

Legionella og behandlingsmetoder

Audun Undheim

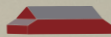
audun@undheimkonsultering.no

07/01/2020

Undheim Konsultering

Organisasjonsnummer: 923 252 800

undheimkonsultering.no


Undheim
Konsultering

Forord

Denne rapporten er utarbeidet av Undheim Konsultering på vegne av Z Energi AS, med hensikt å opplyse og informere om dagens situasjon vedrørende behandling- og bekjempelse av legionella bakterier i drikkevannsystemer. Oppdragsgiver opplever misinformasjon angående bruk av desinfiserende midler i drikkevann, både i forhold til funksjon og relevant regelverk. Derfor var det ønskelig å utarbeide en oversikt som enkelt informerer om hovedtrekkene til forskjellige behandlingsmetoder. Dersom informasjonen i denne rapport fremstår som mangelfull for leseren, er det ønskelig at forfatter kontaktes på audun@undheimkonsultering.no for oppdatering av rapport.

Innholdsfortegnelse

FORORD.....	2
1. INTRODUKSJON.....	4
2. LEGIONELLA.....	4
2.1. BIOFILM	5
3. DAGENS LOVVERK	7
3.1. BYGGTEKNISK FORSKRIFT (TEK17)	7
3.2. FORSKRIFT OM MILJØRETTET HELSEVERN	8
3.3. DRIKKEVANNSFORSKRIFTEN	9
3.4. BIOCIDFORSKRIFTEN	9
3.4.1. Overgangsbestemmelser for biocidprodukter.	10
3.4.2. In situ-genererte stoffer.....	10
4. BEHANDLINGSMETODER.....	11
4.1. VARMEBEHANDLING	11
4.2. FRITT KLOR	12
4.2.1. Neuthox.....	14
4.3. ANODISK OKSIDASJON	15
4.4. KLORDIOKSID	16
4.5. MONOKLORAMIN	17
4.6. OZON	18
4.7. SØLV OG KOBBERIONER.....	19
4.8. HYDROGENPEROKSID	21
4.9. ELEKTROMAGNETISME.....	22
4.10. ULTRAFIOLETT BESTRÅLING (UV-BESTRÅLING).....	23
4.11. ULTRAFILTRERING.....	24
4.12. ULTRALYD	24
5. SAMMENLIGNING AV BEHANDLINGSMETODER.....	25

1. Introduksjon

Drikkevannet i Norge blir vanligvis omfattende behandlet i kommunale renseanlegg for å hindre bakterier, partikler, og kjemikalier i å komme ut i rørnettet. Flere steder er rørnettet noenlunde utdatert, som beskrevet i NRK (Henrik Østensen Heldahl & Beth Mørch Pettersen, 2019; Iselin Elise Fjeld & Milana Knežević, 2019). Sprukket og gammelt rørnett kan i noen tilfeller tillate bakterier å innta vannstrømmen mellom renseanlegg og sluttbruker.

Legionella er en bakterie som naturlig finnes i vann, og utgjør ikke nødvendigvis en fare i seg selv i små doser. Noen drikkevannsanlegg er derimot mer utsatt for oppblomstring og begroing av legionella og biofilm enn andre, og er nødt til å benytte seg av forskjellige vannbehandlingsmetoder. Hva som er beste løsning på problemet varierer fra hvert anlegg, avhengig av flere faktorer som utforming, temperatur og vannkvalitet. I denne rapporten skal vi gå nærmere inn på noen behandlingsmetoder som er aktuelle i dag, hvilke fordeler og ulemper hver av de har, før vi til slutt foretar en sammenligning av denne informasjonen.

Denne rapporten er delvis basert på Forebygging av legionellasmitte - en veiledning av Jens Erik Pettersen (2015) og Kartlegging av Legionellasikringssystemer av Borge (2018). Hensikten med rapporten er å bringe frem oppdatert informasjon som bygger videre på tidligere kunnskap, derfor vil det finnes flere likheter med overnevnte dokumenter.

2. Legionella

Legionella er betegnelsen på over 50 forskjellige arter av legionella bakterier som forekommer naturlig i vann og jordsmonn. Av disse er det stort sett arten *Legionella pneumophila* som fører til legionellose gjennom inhalering av aerosoler fra kontaminert vann. Legionellose blir brukt som det generelle navnet for å beskrive slike bakterielle infeksjoner, og kan variere i alvorlighetsgrad fra en mild febersykdom (Pontiac feber) til en alvorlig lungesykdom (Legionærsykdom) (World Health Organization, 2018). Pontiac feber er en mild sykdom med influensa lignende symptomer, og går vanligvis over etter 1-3 dager med antibiotika behandling. Legionærsykdom er en alvorlig lungesykdom som kan ha en dødelighet på opptil 80% hos utsatte grupper uten behandling, men kan reduseres til 5 – 30% med korrekt behandling. Helhetlig sett har sykdommen vanligvis en dødelighet på 5 – 10% (World Health Organization,

2018). Legionella bakteriene formerer seg ved 20 – 50°C (World Health Organization, 2018), og kan derfor hurtig etablere seg i stillestående varmt- og kaldtvannskretser der temperaturer i perioder forblir i denne tempererte sonen. Et typisk problem i dag er varmesmitte fra varmtvannskretser, spesielt der en har basert vannsystemet på varmebehandling som legionellatiltak. Høye temperaturer i varmtvannskretser vil hurtig kunne smitte varmeenergi over på kaldtvannskretsen, og dermed flytte legionellaproblemet istedenfor å hindre det. Varmesmitte og legionella er et problem det allerede i 2012 ble advart om i Teknisk Ukeblad (Drevon, 2012).

2.1. Biofilm

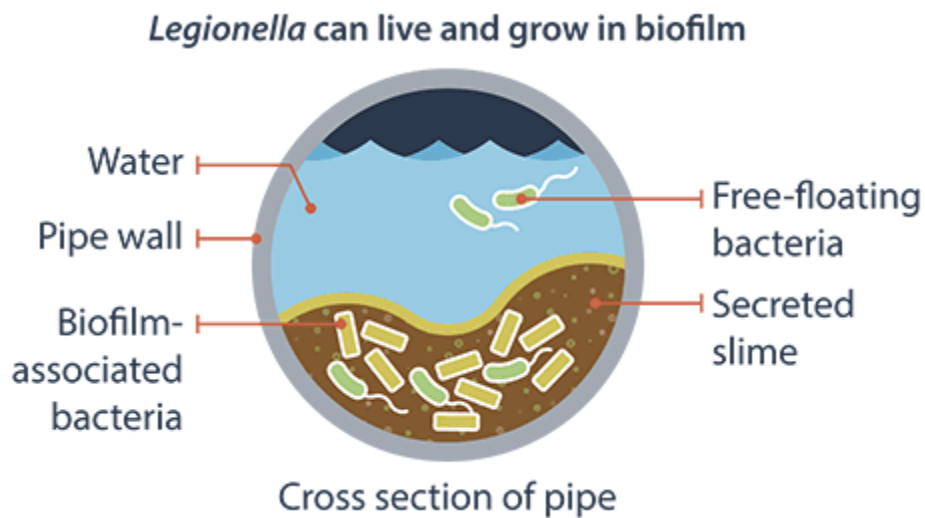
I motsetning til vanlig oppfatning flyter ikke de fleste bakterier fritt rundt, derimot lever de i et selvdrevet samfunn som ser ut som et slimlag i vannrør, se figur 1. En slik biofilm forekommer når et samfunn mikroorganismer knytter seg sammen og lever i en tilværelse som i stor grad beskytter de fra eksterne påvirkninger (Hans-Curt Flemming et al., 2016, s. 571). Blant flere typer mikroorganismer, kan biofilmer også inneholde sykdomsfremkallende bakterier som legionella.



Figur 1 biofilm i rør før og etter behandling med Neuthox (Hagbard Clausen, personlig kommunikasjon, 3. januar 2020)

Mikroorganismer tiltrekkes i utgangspunktet røroverflater av flere grunner, de kan bli tiltrukket av ladning, gravitasjon eller vannstrømmer. Det er bevis på at dannelse av biofilm er mye mer komplisert enn en tilfeldig fysisk kraft. Flere overflater tiltrekker også konsentrerte næringsstoffer som mange bakterier har en evne til å oppdage og følge.

Noen mikroorganismer produserer polysakkarider, som er store karbohydratmolekyler som består av kjeder av enkle sukkerarter. Disse polysakkarider fungerer som et slimlag og gir mikroorganismer et godt fotfeste for å lime andre til overflaten, dette er de primære kolonisatorene. Det ytre slimet gir deretter en hjelpende hånd til andre forbigående bakterier som tilfører et nytt nivå av innbyggere kalt sekundære kolonisatorer som lever av avfallet produsert av de primære kolonisatorene. I løpet av kort tid blir det etablert et blomstrende komplekst mikrobielt samfunn inne i polysakkaridslimen, og dette kalles biofilmen, som illustrert i figur 2 (Hagbard Clausen, personlig kommunikasjon, 3. januar 2020).



Figur 2 forenklet illustrasjon av biofilm i vannrør. (Hagbard Clausen, personlig kommunikasjon, 3. januar 2020)

3. Dagens lovverk

Lovverket i dag stiller stort sett krav til forebygging av legionella, men beskriver ikke hvordan dette skal gjøres annet enn noen generelle retningslinjer. Det foreligger derimot restriksjoner til hva som er tillatt å tilsette drikkevann, og i hvilken kvantitet. Alle vannbehandlingskemikalier skal godkjennes av Mattilsynet i samsvar med biocidforskriften, og alle biocidprodukter som brukes til desinfisering av drikkevann i Norge må også følge biocidforskriften. Når et aktivt stoff er godkjent på EU-nivå og står på artikkel 95 listen, må det søkes godkjenning for alle produkter som inneholder dette aktive stoffet, i hvert land individuelt. Godkjenningene gitt av Mattilsynet under drikkevannsforskriften vil gradvis fases ut når godkjenning etter biocidforskriften gis. (Miljødirektoratet, personlig kommunikasjon, 18. desember 2019).

3.1. Byggteknisk forskrift (TEK17)

Legionella blir ikke beskrevet som et eget punkt, men det stilles krav i TEK17 §15-5 til utforming av anlegg om forebyggelse av bakterievekst.

§ 15-5. Innvendig vanninstallasjon

(1) Installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at god helse ivaretas ved at

- a) det velges produkter som ikke avgir stoffer som kan forringe kvaliteten på drikkevannet eller medføre helsefare*
- b) bakterievekst forebygges*
- c) vanntemperatur ikke kan forårsake forbrenningsskade*
- d) installasjonen er sikret mot tilbakestrømning og inntrengning av urene væsker, stoffer eller gasser og mot tilbakesug og tilførsel av vann fra annen vannkilde.*

3.2. Forskrift om miljørettet helsevern

Forskriften stiller krav til forebyggelse av legionella i tekniske innretninger, spesielt da med tanke på temperatur og rutiner, men det nevnes ikke noen konkrete krav til hvordan dette skal gjøres.

Virksomheter som nevnt i § 11a skal planlegges, bygges, tilrettelegges, drives og avvikles slik at hele innretningen, alle tilhørende prosesser, og direkte og indirekte virkninger av disse, gir tilfredsstillende beskyttelse mot spredning av Legionella via aerosol. (Forskrift om miljørettet helsevern, §11b)

Innretningene skal etterses regelmessig, og det skal på grunnlag av en risikovurdering fastsettes rutiner som sikrer at drift og vedlikehold gir tilfredsstillende vern mot Legionella. (Forskrift om miljørettet helsevern, §11b)

Risiko for smitte av legionellose er i hovedsak knyttet til tekniske innretninger med vann med temperaturer som kan stimulere vekst av legionellabakterier og spre dem til omgivelsene. De viktigste risikofaktorer for legionellavekst er vannets temperatur og bakterienes tilgang til næringsstoffer (biofilm, bunnfall, slamansamlinger mv.). Bakteriene kan spres til omgivelsene via aerosoler som kan pustes inn i lungene. Antall personer som kan bli smittet, vil avhenge av innretningens lokalisering og spredningspotensial. (Forskrift om miljørettet helsevern, merknad til §11a)

Bestemmelsen slår fast at innretninger skal planlegges, bygges, tilrettelegges, drives og avvikles på en slik måte at den gir tilfredsstillende beskyttelse mot vekst og spredning av Legionella via aerosol. (Forskrift om miljørettet helsevern, merknad til §11b)

For å finne spesifiserte krav til drift og vedlikehold av de ulike innretningene må en se hen til relevant veiledning, for eksempeldriftsinstruks fra leverandør og veileder om forebygging av legionellasmitte fra Nasjonalt folkehelseinstitutt. (Forskrift om miljørettet helsevern, merknad til §11b)

Ved etablering av en innretning skal det tilrettelegges for at temperaturer kan registreres og vannprøver kan tas fra aktuelle steder i anlegget. Det skal foretas en risikovurdering av innretningen som grunnlag for å utarbeide rutiner som sikrer tilfredsstillende beskyttelse mot Legionella. (Forskrift om miljørettet helsevern, merknad til §11b)

3.3. Drikkevannsforskriften

Formålet med forskriften er å beskytte menneskers helse ved å stille krav om sikker levering av tilstrekkelige mengder helsemessig trygt drikkevann som er klart og uten fremtredende lukt, smak og farge. I §14 stilles det krav til bruk av vannbehandlingskjemikalier, som skal være godkjent av Mattilsynet og være i henhold til biocidforskriften. Disse godkjenningene vil gradvis fases ut etter godkjenning fra biocidforskriften blir gitt, ettersom denne ordningen henger igjen fra tiden før biocidforskriften (Miljødirektoratet, personlig kommunikasjon, 18. desember 2019). Slik det er i dag følger listen til Mattilsynet drikkevannsforskriften, og er derfor er tillegg til biocidforskriften i overgangsperioden. Dette betyr at alle produkter som skal brukes til drikkevannsdessinfisering i dag er nødt til å stå på [denne](#) listen, og tillatelse under overgangsordningen til Miljødirektoratet alene ikke er tilstrekkelig (Miljødirektoratet, personlig kommunikasjon, 07. januar 2020).

Vannverkseieren og eieren av internt fordelingsnett skal sikre at det bare benyttes vannbehandlingskjemikalier som er godkjent av Mattilsynet. Liste over godkjente vannbehandlingskjemikalier finnes på Mattilsynets internettsider.

Produsenter og importører skal søke Mattilsynet om godkjenning av vannbehandlingskjemikalier. Søknaden skal minst inneholde den dokumentasjonen som er beskrevet i vedlegg 3. Vannbehandlingskjemikalier kan bare godkjennes dersom bruken ikke medfører helsefarlige mengder stoffer i drikkevannet.

Desinfeksjonsmidler skal godkjennes i samsvar med biocidforskriften. Mattilsynet kan trekke tilbake godkjenningen dersom ny informasjon tilsier det. (Drikkevannsforskriften, §14)

3.4. Biocidforskriften

Biocider reguleres gjennom EUs biocidforordning (528/2012), som er innført i Norge gjennom biocidforskriften, og forvaltes av Miljødirektoratet. Dette betyr at biocidprodukter på det norske markedet reguleres på samme måte som i resten av EU. Dersom et aktivt stoff er godkjent under biocidforordningen i EU, er det også godkjent i Norge. Når et aktivt stoff er godkjent på EU-nivå (artikkel 95 listen), må det søkes godkjenning for alle produkter som inneholder dette aktive stoffet. Produktene må deretter godkjennes i hvert land individuelt, med mindre produktet ble godtatt gjennom en unionsgodkjenning, da godkjennes det i hele EU/EØS. Det er dermed ikke

gitt at et biocidprodukt som er godkjent i EU også er godkjent i Norge, selv om det aktive stoffet er godkjent. Status på aktive stoffer kan en søke opp hos [European Chemicals Agency \(ECHA\)](https://echa.europa.eu/). Produktene i Mattilsynets liste kan også være tillatt under overgangsordningen for biocider, og vil dermed ikke dukke opp i Miljødirektoratets liste over godkjente biocidprodukter.

Biocidprodukter er tillatt på det norske markedet dersom:

- Det er godkjent av Miljødirektoratet, etter at søknad er sendt inn og vurdert etter kravene i biocidforordningen.
- Eller biocidproduktet kan være på markedet i henhold til overgangsordningene (jf. Art. 89 i biocidforordningen).

(Miljødirektoratet, personlig kommunikasjon, 18. desember 2019)

3.4.1. Overgangsbestemmelser for biocidprodukter.

Gjennom biocidforordningen foreligger det overgangsbestemmelser som tillater biocidprodukter å være på markedet før søknad om godkjenning er ferdig vurdert, dersom de har aktive stoff i stoffvurderingsprogrammet som innfrir kravene. Generelt varer overgangsbestemmelsene frem til produktet er ferdig vurdert og godkjent av Miljødirektoratet i henhold til kravene i biocidforordningen. Når aktivt stoff er godkjent må det leveres en produktsøknad for å fortsatt kunne være på markedet under overgangsbestemmelsene. Søknadsfristen for produktet vil være lik den formelle startdatoen for stoffgodkjenning som settes når et aktivt stoff godkjennes. Det kan leses mer om disse bestemmelsene på [Miljødirektoratets nettsted](https://miljodirektoratet.no/) (Miljødirektoratet, personlig kommunikasjon, 07. januar 2020).

3.4.2. In situ-genererte stoffer

Vedrørende spørsmål angående dette regelverket og anodisk oksidasjon, bekreftet Miljødirektoratet (personlig kommunikasjon, 7. mars 2019) i epost hvordan aktive stoffer og produkter må godkjennes, selv om de er generert fra produkter som i seg selv ikke kan godkjennes.

Som nevnt i tidligere epost, stilles det krav også til godkjenning av aktive stoffer som produseres på stedet der de benyttes, såkalte in situ-genererte stoffer. De aktuelle vanndesinfeksjonssystemene du refererer til kommer inn her. Det "aktive stoffet" blir for in situ-genererte stoffer definert på basis av utgangsstoff (precursor), stoff som genereres og, dersom aktuelt, også selve genereringsmetoden. Eksempelvis: "Active chlorine generated from sodium chloride by electrolysis».

Biocidproduktet som siden skal godkjennes vil være:

- *stoff(ene) eller stoffblandinger som genererer det aktive stoffet, eller*
- *det aktive stoffet som genereres fra stoff eller stoffblandinger som ikke selv kan godkjennes som biocidprodukter (for eksempel ozon generert fra luft eller aktivt klor generert fra sjøvann).*

4. Behandlingsmetoder

Det finnes en rekke metoder en kan benytte for å redusere levevilkårene til bakterier i drikkevannsystemer, hva som er mest hensiktsmessig vil være avhengig av hvilke utfordringer hvert anlegg møter. I dette kapittelet vil vi se nærmere på noen av behandlingsmetodene som er eller kan være aktuelle i Norge. Utgangspunktet for de valgte metodene er tatt fra veilederen av Jens Erik Pettersen (2015), Kartlegging av legionellasikringssystemer av Borge (2018), samt Mattilsynets liste over godkjente produkter. Det finnes naturligvis flere behandlingsmetoder en kan bruke, men ettersom hensikten med denne rapporten er å gi en enkel oversikt for å raskt velge nødvendig behandling eller produkt lettere, blir ikke nødvendigvis alle som eksisterer undersøkt.

4.1. Varmebehandling

Som nevnt i Kartlegging av legionellasikringssystemer av Borge (2018), er varmebehandling den vanligste metoden for bekjempning av legionellavekst i vannsystemer i Norge. Sirkulerende vann med retur temperaturer over 55 °C vil teoretisk sett holde konsentrasjonen av legionellabakterien lav. Kombinert med sjokkspyling til 70 °C i fem minutter anses dette å gi god beskyttelse. Derimot finnes det flere eksempler på oppblomstring av legionella i slike anlegg

kort tid etter spyling med hetvann har funnet sted. Dette skyldes blant annet biofilmen på innsiden av varmtvannstanker og rørnett, som ikke blir fjernet av varmtvann alene.

Fordeler

- Må ikke tilsette noen kjemikalier
- Krever ikke ekstra utstyr

Ulemper

- Fjerner ikke biofilm
- Lite energieffektivt
- Fare for skolding
- Ingen sikring på kaldtvannskurs
- Krever gode driftsrutiner for gjennomføring og styring (sjokkoppvarming med spyling)
- Krever overvåkning og medfører ekstra driftskostnader
- Krever korrekt utformet anlegg med få blindsoner for å være effektivt.

4.2. Fritt klor

Hypoklorsyre ($HOCl$) har blitt brukt til behandling av legionella i lang tid, og kan fremstilles på flere måter, som i vist i tabell 1. Allerede i 1988 ble det undersøkt alternative behandlinger (E. L. Domingue, R. L. Tyndall, W. R. Mayberry & O. C. Pancorbo, 1988). Hypoklorsyre fjerner effektivt biofilm (Chun-Ju Chen, Chun-Cheng Chen & Shinn-Jyh Ding, 2016, s. 10), og har et bredt spektrum bakteriedrepende egenskaper. Noe av det som gjør hypoklorsyre effektivt er hvordan stoffet blant annet hindrer vekst, celledeling og protein syntese, ødelegger DNA og reduserer DNA syntese (Md. Habibur Rahman, Johny Bajgai, Ailyn Fadriqela, Ailyn Fadriqela & Lee, 2019, s. 46, 52). Sammenlignet med alternativer som hydrogen peroksid og natriumhypokloritt har hypoklorsyre vist seg å ha en fordel med å være effektiv mot

mikroorganismer i konsentrasjoner som er ikke-irriterende, og mindre giftig til pattedyrceller (Müjde Eryılmaz & İsmail Murat Palabıyık, 2013, s. 123 - 124).

Tabell 1 kjemisk fremstilling av hypoklorsyre.

Hydrolyse av klorgass $Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + H^+ + Cl^-$
Elektrolyse av salt-løsning (Neuthox) $NaCl + H_2O \rightarrow Na^+ + Cl^- + H_2O \text{ (I)}$ $2Cl^- + 2e^- \rightarrow Cl_2 \text{ (II)}$ $Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + H^+ + Cl^- \text{ (III)}$
Surgjøring av hypokloritt (NaOCl eller CaOCl) $Na^+ OCl^- + H^+ Cl^- \rightarrow HOCl + NaCl$
Hydrolyse av anhydrat eller dihydrat natrium dikloroisocyanurate $NaC_3HCl_2N_3O_3 + 2H_2O \rightarrow NaC_3H_3N_3O_3 + 2HOCl$

Fordeler

- Trygt for mennesker
- Fjerner effektivt biofilm
- Ingen håndtering av farlige kjemikalier
- Tillater bruk av lave temperaturer (< 55°C)
- Relativt lett å installere utstyr og å kontrollere
- Kan som regel tilpasses eksisterende systemer
- Relativt lite påvirket av turbiditet i vannet
- Effekten øker med økende temperatur (opptil 60 °C)

- Virkningen vedvarer i en viss tid
- Enkelt å måle i rørsystemer

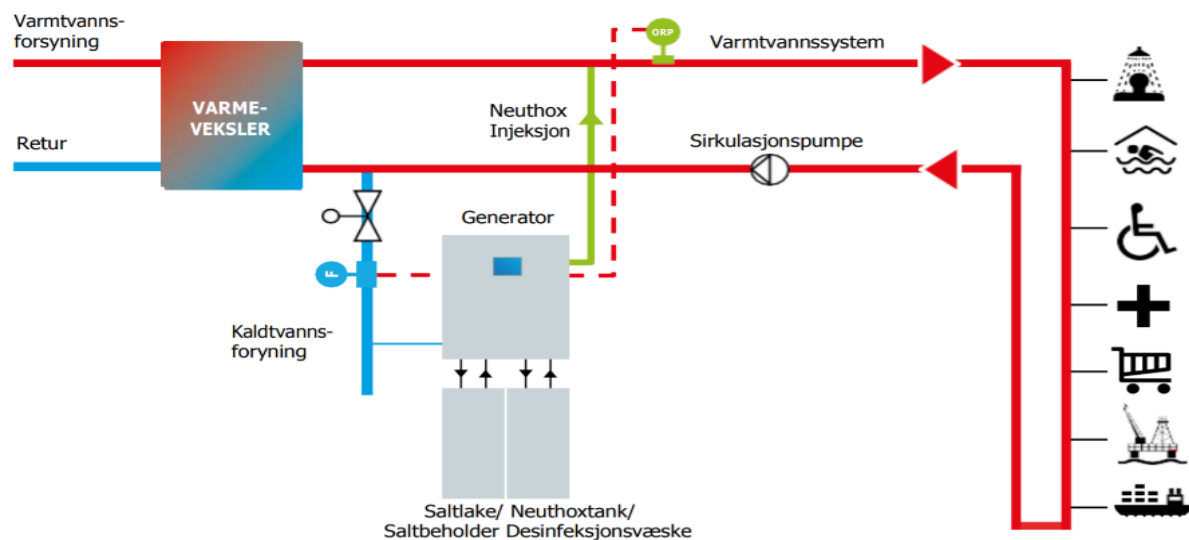
Ulemper

- Kostbart å etablere
- Kan virke korrosjonsfremmende
- Effekten kan bli redusert ved høye temperaturer (over 60°C)

4.2.1. Neuthox

Desinfiseringsproduktet Neuthox som markedsføres av Z Energi AS i Norge, blir produsert gjennom elektrolyse av salt-løsning. Neuthox systemet måler vannkvaliteten og doserer automatisk i både varmt- og kaldtvanns kretsene for å sikre en jevn strøm av desinfiserende væske, som illustrert i figur 3. Ved å kun måtte tilsette salt sporadisk i en 30 liter beholder for å opprettholde elektrolyse reaksjonen, er dette et billig og trygt alternativ. En stor fordel ved bruk av Neuthox er hvordan det kan bidra til å energi effektivisere hele vannsystemet ved trygt å kunne senke varmtvannstemperaturen til 55°C. Gjennom en slik reduksjon vil en standard varmepumpe kunne levere hele varme og tappevannsbehovet, som da fjerner store elektriske spisslaster og behovet for kostbar regulerbar kraft, og en får også en akseptabel COP. Energitalpet til systemet vil også typisk reduseres med 20 – 50%, samt spillvarme tillates utnyttet på en helt ny måte.

- Enkel og billig sjokkdosering
- Alarm ved avvik
- Kan integreres med SD anlegg
- Leverandør er artikkel 95 godkjent
- Billig i drift
- Enkel installasjon på eksisterende anlegg



Figur 3 illustrasjon av Neuthox system på varmtvannskrets

4.3. Anodisk oksidasjon

Anodisk oksidasjon er en betegnelse på elektrolyse, hovedforskjellen fra fritt klor er at noen produkter blir markedsført under denne betegnelsen og fører alt vannet gjennom en elektrokjemisk celle som vil reagere med mineraler naturlig løst i vannet. Det vil blant annet bli dannet frie oksygen radikaler, og natriumklorid vil danne hypoklorsyre ved samme reaksjon som nevnt for fritt klor. Mengden klorforbindelser som dannes er avhengig av vannets saltinnhold. Ved lavt saltinnhold, som ofte er tilfelle, kan det være nødvendig å tilsette vannet salt for å oppnå en slik effekt (Borge, 2018).

Fordeler

- Samme som fritt klor

Ulemper

- Samme som fritt klor
- Oksygenradikaler mister raskt effekt

- Redusert effekt inn i anlegget
- Kan kreve kombinerings med andre metoder avhengig av saltinnholdet i vannet for å få effekt nedstrøms i anlegg.

4.4. Klordioksid

Klordioksid (ClO_2) er en svært reaktiv og giftig gass som må produseres lokalt ettersom det brytes raskt ned. Det vil kunne finnes rester av klorgass, kloritt og klorat i blandingen, avhengig av produksjonsmetoden. Bruk av klordioksid har vært vellykket mht. kontroll av bakterier, både i kaldt og varmtvannssystemer. Erfaringsmessig vil det kunne ta tid, gjerne $\frac{1}{2}$ – 2 år, før man oppnår full effekt i et infisert system. Klordioksid kan også benyttes til sjokkdosering ved engangstiltak for å fjerne mye biofilm eller redusere legionellanivået (Jens Erik Pettersen, 2015, s. 51). Det foreligger derimot bekymringer ovenfor sikkerheten ved bruk av klordioksid, ettersom gassen er sterkt oksiderende og kan forårsake øyeskader, korrodere hud og ved inhalering være dødelig (ERCO Worldwide, 2018).

Tabell 2 kjemisk fremstilling av klordioksid.

Surgjøring av klorittløsning $NaClO_2 + HCl \rightarrow ClO_2 + NaCl + H_2O$
Klorbehandling av klorittløsninger $NaClO_2 + Cl_2 \rightarrow ClO_2 + NaCl$

Fordeler

- Relativt enkelt å installere og overvåke dosering
- Effekten er uavhengig av pH
- Bidrar til å fjerne biofilm
- Produserer ikke klororganiske biprodukter

- Virker over tid

Ulemper

- Giftig for mennesker
- Kostbart i drift
- Kostbart å etablere
- Strengt krav til sikkerhet og lagring
- Kan produsere andre helseskadelige klor forbindelser

4.5. Monokloramin

Monokloramin (NH_2Cl) fremstilles som oftest gjennom en reaksjon mellom ammoniakk og natriumhypokloritt, eller ammoniakk og klorgass som vist i tabell 3. Erfaringene ved bruk av monokloramin i Norge er begrensede, men internasjonale studier påviser en god biofilm penetrerende effekt (Woo Hyoung Lee, David G. Wahman, Paul L. Bishop & Jonathan G. Pressman, 2011, s. 3386), samt bekymringer for hevede blynivå i vann (Jay A. Switzer, Vishnu V. Rajasekharan, Sansanee Boonsalee, Elizabeth A. Kulp & Eric W. Bohannon, 2006, s. 3386). Det har også blitt funnet hvordan monokloramin produserer færre klororganiske biprodukter enn andre klorbaserte biocider, men samtidig vist å kunne produserer en høyere konsentrasjon joderte desinfeksjons biprodukter og N-nitrosodimetylaminer. Begge disse stoffene har vist seg å være svært giftige for gener og kreftfremkallende hos mennesker (Susan D. Richardson, Michael J. Plewa, Elizabeth D. Wagner, Rita Schoeny & David M. DeMarini, 2007).

Tabell 3 kjemisk fremstilling av monokloramin.

Reaksjon mellom ammoniakk og natriumhypokloritt $NH_3 + NaOCl \rightarrow NH_2Cl + NaOH$
Reaksjon mellom ammoniakk og klorgass $2NH_3 + Cl_2 \rightleftharpoons NH_2Cl + NH_4Cl$

Fordeler

- Fjerner biofilm
- Liten dannelse av halogenerte desinfeksjonsbiprodukter

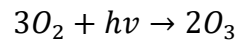
Ulemper

- Kan øke blynivå i drikkevann
- Kan danne svært giftige biprodukter
- Mindre effektivt enn fritt klor
- Lite erfaringer i Norge

4.6. Ozon

Ozon (O_3) blir ofte fremstilt lokalt enten ved bruk av elektrisitet eller UV stråler til å spalte oksygen gass, som vist i tabell 4. Ozon er sterkt oksiderende og kan føre til respiratoriske skader hos dyr og skade på cellevev hos planter. Dette gjør gassen til en forurensing på bakkenivå, selv om den er nyttig i den øvre atmosfæren for å hindre UV stråler i å nå jordoverflaten. Ved tilsetning i vann vil ozon fungere som et biocid og deaktivere mulige bakterier. Ettersom gassen er svært reaktiv, er virkningen relativt kortvarig og vil avta raskt nedstrøms for tilsetningspunktet.

Tabell 4 oksygen UV reaksjon.

Ozon produsert fra oksygen ved UV stråler

Fordeler

- Relativt enkelt å installere utstyr og å overvåke dosering
- Et meget kraftig oksidasjonsmiddel og effektivt desinfeksjonsmiddel
- Er relativt uavhengig av temperatur og pH verdi

Ulemper

- Farlig for mennesker
- Relativt kort varighet
- Fjerner biofilm kun nært inntak
- Avtar raskt nedstrøms tilsetningspunktet
- Fordi ufullstendig ozonering gjør organisk materiale mer egnet som næring for mikroorganismer, øker faren for begroing/og beleggdannelse
- Kan virke korroderende
- Det stilles strenge sikkerhetskrav til fremstillingen fordi det er en helse og eksplosjonsfarlig gass

4.7. Sølv og kobberioner

Kobber og sølv er velkjent som bakteriehemmende stoffer, og blir i dag tilsatt flere produkter for å drepe bakterier. Dette inkluderer også bruk i drikkevann for å bekjempe blant annet legionella, der den bakteriehemmende effekten er svært effektiv. Kobber og sølvioner har derimot blitt påvist å bli absorbert av biofilmen i vannsystemer uten å føre til noen merkbar reduksjon i vekst. I den samme studien blir det også antatt hvordan høyere konsentrasjoner sølv vil kunne overstige

biofilmens absorpsjons kapasitet og deretter kunne hindre videre utvikling (Nadia Silvestry-Rodriguez, Kelly R. Bright, Donald C. Slack, Donald R. Uhlmann & Charles P. Gerba, 2007, s. 1640).

I senere tid har det derimot blitt uttrykt bekymring ovenfor bruk av sølv ettersom det i flere studier er påvist sølv resistente bakterier. Dette skyldes hvordan overdrevent bruk kan føre til resistens hos andre biocid resistente bakterier, som potensielt kan ødelegge for medisinske behandlinger avhengige av sølv i dag (Simon Silver, 2003). Ettersom sølv ionene ikke blir brutt ned vil de følge vannstrømmen ut av anlegget, og potensielt ut i havet dersom det ikke blir fjernet i et renseanlegg. Dette kan negativt påvirke plankton (Christina Bock et al., 2019) og akkumuleres i andre arter hvor nanopartikler av sølv kan føre til blant annet skade på DNA og forstyrre metabolismen (Su-juan Yu , Yong-guang Yin & Jing-fu Liu, 2013).

Fordeler

- Relativt enkel å anvende/installere i eksisterende anlegg
- Påvirkes ikke av temperaturen
- Danner ikke biprodukter

Ulemper

- Fjerner ikke biofilm
- Kan føre til resistente bakterier
- Anlegget må styres slik at Mattilsynets vilkår for godkjenning og drikkevannsforskriftens krav til kobber ikke overskrides. Større konsentrasjonssvingninger kan oppstå dersom ikke kontrollen er automatisert.
- Hardt vann kan medføre kalkavleiringer på elektrodene slik at det blir vanskelig å opprettholde tilstrekkelig høye konsentrasjoner. Kalkavleiringer og mengden oppløste salter må derfor kontrolleres nøye slik at effektive ionenivåer opprettholdes i hele anlegget. Dette kan gjøre at også annen vannbehandling må benyttes i tillegg.

- Teknikken passer ikke for systemer som benytter sink til katodisk beskyttelse av anlegg, fordi dette metallet deaktiverer sølvionene.
- Høy pH-verdi på vannet hindrer reaktiviteten til kobberionene.
- Høye konsentrasjoner av oppløste salter kan gi utfelling av sølvioner.
- Mulig fremtidig resistens mot disse ionene for bakteriene.
- Sølv- og kobberioner er miljøgifter, og store mengder slike ioner i avløpsvannet vil kunne hindre bruk av kloakkslammet i landbruket. Bruk av metoden bør derfor begrenses til interne ledningsnett i risikokategori 1 og der forekomst av Legionella er et problem (Jens Erik Pettersen, 2015, s. 54).

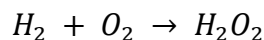
4.8. Hydrogenperoksid

Hydrogenperoksid ($HOOH$) dannes ved reduksjon av et antrakinon ($C_{14}H_8O_2$), den forenklete totalreaksjonen vises i tabell 5. I en studie fra 2000 ble det påvist tilsvarende resultater ved bruk av hydrogenperoksid til fjerning av biofilm som ved monokloramin (Cochran W. L., McFeters G. A. & Stewart P. S., 2001, s. 26). Teoretisk sett skal det ikke være andre biprodukter fra hydrogenperoksid enn vann og oksygen, men et problem som har dukket opp er halveringstiden til stoffet. I en studie fra 2014 ble halveringstiden til hydrogenperoksid å være 28 dager i havvann (M.C. Lyons, D.K.H. Wong & F.H. Page, 2014, s. 14).

I to artikler fra NRK ble det beskrevet hvordan hydrogenperoksid kan ha store konsekvenser for liv i hav (Kjartan Trana & Nareas Sae-Khow, 2018, 2019). Det fremkommer også i sikkerhetsdatabladet til hydrogenperoksid hvordan stoffet er skadelig dersom drukket eller inhalert av mennesker, og kan føre til skader på luftrør, hud og øyner, samt giftig for liv i vann (International Programme on Chemical Safety, 2018).

Tabell 5 forenklet antrakinon-katalysert reaksjon for dannelse av hydrogenperoksid.

Forenklet antrakinon- katalysert reaksjon:



Som beskrevet av Jens Erik Pettersen (2015) blir sølv ioner ofte brukt som stabilisator, selv om det er lavere mengder enn ved bruk av kobber og sølvioner til desinfeksjon. Derfor må de samme potensielle konsekvensene ved bruk av kobber og sølv også vurderes her.

Fordeler

- Fjerner biofilm
- Ingen andre biprodukter enn oksygen og vann
- Langvarig virkning

Ulemper

- Farlig for mennesker
- Lang halveringstid
- Giftig for liv i vann
- Samme som sølvioner

4.9. Elektromagnetisme

Et magnetisk felt med varierende frekvens mellom 600 – 9000 Hz omdanner mineral- partikler i vannet til krystaller som ikke fester seg på røret, men heller sliper bort eksisterende avleiringer. I et prosjekt med IRIS (NORCE) som undersøkte effekten av elektromagnetisme i et lite system, ble det etter observasjon i et år funnet en trend mot reduksjon av Legionella. Disse nivåene var derimot fortsatt innenfor tidligere observerte sesongvariasjoner (Anne Vatland Krøvel & Kjell Rangnes, 2016).

Fordeler

- Fjerner muligens biofilm og korrosjon i små systemer
- Ingen tilsats av kjemikalier
- Trygg for mennesker
- Relativt enkelt å installere

Ulemper

- Krever mer testing for å påvise effekt
- Dårlig virkning i større installasjoner

4.10. Ultrafiolett bestråling (UV-bestråling)

Desinfisering ved UV bestråling fungerer ved at vannet blir gjennomlyst med UV som danner tymindimerer i arvestoffet som hemmer videre formering. Partikler i vannet vil kunne skjule bakterier fra UV strålene, og bør derfor kombineres med mekanisk filtrering for best mulig effekt.

Fordeler

- Relativt enkelt å installere
- Påvirker ikke vannkvaliteten og danner ikke biprodukter

Ulemper

- Fjerner ikke biofilm
- Ingen resteffekt som kan hindre legionellavekst nedstrøms
- Bør kombineres med filtrering
- Relativt kostbar drift

4.11. Ultrafiltrering

Ultrafiltrering fungerer ved at vannet filtreres gjennom finporete membraner mindre enn 0,03 µm, som hindrer partikler og bakterier i å følge strømmen videre. Det er derfor ikke nødvendig med tilførsel av biocider ved benyttelse av en slik løsning. I prinsippet bør et slikt filter holde vannet i systemet helt bakteriefritt, men effektiviteten er avhengig av gode driftsrutiner og utskifting av filtre ofte nok. Ettersom filtrene kun fjerner nye bakterier i å innta anlegget, vil allerede eksisterende bakterier i anlegget, eller som slipper inn ved driftsfeil kunne etablere kolonier i vannsystemet, derfor blir filtrering ofte kombinert med andre behandlinger.

Fordeler

- Fjerner både partikler og bakterier fra vannet
- Relativt enkelt å installere
- Ingen tilsats av kjemikalier

Ulemper

- Fjerner ikke biofilm
- Krever gode driftsrutiner
- Varierende erfaringer med sentral behandling

4.12. Ultralyd

Ved ultralydbehandling benyttes høyfrekvent lyd, over 16 kHz, for å løsne fastsittende biofilm fra rør og flater. Metoden er bl.a. benyttet i kjøletårn. Erfaringer med metodens egnethet til å forebygge legionellavekst er per dato begrenset. Hensikten med metoden er å rengjøre, og den må etterfølges av desinfeksjon (Jens Erik Pettersen, 2015).

Fordeler

- Fjerner biofilm

- Trygg for mennesker
- Ingen tilsats av kjemikalier

Ulemper

- Ikke vedvarende behandling
- Dreper ikke bakterier

5. Sammenligning av behandlingsmetoder

I dette kapittelet blir informasjonen fra kapittel 4 sammenlignet i tabell 6. Egenskaper som er sett på som positive blir markert med grønn farge, og negative egenskaper markert med rød. Bokser med stjerne inneholder kommentar beskrevet under tabellen.

For tabell 7 ble det forsøkt å finne oppdaterte tall på kostnader til behandlingsmetodene nevnt i kapittel 4, men resultatet av denne undersøkelsen fremstår som mangelfull. Det har derfor blitt tatt utgangspunkt i verdiene som oppgitt av Borge (2018) for å gi en enkel oversikt.

Dersom informasjonen som kommer frem i tabell 6 og 7 fremstår som mangelfull for leseren, er det ønskelig at forfatter kontaktes på audun@undheimkonsultering.no for oppdatering av rapport.

Tabell 6 sammenligning av behandlingsmetoder

	Ultralyd	Elektromagnetisme	Varmebehandling	Filtrering	UV	Hypoklorsyre (Neutrox)	Monokloramin	Hydrogenperoksid	Klordioksid	Ozon	Sølv/kobber
Trygt for mennesker	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
ECHAs liste over biocidaktive stoffer						Ja	*	Ja	*	*	*
Godkjent i Norge						Ja	Nei	Ja	*	*	*
Trygt for liv i vann	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja	Nei
Virker på varmt- og kaldtvann i hele systemet	Nei	**	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Desinfiserende	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Fjerner biofilm	Ja	**	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nei
Langtidsvirkende	Nei	**	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja
Klororganiske biprodukter	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja	Nei	Nei	Ja	Nei	Nei
Andre stoffer generert, eller tilsatt forblir lenge i vannet	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja	Nei	Nei	Ja
Påvist resistans hos bakterier	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
Miljøgift	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja	Nei	Ja	Ja
Strengt myndighetskrav	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja

* Fortsatt under vurdering den 07/01/2020

** Ikke påvist effekt

Tabell 7 sammenligning av omtrentlige priser for forskjellige metoder og leverandører i kroner

Leverandør	Produkt	Etablering	Årlig servicekostnad	Sjokk-behandling	Kostnad ($\frac{kr}{m^3}$) vannforbruk	Årlig kostnad ved 10 000 m ³ vannforbruk	Kostnad 10 år
Z Energi AS	Neuthox	140 000 – 180 000	10 – 20 000	1000	0,05 – 0,1	10 500 – 21 000	150 000 – 210 000
Termorens	Anodix	300 000 (kjemisk rens) + 200 000	30 000	Ukjent	Ukjent		800 000 + forbruk
	Klordioksid	180 000	14 000 – 120 000	Ukjent	0,75 – 1	21 500 – 130 000	395 000 – 420 000
Apurgo	Sølv/kobber	210 000	30 – 75 000	Ukjent	Ukjent		510 000 + forbruk
	Hydrogenperoksid	47 000	5 000	Ukjent	1,2	12 000	207 000
	Varmebehandling fra 10 til 55°C	0	0		70	70 000	700 000
	Varmebehandling fra 55 til 75°C	0	0		31	31 000	310 000

Utgning for å varme 1 m³ vann fra 10 til 55 °C med strømpris ca. 120 øre/kWh

$$1,163 \times 1 \text{ m}^3 \times \frac{45}{0,9} = 58 \text{ kWh}$$

$$58 \text{ kWh} \times 1,20 \frac{\text{kr}}{\text{kWh}} = 70 \text{ kr}$$

Utgning for å varme 1 m³ vann fra 55 til 75 °C med strømpris ca. 120 øre/kWh

$$1,163 \times 1 \text{ m}^3 \times \frac{20}{0,9} = 26 \text{ kWh}$$

$$26 \text{ kWh} \times 1,20 \frac{\text{kr}}{\text{kWh}} = 31 \text{ kr}$$

$$E = CV \frac{\Delta T}{PR}$$

E = energi i kWh

C = varmekapasitet til vann - 4.187 kJ/kgK, eller 1,163 Wh/kg°C

V = volum vann

$\Delta T = T_h - T_c$

T_h = temperatur for varmt vann

T_c = temperatur for kaldt vann

PR = effektivitet (inkluderer varmetap gjennom rør og bereder), standard verdi = 0,9

Referanser

- Anne Vatland Krøvel & Kjell Rangnes. (2016). Bauer-vannteknologi - Undersøkelse av effekt på forekomst av Legionella, 259.
- Borge, M. (2018). Kartlegging av legionellasikringssystemer.
- Byggteknisk forskrift (TEK17). (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk* (FOR-2017-06-19-840). Hentet fra <https://lovdata.no/forskrift/2017-06-19-840/§15-5>
- Christina Bock, Sonja Zimmermann, Daniela Beisser, Sarah-Maria Dinglinger, Simone Engelskirchen, Philipp Giesemann, ... Bernd Sures. (2019). Silver stress differentially affects growth of phototrophic and heterotrophic chrysomonad flagellate populations. *Environmental Pollution*, 244, 314 - 322.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.146>
- Chun-Ju Chen, Chun-Cheng Chen & Shinn-Jyh Ding. (2016). Effectiveness of Hypochlorous Acid to Reduce the Biofilms on Titanium Alloy Surfaces in Vitro. *International Journal of Molecular Sciences*, 17, 1161. <https://doi.org/10.3390/ijms17071161>
- Cochran W. L., McFeters G. A. & Stewart P. S. (2001). Reduced susceptibility of thin Pseudomonas aeruginosa biofilms to hydrogen peroxide and monochloramine. *Journal of Applied Microbiology*, 88, 22-30. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.00825.x>
- Drevon, F. (2012). Advarer mot legionellafare i nybygg. *Teknisk Ukeblad*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/advarer-mot-legionellafare-i-nybygg/243914>
- Drikkevannsforskriften. (2016). *Forskrift om vannforsyning og drikkevann* (FOR-2016-12-22-1868). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868>
- E. L. Domingue, R. L. Tyndall, W. R. Mayberry & O. C. Pancorbo. (1988). Effects of Three Oxidizing Biocides on Legionella pneumophila Serogroup 1. *Applied and Environmental Microbiology*, 54(3), 741 - 747. Hentet fra <https://aem.asm.org/content/aem/54/3/741.full.pdf>
- ERCO Worldwide. (2018). Safety Data Sheet Chlorine Dioxide Solution. Hentet fra <http://www.ercoworldwide.com/wp-content/uploads/SDSC-Chlorine-Dioxide-Solution.pdf>
- Europarlaments- og rådsforordning. (2014). *Europarlaments- og rådsforordning om endring av forordning (EU) nr. 528/2012 om tilgjengeliggjøring på markedet og bruk av biocidprodukter med hensyn til visse vilkår for markedsadgang* ((EU) nr. 334/2014). Hentet fra <https://lovdata.no/static/NLX3/32014r0334.pdf>
- Forskrift om miljørettet helsevern. (2003). *Forskrift om miljørettet helsevern* (FOR-2003-04-25-486). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-04-25-486?q=milj%C3%B8rettet%20helsevern>

- Hans-Curt Flemming, Jost Wingender, Ulrich Szewzyk, Peter Steinberg, Scott A. Rice & Staffan Kjelleberg. (2016). Biofilms: an emergent form of bacterial life. *Nature Reviews Microbiology*, 14, 563–575. <https://doi.org/doi:10.1038/nrmicro.2016.94>
- Henrik Østensen Heldahl & Beth Mørch Pettersen. (2019, 31. oktober). Sykt godt drikkevann. NRK. Hentet fra <https://www.nrk.no/nordland/xl/norsk-vann-renner-gjennom-eldgamle-ror-og-gjor-oss-syke-oftere-enn-vi-tror-1.14757385>
- International Programme on Chemical Safety. (2018). Safety Data Sheet Hydrogen Peroxide. Hentet fra <http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics0164.htm>
- Iselin Elise Fjeld & Milana Knežević. (2019, 10. juni). Vi må regne med å betale mer for rent vann i fremtiden. NRK. Hentet fra <https://www.nrk.no/norge/-vi-ma-regne-med-a-betale-mer-for-rent-vann-i-fremtiden-1.14582527>
- Jay A. Switzer, Vishnu V. Rajasekharan, Sansanee Boonsalee, Elizabeth A. Kulp & Eric W. Bohannon. (2006). Evidence that monochloramine disinfectant could lead to elevated Pb levels in drinking water. *Environmental science & technology*, 40 10, 3384-3387. <https://doi.org/https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1021%2Fes052411r>
- Jens Erik Pettersen. (2015). *Forebygging av legionellasmitte - en veiledning* (ISSN 1503-2167). Hentet fra <https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/rapporter/2015/forebygging-legionellasmitte-veiledning.pdf>
- Kjartan Trana & Nareas Sae-Khow. (2018, 10. sep). Lusegift farligere enn antatt – over 120.000 tonn dumpet i havet de siste årene. NRK. Hentet fra <https://www.nrk.no/trondelag/ny-forskning-viser-at-lusegiften-hydrogenperoksid-er-langt-farligere-for-miljoet-enn-antatt-1.14196994>
- Kjartan Trana & Nareas Sae-Khow. (2019, 17. jan). Tare gikk i oppløsning av lusekjemikalie som brukes i oppdrettsnæringen. NRK. Hentet fra <https://www.nrk.no/trondelag/ny-forskning-svake-doser-av-lusemiddelet-hydrogenperoksid-dreper-tare-1.14382814>
- M.C. Lyons, D.K.H. Wong & F.H. Page. (2014). Degradation of hydrogen peroxide in seawater using the anti-sea louse formulation Interlox®Paramove™50. Hentet fra http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/mpo-dfo/Fs97-6-3080-eng.pdf
- Md. Habibur Rahman, Johny Bajgai, Ailyn Fadriquel, Ailyn Fadriquel & Lee, K.-J. (2019). Characteristics and Anti-bacterial Effects of Mineral Supplement-Hypochlorous Acid Water on Human Pathogenic Bacteria. *Korean Journal of Waters*, 7(1), 44~55. Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/334160912_Characteristics_and_Anti-bacterial_Effects_of_Mineral_Supplement-Hypochlorous_Acid_Water_on_Human_Pathogenic_Bacteria_Characteristics_and_Anti-bacterial_Effects_of_Mineral_Supplement-Hypochlorous_Acid
- Müjde Eryılmaz & İsmail Murat Palabıyık. (2013). Hypochlorous Acid - Analytical Methods and Antimicrobial Activity. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 12 (1), 123 - 126. <https://doi.org/https://doi.org/10.4314/tjpr.v12i1.20>
- Nadia Silvestry-Rodriguez, Kelly R. Bright, Donald C. Slack, Donald R. Uhlmann & Charles P. Gerba. (2007). Silver as a Residual Disinfectant To Prevent Biofilm Formation in

- Water Distribution Systems. *Applied and Environmental Microbiology*, 74 (5), 1639 - 1641.
<https://doi.org/10.1128/AEM.02237-07>
- Simon Silver. (2003). Bacterial silver resistance: molecular biology and uses and misuses of silver compounds. *FEMS Microbiology Reviews*, 27(2-3), 341–353.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(03\)00047-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-6445(03)00047-0)
- Su-juan Yu , Yong-guang Yin & Jing-fu Liu. (2013). Silver nanoparticles in the environment. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(1), 78 - 92.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1039/C2EM30595J>
- Susan D. Richardson, Michael J. Plewa, Elizabeth D. Wagner, Rita Schoeny & David M. DeMarini. (2007). Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: A review and roadmap for research. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 636(1-3), 178-242.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2007.09.001>
- Woo Hyoung Lee, David G. Wahman, Paul L. Bishop & Jonathan G. Pressman. (2011). Free Chlorine and Monochloramine Application to Nitrifying Biofilm: Comparison of Biofilm Penetration, Activity, and Viability. *Environmental science & technology*, 45 (4), 1412-1419. <https://doi.org/10.1021/es1035305>
- World Health Organization. (2018, 16. februar). Legionellosis. Hentet 04. januar 2020 fra <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/legionellosis>