



Rapport

Diarienummer

Projektnummer

4420 (revidering av NV-rapport 2021-14)

Dimensionerande Förutsättningar - Kvalitet

NFVP Norrvattens Framtida Vattenproduktion

David Heldt
Norrvatten

2024-08-15



Revisionshistorik

Utgåva	Datum	Kommentar
1.0	2018-02-09	Nytt dokument
1.1	2018-03-16	Reviderad av dokumentets ägare, David Heldt
1.2	2018-12-19	Reviderad av dokumentets ägare, David Heldt
1.3	2019-01-10	Reviderad av dokumentets ägare, David Heldt
1.4	2019-02-22	Reviderad av dokumentets ägare, David Heldt 2.3 beslutstext ändrad 3.2 beslutstext ändrad 3.3 tabell 5, PFAS11 tillagt Mikrocystin, text ändrad PFAS11, stycke tillagt
2.0	2021-03-11	Ny version där kapacitetskraven flyttats till ett eget dokument. Eget kapitel om Mälarens vattenkvalitet. Fler uppdelade krav samt en komplett vattenkvalitetstabell.
2.1	2024-08-15	Reviderad av dokumentets ägare, David Heldt Reviderad beskrivning av projektet Justerad på grund av de nya dricksvattenföreskrifterna 3.3 Ny figur över antal algceller 2000 – 2020 4.1 Justerat råvattenkrav för turbiditet, färgtal, UV-absorbans samt PFAS11 och PFAS4. Tagit bort råvattenkrav för uran, beta-östradiol och nonylfenol. 4.3.2 Nya krav för PFAS 4.4 Justerat krav för NOM 4.5 Justerat krav för korrosion 4.6 Nya krav för desinfektionsbiprodukter 4.8 Justerade krav för övriga parametrar enligt nya dricksvattenföreskrifterna

Innehållsförteckning

1. Inledning	4
1.1. Syfte och avgränsningar	4
2. Förutsättningar	5
2.1. Dricksvattnet ska vara hälsosamt och rent	5
3. Mälarens vattenkvalitet vid Görvälnverket	6
3.1. Kemiska parametrar	7
3.2. Mikrobiologiska parametrar	8
3.3. Alger	9
3.4. Kemiska föroreningar	10
3.5. Mälarens framtida vattenkvalitet	12
4. Kvalitetskrav	13
4.1. Råvattenkvalitet	13
4.2. Mikrobiologisk barriär	16
4.3. Kemisk barriär	18
4.3.1. Akut	19
4.3.2. Permanent	19
4.4. Naturligt organiskt material (NOM)	21
4.5. Korrosion	24
4.6. Desinfektionsbiprodukter (DBP)	28
4.7. Lukt och smak	31
4.8. Övriga parametrar	32
5. Sammanfattning av samtliga kvalitetskrav	36
6. Referenser	37

1. Inledning

En trygg dricksvattenproduktion av hälsosamt dricksvatten är en förutsättning för Norrvattens medlemskommuners tillväxt. För att kunna garantera detta behöver Norrvatten planera för en utökad dricksvattenproduktion och utökad rening. Projektet Norrvattens framtida vattenproduktion kommer att möta detta behov genom att bygga ut kapaciteten och reningsförmågan.

Görvälnverket har idag en maxkapacitet på 200 000 m³/d och en uthållig kapacitet på ca 160 000 m³/d. Norrvatten arbetar för närvarande med ett program för att kunna öka maxkapaciteten i befintligt vattenverk till 220 000 m³/dygn, vilket enligt prognos ska kunna möta kapacitetsbehovet fram till år 2030. Därefter behöver ytterligare kapacitet tillföras, vilket kommer ske genom att Norrvatten bygger till ett kompletterande vattenverk.

I takt med att verktygen för att bestämma barriärverkan förbättrats samt att klimatförändringarna och urbaniseringen försämrat Mälaren som vattentäkt har det visat sig att Görvälnverket inte når tillräcklig mikrobiologisk barriärhöjd. Det har även framkommit att verket saknar skydd mot kemiska föroreningar som finns i låga bakgrundshalter i Mälaren.

En viktig förutsättning för Norrvattens medlemskommuners tillväxt är en trygg och säker dricksvattenproduktion av hälsosamt dricksvatten. För att kunna garantera detta behöver Norrvatten därför förbättra reningen.

1.1. Syfte och avgränsningar

De förutsättningarna rörande kvalitetsparametrar för Norrvattens framtida dricksvattenproduktion har så långt möjligt sammanställts i detta dokument. Underlaget härstammar från flera olika rapporter, PM och utredningar. Kvalitetskraven är utformade så att de ska utgöra ett underlag för fastställande av nollprocesslösning i projektet.

Då ny kunskap ständigt tillkommer kan det finnas behov av framtida justeringar av de dimensionerande förutsättningarna rörande kvalitetsparametrar för projektet. Vidare behövs fortsatt arbete för att definiera toleranser och i vilken grad avvikelser från angivna gränsvärden anses acceptabla.

Detta dokument fastställer kraven för den samlade utgående kvaliteten på dricksvattnet som distribueras från Norrvattens ordinarie vattenförsörjning. Dokumentet fastställer även den nuvarande samt den prognostiserade råvattenkvalitet som ska gälla vid dimensionering av en nollprocesslösning. Det betyder att det gäller både för ett befintligt Görvälnverk samt tillbyggd kapacitet.

Kraven gäller dock inte för Norrvattens reservvattenförsörjning. Det kan även finnas andra kvalitetskrav beträffande dricksvatten på ledningsnät, tryckstegringar och reservoarer men dessa redovisas ej i denna rapport. För utformning av den framtida processlösningen är det

krav på dricksvattnet som lämnar Görvålverket som är dimensionerande, men kvalitetsförändringar som kan uppstå under distribution har beaktats i framtagandet av dessa krav.

Kravställning rörande kapacitet och redundans beskrivs i dokumentet ”Dimensionerande förutsättningar – Leveranssäkerhet”. För krav rörande maskin, bygg, el & styr, automation, säkerhet etcetera hänvisas till Norrvattens tekniska beskrivningar.

2. Förutsättningar

Kvalitetskraven som anges i denna rapport baseras på

- Rekommendationer från WHO (World Health Organisation) som också ligger till grund för dricksvattendirektivet och därmed även Livsmedelsverkets föreskrifter.
- EU:s direktiv 2020/2184 av den 16 december 2020 om kvaliteten på dricksvatten (Dricksvattendirektivet).
- Dricksvattenföreskrifterna (LIVSFS 2022:12) samt Livsmedelsverkets vägledning som finns tillgänglig via kontrollwiki.livsmedelsverket.se.
- Rekommendationer från branschorganisationen Svenskt Vatten.
- Norrvattens strategiska plan beslutad av Norrvattens styrelse 20 september 2017.
- Expertstöd inom områden där tydlig och tillräcklig vägledning saknas.

2.1. Dricksvattnet ska vara hälsosamt och rent

Kraven som ställs på dricksvattenkvalitet i Livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter (6 § LIVSFS 2022:12) lyder idag:

*”Dricksvatten ska vara hälsosamt och rent. Dricksvatten anses vara **hälsosamt och rent** om det:*

- 1. inte innehåller mikroorganismer, parasiter och ämnen i sådant antal eller sådana halter att det utgör en potentiell **risk för människors hälsa**, och*
- 2. uppfyller de gränsvärden som anges i bilaga 1.”*

Vidare:

”För att veta om kraven i 6 § LIVSFS 2022:12 uppfylls är verksamhetsutövaren även skyldig att undersöka andra ämnen och mikroorganismer som kan innebära oacceptabla hälsorisker, men där det saknas gränsvärden i LIVSFS 2022:12.”

Att dricksvattnet ska var ”hälsosamt och rent” här innebär att det ska vara hälsomässigt säkert att dricka och det ska vara rent på så sätt att det ska smaka, lukta och se aptitligt ut.

I Sverige har man inte satt upp något specifikt gränsvärde för risknivå för dricksvatten och det är därför upp till varje dricksvattenproducent att utifrån riskanalyser och bedömningar ställa upp kvalitetskrav så att ett ”hälsosamt” dricksvatten kan distribueras till konsumenterna utifrån de givna förutsättningarna avseende råvattenkvalitet. Viss vägledning finns dock i WHO:s rekommendationer vilket beskrivs nedan. Dock ligger ett stort ansvar på dricksvattenproducenten i att utifrån riskanalyser göra bedömningar avseende risker och

hälsoeffekter. Bland annat ingår att göra mikrobiologisk barriäranalys och faroanalys enligt HACCP.

Norrvattens vision lyder ”*Alltid hälsosamt dricksvatten med miljö och samhällsnytta i fokus*”. I Norrvattens strategiska plan fördjupas innebörden av att vattnet ska vara hälsosamt och som strategi för att nå visionen anges införande av ytterligare en mikrobiell barriär samt att det ska finnas minst en barriär för hälsostörande kemiska ämnen.

3. Mälarens vattenkvalitet vid Görvälnverket

Östra Mälaren är inte en homogen sjö utan består av flera vattenförekomster. Tillflödet till Görväln, den del av Mälaren som Norrvatten nyttjar som vattentäkt, kommer dels från Björkfjärden i väster och Skarven i norr. Det norra tillflödet har en högre salthalt och är mer humusrikt (NOM) jämfört med tillflödet från väster som är saltfattig, samt har en betydligt lägre NOM-halt. Blandningsförhållandet i Görvälnfjärden, mellan dessa strömmar, är ca 70% vatten från centrala Mälaren (strömmar in via Skeppsbacka och Ormsundet) och 30% från norra Mälaren (strömmar in via Stäketsundet från Ekoln och Fyrisån).

Den kemiska vattensammansättningen i de två inkommande strömmarna till Görvälnfjärden skiljer sig kraftigt från varandra. Den norra har betydligt högre alkalinitet än den västra, ca 120–140 mg/l jämfört med ca 45–50 mg/l i den västra. Den norra strömmen innehåller överlag mer NOM (dock större andel färgad och lättfälld NOM), salter inkl. närsalter än den västra. Mälarens norra tillrinningsområde domineras av kalkrika lättvittrade jordar medan den i väster utgörs av mer svårvittrade moränjordar. Turbiditeten är likaså högre i den norra (mycket silt) men som effektivt tas bort i Görvälnverkets nuvarande fällningsprocess.

Vattensammansättningen i inkommande råvatten till Görvälnverket växlar kraftigt under året och vindinducerade strömmar i kombination med skiktningförhållandena i Görvälnfjärden styr i hög grad omblandningsförhållandena mellan ovan beskrivna strömmar. Under den islagda delen av året, då de vindinducerade strömmar upphör, förändras blandningen mellan strömmarna drastiskt. I djupled i Görvälnfjärden sker en uppdelning av vattenmassan i två klart avskilda delar. En ytlig del, strax under isen (0-5m), bestående av inkommande vatten från centrala Mälaren och ett underliggande blandvatten mellan norra och centrala Mälaren. Andelen vatten från norra Mälaren ökar successivt i bottenvattnet från 30/70 % till ca 50/50% strax före islossning. Styrande faktorer är isperiodens längd samt storleken på inkommande strömmar under denna tidsperiod.

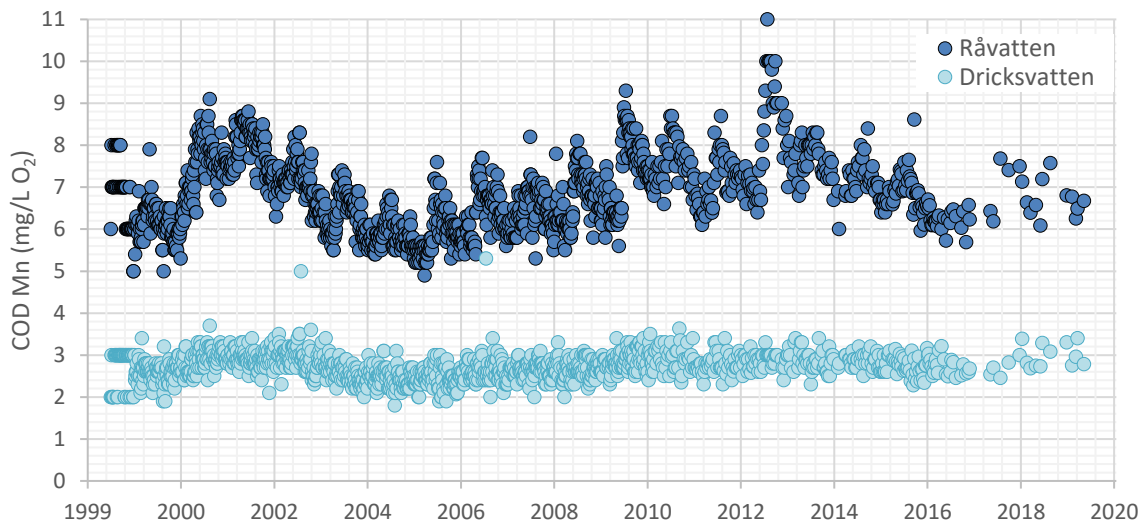
Uppehållstiden har stor inverkan på vattenkvaliteten i inkommande strömmar (halt och typ av NOM, närsalter, färgstyrka, turbiditet m.m.), som förbättras om uppehållstiden förlängs resp. försämras vid högvattenföring. Under torra perioder förbättras också vattenkvaliteten i inkommande strömmar till Mälaren. Det vatten som når bäckar och åar och vidare till Mälaren vid bl.a. regn utgörs då till stor del av ett utströmmande lite djupare grundvatten, med högre salthalter och lägre innehåll av humusämnen (NOM) (dock mer nedbrutet och svårfällt) till Mälaren. Under blötare perioder inträffar motsatsen och salthalten minskar

något medan NOM och färgstyrkan ökar. Närsaltläckage från jordbruksmark påverkas också i hög grad av nederbördsförhållanden.

3.1. Kemiska parametrar

Under 2020 har Norrvatten tillsammans med Statens Lantbruks Universitet (SLU) sammanställt historiska vattenkvalitetsdata. (Köhler och von Brömssen, 2019) Syftet har varit att belysa nuläget samt att utföra trendanalyser för att prognostisera Mälarens framtida vattenkvalitet. Under 2024 har två kompletterande arbeten gjorts i form av examensarbete (Knutas, 2024) och arbete på kandidatnivå (Siadat et. Al. 2024). De viktigaste slutsatserna avseende de kemiska parametrarna är följande:

- Alkalinitet och konduktivitet ökade med mellan 10 – 15 % i flera delbassänger innan 2000 som ett resultat av återhämtning av försurningen. Alkaliniteten och konduktiviteten förväntas inte öka mera.
- Halten organiskt kol ökar. Främst med ökande halter av färg och absorbans. Halten TOC väntas inte öka lika mycket. Färgtal på minst 50 mg/l och TOC-halter på 15 mg/l anses högst troliga fram till 2050. Att så är fallet styrks av observationer våren 2024 som uppvisade färgtal på över 55 mg Pt/l.
- Under de senaste 20 åren har halten COD_{Mn} i råvattnet varierat mellan ca 5 - 11 mg/L O₂ och halten i dricksvattnet har varierat mellan ca 2 – 5 mg/L O₂. (se figur 1) Utifrån prognosen förväntas de maximala halterna i råvattnet öka med maximalt 20 – 30 % inom de kommande 20 - 30 åren och variationen förväntas öka till följd av perioder med höga flöden i Mälaren. En uppföljning av reduktionsgrad och dricksvattenkvalitet tyder dock på att sammansättningen vid höga halter skulle kunna utgöras av mer ”fällbara” fraktioner då färgen förväntas öka mer än halten TOC, vilket innebär att halten i utgående dricksvatten inte ökar i motsvarande grad som ökningen i råvattnet.
- Både alkalinitet och färg påverkas starkt av flödessituationer i Mälaren. Snabba förändringar av alkalinitet förväntas även framöver. Extrema värden och snabba förändringar kan uppstå när flöden ökar kraftigt från Ekoln bassängen eller från både Ekoln och Prästfjärden.
- Näringsämnen kväve och fosfor sjönk kraftigt före 1990 och har sedan dess legat på stabil nivå. Medelhalten för fosfor ligger på ca 0,04 mg/l och högsta uppmätta fosforhalt de senaste 20 åren var ca 0,12 mg/l.

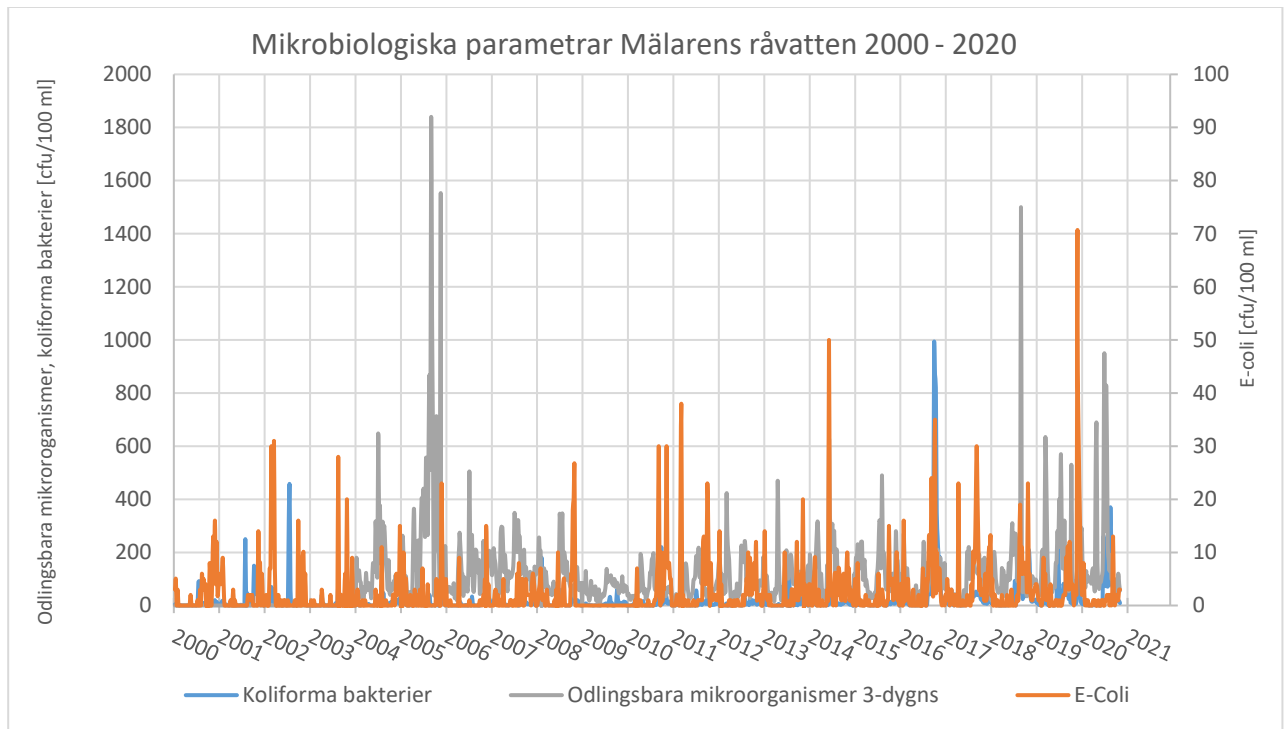


Figur 1. Variation av COD_{Mn} i Rå- och Dricksvatten vid Görvälnverket under åren 1999 – 2019

3.2. Mikrobiologiska parametrar

Det är inte helt enkelt att ta fram en trend över hur råvattnets mikrobiologiska vattenkvalitet har utvecklats sedan 1942, då de första mätningarna startade. Skälet till detta är att analysmetoderna har ändrats med åren. Det går dock att göra en trend avseende E-coli, koliforma bakterier och odlingsbara bakterier för de senaste 20 åren (*se figur 2*).

- Halten E-coli liksom totalantalet koliforma bakterier har i medeltal varit förhållandevis låga i inkommande råvatten de senaste 20 åren, i regel <10 cfu/100 ml av E-coli och <50 cfu/100 ml av koliforma bakterier. Vid några tillfällen har de dock varit betydligt högre.
- Det kan dock anas en försämring av Mälarens råvattenkvalitet under de senaste åren. Delas perioden upp i två tioårsperioder har medelvärdet av E-coli ökat från 2 till 3 cfu/100 ml och koliforma bakterier har ökat från 11 till 26 cfu/100 ml.
- Mikrobiell smittspridning förekommer i Mälaren-Görväln särskilt vid oavsiktliga utsläpp av avloppsvatten. Detta kan mätas i förekomst av E-coli och koliforma bakterier. Överlevnaden av dessa är dock måttlig, upp till en månad, medan virus och parasiter som kan orsaka sjukdomsutbrott kan överleva mycket längre.
- Klimatförändringar kan medföra förändringar i mikrobiell smittspridning. Bland annat har följande observerats i andra länder (huvudsakligen från Lal m fl 2013):
 - Ökning i temperatur kan medföra ökad förekomst av cryptosporidium
 - Ökad nederbörd och starka vindar kan medföra ökad förekomst av cryptosporidium genom ökad avrinning som kan förorena vattentäkten och orsaka resuspension av förorenade sediment i vattendrag och dagvattennät.
 - Ökad nederbörd och fler skyfall medför ökad risk för bräddningar med ökad spridning av patogena mikroorganismer.
 - Längre torrperioder kan medföra högre koncentrationer av patogena mikroorganismer i yt- och grundvatten och efterföljande skyfall kan skölja ut dessa höga patogenmängder i vattentäkten.

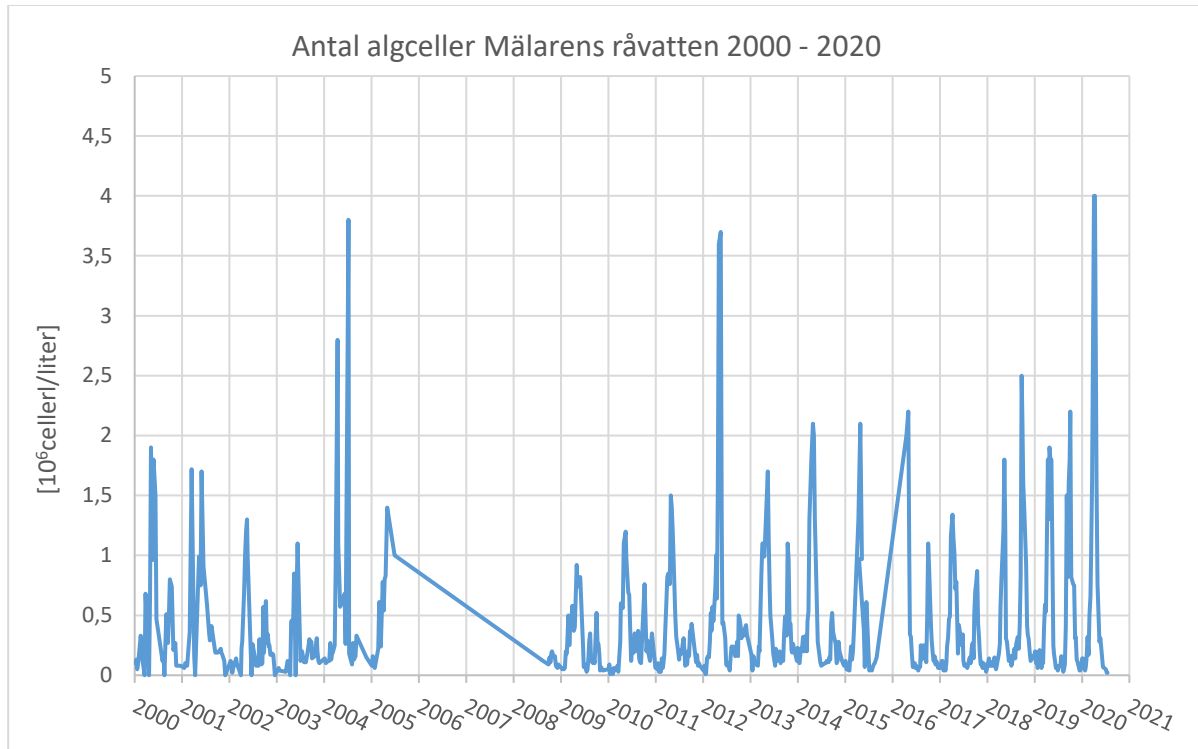


Figur 2. Uppmätta halter av koliforma bakterier, Odlingsbara bakterier samt E-Coli vid Görvålnverkets intag.

3.3. Alger

Norrvatten genomför varje vår och höst en algräkning, med undantag för 2006 till 2008, där antal celler räknas i mikroskop, *se figur 3*. Förekomsten och trender i växtplanktondata har sammanställts med hjälp av SLU (Willén, 2019) och de huvudsakliga slutsatserna är följande:

- Den totala biomassan visar på stora mellanårsvariationer men inga signifikanta skillnader mellan de två perioderna år 1980–1999 och år 2000–2018, trots att halterna fosfor och kväve har minskat.
- Växtplanktondata visar en signifikant ökning av andelen flagellater där biovolymen i maj har nära fördubblats från perioden 1980–1999 till 2000–2018
- Flagellater är ofta konkurrenskraftiga i vatten med lågt till måttligt näringsinnehåll.
- Andelen av blågrönalger (cyanobakterier) har ökat mellan perioderna, framförallt under sommarperioden.
- Avgörande för förekomst av större blomningar av blågrönalger med spridning av giftiga algtoxiner är om halten totalfosfor överstiger 0,02 mg/l (enligt Livsmedelsverket 2018 Handbok dricksvattenrisker, Cyanotoxiner i dricksvatten). Eftersom halten fosfor fortfarande är över 0,02 mg/l i Görvålnfjärden i medeltal, så innebär det att risken för blomningar med bildning av algtoxiner kan öka i framtidens klimat med ökad avrinning och ökad temperatur.



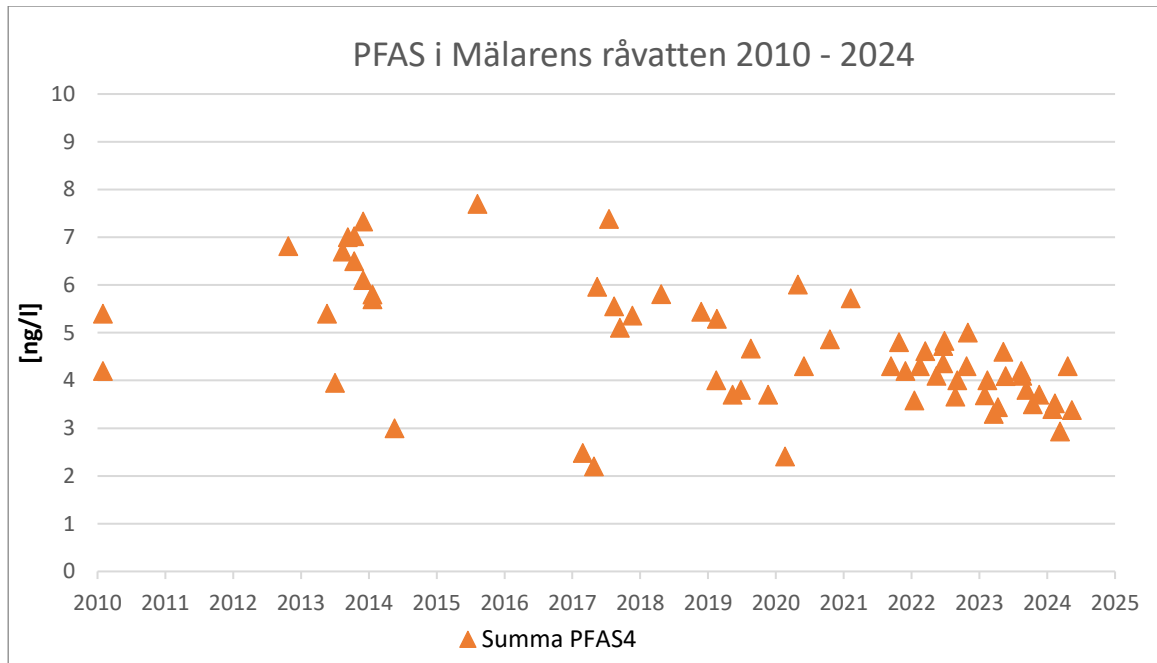
Figur 3. Antal miljoner algceller vid Görvålnerkets intag 2000 - 2020. Data saknas för åren 2006 till 2008.

3.4. Kemiska föroreningar

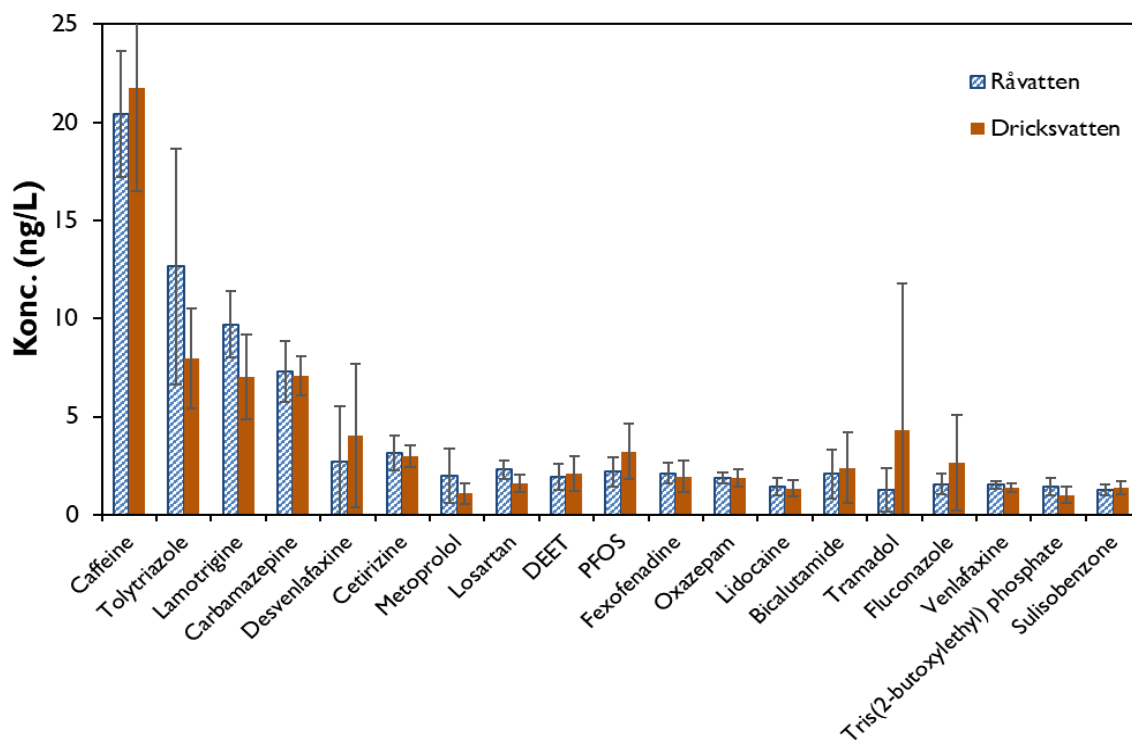
Norrvatten har sammanställt resultat för kemiska föroreningar i Görvålnfjärden (Ejhed, 2020). Mätningarna har genomförts av Norrvatten eller inom externa forskningsprojekt. De viktigaste slutsatserna om förekomsten av miljöföroreningar är följande:

- Samtliga reglerade ämnen där bland annat bekämpningsmedel ingår har betydligt lägre halter i Mälaren-Görvålnfjärden än gällande gränsvärden och visar enbart värden mindre än analysernas kvantifieringsgränser.
- Halterna PFAS-ämnen har varit relativt konstanta i Mälaren-Görvåln sedan mätningar påbörjades av Norrvatten år 2010. Möjligtvis kan en viss nedåtgående trend ses med början år 2017 (se figur 4).
- Förekomsten av vattenlösliga organiska miljöföroreningar har undersökts i en rad pilot- och forskningsstudier som omfattar 99 olika ämnen som läkemedelsrester, bekämpningsmedel, PFAS och flamskyddsmedel. Vanligast förekommande är läkemedelsrester, PFAS samt industrikemikalien Tolyltriazol (se figur 5). Ca 30 st kända ämnen förekommer ofta i Mälaren, men med få undantag i låga halter.
- Provtagning i Mälaren gjorda av Umeå Universitet på uppdrag av Region Stockholm under 2019 visar dock på högre halter läkemedel än tidigare, t.ex. 527 ng/l av Sotalol.
- På senare år har även Trifluorättiksyra, TFA, s.k. ultrakorta PFAS, uppmätts i Mälaren. Halterna ligger kring 400 ng/l vilket är relativt högt jämfört med PFAS4, se mer i stycke 4.3.2.

- SLU och senare BioCell Analytica har även gjort effekttester på humanceller fr.o.m. 2019, resultaten visar på att utgående dricksvatten från Görvålverket har en genotoxisk effekt, se mer i stycke 4.2.3
- De relativt fåtal undersökningar av mikroplaster som gjorts visar att halterna i Mälaren är låga.



Figur 4. Uppmätta halter i råvatten vid Görvålverket av summa PFAS4. PFAS har analyserats på olika laboratorier längs hela tidsserien vilket stärker bilden av att halterna varit relativt konstanta trots laboratoriebyten.



Figur 5. Medelvärde av månadsvisa uppmätta halter av vattenlösliga organiska föroreningar med stor användning och spridning i samhället (läkemedelsrester, industrikemikalier, PFAS och bekämpningsmedel) i råvatten och dricksvatten år 2017–2018. Figuren visar de 19 ämnen med högsta halter. Ca 30 ämnen förekommer ofta. Figuren visar även att halterna inte minskar för flertalet ämnen genom Görvälnverkets befintliga reningsprocesser.

3.5. Mälarens framtida vattenkvalitet

År 2018 gjordes det en riskanalys med hjälp av Sweco för östra Mälaren tillsammans med Stockholm Vatten och Avlopp (Eklund, Ruderfelt, 2018). Enligt analysen är de största riskkällorna; oavsiktliga utsläpp av avloppsvatten genom bräddning och brott på sjöförlagda spillvattenledningar, olyckor med direkt utsläpp i Östra Mälaren från sjöfart och utsläpp vid fartygsbränder samt olyckor med utsläpp från transport av farligt gods på vägar vid passager över vatten. Dessutom pekas muddring ut som kan medföra spridning av förorenat sediment.

2021 gjorde även Mälarens Vattenvårdsförbund en riskanalys över hela Mälaren (WSP, 2021). Den ger en liknande bild, men lyfter även farorna med klimatförändringar som ger ökad temperatur, intensiva skyfall, långvarig torka och förändrad isläggning.

Ett flertal händelser sker varje år med oavsiktliga utsläpp av avloppsvatten och olyckor med utsläpp av petroleumprodukter. Hittills har avloppsutsläppen kunnat hanteras genom noggrann övervakning och ökad UV-dos i Görvälnverket. Kustbevakningen och Räddningstjänsten har hittills lyckats begränsa petroleumutsläppen till Mälaren genom snabba insatser så att påverkan på råvattnet har minimerats.

I NV-rapporten ”Mälarens framtida vattenkvalitet” (Ejhed, 2020) finns en redovisning vilka förändringar av vattenkvaliteten som kan förväntas på grund av drivkrafter som klimatförändringen och den regionala utvecklingen. Det arbetet har kompletterats under 2024 med två rapporter i form av ett examensarbete (Knutas, 2024) och ett arbete på kandidatnivå (Siadat et. Al. 2024). En del av dessa effekter har redovisats ovan, men sammanfattningsvis gäller att följande förändringar kan förväntas och som behöver kunna hanteras av en framtida dricksvattenproduktion:

- Trender och prognoser för Mälaren pekar på en svag ökning i halt naturligt organiskt material, samt högre mikrobiell och kemisk belastning framöver.
- Prognoserna pekar på snabbare variationer i flöden och halter av ämnen i framtiden.
- Fler riskhändelser förväntas i framtiden, med utsläpp av mikrobiella och kemiska föroreningar samt algblomning med bildning av algtoxiner. Framförallt finns en ökad risk för olyckor på grund av ökad sjöfart och därmed ökad risk för utsläpp av bränslen.
- Ökad vattentemperatur
- Färre dagar med is.
- Ökad risk för förekomst av blågrönalger på grund av ökad risk för syrefria bottenar som i sin tur beror på längre period med skiktad sjö och därmed mindre vattenutbyte mellan ytvatten och bottenvatten. Detta gäller särskilt för djupa näringsrika bassänger som Ekoln

- Ökat näringsläckage från jordbruksmark och risk för ökad förekomst av bekämpningsmedel på grund av förlängd växtsäsong. Näringsstatusen för Mälaren förväntas dock bli relativt oförändrad, bland annat på grund av att ytterligare åtgärder för att minska utsläpp förväntas vidtas.
- Läkemedelsrester bedöms inte komma att öka. Förvisso ökar befolkningens mängd och läkemedelsanvändningen, men de större reningsverken kring Mälaren förväntas förbättra reningen.
- PFAS bedöms inte heller öka. Ett förbud kombinerat med ett aktivt uppströmsarbete och sanering av förorenad mark bedöms kunna minska spridningsvägarna för PFAS.

I det långsiktiga perspektivet, efter år 2100, så är risken för saltvatteninträngning i Mälaren på grund av havsnivåhöjningen fortsatt stor. Ombyggnad av Slussen innebär att klimatförändringen effekter på Mälarens högsta och lägsta vattennivåer mildras och regleringarna väntas fungera i ungefär 100 år.

4. Kvalitetskrav

I nedanstående stycken redovisas Norrvattens kvalitetskrav för Norrvattens Framtida Dricksvattenproduktion. De är uppdelade i huvudkapitel rörande råvattenkvalitet, mikrobiologisk barriär, kemisk barriär, naturligt organiskt material, desinfektionsbiprodukter, lukt och smak, korrosion, samt övriga parametrar. I kapitlet övriga parametrar redovisas en tabell för samtliga kravställda ämnen som ingår i dricksvattenföreskrifterna plus några parametrar till som Norrvatten anser vara viktiga för att göra ett processval.

4.1. Råvattenkvalitet

I nedanstående stycke sammanställs den dimensionerande råvattenkvaliteten för de mikrobiologiska och kemiska parametrarna som gäller för projektet. Dimensionerande värden redovisas tillsammans med mätvärden för de senaste 20 åren. Vissa av parametrarna har diskuterats i föregående stycke medan vissa nämns för första gången här. Norrvattens dimensionerande krav redovisas i tabellen. Parametrar som behöver förtydligande förklaras i text efter tabellen.

Mikrobiologiska parametrar

Kolumnen med ”Norrvattens krav” är en bedömning av uppskattat framtida maxvärde för de mikrobiologiska parametrarna med avseende på Görvälnfjärden som råvattentäkt. Dessa maxvärden ska en reningsprocess klara av att hantera så att kravställd dricksvattenkvalitet kan upprätthållas. För E-Coli och indikatororganismer gäller i första hand kravet på tillräcklig barriärverkan, se stycke 4.2, och i andra hand uppfyllda parameterkrav.

Somatiska kolifager

Påträffas somatiska kolifager i råvattnet i högre koncentrationer än 50 PFU/100 ml bör den analyseras efter vissa steg i beredningen för att fastställa log-reduktion genom befintliga barriärer samt bedöma risken för att patogena virus inte elimineras.

Tabell 1. Råvattendata för åren 2000–2020 (utom för somatiska kolifager som uppmättes under 2023) samt de halter som en reningsprocess behöver kunna hantera uttryckt som Norrvattens dimensionerande krav (mikrobiologiska parametrar).

Data (2000-2020)	Enhet	Råvatten			
Mikrobiologiska parameterar		Min	Median	Max	NV:s krav
Koliforma bakterier	cfu/100 ml	0	4	980	2000
E-Coli	cfu/100 ml	0	1	69	200
Presumptiva Clostridium Perfringens	cfu/100 ml	0	0	15	50
Intestinala Enterokocker	cfu/100 ml	0	0	10	50
Odlingsbara mikroorganismer 22°C, 3dygn	cfu/ml	0	88	1840	5000
Mikrosvamp	cfu/100 ml	0	30	5670	10000
Actinomyceter	cfu/100 ml	0	1	50	100
Alger	cel/l 10e6	0,01	0,2	4	10
Giardia (data för 2018-2020)	cy/100L	0	<1	<4	10
Cryptosporidium (data för 2018-2020)	ocy/100L	0	<1	<4	10
Somatiska kolifager (data för 2023)	pfu/100 ml	0	0	10	50

Kemiska parametrar

Kolumnen med ”Norrvattens krav” är en bedömning av uppskattat maxvärde för de kemiska parametrarna med avseende på Görvälnfjärden som råvattentäkt. Dessa maxvärden ska en reningsprocess klara av att hantera så att kravställd dricksvattenkvalitet kan upprätthållas. ”Norrvattens krav” utgår från uppmätta halter samt den bedömning av kvalitetsförändringar som finns redovisat i rapporterna om Mälarens framtida vattenkvalitet (Köhler och von Brömssen, 2019), (Ejhed, 2020), examensarbete (Knutas, 2024) och kandidatarbete (Siadat et. Al. 2024)

Tabell 2. Råvattendata för åren 2000–2020 samt de halter som en reningsprocess behöver kunna hantera uttryckt som Norrvattens dimensionerande krav (kemiska parametrar).

Data (2000-2020)	Enhet	Råvatten			
		Min	Median	Max	NV:s krav
Kemiska parametrar					
Temperatur	°C	0,5	7,0	15,7	16
Turbiditet	FNU	0,85	2,60	8,10	10
Färgtal	Pt mg/l	14	24	50	60
UV Absorbans 254 nm	Abs 5cm	0,729	1,10	1,92	2,50
Lukt styrka vid 20°		ingen	ingen	tydlig	tydlig
pH	pH-enhet	7,2	7,8	8,8	10
Konduktivitet, 25°C	mS/m	17,6	22,9	29,4	34
Alkalinitet	mg/l	45	70	106	120
Kalcium	mg/l	18	26	36	40
Magnesium	mg/l	1,0	4,8	7,0	10
Natrium	mg/l	8	12	16	20
Kalium	mg/l	1,0	2,7	3,1	4,0
Fluorid	mg/l	0,20	0,28	0,35	0,40
Klorid	mg/l	12	16	20	25
Sulfat	mg/l	17	24	34	50
Kemisk Syreförbrukning, COD	mg/l	5,0	7,0	11	12
Total Organiskt Kol, TOC	mg/l	5,9	7,6	12,8	15
Ammonium	mg/l	<0,013	<0,013	0,12	0,15
Nitrit	mg/l	<0,05	<0,05	0,11	0,15
Nitrat	mg/l	0,3	1,0	2,2	3,0
Fosfat	mg/l	0,01	0,05	0,29	0,50
Aluminium	mg/l	0,025	0,093	0,35	0,50
Koppar	µg/l	0,1	2,2	3,7	4,0
Järn	mg/l	0,01	0,073	0,31	0,50
Mangan	mg/l	0,005	0,014	0,071	0,100
Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	0,10
Bens(a)pyren	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	0,010
Summa Trihalometaner	µg/l	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0
Tetra- och Trikloretan	µg/l	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Bensen	µg/l	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
1,2 Dikloretan	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Cyanid	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Bromat	µg/l	<5	<5	<5	<5
Bromid (2018-2020)	mg/l	0,04	0,08	0,14	0,20
Antimon	µg/l	0,061	0,130	0,214	0,300
Arsenik	µg/l	0,347	0,522	0,852	1,000
Bly	µg/l	0,012	0,087	0,292	0,300
Bor	µg/l	11,0	19,8	39,2	50
Kadmium	µg/l	<0,001	0,0040	<0,020	0,020
Krom	µg/l	0,060	0,160	0,342	0,500
Kvicksilver	µg/l	<0,002	<0,002	<0,10	0,10
Nickel	µg/l	1,7	2,5	4,5	5,0
Selen	µg/l	0,03	0,11	0,50	1,0
ΣPFAS21 (resultat för PFAS11 2013-2020)	ng/l	4,4	10,9	20,9	20,9
ΣPFAS4 (2010-2024)	ng/l	2,2	4,3	7,7	7,7
S:a Kvantifierade Bekämpningsmedel	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,50
Mikrocystin - LR (2015 - 2019)	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	10

4.2. Mikrobiologisk barriär

Reningsprocessen ska ha tillräckligt antal barriärer mot mikrobiologisk förorening för att uppfylla kravet att dricksvattnet ska vara hälsosamt och rent (6 § LIVSFS 2022:12). Svenskt Vatten har tillsammans med Norsk Vann arbetat fram ett koncept för att teoretiskt beräkna vilken förmåga att avskilja sjukdomsframkallande mikroorganismer ett vattenverk behöver i förhållande till åtgärder i råvattentäkten, råvattentyp, råvattenkvalitet, driftförhållanden och storlek.

Konceptet kallas mikrobiell barriäranalys, MBA. Livsmedelsverket rekommenderar detta verktyg för anläggningar som omfattas av lagen (2006:412) om allmänna vattentjänster. Reningskravet uttrycks i MBA som den barriärhöjd i log-enheter (logreduktion) som krävs för att få ett säkert dricksvatten med avseende på bakterier, virus respektive parasitära protozoer. I MBA ingår såväl de barriärer som bygger på avskiljning (till exempel kemisk fällning eller membranfiltrering) som de barriärer som bygger på inaktivering (det vill säga desinfektion), när barriärhöjden räknas fram. Livsmedelsverket rekommenderar en kombination av avskiljande och inaktiverande barriärer för bästa barriärverkan.

Ett annat verktyg som kan användas som komplement till MBA är kvantitativ mikrobiologisk riskanalys, QMRA. QMRA är ett modelleringsverktyg där man kan ändra olika förutsättningar för sitt vattenverk för att se hur beredningen fungerar. I QMRA-verktyget finns teoretiska data men det finns också möjlighet att mata in egna uppgifter på till exempel patogenförekomst i råvatten och avskiljningsförmåga för det egna vattenverket. Det finns också möjlighet att simulera driftstörningar och extrema händelser.

Med QMRA kan man få fram log-reduktion av valda sjukdomsframkallande mikroorganismer och sannolikhet/risk för sjukdom. Resultatet presenteras i form av barriärhöjd samt årlig och daglig infektionsrisk samt uttryckt som "dissability adjusted life years (DALY) vilket kan översättas till "antal levnadsår utan full hälsa". Detta mått använder sig WHO av och har satt gränsvärdet för dricksvattenburen sjukdom till 1 μ DALY.

Genom att använda MBA och QMRA kan man få en uppskattning av vilken barriärhöjd som krävs och därmed också om antalet barriärer är tillräckligt. Man kan också få en viss bedömning om desinfektionen är tillräckligt effektiv.

Norrvatten har genomfört både en MBA-analys (Dahlberg, 2019) och en QMRA-analys (Tyrens, 2020) för att bedöma nuvarande barriärverkan på Görvålnverket och koppla detta till risknivå på dricksvattnet.

MBA-analysen visar på att barriärhöjden för både bakterier och virus är för låg över beredningsprocessen på Görvålnverket för att uppnå ett hälsosamt dricksvatten. QMRA-analysen bekräftar att barriärhöjden för virus är för låg, framförallt avseende Norovirus, men visar på att barriärhöjden för bakterier och parasiter är tillräcklig för att uppnå ett hälsosamt dricksvatten i linje med WHO:s gränsvärde på 1 μ DALY samt gränsvärdet för årlig infektionsrisk på 1 per 10 000 personer och år.

Att resultaten från analyserna skiljer sig åt kan vara en indikation på att MBA-metoden ger ett något säkrare dricksvatten som ligger på en lägre risknivå än 1 μ DALY samt gränsvärdet på årlig risk på 1 per 10 000 personer och år. Dock är metoderna uppbyggda på olika sätt och bygger på olika indata vilket gör jämförelsen osäker.

Krav på mikrobiologisk barriärverkan

Norrvatten följer Livsmedelsverkets rekommendation att använda MBA och QMRA för att få en uppskattning av vilken mikrobiologisk barriärhöjd som krävs och därmed ange krav på den framtida beredningsprocessens förmåga att avskilja och avdöda olika sjukdomsframkallande mikroorganismer (bakterier, virus och parasiter). Livsmedelsverket rekommenderar också en kombination av avskiljande och inaktiverande barriärer för bästa barriärverkan.

Vid uppförandet av en ny beredningsprocess är det viktigt att även ta höjd för en försämrad råvattenkvalitet i framtiden, vilket även understryks i dricksvattendirektivet (art.9). Norrvatten har i rapporten "Mälarens framtida vattenkvalitet" (Ejdhed, 2020) tagit fram en prognos för framtida råvattenkvalité där man beskriver att förekomsten av mikrobiologiska föroreningar i råvattnet förväntas öka i takt med klimatförändringarna samt med den ökade belastningen som befolkningstillväxten runt Mälaren innebär. Detta ger skäl till att klassificera vattentäkten östra Mälaren i en sämre nivå i framtiden än klassningen som baseras på dagens råvattenkvalitet (*Tabell 3*).

I MBA-metoden är produktionsanläggningarna uppdelade i tre nivåer där man anser att högre krav bör ställas på anläggningar som försörjer fler personer. Den högsta nivån i metoden är benämnd ">10 000 anslutna". Norrvatten är Sveriges fjärde största dricksvattenproducent och försörjer idag ca 700 000 personer med dricksvatten. År 2050 bedöms antalet anslutna uppgå till närmre en miljon människor vilket innebär att konsekvenserna av ett dricksvattenburet sjukdomsutbrott blir mycket stora och ger skäl till att höja kravnivån ytterligare. En rimlig nivå för denna höjning anses vara 0,5LOG¹⁰ per patogengrupp per LOG¹⁰ anslutna som överstiger 10 000 personer. Skillnaden mellan 10 000 och en miljon är 2 LOG¹⁰ och därmed anses ett rimligt påslag vara 1 LOG¹⁰ per patogengrupp (*Tabell 3*). Ovanstående innebär också en ökad säkerhet för att möta förändringar i råvattenkvalitén.

Utifrån detta resonemang är Norrvattens krav på mikrobiologisk barriärverkan i en framtida beredningsprocess uttryckt i log-reduktion per patogengrupp följande: 7 LOG¹⁰ reduktion av bakterier, 7 LOG¹⁰ reduktion av virus (exklusive adenovirus) samt 5,5 LOG¹⁰ reduktion av parasiter (*Tabell 3*).

Adenovirus kravställs inte på grund av att risken för att bli sjuk av adenovirus genom dricksvattnet är inte tillräckligt hög för att motsvara de kostnader som det skulle innebära i reningsteknik. Vidare så bedöms immuniteten vara god hos befolkningen i norra Europa, då små barn exponeras i hög grad för denna virusstyp under sina första levnadsår. Infektionen bedöms inte heller vara av samma allvarlighetsgrad som andra typer av virus och parasiter som kravställs i MBA-metoden.

I den framtida dricksvattenproduktionen ska det finnas *minst två oberoende mikrobiologiska barriärer per patogengrupp*. Vidare ska de mikrobiologiska barriärerna i den framtida beredningsprocessen utgöras av *en kombination av avskiljande och avdödande barriärer*, vilket även rekommenderas av Livsmedelsverket.

Tabell 3. Klassning av Görvälncjärden som råvattentäkt, nu och i framtiden samt beräkning av total logreduktion samt barriärhöjd vid Görvälncverket (Dahlberg, MBA 20190807)

	Bakterier	Virus	Parasiter
	LOG10	LOG10	LOG10
Vattentäkt klassificering, nuläge	-6	-6	-4
Vattentäkt klassificering, framtid	-6	-6	-4,5
Total log-reduktion Görvälncverket	5,2	4,2*	5,0
Barriärhöjd (skillnad nuläge/Görvälncverket)	-0,8	-1,8*	1,0
Norrvattens krav**	7	7	5,5

*Logreduktionen för Adenovirus ligger 1,8 lägre än detta.

**Kravet utgår från klassificering framtid och med en LOG¹⁰ i säkerhetsmarginal.

4.3. Kemisk barriär

Kemisk barriär används i denna rapport som begrepp för att beskriva förmåga att avskilja oönskade kemiska ämnen. Till skillnad från en mikrobiologisk barriär, som är definierad och fastställd i dricksvattenföreskrifterna samt Livsmedelsverkets vägledning så finns det idag ingen allmänt vedertagen definition av ”kemisk barriär”.

Med tanke på att producenterna har ett ansvar för att dricksvattnet är hälsosamt och rent, som beskrivits i stycke 2, vilar ett stort åtagande på Norrvatten i denna fråga. En kemisk barriär är således ett skydd mot kemiska hälsostörande ämnen, på samma sätt som det idag finns mikrobiologiska barriärer som skyddar konsumenter mot sjukdomsframkallande mikroorganismer. En kemisk barriär är inte ett absolut skydd utan det kan röra sig om en tillräcklig reduktion av kemiska ämnen för att minimera risken att påverkas negativt.

De ämnen som Norrvatten identifierat som kemiska risker och därmed inkluderat i reningssteget för kemisk barriär är:

- Organiska spårämnen (OMPs från engelskans organic micropollutants) (bekämpningsmedel, läkemedelsrester, ämnen i hygienartiklar (t.ex. parabener), tillsatser i mat och industrikemikalier inklusive PFAS-ämnen)
- Utsläpp av t.ex. olja och diesel från båttrafik
- Olyckor vid transporter med bil eller tåg med passage över vatten
- Algtoxiner (intra- och extracellulära)
- Kemikalieutsläpp
- Brandrelaterade utsläpp

Dessa huvudkategorier av ämnen hanteras på olika sätt i en reningsprocess beroende på typ av ämnen, halter och sammansättningar. Den kemiska barriären kan delas upp i en akut kemisk barriär och en permanent kemisk barriär.

Akut

En akut kemisk barriär definieras som ett processteg som kan tas i drift vid akuta händelser med risk för eller påvisad kemisk förorening i råvattentäkten. Ett användningsområde för en akut kemisk barriär är utsläpp av olja och diesel orsakade av båttrafik, stora luktstörande algblomningar, men den kan även tas i drift vid större utsläpp av organiska spårämnen som inte hanteras i de ordinarie processtegen.

Kravställning

Norrvatten ska ha en akut kemisk barriär som ska skydda mot plötsliga och stora förändringar i vattenkvaliteten till följd av utsläpp. Utsläppet definieras som kraftigt påslag av oönskade kemiska ämnen. Detta kan identifieras med hjälp av on-line sensorer. Mätning kan göras på enskilda ämnen och/eller på indikatorer som t.ex. lukt eller förändringar i sammansättningar av organiskt material.

Permanent

4.3.2. En permanent kemisk barriär syftar till att ha ett kontinuerligt, generellt skydd mot låga eller måttliga halter av organiska spårämnen och algtoxiner. Orsaken till att skyddet bör vara generellt är att man vill kunna skydda sig mot många olika typer av ämnen inklusive okända ämnen.

Vattnet i Östra Mälaren innehåller flera organiska spårämnen inklusive PFAS-ämnen och bekämpningsmedel- samt läkemedelsrester. I rapport från Mälarens vattenvårdsförbund (Malnes et al, 2021) så framgår att halterna generellt sett är högre i Mälaren jämfört de övriga större sjöarna i Sverige samt att koncentrationerna för både PFOS samt 17- β -östradiol överskred miljökvalitetsnormerna för god status vid flertal tillfällen och platser.

Den nuvarande reningsprocessen på Görvälnverket har liten eller ingen påverkan på dessa kemiska ämnen och halterna i dricksvatten är därför ofta desamma som i det obehandlade råvattnet.

Det finns stora kunskapsbrister gällande förekomst av olika ämnen, dess hälsoeffekter samt cocktail-effekter, d.v.s. hur blandningar av olika ämnen kan samverka och påverka människors hälsa negativt.

Under senaste åren har nya analysmetoder utvecklats som indikerar den sammanlagda effekten av olika ämnens samverkan och dess samlade hälsopåverkan, däribland genotoxicitet eller DNA-skadande effekt. Detta är potentiellt en allvarlig effekt eftersom DNA-skada i kroppsceller kan leda till cancer och andra sjukdomar och till reproduktionsstörningar om det drabbar könsceller. Vidare kan effekter uppstå även vid mycket låga doser (tröskeldos saknas).

Sammanfattningsvis kan sägas att Norrvatten detekterat ämnen i råvattnet som kan orsaka oxidativ stress, Ah-receptoraktivitet, genotoxicitet samt östrogen-aktivitet. För flera av dessa

parametrar har beredningsmetoderna i fullskaleanläggningen inte effektivt kunna avlägsna de ämnen som orsakar aktiviteten.

Genotoxisk aktivitet intar en särställning i toxicitetstestning, eftersom konsekvenserna av genotoxicitet kan vara mycket allvarliga och det i vissa fall inte finns någon säker exponering, ens vid mycket låga doser (tröskeldos saknas). Mot den bakgrunden har fördjupade studier och upprepade provtagningar genomförts under 2020–2023 av råvatten, sandfiltrat, kolfiltrat och utgående dricksvatten från Görvålverket, samt vid några tillfällen i distributionsnätet. Resultaten för råvatten uppvisade säsongsvariationer med tydligt förhöjd genotoxisk effekt och oxidativ stress under höstarna (september-november), men att det även vid enstaka tillfällen under året påvisades genotoxisk effekt (Lundqvist mfl 2024).

Reningseffektiviteten är begränsad i fullskaleanläggningen och genotoxisk effekt respektive oxidativ stress har påvisats i utgående dricksvatten och vid enstaka tillfällen ute i distributionsnätet. Östrogen-aktivitet har påvisats i de flesta råvattenproven, särskilt förhöjt under sommarmånaderna (maj-september). Till skillnad från andra effekter så renas det effektivt bort i nuvarande fullskaleanläggning. Försök har genomförts för att testa rening med granulärt aktivt kol, vilket visar generellt mer effektiv rening än fullskaleanläggningen av samtliga påvisade effekter av kemiska ämnen i råvattnet. Genotoxisk effekt i dricksvattnet påvisades trots att inga gränsvärden för reglerade kemiska parametrar överskreds. Det visar att det idag tidvis förekommer okända ämnen i råvattnet och dricksvattnet vid Görvålverket som utgör en fara och skulle kunna medföra en hälsorisk.

I PM från Biocell Analytica (2020), som författats av Agneta Oskarsson, professor em i livmedelstoxikologi och Johan Lundqvist, docent i molekylär toxikologi vid SLU anges följande: *För att kunna avgöra om det finns en tröskeldos för genotoxiciteten och därmed en exponeringsnivå som kan anses vara säker behöver de ämnen som orsakar genotoxiciteten identifieras. Det är dock vår bedömning att det vore mycket svårt och skulle involvera stora forskningsinsatser att genomföra en sådan identifiering. Enligt vår uppfattning vore det mer rimligt att i första hand fokusera det fortsatta arbetet på att spåra och avlägsna källan till föroreningen i råvattnet eller hitta och utvärdera beredningstekniker som kan avlägsna den genotoxiska effekten, liksom övriga effekter vi observerat. Därigenom kan riskerna med genotoxiska ämnen i råvattnet hanteras utan att de ämnen som orsakar aktiviteten måste identifieras.*

Kravställning

Baserat på denna rekommendation så gäller att prover på utgående dricksvatten från Görvålverket i framtiden inte ska uppvisa några genotoxiska effekter på humanceller.

PFAS

I det nya dricksvattendirektivet finns det två gränsvärden för PFAS. 100 ng/l av 20 PFAS-ämnen samt 500 ng/l för totala halten PFAS. Direktivet är ett minimidirektiv, vilket innebär att alla medlemsländer får införa skarpare regler. Livsmedelsverket har valt att justera ett av gränsvärdena samt att införa ett nytt hårdare krav på PFAS4.

Gränsvärdet för PFAS20 har utökats med ett PFAS-ämne som ingick i Livsmedelsverkets tidigare åtgärdsgräns för PFAS11. Gränsvärdet blir således 100 ng/l för PFAS21. Det andra skarpare gränsvärdet är 4 ng/l för PFAS4 och grundar sig i EFSA:s utvärdering av hälsoeffekter från PFAS, PFOA, PFNA och PFHxS. Livsmedelsverkets gränsvärden kommer att gälla från första januari 2026.

Avseende parametern för den totala halten PFAS som finns i dricksvattendirektivet så står det att medlemsstaterna får besluta att antingen använda en eller båda av parametrarna ”PFAS totalt” eller ”summan av PFAS”. I nu gällande svenska föreskrifter finns endast summan av PFAS21 med som ett gränsvärde. Det saknas dock fortfarande metod för att analysera ”PFAS totalt” och det är inte känt för Norrvatten om Livsmedelsverket avser att lägga till den parametern i föreskrifterna när metoden är framtagen eller inte. Det råder även oklarhet i om Trifluorättiksyra, TFA, s.k. ultrakorta PFAS, kommer att ingå i parametern. Då det inte finns något externt krav i dagsläget så kommer heller inte Norrvatten ha krav på att kunna hantera ett eventuellt kommande gränsvärde för PFAS total.

Kravställning

Norrvatten ska klara Livsmedelsverkets skarpare gränsvärden för PFAS som börjar gälla 2026. Följande PFAS-krav gäller således:

- PFAS21: <100 ng/l
- PFAS 4: <4,0 ng/l

4.4. Naturligt organiskt material (NOM)

Reduktion av organiskt material, färg och turbiditet är en viktig del i många ytvattenverk. Det organiska materialet innebär i sig inte en hälsofara vid konsumtion men vissa ämnen kan bidra till färg, lukt- och smakstörningar på dricksvattnet. Vissa NOM-fraktioner kan bidra till bildandet av hälsoskadliga biprodukter (DBPs) vid desinfektionsprocesser i vattenverk, se kapitel 4.5, och vissa NOM-fraktioner är ”biotillgängliga” och kan innebära ökad tillväxt av mikroorganismer i distributionssystem vilket i sig kan orsaka kvalitetsavvikelser och kan även leda till ökade problem med korrosion på ledningsmaterial.

Genom att reducera dessa ämnen tidigt i beredningsprocessen kan belastningen på efterföljande beredningssteg även minskas vilket kan ge positiva effekter i form av ökad avskiljning och avdödning av både mikrobiologiska och kemiska föroreningar och därmed innebära minskade kostnader för att uppnå samma reningseffekt. Exempelvis är UV-aggregat dimensionerade för en viss UV-transmittans i vattnet och en större dimensionering krävs för att uppnå samma effekt vid en lägre transmittans. Vid användning av membran kan höga halter organiskt material innebära ökade problem med beläggningar (fouling) vilket kan innebära behov av tätare rengöringsintervall och innebära ökade kostnader för rengöringskemikalier samt bidra till en minskad livslängd för membranen.

Kopplat till korrosion har både negativa och positiva effekter av halten organiskt material noterats då dessa ämnen kan ha en inhiberande effekt på korrosion av järnmaterial medan de kan öka korrosionshastigheten av kopparmaterial.

Flera studier har visat på att sammansättningen av det organiska materialet är viktigare än den totala halten NOM då olika beredningsprocesser är selektiva i sin reduktion av NOM och vissa fraktioner är lättare att reducera än andra över konventionella fällningsprocesser. Studier har även visat att vissa fraktioner bildar mer toxiska desinfektionsbiprodukter, vissa bidrar i högre grad till fouling av membran och de biotillgängliga fraktionerna bidrar till bakteriell tillväxt och biofilmbildning på ledningsnät. Även vid användning av monokloramin kan det bildas toxiska biprodukter vid reaktion med det organiska material som finns i dricksvattnet.

Analysmetoder för NOM

Det finns flera olika metoder för att analysera parametrar kopplade till vattnets innehåll av naturligt organiskt kol. COD_{Mn} (Kemisk syreförbrukning) är en parameter som traditionellt har används och ger ett mått på den oxiderbara delen av det organiska materialet genom att oxidera det med permanganat och mäta syreförbrukningen. TOC (Totalt organiskt kol) är ett mått på den totala mängden kol, här förbränns provet och mängd producerad koldioxid mäts. DOC (Löst organiskt kol) är ett mått på de lösta fraktionerna av TOC och mäts genom att först filtrera provet genom ett 0,45µm-filter före förbränning. Även optiska parametrar används som mått på halten organiskt material där absorptions vid 420nm eller 254nm ger ett mått färgad respektive UV-absorberande NOM. Dock påverkas dessa analyser även av halten löst järn i vattnet. Andelen absorberande organiskt material mätt som kvoten UV254/DOC brukar kallas SUVA (Specifik UV-absorptions) och kan användas som ett mått på hur väl det organiska materialet i vattnet kan fällas bort i en konventionell fällningsprocess (= vattnets ”fällbarhet”).

LC-OCD (Liquid Chromatography – Organic Carbon Detection) är en metod som kan användas för att separera NOM i olika fraktioner baserat på molekylstorlek och kan användas för att jämföra olika beredningsstegs selektiva förmåga till reduktion av olika NOM-fraktioner. Andra användningsområden innefattar att utvärdera vattnets ”fällbarhet”, för att följa upp membrandrift samt för att följa upp vattnets innehåll av biotillgängligt organiskt material.

Biostabilitet

Dricksvattnets förmåga att motverka bakteriell tillväxt brukar benämnas vattnets ”biostabilitet”. Det finns idag ingen standardiserad analysmetod för vattnets biostabilitet men viktiga förutsättningar för att begränsa tillväxten av bakterier och biofilm är enligt Livsmedelsverket en låg vattentemperatur, en låg halt oorganiska och organiska ämnen samt ett lågt innehåll av mikroorganismer. Analysmetoder för parametrar kopplade till biostabilitet kan delas upp i de som mäter substratet som bakterierna livnär sig på (biotillgängligt organiskt material) och de som mäter tillväxten av bakterier i sig. Tillväxten kan antingen mätas som ökning i antalet bakterier alternativt som syreförbrukning.

De biotillgängliga fraktionerna av NOM, brukar även benämnas ”BOM” (Biotillgängligt Organiskt Material). Analysmetoder som finns för att mäta BOM innefattar BDOC (Biotillgängligt organiskt kol) och AOC (Assimilerbart organiskt kol), dessa är inte

standardiserade metoder vilket innebär att det kan vara problematiskt att jämföra resultat mellan olika vatten, dock kan de ge bra information om förändringar relativt det egna systemet. BDOC mäts genom att mäta minskningen av TOC eller DOC under inkubation med naturligt förekommande mikroorganismer. AOC mäts genom att först sterilisera provet och sen istället tillsätta kända bakteriestammar och mäta ökning av biomassa efter en bestämd tid.

De tillväxtbaserade metoderna inkluderar syreförbrukning eller tillväxt av långsamväxande eller odlingsbara bakterier vilket är ett mått på heterotrofa bakterier som växer till under specifika förhållanden avseende temperatur och tid. Det finns även olika metoder för att mäta tillväxt av totalantalet bakterier med hjälp av exempelvis flödescytometri.

Kopplat till biostabilitet kvarstår problemen med bakteriell tillväxt i distributionssystemet under vissa perioder på året. Dessa problem uppkommer vanligtvis under sensommar och höst då råvattnet är som varmast med temperaturer uppåt 12–14 °C. Dricksvattnet betraktas därför i dagsläget inte som biostabilt och därför är det av stor vikt att reducera det biotillgängliga organiska materialet i högre grad för att säkerställa dricksvattenkvaliteten.

Lagkrav NOM

I Livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter regleras halten NOM med parametern COD_{Mn} där gränsvärdet hos användare ligger på 5,0 mg/L O_2 . Det är dock tillåtet att istället mäta parametern TOC. Gränsvärdet för TOC är inte fast utan ska inte uppvisa någon ”onormal förändring”. Det innebär att det fasta gränsvärdet som mått på NOM försvinner då TOC analyseras. Andra parametrar kopplade till halten organiskt material och biostabilitet i föreskrifterna inkluderar färg, turbiditet samt tillväxt av odlingsbara och långsamväxande bakterier. Gränsvärden för dessa parametrar framgår av tabell 4.

Enligt dricksvattenföreskrifterna ska särskild hänsyn tas till de kvalitetsförändringar som kan förväntas uppstå under distribution (Kontrollwiki/SLV) och pekar på att en viktig förutsättning för låg tillväxt av bakterier i distributionssystemet är lågt innehåll av organiska ämnen samt att minimera förekomsten av lättillgängligt organiskt kol i beredningsprocessen. Här nämns att AOC och BDOC kan användas för analys av detta. För dessa parametrar finns det dock inga gränsvärden att relatera till men det finns en del referensvärden i litteraturen.

Enligt en studie bör BDOC ligga under 0,15 mg/L för ett biostabilt vatten vid en temperatur om 20 °C (Volk et al 1994). Gällande AOC finns det lite olika referensvärden där AOC <10 µg/L har visat sig vara en bra nivå för ett klorfritt system (van der Kooij, 1982) och en AOC-halt <50 µg/L är en bra nivå för kontroll av koliform tillväxt (LeChevallier et al 1991). Vid en högre klorrest på 3–6 mg/L (vilket överstiger den lagliga klorhalten om 1 mg/L i Sverige) anses en AOC-halt på 50–100 µg/L vara en rimlig nivå för att begränsa tillväxt av koliformer. Då dessa studier är genomförda med olika förutsättningar på klorhalt och temperatur är det ovanligt att använda dessa som gränsvärden men de kan användas som referensvärden vid analys av halter i det egna systemet för jämförelse (Lavonen, E et al 2018).

Tabell 4. Gränsvärden för parametrar kopplade till naturligt organiskt material (NOM) i dricksvattenföreskrifterna (LIVSFS 2022:12)

Parameter	Enhet	Dricksvatten – Utgående vattenverk	Dricksvatten – Hos användare
Oxiderbarhet (COD _{Mn}) ¹⁾	mg/L O ₂	-	5,0
Totalt organiskt kol (TOC)	mg/L C	-	Ingen onormal förändring
Färgtal	mg/L Pt	15	30
Turbiditet	NTU	0,5	1,5
Odlingsbara bakterier 3 dygn 22°C	antal/mL	Ingen onormal förändring	Ingen onormal förändring
Långsamväxande bakterier 7 dygn 22°C	antal/mL		Ingen onormal förändring
1) Parametern behöver inte mätas om TOC analyseras			

Kravställning NOM

Norrvatten kommer fortsatt att analysera TOC vilket i praktiken betyder att COD inte behöver analyseras. Det innebär dock även att det fasta gränsvärdet försvinner. Norrvatten anser ändå att det finns ett värde i att ha ett faktiskt gränsvärde att förhålla sig till då mängden organiskt material i vattnet kan påverka flera faktorer så som UV-aggregatets effektivitet och tillväxt på ledningsnätet. Norrvatten kommer därför fortsatt ha ett krav på att reningen ska klara en utgående halt av COD på lägre än 5 mg/l O₂. COD halten kan i framtiden antingen vara analyserad eller beräknad utifrån en kvot mellan TOC och COD men oavsett så är kravet att halten ska ligga under 5 mg/L O₂.

Det vore även önskvärt reducera halterna av de biotillgängliga fraktionerna av NOM i högre grad än idag i den framtida reningsprocessen. På det sättet minskar halterna i utgående dricksvatten och därmed minskar risken för tillväxt i distributionssystemet. Då analysmetoderna för detta inte är standardiserade och dataunderlaget idag är för tunt för att ställa skarpa krav är rekommendationen att halterna i dricksvatten från den framtida beredningsprocessen är lägre än dagens halter i dricksvattnet.

Ytterligare rekommendationer innefattar att följa upp sammansättningen av NOM och eventuellt ställa högre krav på reduktion av NOM eller vissa fraktioner av NOM om det krävs för optimering av de efterföljande beredningssteg som är aktuella i en ny beredningsprocess vid Görvålnverket.

4.5. Korrosion

För att distribuera ett dricksvatten utan att kvaliteten försämras nämnvärt är det viktigt att de distributionstekniska förutsättningarna är tillfredsställande. Dessutom måste dricksvattnets kvalitet anpassas för transport i det aktuella distributionsnätet. Hänsyn måste då tas till de kemiska och mikrobiologiska processer som under ogynnsamma förhållanden kan försämra dricksvattnets kvalitet påtagligt och i värsta fall göra det otjänligt för konsumtion.

Vid distribution överförs dricksvattnet till en gigantisk reaktor där vattnets kvalitet påverkas av olika korroderande material, lång och varierande uppehållstid och pågående mikrobiologiska processer. Här saknas också helt kontroll på processparametrarna jämfört med i ett vattenverk.

För att dricksvattnet ändå ska förbli tjänligt när det når konsumenterna måste kvaliteten anpassas till dessa processer. Kortfattat kan de krav som bör ställas på dricksvattnet sammanfattas i kemisk och mikrobiologisk stabilitet, samt att vattnet i så liten grad som möjligt påverkar och låter sig påverkas av de olika material det kommer i kontakt med.

Kemisk stabilitet

Inga av de rörmaterial som används för distribution av dricksvatten är långsiktigt stabila i den form de förekommer och kommer därför med tiden att brytas ner. Föreningarna som tillförs vattnet är således till stor del korrosionsprodukter. Korrosionsprodukterna faller i första hand ut på rörväggarna och skyddar där mot fortsatt korrosion. Men eftersom korrosionsprodukterna står i jämvikt med vattnet som distribueras och dess kvalitet kommer förändringar i vattenkvaliteten att störa uppbyggnaden av korrosionsproduktskikten med upplösning och kvalitetsförsämring av vattnet som följd.

Det första kriterium som bör ställas på ett dricksvatten för att motverka korrosion är därför att det uppvisar en jämn och stabil kvalitet.

Mikrobiologisk stabilitet

Även mikroorganismer kan under olyckliga omständigheter inducera lokala korrosionsangrepp på distributionsnätet, eftersom den miljö som bildas under biofilmen kan avvika kraftigt från den omgivande, med exempelvis mycket lågt pH-värde. Vissa mikroorganismer kan också aktivt delta i korrosionsprocessen genom att exempelvis binda korrosionsprodukter.

Omfattningen av den mikrobiologiska aktiviteten på distributionsnätet bestäms i hög grad av tillgången på föda för organismerna, dvs. huruvida det finns små lättnedbrytbara organiska molekyler tillgängliga i vattnet. Det arbete som mikroorganismerna utför i råvattentäkten där döda växter och djur bryts ner till naturligt organiskt material och koldioxid, hinner inte alltid slutföras, vilket innebär att det fortsatt finns en potential för mikrobiologisk aktivitet i vattnet.

Beredningsprocessen kan rent av innehålla behandlingssteg som bryter ner stabila organiska föreningar till lättillgängliga. Till dessa hör ozonering, men också kraftfull UV-behandling och klorering. Efter ett ozoneringssteg finns normalt ett biologiskt behandlingssteg, men vid klorering sker behandlingen oftast i slutet av processen. Sedan kloröverskottet avklingat på distributionsnätet finns då ett överskott av lättillgängligt organiskt material, vilket inte sällan medför förhöjd mikrobiologisk aktivitet.

För att motverka mikrobiologisk aktivitet på distributionsnätet och speciellt mikrobiologiskt inducerad korrosion, är det således viktigt att bereda ett dricksvatten som i så liten utsträckning som möjligt innehåller lättnedbrytbart organiskt material.

Anpassning av vattnets kvalitet för att motverka korrosion

Ett distributionsnät för dricksvatten innehåller många typer av material som vart och ett uppvisar olika egenskaper i relation till korrosion. Relativt omfattande forskningsresultat finns tillgängliga gällande vilken dricksvattenkvalitet som är bäst lämpad för att motverka den samlade korrosionssituationen i ett distributionsnät och nedan beskrivs denna kortfattat för ett antal parametrar av stor betydelse.

pH-värde

pH-värdet är ett mått på vattnets surhetsgrad, eller halt av vätejoner. Ju lägre pH-värdet är, desto högre är halten vätejoner. För att motverka korrosion på distributionsnätet bör pH-värdet överstiga 8 helst upp emot 8,4. Det är viktigt att komma ihåg att pH-värdet är en logaritmisk parameter och en liten sänkning i pH-värde med 0,3 log-enheter innebär en fördubbling av halten vätejoner. För att vattenkvaliteten ska vara stabil, måste således pH-värdet regleras med stor noggrannhet.

Alkalinitet

Alkaliniteten är ett mått på vattnets förmåga att motstå försurning. Motsåndskraften består huvudsakligen av vätekarbonat- och karbonatjoner som kan ta upp vätejoner och bilda korresponderande syror, koldioxid och vätekarbonatjoner. Alkaliniteten mäts i mg/l vätekarbonat och bör uppvisa ett värde över 50 mg/l, för distributionsnät med långa uppehållstider gärna högre, 80 – 100 mg/l. Alltför hög alkalinitet, över 150 mg/l bör dock undvikas för att inte korrosionshastigheten på kopparmaterial ska tillta.

Kalciumhalt

Halten av kalciumjoner i ett dricksvatten tillmättes tidigare stor betydelse, eftersom det ansågs att utfällning av fast kalciumkarbonat skulle skydda rören mot fortsatt korrosion. Idag vet man att rören huvudsakligen skyddas av utfällda korrosionsprodukter och därmed har kalciums betydelse nedtonats. Tvärtom ger ett kalciumkarbonatfällande vatten problem för konsumenterna, eftersom lösligheten av föreningen avtar med stigande temperatur och utfällningar av kalciumkarbonat i hushållsinstallationer, såsom exempelvis tvätt- och diskmaskiner, ger tekniska störningar. En rimlig kalciumhalt i dricksvattnet bör vara minst 10 mg/l eller något högre, men det finns inga skäl att genom dosering eftersträva högre halter. Det finns inte heller någon anledning att reducera halten kalcium så länge maxvärdet i föreskrifterna efterlevs.

Halt av naturligt organiskt material

Betydelsen av att det organiska materialet i dricksvattnet är stabilt har redan betonats i föregående framställning. Att till varje pris eftersträva extremt låga halter av naturligt organiskt material är däremot inte nödvändigt eller ens att rekommendera. Förvisso kan höga halter öka korrosionshastigheten på kopparmaterial eftersom det organiska materialet kan

komplexbinda kopparjoner, men på järn vid rekommenderat pH-värde agerar det istället som en inhibitor och ger snarast en sänkning i korrosionshastighet. Slutsatsen är att det inte finns något egenvärde i att sänka halten av naturligt organiskt material, förutsatt att det organiska materialet är stabilt. Norrvatten bör därför sträva efter att ha ett så biostabilt vatten som möjligt med lågt innehåll av lättnedbrytbart material.

Oorganiska salter

Klorid- och sulfatjoner finns i alla dricksvatten i varierande halter. Livsmedelsverkets gränsvärden för dessa salter är 250 mg/l. Ur kemisk synvinkel kan detta i hög grad ifrågasättas, eftersom jonernas inverkar skiljer sig dramatiskt åt, med kloridjoner som den i särklass allvarligaste i relation till lokala korrosionsangrepp på flertalet metalliska konstruktionsmaterial. Livsmedelsverket har därför valt att tillämpa riktvärden för att motverka korrosion. Riktvärdet för kloridjoner är max 50 mg/l och riktvärdet för sulfatjoner är max 100 mg/l.

Syrehalt

Stabiliteten hos de skyddande korrosionsprodukterna på rörväggarna är, som tidigare påpekats, inte bara beroende på vattenkvaliteten, utan också på att denna är jämn och stabil. Detta gäller i hög grad de parametrar som redan diskuterats, men också vattnets syrehalt. För att korrosionsproduktskikten ska vara stabila krävs att syrehalten är tillräckligt hög, annars kommer omlagringar att ske med förhöjda halter korrosionsprodukter i vattnet som följd.

Dessvärre konsumeras syret i vattnet under distribution till följd av korrosion och mikrobiologisk aktivitet och efter tillräckligt lång tid uppstår en situation då vattenkvaliteten kraftigt försämras. I viss mån kan detta motverkas genom en högre alkalinitet, därav ovanstående rekommendation om en högre alkalinitet för stora distributionsnät. Om alkaliniteten är tillräckligt hög kan upplösta järn(II)joner fångas in av karbonatjoner under bildning av järn(II)karbonat (siderit) på rörväggen. Utgående vatten från vattenverket bör i alla händelser vara väl syresatt.

Sammanfattning

För att uppnå goda förutsättningar för en distribution utan störningar i relation till korrosion, bör vattnets kvalitet uppfylla kriterier enligt tabell 5.

Tabell 5. Norrvattens kvalitetskriterier för att motverka korrosion.

Parameter	Enhet	Värde
Stabilitet	-	Kemisk och mikrobiologisk
pH-värde	-	8,4 (liten varians)
Alkalinitet	mg/l HCO_3^-	>50 (önskvärt 80–100)
Kalcium	mg/l	≥ 10 (max 60)
Naturligt organiskt material (NOM)	mg/l O_2 (COD_{Mn}) mg/l C (TOC)	COD_{Mn} max 5,0 mg/l ingen onormal förändring
Klorid	mg/l	<50
Sulfat	mg/l	<100
Syre	-	Väl syresatt

4.6. Desinfektionsbiprodukter (DBP)

Det finns flera olika metoder för att desinficera dricksvatten och på så sätt avdöda eller inaktivera skadliga mikroorganismer och säkerställa dricksvattnets kvalitet ut mikrobiologiskt hänseende. De vanligaste desinfektionsmetoderna för dricksvatten är klorering med klordioxid eller natriumhypoklorit, ozonering och UV-bestrålning. Monokloramin är ett svagare desinfektionsmedel och fungerar framförallt som tillväxthämmare i distributionssystem men är dock inte särskilt effektiv mot sjukdomsframkallande mikroorganismer.

Desinfektionen bygger på oxidation vilket gör att mikroorganismernas cellmembran förstörs och organismen dör. I vattnet finns dock fler ämnen, som exempelvis organiskt material, som samtidigt oxideras vilket kan leda till bildning av oönskade föreningar, så kallade ”desinfektionsbiprodukter”. Dessa biprodukter kan vid exponering genom konsumtion av dricksvatten innebära en hälsorisk och finns därför till viss del reglerade i dricksvattenföreskrifterna där man trycker på att bildningen av desinfektionsbiprodukter ska minimeras. Dock menar man att i avvägningen mellan en effektiv desinfektion och bildandet av desinfektionsbiprodukter ska alltid en effektiv desinfektion premieras.

Exempel på desinfektionsbiprodukter är hälsovådliga klororganiska föreningar som Trihalometaner (THMs) vilka bildas då klor reagerar med organiskt material i vattnet. Vid ozonering av vatten innehållande bromid kan bromat bildas och vid kraftig UV-bestrålning kan nitrit bildas. Även ett mildt desinfektionsmedel som monokloramin kan leda till nitritbildning då ammoniumhalten ökas i vattnet (Kontrollwiki/SLV).

Det finns ett antal desinfektionsbiprodukter som är reglerade med gränsvärden i dricksvattenföreskrifterna, dessa innefattar Trihalometaner (summvärde), Bromat, Ammonium, Nitrit, Klorit, Klorat och Halogenerade ättiksyror (summvärde HAA) (LIVSFS 2022:12). Att ha uppsikt över resterande hälsostörande produkter som kan bildas vid desinfektion samt associerade hälsorisker ingår i dricksvattenproducentens övergripande ansvar att se till att dricksvattnet är hälsosamt, rent och riskfritt enligt (6 § LIVSFS 2022:12).

För att minska förutsättningarna för bildandet av klororganiska föreningar bör nivån naturligt organiskt material samt desinfektionsmedel hållas på så låg nivå som möjligt enligt föreskrifterna. Halten i dricksvatten kan även reduceras genom att se till att efterföljande beredningssteg fångar upp biprodukterna efter desinfektion (Kontrollwiki/SLV). Detta kan t.ex. utgöras av ett biosteg efter ozonering.

Pågående forskning

Desinfektionsbiproduktbildning och associerade hälsoeffekter är ett forskningsområde där bland annat Linköpings universitet samt Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) är framstående i Sverige. Norrvatten har deltagit i ett antal projekt för att utreda vilka desinfektionsbiprodukter som bildas över nuvarande beredning vid Görvålnverket samt över

potentiella nya beredningssteg genom provtagning av vatten från pilotanläggningar med nya reningstekniker.

I dessa studier, publicerade i flertalet artiklar beskrivs komplexiteten inom detta område. Resultaten visar på att det inte endast är den totala halten organiskt material som har betydelse för biproduktbildning utan sammansättningen av det organiskt material som finns i vattnet vid desinfektion är en viktigare faktor, då olika fraktioner av materialet kan ge upphov till olika typer av biprodukter där en del är mer hälsofarliga än andra (Andersson, A. 2020). Exempelvis ger klorering av hydrofilt organiskt material en större relativ andel bromerade biprodukter medan klorering av hydrofobt organiskt material ger en större andel klorerade biprodukter (Lavonen, E, 2018). Här anses de bromerade grupperna vara mer hälsoskadliga vid exponering.

Vid jämförelse av potentiella hälsoeffekter av dricksvattnet producerat med olika beredningstekniker har bland annat "oxidativ stress (Nrf2)" använts som ett mått på toxiska effekter i dricksvattnet. Studien visar att Nrf2 minskar vid ozonering av vattnet trots att halten organiskt material (DOC) är konstant, vilket indikerar att de NOM-fraktioner som reduceras vid ozonering fungerar som prekursorer (upphovsämnen) för Nrf2. Återigen visar detta på att det är sammansättningen mer än halten av organiskt material som är betydelsefull för vilken typ av desinfektionsbiprodukter som bildas och vilka hälsoeffekter det i sin tur kan ge upphov till vid konsumtion av dricksvattnet (Lundqvist, J. et al. 2019).

Flera studier pekar på att det främst är klorering med hypoklorit som kunnat kopplas ihop med hälsoeffekter i epidemiologiska studier. I en studie där desinfektionsbiprodukternas påverkan på för tidig födsel och fostervikt kunde en koppling till dricksvatten behandlat med hypoklorit påvisas, dock fanns inga korrelationer mellan konsumtion av monokloraminbehandlat dricksvatten och dessa hälsoeffekter (Säve-Söderberg, M, 2020).

I litteraturen finns indikationer på att flera desinfektionsbiprodukter som idag inte regleras i lagstiftningen kan ha stor inverkan på dricksvattnets toxicitet. I en artikel i *Journal of environmental science* (Plewa et al. 2017) beskrivs kväveinnehållande DBPs, så kallade haloacetonitriler, som betydelsefulla för toxicitet i många dricksvatten om hänsyn tas till både biprodukternas halter och toxicitet. Dessa ingår i gruppen av kväveinnehållande DBP:s som kan bildas vid användning av monokloramin och kan därför vara ett relevant komplement till dricksvattenproducenternas egenkontrollprogram i framtiden. Ett annat ämne som kan bildas vid reaktion mellan kloramin och kväve från naturligt organiskt material är nitrosdimetylammin (NMDA) som är cancerframkallande. En utredning av detta visar dock på att livstidsrisken knappt uppgår till ett cancerfall på miljonen vid konsumtion av dricksvatten innehållande kloramin vilket kan ses som en acceptabel risk enligt livsmedelsverket (Svensson, K, 2014).

Sammantaget visar denna forskning på att mycket är okänt vad gäller kunskapen om desinfektionsbiprodukter samt deras hälsoeffekter. Det är idag svårt att sätta upp gränsvärden för exempelvis "maximal halt organiskt material" i vattnet vid en viss dos desinfektionsmedel eller att avgöra vilka desinfektionsmetoder som bör inkluderas eller

uteslutas i ett processval för att minimera hälsorisker. Dock finns indikationer på att monokloramin innebär mindre hälsoeffekter än användning av hypoklorit (Säve-Söderberg, M, 2020). Studierna visar även på att användningen av effektbaserade metoder kan utgöra ett bättre mått på den totala exponeringen av toxiska ämnen som konsumenterna utsätts för än de lagstadgade analyserna av ett antal specifika ämnen som används idag.

Nuläge Norrvatten

Norrvatten har tagit viktiga steg mot att minska doseringen av desinfektionsmedel och på så vis minska desinfektionsbiprodukterna i dricksvattnet genom att installera UV-aggregat för desinfektion och övergå från dosering av fritt klor till dosering av färdigberedd monokloramin. Detta har lett till att de lukt- och smakproblem som tidigare orsakats av klororganiska föreningar som bildas vid reaktionen mellan fritt klor och organiskt material har upphört och klagomålen på dricksvattnet minskat. Dock har detta även inneburit att kloröverskottet minskat i ledningsnätet och lett till att Norrvatten, vid perioder av högre temperatur i rå- och dricksvatten, tidvis får problem med ökad tillväxt av mikroorganismer i reservoarer i distributionsområdet.

Med dagens beredningsprocess på Görvålverket nås de lagkrav som ställs på desinfektionsbiprodukter med god marginal (*Tabell 6*). De ytterligare analyser av ämnen (b.la. av haloacetonitriler) och hälsoeffekter som genomförts inom forskningsprojekt indikerar också att desinfektionsbiprodukterna ligger på låga nivåer, i de flesta fall under kvantifieringsgränsen (Postigo, C. et al. 2021). Utifrån Livsmedelsverkets bedömning av NMDA som kan bildas vid monokloramindosering innebär även detta mycket låga hälsorisker vid konsumtion av dricksvattnet och ligger enligt Livsmedelsverket på en acceptabel nivå (Svensson, K, 2014).

Tabell 6. Gränsvärden för reglerade desinfektionsbiprodukter i dricksvattenföreskrifterna i förhållande till halter uppmätta på Norrvatten.

Parameter	Enhet	NV (Medel)	Dricksvatten – Utgående vattenverk	Dricksvatten – Hos användare
Ammonium	mg/l	0,08	-	0,50
Nitrit	mg/l	<0,005	0,10	0,50
Bromat	µg/l	<5	-	10
Summa THM ¹⁾	µg/l	<4,0	-	100
Klorit	mg/l	-	-	0,70
Klorat	mg/l	-	-	0,70
Halogenerade ättiksyror ²⁾	µg/l	-	-	60

1)Summan av; kloroform, bromoform, dibromklormetan och bromdiklormetan.
2)Summan av följande nio representativa ämnen: monoklor-, diklor- och triklorättiksyra, mono- och dibromättiksyra, bromklorättiksyra, bromdiklorättiksyra, dibromklorättiksyra och tribromättiksyra

Dock visar studierna genomförda inom forskningsprojekt på mycket osäkerheter inom området. Mycket ämnen bildas vid desinfektion av dricksvatten och i dagsläget är kunskapsläget begränsat. I Norrvattens arbete är det därför viktigt att följa denna forskning och att ha i åtanke att lagstiftningen troligtvis kommer att uppdateras inom detta område i takt med att forskningen fortskrider och hälsoeffekter klarläggs för fler ämnen. Att sammansättningen av det organiska materialet har betydelse innebär att det kan vara relevant

att anpassa desinfektionsmetoden efter vilken typ av prekursorer som kvarstår efter de initiala NOM-reducerande beredningsstegen samt att tillse, om möjligt, införandet av efterföljande beredningssteg som kan fånga upp de potentiella desinfektionsbiprodukter som bildas.

Krav på ny beredningsprocess

Utifrån ovan görs bedömningen att de krav Norrvatten ska ställa på en framtida beredningsprocess avseende desinfektionsbiprodukter är de som finns beskrivna i Livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter (LIVSFS 2022:12).

Det är dock viktigt att följa forskningen och kontinuerligt säkerställa att exponeringen av toxiska ämnen minimeras utifrån aktuellt kunskapsläge samt att se till att det finns flexibilitet i beredningsprocessen där det är möjligt att göra förändringar i takt med ny kunskap om hälsoeffekter eller striktare lagkrav.

En sådan flexibilitet kan exempelvis innebära att tillse att de biprodukter som bildas vid ett eventuellt ozoneringssteg i en framtida process kan fångas upp i efterföljande kolfilter genom justering av uppehållstid eller regenereringsintervall. Det kan också innebära att skapa förutsättningar för att i framtiden kunna stänga av monokloramindoseringen vilket i sig medför krav på produktion av ett dricksvatten med låga halter av organiska och oorganiska ämnen, låg temperatur samt lågt innehåll av mikroorganismer (Kontrollwiki/SLV).

4.7. Lukt och smak

Lukt- och smakstörningar i utgående dricksvatten kan uppstå av en rad olika anledningar. Dessa kan delas in i tre huvudkategorier. Problemen kan antingen härstamma från mikrobiologisk aktivitet i råvattnet, det kan uppstå i reningsprocessen eller så kan det uppkomma under distributionen i ledningsnätet.

Råvattnet

Den främsta orsaken till lukt- och smakstörningar i råvatten orsakas huvudsakligen av organiska föroreningar med mycket låga lukttrösklar. Några av de vanligaste ämnena är bl.a. geosmin och MIB, de produceras vanligtvis av cyanobakterier (blågröna alger) i råvattnet.

För Görvälnfjärdens del är det förekomsten av alger samt typ av alger som styr hur mycket lukt- och smakämnen som finns i råvattnet. Algblomningar sker på vår och höst i samband med att sjön vänder, men kan även ske under sommarmånaderna när vattentemperaturen är som högst.

Reningsprocessen

De lukt- och smakstörningar som kan uppkomma i reningsprocessen härstammar i stor utsträckning från olika oxidationsprocesser. Klor i olika former luktar i sig och kan uppfattas som en störning vid höga doser och kallt vatten. En för hög UV-dos i kombination med högt innehåll av organiska föroreningar kan också ge luktstörningar.

Olika desinfektionsbiprodukter kan även de lukta starkt, vilket gör det viktigt att övervaka sin kemikalieberedning noga. Störningar förstärks även av att redan ha lukt i vattnet innan en oxidationsprocess eller av att ha en hög andel organiska föreningar som kan reagera med exempelvis klor och bilda DBPs.

Ledningsnätet

Lukt- och smak i ledningsnätet kan uppkomma genom en förhöjd biologisk aktivitet i den biofilm som finns på insidan i alla ledningar. Aktiviteten ökar med vattnets temperatur och med halten lättillgängligt organiskt material i vattnet.

Lukt- och smakstörningar kan även härstamma från läckande material, exempelvis packningar, ledningsmaterial och olika täckmaterial i reservoarer. Problemen kan också uppstå om vatten med olika kvalitet blandas under distribution, t.ex. ett obehandlat grundvatten möter ett behandlat ytvatten.

Kravställning

Norrvatten ska ha en lukt- och smakbarriär i en framtida process som syftar till att utgående dricksvatten ej ska ha någon lukt- och smak som har sitt ursprung i biologiska processer i råvattnet. Detta enligt Livsmedelsverkets gränsvärden för lukt och smak, som definieras som tydlig vid 20°C.

Processteget ska utformas efter den dimensionerande råvattenkvaliteten i stycke 4.1 och ska vara i kontinuerlig drift. Exempel på sådana reningssteg kan vara kolfilter, långsamfilter eller ozon med efterföljande biologiskt filter.

Lukt- och smakstörningar som uppkommer utifrån olika oxidationsprocesser som t.ex. klorering, UV-desinfektion och ozon är heller ej acceptabla, men hanteras inte i detta kravstycke utan hänvisas till krav på NOM och DBP. Det kommer även att behandlas under processutformning i rapport om Nollprocesslösning. Störningar som uppkommer under distribution krävställs inte heller i detta dokument.

4.8. Övriga parametrar

I nedanstående stycke sammanställs kraven för de mikrobiologiska och kemiska parametrarna på utgående dricksvatten. Kraven redovisas tillsammans med mätvärden för de senaste 20 åren. Vissa av parametrarna har krävställts i de föregående styckena medan vissa nämns för första gången här. I de flesta fall följer Norrvatten Livsmedelsverkets krav, men i vissa fall tillämpas interna kvalitetskrav. Både Livsmedelsverkets gränsvärden på utgående dricksvatten och hos användare samt Norrvattens krav redovisas i tabellen. Parameterkrav som behöver förtydligande och som inte tagits upp i tidigare kravstycken förklaras i text efter tabellen.

Mikrobiologiska parametrar

Kolumnen med Norrvattens krav är ett maxvärde för de mikrobiologiska parametrarna som kan accepteras. Dessa maxvärden ska en reningsprocess klara med avseende på kravställd råvattenkvalitet i stycke 4.1.

Tabell 7. Utgående dricksvattendata för åren 2000–2020 samt Norrvattens kvalitetskrav (mikrobiologiska parametrar). Livsmedelsverkets gränsvärden redovisas på utgående dricksvatten och hos användare.

Data (2000-2020) Mikrobiologiska parameterar	Enhet	Utgående Dricksvatten					
		Min	Median	Max	SLV:s krav utgående dricksvatten	SLV:s krav hos användare	NV:s krav
Koliforma bakterier	cfu/100 ml	0	0	1	Påvisad	Påvisad	0
E-Coli	cfu/100 ml	0	0	0	Påvisad	Påvisad	0
Presumptiva Clostridium Perfringens	cfu/100 ml	0	0	0	-	Påvisad	0
Intestinala Enterokocker	cfu/100 ml	0	0	0	Påvisad	Påvisad	0
Odlingsbara mikroorganismer 22°C, 3dygn	cfu/ml	0	0	94	Ingen onormal förändring	Ingen onormal förändring	Ingen onormal förändring
Långsamväxande bakterier 22°C, 7dygn	cfu/ml	0	1	140	-	Ingen onormal förändring	Ingen onormal förändring
Mikrosvamp	cfu/100 ml	0	0	311	-	100	10
Actinomyceter	cfu/100 ml	0	0	23	-	100	10

Kemiska parametrar

Kolumnen med Norrvattens krav är i de flesta fallen ett maxvärde för de kemiska parametrarna. Undantag är temperatur som har ett önskat riktvärde, pH som är ett börvärde samt alkalinitet som är ett minvärde med möjlighet till börvärde. Dessa värden ska en reningsprocess klara med avseende på kravställd råvattenkvalitet.

Tabell 8. Utgående dricksvattendata för åren 2000–2020 samt Norrvattens kvalitetskrav (kemiska parametrar).
Livsmedelsverkets gränsvärden redovisas på utgående dricksvatten och hos användare.

Data (2000-2020)	Kemiska parametrar	Enhet	Utgående Dricksvatten				
			Min	Median	Max	SLV:s krav utgående dricksvatten	SLV:s krav hos användare
Temperatur	°C	0,8	8,8	15,4	20	-	<12
Turbiditet	FNU	0,05	0,07	0,12	0,5	1,5	<0,1
Kloröverskott, totalt	mg Cl ₂ /l	0,16	0,28	0,38	<0,4	-	<0,4
Färgtal	Pt mg/l	5	5	10	15	30	<7
UV Absorbans 254 nm	Abs 5cm	0,249	0,407	0,523	-	-	<0,45
Lukt styrka vid 20°		ingen	ingen	svag	-	tydlig	ingen
Smak vid 20°C		ingen	ingen	ingen	-	tydlig	ingen
pH	pH-enhet	7,9	8,2	8,7	10,5	≥6,5 och ≤9,5	8,4
Konduktivitet, 25°C	mS/m	21,3	27,6	33,4	-	250	<250
Alkalinitet	mg/l	47	70	95	-	-	>50
Kalcium	mg/l	24	33	46	-	100	<100
Magnesium	mg/l	1,0	4,8	7,0	-	30	<30
Natrium	mg/l	8	12	21	-	200	<200
Kalium	mg/l	2,0	2,7	3,3	-	-	<10
Fluorid	mg/l	<0,20	0,21	0,32	-	1,5	<1,5
Klorid	mg/l	12	16	20	-	250	<50
Sulfat	mg/l	30	45	59	-	250	<100
Kemisk Syreförbrukning, COD	mg/l	2,0	3,0	5,0	-	5,0	<5,0
Total Organiskt Kol, TOC	mg/l	3,3	4,2	5,4	-	Ingen onormal förändring	Beräknad kvot mellan COD/TOC
Ammonium	mg/l	0,03	0,09	0,18	-	0,50	<0,5
Nitrit	mg/l	<0,005	<0,005	0,034	0,10	0,50	<0,10
Nitrat	mg/l	0,4	1,0	2,1	-	50	<50
Fosfat	mg/l	<0,015	<0,015	0,043	-	-	<0,5
Aluminium	mg/l	0,011	0,022	0,059	-	0,200	<0,200
Koppar	µg/l	8,5	15,2	23,8	-	200	200
Järn	mg/l	<0,015	<0,015	0,032	0,100	0,200	<0,100
Mangan	mg/l	<0,010	<0,010	0,012	-	0,050	<0,050
Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	-	0,10	<0,10
Bens(a)pyren	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	-	0,010	<0,010
Summa Trihalometaner (THM)	µg/l	<4,0	<4,0	<4,0	-	100	<10
Tetra- och Trikloretan	µg/l	<2,0	<2,0	<2,0	-	10	<10
Bensen	µg/l	<0,20	<0,20	<0,20	-	1,0	<1,0
1,2 Dikloretan	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	-	3,0	<3,0
Cyanid	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	-	50	<50
Bromat	µg/l	<5	<5	<5	-	10	<10
Antimon	µg/l	0,091	0,117	0,168	-	10	<10
Arsenik	µg/l	0,177	0,259	0,646	-	5,0	<5,0
Bly	µg/l	0,010	0,024	0,089	-	5,0	<5,0
Bor	mg/l	12,3	19,9	35,2	-	1,5	<1,5
Kadmium	µg/l	<0,002	0,003	0,035	-	0,50	<0,50
Krom	µg/l	0,026	0,109	0,340	-	25	<25
Kvicksilver	µg/l	<0,002	<0,002	<0,1	-	1,0	<1,0
Nickel	µg/l	1,0	2,0	2,5	-	20	<20
Selen	µg/l	0,021	0,066	0,245	-	20	<20
Uran	µg/l	-	-	-	-	30	<30
∑PFAS21 (resultat för PFAS11 2013-2020)	ng/l	4,4	10,9	20,9	-	100	<100
∑PFAS4 (2010-2024)	ng/l	2,2	4,3	7,7	-	4,0	<4,0
S:a Kvantifierade Bekämpningsmedel	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	-	0,50	<0,50
Bisfenol A	µg/l	-	-	-	-	2,5	<2,5
Halogenerade ättiksyror (HAA)	µg/l	-	-	-	-	60	<60
Klorit	mg/l	-	-	-	-	0,70	<0,70
Klorat	mg/l	-	-	-	-	0,70	<0,70
Mikrocystin - LR (2015 - 2019)	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	-	1,0	<1,0

Temperatur

Vattentemperaturen vid Görvältnfjärden kan överstiga 12°C. En låg temperatur på råvattnet är önskvärd ur många aspekter. Bl.a. så motverkas tillväxt på ledningsnätet då klore inte bryts ner och den mikrobiologiska aktiviteten hålls på en låg nivå. En för låg temperatur kan dock bli problematisk om vattnet riskerar att bli underkyllt, vilket kan skapa igensättningsproblem i t.ex. membranläggningar.

Därför önskar Norrvatten hålla nere vattnets temperatur så långt det är möjligt där 12°C är ett bra riktvärde, dock ej så långt att vattnet riskerar att bli underkyllt. Det kan med fördel göras genom att ändra nuvarande intagsdjup och/eller intagspunkt samt att bygga in en möjlighet att variera intagsdjupet. Däremot är det inte aktuellt att kyla inkommande råvatten för att inte överstiga Norrvattens riktvärde. På det sättet är detta ej ett styrande krav.

Turbiditet

Turbiditeten är ett mått på vattnets grumlighet och kan utgöras av organiskt och oorganiskt material. Turbiditeten är indirekt ett mått på hur väl en reningsprocess fungerar och förhöjda halter indikerar att beredningen inte fungerar tillfredsställande. En negativ effekt av förhöjd turbiditet är bl.a. att desinfektionseffekten vid klorering och UV-desinficering kan försämrans. Norrvatten anser därför att kraven på utgående turbiditet ska vara skarpare än Livsmedelsverkets krav.

Färgtal

Vattnets färg beror främst på organiskt material i råvattnet. Halter över gränsvärdet på utgående dricksvatten indikerar att beredningen inte fungerar tillfredsställande. En onormal ökning av färgtalet på utgående dricksvatten kan indikera ett allvarligt fel i beredningen vilket kan innebära ökad risk för vattenburen smitta och mikrobiologisk tillväxt. Desinfektionseffekten vid UV-desinfektion kan försämrans om vattnet är färgat. Norrvatten anser därför att kraven på utgående färg ska vara skarpare än Livsmedelsverkets krav.

UV absorbans 254 nm

UV absorbansen är också ett mått på halten organiskt material i råvattnet. På samma sätt som färgen indikerar absorbansen att beredningen inte fungerar och att en onormal förändring kan indikera ett allvarligt fel i processen. Det kan på samma sätt innebära en ökad risk för vattenburen smitta och mikrobiologisk tillväxt. UV absorbansen ger en mycket bra parameter för att kontrollera den kemiska fällningen. För hög absorbans gör även att UV-desinfektionen inte ger tillräcklig dos. Norrvatten har därför ett eget fastställt krav på maxvärde på utgående UV absorbans.

pH

I stycket om korrosion påpekades vikten av att hålla en jämn utgående vattenkvalitet för att motverka korrosion. Målvärdet för Norrvatten är att utgående pH ska vara 8,4 mätt vid det behandlade vattnets temperatur, med så liten varians som möjligt. Det ställer i sig stora krav på mätningen och styrningen av processen.

Alkalinitet

Nyttan av att hålla en hög och jämn alkalinitet med avseende på korrosion i ledningsnätet belystes även det i avsnittet om korrosion. Enligt Livsmedelsverket riktvärden bör alkaliniteten överstiga 50 mg/l, ny kunskap tyder dock på att Norrvatten bör ha en alkalinitet på 80 – 100 mg/l med så liten varians som möjligt. På samma sätt som för pH ställer det stora krav på val av alkaliseringskemikalie samt processtyrning. Detta val görs inte i denna kravställning utan fördelar och nackdelar med att styra processen på alkaliniteten kommer att avgöras vid fastställande av nollprocesslösning.

5. Sammanfattning av samtliga kvalitetskrav

Norrvattens Dimensionerande förutsättningar - Kvalitet	
Parametrar	Norrvattens krav
Mikrobiologiska parametrar	Tillräcklig barriärverkan enligt MBA- och QMRA-metoderna, 7b + 7v + 5,5p samt en kombination av avskiljande och avdödande barriärer.
Kemiska basparametrar	Jämn utgående dricksvattenkvalitet som motverkar korrosion på ledningsnätet och uppfyller SLV:s gränsvärden samt NV:s kvalitetskrav.
Organiskt material	Klara SLV:s gränsvärde för COD på 5,0 mg/l oavsett om COD är beräknad eller analyserad samt en reduktion av halterna lättnedbrytbart organiskt material. (<i>Halten av lättnedbrytbart organiskt material ska vara så låg att tillväxt på nätet ej uppvisar några onormala förändringar.</i>)
Organiska spårämnen Lösta kemiska föroreningar (samt kombinationseffekter av dessa)	Ingen genotoxisk effekt på humanceller samt krav på att klara SLV:s gränsvärden på PFAS21 samt PFAS4 på 100 respektive 4,0 ng/l.
Lukt & Smak	Lukt eller smak enligt SLV:s gränsvärden får ej förekomma. (<i>Lukt & smak kan orsakas av utsläpp av petroleumprodukter, alger och bakterier i råvattnet samt användning av desinfektionsmedel.</i>)
Desinfektionsbiprodukter (DBP)	Inga desinfektionsbiprodukter i högre halter än SLV:s gränsvärden. (<i>Dessutom minimera exponeringen av DBP:s utifrån aktuellt forskningsläge.</i>)

6. Referenser

Andersson A et al. 2020. Selective removal of natural organic matter during drinking water production changes the composition of disinfection by-products. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2020, DOI: 10.1039/c9ew00931k

Andersson, A. et al. 2019. Waterworks-specific composition of drinking water disinfection by-products. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 2019, 5, 861
Livsmedelsverket (LIVSFS 2022:22), Statens livsmedelsverks föreskrifter om dricksvatten

Berghult, B., Öhrman, K., Genomlysning Görvålnverket - Korrosion, Norconsult, 2020

BioCell Analytica, 2020, PM om tolkning av resultat från effektbaserade analyser vid Görvålns dricksvattenverk 2015-2020

Dahlberg, K. (2011) Mikrobiologisk riskanalys för dricksvattenrening vid Görvålnverket. SLU. Uppsala

Dahlberg, K. (2019) MBA Görvålnverket. Utdrag ur ”Dahlberg, K. (2011) Mikrobiologisk riskanalys för dricksvattenrening vid Görvålnverket” och reviderad enligt Svenskt vattens publikation P112, ”Introduktion till MBA (2015)”. 2017-07-07, Rev 1. 2019-08-07 Norrvatten

Ejhed, H., 2020, Mälarens framtida vattenkvalitet, Syntesrapport, NV Rapport 2020-02.

Eklund, E., Ruderfelt, L., 2018, Övergripande riskanalys inom Östra Mälarens vattenskyddsområde, riskinventering, riskanalys och förslag på riskreducerande åtgärder, Sweco

Engdahl M., Wallsten B. Power point presentation Dricksvattendirektivet, Nationella dricksvattenkonferensen, 2020-10-08

<https://janusinfo.se/download/18.7546977617592429b91119b7/1604586006578/Resultat%202019%20r%C3%A5vatten%20och%20dricksvatten.pdf>

Lal, A., Baker, M.G., Hales, S., French, N.P., 2013, Potential effects of global environmental changes on cryptosporidiosis and giardiasis transmission. *Trends Parasitol.* 29, 83–90.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pt.2012.10.005>

Lavonen, E et al. Dricksvattenberedning med nya reningstekniker. SVU-rapport Nr. 2018-07

Livsmedelsverket, Handbok för klimatanpassad dricksvattenförsörjning, Livsmedelsverket 2019 v1

Livsmedelsverket, 2020.

<https://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/374/desinfektionsbiprodukter>

Livsmedelsverket (2020) Mikrobiologiska säkerhetsbarriärer. Livsmedelsverkets Kontrollwiki, Dricksvatten. Uppsala. Livsmedelsverket

Lundqvist, J., Lavonen, E., Mandava, G., Erica Selin, Helene Ejhed & Agneta Oskarsson Effect-based monitoring of chemical hazards in drinking water from source to tap: seasonal trends over 2 years of sampling. *Environ Sci Eur* 36, 45 (2024).
<https://doi.org/10.1186/s12302-024-00875-z>

Lundqvist, J. et al. 2019. Innovative drinking water treatment techniques reduce the disinfection-induced oxidative stress and genotoxic activity. *Water research* 155 (2019) 182-192

Malnes D., Golovko O., Köhler S., Ahrens L., 2021, Förekomst av organiska miljöföroreningar i svenska ytvatten - Kartläggning av Sveriges tre största sjöar, tillrinnande vattendrag och utlopp, Mälarens vattenvårdsförbunds rapport 2021:1

Plewa, M. et al. 2017. TIC-Tox: A preliminary discussion on identifying the forcing agents of DBP-mediated toxicity of disinfected water, *Journal of Environmental Sciences* 58 (2017) 208-216

Postigo, C. et al. 2021. Unraveling the chemodiversity of halogenated disinfection by-products formed during drinking water treatment using target and non-target screening tools. *Journal of Hazardous Materials* 401 (2021) 123681

Stephan J. Köhler, S.J., von Brömssen, C. 2019, Sammanställning av långsiktiga vattenkemiska förändringar i Mälaren och övergripande analys av möjliga drivvariabler och trender. SLU, Vatten och Miljö. Uppsala

Svenskt Vatten (2015) Introduktion till Mikrobiologisk Barriär Analys, MBA. Publikation P112. Stockholm. Svenskt Vatten

Svensson, K. Riskkaraktärisering av exponering för nitrosodimetylamin (NMDA) från kloramin använd vid dricksvattenberedning. Livsmedelsverket. Rapport 12 – 2014

Säve-Söderbergh, M. et al. 2020. Exposure to Drinking Water Chlorination by-Products and Fetal Growth and Prematurity: A Nationwide Register-Based Prospective Study. *Research: Environmental Health Perspectives*. <https://doi.org/10.1289/EHP6012>

Tyréns (2020) PM Görvålverket QMRA-modell 2020 Slutversion 2020-10-02

WHO, 2017, Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first Addendum, ISBN 978-92-4-154995-0

Willén E., SLU, 2019, Sammansättning och förekomst av planktiska alger i Görvål i ett förändrat klimat. En översikt över den storskaliga algutvecklingen 1980–2018. Institutionen för vatten och miljö, Uppsala