



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Mikrobiell barriereanalyse for Baterød- og Ilesjø vannverk

Microbial Barrier Analysis for Baterød and Ilesjø
Water Treatment Plants

Sanne Cecilie Thorbjørnsen
Vann- og miljøteknikk

Forord

Masteroppgaven er skrevet våren 2022 ved fakultet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven avslutter min tid på det femårige sivilingeniørstudie Vann- og miljøteknikk. Hovedveileder for oppgaven ved NMBU har vært Lars John Hem, kontaktperson i Sarpsborg kommune har vært Therese Torskenæs.

Oppgaven har gitt meg god innsikt i hva som utgjør hygieniske barrierer ved et vannverk, og rutiner for opprettholdelse av disse. Det har vært en spennende og lærerik prosess, men også utfordrende. Oppgaven er gjennomført i samarbeid med Sarpsborg kommune, som har vist stor velvillighet ved å gi innsyn i råvannsdata og vannbehandlingsprosesser ved både Baterød- og Isesjø vannverk.

Jeg ønsker å rette en stor takk til Therese Torskenæs og Hanne-Monica Reinback i Sarpsborg kommune som alltid har vært behjelpelige med råd og svar på spørsmål. Videre vil jeg takke Lars J. Hem for god veiledning og nyttige innspill til oppgaven gjennom hele denne perioden.

I tillegg en takk til familie og venner som har gitt gode råd og motivasjon under masteroppgaven og gjennom mine fem år som student ved NMBU.

Ås, 16. mai 2022

Sanne Cecilie Thorbjørnsen

Sammendrag

Ett av FNs bærekraftsmål er å sikre rent vann og gode sanitærforhold for alle. I Norge mottar de fleste et trygt, kommunalt drikkevann. Drikkevannsforskriften stiller en rekke krav til vannverkseiere, slik at vannet de leverer skal være helsemessig trygt. For å sikre at vannet ikke inneholder patogene mikroorganismer som bakterier, virus og parasitter benyttes hygieniske barrierer. Hygieniske barrierer er tiltak hvor disse mikroorganismene enten fjernes eller inaktiveres. For å sikre at vannverkene har tilstrekkelig hygieniske barrierer er det utarbeidet en mikrobiell barriereanalyse, som skal hjelpe vannverkseiere å kartlegge sine barrierer.

Målet med denne oppgaven har vært å vurdere om Sarpsborg kommune har tilstrekkelige hygieniske barrierer ved sine to vannverk, Baterød og Isesjø.

Analysen viser at råvannskilden til Baterød vannverk klassifiserer til vannkvalitetskategori *Da*, som betyr at de har lite parasitter i råvannet, men høye verdier av *E.coli*. For at vannet de produserer skal være trygt å drikke er det nødvendig med 6 log reduksjon (99.9999%) av bakterier og virus og 4 log reduksjon (99.99%) av parasitter. De hygieniske barrierene ved vannverket er koagulering, sedimentering, filtrering, klorering og UV-bestråling. Analysen viser at de hygieniske barrierene ikke er tilfredstillende med mindre grenseverdien for turbiditet ut av filtrene senkes til minimum 0.2 NTU.

Råvannskilden til Isesjø vannverk klassifiserer til vannkvalitetskategori *Cc*. Vannkvalitetskategorien indikerer at det behøves en reduksjon på 5 log (99.999%) for bakterier og virus og 3.5 log for parasitter. Isesjø vannverk har de samme hygieniske barrierene som Baterød vannverk, og analysen viser at de har tilstrekkelige hygieniske barrierer. Tiltak i nedslagsfeltet vil kunne føre til bedre hygienisk kvalitet i råvannskilden og dermed bedre vannkvaliteten.

Summary

One of United Nations sustainable development goals is to ensure clean drinking water and safely managed sanitation for all. In Norway most of the inhabitants receive safe and clean drinking water from their municipalities. The Norwegian drinking water regulation states many requirements for the owner of the water treatment plant, so that the water they deliver is of good microbial quality. Microbial barriers are used to ensure that the water does not contain pathogenic microorganisms such as bacteria, viruses, and parasites. To ensure that the microbial barriers are sufficient, a microbial barrier analysis is made.

The goal of this thesis is to evaluate if Sarpsborg municipalities two water treatment plants, Baterød and Isesjø, have sufficient microbial barriers in their system and if the water is safe to drink.

The microbial analysis shows that the raw water quality of Baterød water treatment plant classifies as raw water quality level, *Da*, which means that its low occurrence of parasites, but the E.coli-values are high. To achieve safe drinking water the required barrier level is 6 log reduction (99.9999%) for bacteria and virus, and 4 log reduction (99.99%) for parasites. The microbial barriers at the treatment plant is coagulation, sedimentation, filtration, chlorination and UV. Results from the analysis shows that the microbial barriers are not sufficient unless the turbidity limit of the water after filtration are of maximum 0.2 NTU.

The raw water quality at Isesjø water treatment plant classifies in raw water quality level *Cc*. The raw water quality level indicates a required reduction of 5 log (99.999%) for bacteria and virus, and 3.5 log for parasites. Isesjø water treatment plant has the same microbial barriers as Baterød water treatment plant, and the analysis shows that the barriers are sufficient. Actions taken in the lakes catchment area would lead to better hygienic quality in the raw water source and hence better drinking water quality.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Summary	v
Innhold	vii
Figurer	xii
Tabeller	xiv
1 Introduksjon	1
1.1 Innledning	1
1.2 Formål	2
2 Bakgrunn	3
2.1 Vannforsyning i Sarpsborg	3
2.1.1 Baterød Vannverk	3
2.1.2 Isesjø Vannverk	7
2.1.3 Reservevannsløsning	10
2.2 Mikrobiologisk forurensning i drikkevann	10
2.2.1 Vannbårne sykdommer i Norge	10
2.2.2 Patogene mikroorganismer	11
2.2.3 Indikatororganismer	13
2.3 Hygieniske barrierer i drikkevannsforsyningen	13
2.3.1 Drikkevannsforskriften	13
2.3.2 Hygieniske barrierer	14
2.3.3 Mikrobiell barriereanalyse	15
2.3.4 Partikkelseparasjonsmetoder som hygienisk barriere	17
2.3.5 Klor som hygienisk barriere	20
2.3.6 UV-bestråling som hygienisk barriere	21
2.4 Planlagte barrieretiltak	22
3 Metode	23
3.1 Mikrobiell barriereanalyse	23

3.2	Vannkvalitetsnivå	24
3.3	Nødvendig barrierehøyde	25
3.4	Barrierenivå i nedslagsfelt og kilde	25
3.5	Barrierenivå i vannbehandling	27
3.6	Barrierenivå i desinfeksjon	28
3.6.1	Klor	28
3.6.2	UV-bestråling	34
3.7	Total barrierestatus	36
4	Resultater	39
4.1	Vurdering av barrieresituasjonen ved Baterød vannverk	39
4.1.1	Vannkvalitetsnivå	39
4.1.2	Bestemmelse av nødvendig barrierehøyde	40
4.1.3	Bestemmelse av log-kreditt i tiltak i nedslagsfeltet og kilde samt vannbehandling	40
4.1.4	Bestemmelse av log-reduksjon i sluttdesinfeksjonen i dagens anlegg	41
4.2	Vurdering av barrieresituasjonen	46
4.3	Vurdering av barrieresituasjon med nye tiltak	47
4.4	Vurdering av barrieresituasjonen ved Isesjø vannverk	49
4.4.1	Vannkvalitetsnivå	49
4.4.2	Bestemmelse av nødvendig barrierehøyde	50
4.4.3	Bestemmelse av log-kreditt i tiltak i nedslagsfelt og kilde samt vannbehandling	50
4.4.4	Bestemmelse av log-reduksjon i sluttdesinfeksjonen	53
4.4.5	Vurdering av barrieresituasjonen	58
5	Diskusjon	59
5.1	Mikrobiell barriereanalyse	59
5.2	Baterød vannverk	61
5.2.1	Forekomst av parasitter i Glomma	61
5.2.2	Høye E.coli verdier i Glomma	62
5.2.3	Grenseverdi for turbiditet	62
5.2.4	Virus	63
5.3	Isesjø vannverk	63
5.4	Betydning av resultatene	64
5.5	Anbefalinger	65
6	Konklusjon	67

Referanser	69
Vedlegg A Analyseresultater	73
6.1 Baterød vannverk	73
6.1.1 Utvidet flytskjema for Baterød vannverk	80
6.2 Isesjø vannverk	80

Figurer

2.1	Baterød vannverk lokalisert oppstrøms Sarpsborg sentrum (<i>Kartverket (2022)</i>)	4
2.2	Generert nedbørfelt ved Baterød vannverk (<i>NEVINA (2022)</i>)	5
2.3	Forenklet flytskjema over noen av prosessene ved Baterød vannverk	7
2.4	Isesjø vannverk lokalisert sør i Isesjø (<i>Kartverket (2022)</i>)	7
2.5	Isesjø nedbørfelt (<i>NEVINA (2022)</i>)	8
2.6	Forenkelt flytskjema over noen av prosessene ved Isesjø vannverk	9
2.7	Prøveomfang for det risikobaserte kartleggingsprogrammet (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	17
2.8	Filtersyklus (<i>Ødegaard mfl. (2015)</i>)	18
2.9	WHO's anbefalinger for utløpsturbiditet etter koagulering, filtrering og sedimentering, (<i>WHO (2017)</i>)	19
2.10	Sammenheng mellom utløpsturbiditet og log-reduksjon, (<i>Xagorarakis mfl. (2004)</i>)	20
2.11	Påkrevd UV-dose for inaktivering av mikroorganismer (<i>Templeton (udatert)</i>)	21
3.1	Bestemmelse av vannkvalitet (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	24
3.2	Nødvendig barrierehøyde, (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	25
3.3	Log-kreditt for overvåking av råvannskvalitet i kilden (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	26
3.4	Log-kreditt for nye fysiske og restriktive tiltak for innsjøer (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	26
3.5	Log-kreditt for vannebehandling utover slutt-desinfeksjon (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	27
3.6	Fratrekk i log-kreditt for manglende driftsovervåking (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	28
3.7	Veiledende verdier for hydraulisk- og serie faktor (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	29
3.8	Forløpet til klorkonsentrasjonen (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	30
3.9	Dimensjonerende Ct-verdi (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	33

3.10	Prosentuell fratrekk for manglende sikkerhetstiltak (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	34
3.11	Log-reduksjon for UV (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	35
3.12	Prosentuell fratrekk av log-reduksjon for manglende sikkerhetstiltak for UV (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	35
3.13	Prosentuell reduksjon i log-kreditt for UV på grunn av UV-transimnsjonen i innkommende vann og hva anlegget er dimensjonert for (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	36
3.14	Utregning av total barrierestatus (<i>Ødegaard mfl. (2014b)</i>)	37
5.1	Somatiske kolifager og E.coli i Göta älv Lärjeholm (<i>Håkonsen og Sal (2013)</i>)	60
5.2	Oppnådde barriereeffekter i VISK-forsøk (<i>Håkonsen og Sal (2013)</i>)	61
6.1	Turbiditet i Glomma	73
6.2	Fargetall i Glomma	74
6.3	pH i Glomma	74
6.4	Målte E.coli verdier for 2019, 2020 og 2021	74
6.5	Utvidet flytskjema over prosessene ved Baterød vannverk	80

Tabeller

2.1	Effekt av partikkelfjerningsmetoder (<i>Ødegaard mfl. (2014a)</i>)	18
4.1	Log-kreditt for tiltak i nedslagsfelt og kilde samt vannbehandling utover desinfeksjon	41
4.2	Log-kreditt før fratrekk - klor	44
4.3	Fratrekk for manglende sikkerhetstiltak - klor	44
4.4	Log-kreditt etter fratrekk - klor	45
4.6	Endelig log-kreditt for UV	45
4.5	Fratrekk for manglende sikkerhetstiltak	46
4.7	Den totale barrieresituasjonen for dagens anlegg	47
4.8	Prosentuelt fratrekk for manglende driftsovervåkning av koagulering, filtrering og sedimentering	48
4.9	Prosentuelt fratrekk for manglende overvåkning av strømtilførsel	48
4.10	Log-kreditt for vannbehandling utover desinfeksjon med grenseverdi for turbiditet på 0.2 NTU	49
4.11	Den totale barrieresituasjonen med sandfilter og grenseverdi for turbiditet 0.2 NTU	49
4.12	Den totale barrieresituasjonen med sandfilter og grenseverdi for turbiditet 0.1 NTU	49
4.13	Barrieretiltak for innsjøer og nedslagsfelt	51
4.14	Prosentuelt fratrekk for manglende driftsovervåkning av koagulering, filtrering og sedimentering	52
4.15	Prosentuelt fratrekk for manglende overvåkning av strømtilførsel	53
4.16	Log-kreditt for overvåkning av råvannskilden samt vannbehandling	53
4.17	Log-kreditt før fratrekk - klor	56
4.18	Fratrekk for manglende sikkerhetstiltak - klor	56
4.19	Prosentuelt fratrekk for manglende sikkerhetstiltak	57
4.20	Endelig log-kreditt for UV	58
4.21	Den totale barrieresituasjonen for dagens anlegg	58
6.1	Oppsummering av råvannsdata fra Baterød vannverk	75

6.2	Råvannsdata, 2019 - Baterød	76
6.3	Råvannsdata, 2020 - Baterød	77
6.4	Råvannsdata, 2021 - Baterød	78
6.5	TOC og turbiditet i rentvann 2021 - Baterød	79
6.6	Råvannsdata 2019 - Isesjø	81
6.7	Råvannsdata 2020 - Isesjø	81
6.8	Råvannsdata 2021 - Isesjø	81
6.9	TOC og turbiditet i rentvann 2021 - Isesjø	82

1. Introduksjon

1.1 Innledning

Rent vann er helt nødvendig for å leve. Vann benyttes til alt fra drikkevann og personlig hygiene til å vaske klær og lage mat (*WHO (2022b)*). I 2020 hadde kun 74% av alle mennesker i verden tilgang til et trygt og sikkert drikkevann (*WHO (2022a)*). Rundt 2 milliarder mennesker drikker vann fra en forurenset vannkilde, og hver dag dør nesten 1 000 barn av diaré sykdommer (*WHO (2022a)*). Smittsomme sykdommer som stammer fra patogene mikroorganismer er den største helserisikoen knyttet til drikkevann (*WHO (2022b)*). Et av FNs bærekraftsmål er å sikre rent drikkevann og gode sanitærforhold for alle mennesker i verden og i 2010 erklærte de at tilgang til rent drikkevann er en menneskerett.

I 2020 leverte kommunale vannverk rent drikkevann til 84.7% (*SSB (2021)*) av Norges befolkning, 99% av disse mottar drikkevann av god hygienisk kvalitet (*SSB (2021)*). For å sikre at drikkevannet ikke utgjør en helserisiko for forbruker stiller drikkevannsforskriften en rekke krav til vannverkseiere. Ettersom smittespredning av patogene mikroorganismer via vann kan gi store sykdomsutbrudd i befolkningen er det viktig å fjerne eller inaktivere denne typen mikroorganismer før vannet når forbrukerne. Tiltak eller prosesser som fjerner eller inaktiverer patogene mikroorganismer kalles hygieniske barrierer.

De siste 20 årene har det vært flere sykdomsutbrudd hvor drikkevann har vært smittekilden. I 2004 sviktet en rekke barrierer da innbyggerne i Bergen ble smittet av parasitten *Giardia* og i 2019 ble over 2 000 smittet av bakterien *Campylobacter* da det lakk avføring fra dyr inn i et gammelt høydebasseng i Askøy kommune. De vanligste årsakene til at drikkevann blir smittekilde er manglende desinfeksjon i vannbehandlingsanlegget og forurensning av drikkevannskilden (*Andersen (2016)*).

For å vurdere om de hygieniske barrierene i vannverkene er tilstrekkelige for å hindre at drikkevann blir en smittevei, er det utarbeidet en mikrobiell barriereanalyse skrevet av Hallvard Ødegaard, Stein Østerhus og Esa Melin. Analysen skal hjelpe vannverkseier med å kontrollere hvorvidt deres hygieniske barrierer er tilstrekkelige. En mikrobiell bar-

riereanalyse tar for seg de tiltakene som er eksisterende eller planlegges ved vannverket og ser disse opp i mot råvannskvaliteten i drikkevannskilden de siste årene. Det vurderes så om de eksisterende eller planlagte tiltakene er tilstrekkelige til å kunne forsyne forbrukeren med et drikkevann som ikke utgjør en helseisiko. Dersom tiltakene ikke er tilstrekkelige må det gjøres ytterligere forbedringer for å kunne levere et hygienisk trygt drikkevann.

Denne oppgaven tar for seg en mikrobiell barriereanalyse for Baterød- og Isesjø vannverk i Sarpsborg kommune.

1.2 Formål

Målet med denne masteroppgaven er å kunne gi Sarpsborg kommune en oversikt over hvilke hygieniske barrierer de har ved Baterød- og Isesjø vannverk og om disse er tilstrekkelige for å kunne levere et drikkevann av god hygienisk kvalitet.

Viser det seg at de hygieniske barrierene ikke er tilfredsstillende, vil det bli foreslått tiltak for å sikre at vannverkene har gode nok hygieniske barrierer mot bakterier, virus og parasitter.

2. Bakgrunn

I dette kapitlet beskrives vannforsyningen til Sarpsborg kommune, og deres to vannverk. I det videre gis det en kort introduksjon til drikkevannsforskriften og hva som kreves av en vannbehandlingsprosess for at den skal kvalifisere som en hygienisk barriere. Deretter gjennomgås viktige begreper i en mikrobiell barriereanalyse før det avslutningsvis redegjøres for metoder for partikkelseparasjon, samt bruk av klor og UV-bestråling som hygieniske barrierer.

2.1 Vannforsyning i Sarpsborg

Sarpsborg kommune ligger sørøst i Viken fylke, tidligere Østfold fylke og er Norges tredje eldste by. Kommunen har rett i overkant av 58 000 innbyggere (pr. 01.01.2022, *Sarpsborg kommune (2022a)*). Sarpsborg ble i 1992 slått sammen med nabokommunene Tune, Skjeberg og Varteig. Sarpsborg og Fredrikstad kommune utgjør til sammen Norges femte største tettsted.

Kommunen drifter to vannverk som skal forsyne innbyggerne med rent drikkevann. Baterød vannverk er hovedvannverket og står for den største delen av forsyningen. Deler av Skjeberg blir forsynt med drikkevann fra Isesjø vannverk.

2.1.1 Baterød Vannverk

Baterød vannverk benytter Glommas hovedløp som råvannskilde. Vannverket er bygget i 1963/1964, og det har i senere tid blitt rehabilitert for drøye 100 millioner kroner (*Skjelfoss og Magnussen (2016)*). Vannverket er plassert ca. 3 kilometer nord for Sarpsborg sentrum, slik at råvannsinntaket er lokalisert oppstrøms Sarpsborg sentrum og Sarpefossen.

Den maksimale produksjonskapasiteten ved vannverket er på 35 000 m^3/d , hvor den daglige produksjonen ligger på ca. 20 000 m^3/d (*Sarpsborg kommune (2022b)*).

Sarpsborg kommune planlegger å bygge et nytt vannverk ved det eksisterende vannverket. Årsaken er at det eksisterende vannverket ligger lavt i forhold til flomvannstanden i

Glomma (*Skjelfoss og Magnussen (2016)*). Den nye behandlingslinjen skal bygges høyere i terrenget, og samkjøres med det eksisterende anlegget som ikke vil fases ut før om lang tid på grunn av rehabiliteringen som er gjort.



Figur 2.1: Baterød vannverk lokalisert oppstrøms Sarpsborg sentrum (*Kartverket (2022)*)

Glomma

Glomma er Norges lengste elv og har et nedbørfelt på 41 970 kvadratkilometer, hvor deler av nedbørfeltet befinner seg i Sverige. Elven strekker seg fra Glåmavuggetjønn i Tydalsfjellene og helt ned til utløpet i Fredrikstad, hele 623 kilometer (*Thorsnæs (2018)*). Elven renner gjennom ca. 30 kommuner og 4 fylker (*Norsk Skogmuseum (2022)*).

Nedbørfeltet består av store områder med fjell i nord, skog i øst og landbruk i de sørlige delene. Det varierte terrenget bidrar med ulik type avrenning. I hovedtrekk bidrar de nordlige fjellområdene stort med avrenning etter snøsmelting på våren, mens landbruket bidrar med tilførsel av næringsstoffer og skogen bidrar med naturlig organisk materiale (humus). I tillegg er det mye bebyggelse og industri langs elven.



Figur 2.2: Generert nedbørfelt ved Baterød vannverk (*NEVINA (2022)*)

Den gjennomsnittlige vannføringen i Glomma er på ca. $700 \text{ m}^3/\text{t}$, men kan variere fra $150 \text{ m}^3/\text{t}$ til $3500 \text{ m}^3/\text{t}$ (*Thorsnæs (2018)*). Vannkvaliteten i Glomma kan beskrives ved raske endringer i både partikkelinnhold 6.1 og fargetall 6.2. Årsaken til de raske endringene kan være kraftig avrenning ved store nedbørshendelser, jordskred, tørke osv. Den hygieniske kvaliteten på vannet i Glomma er nokså dårlig, med høye verdier for *Escherichia coli* (E.coli), figur 6.4.

Vannbehandlingsprosesser

Vannbehandlingsprosessene i Baterød vannverk bærer preg av at Glomma er råvannskilden. Vannbehandlingen består i hovedtrekk av koagulering, partikkelseparasjon, polering i kullfilter og sluttdesinfeksjon som vist i flytskjemaet i figur 2.3. Polering i kullfilter var ikke en del av anlegget da det ble bygget, men etter klager på smak og lukt i vannet, ble sandfilteret som opprinnelig var installert byttet ut med et aktivt kullfilter.

Nedenfor beskrives i korte trekk noen av vannbehandlingsprosessene ved Baterød vannverk.

Koagulering Baterød vannverk er et konvensjonelt koaguleringsanlegg bestående av koagulanttilsetning etterfulgt av flokkulering, sedimentering og deretter filtrering. Koagulering er en kjemisk prosess der det tilsettes aluminiumsulfat som koagulant for å destabilisere kolloider og humusmolekyler i råvannet. Videre vil partiklene løpe sammen og danne fnokker som det er lettere å separere i et filter. Koagulering benyttes for å fjerne partikler og organisk stoff fra vannet, noe som fører til lavere turbiditet og færre mikroorganismer i vannet.

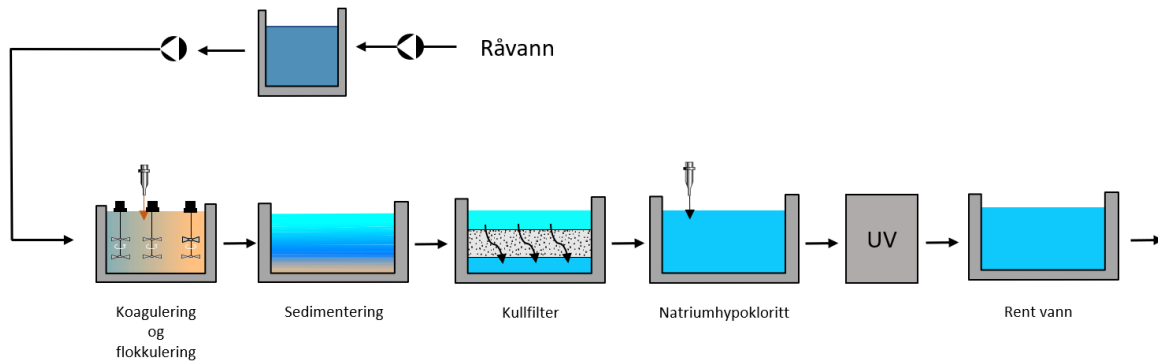
Flokkulering For å bygge fnokkene som er dannet under koaguleringen større, benyttes flokkulering. Flokkulering er en fysisk prosess og foregår ved omrøring av vannet i flokkuleringsreaktorer.

Sedimentering Sedimentering benyttes for separering av fnokkene som er bygd opp under flokkuleringen. Baterød vannverk benytter seg av sedimenteringsbasseng med 4 etasjer (*Skjelfoss og Magnussen (2016)*). Vannet føres inn i sedimenteringsbassengene hvor gravitasjon fører til at fnokkene sedimenterer og blir avsatt på bunnen av sedimenteringsbassengene. Rent vann blir deretter ført ut av bassenget ved overflaten. En rekke mikroorganismer er festet til partiklene som sedimenterer og blir fjernet under denne prosessen.

Kullfilter Sarpsborg kommune har tidligere hatt problemer med lukt og smak på vannet som trolig stammer fra industri oppstrøms vannverket. For å fjerne lukt og smak fra vannet er det installert et kullfilter. Adsorpsjon av organiske forurensninger som forårsaker lukt og smak foregår ved van der Waalske tiltrekningskrefter. Van der Waalske tiltrekningskrefter oppstår mellom to atomer når de kommer tilstrekkelig nære hverandre slik at det oppstår midlertidige svake intermolekylære krefter mellom dem (*UiO (2018)*). I tillegg vil kullfilteret fjerne partikler fra vannet ytterligere etter sedimenteringen.

Desinfeksjon med klor Som desinfeksjonsmetode benyttes klor i form av natriumhypokloritt (NaOCl). Klor inaktiverer virus ganske godt og bakterier svært godt. Klor inaktiverer derimot parasitter dårlig. Dersom vannet inneholder mye naturlig organisk materiale, humus, kan det dannes desinfeksjonsbiprodukter som kan være helseskadelige. Det er derfor viktig at vannet som skal kloreres ikke inneholder mye humus.

Desinfeksjon med UV-bestråling Da klor egner seg dårlig til å inaktivere parasitter i vannet, benyttes UV-bestråling i tillegg for å inaktivere parasitter. Det er viktig at vannet som kommer inn til UV-aggregatene har lav turbiditet, slik at man får størst utnyttelse av UV-strålene. Dersom vannet har høy turbiditet, vil parasittene kunne “gjemme” seg bak partikler i vannet og dermed ikke bli inaktivert av UV-strålene.

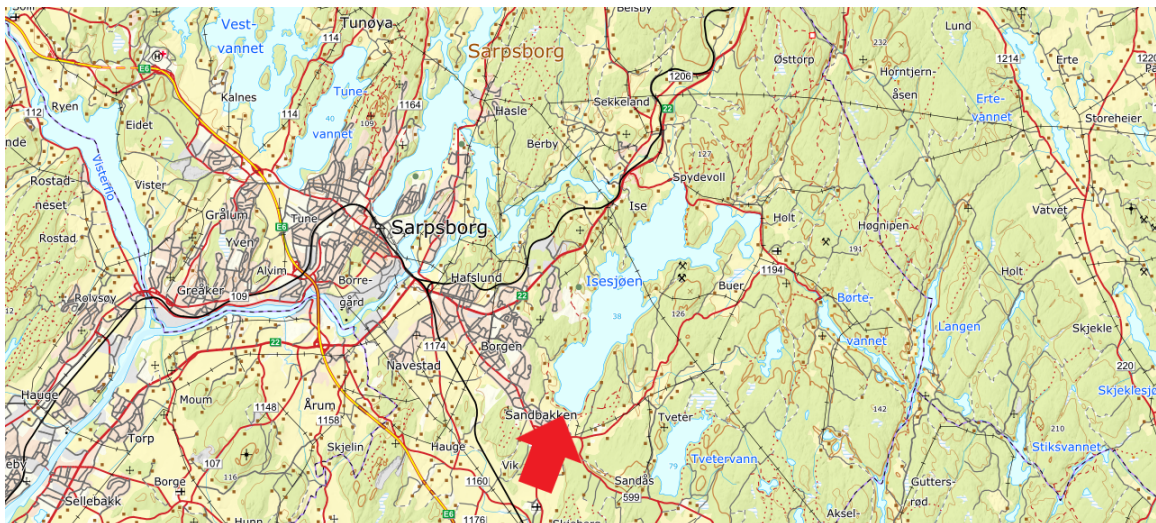


Figur 2.3: Forenklet flytskjema over noen av prosessene ved Baterød vannverk

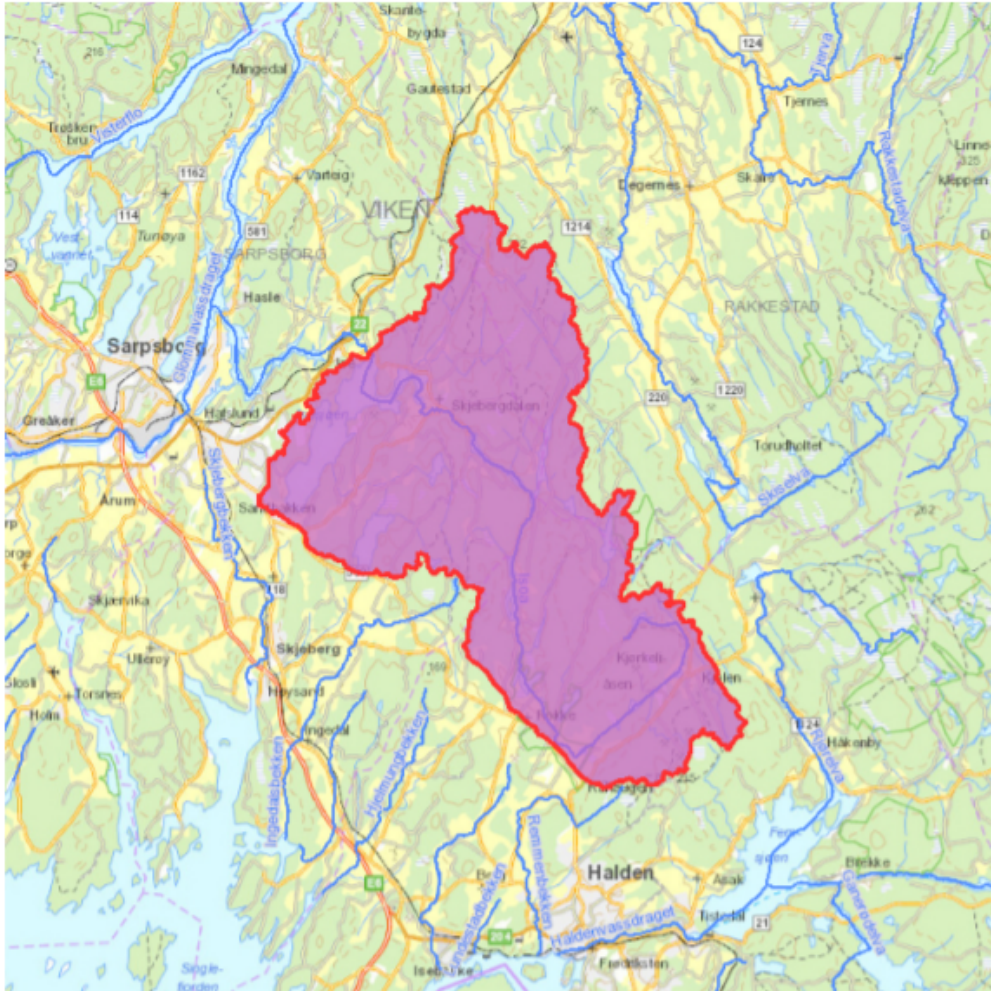
2.1.2 Isesjø Vannverk

Isesjø vannverk ble bygget i 1977 for å forsyne tidligere Skjeberg kommune med drikkevann, og leverer også i dag drikkevann til deler av Skjeberg. Opprinnelig har Isesjø en produksjonskapasitet på $10\,000\text{ m}^3/\text{d}$, men på grunn av dårlig råvannskvalitet er kapasiteten redusert til ca. $6\,000\text{ m}^3/\text{d}$.

Vannverket benytter innsjøen Isesjø som råvannskilde. Isesjø er en del av Isoa vassdraget, og er en humusholdig innsjø på 6.4 kvadratkilometer med største dyp på rundt 25 meter. Nedbørfeltet strekker seg over 140 kvadratkilometer og består for det meste av skog, i tillegg til noe spredt bebyggelse (*Pettersen mfl. (2019)*). Isesjø er naturlig næringsrik og ligger under marin grense, tilstandsklassen er moderat og oppfyller ikke vanddirektivets krav for god økologisk tilstand. Årsaken til dette er høye konsentrasjoner av blågrønnalger i vannet (*Pettersen mfl. (2019)*).



Figur 2.4: Isesjø vannverk lokalisert sør i Isesjø (*Kartverket (2022)*)



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregn.punkt: 285921 E
6579389 N

Figur 2.5: Isefjord nedbørfelt (*NEVINA (2022)*)

Vannbehandlingsprosesser

Vannbehandlingsprosessene ved Isesjø vannverk er i hovedtrekk ganske like de ved Bacterød vannverk. Isesjø benytter flotasjon i stedet for sedimentering etter koaguleringen.

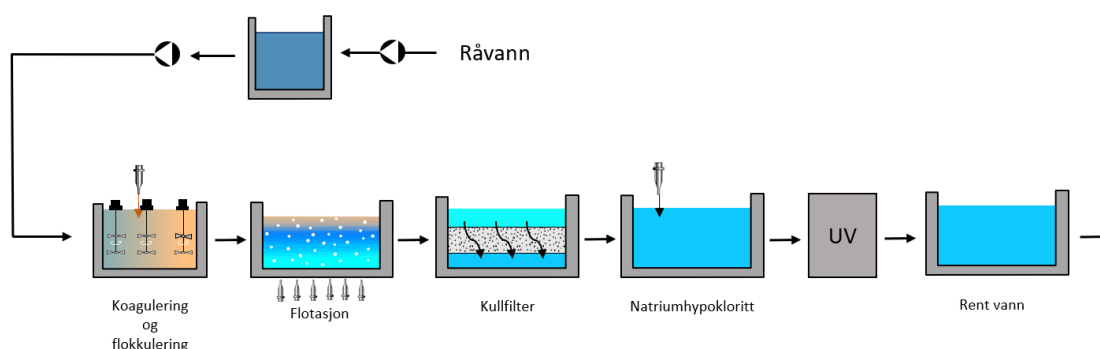
Koagulering og flokkulering Isesjø er en humusholdig innsjø og det benyttes koagulering med etterfølgende flokkulering og flotasjon for fjerning av naturlig organisk materiale, humus. Koaguleringen fjerner i tillegg bakterier, virus og parasitter godt, tabell 2.1. Flokkuleringen bygger opp fnokkene ved omrøring slik at det blir lettere å separere dem fra vannet under flotasjonen.

Flotasjon Flotasjon benyttes for separering av fnokkene som er bygget opp under flokkuleringen. Ved flotasjon benyttes små bobler av luft som skapes ved at luft oppløses i vannet under høyt trykk (Ødegaard mfl. (2015)). Fnokkene separeres fra vannet ved at de fester seg til luftboblene og stiger mot overflaten. Det vil da dannes et slamteppe på overflaten som kan skrapes av. Sammenliknet med sedimentering krever ikke flotasjonen like store arealer.

Kullfilter Kullfilter benyttes til adsorpsjon av alle organiske stoffer, inkludert humus som kan sette lukt og smak på vannet. I tillegg til adsorpsjon av en rekke organiske stoffer fungerer kullfilteret hos Isesjø også som et partikkelseparasjonsfilter etter koagulering, flokkulering og flotasjon. Kullfilteret virker som en ekstra barriere mot mikroorganismer som bakterier, virus og parasitter da det også fjerner partikler.

Desinfeksjon med klor Klor benyttes som en av sluttdesinfeksjons metodene. Klor tilsettes som natriumhypokloritt og inaktiverer bakterier og virus godt, klor fungerer ikke like godt mot parasitter.

Desinfeksjon med UV-bestråling Isesjø har UV-bestråling som siste desinfeksjonsmetode og fjerner med det parasitter godt.



Figur 2.6: Forenkelt flytskjema over noen av prosessene ved Isesjø vannverk

2.1.3 Reservevannsløsning

I situasjoner der et av vannverkene i Sarpsborg, Fredrikstad eller en av kommunene som tilhører det interkommunale selskapet MOVAR IKS ikke har mulighet til å levere drikkevann til sine innbyggere, er det inngått en avtale om leveranse av reservevann mellom de. Sarpsborg kommune skal kunne levere $14\,900\text{ m}^3/d$ til Fredrikstad kommune og $10\,000\text{ m}^3/d$ til MOVAR IKS. Leveransen til Fredrikstad er dimensjonerende, og Sarpsborg er derfor pliktet til å kunne levere $14\,900\text{ m}^3/d$ i tillegg til leveranse av drikkevann til sine egne innbyggere. Avtalen innebærer også at Sarpsborg skal kunne motta $10\,000\text{ m}^3/d$ fra både Fredrikstad kommune og MOVAR IKS.

Baterød vannverk produserer maksimalt $35\,000\text{ m}^3/d$ og Isesjø $6\,000\text{ m}^3/d$, med maksimal leveranse av reservevann vil Sarpsborg kommune fortsatt ha $26\,100\text{ m}^3/d$ tilgjengelig til sine innbyggere. I 2016 var det midlere normalforbruket i Sarpsborg estimert til å være ca. $24\,000\text{ m}^3/d$ (*Sarpsborg kommune (2016)*), i 2022 er dette estimert til å være enda lavere.

Dersom Baterød vannverk skulle komme ut av drift, vil reservevannsløsningen gi Sarpsborg kommune $20\,000\text{ m}^3/d$ og med produksjonen på $6\,000\text{ m}^3/d$ ved Isesjø vannverk, vil det ikke behøves å innføre restriksjoner for innbyggerne.

2.2 Mikrobiologisk forurensning i drikkevann

Mikrobiologisk forurensning av drikkevann kan ha flere årsaker. Det skilles gjerne mellom naturlige og menneskelige årsaker. Eksempler på naturlige årsaker kan være flom, ras og tørke, mens menneskelige årsaker kan være forurensning fra bebyggelse, industri og landbruk (*FHI (2018b)*). Kilden til smitte er ofte fekal forurensning (avføring) fra mennesker eller dyr.

2.2.1 Vannbårne sykdommer i Norge

For å kunne forebygge og overvåke smitteutbrudd i Norge har leger og laboratorier plikt til å melde inn sykdomstilfeller til Folkehelseinstituttet. Folkehelseinstituttet drifter et system, Meldesystem for smittsomme sykdommer (MSIS) hvor disse tilfellene meldes inn (*Andersen (2016)*). Folkehelseinstituttet definerer et sykdomsutbrudd som “*to eller flere tilfeller av samme sykdom som mistenkes å ha felles kilde*” eller “*et antall sykdomstilfeller som klart overskrider det man ville forvente innenfor et område i et gitt tidsrom*” (*Andersen (2016)*).

I 2020 var det kun rapportert om avvik i 0.12% av prøvene av E.coli Norge. Det innebærer at det kun er funnet E.coli i 70 av 57166 prøver av drikkevannet (*Steinberg mfl. (2020)*).

Vi har i Norge jevnt over et trygt drikkevann uten mikrobiologisk forurensning. Allikevel rapporteres det årlig om sykdomsutbrudd knyttet til drikkevann. Folkehelseinstituttet mottok i perioden mellom 1988 og 2014 over 100 varsler om vannbårne sykdomsutbrudd i Norge (*Andersen (2016)*).

I 2004 hadde Norge sitt første kjente sykdomsutbrudd knyttet til drikkevann forårsaket av parasitten *Giardia* i Bergen (*Eikebrokk mfl. (2006)*). Grunnet den akutte fekale forurensningen av drikkevannskilden fikk 1 400 personer diagnosen giardiasis, men det reelle antallet smittede var ca. 6 000 mennesker. Svartediket vannverk hadde kun klor som desinfeksjonsmetode i 2004, noe som medførte at parasitter som ikke ble inaktivert av klor har overlevd og forårsaket smitteutbruddet i Bergen (*FHI (2018c)*). Drikkevannsforskriften fra 2001 hadde krav om 2 hygieniske barrierer i drikkevannsanlegg. Svartediket vannverk hadde råvannskilden og desinfeksjon med klor som hygieniske barrierer. Under utbruddet av *Giardia* sviktet råvannskilden som barriere, og førte til at smitten ble spredt på distribusjonsnett.

Andre sykdomsutbrudd knyttet til drikkevann som smittekilde er utbruddet av *Campylobacter* på Askøy i 2019. Det var ikke svikt i vannbehandlingen ved vannverket som førte til smitteutbruddet, men innlekking av fekal forurensning til ett av kommunens høydebasseng. Rundt 2 000 mennesker ble smittet og syke av utbruddet, og 2 mennesker mistet livet (*Paruch mfl. (2020)*).

2.2.2 Patogene mikroorganismer

Patogene mikroorganismer er mikroorganismer som kan gi sykdom hos mennesker og dyr. At mikroorganismene er patogene betyr at de er i stand til å formere seg inne i noen dyr, og deretter ødelegge vertscellene (*Vorland (2001)*).

Mikroorganismene har ulike strategier for å forårsake sykdom, for bakterier er de tre hovedstrategiene å produsere toksiner, kolonisering og invasjon eller spesialisere seg til å unngå og bekjempe immunsystemet til verten (*Vorland (2001)*).

Bakterier

Bakterier er en type mikroorganisme med størrelse på rundt 1 μm og utgjør et eget rike. Bakteriene mangler en avgrenset cellekjerne og er derfor prokaryote (*Henriksen mfl. (2022)*). Noen bakterier kan forårsake sykdom hos mennesker og dyr. Det er *Campylobacter* som gir hyppigst smitteutbrudd i Norge og fører til mage- og tarminfeksjoner. I vann finnes det også en rekke andre patogene bakterier som *Escherichia coli* (*E.coli*) og *Salmonella* (*Ødegaard mfl. (2014b)*). *E.coli* finnes normalt i tarmfloraen til mennesker og dyr, men visse typer er svært sykdomsfremkallende og kan føre til alvorlig diaré syk-

dom. E.coli O157:H7 er et eksempel på en variant som kan gi alvorlige sykdomstilfeller, men denne påvises sjeldent i vann (*Guillot (2009)*).

For å motstå ekstreme forhold danner en rekke bakterier sporer. Bakteriesporer er en slags overlevelsesform som gjør at bakteriene kan overleve i ugunstige forhold. Disse sporene er svært motstandsdyktige mot lys, varme og desinfeksjonsmidler og kan overleve i flere år. Bakteriesporene kan overleve koking i lang tid, for å ta livet av disse bakteriesporene må de derfor varmes opp til 110-120 grader i mettet vanndamp (*Henriksen mfl. (2022)*). Sporedannede bakterier er for eksempel Bacillus og Clostridium. Clostridium perfringens (C. perfringens) lever normalt i tarmen til både mennesker og dyr. Noen typer av Clostridium produserer toksiner som kan føre til diaré sykdom (*Mattilsynet (2012)*).

Virus

Virus regnes blant de minste typene mikroorganismer med en størrelse på mindre enn 0.1 μm . Kjente, historiske sykdommer som meslinger, influensa og polio er forårsaket av virus (*Klein (2020)*). De vanligste vannbårne virusene er Norovirus, Adenovirus, Rotavirus og Hepatitt A- og B-virus. Norovirus er den vanligste årsaken til omgangssyke og i likhet med rotavirus gir mage- og tarmsykdom med oppkast og diaré (*FHI (2019)*). De fleste virusene som vi mennesker kan bli syke av bæres ikke av dyr slik som bakterier. Virus overlever ofte lenge i vann, og dosen som behøves for å bli syk er lav (*WHO (2022b)*). Ettersom virus er så små vil det være vanskeligere å fjerne dem med for eksempel filtrering. Noen typer virus, som Adenovirus, kan også være mer motstandsdyktige ovenfor desinfeksjon med UV-bestråling.

Parasitter

Parasitter har normalt en størrelse på 3-10 μm , og er de største patogene mikroorganismene. Parasitter kan deles inn i to typer, parasittiske protozoer og parasittiske ormegg. Giardia og Cryptosporidium er begge eksempler på parasittiske protozoer som kan forårsake alvorlige sykdomsutbrudd (*Ødegaard mfl. (2014b)*). Parasittiske ormegg er et større problem i U-land hvor avløpsvann forurenses drikkevannet (*Ødegaard mfl. (2014b)*).

Parasitter er den typen patogene mikroorganismer som er mest motstandsdyktig mot kjemisk desinfeksjon, men kan fjernes ved filtrering på grunn av størrelsen og inaktiveres med UV-bestråling. Protozoer har mulighet til å overleve lenge i vann (*WHO (2022b)*), med noen unntak i kaldere klima, diskutert i avsnitt 5.2.

2.2.3 Indikatororganismer

Drikkevannsforskriften § 5 gir at drikkevannet skal "ikke inneholde virus, bakterier, parasitter, andre mikroorganismer eller stoffer som i antall eller konsentrasjon utgjør en mulig helsefare", (§ 5 Helse- og omsorgsdepartementet (2016)). Å analysere vannet for alle mulige mikroorganismer er ikke mulig, og det benyttes derfor indikatororganismer for å undersøke og overvåke at vannet ikke inneholder patogene mikroorganismer.

Det er ikke alle mikroorganismer som egner seg som indikatororganismer. For at en mikroorganisme skal egne seg som indikatororganisme er det viktig at organismen befinner seg i et stort antall i avføring fra mennesker og dyr. Det er også viktig at den ikke kan formere seg i naturen. Videre skal ikke indikatororganismen kunne ha andre reservoarer enn tarmen og den skal være enkel å identifisere (Andersen (2016)).

E.coli benyttes som indikatororganisme for fersk fekal forurensning i vannet, da E.coli forekommer mest i avføringen til mennesker. I tillegg benyttes E.coli til å vurdere effekten av desinfeksjonsprosesser for inaktivering av patogene mikroorganismer. E.coli er derimot ikke en god indikator for virus og parasitter.

C. perfringens finnes i mindre grad i avføring fra mennesker enn E.coli. C. perfringens benyttes som indikator for parasittiske protozoer og virus da de har evnen til å danne sporer som er mer motstandsdyktige og kan derfor overleve lenge i vann (Andersen (2016)).

Sarpsborg kommune har de siste årene tatt egne prøver av råvannet spesielt rettet mot Giardia og Cryptosporidium. Grunnen til dette er funn av indikatororganismen C. perfringens som kan tyde på at det er parasitter i vannet. Det må derfor utføres ytterligere undersøkelser for å avgjøre om det er parasitter tilstede.

2.3 Hygieniske barrierer i drikkevannsforsyningen

For at drikkevannet skal være trygt å drikke, er det behov for en rekke barrierer som reduserer risikoen for at drikkevannet inneholder smittestoffer som kan gi sykdom hos forbruker av drikkevannet. Barrierene kalles hygieniske barrierer og er ulike måter for å fjerne eller inaktivere patogene mikroorganismer. Patogene mikroorganismer kan fjernes som partikler ved bruk av partikkelseparasjonsmetoder eller inaktiveres ved bruk av desinfeksjonsmetoder.

2.3.1 Drikkevannsforskriften

Myndighetene stiller en rekke krav til drikkevannet norske kommuner leverer til sine innbyggere. Helse- og omsorgsdepartementet har utarbeidet drikkevannsforskriften som

omhandler alt drikkevann og de forhold som kan påvirke drikkevannet. Det er kun naturlig mineralvann og *“kildevann som er definert i forskrift om naturlig mineralvann og kildevann” (§ 2 Helse- og omsorgsdepartementet (2016))* som er unntatt forskriften. Drikkevannsforskriften har som formål å beskytte helsen til forbrukere og sikre at vannet som leveres er *“klart og uten fremtredende lukt, smak og farge” (§ 1 Helse- og omsorgsdepartementet (2016))*.

Drikkevannsforskriften stiller i § 5 krav til at drikkevannet ikke skal inneholde virus, bakterier, parasitter eller andre mikroorganismer som *“i antall eller konsentrasjon”* kan utgjøre en fare for forbruker. Vedlegg 1 angir hvilke grenseverdier drikkevannet må overholde for å regnes som trygt. Det er ingen grenseverdi for parasitter listet i vedlegg 1, drikkevannet skal ikke testes regelmessig for dette med mindre tiltaksgrensen for C. perfringens overskrides. Grenseverdien oppgir den høyeste verdien vannet kan inneholde, og dersom grenseverdien overskrides må dette rettes raskt. Dersom tiltaksgrensen overskrides skal det vurderes om overskridelsen kan utgjøre en helserisiko. Om overskridelsen utgjør en helserisiko skal det gjøres utbedringer omgående.

Vannverkseier, ofte en kommune, har plikt til å sikre at de tiltakene som skal *“forebygge, fjerne eller reduserer farene til et akseptabelt nivå, identifiseres og gjennomføres (§ 6 Helse- og omsorgsdepartementet (2016))*.

I forskriftens § 13 stilles det krav til at tiltak i nedbørsfeltet og råvannskilden samt vannbehandlingen til sammen skal gi *tilstrekkelige* hygieniske barrierer. Desinfeksjon med klor eller UV-bestråling av vannet skal være siste barriere, med mindre farekartleggingen etter § 6 tilsier at dette ikke er nødvendig.

2.3.2 Hygieniske barrierer

En hygienisk barriere er etter Drikkevannsforskriften definert som *“naturlig eller konstruert hindring eller tiltak som fjerner eller inaktiverer sykdomsfremkallende virus, bakterier, parasitter eller andre mikroorganismer, eller som fortynner, fjerner eller omdanner kjemiske stoffer til et nivå hvor de ikke lenger utgjør en helserisiko” (Helse- og omsorgsdepartementet (2016))*.

Drikkevann skal ikke utgjøre en helserisiko for den som drikke vannet, de hygieniske barrierene er til stede for å hindre at drikkevannet skal bli en helserisiko. Drikkevannsforskriften stiller krav om at det skal være tilstrekkelige og uavhengige barrierer, slik at svikt i en barriere ikke skal få uforsvarlige konsekvenser for den som drikker vannet.

I tidligere versjoner av drikkevannsforskriften har det blitt benyttet uttrykket *“minimum 2 hygieniske barrierer”*, dette har i den siste versjonen blitt erstattet med *“tilstrekkelig antall hygieniske barrierer”*. Årsaken til at forskriften er endret fra to hygieniske barrierer

til tilstrekkelig antall er at fokuset ikke skal være på at det må være to barrierer, men at det skal være tilstrekkelig mange til at drikkevannet kan karakteriseres som trygt. Det er vanlig at den siste barrieren i et vannbehandlingsanlegg er desinfeksjon. Summen av delbarrierer og sluttbarrieren (desinfeksjon) skal kunne gi tilstrekkelig beskyttelse.

Giardia-epidemien i Bergen i 2004 viste at vi i Norge også kan få utbrudd av parasitter, noe som antydte at de hygieniske barrierene som var blitt benyttet fram til dette ikke nødvendigvis var tilstrekkelige, (*Ødegaard mfl. (2006)*). Det ble i årene etter mer fokus på UV-anlegg som en ekstra hygienisk barriere i tillegg til klor.

2.3.3 Mikrobiell barriereanalyse

Mikrobiell barriereanalyse er et verktøy for å kunne avgjøre om de hygieniske barrierene i vannverket er tilfredsstillende, eller om det behøves å gjøre tiltak for å bedre disse.

I den mikrobielle barriereanalysen er ledningsnett og distribusjonssystem ut til forbruker ikke med som en del av analysen, noe som innebærer at det fortsatt kan oppstå hendelser som fører til en helserisiko for forbruker.

Nedenfor er en rekke viktige begreper knyttet til en mikrobiell barriereanalyse definert.

Barrieretiltak

For å beskytte befolkningen mot vannbåren smitte er barrieretiltak i og rundt råvannskilden, vannbehandlingsanlegget og distribusjonsnettets viktig. Tiltakene skal styrke barrierene ved vannverket slik at vannbåren smitte ikke skal kunne spre seg. I den mikrobielle barriereanalysen vurderes de barrieretiltak som er gjennomført og tenkes gjennomført i og rundt råvannskilden og vannbehandlingsanlegget.

Nødvendig barrierehøyde

Nødvendig barrierehøyde er den totale reduksjonen av patogene mikroorganismer som må oppnås i hele vannverket, fra nedslagsfelt, råvannskilde til og med vannbehandlingsanlegget. Den nødvendige barrierehøyden bestemmes ut i fra størrelsen på vannverket og vannkvalitetsnivået til råvannskilden. Den nødvendige barrierehøyden bestemmes som en del av første ledd i den mikrobielle barriereanalysen.

Barrierehøyden angis som den nødvendige log-reduksjonen for de ulike mikroorganismene. En nødvendig barrierehøyde på $6b + 4v + 2p$ betyr henholdsvis 6 log (99.9999%) reduksjon for bakterier, 4 log (99.99%) reduksjon for virus og 2 log (99%) reduksjon for parasitter.

Log-kreditt

I en mikrobiell barriereanalyse skilles det mellom barrieretiltak i vannbehandlingen/nedslagsfelt og sluttdeinfeksjon. Log-kreditt gis til de tiltak som gjøres i vannebehandlingen og i nedslagsfeltet utover de tiltak som gjøres i sluttdeinfeksjonen. Log-kreditten trekkes fra den nødvendige barrierehøyden og er med på å bestemme den nødvendige log-reduksjonen. Log-kreditt i nedslagsfelt kan kun gis til nye tiltak, og ikke gis til de tiltak som allerede eksisterte når vannkvaliteten ble fastslått (*Ødegaard mfl. (2014b)*).

Log-reduksjon

Log-reduksjonen er den reduksjonen av patogene mikroorganismer som sluttdeinfeksjonen minst må gi for at de hygieniske barrierene i vannbehandlingen skal være tilfredsstillende. Log-kreditten blir trukket fra den nødvendige barrierehøyden, som igjen angir den log-reduksjonen som er nødvendig i sluttdeinfeksjon for at barrierene skal være tilfredsstillende.

Risikobasert kartleggingsprogram

Med det risikobaserte kartleggingsprogrammet er målet at det skal oppnås så representative prøver som mulig gjennom hele året i ulike situasjoner. Rutineprøvene tar gjerne ikke hensyn til at den mikrobielle forurensningen kan være høyere i visse situasjoner, som for eksempel ved kraftige regnfall eller ved vår- og høstsirkulasjonen i innsjøer. Kartleggingsprogrammet er ment for å plukke opp disse variasjonene og gi et oversiktbildet av vannkvaliteten gjennom hele året.

Når råvannskilden er enn innsjø bør det minst ta disse prøvene (*Ødegaard mfl. (2014b)*):

- Vårsirkulasjon ($\leq 1/6$ av totalt antall prøver)
- Høstsirkulasjon ($\leq 1/6$ av totalt antall prøver)
- Normalnedbør både sommer og vinter ($\leq 1/6$ av totalt antall prøver)
- Døgn med kraftig nedbør og snøsmelting ($\leq 3/6$ av totalt antall prøver)

Figur 2.7 viser prøveomfanget i det risikobaserte kartleggingsprogrammet, men det anbefales at tas dobbelt så mange prøver slik at grunnlaget for den videre analysen blir så god som mulig (*Ødegaard mfl. (2014b)*).

Vannverksstørrelse	Prøveomfang
< 1000 pe	> 6
1000 - 10.000 pe	> 12
> 10.000 pe	> 24

Figur 2.7: Prøveomfang for det risikobaserte kartleggingsprogrammet (*Ødegaard mfl. (2014b)*)

Som en del av kartleggingsprogrammet tas det prøver for E.coli og C. perfringens. Dersom verdiene for E.coli og C. perfringens tilsier at det potensielt kan være parasitter i vannet, skal det også tas prøver av Giardia og Cryptosporidium. Med dette menes at tiltaksgrensen for C. perfringens overskrides og det derfor er nødvendig å ta prøver av råvannet for å undersøke om det er parasitter tilstede.

2.3.4 Partikkelseparasjonsmetoder som hygienisk barriere

Det er flere måter å fjerne partikler i vannet på, en måte er å separere dem ved å holde de tilbake i et filter der lysåpningen er mindre enn størrelsen på partiklene. En annen måte er å benytte kjemikalier som fører til at partiklene løper sammen og danner større fnokker som er lette å separere i et filter, dette kalles koagulering.

Partikkelinnholdet i vann beskrives normalt sett ved måling av turbiditet. Turbiditeten måler hvor uklart og grumsete vannet er. Partiklene i vannet kan være mineralske partikler (leire og jordpartikler) som er svært små og ofte holder seg svevende i vannet, organiske partikler som for eksempel bakterier, protozoer, alger osv., og det kan være mineralske og organiske partikler som kommer fra avløpsvann og jordbruk.

Ved bruk av partikkelseparasjonsprosesser som koagulering og filtrering vil de patogene mikroorganismene fjernes ved at de holdes igjen i filtrene.

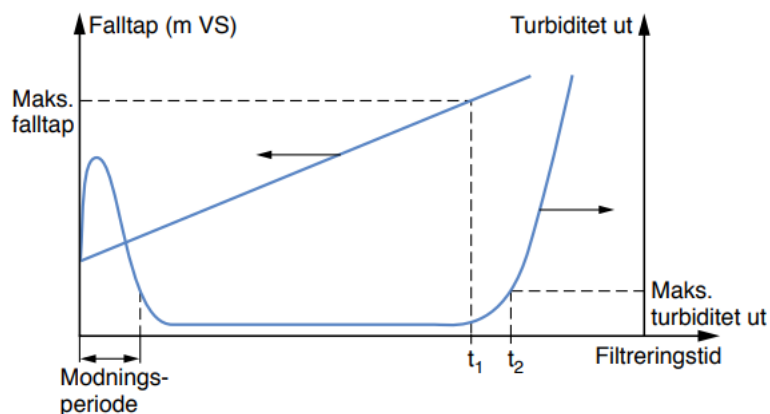
I tabell 2.1 vises effekten av ulike partikkelseparasjonsmetoder på fjerning av bakterier, virus og parasitter. Ved bruk av koagulering før filteret øker effekten betraktelig. Tabellen er hentet fra Norsk Vann sin bok Vann- og avløpsteknikk (*Ødegaard mfl. (2014a)*).

Tabell 2.1: Effekt av partikkelfjerningsmetoder (*Ødegaard mfl. (2014a)*)

Partikkelfjerningsmetode	Virus	Bakterier	Parasitter
Sandfiltrering uten koagulering	Svært dårlig	Dårlig	Ganske dårlig
Koagulering/sandfiltrering	God	Svært god	Svært god
Membranfiltrering			
RO og NF	Svært god	Svært god	Svært god
UF	Ganske god	God	Svært god
MF	Mindre god	Ganske god	Svært god
UF/MF med koagulering	Svært god	Svært god	Svært god

I de anlegg der nedslagsfelt og råvannskilden ikke kan regnes som en hygienisk barriere, benyttes koagulering og filtrering ofte som en uavhengig barriere i tillegg til sluttdeinfeksjon.

For at koagulering og filtrering skal kunne kvalifisere som en hygienisk barriere er det viktig at prosessen drives optimalt. Det er flere viktige mekanismer for fjerning av partikler i et filter, som transport av partikler til filteroverflaten, partiklenes evne til å holde seg fast til filterkornet og/eller til utfelt metallhydroksid og løsrivning fra filterkornene og/eller det utfelte metallhydroksidet (*Eikebrokk (2009)*). Det oppstår en balanse mellom disse tre mekanismene hvor en liten forstyrrelse av balansen kan føre til økt løsrivning av partikler og dermed mikroorganismer som bakterier, virus og parasitter, og med det en økt risiko for svikt i barrieren. En økning i filtreringshastigheten kan være et eksempel på en slik forstyrrelse. I tillegg kan ikke filtreringsprosessen anses som en kontinuerlig prosess, men heller en diskontinuerlig prosess som består av to sekvenser, filtrering og filterspyling. Turbiditeten ut av filteret varierer med filtersyklusen, vist i figur 2.8.

**Figur 2.8:** Filtersyklus (*Ødegaard mfl. (2015)*)

I 1995 gjennomførte EC. Nieminski og JE. Ongerth (*Nieminski og Ongerth (1995)*), en undersøkelse for fjerning av *Cryptosporidium* og *Giardia* cyster i både fullskala og pilot. Det ble funnet at både *Cryptosporidium* og *Giardia* ble effektivt fjernet når turbiditeten i filtrert vann var lav, mellom 0.1 NTU og 0.2 NTU. Da var log-reduksjonen av *Giardia* på 3.3 log eller høyere, og for *Cryptosporidium* var den på 2.3 log eller høyere.

Irene Xagorarakis med flere (*Xagorarakis m.fl. (2004)*) fant en sammenheng mellom utløpsturbiditeten i filterene og log-reduksjonen av *E.coli* O157:H7 og *Aeromonas hydrophilia* som vist i figur 2.10. Det konkluderes i denne artikkelen med at ved å sette grenseverdien for turbiditet til 0.2 NTU eller lavere vil kunne gi signifikante forbedringer i den mikrobielle kvaliteten på vannet.

Verdens helseorganisasjon (WHO) oppgir i sine retningslinjer for drikkevannskvalitet (*WHO (2022b)*) og i “Water quality and health - review of turbidity” at turbiditeten i filtrert vann bør ligge under 0.3 NTU i 95% av analyseprøvene og at ingen skal overstige 1 NTU, figur 2.9. Ved turbiditet på under 0.3 NTU er den tilsvarende log-reduksjonen på 1-2 log for virus og 2.5-3 log reduksjon for parasitter (*WHO (2017)*).

Table 4. Turbidity targets and associated *Cryptosporidium* and virus removals by media filtration

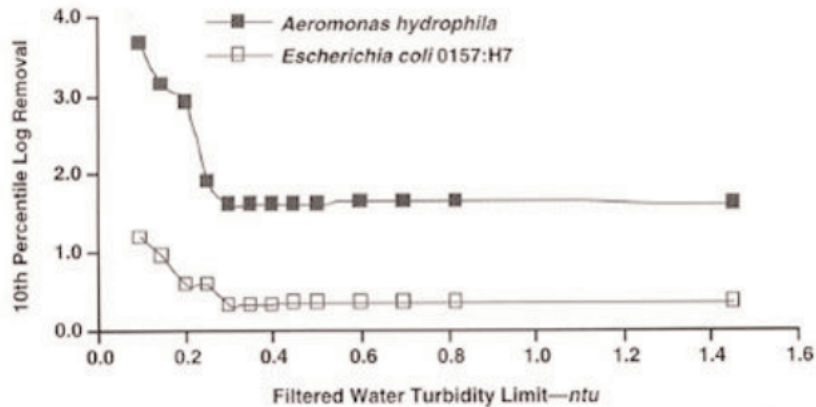
Treatment type	Turbidity target	Pathogen reduction (log ₁₀)	
		<i>Cryptosporidium</i>	Viruses
Conventional filtration Coagulation, flocculation and sedimentation followed by media filtration	≤0.3 nephelometric turbidity units (NTU) in 95% of measurements taken each month of combined filter effluent, with no measurements to exceed 1 NTU	3.0	2.0
Dissolved air flotation and filtration (DAFF) Coagulation, flocculation and flotation followed by media filtration			
Direct filtration Coagulation, flocculation without sedimentation followed by media filtration	≤0.3 NTU in 95% of measurements taken each month of combined filter effluent, with no measurements to exceed 1 NTU	2.5	1.0
Slow sand	≤1 NTU in 95% of measurements taken each month of filtered water, with no measurement to exceed 5 NTU	3.0	2.0
Diatomaceous earth	≤1 NTU in 95% of measurements taken each month of filtered water, with no measurements to exceed 5 NTU	3.0	1.0

Source: Values from USEPA (2003, 2006)

Figur 2.9: WHO's anbefalinger for utløpsturbiditet etter koagulering, filtrering og sedimentering, (*WHO (2017)*)

T. Hall med flere fant ingen indikasjoner på forskjell ved bruk av en-media, to-media eller granulært aktivt kullfiltere med tanke på separering (*Hall m.fl. (1995)*). Risikoen for at *Cryptosporidium* ikke fanges opp i filterene øker med økende utløpsturbiditet, uavhengig av hvor effektiv koaguleringen er.

Når barriereeffekten til koagulering og filtrering skal vurderes vil det å ha on-line overvåkning av turbiditeten etter hvert filter kunne synliggjøre en svikt i den hygieniske barrieren dersom indikatorverdien overskrider 0.2 NTU for turbiditet (*Eikebrokk (2009)*).



Figur 2.10: Sammenheng mellom utløpsturbiditet og log-reduksjon, (*Xagorarakis mfl.* (2004))

For at koagulering, filtrering og sedimentering skal kunne anses som en hygienisk barriere var grenseverdien for turbiditet satt til 0.2 NTU etter hvert filter i den tidligere veiledningen til Drikkevannforskriften fra 2002. I den nye veiledningen til drikkevannsforskriften står det at “turbiditeten er da erfaringsmessig mindre enn 0.2 FNU” etter koagulering og filtrering og at dette “normalt bør fungere som hygienisk barriere” (*Mattilsynet* (2021)). Både NTU (Nephelometric Turbidity Unit) og FNU (Formazine Nephelometric Unit) er enheter for turbiditet, hvor 1 NTU tilsvarer 1 FNU.

Totalt organisk karbon, TOC, etter koagulering og filtrering skal også etter den tidligere veiledningen til Drikkevannsforskriften fra 2002 være mindre enn 3 mg C/l, for å kunne anse prosessen som en hygienisk barriere. Det samme gjelder for innholdet av TOC etter koagulering og filtrering som for turbiditeten når det kommer til den nye veiledningen til drikkevannsforskriften, hvor det står “Videre vil da også mengden organisk materiale være mindre enn 3 mg C/l” (*Mattilsynet* (2021)).

I tillegg til at koagulering og filtrering fysisk fjerner patogene mikroorganismer, vil også effekten av koagulering og filtreringen påvirke effektiviteten av sluttdeinfeksjonen. Jo høyere verdiene av TOC og turbiditet er, jo lavere vil desinfeksjonseffektiviteten være. Det er derfor viktig også for sluttdeinfeksjonen at koaguleringen fungerer optimalt.

2.3.5 Klor som hygienisk barriere

Klor regnes som en god hygienisk barriere for bakterier og virus, men ikke for parasitter som *Giardia* og *Cryptosporidium* eller bakteriesporer.

Måten klor inaktiverer mikroorganismer er ved å oksidere, angripe, celleveggen som fører til at mikroorganismen vil få ødelagt celleveggen og som videre fører til at viktige bestanddeler inne i organismen kan lekke ut. Klor kan med det trenge gjennom celle-

veggen og påvirke både proteiner og DNA/RNA inne i mikroorganismenes celler og på denne måten inaktivere dem (Lund (2009)).

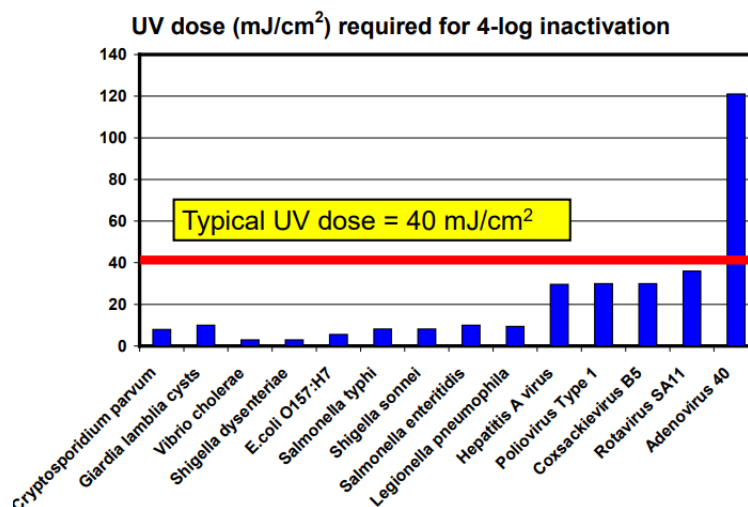
Mye organisk stoff i vannet som skal kloreres kan påvirke desinfeksjonen negativt ved at organiske forbindelser adsorberes til mikroorganismene og fører til at klor ikke klarer å ødelegge celleveggen. Videre kan klor reagere med løste organiske forbindelser i vannet og danne desinfeksjonsbiprodukter som kan være helseskadelige. Når klor reagerer med løst organisk stoff vil mengden klor som er tilgjengelig for inaktivering av mikroorganismer bli redusert, da reduseres også desinfeksjonseffektiviteten.

For at klor skal kunne anses som en hygienisk barriere bør restklorverdien etter 30 minutters kontakttid være på minst $0.05 \text{ Cl}_2/\text{l}$ (Mattilsynet (2021)).

2.3.6 UV-bestråling som hygienisk barriere

UV-lys har desinfiserende effekt ved at lyset ødelegger arvematerialet til bakterier, virus og parasitter. Det er UV-C lyset og en maksimum bølgelengde på 254 nm som gir den desinfiserende effekten (Thorsen (2009)).

For at UV-bestråling skal anses som en hygienisk barriere overfor bakterier, virus og parasitter må det være en UV-dose på minimum $30 \text{ mJ}/\text{cm}^2$. Dersom bakteriesporer skal inaktiveres kreves det en UV-dose på minimum $40 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ (Mattilsynet (2021)). I figur 2.11 ser vi at grensen på $40 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ er nok til å inaktivere de fleste mikroorganismer. Adenovirus er et av virusene som er motstandsdyktig mot UV-bestråling, og er derfor av betydning for smitterisikoen i vannforsyningen. Men fordi de fleste barn i Norge får virusinfeksjonen forårsaket av adenoviruset i ung alder og opparbeider immunitet, kreves det ikke at UV-anleggene i Norge skal dimensjoneres for Adenovirus (FHI (2018a)).



Figur 2.11: Påkrevd UV-dose for inaktivering av mikroorganismer (Templeton (udatert))

Vannkvaliteten, og da særlig UV-transmisjonen, påvirker effektiviteten av UV-bestråling. Fargetall, turbiditet, jern og annet reduserer UV-transmisjonen, og dermed også desinfeksjonseffektiviteten. UV-transmisjonen reduseres når vannet er grumsete, slik at UV-strålene ikke når igjennom vannet, men blir stoppet av partikler i vannet. Et fargetall på 10 mg Pt/l er UVT_{50mm} kun på 50% og ved et fargetall på 20 mg Pt/l kun 30 % av det UVT_{50mm} ville vært i vann uten farge (Ødegaard mfl. (2014b)). Det er derfor viktig at for å oppnå god desinfeksjonseffektivitet at fargetallet i vannet er lavt. Veiledningen til drikkevannsforskriften anbefaler et fargetall ut fra koagulering og filtrering på under 10 mg Pt/l, dersom det benyttes aluminium eller jern som koagulant bør et fargetall på under 5 mg Pt/l etterstrebtes (Mattilsynet (2021)).

2.4 Planlagte barrieretiltak

I den nye behandlingslinjen ved nye Baterød vannverk er det planlagt å installere et sandfilter etter sedimenteringen før kullfilteret. I dag har ikke Baterød vannverk mulighet til å regenerere det aktive kullet som benyttes i kullfiltrene, grunnen til dette er at aluminiumsulfaten som benyttes i koaguleringen danner et seigt lag utenpå kullet.

Det er ønskelig å kunne regenerere kullet for å spare kostnader, da det er billigere å bytte ut sanden i sandfiltrene enn å kjøpe nytt kull. I tillegg til at sandfilteret vil fungere som et partikkelseparasjonsfilter, vil det også ytterligere kunne fjerne mikroorganismer slik at dette utgjør en ekstra barriere. Nye Baterød vannverk vil med dette ha både et sandfilter og et kullfilter.

Ved Isesjø vannverk er det ikke planlagt noen ytterligere tiltak for å styrke barrierene. En utredning for å kartlegge kvaliteten på råvannet og hvilke tiltak som kan bidra til å bedre vannkvaliteten skal gjennomføres.

3. Metode

I dette kapitlet forklares det hva en mikrobiell barriereanalyse er og det gis en beskrivelse av hvordan analysen gjennomføres.

3.1 Mikrobiell barriereanalyse

En mikrobiell barriereanalyse er en analyse for å redegjøre om vannverk har tilstrekkelig antall hygieniske barrierer. Analysen tar i bruk de siste års analyseresultater for å bestemme råvannskvaliteten, samt se på tiltak gjort både i og utenfor vannverket, vannbehandlingsprosesser og sluttdesinfeksjon for å kunne si noe om barrieretiltakene er gode nok i vannverket. Analysen er et verktøy i arbeidet med sikker vannforsyning, men erstatter ikke risiko- og sårbarhetsanalyser som utarbeides i tillegg.

Analysen er i hovedsak utarbeidet av Hallvard Ødegaard, Stein Østerhus og Esa Melin og er publisert i Norsk Vann, rapport 209 2014, Veiledning i mikrobiell barriereanalyse (MBA) - Revidert utgave av Veiledning til bestemmelse av god desinfeksjonspraksis (Ødegaard mfl. (2014b)). Det vises derfor til denne rapporten for utvidet informasjon om MBA for andre råvannskilder enn elver, bekker og innsjøer.

Analysen er delt inn i seks deler:

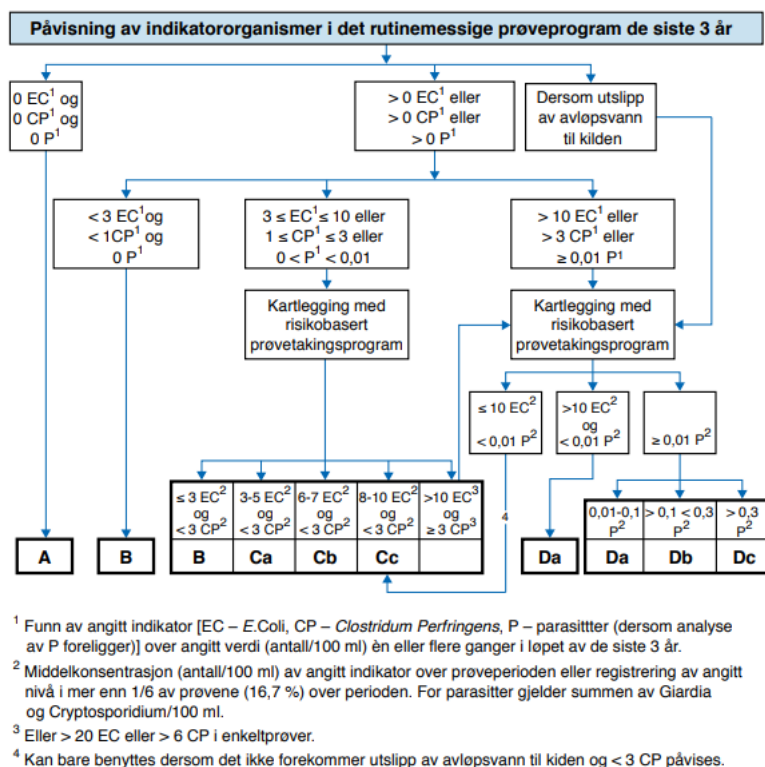
1. Bestemmelse av vannkvaliteten i råvannet
2. Bestemmelse av den nødvendige barrierehøyden
3. Bestemmelse av log-kreditt for nedslagsfelt og råvannskilde
4. Bestemmelse av log-kreditt for vannbehandlingen utenom sluttdesinfeksjon
5. Bestemmelse av barrierenivået i sluttdesinfeksjonen
6. Vurdering av den totale barrierestatusen

3.2 Vannkvalitetsnivå

Vannkvalitetsnivået i råvannet bestemmes fra historiske registreringer av E.coli og C. perfringens gjort ved rutineanalyser de siste 3 årene. Den mikrobielle kvaliteten på råvannet varierer ofte raskt, og over et vidt spekter (*WHO (2022b)*). Det er derfor viktig at de historiske registreringene legges til grunn slik at kortvarige, men høye verdier av patogene mikroorganismer plukkes opp slik at disse toppene ikke fører til sykdomsutbrudd i framtiden.

Avhengig av de historiske registreringene bestemmes enten vannkvalitetsnivået direkte (kategori A og B) eller via et utvidet risikobasert kartleggingsprogram, som er beskrevet i kapittel 2.3.3, rettet mot den mikrobielle kvaliteten i vannet. Det utvidete risikobaserte kartleggingsprogrammet kan enten være rettet mot E.coli og C. perfringens dersom råvannskvaliteten i den historiske registreringen ikke er for dårlig (kategori C). Eller være rettet mot E.coli og parasitter dersom det er utslipp av avløpsvann oppstrøms råvannsinntaket til vannverket eller at råvannskvaliteten er registrert så dårlig at det antas å være parasitter i vannet (kategori D).

Figur 3.1 viser hvilke nivåer av E.coli, C.perfringens og parasitter som legges til grunn for de ulike vannkvalitetsnivåene.



Figur 3.1: Bestemmelse av vannkvalitet (Ødegaard mfl. (2014b))

3.3 Nødvendig barrierehøyde

Den nødvendige barrierehøyden er den totale reduksjonen av patogene mikroorganismer som må oppnås i hele vannverket, fra nedslagsfelt og råvannskilde til og med vannbehandlingsanlegget for at drikkevannet skal anses som trygt. Den nødvendige barrierehøyden bestemmes på grunnlag av vannkvalitetsnivået funnet ved rutineanalyser og et eventuelt risikobasert kartleggingsprogram for parasitter i tillegg til størrelsen på vannverket.

Det stilles strengere krav til log-reduksjon i større vannverk. Grunnen til dette er at konsekvensene for samfunnet blir større i store vannverk ved svikt i barrierene, enn i små vannverk.

Figur 3.2 angir hvilken barrierehøyde man skal legges til grunn ved det gitte vannkvalitetsnivået i råvannskilden og størrelse på vannverket. Dersom vannkvalitetsnivået er bestemt til å være i kategori Cb og vannverket leverer til 7000 innbyggere, vil den nødvendige barrierehøyden være $5.0b + 5.0v + 3.25p$.

Vannverkets størrelse	Nødvendig barrierenivå	Vannkvalitetsnivå i kilde			
		A	B	C	D
< 1000 personer tilknyttet		$3,0b + 3,0v + 2,0p$	$4,0b + 4,0v + 2,0p$	a. $4,5b + 4,5v + 2,5p$ b. $4,5b + 4,5v + 2,75p$ c. $4,5b + 4,5v + 3,0p$	a. $5,0b + 5,0v + 3,0p$ b. $5,0b + 5,0v + 3,5p$ c. $5,0b + 5,0v + 4,0p$
1000 - 10.000 personer tilknyttet		$3,5b + 3,5v + 2,5p$	$4,5b + 4,5v + 2,5p$	a. $5,0b + 5,0v + 3,0p$ b. $5,0b + 5,0v + 3,25p$ c. $5,0b + 5,0v + 3,5p$	a. $5,5b + 5,5v + 3,5p$ b. $5,5b + 5,5v + 4,0p$ c. $5,5b + 5,5v + 4,5p$
> 10.000 personer tilknyttet		$4,0b + 4,0v + 3,0p$	$5,0b + 5,0v + 3,0p$	a. $5,5b + 5,5v + 3,5p$ b. $5,5b + 5,5v + 3,75p$ c. $5,5b + 5,5v + 4,0p$	a. $6,0b + 6,0v + 4,0p$ b. $6,0b + 6,0v + 4,5p$ c. $6,0b + 6,0v + 5,0p$

Figur 3.2: Nødvendig barrierehøyde, (Ødegaard mfl. (2014b))

3.4 Barrierenivå i nedslagsfelt og kilde

Ved nye, prosjekterte vannverk kan det gis log-kreditt, se avsnitt 2.3.3, for planlagte tiltak i nedslagsfeltet og råvannskilden. For eksisterende vannverk kan det kun gis log-kreditt for nye tiltak, og ikke allerede eksisterende tiltak. Tiltak som kan innføres er fysiske barrierer i nedslagsfeltet (som gjerder), restriksjoner på aktivitet i både råvannskilden og nedslagsfeltet i tillegg til å forbedre overvåkingen av råvannskvaliteten i kilden. Det siste punktet er viktig for å kunne oppdage avvik raskt og for å kunne lære råvannskilden å kjenne, hvordan den vil reagere ved for eksempel ulike vær-situasjoner.

Årsaken til at det kun gis log-kreditt for nye tiltak i nedslagsfeltet og råvannskilden er at forbedringen av vannkvalitet knyttet til de eksisterende tiltakene allerede vil vises i de historiske registreringene og vil ikke ytterligere forbedre vannkvaliteten.

For elver og bekker er det lite til ingen fysiske tiltak som vil kunne gi log-kreditt, det

kan kun gis log-kreditt for overvåkning av råvannskvalitet med stengning av råvann inn til vannverket. For vannverk med elv som råvannskilde gjelder derfor kun tabell 3.3. Bakgrunnen for at det ikke gis log-kreditt for tiltak i nedslagsfeltet og råvannskilden er at muligheten for svært rask spredning av forurensninger på grunn av rennende vann (*Ødegaard mfl. (2006)*).

Kategori av tiltak	Barrieretiltak	Log-kreditt
Øket prøvetakings frekvens	Innføring av utvidet mikrobiell analyse i råvann <ul style="list-style-type: none"> • minst som angitt for risikobasert prøveprogram • minst som angitt for nettkontroll 	0,50b + 0,50v + 0,25p 0,25b + 0,25v + 0,15p
On-line måling av Råvannskvalitet	Innføring av on-line måling av råvannskvalitet (turbiditet, mikrobiell aktivitet eller andre parametere som er egnet til å overvåke mikrobiell kvalitet på råvannet) for, ved overskridelse av grenseverdi (set-punkt), være i stand til å: <ul style="list-style-type: none"> • automatisk stenge av råvannstilførsel • manuelt stenge av råvannstilførsel • bytte vannkilde 	0,50b + 0,50v + 0,25p 0,25b + 0,25v + 0,15p 0,25b + 0,25v + 0,15p
Absolutt maksimal summert log-kreditt for nye tiltak knyttet til overvåkning av råvannskvalitet		0,75b + 0,75v + 0,50p

1) Innen hver hovedkategori av tiltak kan man maksimalt gi den log-kreditt som det mest omfattende tiltak gir.

Figur 3.3: Log-kreditt for overvåking av råvannskvalitet i kilden (*Ødegaard mfl. (2014b)*)

For innsjøer er det derimot mulig å innføre fysiske og restriktive tiltak i nedslagsfeltet og på selve innsjøen slik at den hygieniske kvaliteten i råvannet kan bedres. Figur 3.4 viser de tiltak som vil kunne gi log-kreditt.

Kategori av barriere tiltak	Detaljering av tiltak	Log-kreditt
Reduksjon av forurensnings-tilførsel til kilden	Sanering av alle avløpsutslipp direkte til kilden og til bekker og elver som leder direkte til kilden	0,75b + 0,75v + 0,5p
	Innføring av lukkede avløpssystemer (lukket tank) for alle utslipp i nedslagsfeltet eller bortledning av avløpsvann fra nedslagsfeltet	0,5b + 0,5v + 0,25p
	Oppsetting av stengsel for å hindre at beitedyr og hunder kommer i direkte kontakt med kilden samt oppsetting av avfallskontainere (inkludert containere for hundevføring) i nedslagsfeltet	0,25b + 0,25v + 0,15p
Restriksjoner på aktivitet i vannkilde og nedslagsfelt	Innføre forbud (evt. restriksjoner) mot beitedyr i nedslagsfeltet	0,75b + 0,75v + 0,5p
	Innføre forbud mot potensielt forurensende aktiviteter i nedslagsfeltet, f.eks. bolighus, hytter, motorferdsel etc.	0,25b + 0,25v + 0,15p
	Innføre forbud (evt. restriksjoner) mot bruk av vannkilden til båtsport, bading og annen aktivitet, f.eks. motorferdsel	0,25b + 0,25v + 0,15p
Tiltak knyttet til inntak	Senkning av råvannsinntak til et dyp som sikrer at sprangsjiktet ikke når ned til inntaket bortsett fra i sirkulasjonsperiodene	0,5b + 0,5v + 0,25p
	Flytting av råvannsinntak slik at det kan dokumenteres gjennom hydrauliske studier at tilførsler av avløpsvann og avføring fra beitedyr via elver og bekker påvirker inntaket i ubetydelig grad	0,25b + 0,25v + 0,15p
Absolutt maksimal summert log-kreditt for tiltak i vannkilde og nedslagsfelt		2,0b + 2,0v + 1,25p

1) Innen hver hovedkategori av tiltak kan man maksimalt gi den log-kreditt som det mest omfattende tiltak gir.

Figur 3.4: Log-kreditt for nye fysiske og restriktive tiltak for innsjøer (*Ødegaard mfl. (2014b)*)

3.5 Barrierenivå i vannbehandling

For å bestemme barrierenivået i vannbehandlingen utover desinfeksjon, ses det på partikkelseparasjonsprosessene som vil fjerne mikroorganismene som partikler. I figur 3.5 presenteres den log-kreditten som kan maksimalt gis for de ulike vannbehandlingsmetodene. Det gis høyre log-kreditt for vannbehandlingsmetoder der grenseverdien for turbiditet er satt til 0.1 NTU i stedet for 0.2 NTU.

Vannbehandlingsmetode	Log-kreditt
Hurtigsandfiltrering uten koagulering (filterhastighet < 7,5 m/h) ¹⁾	0,5b + 0,25v + 0,5p
Membran (MF) filtrering ²⁾	2,0b + 1,0v + 2,0p
Membran (UF) filtrering ³⁾	2,5b + 2,0v + 2,5p
Membran (NF) filtrering ⁴⁾	3,0b + 3,0v + 3,0p
Langsomsandfiltrering (filterhastighet < 0,5 m/h)	2,0b + 2,0v + 2,0p
Koagulering/direktefiltrering (mediafilter) ⁵⁾	2,25b + 1,5v + 2,25p
Koagulering/direktefiltrering (mediafilter) ⁶⁾	2,5b + 2,0v + 2,5p
Koagulering + sedimentering (evt. flotasjon) + filtrering ⁵⁾	2,5b + 1,75v + 2,5p
Koagulering + sedimentering (evt. flotasjon) + filtrering ⁶⁾	2,75b + 2,25v + 2,75p
Koagulering/membran (MF) filtrering ⁶⁾	3,0b + 2,5v + 3,0p
Koagulering/membran (UF) filtrering ⁶⁾	3,0b + 3,0v + 3,0p

- 1) Gjelder også biofiltre, ionebytter-filtre, aktivert kull filtre og marmor-filtre
- 2) Forutsatt nominell poreåpning på membran < 100 nm
- 3) Forutsatt nominell poreåpning på membran < 40 nm
- 4) Forutsatt nominell poreåpning på membran < 5 nm
- 5) Forutsatt turbiditet i produsert vann < 0,2 NTU (sanntids måling)
- 6) Forutsatt at tilstrekkelig koagulant-dosering og god overvåkning slik at turbiditet i produsert vann < 0,1 NTU (sanntids måling)

Figur 3.5: Log-kreditt for vannbehandling utover slutt-desinfeksjon (Ødegaard mfl. (2014b))

For å ha god partikkelseparasjon er det viktig med driftsovervåkning av vannkvaliteten. God driftsovervåkning vil kunne bidra til å redusere risikoen for uventede driftssituasjoner som har negativ innvirkning på vannkvaliteten. Eksempler på uventede driftssituasjoner er strømbrudd, gjennombrudd i filtre, lav dosering eller bortfall av dosering av koagulant. Det gis derfor et prosentuell fratrekk av log-kreditten dersom det er mangler i driftsovervåkingen. De prosentuelle fratrekken er presentert i figur 3.6.

Kategori av barrieretiltak	Manglende driftsovervåkingstiltak	Prosentuelt fratrekk i log-kreditt
On-line overvåkning av vannkvaliteten i behandlet vann med oppfølgingstiltak ved overskridelse av grenseverdi ¹⁾	Dersom on-line overvåking av behandlet vann mht. turbiditet, farge eller annen parameter som er egnet til å overvåke om det aktuelle tiltaket fungerer etter hensikten;	40%
	• mangler	20%
	• er til stede og aktiverer en alarm ved overskridelse av satt grenseverdi – som leder til manuell korreksjon av prosessbetingelsene (f.eks. justering av pH, koagulant-dose etc.) slik at normal drift gjenopprettes	10 %
	• er til stede og aktiverer en alarm ved overskridelse av satt grenseverdi – som leder til manuell avstengning av råvannstilførsel inntil årsaken til den unormale målingen er funnet og normal drift er gjenopprettet	0 %
Kontinuerlig overvåkning av strømtilførsel med oppfølgingstiltak ved bortfall av strømtilførsel	Dersom kontinuerlig overvåking av strømtilførsel samt overføring til strømdatasentral:	40 %
	• mangler	20 %
	• er til stede og aktiverer en alarm ved bortfall av strøm, som leder til manuell avstengning av råvannstilførsel inntil normal strømforsyning er gjenopprettet	0%
	• er til stede og aktiverer en alarm ved bortfall av strøm, som leder til automatisk avstengning av råvannstilførsel inntil normal strømforsyning er gjenopprettet	20%
	• er til stede og aktiverer manuell igangsetting av reserve aggregat og/eller UPS ved bortfall av strøm	0%
• er til stede og aktiverer automatisk igangsetting av reserve aggregat og/eller UPS ved bortfall av strøm	0%	

1) Grenseverdiene må fastsettes for den relevante parameter i hvert enkelt tilfelle

Figur 3.6: Fratrekk i log-kreditt for manglende driftsovervåkning (*Ødegaard mfl. (2014b)*)

3.6 Barrierenivå i desinfeksjon

For å bestemme barrierenivået i desinfeksjonen benyttes en rekke beregningsmetoder for å kontrollere at den dosen som blir benyttet i dag er tilstrekkelig for å oppnå den inaktiveringsgraden det er behov for. Beregningsmetodene som kan benyttes er basert på målinger, beregninger eller en kombinasjon av målinger og beregninger.

3.6.1 Klor

Klor er et av de vanligste desinfeksjonsmidlene brukt i drikkevannsproduksjon. For å kontrollere at dosen som benyttes i vannbehandlingsanleggene er tilstrekkelig for å oppnå den inaktiveringsgraden det er behov for benyttes Ct-verdien som knytter inaktiveringsgraden med gitt konsentrasjon av klor og kontakttiden mellom mikroorganismene og klor (*Ødegaard mfl. (2014b)*).

For at effekten av desinfeksjonen skal være god, er det viktig at vannet som skal klore-res er rent, med dette menes at turbiditeten og TOC-innholdet i vannet er tilstrekkelig lavt. Et høyt TOC-innhold kan føre til at visse organiske forbindelser kan adsorberes til mikroorganismene og dermed hindre inaktiveringen av mikroorganismene. Klor kan reagere med løste organiske forbindelser som reduserer effektiviteten, og redusere mengden

tilgjengelig klor (*Ødegaard mfl. (2014b)*).

I veiledningen til drikkevannsforskriften anses desinfeksjon med klor som en hygienisk barriere dersom restklorkonsentrasjonen er på minst 0.05 mg/l etter 30 minutter kontakttid (*Mattilsynet (2021)*), noe som tilsvarer en Ct-verdi på 1.5 mg min/l (*Ødegaard mfl. (2014b)*). Det er ikke et krav om en Ct-verdi på 1.5 mg min/l, men en faglig veiledning.

Ct-verdien for klor avhenger av konsentrasjonen, C, til desinfeksjonsmiddelet og den effektive oppholdstiden i kontakttanken. Den effektive oppholdstiden, kontakttiden, t, avhenger igjen av volumet av kontakttanken, dimensjonerende vannmengde, hydraulisk utforming og strømningsforhold i kontakttanken. For å regne ut den effektive oppholdstiden, benyttes formel 3.1.

$$t_{eff} = \left(\frac{Q}{V}\right) * F_h * F_s \quad (3.1)$$

Hvor den dimensjonerende vannmengden, Q, er maksimal vannmengde per time, m^3/t og V er volumet av kontakttanken. Strømningsforholdet i kontakttanken ligger ofte et sted mellom ideell blanding og stempelstrøm, faktorene F_h og F_s gir henholdsvis en faktor for grad av stempelstrømning og faktor for antall kammer i serie. Det optimale er stempelstrømning, og jo høyere grad av stempelstrømning jo høyere blir den hydrauliske faktoren. I tillegg vil det å dele inn kontakttanken i flere kammer i serie bidra til å nærme seg stempelstrømning. Figur 3.7 angir veiledende verdier for hydraulisk faktor og seriefaktor.

Omblandsings-forhold (grad av stempelstrøm i hvert kammer)	Hydraulisk faktor, $F_{h,1,2}$		Beskrivelse av hvert kammer i kontakttanken	Seriefaktor, F_s^3 Kammer i serie		
	$t_{10}/T^{1)}$	$t_m/T^{2)}$		1	2	3
Ingen (ideell blanding)	0,1	0,3	Ingen skjerm, full omblanding, høy inn- og utløpshastighet, lavt lengde/bredde forhold	1,0	2,0	2,5
Dårlig	0,3	0,4	Ingen skjerm, single eller multiple innløp og utløp	1,0	1,8	2,0
Middels	0,5	0,5	Skjernet innløp eller utløp, noe skjerming i selve bassenget	1,0	1,5	1,8
Ganske bra	0,7	0,7	Skjernet innløp og utløp, ledevegger i bassenget. Høyt lengde/bredde forhold	1,0	1,3	1,4
Svært bra	0,9	0,9	Skjernet innløp og utløp, ledevegger i bassenget. Svært høyt lengde/bredde forhold	1,0	1,1	1,1
Perfekt	1,0	1,0	Rørstrømning	1,0	1,0	1,0

1) Benyttes ved Ct-beregning (se avsnitt 3.4.3 og 3.7.4)

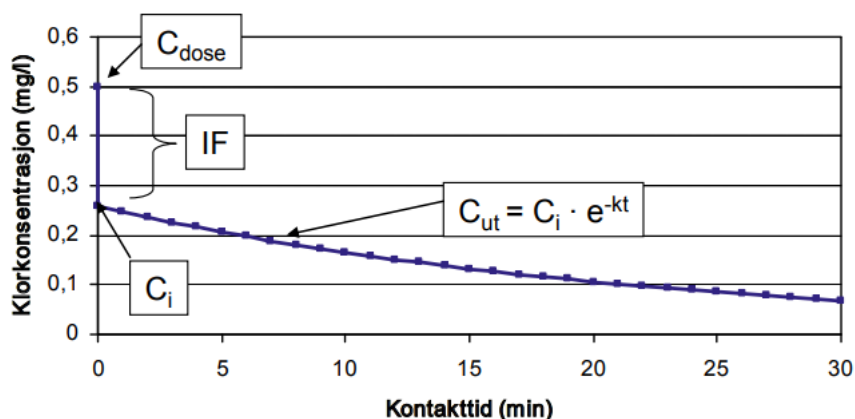
2) Benyttes ved beregning av k, C_1 og C_{ut} (se avsnitt 3.4.2 og 3.7.2-3.7.3)

Figur 3.7: Veiledende verdier for hydraulisk- og serie faktor (*Ødegaard mfl. (2014b)*)

Når klor tilsettes vil en mengde klor oksidere øyeblikkelig med oksiderbare stoffer i

vannet, dette forbruket av klor kalles initialforbruket. Det er svært vanskelig å måle initialforbruket da det skjer umiddelbart, det blir derfor forutsatt at dette skjer momentant.

Konsentrasjonen av klor blir redusert til et nivå som kalles initalkonsentrasjonen, C_i . Ettersom tiden går vil konsentrasjonen av klor langsomt fortsette å synke til det registreres en restkonsentrasjonen, C_{ut} . Klorkonsentrasjonen vil ikke være konstant gjennom hele desinfeksjonsprosessen, men gå fra den initielle konsentrasjonen til utløpskonsentrasjonen og dermed avhenge av tiden. Ct-verdien vil med det variere og være lik arealet under grafen. Hvordan forløpet av klorkonsentrasjonen vil være er vist i figur 3.8.



Figur 3.8: Forløpet til klorkonsentrasjonen (Ødegaard mfl. (2014b))

Initalkonsentrasjonen kan beskrives som klordosen som er tilsatt, minus initialforbruket som ble oksidert umiddelbart etter tilsetteingen av klor.

$$C_i = C_{dose} - IF \quad (3.2)$$

Der IF er initialforbruket, altså det momentane forbruket av klor rett etter tilsetning, som skyldes oksiderbare stoffer i vannet.

Videre kan restklorkonsentrasjonen beskrives som en 1.ordens nedbrytningsreaksjon:

$$C_{ut} = C_i * e^{-kt} \quad (3.3)$$

Hvor t er tiden vannet er i kontakt med klor, og k er nedbrytningskonstanten til klor som avhenger av både vannkvaliteten og den klordosen som er benyttet.

Ved eksisterende anlegg vil det være nødvendig å finne initialforbruket og nedbrytningskonstanten. Det er flere måter å finne disse, det er mulig å ta målinger for å bestemme

parameterne, gjøre modellberegninger, eller ved en kombinasjon av disse.

Bestemmelse initialforbruket og nedbrytningskonstanten ved målinger

Når både klordosen, C_{dose} , og restklorkonsentrasjonen, C_{ut} , er kjent, og om det i tillegg er mulig å måle klorkonsentrasjonen et sted til i systemet, for eksempel i innløpet til kontakttanken, C_{inn} , kan nedbrytningskonstanten, k , beregnes basert på disse målingene:

$$k = -\frac{[\ln(\frac{C_{ut}}{C_{inn}})]}{t} \quad (3.4)$$

Når nedbrytningskonstanten er bestemt, kan initialforbruket bestemmes ved bruk av ligning 3.2 og 3.3:

$$IF = C_{dose} - C_i = C_{dose} - [\frac{C_{ut}}{e^{-k*t}}] \quad (3.5)$$

Bestemmelse av initialforbruk og nedbrytningskonstanten ved beregninger

Når initialforbruket og nedbrytningskonstanten skal beregnes benyttes modeller funnet i et forsøk med vann av ulike sammensetninger (Ødegaard mfl. (2009)).

$$IF = 0.06 * TOC + 0.36 * C_{dose} + 0.08 * (\frac{C_{dose}}{TOC}) - 0.12 \quad (3.6)$$

For at modellen for initialforbruket skal være gyldig gjelder følgende:

- Klordose, $C_{dose} = 0.25 - 3.0mgCl_2/l$
- $TOC = 0.5 - 6.0mg/l$
- Beregnet $IF \leq C_{dose}$ ved $IF > C_{dose}$ settes $IF = C_{dose}$

Likningen for nedbrytningskonstanten:

$$k = 0.013 * TOC - 0.040 * C_i - 0.010 * \frac{C_i}{TOC} + 0.022 \quad (3.7)$$

For at modellen for nedbrytningskonstanten skal være gyldig gjelder:

- Initialkonsentrasjonen, $C_i = 0.25 - 3.0mgCl_2/l$
- $TOC = 0.5 - 6.0mg/l$
- Beregnet $IF < C_{dose}$

- Beregnet $k > 0.005$

Bestemmelse av initialforbruket og nedbrytningskonstanten ved både målinger og beregninger

Dersom klordosen og restklorkonsentrasjonen er kjent, men ikke initialforbruket og nedbrytningskonstanten, kan det benyttes en kombinasjon av målinger og beregninger for å finne Ct-verdien. Initialforbruket bestemmes ved bruk av likning 3.6, hvor de samme betingelsene gjelder.

Når initialforbruket er funnet kan initialkonsentrasjonen bestemmes ved bruk av likning 3.2. Videre bestemmes nedbrytningskonstanten ved bruk av likning 3.4.

Bestemmelse av Ct-verdien

Ct-verdien bestemmes ved å integrere uttrykket for nedbrytningskonsentrasjonen med hensyn på tid, da Ct-verdien er gitt som arealet under kurven.

Dersom initialkonsentrasjonen er lagt til grunn for beregningene er uttrykket for Ct-verdien gitt som (*Ødegaard mfl. (2009)*):

$$C_t = \left(\frac{C_i}{k}\right) * (1 - e^{-k*t}) \quad (3.8)$$

$t = \text{effektiv oppholdstid, } t_{eff}$

Dersom utløpskonsentrasjonen benyttes som grunnlag for beregningene, er uttrykket gitt som:

$$C_t = \left(\frac{C_{ut}}{k}\right) * (e^{k*t} - 1) \quad (3.9)$$

$t = \text{effektiv oppholdstid, } t_{eff}$

Der hvor det er en direkte sammenheng mellom inaktiveringsgraden og Ct-verdien kan inaktiveringsgraden ved en gitt Ct-verdi beregnes. Den nødvendige, dimensjonerende Ct-verdien er gitt i figur 3.9.

	Bakterier (3 log)		Virus (3 log)		Parasitter av gruppen <i>Giardia</i> (2 log)		Parasitter av gruppen <i>Cryptosporidium</i> (2 log)	
	4°C	0,5 °C	4°C	0,5°C	4°C	0,5°C	4°C	0,5°C
Klor								
pH < 7	1,0	1,5	4,0	6,0	75	100	i.a.	i.a.
pH 7 - 8	1,5	2,0	6,0	9,0	100	150	i.a.	i.a.
pH > 8	2,0	3,0	8,0	12,0	175	250	i.a.	i.a.
Kloramin	100	200	1500	2000	1750	2500	i.a.	i.a.
Klordioksid	1,0	1,5	10	15	20	30	>100	>150
Ozon	0,5	0,75	1,0	1,4	1,5	2,0	30	45

i.a. - ikke angitt. Ct-verdien er så høy at den er uinteressant for alle praktiske formål

Figur 3.9: Dimensjonerende Ct-verdi (*Ødegaard mfl. (2014b)*)

Utregning av den beregnede inaktiveringsgraden er gitt i likning 3.10.

$$\frac{n_{beregnet}}{C_{t,beregnet}} = \frac{n_{nødvendig}}{C_{t,nødvendig}} \quad (3.10)$$

$$n_{beregnet} = \frac{n_{nødvendig}}{C_{t,nødvendig}} * C_{t,beregnet} \quad (3.11)$$

Den maksimale inaktiveringsgraden for desinfeksjon med kjemiske oksidasjonsmidler er satt til: **4b + 4v + 3p**.

Videre må det tas hensyn til sikkerhetstiltak for doseringsutstyret. Manglende tiltak vil føre til fratrekke i log-reduksjonen.

Sikkerhetstiltakene er delt inn i tre kategorier; tiltak ved kortvarig bortfall av dosering, tiltak for å redusere risikoen for bortfall av dosering og andre tiltak. De prosentuelle fratrekke er vist i figur 3.10.

Kategori	Risikoreducerende sikkerhetstiltak for å sikre kjemisk desinfeksjon	% av Ct-beregnet (evt. maks) log-reduksjon ²⁾
A) Tiltak ved kortvarig doseringsbortfall	Maksimalt fratrekk i kategorien¹⁾	- 10 %
	1. Automatisk stengning av all vannproduksjon ³⁾	+ 10 %
	2. Alarm og automatisk start av reserve doseringsutstyr	+ 5 %
B) Tiltak for å redusere risikoen for doseringsbortfall	Maksimalt fratrekk i kategorien¹⁾	- 15 %
	1. Nødstrømsaggregat og/eller UPS installert	+ 10 %
	2. Reserve doseringsutstyr for desinfeksjon installert	+ 5 %
	3. Utjevningsvolum (plassert etter desinfeksjonsanlegget) som kan tilfredsstillende vannbehovet når vannproduksjonen stoppes ved doserings-bortfall ⁴⁾	+ 10 %
C) Andre tiltak	Maksimalt fratrekk i kategorien¹⁾	- 10 %
	1. Tilfredsstillende måleutstyr installert (restklor/restozon)	+ 5 %
	2. Lager med kritisk reserveutstyr ⁵⁾	+ 5 %
	3. Tilfredsstillende rutiner for rengjøring, kontroll og kalibrering av sensorer for måling av restklor og -ozon ⁶⁾	+ 5 %
Summerte tiltak	Totalt maksimalt fratrekk for sikkerhetsbrister ved kjemisk desinfeksjon¹⁾	- 35 %

1) Minimalt fratrekk er 0 %

2) Kredit for tiltak innen hver hovedkategori kan ikke overstige maksimalt fratrekk pga. manglende tiltak

3) Krever at det er tilstrekkelig med utjevningskapasitet/ buffer volum i systemet

4) Rentvannstank, høydebasseng med volum for minst 12 timers forsyning eller lignende

5) Klordoseringspumper, ozonelektroder, sirkulasjonspumpe, målelektroder etc.

6) Minimum månedlig kontroll/kalibrering

Figur 3.10: Prosentuell fratrekk for manglende sikkerhetstiltak (*Ødegaard mfl. (2014b)*)

3.6.2 UV-bestråling

Desinfeksjon med UV er svært effektivt mot bakterier, parasitter og de fleste virus. Adenovirus er et av virusene som er motstandsdyktig mot UV-bestråling, og er derfor av betydning for smitterisikoen i vannforsyningen. Men fordi de fleste barn i Norge får virusinfeksjonen forårsaket av adenoviruset i ung alder, kreves det ikke at UV-anleggene skal dimensjoneres for Adenovirus (*FHI (2018a)*).

På samme måte som for klor benyttes Ct-verdi, kontakttid og konsentrasjon for å bestemme inaktiveringsgraden, men i motsetning til klor omtales Ct-verdien som UV-dose, kontakttiden som stråletid og konsentrasjonen som intensitet.

De fleste nye UV-anlegg blir dimensjonert for en dose på 40 mJ/cm^2 , men det kan også dimensjoneres for både lavere og høyere doser dersom dette viser seg å være hensiktsmessig. Doser lavere enn 40 mJ/cm^2 vil gi mindre log-reduksjon. I figur 3.11 er log-kreditten for ulike doser oppgitt. I Norge dimensjoneres det i hovedsak ikke for Adenovirus.

Biodosimetrisk dose	Virus eksl. Adenovirus	Virus basert på Adenovirus
40 mJ/cm ²	4,0b + 3,5v + 4,0p	4,0b + 1,25v + 4,0p
30 mJ/cm ²	3,5b + 3,0v + 3,5p	3,5b + 1,0v + 3,5p
25 mJ/cm ²	3,0b + 2,5v + 3,0p	3,0b + 0,75v + 3,0p

- 1) Forutsatt at UV-dosen er biodosimetrisk bestemt
- 2) Eksisterende anlegg som har blitt godkjent for en gjenomsnittsdose på 30 mJ/cm³, skal gis en maksimal log-reduksjon på 3,0b + 2,5v + 3,0p (3,0b + 0,75v + 3,0p når virus-inaktivering baseres på Adenovirus).

Figur 3.11: Log-reduksjon for UV (Ødegaard mfl. (2014b))

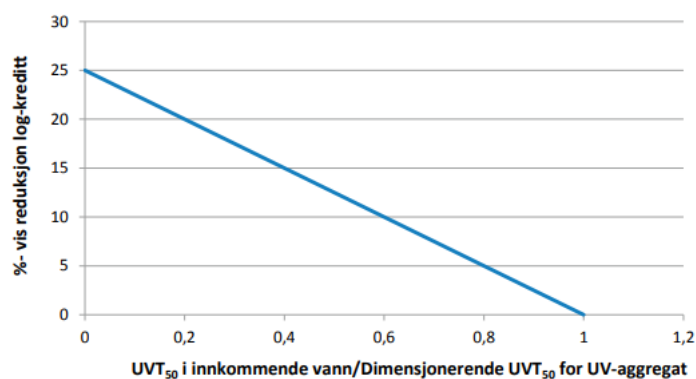
Det gis fratrekk i den maksimale log-reduksjonen for manglende sikkerhetstiltak, slik som det gjøres for klor. Hovedkategoriene er tiltak for kortvarig bortfall eller redusert effekt av UV, tiltak for å redusere risikoen for bortfall eller redusert effekt av UV, andre dimensjonerende tiltak og andre tiltak. De prosentuelle fratrekene er presentert i figur 3.12.

Kategori	Tiltak for å sikre UV-desinfeksjonen	% av maksimal log-reduksjon ¹⁾
A) Kortvarig doseringsbortfall eller redusert effekt	Maksimalt fratrekk i kategorien²⁾	-10 %
	1. Automatisk stengning av all vannproduksjon. (Krever at det er tilstrekkelig med utjevningsskapasitet/buffer volum i systemet)	+10 %
	2. Alarm og automatisk start av reserve desinfeksjon (for eksempel kloranlegg)	+5 %
B) Reduksjon av risikoen for bortfall av- eller redusert effekt på UV anlegget	Maksimalt fratrekk i kategorien²⁾	-20 %
	1. UPS installert	+10 %
	2. Nødstrømsaggregat installert	+10 %
	3. Dokumentasjon av god kvalitet på strømforsyningen	+5 %
C) Andre tiltak av betydning ved dimensjonering	Maksimalt fratrekk i kategorien²⁾	-30 %
	1. Inndeling i reaktorer slik at man kan opprettholde full forsyning ved bortfall av én ³⁾	+5 %
	2. Separat vannmengdemåling for hver UV reaktor (for å sikre god hydraulisk kontroll)	+10 %
	3. Tilfredsstillende måleutstyr installert, UV intensitet sensorer riktig plassert, UV transmisjonsmåler	+5 %
	4. Utjevningsskapasitet plassert etter UV-anlegg ⁴⁾	+10 %
	5. Reserve desinfeksjonsanlegg installert	+5 %
D) Andre tiltak av betydning ved drift	Maksimalt fratrekk i kategorien²⁾	-30 %
	1. Lager med kritisk reserveutstyr ⁵⁾	+5 %
	2. Automatisk stans i all vannproduksjon i forbindelse med oppstart av UV aggregat ⁶⁾	+10 %
	3. God dosekontroll - Basert på set-punkter for UV intensitet (evt. UVT), vannføring og lamper i drift ⁷⁾	+10 %
	4. Automatisk stans i all vannproduksjon hvis drift er utenfor valideringsområdet	+10 %
	5. Alarm hvis drift er utenfor valideringsområdet	+5 %
	6. Tilfredsstillende rutiner for rengjøring, kontroll og kalibrering av sensorer ⁸⁾	+5 %
	7. Driftsdokumentasjon i form av varighetskurver ⁹⁾	+5 %

- 1) Summen av inaktiveringskreditt innen hver hovedkategori kan ikke overstige maksimalt fratrekk pga. manglende tiltak innen hovedkategorien.
- 2) Minimalt fratrekk i hver kategori er 0 %
- 3) For eksempel 2 reaktorer á 100% kapasitet, 3 reaktorer á 50% kapasitet, osv.
- 4) Rentvannstank, høydebasseng eller lign. med volum for minst 12 timers forsyning
- 5) Kvarter, lamper, o-ringer, viskere, viskerdrivverk, ballaster, ballastvifte, UV sensorer, referansesensor og evt.transmisjonsmåler
- 6) Stans inntil full kapasitet er oppnådd, dvs. i henhold til tabell V1.2
- 7) Empirisk ligning for doseberegning basert på UV intensitet, vannføring, evt. UV transmisjon og lampestatus
- 8) Minimum månedlig kontroll/kalibrering med referansesensor, årlig kalibrering av referansesensor
- 9) Med varighetskurver menes kurver over beregnet dose som funksjon av % av tiden (Norsk Vann Rapport 164/2008). Slike varighetskurver kan være et godt hjelpemiddel for å vurdere driftstilstanden sannsynlighet for svikt i barrierefunksjonen.

Figur 3.12: Prosentuell fratrekk av log-reduksjon for manglende sikkerhetstiltak for UV (Ødegaard mfl. (2014b))

I tillegg til at det gis fratrekk for manglende sikkerhetstiltak gis det også et prosentueelt fratrekk i log-reduksjonen for å ta hensyn til at de foregående behandlingsstegene kan svikte. En svikt i det foregående steget vil kunne påvirke og redusere UV-transmisjonen og videre inaktiveringseffekten til UV-anlegget. UV-transmisjonen i det innkommende vannet og den UV-anlegget er dimensjonert for vil påvirke log-reduksjonen. Det skal ikke gis reduksjon i log-kreditten dersom vannverket har automatisk avstengning av vannproduksjonen når UV-anlegget opererer utenfor de driftsforholdene som det er sertifisert for, eller når anlegget drives slik at vannmengden som tilføres er redusert så mye at det er mulig å opprettholde log-reduksjonen i de periodene der de foregående behandlingsstegene er ute av drift. Årsaken til at det ikke gis reduksjon i log-kreditten er for at vannproduksjonen stenges, og det derfor ikke leveres drikkevann til forbrukere som potensielt kan inneholde patogene mikroorganismer.



Figur 3.13: Prosentuell reduksjon i log-kreditt for UV på grunn av UV-transmisjonen i innkommende vann og hva anlegget er dimensjonert for (*Ødegaard mfl. (2014b)*)

Innkommende vann er definert som det vannet som tilføres UV-anlegget når et av de foregående behandlingsstegene har sviktet. Dersom UV-anlegget kun har et behandlingssteg før UV-anlegget vil råvannet være det innkommende vannet. For å bestemme UVT_{50mm} -verdien i det innkommende vannet benyttes maksimalt 10% av de høyeste verdiene målt over det siste året. For UV-anlegget benyttes UVT_{50mm} -verdien som anlegget er dimensjonert for ved maksimal vannproduksjon.

3.7 Total barrierestatus

Når log-kreditten i vannbehandlingen og log-reduksjonen i desinfeksjonsstegene er bestemt, kan den totale barrierestatusen bestemmes. Denne bestemmes ved at den nødvendige barrierehøyden legges til grunn og at log-kreditten fra de ulike prosessene i vannverket trekkes fra. Dersom summen blir negativ for de ulike parameterene er barrierenivået tilfredsstillende, dersom summen blir positiv er det behov for å gjøre tiltak.

Nødvendig barrierehøyde	$x_1\mathbf{b} + y_1\mathbf{v} + z_1\mathbf{p}$
Barrierer i nedslagsfelt og vannkilde	$x_2\mathbf{b} + y_2\mathbf{v} + z_2\mathbf{p}$
Partikkelseparasjonsbarrierer i vannbehandlingen	$x_3\mathbf{b} + y_3\mathbf{v} + z_3\mathbf{p}$
Desinfeksjonsbarrierer	$x_4\mathbf{b} + y_4\mathbf{v} + z_4\mathbf{p}$
Total barriere status	$[x_1 - (x_2 + x_3 + x_4)]\mathbf{b} + [y_1 - (y_2 + y_3 + y_4)]\mathbf{v} + [z_1 - (z_2 + z_3 + z_4)]\mathbf{p}$

Figur 3.14: Utregning av total barrierestatus (*Ødegaard mfl. (2014b)*)

4. Resultater

I dette kapittelet presenteres resultatene av den mikrobielle barriereanalysen for henholdsvis Baterød- og Isesjø vannverk.

4.1 Vurdering av barrieresituasjonen ved Baterød vannverk

4.1.1 Vannkvalitetsnivå

Råvannsprøvene tatt av Glomma, vist i tabell 6.1, viser at det var mer enn 10 E.coli pr. 100 ml og mer enn 3 C. perfringens pr. 100 ml i råvannet. Oppstrøms Baterød vannverk ligger flere avløpsrensaneanlegg, hvor det slippes ut både rensset og urensset avløpsvann. De første kategoriene i figur 3.1 er derfor utelukket. I kategori A er det krav om at det ikke er funnet E.coli, C.perfringens eller parasitter i noen av prøvene. I kategori B er det krav om at det er funnet mindre enn 3 E.coli pr. 100 ml, mindre enn 1 C.perfringens pr. 100 ml og 0 parasitter og i kategori C er det krav om mer enn 3, men mindre enn 10 E.coli pr. 100 ml, mer enn 1, men mindre enn 3 C.perfringens pr. 100 ml og mellom 0 og 0.01 parasitter pr. 100 ml. I disse kategoriene er det også krav om at det ikke slippes ut avløpsvann til råvannskilden. Glomma som råvannskilde klassifiseres derfor i kategori D.

Når avløpsvann slippes ut i råvannskilden, er det krav om å gjennomføre et risiko kartleggingsprogram. Dette kartleggingsprogrammet er i tillegg til å være rettet mot E.coli (EC) og C. perfringens (CP) også rettet mot parasitter (P), i all hovedsak Giardia og Cryptosporidium.

Risiko kartleggingsprogrammet ble utført i 2019, 2020 og 2021. Resultatene av dette er presentert i tabell 6.2, 6.3 og 6.4. Resultatene viser at i 2019 var 77% av prøvene for E.coli over 10 EC/100 ml, 91% av prøvene for C. perfringens over 3 CP/100 ml, det ble ikke funnet noen parasitter. I 2020 ligger E.coli på 79% og C. perfringens på 88%, det ble funnet både Giardia og Cryptosporidium hvor 10% av prøvene var 0.01 P/100 ml. I

2021 var 66% av prøvene for E.coli over 10 EC/100ml og 80% av C. perfringens over 3 CP/100ml, det ble ikke funnet parasitter i 2021.

Gitt av figur 3.1 vil råvannet fra Glomma ende i kategori **Da**, hvor det i middel over prøveperioden er funnet < 0.01 P/100 ml. Middelkonsentrasjonen av parasitter i 2020 var på 0.002 P/100ml, mens den over hele prøveperioden var på 0.00067 P/100ml.

Merk: prøver hvor det er målt " <1 " er satt til 0, da det betyr at det ikke er påvist i vannprøven, og prøver målt " >200 " er satt til 200.

4.1.2 Bestemmelse av nødvendig barrierehøyde

Baterød vannverk forsyner ca. 55 000 innbyggere med drikkevann, og vannkvaliteten er bestemt til å være i kategori *Da*, som betyr at den nødvendige barrierehøyden ved vannverket, fra figur 3.2, er gitt til å være **6.00b + 6.00v + 4.00p**.

4.1.3 Bestemmelse av log-kreditt i tiltak i nedslagsfeltet og kilde samt vannbehandling

Baterød vannverk har koagulering etterfølgende av sedimentering og deretter filtrering i kullfilter. Her vil kullfilteret i tillegg til å fjerne lukt og smak fra vannet også fungere som et partikkelseparasjonsfilter. Det gis ikke noe ekstra log-kreditt for kullfilteret.

I denne analysen regnes koagulering, sedimentering og filtrering som en hygienisk barriere dersom grenseverdien for turbiditet etter filtreringen er satt til 0.2 NTU eller lavere. Baterød vannverk benytter en grenseverdi på 0.6 NTU, men sanntidsmålinger viser at de generelt ligger godt under 0.2 NTU. Når det opereres med en grenseverdi på 0.6 NTU er det ingen garanti for at turbiditeten ligger under 0.2 NTU etter filtreringen. Det kan derfor ikke gis log-kreditt for koagulering, sedimentering og filtrering, da grenseverdien ikke gir noen sikkerhet for at den hygieniske barrieren er opprettholdt.

Det er innført utvidet mikrobiell analyse av råvannet som angitt i det risikobasert prøveprogram beskrevet i avsnitt 2.3.3, noe som gir en log-kreditt på **0.50b + 0.50v + 0.25b**. Det er i tillegg mulig å stenge av råvannstilførselen manuelt dersom en bestemt grenseverdi overskrides, dette gir ytterligere **0.25b + 0.25v + 0.15p** i log-kreditt.

Den endelige log-kreditten for tiltak i og rundt råvannskilden samt vannbehandling utover desinfeksjon er gitt til å være **0.75b + 0.75v + 0.40p**, vist i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Log-kreditt for tiltak i nedslagsfelt og kilde samt vannbehandling utover desinfeksjon

	Bakterier	Virus	Parasitter
Overvåkning av råvannskvalitet (minst som for risikobasert prøveprogram)	0.50	0.50	0.25
Kunne manuelt stenge av råvannstilførsel ved overskridelse av grenseverdi	0.25	0.25	0.15
Koagulering, sedimentering og filtrering	0.00	0.00	0.00
Endelig log-kreditt for overvåkning og vannbehandling utover desinfeksjon:	0.75	0.75	0.40

4.1.4 Bestemmelse av log-reduksjon i sluttdesinfeksjonen i dagens anlegg

Klor

For å beregne inaktiveringsgraden for bakterier, virus og parasitter ved bruk av klor som desinfeksjonsmiddel benyttes det en kombinasjon av målinger og beregninger for å bestemme initialforbruket og nedbrytningskonstanten, metoden er beskrevet i avsnitt 3.6.1. Verdiene nedenfor er oppgitt i samtale med Sarpsborg kommune.

Den maksimale vannmengden produsert pr. time er gitt til å være:

$$Q_{makstime} = 1600m^3/t$$

Volumet av kontakttanken til klor er:

$$V = 800m^3$$

pH i vannet ligger mellom:

$$pH = 6.5 - 7.0$$

Kontakttiden mellom vannet og klor er gitt som forholdet mellom volumet av kontakttanken og den maksimale vannmengden. Utløpet av klorkontakttanken er blokkert med en trevegg og en spalteåpning som skal sikre 30 minutters oppholdstid i tanken uavhengig av hvor stor vannmengde som produseres.

$$Kontakttid = \frac{V}{Q} = \frac{800m^3}{1600m^3/t} = 30min$$

Den effektive oppholdstiden ved $Q_{makstime}$ er gitt ved likning 3.1. Omblandingsforholdet i kontakttanken er ganske bra. Kontakttanken har skjermet utløp og noe skjerming i selve bassenget. Den hydrauliske faktoren blir 0.70, figur 3.7, og seriefaktoren blir 1.00, figur 3.7, da det kun er ett kammer i tanken. Den effektive oppholdstiden i klorkontakttanken blir:

$$t_{eff} = 30min * 0.70 * 1.00 = 21min$$

Klอร์ดosen som benyttes ved Baterød vannverk varierer etter klorbehovet og råvannsmengden, for å oppnå en minimum klorrest på 0.05 mg/l i henhold til drikkevannsfor-

skriften. Driftspersonellet på vannverket justerer klordosen basert på on-line målinger og målte labverdier. Doseringsmengden har de siste 5 årene variert mellom 0.25 - 0.80 g/m^3 , men den oftest benyttede doseringsmengden har ligget mellom 0.40 - 0.50 g/m^3 . Klordosen i denne analysen er satt til 0.45 g/m^3 som er medianen til doseringsintervallet som er oftest benyttet.

$$C_{dose} = 0.45g/m^3 \text{ (1.5\% natriumhypokloritt)}$$

Utløpskonsentrasjonen av klor skal være konstant uavhengig av mengde produsert vann. Det etterstrebtes å ligge tett ned mot grenseverdien på 0.05 g/m^3 som er oppgitt i drikkevannsforskriften, og området det er ønskelig å ligge i er 0.07-0.10 g/m^3 . I denne analysen er utløpskonsentrasjonen derfor satt til 0.08 g/m^3 .

$$C_{ut} = 0.07 - 0.10g/m^3 \approx 0.08g/m^3$$

TOC-verdien som er lagt til grunn for beregning av Ct-verdien for klordosen er den høyeste målte verdien i rentvann i 2021, TOC-verdiene er vist i tabell 6.5.

$$TOC = 3.00mg/l$$

For å beregne det initielle forbuket av klor benyttes likning 3.6:

$$\begin{aligned} IF &= 0.06 * TOC + 0.36 * C_{dose} + 0.08 * \left(\frac{C_{dose}}{TOC}\right) - 0.12 \\ &= 0.06 * 3.00mg/l + 0.36 * 0.45g/m^3 + 0.08 * \left(\frac{0.45g/m^3}{3.00mg/l}\right) - 0.12 \\ &= 0.18 + 0.162 + 0.012 - 0.12 = 0.23 \end{aligned}$$

Den initielle klordosen beregnes ved bruk av likning 3.2:

$$C_i = C_{dose} - IF = 0.45g/m^3 - 0.23 = 0.22g/m^3$$

Inaktiveringskonstanten beregnes ved bruk av likning 3.4:

$$k = -\frac{[\ln \frac{C_{ut}}{C_i}]}{t} = -\frac{[\ln \frac{0.08}{0.22}]}{21} = 0.05$$

Ct-verdien kan beregnes både ved bruk av utløpskonsentrasjonen og initialkonsentrasjonen av klor. Nedenfor er Ct-verdien basert på både utløpskonsentrasjonen og initialkonsentrasjonen beregnet.

Ct-verdien beregnet basert på utløpskonsentrasjonen ved bruk av likning 3.9:

$$Ct = \left(\frac{C_{ut}}{k}\right) * (e^{(k*t)} - 1)$$

$$Ct = \left(\frac{0.08}{0.05}\right) * (e^{(0.05*21)} - 1) = 2.97$$

Ct-verdien beregnet ved bruk av likning basert på initialkonsentrasjonen, likning 3.8, som en kontroll på at Ct-verdien basert på utløpskonsentrasjonen er riktig:

$$Ct = \left(\frac{C_i}{k}\right) * (1 - e^{-(k*t)})$$

$$Ct = \left(\frac{0.22}{0.05}\right) * (1 - e^{-(0.05*21)}) = 2.86$$

For beregning av nødvendig log-reduksjon benyttes 2.86 da det er den laveste beregnede verdien for Ct.

Log-reduksjonene for henholdsvis bakterier, virus og parasitter er beregnet ved bruk av likning 3.10. Dimensjonerende temperatur er gitt til å være 0.5 °C fordi Glomma er en elv, de nødvendige inaktiveringsgradene og Ct-verdiene er hentet fra figur 3.9.

$$n_{beregnet,bakterier} = \frac{n_{n\ddot{o}dvendig}}{Ct_{n\ddot{o}dvendig}} * Ct_{beregnet} = \frac{3.00}{1.50} * 2.86 = 5.72$$

$$n_{beregnet,virus} = \frac{n_{n\ddot{o}dvendig}}{Ct_{n\ddot{o}dvendig}} * Ct_{beregnet} = \frac{3.00}{6.00} * 2.86 = 1.43$$

$$n_{beregnet,Giardia} = \frac{n_{n\ddot{o}dvendig}}{Ct_{n\ddot{o}dvendig}} * Ct_{beregnet} = \frac{2.00}{100} * 2.86 = 0.06$$

$$n_{beregnet,Cryptosporidium} = \frac{n_{n\ddot{o}dvendig}}{Ct_{n\ddot{o}dvendig}} * Ct_{beregnet} = \frac{2}{i.a.} * 2.86 = 0.00$$

Den nødvendige Ct-verdien for Cryptosporidium er så høy at den ikke er relevant og derfor ikke angitt i figur 3.9. Den beregnede inaktiveringsgraden for Cryptosporidium blir derfor 0.

Den maksimale log-kreditten som kan gis for desinfeksjon er 4.00b + 4.00v + 3.00p, log-kreditten for den beregnede inaktiveringsgraden er gitt i tabell 4.2.

Tabell 4.2: Log-kreditt før fratrekk - klor

	Bakterier	Virus	Giardia	Cryptosporidium
Maks log-kreditt	4.00	4.00	3.00	3.00
Beregnet log-kreditt	5.72	1.43	0.06	0.00
Log-kreditt før fratrekk	4.00	1.43	0.06	0.00

Manglende sikkerhetstiltak vil gi fratrekk i log-kreditten funnet over. Sikkerhetstiltakene er knyttet til bortfall av klordosering og strøm, lager av reserveutstyr, rutiner for rengjøring, og kontroll og kalibrering av doseringsutstyret. Baterød vannverk har ikke automatisk stengning av all vannproduksjon ved kortvarig doseringsbortfall, og får derfor 5% fratrekk. Derimot har de alarm og automatisk start av reserve doseringsutstyr ved kortvarige bortfall av klordosering. De har også nødstrømsaggregat og UPS installert, og et utjevningvolum etter desinfeksjonsanlegget. Alle sikkerhetstiltak er presentert i tabell 4.3.

Tabell 4.3: Fratrekk for manglende sikkerhetstiltak - klor

Kategori A	Tiltak ved kortvarig doseringsbortfall	- 10%
	Automatisk stengning av all vannproduksjon	+ 0%
	Alarm og automatisk start av reserve doseringsutstyr	+ 5%
	Totalt fratrekk i kategori A:	-5%
Kategori B	Tiltak for å redusere risikoen for doseringsbortfall	- 15%
	Nødstrømsaggregat og/eller UPS installert	+10%
	Reserve doseringsutstyr for desinfeksjon er installert	+ 5%
	Utjevningvolum etter desinfeksjonsanlegget	+10%
	Totalt fratrekk i kategori B:	0%
Kategori C	Andre tiltak	- 10%
	Tilfredsstillende måleutstyr installert	+ 5%
	Lager med kritisk reserveutstyr	+ 5%
	Tilfredsstillende rutiner for rengjøring, kontroll og kalibrering	+ 5%
	Totalt fratrekk i kategori C:	0%

Etter fratrekk vil log-kreditten for klordosering bli **3.80b + 1.36v + 0.03p** presentert i tabell 4.4. Log-kreditten for parasitter er satt til å være gjennomsnittet av log-kreditten for Giardia og Cryptosporidium.

Tabell 4.4: Log-kreditt etter fratrekk - klor

	Bakterier	Virus	Giardia	Cryptosporidium
Beregnet log-kreditt	4.00	1.43	0.06	0.00
Fratrekk	-0.20	-0.07	0.00	0.00
Log-kreditt	3.80	1.36	0.06	0.00

UV-anlegg

UV-anlegget leverer en UV dose på 67.2 mJ/cm^2 , dette er høyere enn den dosen som er påkrevd fra Mattilsynet, og det gis derfor maksimal log-kreditt for UV-dosen, **4.00b + 3.50v + 4.00p**.

Baterød vannverk har installert en rekke tiltak for å sikre at UV-anlegget skal fungere optimalt og det gis derfor ikke fratrekk i noen av kategoriene vist i tabell 4.5. Det gis ikke fratrekk for at det kan oppstå svikt i UVT-reduserende vannbehandlingsmetoder før UV-anlegget da all vannproduksjon stopper dersom UV-anlegget opererer utenfor de driftsforholdene som det er dimensjonert for.

Den totale log-kreditten for UV-anlegget er lik den maksimale log-kreditten som kan gis for et UV-anlegg, **4.00b + 3.50v + 4.00p**, presentert i tabell 4.6.

Tabell 4.6: Endelig log-kreditt for UV

	Bakterier	Virus	Parasitter
Biodosimetriks dose 40 mJ/cm^2	4.00	3.50	4.00
Fratrekk:	0.00	0.00	0.00
Endelig log-kreditt for UV	4.00	3.50	4.00

Tabell 4.5: Fratrekk for manglende sikkerhetstiltak

Kategori A	Doseringsbortfall eller redusert effekt:	- 10%
	Automatisk stengning av vannproduksjon	+10%
	Alarm og automatisk start av reserve desinfeksjon	+ 5%
	Totalt fratrekk i kategori A	0%
Kategori B	Bortfall av - eller redusert effekt av UV	- 20%
	UPS installert	+10%
	Nødstrømsaggregat installert	+10%
	Totalt fratrekk i kategori B	0%
Kategori C	Andre tiltak av betydning ved dimensjonering	- 30%
	Inndeling i reaktorer slik at man kan opprettholde full forsyning ved bortfall av en.	+ 5%
	Separat vannmengdemåler for hver UV-reaktor	+10%
	Tilfredsstillende måleutstyr installert	+ 5%
	Utjevningsvolum plassert etter UV-anlegg	+10%
	Reserve desinfeksjonsanlegg installert	+ 5%
	Totalt fratrekk i kategori C	0%
Kategori D	Andre tiltak av betydning ved drift	- 30%
	Lager med kritisk reserveutstyr	+ 5%
	Ved oppstart av UV-aggregatene er det automatisk stans av all vannproduksjon	+10%
	God dosekontroll	+10%
	Automatisk stans i vannproduksjon hvis drift er utenfor valideringsområdet	+10%
	Alarm hvis drift er utenfor valideringsområdet	+ 5%
	Tilfredsstillende rutiner for rengjøring, kontroll og kalibrering av sensorer	+ 5%
	Driftsdokumentasjon i form av varighetskurver	+ 5%
	Totalt fratrekk i kategori D	0%

4.2 Vurdering av barrieresituasjonen

Den totale barrieresituasjonen til Baterød vannverk er $-2.55b + 0.39v - 0.43p$, presentert i tabell 4.7. Resultatene fra den mikrobielle barrieren analysen viser at den totale barrierestatusen til Baterød vannverk ikke er tilfredsstillende. Grunnen til dette er at grenseverdien til turbiditeten ut av kullfilteret er satt til 0.6 NTU. I MBA-veiledningen kan det ikke gis log-kreditt for prosessene koagulering, sedimentering og filtrering dersom grenseverdien er satt høyere enn 0.2 NTU. Det vil allikevel være en viss renseeffekt ved en turbiditetsverdi på 0.6 NTU.

Den totale barrierestatusen ved Baterød er dermed ikke tilfredsstillende for virus, da verdien for virus kommer ut positiv. For at barrierene for virus skal være tilfredsstillende

er det behov for å gjøre tiltak. Barrierene for bakterier og parasitter er tilfredsstillende.

Tabell 4.7: Den totale barrieresituasjonen for dagens anlegg

	Bakterier	Virus	Parasitter
Nødvendig barrierehøyde	6.00	6.00	4.00
Log-kreditt for vannbehandling og overvåkning av råvannskilden	-0.75	-0.75	-0.40
Log-kreditt for klor	-3.80	-1.36	-0.03
Log-kreditt for UV	-4.00	-3.50	-4.00
Total barrierestatus	-2.55	0.39	-0.43

4.3 Vurdering av barrieresituasjon med nye tiltak

I den nye behandlingslinjen ved Baterød vannverk er det planlagt å installere et sandfilter etter sedimenteringen for partikkelseparasjon. Til nå er kullfilteret benyttet både som partikkelseparasjonsfilter og til å fjerne lukt og smak. I det nye anlegget skal kullfilteret fungere som etterpoleringsfilter for å fjerne lukt og smak fra vannet. I den mikrobielle barriereanalysen vil kullfilteret regnes som et hurtigsandfilter og det gis log-kreditt deretter, figur 3.5.

Baterød vannverk har operert med en grenseverdi for turbiditet på 0.6 NTU etter kullfilteret, noe som gjør at koaguleringen, sedimentering og filtrering ikke har kunnet regnes som en hygienisk barriere. For å regne dette som en barriere må grenseverdien settes ned til 0.2 NTU, enda bedre er det om verdien settes til 0.1 NTU. Ved 0.2 NTU vil den maksimale log-kreditten være **2.50b + 1.75v + 2.50p**.

Manglende driftsovervåkning vil føre til et prosentuellt fratrekk i log-kreditten som gis for koagulering, sedimentering og filtrering. Vannverket har on-line overvåkning på turbiditet etter kullfilteret og det blir igangsatt manuell korreksjon, eventuelt manuell avstengning av råvannstilførselen dersom grenseverdien overskrides. Det gis derfor 10% fratrekk i log-kreditten, da de ikke har automatisk avstengning av råvannstilførselen.

Tabell 4.8: Prosentuelt fratrekk for manglende driftsovervåking av koagulering, filtrering og sedimentering

Barrieretiltak	Prosentuelt fratrekk
Mangler	40%
Er til stede og aktiverer en alarm ved overskridelse av satt grenseverdi - som leder til manuell korreksjon av prosessbetingelsene (f.eks. justering av pH, koagulant-dose osv.) slik at normal drift gjenopprettes.	20%
Er til stede og aktiverer en alarm ved overskridelse av satt grense verdi - som leder til manuell avstengning av råvannstilførsel inntil årsaken til den unormale målingen er funnet og normal drift er gjenopprettet.	10%
Er til stede og aktiverer en alarm ved overskridelse av satt grenseverdi - som leder til automatisk avstengning av råvannstilførselen inntil årsaken til den unormale målingen er funnet og normal drift er gjenopprettet.	0%

Baterød har automatisk igangsettelse av reservestrømsaggregat og/eller UPS ved bortfall av strøm, det vil derfor ikke gis noe fratrekk i denne kategorien.

Tabell 4.9: Prosentuelt fratrekk for manglende overvåking av strømtilførsel

Barrieretiltak	Prosentuelt fratrekk
Mangler	40%
Er til stede og aktiverer en alarm ved bortfall av strøm, som leder til manuell avstengning av råvannstilførsel inntil normal strømforsyning er gjenopprettet.	20%
Er til stede og aktiverer en alarm ved bortfall av strøm, som leder til automatisk avstengning av råvannstilførsel inntil normal strømforsyning er gjenopprettet.	0%
Er til stede og aktiverer manuell igangsetting av reserveaggregat og/eller UPS ved bortfall av strøm.	20%
Er til stede og aktiverer automatisk igangsetting av reserveaggregat og/eller UPS ved bortfall av strøm	0%

Koagulering, sedimentering og filtrering vil etter fratrekk for manglende driftsovervåking gi en log-kreditt på **2.25b + 1.58v + 2.25p**, vist i tabell 4.10.

Nedenfor er det vist inaktiverings-situasjonene for både en grenseverdi på 0.2 NTU og på 0.1 NTU i tillegg til log-kreditt for kullfilter og sandfilter.

Tabell 4.10: Log-kreditt for vannbehandling utover desinfeksjon med grenseverdi for turbiditet på 0.2 NTU

	Bakterier	Virus	Parasitter
Koagulering, sedimentering, filtrering	2.50	1.75	2.50
Fratrekk for manglende driftsovervåkning	-0.25	-0.18	-0.25
Endelig log-kreditt for vannbehandling utover desinfeksjon:	2.25	1.58	2.25

Barrierenivået øker til henholdsvis til **-5.30b - 1.44v - 3.18p** og **-5.53b -1.89v -3.41p**. Baterød vannverk vil, dersom de senker grensen for turbiditet til 0.2 NTU og uavhengig om de installerer et sandfilter, ha tilstrekkelige hygieniske barrierer.

Tabell 4.11: Den totale barrieresituasjonen med sandfilter og grenseverdi for turbiditet 0.2 NTU

	Bakterier	Virus	Parasitter
Nødvendig barrierehøyde	6.00	6.00	4.00
Log-kreditt for overvåkning av råvannskilden	-0.75	-0.75	-0.40
Log-kreditt for koagulering, sedimentering og filtrering	-2.25	-1.58	-2.25
Log-kreditt for kullfilter	-0.50	-0.25	-0.50
Log-kreditt for klor	-3.80	-1.36	-0.03
Log-kreditt for UV	-4.00	-3.50	-4.00
Total barrierestatus	-5.30	-1.44	-3.18

Tabell 4.12: Den totale barrieresituasjonen med sandfilter og grenseverdi for turbiditet 0.1 NTU

	Bakterier	Virus	Parasitter
Nødvendig barrierehøyde	6.00	6.00	4.00
Log-kreditt for overvåkning av råvannskilden	-0.75	-0.75	-0.40
Log-kreditt for koagulering, sedimentering og filtrering	-2.48	-2.03	-2.48
Log-kreditt for kullfilter	-0.50	-0.25	-0.50
Log-kreditt for klor	-3.80	-1.36	-0.03
Log-kreditt for UV	-4.00	-3.50	-4.00
Total barrierestatus	-5.53	-1.89	-3.41

4.4 Vurdering av barrieresituasjonen ved Isesjø vannverk

4.4.1 Vannkvalitetsnivå

Vannkvalitetsnivået i Isesjø bærer preg av lave verdier for E.coli og C. perfringens. Det er analysert for parasitter en gang i året og det er ikke i løpet av de siste tre årene

funnet parasittene Giardia og Cryptosporidium. Råvannsprøvene for Isesjø er presentert i tabell 6.6, 6.7 og 6.8.

Middelverdien av E.coli over hele prøveperioden (2019, 2020, 2021) var på 2.23 EC/100 ml, for C.perfringens var middelverdien på 0.42 CP/100 ml. Den høyeste enkelt verdien for E.coli var på 12 E.coli pr. 100 ml. og for C. perfringens var den høyeste verdien målt til 1 CP pr. 100 ml.

Ettersom det er utslipp av avløpsvann til Isesjø og den høyeste målte verdien av E.coli var på over 10 EC/100 ml er vannkvalitetsnivåene A og B utelukket. I kategori er det krav om at ingen av prøvene skal slå ut på E.coli, C.perfringens eller parasitter, og i kategori B må verdien av E.coli være mindre enn 3 EC/100 ml, det er også krav om at det ikke slippes avløpsvann ut i råvannskilden i både kategori A og B.

På grunn av at middelverdien til E.coli gjennom hele prøveperioden var under 10 EC/100 ml og middelverdien for parasitter var under 0.01 P/100 ml klassifiseres Isesjø i vannkvalitetsnivå **Cc**.

4.4.2 Bestemmelse av nødvendig barrierehøyde

Isesjø vannverk leverer vann til ca. 6 000 innbyggere i Skjeberg, som er et tettsted i Sarpsborg kommune.

Den nødvendige barrierehøyden for Isesjø vannverk er basert på vannkvalitetsnivået funnet i avsnitt 4.4.1 og figur 3.2. Den nødvendige barrierehøyden er på **5.00b + 5.00v + 3.50p**.

4.4.3 Bestemmelse av log-kreditt i tiltak i nedslagsfelt og kilde samt vannbehandling

Isesjø er en innsjø og det er derfor mulig å utføre tiltak i nedslagsfeltet og kilden slik at den mikrobiologiske kvaliteten i vannet kan bedres. Det gis kun log-kreditt for planlagte, nye tiltak og ikke for allerede eksisterende tiltak, da disse allerede vises i råvannsprøvene som er benyttet til å klassifisere råvannskvaliteten. Isesjø vannverk har ingen nye tiltak planlagt for nedslagsfeltet eller råvannskilden. Det gis derfor ikke log-kreditt for tiltak i nedslagsfelt og kilde. De mulige barrieretiltakene er presentert i tabell 4.13.

Tabell 4.13: Barrieretiltak for innsjøer og nedslagsfelt

Reduksjon av forurensningstilførsel til kilden	Er tiltaket planlagt?
Sanering av alle avløpsutslipp til kilden og til bekker og elver som leder direkte til kilden.	Nei
Innføring av lukkede avløpssystemer (lukket tank) for alle utslipp i nedslagsfeltet eller bortledning av avløpsvann fra nedslagsfeltet.	Nei
Oppsetting av stengsel for å hindre at beitedyr og hunder kommer i direkte kontakt med kilden samt oppsetting av avfallskontainere i nedslagsfeltet.	Nei
Restriksjoner på aktivitet i vannkilde og nedslagsfelt	
Innføre forbud (evt. restriksjoner) mot beitedyr i nedslagsfeltet.	Nei
Innføre forbud mot potensielt forurensende aktiviteter i nedslagsfeltet, f.eks. bolighus, hytter, motorferdsel osv.	Nei
Innføre forbud (evt. restriksjoner) mot bruk av vannkilden til båtsport, bading og annen aktivitet.	Nei
Tiltak knyttet til inntak	
Senkning av råvannsinntak til et dyp som sikrer at sprangsjiktet ikke når ned til inntaket bortsett fra i sirkulasjonsperiodene.	Nei
Flytting av råvannsinntak slik at det kan dokumenteres gjennom hydrauliske studier at tilførsler av avløpsvann og avføring fra beitedyr via elver og bekker påvirker inntaket i ubetydelig grad.	Nei

Det er innført utvidet mikrobiell analyse av råvannet minst som angitt for nettkontroll, noe som gir en log-kreditt på $0.25b + 0.25v + 0.15b$.

Isesjø vannverk har koagulering med etterfølgende sedimentering og filtrering i aktive kullfiltre. Grenseverdien for turbiditet etter filtrering er satt til 0.2 NTU. Log-kreditten som gis for denne prosessen er $2.50b + 1.75v + 2.50p$.

Hvor effektiv prosessen er og hvor stor log-reduksjonen av patogene mikroorganismer er vil avhenge av hvordan vannbehandlingen driftes. Det gis derfor fratrukk fra log-kreditten over dersom det er mangler i driftsovervåkingen. De prosentuelle fratrukkene for driftsovervåkingen er presentert i tabell 3.6.

For koagulering med etterfølgende sedimentering og filtrering vil on-line overvåking på turbiditet være egnet til å vise hvor godt prosessen fungerer. Nedenfor er det gitt

de prosentuelle fratrekke dersom det mangler on-line overvåkning på turbiditet eller hvilke tiltak som gjøres dersom grenseverdien for turbiditet overskrides.

Isesjø har on-line overvåkning på turbiditet og det blir igangsatt manuell korreksjon og eventuelt manuell avstengning av råvannstilførselen dersom grenseverdien overskrides. Det gis derfor 10% fratrekke i log-kreditten da de ikke har automatisk avstengning av råvannstilførselen.

Tabell 4.14: Prosentuelt fratrekke for manglende driftsovervåkning av koagulering, filtrering og sedimentering

Barrieretiltak	Prosentuelt fratrekke
Mangler	40%
Er til stede og aktiverer en alarm ved overskridelse av satt grenseverdi - som leder til manuell korreksjon av prosessbetingelsene (f.eks. justering av pH, koagulant-dose osv.) slik at normal drift gjenopprettes.	20%
Er til stede og aktiverer en alarm ved overskridelse av satt grense verdi - som leder til manuell avstengning av råvannstilførsel inntil årsaken til den unormale målingen er funnet og normal drift er gjenopprettet.	10%
Er til stede og aktiverer en alarm ved overskridelse av satt grenseverdi - som leder til automatisk avstengning av råvannstilførselen inntil årsaken til den unormale målingen er funnet og normal drift er gjenopprettet.	0%

Bortfall av strøm til vannverket kan føre til at vannbehandlingsprosessene ikke vil gi samme effekt eller ikke virke slik de skal. Bortfall av strøm kan derfor føre til at det ikke er like stor reduksjon av patogene mikroorganismer som det ville vært når strømmen er på plass. Det gis derfor fratrekke i log-kreditten dersom det ikke er tiltak som fører til at reserveaggregater og UPS blir igangsatt når det er bortfall av strøm.

Isesjø vannverk har automatisk igangsetting av UPS for styrestrøm, men selve driften av vannverket vil ikke motta strøm fra reservestrømsaggregater eller UPS. At prosessene i vannverket ikke mottar strøm innebærer at det ikke vil bli produsert drikkevann når strømmen er borte. Råvannspumpene vil stoppe og det blir ikke tilført nytt vann inn på vannverket. Når strømmen på Isesjø er borte har Baterød vannverk mulighet til å forsyne innbyggerne i Skjeberg med rent drikkevann. I tabell 4.15 gis det 0% fratrekke fordi bortfall av strøm automatisk fører til at råvannstilførselen stenges.

Tabell 4.15: Prosentuelt fratrekk for manglende overvåkning av strømtilførsel

Barrieretiltak	Prosentuelt fratrekk
Mangler	40%
Er til stede og aktiverer en alarm ved bortfall av strøm, som leder til manuell avstengning av råvannstilførsel inntil normal strømforsyning er gjenopprettet.	20%
Er til stede og aktiverer en alarm ved bortfall av strøm, som leder til automatisk avstengning av råvannstilførsel inntil normal strømforsyning er gjenopprettet.	0%
Er til stede og aktiverer manuell igangsetting av reserveaggregat og/eller UPS ved bortfall av strøm.	20%
Er til stede og aktiverer automatisk igangsetting av reserveaggregat og/eller UPS ved bortfall av strøm	0%

Dette gir **2.50b** + **1.82v** + **2.40p** i log-kreditt for barrieretiltak i nedslagsfelt og kilde, overvåkning av råvannskilden samt vannebehandling utover desinfeksjonen, tabell 4.16.

Tabell 4.16: Log-kreditt for overvåkning av råvannskilden samt vannbehandling

	Bakterier	Virus	Parasitter
Overvåkning av råvannskvalitet (minst som for nettkontroll)	0.25	0.25	0.15
Koagulering, sedimentering, filtrering	2.50	1.75	2.50
Fratrekk for manglende driftsovervåkning	-0.25	-0.18	-0.25
Endelig log-kreditt for overvåkning:	2.50	1.82	2.40

4.4.4 Bestemmelse av log-reduksjon i sluttdesinfeksjonen

Klor

Når inaktiveringsgraden for bakterier, virus og parasitter skal beregnes benyttes det samme framgangsmåte som for beregningene ved Baterød vannverk. Initialforbruket og nedbrytningskonstanten beregnes med en kombinasjon av målinger og beregninger, vist i avsnitt 3.6.1. Verdiene nedenfor er oppgitt i samtale med Sarpsborg kommune.

Den maksimale vannmengden produsert pr. time er gitt til å være:

$$Q_{maksime} = 250m^3/t$$

Utløpet i bunnen av klorkontaktanken er blokkert med fjærluker slik at det oppnås god innblanding av klor ved alle produserte vannmengder. Klorkontaktanken er på 90 m^3 , mens rentvannsbassenget er på 380 m^3 som skal sikre tilstrekkelig oppholdstid. Kontakttiden skal være minimum 30 minutter.

$$V_{klorkontakttank} = 90m^3$$

$$V_{rentvannsbasseng} = 380m^3$$

$$Kontaktid = 30min$$

Den effektive oppholdstiden ved $Q_{maksime}$ er gitt ved likning 3.1. Omblandingsforholdet i kontakttanken er ganske bra og kontakttanken har skjermet utløp og noe skjerming i selve bassenget. Den hydrauliske faktoren blir 0.70 og seriefaktoren blir 1.00 fordi det kun er ett kammer i kontakttanken, faktorene er funnet ved bruk av figur 3.7.

$$t_{eff} = 30min * 0.70 * 1.00 = 21min$$

pH i vannet som skal kloreres er:

$$pH \approx 6.2$$

Doseringsmengden av klor har de siste 5 årene variert mellom 0.40 - 1.30 g/m^3 . Klordosen varierer etter klorbehovet og råvannsmengden, slik at det oppnås en minimum klorrest på 0.05 mg/l. Den oftest benyttede doseringsmengden har de siste årene ligget mellom 0.70 - 0.90 g/m^3 . Klordosen i denne analysen er satt til 0.80 g/m^3 som er gjennomsnittet til doseringsintervallet som er oftest benyttet.

$$C_{dose} = 0.80g/m^3 \text{ (1.0\% natriumhypokloritt)}$$

Grenseverdien for restklor i drikkevannsforskriften er satt til 0.05 g/m^3 . Det etterstrebtes derfor å ligge tett ned mot denne grensen, og det er ønskelig å ligge i området 0.07 - 0.10 g/m^3 . Utløpskonsentrasjonen er satt til 0.08 g/m^3 som ligger i dette intervallet.

$$C_{ut} = 0.07 - 0.10g/m^3 \approx 0.08g/m^3$$

TOC-verdien som er lagt til grunn for beregning av Ct-verdien for klordosen er den høyeste målte verdien i rentvann i 2021 vist i tabell 6.5.

$$TOC = 4.80mg/l$$

Benytter likning 3.6 til å beregne det initielle forbruket av klor:

$$\begin{aligned} IF &= 0.06 * TOC + 0.36 * C_{dose} + 0.08 * \left(\frac{C_{dose}}{TOC}\right) - 0.12 \\ &= 0.06 * 4.80mg/l + 0.36 * 0.80g/m^3 + 0.08 * \left(\frac{0.80g/m^3}{4.80mg/l}\right) - 0.12 \\ &= 0.29 + 0.29 + 0.013 - 0.12 = 0.47 \end{aligned}$$

Den initielle klordosen beregnes ved bruk av likning 3.2:

$$C_i = C_{dose} - IF = 0.80g/m^3 - 0.47 = 0.33g/m^3$$

Inaktiveringskonstanten beregnes ved bruk av likning 3.4:

$$k = -\frac{[\ln \frac{C_{ut}}{C_i}]}{t} = -\frac{[\ln \frac{0.08}{0.33}]}{21} = 0.07$$

Ct-verdien beregnet ved bruk av likning basert på likning 3.9 for utløpskonsentrasjonen:

$$Ct = \left(\frac{C_{ut}}{k}\right) * (e^{(k*t)} - 1)$$

$$Ct = \left(\frac{0.08}{0.07}\right) * (e^{(0.07*21)} - 1) = 3.80$$

Ct-verdien beregnet ved bruk av likning 3.8 basert på initialkonsentrasjonen som en kontroll på at Ct-verdien basert på utløpskonsentrasjonen er riktig:

$$Ct = \left(\frac{C_i}{k}\right) * (1 - e^{-(k*t)})$$

$$Ct = \left(\frac{0.33}{0.07}\right) * (1 - e^{-(0.07*21)}) = 3.60$$

Benytter den laveste verdien for Ct for beregning av nødvendig log-reduksjon.

Log-reduksjonene for bakterier, virus og parasitter er beregnet ved bruk av likning 3.10. De nødvendige inaktiveringsgradene og Ct-verdiene er hentet fra figur 3.9, dimensjonerende temperatur er 4 °C fordi råvannskilden er en innsjø.

$$n_{beregnet,bakterier} = \frac{n_{n\ddot{o}dvendig}}{Ct_{n\ddot{o}dvendig}} * Ct_{beregnet} = \frac{3.00}{1.00} * 3.60 = 10.8$$

$$n_{beregnet,virus} = \frac{n_{n\ddot{o}dvendig}}{Ct_{n\ddot{o}dvendig}} * Ct_{beregnet} = \frac{3.00}{4.00} * 3.60 = 2.70$$

$$n_{beregnet,Giardia} = \frac{n_{n\ddot{o}dvendig}}{Ct_{n\ddot{o}dvendig}} * Ct_{beregnet} = \frac{2.00}{75} * 3.60 = 0.10$$

$$n_{beregnet,Cryptosporidium} = \frac{n_{n\ddot{o}dvendig}}{Ct_{n\ddot{o}dvendig}} * Ct_{beregnet} = \frac{2}{i.a.} * 3.60 = 0.00$$

Den nødvendige Ct-verdien for inaktivering av Cryptosporidium er så høy at den ikke

er relevant. Inaktiveringsgraden for *Cryptosporidium* blir derfor 0.

Log-kreditten for desinfisering med klor er på **4.00b + 2.70v + 0.05p** for fratrekk for manglende sikkerhetstiltak. Log-kreditten for parasitter er gitt til å være gjennomsnittet av log-kreditten for *Giardia* og *Cryptosporidium*.

Tabell 4.17: Log-kreditt før fratrekk - klor

	Bakterier	Virus	Giardia	Cryptosporidium
Maks log-kreditt	4.00	4.00	3.00	3.00
Beregnet log-kreditt	10.8	2.70	0.10	0.00
Log-kreditt før fratrekk	4.00	2.70	0.10	0.00

For at kloranlegget skal fungere optimalt er det viktig at sikkerhetstiltak rundt anlegget er tilstedet. Isesjø har automatisk stenging av all vannproduksjon ved korte doseringsbortfall og alarm, men ikke automatisk start av reservedoseringsutstyr. Nødstrømsaggregat og UPS er ikke installert for å drive prosessen når det er strømbrudd. Det er derimot installert et utjevningsvolum etter klordesinfeksjonsanlegget. Alle tiltakene som er installert er presentert i tabell 4.18.

Tabell 4.18: Fratrekk for manglende sikkerhetstiltak - klor

Kategori A	Tiltak ved kortvarig doseringsbortfall	- 10%
	Automatisk stengning av all vannproduksjon	+10%
	Alarm og automatisk start av reserve doseringsutstyr	+ 0%
	Totalt fratrekk i kategori A:	0%
Kategori B	Tiltak for å redusere risikoen for doseringsbortfall	- 15%
	Nødstrømsaggregat og/eller UPS installert	+ 0%
	Reserve doseringsutstyr for desinfeksjon er installert	+ 5%
	Utjevningsvolum etter desinfeksjonsanlegget	+10%
	Totalt fratrekk i kategori B:	0%
Kategori C	Andre tiltak	- 10%
	Tilfredsstillende måleutstyr installert	+ 5%
	Lager med kritisk reserveutstyr	+ 5%
	Tilfredsstillende rutiner for rengjøring, kontroll og kalibrering	+ 5%
	Totalt fratrekk i kategori C:	0%

Den totale log-kreditten som gis for desinfeksjon med klor er **4.00b + 2.70v + 0.05p**. Det gis ikke fratrekk for manglende driftsovervåking da all vannproduksjon stenges når

enten strømmen går eller det er kortvarige bortfall av klordosering.

UV-anlegg

UV-anlegget ved Isesjø vannverk leverer en UV-dose på 40 mJ/cm^2 , og det gis derfor maksimal log-kreditt for UV-dosen på **4.00b + 3.50v + 4.00p**. Det gis fratrukk for manglende sikkerhetstiltak ved UV-anlegget, se tabell 4.19. Drift og sikkerhetstiltak rundt anlegget er viktig for at UV-anlegget skal fungere optimalt.

Tabell 4.19: Prosentuelt fratrukk for manglende sikkerhetstiltak

Kategori A	Doseringsbortfall eller redusert effekt:	- 10%
	Automatisk stengning av vannproduksjon	+10%
	Alarm og automatisk start av reserve desinfeksjon	+ 0%
	Totalt fratrukk i kategori A	0%
Kategori B	Bortfall av - eller redusert effekt av UV	- 20%
	UPS installert	+ 0%
	Nødstrømsaggregat installert	+ 0%
	Totalt fratrukk i kategori B	- 20%
Kategori C	Andre tiltak av betydning ved dimensjonering	- 30%
	Inndeling i reaktorer slik at man kan opprettholde full forsyning ved bortfall av en.	+ 5%
	Separat vannmengdemåler for hver UV-reaktor	+ 0%
	Tilfredsstillende måleutstyr installert	+ 5%
	Utjevningsvolum plassert etter UV-anlegg	+10%
	Reserve desinfeksjonsanlegg installert	+ 5%
	Totalt fratrukk i kategori C	-5%
Kategori D	Andre tiltak av betydning ved drift	- 30%
	Lager med kritisk reserveutstyr	+ 5%
	Ved oppstart av UV-aggregatene er det automatisk stans av all vannproduksjon	+10%
	God dosekontroll	+10%
	Automatisk stans i vannproduksjon hvis drift er utenfor valideringsområdet	+10%
	Alarm hvis drift er utenfor valideringsområdet	+ 5%
	Tilfredsstillende rutiner for rengjøring, kontroll og kalibrering av sensorer	+ 5%
	Driftsdokumentasjon i form av varighetskurver	+ 0%
	Totalt fratrukk i kategori D	0%

Isesjø får 20% fratrukk i kategori B for manglende nødstrømsaggregat og UPS og 5% fratrukk i kategori C for manglende vannmengdemåler for hver UV-reaktor. Den totale log-kreditten for UV-anlegget blir **3.00b + 2.62v + 3.00p**, vist i tabell 4.20.

Tabell 4.20: Endelig log-kreditt for UV

	Bakterier	Virus	Parasitter
Biodosimetriks dose $40 \text{ mJ}/\text{cm}^2$	4.00	3.50	4.00
Fratrekk i kategori B:	0.80	0.70	0.80
Fratrekk i kategori C:	0.20	0.18	0.20
Endelig log-kreditt for UV	3.00	2.62	3.00

4.4.5 Vurdering av barrieresituasjonen

Tabell 4.21: Den totale barrieresituasjonen for dagens anlegg

	Bakterier	Virus	Parasitter
Nødvendig barrierehøyde	5.00	5.00	3.50
Log-kreditt for vannbehandling og overvåkning av råvannskilden	-2.50	-1.82	-2.40
Log-kreditt for klor	-4.00	-2.70	-0.05
Log-kreditt for UV	-3.00	-2.62	-3.00
Total barrierestatus	-4.50	-2.14	-1.95

Den totale barrieresituasjonen hos Isesjø vannverk er tilfredsstillende. De har gode barrierer for bakterier, virus og parasitter. Tiltakene som gir log-kreditt er kun vannbehandlingsprosesser og sluttdeinfeksjon, for å ytterligere øke sine hygieniske barrierer bør tiltak i nedslagsfelt og råvannskilden vurderes.

5. Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres det både ulike sider ved den mikrobielle barriereanalysen, og resultatene for Baterød- og Isesjø vannverk. Til slutt gis det en kort redegjørelse for betydningen av de resultatene som er funnet og anbefalinger gitt til Sarpsborg kommune.

5.1 Mikrobiell barriereanalyse

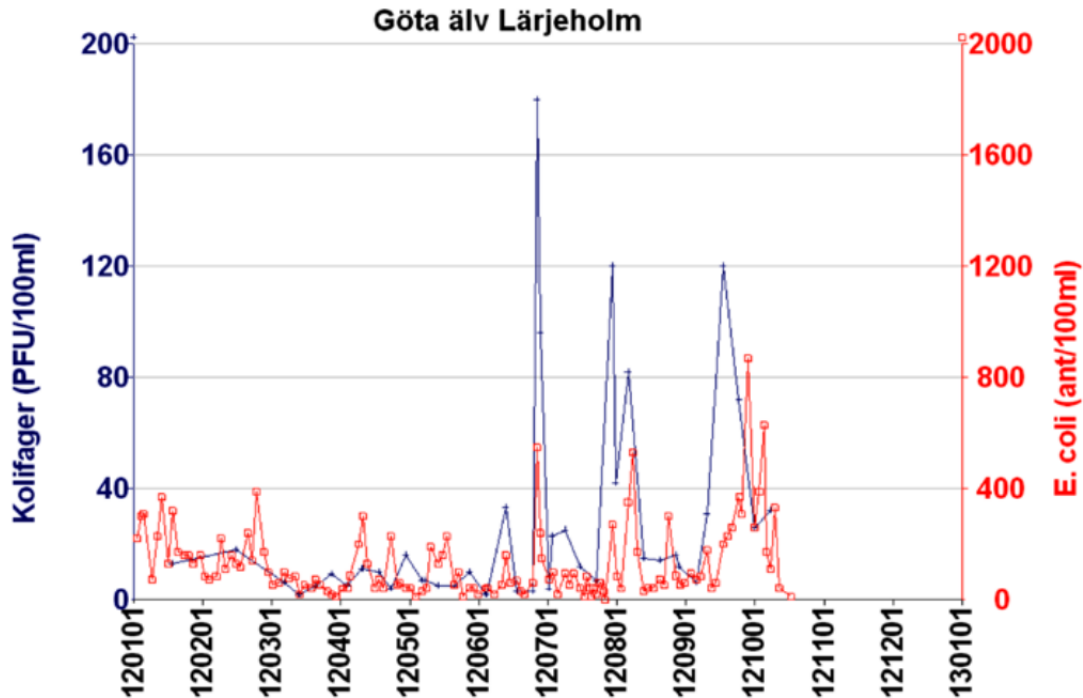
Når vannkvalitetsnivået, avsnitt 3.2, til råvannskilden skal bestemmes legges det i de første kategoriene A, B og til en viss grad C stor vekt på funn av E.coli og C.perfringens. Når vannkvaliteten blir dårligere og kategori D blir aktuell, vil E.coli nivåer over 10 antall/100 ml ikke være avgjørende for hvilken av underkategoriene råvannskilden havner i. Mye tyder på at det har vært fokuset på tilstedeværelsen av parasitter, under utarbeidelsen av analysen, som har vært utslagsgivende for hvilken kategori råvannskilden havner i.

Høye verdier av E.coli og C.perfringens kan tyde på at vannet er kontaminert med parasitter, men det er ikke nødvendigvis slik. Ved svært høye E.coli-verdier og med lave parasittnivåer vil ikke råvannskilden umiddelbart ende i den dårligste kategorien. Høye nivåer av E.coli burde vektlegges tyngre enn det gjøres i dagens MBA-analyse.

Videre stilles det i dag ingen krav til vannverkseiere om å ta analyseprøver av virus. Analyseprøver av virus er svært krevende å gjennomføre. Humuspartikler i vannet kan interferere med påvisningen og viruskonsentrasjonen i vannet er ofte lav, og prøven må derfor oppkonsentreres (*Myrmet (2004)*).

Et treårig samarbeidsprosjekt (VISK, Virus i vann) mellom en rekke skandinaviske land undersøkte mengden virus i skandinaviske vassdrag. Målet var å øke kunnskapsnivået om virus i vann, og hvordan vannverkseiere i fremtiden skal kunne håndtere denne risikoen. En av undersøkelsene foregikk i Göta älv, hvor de fant en sammenheng mellom somatiske kolifager (virus) og E.coli (bakterier) (*Håkonsen og Sal (2013)*). Figur 5.1 viser at antall kolifager i elven følger E.coli nivåene, og at det i noen tilfeller er mer kolifager i elven enn det er E.coli. Noe som kan tyde på at kolifagene er en mer holdbar indikator på

forekomsten av smittestoffer i råvannskilden (*Håkonsen og Sal (2013)*). Både somatiske kolifager og E.coli er indikatorer for fekal forurensning, det er derfor ikke overraskende å finne begge i vassdragene.



Figur 5.1: Somatiske kolifager og E.coli i Göta älv Lärjeholm (*Håkonsen og Sal (2013)*)

I vannkvalitetskategori D vil den nødvendige inaktiveringsgraden for bakterier og virus være 6 log i alle underkategorier for vannverk med over 10 000 personer tilknyttet, vist i figur 3.2. Log-reduksjonen for bakterier burde trolig vært økt til 7 log når E.coli-verdiene er 100 E.coli/100ml og videre til 8 log reduksjon for verdier fra 1000 E.coli/100 ml. Funnene i VISK viser at virusnivåene i vassdragene i stor grad følger E.coli nivåene, log-reduksjonen for virus bør derfor følge log-reduksjonen til E.coli.

VISK fant også store variasjoner i renseeffekt ved ulike vannbehandlingsprosesser. Effekten virusfjerningsprosessene gir vil variere fra vannverk til vannverk, og avhenge av hvor godt prosessen driftes. Det er dermed ikke gitt at vannverkene oppnår den effekten som det gis log-kreditt for i denne analysen selv med god driftsovervåkning. Det gis i denne analysen fratrukk for manglende driftsovervåkning, men om dette er nok til å gi et sannferdig bilde av virusfjerningen er vanskelig å si. VISK mener det bør tas utgangspunkt i de laveste verdiene i tabell 5.2, som de fant i sine forsøk. Dersom det skal gis høyere log-kreditt for prosessene bør de baseres på egne prøver som har gitt representative resultater for de gitte prosessene i vannverket (*Håkonsen og Sal (2013)*).

Tabell 12: Oversikt over oppnådde log-fjerningsdata for forsøkene utført i VISK

Rensetrinn	Virus	Kommentar
Løsmasser	4	Fjerning forårsaket av adsorpsjon/filtrering gjennom 40 m sand med $n = 0,15$.
	7	Total fjerning oppnådd, inkludert dispersjon og fortykning på grunn av heterogeniteter i akviferen og pumping ($Q = 7$ l/sek).
Kjemisk felling og filtrering	1 - 3	Forsøk utført i pilotskala ved NRV. To forsøk med sedimentering (i superpulsator) og to med felling direkte på filter.
Kullfilter	0 - 1	Adsorpsjonseffekt
Ultrafiltrering	2 - 4	Basert på ett enkelt spikingsforsøk med $\phi\chi 174$. Se figur 12.
Klor (hypokloritt)	0,5 - 6	Lab-skalaforøk med overskudd av fritt klor. Resultatene avhenger av Ct-verdi og type virus. Se tabell 4.

Figur 5.2: Oppnådde barriereeffekter i VISK-forsøk (*Håkonsen og Sal (2013)*)

5.2 Baterød vannverk

I denne oppgaven er det gjennomført en mikrobiell barriereanalyse for Baterød vannverk og resultatene viser at Baterød vannverk ikke har tilstrekkelige hygieniske barrierer i dag.

5.2.1 Forekomst av parasitter i Glomma

Glomma, råvannskilden til Baterød vannverk, havner i vannkvalitetskategori *Da* grunnet blant annet lav forekomst av parasitter.

Oppstrøms Baterød vannverk finnes det en rekke avløpsrenseanlegg hvor det til tider går overløp direkte ut i Glomma. I tillegg er det stor forekomst av både ville dyr og husdyr i nedslagsfeltet til Glomma. Med dette i mente skulle en tro at forekomsten av parasitter var høyere enn det som er funnet i råvannet.

Det er en rekke faktorer som påvirker risikoen for at det forekommer parasitter i drikkevannskilden og for at disse skal forårsake utbrudd. Parasitter forekommer ikke i vannet dersom det ikke er et utbrudd, som vil si at mennesker og/eller dyr er syke. Generelt viser data at det er lav forekomst av parasitter blant befolkningen, og at de som blir smittet ofte er smittet i utlandet (*Robertson mfl. (2009)*).

En annen faktor er overlevelsen av parasitter i norske elver. L.J. Robertson og B.K. Gjerde publiserte i 2006 en rapport om overlevelse av parasittene *Giardia* og *Cryptosporidium* i norske elver om vinteren. Studien viste at ingen *Cryptosporidium* oocyster var levedyktige etter 20 uker og ingen *Giardia* cyster overlevde etter 1 måned (*Robertson og Gjerde (2006)*). Konklusjonen til studien antyder at infeksjoner med enten *Giardia* eller *Cryptosporidium* ikke stammer fra parasitter som har overvintret i norske elver.

De lave verdiene av parasitter i Glomma kan derfor skyldes lite smitte i befolkningen og blant dyr, og at parasittene ikke overlever kalde vintre.

5.2.2 Høye E.coli verdier i Glomma

E.coli verdiene målt i Glomma viser store kontraster, med lave verdier i sommermånedene og høye verdier høst, vinter og vår.

Den mikrobielle barriereanalysen benytter ikke E.coli verdier over 10 antall/100 ml til å bestemme vannkvalitetsnivået i råvannskilden. Når verdiene blir over 10 antall/100 ml er det antall parasitter som bestemmer hvilket nivå råvannskilden ender i. Glomma har verdier opp mot 400 antall/100 ml og flere målinger på “>200” antall/100 ml. En av de viktigste oppgavene ved vannverkene er å fjerne og inaktivere patogene mikroorganismer, noe som betyr at vannbehandlingsprosessene også ved disse ekstreme situasjonene hvor E.coli verdiene er svært høye må klare å fjerne/inaktivere de patogene mikroorganismene. De høye E.coli-verdiene burde derfor trolig vært lagt til grunn i bestemmelsen av vannkvalitetsnivået i Glomma, og ikke i like stor grad av parasittene når verdiene er så lave som analyseresultatene viser.

Siden Glomma er svært påvirket av menneskelig aktivitet og utslipp av avløpsvann oppstrøms Baterød vannverk, ville det mulig vært naturlig å plassere Glomma i den dårligste vannkvalitetskategorien, Dc. Men siden analyseprøvene viser at forekomsten av parasitter er svært lav og E.coli nivåene ikke legges til grunn for bestemmelsen av kategorien, ble det ansett som unødvendig å plassere Glomma i Dc.

5.2.3 Grenseverdi for turbiditet

I veiledningen til drikkevannsforskriften gis det eksempler på vannbehandlingsprosesser som “*normalt bør fungere som en hygienisk barriere*”. Det stilles ingen krav til grenseverdier, men det gis en faglig veiledning. Når koagulering, sedimentering og filtrering driftes optimalt og dermed kan regnes som en hygienisk barriere er “*Turbiditeten da erfaringsmessig mindre enn 0,2 FNU*” (*Mattilsynet (2021)*). Baterød vannverk har operert med en grenseverdi på 0.6 NTU ut av kullfilteret da de har tolket drikkevannsforskriften etter Vedlegg 1 om turbiditet hvor det står “*Mattilsynet anbefaler at turbiditeten ut fra vannbehandlingsanlegget ikke overskrider 1 NTU ved vannforsyningssystemer som benytter overflatevann.*” (*Helse- og omsorgsdepartementet (2016)*), de har i god tro lagt seg godt under denne grensen.

Forskning gjort på utløpsturbiditet og respektive inaktiveringsgrader for patogene mikroorganismer, presentert i avsnitt 2.3.4, viser at inaktiveringsgraden drastisk øker ved turbiditet på 0.2 NTU eller lavere. I MBA-veiledningen må grenseverdien for turbiditet være lavere enn 0.2 NTU for å kunne gi log-kreditt for koagulering, sedimentering og filtrering. Prosessen regnes med det ikke som en hygienisk barriere dersom grenseverdien er satt høyere, selvom en grenseverdi på f.eks. 0.6 NTU fortsatt vil ha en viss renseseffekt.

Rentvannsprøvene til Baterød vannverk, vist i tabell 6.5, viser at de i 2021 lå under 0.2 NTU hele året, slik at prosessen har fungert optimalt og barrieren har vært god. De har derimot ingen garanti for at turbiditeten overskrider 0.2 NTU da grensen deres er satt høyere. Det vil derfor være å anbefale og senke grensen til 0.2 NTU slik at de blir varslet dersom barrieren ikke fungerer optimalt. Å senke grenseverdien for turbiditet vil også føre til at Baterød vannverk har tilstrekkelige barrierer både for bakterier, virus og parasitter.

5.2.4 Virus

Baterød vannverk har ikke tilstrekkelig hygieniske barrierer for virus når koaguleringen, sedimenteringen og filtreringen opererer med en grenseverdi for turbiditet ut av kullfiltrene på over 0.2 NTU. Når det benyttes en grenseverdi for turbiditet satt til over 0.2 NTU vil det være større mulighet for virus å slippe unna og ikke fanges opp i filtrene og dermed føre til lavere log-reduksjon av virus. I verste fall blir ikke virus fjernet i denne vannbehandlingsprosessen i det hele tatt.

Den totale barrierestatusen til Baterød vannverk med grenseverdi for turbiditet ut av filtrene på 0.2 NTU og sandfilter installert, viser at log-reduksjonen for virus er på 1.44 log. For bakterier og parasitter er den totale log-reduksjonen vesentlig høyere, henholdsvis 5.3 log for bakterier og 3.18 log for parasitter. Selv med tiltak for å bedre de hygieniske barrierene er log-reduksjonen av virus lavere enn for bakterier og parasitter. Årsaken til at log-reduksjonen av virus er lavere kan skyldes størrelsen på virusene og den enkle, men mer robuste strukturen. Ved filtrering er det vanskeligere å fjerne virus på grunn av størrelsen, og strukturen gjør dem noe mer motstandsdyktige for klorering og ozonering (*Håkonsen og Sal (2013)*). For å øke log-reduksjonen for virus vil installasjon av et membranfilter med tilstrekkelig liten lysåpning være et godt alternativ. Lackarebäck vannverk i Göteborg har installert et ultramembranfilter for å sikre seg mot framtidens klimaendringer som kan føre til dårligere råvannskvalitet og for å hindre sykdomsutbrudd (*Göteborgs Stad (2022)*).

5.3 Isesjø vannverk

Resultatene for analysen gjennomført ved Isesjø vannverk viser at de hygieniske barrierene er tilfredsstillende.

Jordforsk gjennomførte i 2003 feltregistreringer av avløpsanlegg i nedbørfeltet til Isesjø. Det ble registrert hele 79 separate avløpsanlegg, hvor de fleste kun besto av slamavskiller i dårlig forfatning (*Sarpsborg kommune (2005)*). Tiltaksplanen fra 2005 kom med en rekke forslag til tiltak for å redusere tilførselen av fosfor og avløpsvann til Isesjø.

Tiltakene bestod blant annet av “ingen nye utslippstillater til Isesjø” og “Forbedrede renseløsninger for husstander med separate avløp”. Å redusere tilførselen på avløpsvann til Isesjø vil føre til en forbedret hygienisk kvalitet på vannet, og dermed bidra til å redusere risikoen for smittespredning.

Tiltakene som ble presentert i tiltaksplanen fra 2005 er i liten grad gjennomført. Det ble i 2010-2012 gjennomført oppgradering av de fleste avløpsanleggene som ikke hadde gyldig utslippstillatelse (*Sarpsborg kommune (2022c)*). Det er gjennomført flere tilsyn av de resterende avløpsanleggene, men det foreligger ikke en rapport fra disse tilsynene. Sarpsborg kommune skal derfor i gang med en ny utredning for å kartlegge kvaliteten på råvannet og hvilke tiltak som må innføres for å bedre kvaliteten på vannet i dag. De resterende avløpsanleggene skal få nytt tilsyn i 2022 (*Sarpsborg kommune (2022c)*).

Isesjø har hver sommer problemer med algevekst, en reduksjon av avløpsvann som inneholder lett biologisk nedbrytbart fosfor vil også være med å bedre den økologiske tilstanden til vannet.

Mengden nedbør forventes å øke med 5 til 30 % innen 2100 grunnet klimaendringer (*Kelman (2011)*). Tilførselen av fekal forurensning til innsjøer er påvirket av nedbøren i området. Kraftig nedbør og et generelt våtere klima kan føre til at tilførselen av fekal forurensning øker. Å utbedre tiltakene i nedslagsfeltet for å hindre uønsket tilførsel av fekal forurensning vil derfor være viktig for å hindre at innsjøen blir av dårligere kvalitet. Et annet tiltak som kan fungere som en hygienisk barriere er å plassere vanninntaket på dypt vann da det er sprangsjikt i innsjøen (*Kelman (2011)*). Likevel kan klimaendringene gi høyere temperatur som kan føre til at sprangsjiktet ikke er til stede i lengre perioder og som kan føre til at smittestoffer allikevel blir ført til vanninntaket (*Kelman (2011)*).

5.4 Betydning av resultatene

For Baterød- og Isesjø betyr resultatene fra den mikrobielle barriereanalysen at deres hygieniske barrierer er tilstrekkelige med tanke på den mikrobiologiske råvannskvaliteten, vannbehandlingsprosessene i vannverket og antall forbrukere av drikkevannet. Men betyr det at vannverkene har sikker og trygg vannforsyning når analysen viser at de har tilstrekkelig antall hygieniske barrierer?

Det finnes ingen universell akseptert definisjon av hva trygt drikkevann er, og det vil variere fra sted til sted (*Dinka (2018)*). USA, Europa, Afrika og Norge har ikke nødvendigvis samme oppfatning av hva trygt drikkevann er. I Afrika har de fleste innbyggere opparbeidet immunitet mot en rekke vannbårne sykdommer som vi i Norge ikke har opparbeidet oss immunitet for, og vi ville ikke ansett deres vann som trygt å drikke. WHO definerer trygt drikkevann som vann som ikke utgjør en helserisiko for den som

drikker vannet gjennom hele deres livsløp (*WHO (2022b)*).

Med tanke på resultatet av denne analysen og de kriterer norske myndigheter i form av Drikkevannsforskriften stiller til norske vannverk, er drikkevannet trygt å drikke dersom de hygieniske barrierene i vannverkene er tilfredsstillt. For Baterød betyr dette at når de oppnår en log-reduksjon på 6 log for bakterier, som er 99.9999% reduksjon, er vannet ansett som trygt å drikke. For Isesjø innebærer det en log-reduksjon på 5 log for bakterier. Den mikrobielle barriereanalysen omfatter derimot ikke potensiell kontaminering av drikkevannet på ledningsnett og videre ut til forbruker, og det kan derfor oppstå situasjoner der forbruker mottar drikkevann med dårligere mikrobiologisk kvalitet enn det vannverket opprinnelig leverer. Å ha tilstrekkelige hygieniske barrierer er derfor ikke ensbetydende med å ha en sikker vannforsyning. Sikker vannforsyning innebærer også å kunne levere tilstrekkelige mengder vann av god hygienisk kvalitet.

5.5 Anbefalinger

Etter å ha gjennomført den mikrobielle barriereanalysen er min anbefaling til Baterød vannverk å senke grenseverdien for turbiditet til 0.2 NTU, og vurdere om den kan senkes til 0.1 NTU. Å senke grenseverdien vil sikre at koaguleringen, sedimenteringen og filtreringen fungerer optimalt som en hygienisk barriere for bakterier, virus og parasitter. Dersom det installeres et sandfilter i det nye anlegget vil det også her være viktig at grenseverdien er tilstrekkelig lav. Grenseverdien for turbiditet bør da ut av sandfilteret ligge på 0.2 NTU, om mulig på 0.1 NTU.

For Isesjø vannverk anbefales det å innføre tiltak i nedslagsfeltet for å bedre den hygieniske kvaliteten, men også den økologiske kvaliteten i vannkilden. Det anbefales å arbeide videre med kartleggingen av avløpsanlegg i nedslagsfeltet slik at fekal forurensning fra mennesker ikke føres til i vannkilden.

For å styrke barrierene for virus både ved Baterød- og Isesjø vannverk vil installasjon av et membranfilter med tilstrekkelig liten lysåpning være et godt alternativ. Membranfiltrering kan være mer kostbart, men mindre arealkrevende enn konvensjonell filtrering. Å installere et membranfilter er ikke nødvendig for at barrierene ved vannverkene skal være tilstrekkelige, men ved planleggingen av det nye vannverket på Baterød bør dette vurderes.

6. Konklusjon

Målet med denne oppgaven var å undersøke om de hygieniske barrierene i Baterød - og Isesjø vannverk var tilfredsstillende.

Analysen har vist at de hygieniske barrierene ved Baterød vannverk ikke er tilstrekkelige med dagens drift av koaguleringsanlegget. Barrierene for bakterier og parasitter var tilstrekkelige for å oppnå den log-reduksjonen som er nødvendig, men ikke for virus. For at log-reduksjonen for virus skal være tilstrekkelig er det vist at optimal drift av koaguleringsanlegget vil være nødvendig. Optimal drift innebærer å senke grenseverdien for turbiditet ut av filtrene til 0.2 NTU. Ved å senke den til 0.1 NTU vil barrieren være ytterligere styrket.

Isesjø vannverk har i dag tilstrekkelige hygieniske barrierer. Da den økologiske kvaliteten i Isesjø er dårlig, har det i lang tid vært ønskelig å innføre tiltak i nedslagsfeltet og i selve innsjøen. Tiltak som bedrer den økologiske kvaliteten på vannet vil også i stor grad føre til bedre hygienisk kvalitet på vannet. Det anbefales derfor å innføre tiltak for å redusere fekal forurensning som renner ut i bekker eller direkte ut i innsjøen. Ved framtidige klimaendringer hvor økt nedbør og høyere temperaturer vil kunne føre til økt avrenning til vannkilden og dårligere sprangsjikt, vil tiltakene utført i nedslagsfeltet bidra til at mindre smittestoffer blir ført til vanninntaket.

Referanser

- Andersen, E. (2016). *Vannforsyning og helse. Veiledning i drikkevannshygiene*. Folkehelseinstituttet.
- Dinka, M. O. (2018). *Safe Drinking Water: Concepts, Benefits, Principles and Standards*. IntechOpen. Kap. 10. DOI: [10.5772/intechopen.71352](https://doi.org/10.5772/intechopen.71352).
- Eikebrokk, B., Gjerstad, K. O., Hindal, S., Johanson, G., Røstum, J. og Rytter, E. (2006). *Giardia-utbruddet i Bergen høsten 2004 - Rapport fra det eksterne evalueringsutvalget*.
- Eikebrokk, B. (apr. 2009). *Hygieniske barrierer i koaguleringsanlegg. Vann nr. 1/2009-komplett 17.04.09 09:28 Side 106*.
- FHI – Folkehelseinstituttet (nov. 2018a). *Adenovirus*. Hentet 23.02.2022. URL: <https://www.fhi.no/nettpub/stoffer-i-drikkevann/smittestoffer-i-drikkevann/virus-i-drikkevann/#adonevirus>.
- FHI – Folkehelseinstituttet (apr. 2019). *Omgangssyke*. Hentet 04.04.2022. URL: <https://www.helsenorge.no/sykdom/mage-og-tarm/omgangssyke-norovirus/>.
- FHI – Folkehelseinstituttet (okt. 2018b). *Konsekvenser av svikt i vannforsyningen*. Hentet 02.02.2022. URL: <https://www.fhi.no/ml/drikkevann/ovrige-artikler/konsekvenser-av-svikt-i-vannforsyningen/>.
- FHI – Folkehelseinstituttet (nov. 2018c). *Protozoer i drikkevann*. Hentet 02.02.2022. URL: <https://www.fhi.no/nettpub/stoffer-i-drikkevann/smittestoffer-i-drikkevann/protozoer-i-drikkevann/?term=&h=1>.
- Guillot, E. (nov. 2009). *Waterborne Pathogens: Comprehensive Review for the Drinking Water Industry*. *Water Intelligence Online* 8. DOI: [10.2166/9781780401744](https://doi.org/10.2166/9781780401744).
- Göteborgs Stad (2022). *Dricksvatten*. Hentet 27.04.2022. URL: <https://goteborg.se/wps/portal/start/vatten-och-avlopp/dricksvatten>.
- Hall, T., Pressdee, J., Gregory, R. og Murray, K. (1995). *Cryptosporidium removal during water-treatment using dissolved air flotation*. *WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY* 31 (3-4). International Specialised Conference on Flotation Processes in Water and Sludge Treatment, ORLANDO, FL, APR 26-28, 1994: 125–135. DOI: [10.2166/wst.1995.0523](https://doi.org/10.2166/wst.1995.0523).
- Helse- og omsorgsdepartementet (2016). *Forskrift om vannforsyning og drikkevann (Drikkevannsforskriften)*. FOR-2016-12-22-1868. Lovdata. URL: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868>.
- Henriksen, S. D., Bøvre, K. og Høiland, K. (jan. 2022). *Bakterier*. Hentet 19.01.2022. URL: <https://sml.snl.no/bakterier>.
- Håkonsen, T. og Sal, L. S. (2013). *WP4-Virusfjerning i vannverk*. URL: www.visk.nu.
- UiO – i Oslo, U. (mai 2018). *van der Waals*. Hentet 04.04.2022. URL: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/v/van-der-waals.html>.

- Kartverket (2022). *Norgeskart, kart over Sarpsborg sentrum og lokalisering av Baterød vannverk*. Hentet 18.03.2022.
- Kelman, I. (2011). *Tilpasning til ekstremvær under klimaendringer i norske kommuner*. URL: www.ciens.no.
- Klein, J. (okt. 2020). *Virus*. Hentet 19.01.2022. URL: <https://sml.snl.no/virus>.
- Lund, V. (apr. 2009). *Klorering som hygienisk barriere - styrker og svakheter*. *Vann nr. 1/2009-komplett 17.04.09 09:27 Side 95*.
- Mattilsynet (2012). *Clostridium Perfringens*. Hentet 19.01.2022. URL: https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/smitte_fra_mat_og_drikke/bakterier_i_mat_og_drikke/clostridium_perfringens.2505.
- Mattilsynet (nov. 2021). *Veileder til drikkevannsforskriften*. Mattilsynet.
- Myrmel, M. (2004). Hvordan vet vi om vannet vårt inneholder virus? Om påvisning av humanpatogene virus i vann.
- NEVINA (2022). *Norges vassdrags- og energidirektorat*. Hentet 17.02.2022. URL: <https://nevina.nve.no/>.
- Nieminski, E. og Ongerth, J. (sep. 1995). Removing Giardia and Cryptosporidium by conventional treatment and direct-filtration. *Journal American Water Works association* 87 (9): 96–106.
- Norsk Skogmuseum (2022). *Glomma*. Hentet 18.01.2022. URL: http://www.flommer.no/glomma/elv.cfm?Id_kanal=6.
- Paruch, L., Paruch, A. M. og Sørheim, R. (mar. 2020). DNA-based faecal source tracking of contaminated drinking water causing a large Campylobacter outbreak in Norway 2019. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 224. DOI: [10.1016/j.ijheh.2019.113420](https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113420).
- Pettersen, R. A., Haaland, S. og Bøe, F. (des. 2019). *Sammenfatning av overvåkingsdata fra 2011- 2018 for vannområdet Glomma sør for Øyeren*. NIBIO. URL: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2631956>.
- Robertson, L. J. og Gjerde, B. K. (nov. 2006). Fate of Cryptosporidium oocysts and Giardia cysts in the Norwegian aquatic environment over winter. *Microbial Ecology* 52 (4): 597–602. DOI: [10.1007/s00248-006-9005-4](https://doi.org/10.1007/s00248-006-9005-4).
- Robertson, L., Høgåsen, H., Krogh, T., Langeland, N., Lund, V. og Vold, L. (aug. 2009). Risikovurdering av parasitter i norsk drikkevann. *Vitenskapskomiteen for mattrygghet*.
- Sarpsborg kommune (2005). *Isesjø - Tiltaksplan*.
- Sarpsborg kommune (2016). *Kommunedelplan Vei, Vann og Avløp*.
- Sarpsborg kommune (jan. 2022a). *Om Sarpsborg*. Hentet 31.01.2022. URL: <https://www.sarpsborg.com/byen-og-kommunen/om-sarpsborg/>.
- Sarpsborg kommune (jan. 2022b). *Planer, hagevanning, abonnementsvilkår og våre anlegg*. Hentet 17.01.2022. URL: <https://www.sarpsborg.com/byggesak-og-teknisk/vann-og-avlop2/planer-abonnementsvilkar-og-vare-anlegg/>.
- Sarpsborg kommune (jan. 2022c). *Vedlegg 4 - Notat om drikkevann, bakgrunnsinformasjon*.
- Skjelfoss, E. P. og Magnussen, H. E. (2016). *Økning av Drikkevann-produksjonen i Sarpsborg*. COWI AS.
- SSB – Statistisk sentralbyrå (jun. 2021). *KOSTRA - Kommunal vannforsyning*. Hentet 22.03.2022. URL: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/vann-og-avlop/statistikk/kommunal-vannforsyning>.

- Steinberg, M., Fredrik, C., Trude, N. og Lyngstad, M. (2020). *Oppdrag fra Mattilsynet Rapportering av data for vannforsyningssystemer i Norge for 2020*. URL: www.fhi.no.
- Templeton, M. (udatert). *Basic Principles of UV Disinfection*. Hentet 01.03.2022. URL: https://www.un-ihe.org/sites/default/files/3_-_templeton.pdf.
- Thorsen, Ø. (apr. 2009). *Dokumentasjon av UV-anlegg som hygienisk barriere*. Vann nr. 1/2009–komplett 17.04.09 09:27 Side 102.
- Thorsnæs, G. (mai 2018). *Glomma*. Hentet 17.01.2022. URL: <https://snl.no/Glomma>.
- Vorland, L. H. (2001). *Hva gjør bakterier patogene?* Tidsskriftet - Den norske legeforening: 3083–3092.
- WHO – World Health Organization (2017). *Water Quality And Health-Review Of Turbidity: Information for regulators and water suppliers*.
- WHO – World Health Organization (mar. 2022a). *Drinking Water*. Hentet 06.04.2022. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
- WHO – World Health Organization (2022b). *Guidelines for drinking-water quality, fourth edition*.
- Xagorarakis, I., Harrington, G., Assavasilavasukul, P. og Standridge, J. (mai 2004). Removal of emerging waterborne pathogens and pathogen indicators by pilot-scale conventional treatment. *JOURNAL AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION* 96 (5): 102–113.
- Ødegaard, H., Østerhus, S. W. og Fiksdal, L. (2006). *Forslag til prosedyrer for bestemmelse av optimal desinfeksjonspraksis*. URL: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2006_30397.pdf.
- Ødegaard, H., Østerhus, S. og Melin, E. (2009). *Optimal desinfeksjonspraksis fase 2*. URL: www.norskvann.no.
- Ødegaard, H., Thorolfsson, S. T., Lindholm, O., Østerhus, S. W., Sægrov, S., Mosevoll, G. og Heistad, A. (2014a). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg. Norsk Vann.
- Ødegaard, H., Østerhus, S. og Melin, E. (2014b). *Veiledning i mikrobiell barriere analyse (MBA) Revidert utgave av Veiledning til bestemmelse av god desinfeksjonspraksis*. Norsk Vann: 1–96. URL: www.norskvann.no.
- Ødegaard, H., Brandt, J., Liane, S. F. og Østerhus, S. (2015). *Veiledning for dimensjonering av vannbehandlingsanlegg*. Norsk Vann. URL: www.norskvann.no.

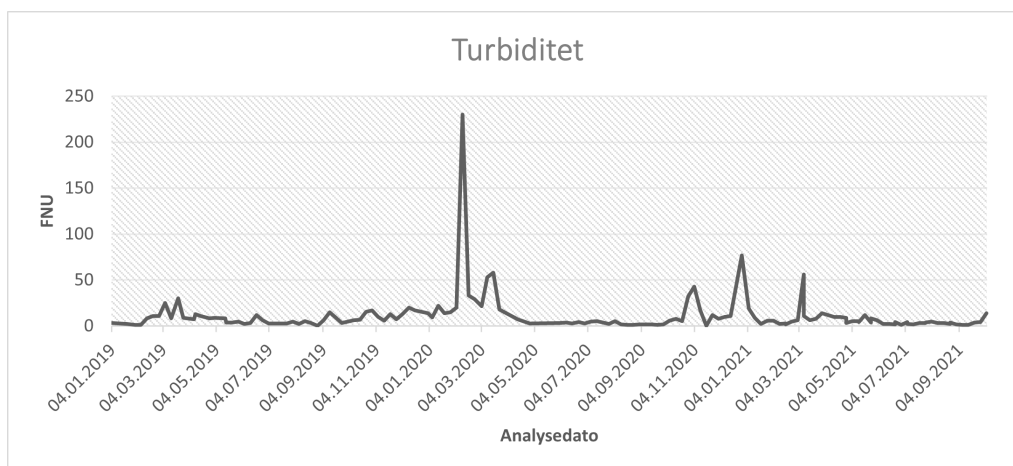
Vedlegg A. Analyseresultater

Dette vedlegget inneholder resultatene av de mikrobiologiske analysene tatt i 2019, 2020 og 2021 for både Baterød vannverk og Isesjø vannverk. I tillegg er turbiditet, fargetall, pH og E.coli-verdier i Glomma representert i form av grafer.

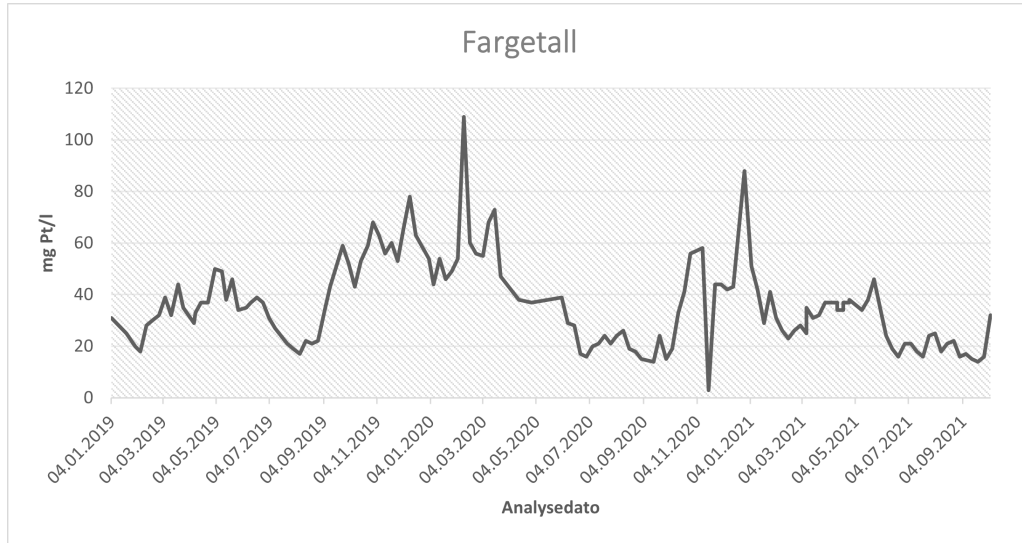
I denne analysen er analyseresultater der det er målt “<1” satt til “0” og der det er målt “>200” satt til “200”.

Sarpsborg kommune byttet i løpet av 2020 fra analysebyrået ALS til Eurofins. Eurofins har oppgitt ingen funn som “nd”, mens ALS har oppgitt ingen funn som “0”. Det er noen datoer det er gjort analyse av både ALS og Eurofins, hvor resultatene avviker stort, i disse tilfellene er begge resultater tatt med i analysen.

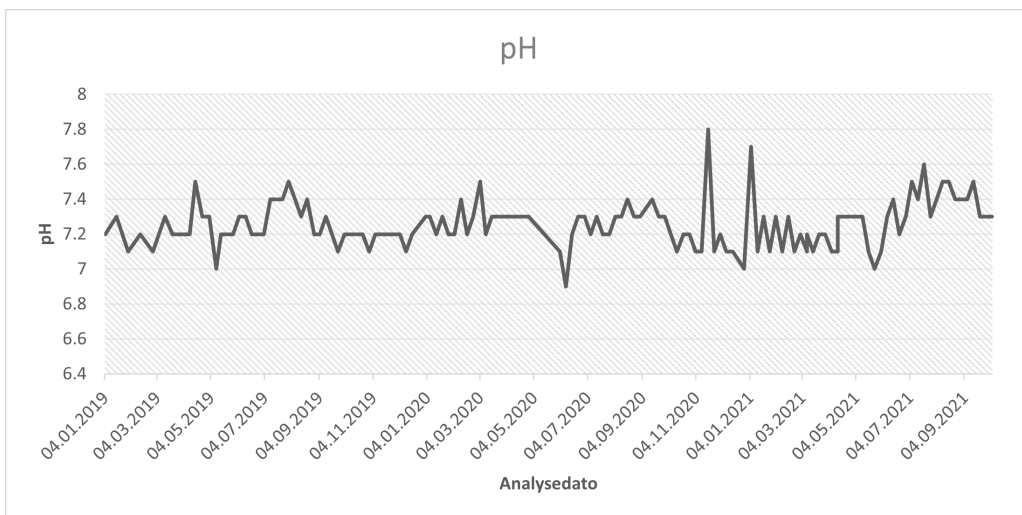
6.1 Baterød vannverk



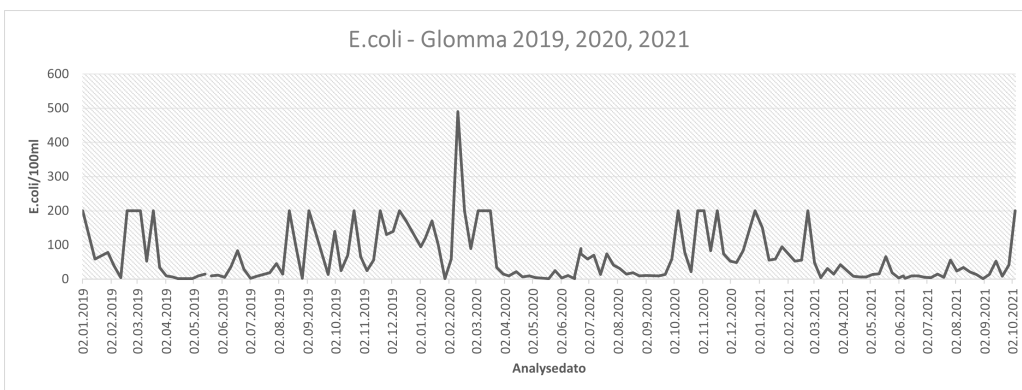
Figur 6.1: Turbiditet i Glomma



Figur 6.2: Fargetall i Glomma



Figur 6.3: pH i Glomma



Figur 6.4: Målte E.coli verdier for 2019, 2020 og 2021

Tabell 6.1: Oppsummering av råvannsdata fra Baterød vannverk

År	Indikator	Antall prøver	Antall positive prøver	% Positive	Middelverdi antall /100 ml	Høyeste reg.verdi antall /100 ml
2019	E.coli	47	45	96	78	200
	Clostridium Perfringens	46	43	93	15	56
2020	E.coli	52	50	96	79	490
	Clostridium Perfringens	51	51	100	24	100
2021	E.coli	40	39	98	39	200
	Clostridium Perfringens	40	40	100	11	33

Tabell 6.2: Råvannsdata, 2019 - Baterød

Prøve	E.coli	Clostridium Perfringens	Giardia	Cryptosporidium
02.01.2019	200	11		
15.01.2019	59	7	0	0
29.01.2019	78	15		
05.02.2019	38	9		
12.02.2019	4	41	0	0
19.02.2019	>200	<1		
26.02.2019	200	30		
05.03.2019	200	21		
12.03.2019	53	12	0	0
19.03.2019	200	56		
26.03.2019	34	36		
02.04.2019	9	12		
09.04.2019	6	12		
15.04.2019	1	14		
23.04.2019	<1	6	0	0
30.04.2019	<1	<1		
07.05.2019	9	21		
14.05.2019	15	14		
20.05.2019			0	0
21.05.2019	10	7		
28.05.2019	12	10		
04.06.2019	5	3		
11.06.2019	36	12		
18.06.2019	83	6	0	0
25.06.2019	29	5		
02.07.2019	2	7		
09.07.2019	8	7	0	0
23.07.2019	19	4		
30.07.2019	45	13		
06.08.2019	15	5		
13.08.2019	200	4		
20.08.2019	100	13		
27.08.2019	2	9	0	0
03.09.2019	200	5		
10.09.2019	140	8		
24.09.2019	14	24		
01.10.2019	140	11		
08.10.2019	25	<1		
15.10.2019	70	18		
22.10.2019	200	23	0	0
29.10.2019	66	14		
05.11.2019	25	5		
12.11.2019	56	21		
19.11.2019	>200	29	0	0
26.11.2019	130	27		
03.12.2019	140	38		
10.12.2019	>200	33		
17.12.2019	170			
Middel	77.62	14.74	0	0
% >10 EC	77 %			
% >3 CP		91 %		
% >0.01 P			0 %	0 %

Tabell 6.3: Råvannsdata, 2020 - Baterød

Prøve	E.coli	Clostridium Perfringens	Giardia	Cryptosporidium
02.01.2020	95	5		
07.01.2020	120	42	0	0
14.01.2020	170	23		
21.01.2020	100	16		
28.01.2020	<1	7		
04.02.2020	59	30		
11.02.2020	490	>100	0.01	0
18.02.2020	>200	43		
25.02.2020	89	19		
04.03.2020	200	24		
10.03.2020	200	17	0	0
17.03.2020	>200	60		
24.03.2020	34	24		
31.03.2020	15	11		
06.04.2020	9	7		
14.04.2020	22	14	ikke klart	ikke klart
21.04.2020	6	15		
28.04.2020	10	6		
05.05.2020	4	6		
19.05.2020	<1	4		
26.05.2020	25	12		
02.06.2020	3	10		
09.06.2020	11	5	0	0
16.06.2020	1	6		
16.06.2020	8			
23.06.2020	89	>100		
23.06.2020	74	8		
30.06.2020	59	2		
07.07.2020	70	22		
14.07.2020	14	6	nd	nd
21.07.2020	74	24		
28.07.2020	41	5		
04.08.2020	31	14		
11.08.2020	15	4	nd	nd
18.08.2020	19	6		
25.08.2020	9	2		
01.09.2020	11	2		
15.09.2020	10	3		
22.09.2020	14	2		
29.09.2020	59	>100		
06.10.2020	>200	34		
13.10.2020	78	10	nd	0.01
20.10.2020	22	3		
27.10.2020	>200	65		
03.11.2020	>200	72		
10.11.2020	83	22	nd	nd
17.11.2020	>200	19		
24.11.2020	74	31		
01.12.2020	53	15		
08.12.2020	48	31	nd	nd
15.12.2020	83	18		
28.12.2020	>200	84		
Middel	78.87	24	0.001	0.001
% >10 EC	79 %			
% >3 CP		88 %		
% >0.01 P			0 %	0 %

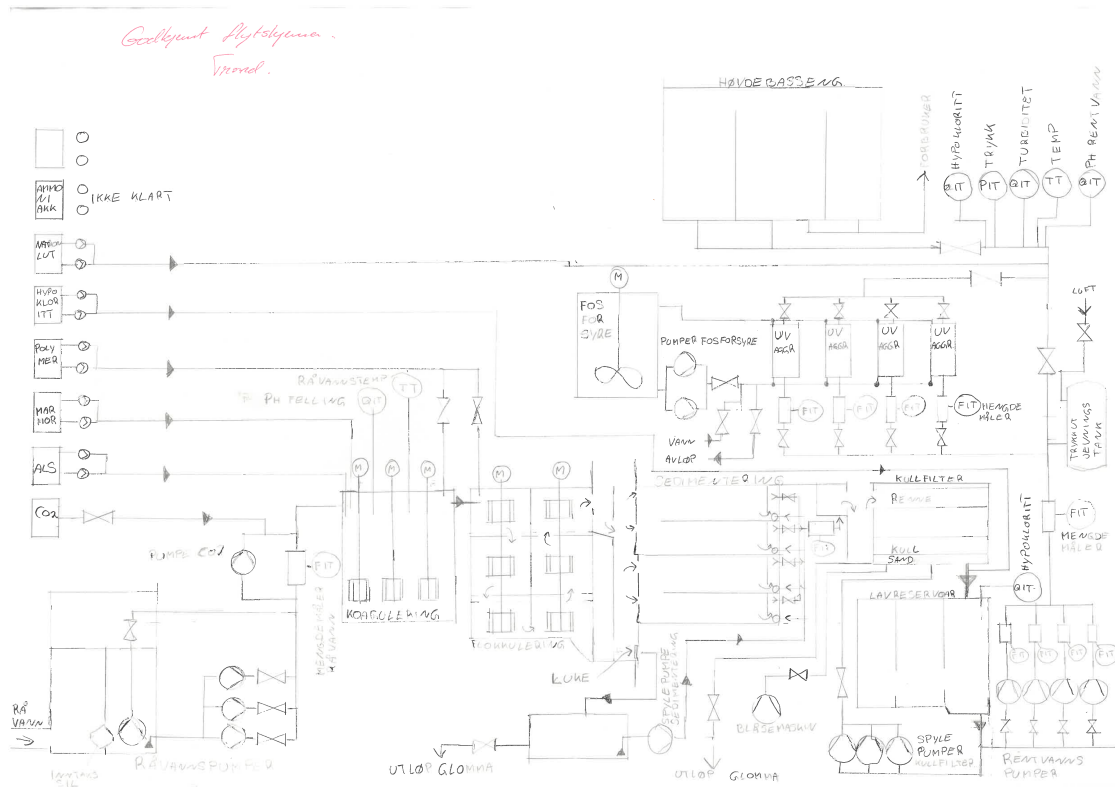
Tabell 6.4: Råvannsdata, 2021 - Baterød

Prøve	E.coli	Clostridium Perfringens	Giardia	Cryptosporidium
05.01.2021	150	10		
12.01.2021	56	13	nd	nd
19.01.2021	59	10		
26.01.2021	95	17		
02.02.2021	74	5		
09.02.2021	53	6		
16.02.2021	56	12	nd	nd
23.02.2021	>200	33		
02.03.2021	48	26		
09.03.2021	4	19		
16.03.2021	31	13	nd	nd
23.03.2021	15	7		
30.03.2021	42	25		
06.06.2021	10	22		
13.04.2021	8	17		
20.04.2021	6	12	nd	nd
27.04.2021	6	11	nd	nd
04.05.2021	14	10		
11.05.2021	16	7		
18.05.2021	66	17	nd	nd
25.05.2021	19	22		
01.06.2021	3	7		
08.06.2021	2	7		
15.06.2021	9	6	nd	nd
22.06.2021	10	8		
29.06.2021	5	4		
06.07.2021	4	7		
13.07.2021	15	2		
20.07.2021	5	8	nd	nd
27.07.2021	56	2		
03.08.2021	24	9		
10.08.2021	34	1		
17.08.2021	21	4	nd	nd
24.08.2021	14	1		
31.08.2021	<1	3		
07.09.2021	14	3		
14.09.2021	53	2	nd	nd
21.09.2021	8	1		
28.09.2021	41	3		
05.10.2021	>200	32		
Middel	38.65	11	0	0
% >10 EC	66 %			
% >3 CP		80 %		
% >0.01 P			0 %	0 %

Tabell 6.5: TOC og turbiditet i rentvann 2021 - Baterød

Prøve	TOC mg/l	Turbiditet mg/l
05.01.2021	3	<0,1
12.01.2021	2.3	<0,1
19.01.2021	1.5	<0,1
26.01.2021	1.5	<0,1
02.02.2021	1.8	<0,1
09.02.2021	1.6	<0,1
16.02.2021	1.3	<0,1
23.02.2021	1.5	<0,1
02.03.2021	1.5	<0,1
09.03.2021	1.8	<0,1
09.03.2021	1.8	<0,1
16.03.2021	1.8	<0,1
16.03.2021	1.8	<0,1
23.03.2021	1.9	<0,1
30.03.2021	2.2	<0,1
06.04.2021	1.7	0.12
13.04.2021	2.2	<0,1
20.04.2021	1.8	<0,1
27.04.2021	2.1	<0,1
04.05.2021	2.1	<0,1
11.05.2021	1.8	<0,1
18.05.2021	1.8	<0,1
25.05.2021	1.9	<0,1
01.06.2021	2.6	0.10
08.06.2021	1.5	<0,1
15.06.2021	1.3	<0,1
22.06.2021	1.1	<0,1
29.06.2021	1.2	0.19
06.07.2021	2.1	<0,1
13.07.2021	1.3	0.10
20.07.2021	1.2	0.14
27.07.2021	1.4	<0,1
03.08.2021	1.4	<0,1
10.08.2021	1.5	<0,1
17.08.2021	1.6	0.12
24.08.2021	1.6	0.13
31.08.2021	2.2	<0,1
07.09.2021	1.9	<0,1
14.09.2021	1.1	<0,10
21.09.2021	1.2	<0,10
28.09.2021	1.1	<0,10
05.10.2021	1.9	<0,10
12.10.2021	2.8	<0,10
Høyeste målte verdi	3	0.19
Middel	1.74	0.021

6.1.1 Utvidet flytskjema for Baterød vannverk



Figur 6.5: Utvidet flytskjema over prosessene ved Baterød vannverk

6.2 Isesjø vannverk

Tabell 6.6: Råvannsdata 2019 - Isesjø

Prøve	E.coli	Clostridium Perfringens	Giardia	Cryptosporidium
26.02.2019	<1			
09.04.2019	<1			
07.05.2019	<1	1		
28.05.2019	<1	1		
09.07.2019	1			
20.08.2019	12			
22.10.2019	6		0	0
03.12.2019	1			
Middel	2.5	0.25	0	0
% >10 EC	12.5%			
% >3 CP		0%		
% >0.01P			0%	0%

Tabell 6.7: Råvannsdata 2020 - Isesjø

Prøve	E.coli	Clostridium Perfringens	Giardia	Cryptosporidium
04.02.2020	<1			
21.04.2020	<1			
19.05.2020	<1			
16.06.2020	<1			
16.06.2020	<1	<1		
30.06.2020	<1			
21.07.2020	6			
18.08.2020	<1			
22.09.2020	<1			
17.11.2020	6		0	0
Middel	1.2	1	0	0
% >10 EC	0%			
% >3 CP		0%		
% >0.01P			0%	0%

Tabell 6.8: Råvannsdata 2021 - Isesjø

Prøve	E.coli	Clostridium Perfringens	Giardia	Cryptosporidium
16.02.2021	<1			
27.04.2021	<1			
25.05.2021	2			
22.06.2021	5			
06.07.2021	<1			
27.07.2021	<1			
24.08.2021	<1			
Middel	1	0	0	0
% >10 EC	0%			
% >3 CP		0%		
% >0.01P			0%	0%

Tabell 6.9: TOC og turbiditet i rentvann 2021 - Isesjø

Prøve	TOC mg/l	Turbiditet mg/l
05.01.2021	4.8	<0,1
12.01.2021	3.8	<0,1
19.01.2021	3.4	<0,1
26.01.2021	3.6	<0,1
02.02.2021	3.9	<0,1
09.02.2021	3.5	<0,1
16.02.2021	3.1	<0,1
23.02.2021	3.3	<0,1
02.03.2021	4.1	<0,1
09.03.2021	3.8	<0,1
09.03.2021	3.8	<0,1
16.03.2021	3.8	<0,1
16.03.2021	3.8	<0,1
23.03.2021	3.6	<0,1
30.03.2021	4.0	<0,1
06.04.2021	3.4	<0,1
13.04.2021	4.0	<0,1
20.04.2021	3.4	<0,1
27.04.2021	3.4	<0,1
04.05.2021	3.9	<0,1
11.05.2021	3.6	0.11
18.05.2021	3.3	0.11
25.05.2021	3.4	<0,1
01.06.2021	3.2	0.18
08.06.2021	3.5	<0,1
15.06.2021	3.1	<0,1
29.06.2021	3.1	0.17
06.07.2021	4.1	<0,1
13.07.2021	3.1	0.14
20.07.2021	3.9	0.14
27.07.2021	3.2	<0,1
03.08.2021	3.2	<0,1
10.08.2021	3.4	<0,1
17.08.2021	3.3	0.12
24.08.2021	3.4	0.12
31.08.2021	3.9	<0,1
07.09.2021	4.0	<0,1
14.09.2021	4.0	0.10
21.09.2021	3.4	<0,10
28.09.2021	3.3	<0,10
05.10.2021	3.4	<0,10
Høyeste målte verdi	4.8	0.18
Middel	3.59	0.029



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway