 cm		181	Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng	
	270	Helsemessig sikker drift av vannledningsnett - prosedyrer og anbefalinger		180	Fjernavlesning av vannmålere	
	269	Risikovurdering av bergsprengte drikkevannsmagasin		179	Veiledning i utarbeidelse av kommunale gebyrskrifter for vann og avløp	
2021	268	PFAS i råvann og drikkevann fra Norge	B16	Veiledning for kartlegging av energibruk i VA-sektoren		
	267	Veiledning for utarbeidelse av kommunale forskrifter på avløpsområdet	B15	Vannforskriftens økonomiske konsekvenser for kommunesektoren og avløpsanleggene		
	266	Vannbransjens erfaringer med kommunesammenslåinger	C7	Forvaltningspraksis ved norsk damsikkerhet		
	265	MEMiNOR: Membranfiltrering for fjerning av Naturlig Organisk Materiale i Nordiske drikkevann	178	Grunnundersøkelser for infiltrasjon - mindre avløpsanlegg		
	264	Alternativ til akkreditert prøvetaking	177	Drikkevannskvalitet og kommende utfordringer - problemoversikt og status		
	263	Trykkoptimalisering på vannledningsnett - beste praksis	176	Statlige gebyrer og avgifter på de kommunale VAR-tjenestene		
	262	Undersøkelser som grunnlag for valg av avløpsløsning	175	Vann og avløp for nye i bransjen - læreplan. E-læring og samlinger		
	261	Omfyllingsmasser	174	Hygienisering av avløps slam. Langtidslagring og enkel rankekompostering. Resultater fra 3 års valideringstesting		
	260	Innovative anskaffelser i vannbransjen	173	Veiledning for bruk av støpejernsrør		
	259	Kommunalt finansieringsbehov i vannbransjen 2021 - 2040	B14	Klimatilpasningstiltak i VA-sektoren - forprosjekt		
2020	258	Rekutteringsbehov i vannbransjen - status og prognoser 2020 - 2050	B13	Silslam - mengder, behandlingsløsninger og bruksområder. Forprosjekt.		
	257	Etablering og drift av mindre avløpsanlegg	172	Trykktap i avløpsnett		
	256	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg	171	Erfaringer med lekkasjekontroll		
	255	Bærekraftig fremmedvannandel - Modell for vurdering av riktig nivå	170	Veileder til god desinfeksjonspraksis		
	254	Forvaltning av nedbørsfelt for overflatevannkilder	169	Optimal desinfeksjonspraksis fase 2		
	B26	Kunnskapsbehov innen overvann og klimatilpasning	168	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg		
	B25	Forprosjekt - Digital Vannstatistikk	167	Veiledning for kjøp av VA-kjemikalier		
	253	Mikroplast i avløpsvann, avløps slam og jord	166	Tiltak for å bedre fosforfjerningen på kjemiske renseanlegg		
	252	Kummer - Klassifisering og tilstandsvurdering	165	Innsamlingsverktøy for vedlikeholdsdata		
	B24	Primærens - Status og renseseffekter 10 år etter	B12	Drikkevatt i media		
2019	C14	Bærekraftig fornyelse av ledningsnett	2009	164	Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann	
	251	Klimagassutslipp, veiledning for vannbransjen		163	Veiledning for innhenting og evaluering av tilbud på analyseoppdrag	
	250	Kommunens roller, rettigheter og fremgangsmåter i private utbyggingsområder		162	Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering	
	249	Veiledning i nød vannforsyning		161	Helsemessig sikkert vannledningsnett	
	B23	Evaluering av Norsk Vanns prosjektsystem		160	Driftserfaringer med membranfiltrering	
	248	Organic Pollutants in Norwegian Wastewater Sludge		159	Håndbok i kildesporing i avløps systemet	
	247	Beste praksis for HMS-arbeid i vannbransjen		158	Termoplastrør i Norge - før og nå	
2018	246	Regulering og organisering av vann- og avløpssektoren i utvalgte europeiske land	B11	Økonomiske forhold i interkommunalt VA-samarbeid - praksis og kjøreregler		
	245	Veiledning for tilstandsvurdering av infiltrasjonssystemer	B10	Vannkilden som hygienisk barriere		
	244	Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsplan for drikkevann	B9	Utvikling av et system for spørreundersøkelser blant VA-kundene		
	243	Verdiforvaltning av vann- og avløpsinfrastruktur	C6	I veien for hverandre - Samordning av rør og kabler i veigrunnen		
	242	Praktiske råd ved valg av ledningsmateriale	2008	157	Organiske miljøgifter i norsk avløps slam. Resultater fra undersøkelsen i 2006/07	
	241	Mapping microplastic in Norwegian drinking water		156	Veiledning for oljeutskilleranlegg	
	240	UV-desinfeksjon av drikkevann		155	Norm for merking og FDV-dokumentasjon i VA-sektoren	
	B22	Vann og avløp i arealplanlegging og byggesaker		154	Norm for tagkoding i VA-anlegg	
	239	Beregning av bærekraftig lekkasjenivå		153	Norm for symboler i driftskontrollsystemer for VA-sektoren	
	238	Informasjonssikkerhet og skybaserte tjenester		152	Veiledning for anskaffelse av driftskontrollsystemer i VA-sektoren	
237	Dataflyt for GIS-informasjon i VA-prosjekter	151		Veiledning for vedlikeholdssystemer (FDV)		
236	Akseptkriterier - Vurdering av nye og nyrenoverte avløpsledninger ved rørinspeksjon	150	Dataflyt - Klassifisering av avløpsledninger			
235	Dataflyt	B8	Forprosjekt energinettverk i VA-sektoren			
		B7	Sandnesmodellen. Eksempel på system for kommunikasjon og virksomhetsstyring			
2017	234	Rørinspeksjon av hovedledninger for vann og avløp	2017	229	Sikring av vannforsyning mot tilsiktede uønskede hendelser	
	233	Veiledning for bruk av betongrør og kummer		228	Tilførsel av industrielt avløpsvann	
	232	Plastrør for vannforsyning og avløp: Hvordan skal vi oppnå minst 100 års levetid?		227	Beregning av forureningsutslipp fra avløpsanlegg	
	231	NOMiNOR: Natural Organic Matter in drinking waters within the Nordic Region		226	Tømming av slam	
	230	NOMiNOR: Naturlig Organisk Materiale i Nordiske drikkevann		225	Trykkavløp i spredtbygd og urbane strøk	
	229	Sikring av vannforsyning mot tilsiktede uønskede hendelser		224	Eierskap til stikkledninger	
	228	Tilførsel av industrielt avløpsvann		2016	223	Finansieringsbehov i vannbransjen 2016 - 2040
	227	Beregning av forureningsutslipp fra avløpsanlegg			222	Dokumentasjon av utslipp fra avløpsnett
	226	Tømming av slam			221	Smart ledningsfornyelse - bruk av NoDig-metoder
	225	Trykkavløp i spredtbygd og urbane strøk			B21	Utvikling av studietilbud i bachelor i vann- og miljøteknikk
224	Eierskap til stikkledninger	B20	Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk			
223	Finansieringsbehov i vannbransjen 2016 - 2040	220	Kritiske ledninger for vann og avløp - klassifisering og tiltaks vurdering			
222	Dokumentasjon av utslipp fra avløpsnett	219	Eksempler på implementering av bærekraft i vannbransjen			
221	Smart ledningsfornyelse - bruk av NoDig-metoder	218	Vann til brannsløkking og sprinkleranlegg			
B21	Utvikling av studietilbud i bachelor i vann- og miljøteknikk	217	Videreutvikling av beregningsmetodikk for gjennanskaffelsesverdi og investeringsbehov			
B20	Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk	215	Tilbakestrømssikring - veiledning til vannverkseiere			
220	Kritiske ledninger for vann og avløp - klassifisering og tiltaks vurdering	2015	214	Forslag til ny sektorlov for vann tjenester		
219	Eksempler på implementering av bærekraft i vannbransjen		213	Sikkerhetsstyring for vannbransjen		
218	Vann til brannsløkking og sprinkleranlegg		212	Veiledning for dimensjonering av vannbehandlingsanlegg		
217	Videreutvikling av beregningsmetodikk for gjennanskaffelsesverdi og investeringsbehov		211	Erfaringer med ozon-biofiltrering for behandling av drikkevann		
215	Tilbakestrømssikring - veiledning til vannverkseiere		210	Veiledning for praktisering av selvkost		
214	Forslag til ny sektorlov for vann tjenester		2014	209	Veiledning i mikrobiell barriere analyse	
213	Sikkerhetsstyring for vannbransjen			208	Sikring av kvalitet på ledningsanlegg	
212	Veiledning for dimensjonering av vannbehandlingsanlegg			207	Stikkledninger - ansvar og teknisk utforming	
211	Erfaringer med ozon-biofiltrering for behandling av drikkevann			206	Biostabilitet i drikkevannnett	
210	Veiledning for praktisering av selvkost			205	Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene	
209	Veiledning i mikrobiell barriere analyse	204		Åpne flomveger i bebygde områder		
208	Sikring av kvalitet på ledningsanlegg	203		Fra driftsassistanser til regionale vannassistanser		
207	Stikkledninger - ansvar og teknisk utforming	202		Microbial barrier analysis (MBA) - a guideline		
206	Biostabilitet i drikkevannnett	201		Anskaffelser i vannbransjen		
205	Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene	200		Håndtering av overvann fra urbane veier		
204	Åpne flomveger i bebygde områder	2013	199	Etablering av gode VA-løsninger i spredt bebyggelse		
203	Fra driftsassistanser til regionale vannassistanser		198	Organiske miljøgifter i norsk avløps slam - Resultater fra undersøkelsen i 2012/13		
202	Microbial barrier analysis (MBA) - a guideline		197	Avløpsanlegg Vurdering av risiko for ytre miljø		
201	Anskaffelser i vannbransjen		196	Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportsystemer		
200	Håndtering av overvann fra urbane veier		195	Sikkerhet og sårbarhet i driftskontrollsystemer for VA-anlegg		
199	Etablering av gode VA-løsninger i spredt bebyggelse		B19	Varmepumper i drikkevannsforsyningssystem		
198	Organiske miljøgifter i norsk avløps slam - Resultater fra undersøkelsen i 2012/13		B18	Kranvannets kokebok for kommunikasjon		
197	Avløpsanlegg Vurdering av risiko for ytre miljø		B17	Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren		
196	Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportsystemer		2012	194	Energiriktig design og prosjektering av avløpsrenseanlegg	
195	Sikkerhet og sårbarhet i driftskontrollsystemer for VA-anlegg			193	Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem	
B19	Varmepumper i drikkevannsforsyningssystem	192		Veiledning for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken		
B18	Kranvannets kokebok for kommunikasjon	191		Rettigheter til uttak av vann til allmenn vannforsyning		
B17	Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren	190		Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer		
194	Energiriktig design og prosjektering av avløpsrenseanlegg	188		Veiledning for drift av koaguleringsanlegg		
193	Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem	C8		Omdømmeplattform og -strategi		
192	Veiledning for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken					
191	Rettigheter til uttak av vann til allmenn vannforsyning					
190	Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer					
188	Veiledning for drift av koaguleringsanlegg					
C8	Omdømmeplattform og -strategi					



Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2321 Hamar  
Tlf: 62 55 30 30 E-post: [post@norsk vann.no](mailto:post@norsk vann.no)  
[www.norsk vann.no](http://www.norsk vann.no)