



## Rapport

Diarienummer  
NV Rapport 2021-14

Projektnummer  
4420

## Dimensionerande Förutsättningar - Kvalitet

---

NFVP Norrvattens Framtida Vattenproduktion

David Heldt  
Norrvatten

2021-03-11



**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.

## Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b>	<b>4</b>
1.1. Syfte och avgränsningar	4
<b>2. Förutsättningar</b>	<b>5</b>
2.1. Dricksvattnet ska vara hälsosamt och rent	5
<b>3. Mälarens vattenkvalitet vid Görvålverket</b>	<b>6</b>
3.1. Kemiska parametrar	7
3.2. Mikrobiologiska parametrar	8
3.3. Alger	9
3.4. Kemiska föroreningar	9
3.5. Mälarens framtida vattenkvalitet	11
<b>4. Kvalitetskrav</b>	<b>12</b>
4.1. Råvattenkvalitet	13
4.2. Mikrobiologisk barriär	15
4.3. Kemisk barriär	17
4.3.1. Akut	18
4.3.2. Permanent	18
4.4. Naturligt organiskt material (NOM)	20
4.5. Korrosion	24
4.6. Desinfektionsbiprodukter (DBP)	27
4.7. Lukt och smak	31
4.8. Övriga parametrar	32
<b>5. Sammanfattning av samtliga kvalitetskrav</b>	<b>36</b>
<b>6. Referenser</b>	<b>37</b>

# 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 i olika etapper i enlighet med inriktningsbeslut fattat av Norrvattens styrelse 2020-09-24. En etappvis utbyggnad innebär att kapaciteten byggs ut successivt i takt med behovet och kan anpassas till t.ex. befolkningsutvecklingen och teknikutveckling.

Görvälnverket har idag en maxkapacitet på 200 000 m<sup>3</sup>/d och en uthållig kapacitet på ca 160 000 m<sup>3</sup>/d. Norrvatten arbetar för närvarande med ett program för att kunna öka maxkapaciteten i befintligt vattenverk till 220 000 m<sup>3</sup>/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 fler processlinjer successivt i takt med behovet.

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 de externa kvalitetskraven som anges via föreskrifter är under revidering samt 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 nödvändigtvis för Norrvattens

reservvattenförsörjning. Det kan även finnas andra kvalitetskrav beträffande dricksvatten på ledningsnät, tryckstegringar och reservoarer men dessa redovisas ej explicit i denna rapport. För utformning av den framtida processlösningen är det krav på dricksvattnet som lämnar Görvälnverket 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). Medlemsstaterna ska senast den 12 januari 2023 sätta i kraft de bestämmelser i lagar och andra författningar som är nödvändiga för att följa direktivet.
- Dricksvattenföreskrifterna (SLVFS 2001:30) samt Livsmedelsverkets vägledning som finns tillgänglig via kontrollwiki.livsmedelsverket.se. Dessa föreskrifter baseras på det tidigare dricksvattendirektivet 98/83/EG.
- 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 SLV:s dricksvattenföreskrifter (2001:30) lyder idag:

*”Dricksvatten ska vara hälsosamt och rent. Det ska anses vara **hälsosamt och rent** om det inte innehåller mikroorganismer, parasiter och ämnen i sådant antal eller sådana halter att de kan utgöra en **risk för människors hälsa**, och -uppfyller de gränsvärden som anges i bilaga 2, avsnitt A och B”*

Vidare:

*”Undersökningar av andra ämnen och mikroorganismer än som anges i bilaga 2 ska utföras om det finns anledning att misstänka att de kan förekomma i sådana halter eller antal att de kan utgöra en fara för människors hälsa” (LIVSFS 2017:2)*

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.

Ovanstående generella krav på dricksvattenkvalitet förväntas kvarstå vid implementeringen av det reviderade dricksvattendirektivet där följande anges:

*"Målen med detta direktiv är att skydda människors hälsa från de skadliga effekterna av alla slags föroreningar av dricksvatten genom att säkerställa att det är hälsosamt och rent samt att förbättra tillgången till dricksvatten."*

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 Görvålverket

Mälaren är inte en homogen sjö utan består av två sjöar, en västlig/central sjö och en nordlig. De två sjöarna har helt skild vattensammansättning. Den norra är salt- och humusrik (NOM) medan den västra är saltfattig, samt har en betydligt lägre NOM-halt. Östra Mälaren utgör blandningszon mellan dessa två inkommande vattenströmmarna. Blandningsförhållandet i Görvålnfjärden, 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 Görvålnfjärden 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 lättfärdig 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 Görvålverkets nuvarande fällningsprocess.

Vattensammansättningen i inkommande råvatten till Görvålverket växlar kraftigt under året och vindinducerade strömmar i kombination med skiktningförhållandena i Görvålnfjärden 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 Görvålnfjärden 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

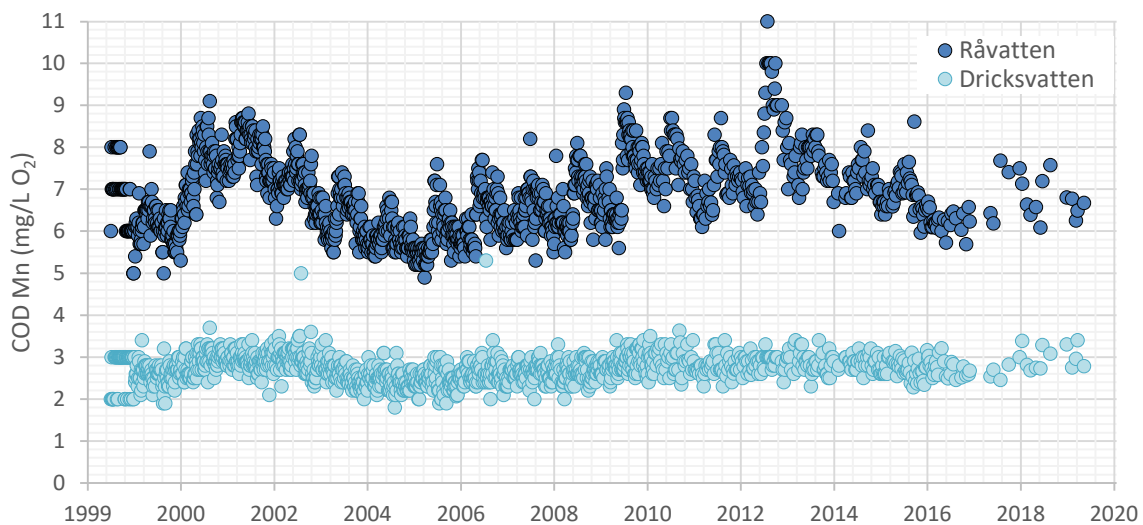
50/50% strax före islossning. Styrande faktorer är isperiodens längd samt storleken på inkommande strömmar under denna tidsperiod.

Upphållstiden 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. 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.
- Under de senaste 20 åren har halten COD<sub>Mn</sub> i råvattnet varierat mellan ca 5 - 11 mg/L O<sub>2</sub> och halten i dricksvattnet har varierat mellan ca 2 – 5 mg/L O<sub>2</sub>. (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. Det spekuleras dock i analysen om att sammansättningen vid höga halter skulle kunna utgöras av mer ”fällbara” fraktioner då färgen förväntas öka mer än halten TOC.
- 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.



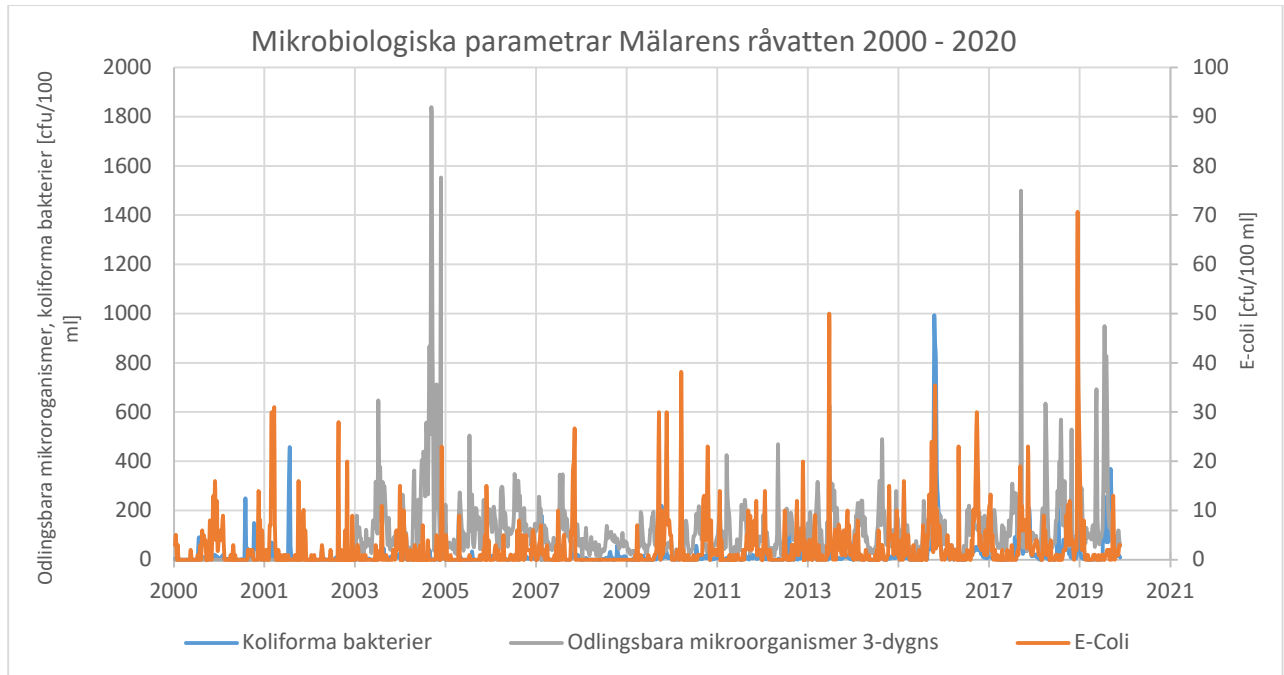
Figur 1. Variation av  $COD_{Mn}$  i Rå- och Dricksvatten vid Görvälnverket under åren 1999 – 2019

### 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

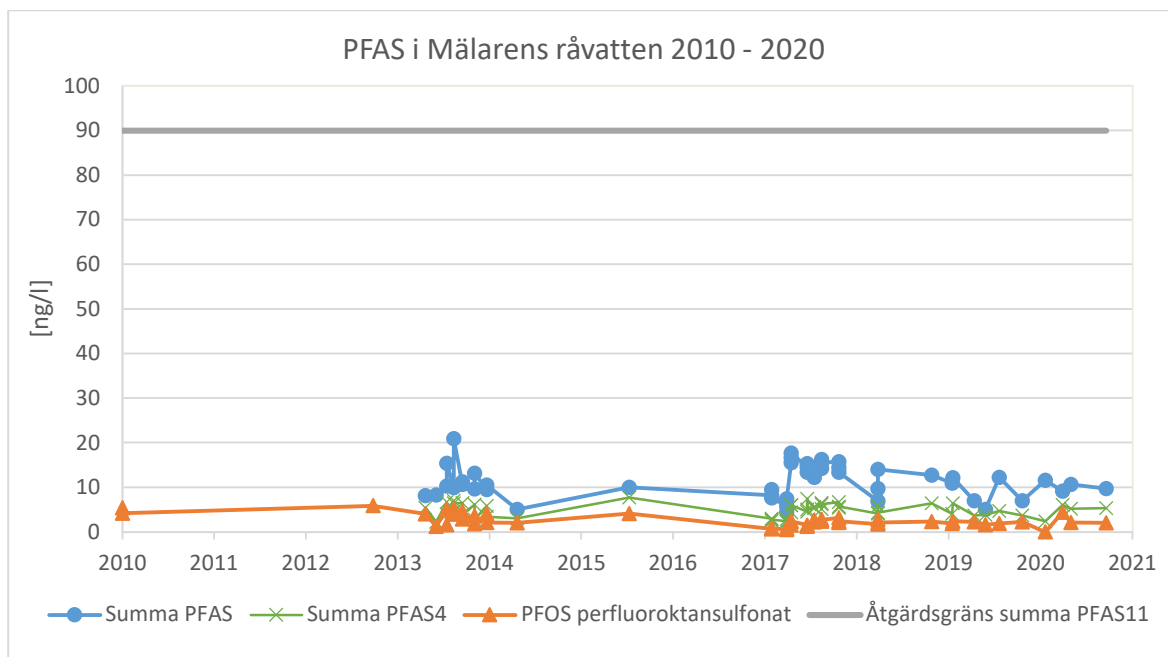
Förekomsten och trender i växtplanktondata har sammanställts med hjälp av SLU (Willén, 2019) och de huvudsakliga slutsatserna är följande:

- 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.

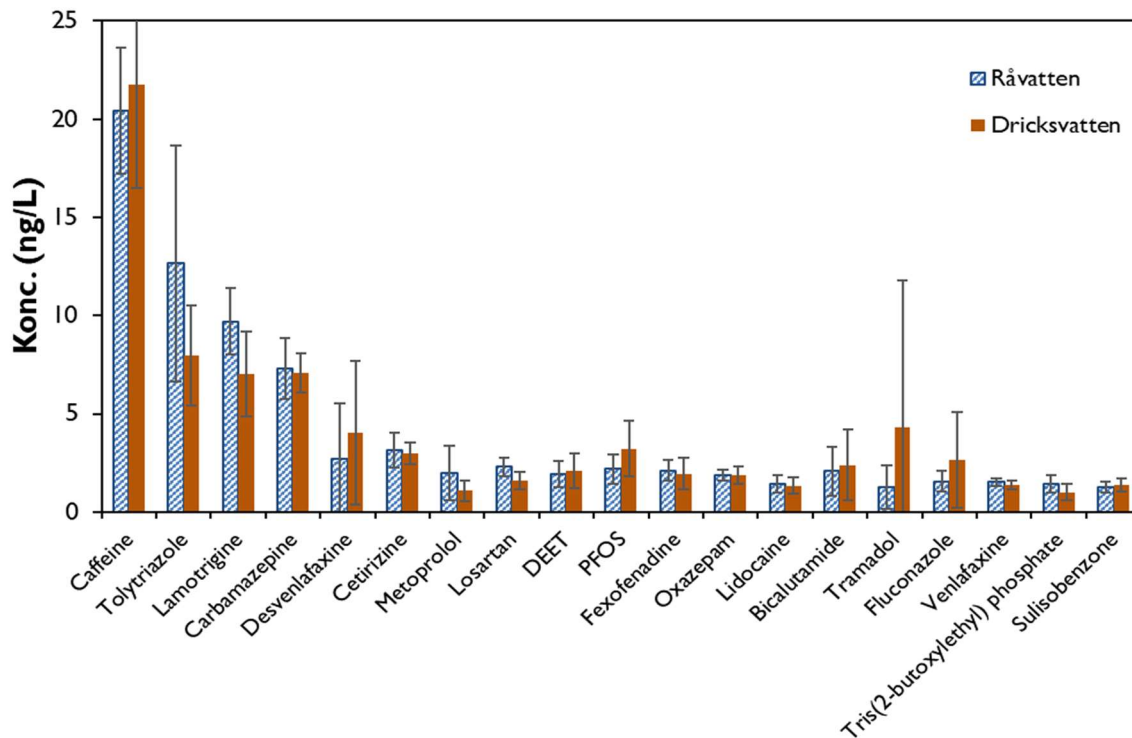
### 3.4. Kemiska föroreningar

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 i ”summa PFAS” från maj 2017 (se figur 3).
- 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 (figur 4). 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.
- SLU har även gjort effekttester på human-celler under 2019–2020, resultaten visar på att utgående dricksvatten från Görvålnverket 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 3. Uppmätta halter i råvatten vid Görvålnverket av summa PFAS, summa PFAS4, och PFOS jämfört med Livsmedelsverkets åtgärdsgräns (90 ng/l). PFAS har analyserats på olika laboratorier längs hela tidsserien vilket stärker bilden av att halterna varit relativt konstanta trots laboratoriebyten.



Figur 4. 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.

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. 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.
- Kemiska ämnen som PFAS och läkemedelsrester bedöms inte komma att öka. Förvisso ökar befolkningens mängd och läkemedelsanvändningen, men de större reningsverken kring Mälaren förväntas förbättra reningen.

I det långsiktiga perspektivet 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 till 2050.

## 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. Det finns även med parametrar från det nya dricksvattendirektivet, därav att det kan saknas mätvärden. Parametrar som behöver förtydligande förklaras i text efter tabellen.

### *Mikrobiologiska parametrar*

Kolumnen med ”Norrvattens krav” är en bedömning av uppskattat maxvärde för de mikrobiologiska parametrarna med avseende på Görvältnfjärden 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.

Tabell 1. Råvattendata för åren 2000–2020 samt de halter som en reningsprocess behöver kunna hantera uttryckt som Norrvattens dimensionerande krav (mikrobiologiska parametrar) i NFVP-projektet.

Data (2000-2020)	Enhet	Råvatten			
		Min	Median	Max	NV:s krav
Mikrobiologiska parametrar					
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	cfu/100 ml	-	-	-	-

### *Somatiska kolifager*

Ny parameter från kommande dricksvattendirektivet som ej har mätts tidigare av Norrvatten. Under 2021 kommer mätningar att påbörjas och en bättre indikation på dimensionerande halt kommer att fås under projektets gång. Analysen i sig är en indikation på virusförekomst.

### *Kemiska parametrar*

Kolumnen med ”Norrvattens krav” är en bedömning av uppskattat maxvärde för de kemiska parametrarna med avseende på Görvältnfjärden 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 rapporten om Mälarens framtida vattenkvalitet (Köhler och von Brömssen, 2019) samt (Ejhed, 2020).

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

Data (2000-2020)	Enhet	Råvatten			
		Min	Median	Max	NV:s krav
Kemiska parametrar					
Temperatur	°C	0,5	7,0	15,7	12
Turbiditet	FNU	0,85	2,60	8,10	20
Färgtal	Pt mg/l	14	24	50	50
UV Absorbans 254 nm	Abs 5cm	0,729	1,10	1,92	2,00
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
Uran	µg/l	-	-	-	30
ΣPFAS11 (2013-2020)	ng/l	4,4	10,9	20,9	30
ΣPFAS4 (2013-2020)	ng/l	2,2	5,2	7,7	3,8
S:a Kvantifierade Bekämpningsmedel	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,50
Beta-östradiol	µg/l	-	-	-	0,001
Mikrocystin - LR (2015 - 2019)	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	10
Nonylfenol	µg/l	-	-	-	0,3

## 4.2. Mikrobiologisk barriär

Beträffande mikrobiologiska föroreningar kan man välja att använda den förenklade metoden i Livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter och då ställa krav på *antalet* mikrobiologiska barriärer. Det görs genom provtagning av indikatororganismer (E-Coli, enterokocker och koliforma bakterier) i råvattnet (*Tabell 3*).

För att ge en bättre bild av vilka beredningssteg som är bäst lämpade för de givna förutsättningarna i råvattnet och på så sätt ställa mer riskbaserade krav, i linje med kommande lagstiftning, är det bättre att ställa kravet i form av *barriärhöjd* för olika sjukdomsframkallande mikroorganismer alternativt att ställa krav utifrån en tolererbar *risknivå*. Exempelvis USEPA och WHO använder risknivå för att ställa krav på dricksvattenkvalitet och därmed produktionsanläggningar.

Tabell 3. Livsmedelsverkets tabell för att bestämma antal mikrobiologiska barriärer (SLV 2001:30).

Parameter	Opåverkat grundvatten	Ytvatten och ytvattenpåverkat grundvatten	Ytvatten och ytvattenpåverkat grundvatten	
<b>E.coli eller enterokocker</b>	Ej påvisad (i 100ml)	Ej påvisad (i 100ml)	1 – 10 (antal/100ml)	>10 (antal/100ml)
<b>Koliforma bakterier</b>	Ej påvisad (i 100ml)	Ej påvisad – 10 (antal/100ml)	>10 – 100 (antal/100ml)	>100 (antal/100ml)
<b>Minsta antal barriärer</b>	En	En	Två	Tre

### Riskbaserade metoder för bedömning av mikrobiologisk säkerhet

En riskbaserad metod som finns att tillgå är Mikrobiologisk barriäranalys (MBA, Svenskt Vatten). Denna togs till en början fram av Norsk Vann men har sedan omarbetats av Svenskt Vatten för att anpassas till svenska förhållanden. Denna metod rekommenderas av Livsmedelsverket att användas för att bedöma dricksvattenanläggningar som omfattas av lagen (2006:412) om allmänna vattentjänster (kontrollwiki/SLV). Genom denna metod görs bedömningen om produktionsanläggningen uppnår en ”hälsosam” dricksvattenkvalitet utifrån givna förutsättningar i råvattnet från tre år tillbaka (angivet i form av indikatororganismer) och resultatet presenteras sedan som barriärhöjd för olika patogengrupper (bakterier, virus och parasiter).

För att utföra beräkningar kring vad olika processkombinationer ger för effekt på dricksvattenkvaliteten och därmed människors hälsa utifrån givna förutsättningar på råvattenkvalitet (angivet som koncentrationer av patogener) kan istället kvantitativ mikrobiologisk riskanalys användas via ett modelleringsverktyg framtaget av Svenskt Vatten (QMRA, Svenskt Vatten). QMRA-analysen utförs i ett modelleringsverktyg där indata ges i form av statistiska fördelningar av patogenkoncentrationer i råvattnet. 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  $1\mu$ DALY.

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

MBA-analysen visar på att barriärhöjden för både bakterier och virus är för låg över beredningsprocessen på Görvålverket 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  $\mu$ 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  $\mu$ 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 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 kommande dricksvattendirektiv (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 föreningar 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 4*).

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 0,5  $\text{LOG}^{10}$  per patogengrupp per  $\text{LOG}^{10}$  anslutna som överstiger 10 000 personer. Skillnaden mellan 10 000 och en miljon är 2  $\text{LOG}^{10}$  och därmed anses ett rimligt påslag vara 1  $\text{LOG}^{10}$  per patogengrupp (*Tabell 4*). 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 LOG<sup>10</sup> reduktion av bakterier, 7 LOG<sup>10</sup> reduktion av virus (exklusive adenovirus) samt 5,5 LOG<sup>10</sup> reduktion av parasiter (Tabell 4).

Utöver detta avser Norrvatten att följa Livsmedelsrekommendation att använda avskiljande och inaktiverande barriärer för bästa barriärverkan. I den framtida dricksvattenproduktionen ska det därför finnas *minst två oberoende mikrobiologiska barriärer per patogengrupp* och här ska även patogener som är mindre känsliga mot olika desinfektionsmetoder beaktas, som exempelvis adenovirus som är tåliga mot UV-desinfektion. Vidare ska de mikrobiologiska barriärerna i den framtida beredningsprocessen utgöras av *en kombination av avskiljande och avdödande barriärer*, vilket även rekommenderas av Livsmedelsverket (SLVFS 2001:30).

Tabell 4. Klassning av Görvälnfjärden som råvattentäkt, nu och i framtiden samt beräkning av total logreduktion samt barriärhöjd vid Görvälnverket (Dahlberg, MBA 20190807)

	Bakterier	Virus	Parasiter
	LOG10	LOG10	LOG10
<b>Vattentäkt klassificering, nuläge</b>	-6	-6	-4
<b>Vattentäkt klassificering, framtid</b>	-6	-6	-4,5
<b>Total log-reduktion Görvälnverket</b>	5,2	4,2*	5,0
<b>Barriärhöjd</b>	-0,8	-1,8*	1,0
<b>Norrvattens krav**</b>	7	7	5,5

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

\*\*Kravet utgår från klassificering framtid och med en LOG<sup>10</sup> 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. Skillnaden är att en kemisk barriär inte är ett absolut skydd på samma sätt som en mikrobiologisk barriär, 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.

#### 4.3.1. 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.

#### 4.3.2. Permanent

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- $\beta$ -östradiol överskred miljö kvalitetsnormerna 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, främst av råvatten och utgående dricksvatten från Görvälnverket samt vid ett tillfälle i distributionsnätet. Proverna från distributionsnätet visade ingen genotoxisk aktivitet, men det utgående dricksvattnet uppvisade genotoxisk aktivitet vid två olika provtagningstillfällen (BioCell Analytica, 2020).

I PM från Biocell Analytica (2020), som författats av Agneta Oskarsson, professor em i livsmedelstoxikologi 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 Görvälnverket i framtiden inte ska uppvisa några genotoxiska effekter på humanceller.

### *PFAS*

Den europeiska livsmedelssäkerhetsmyndigheten, EFSA, fastställde i september 2020 en skärpt bedömning av hur mycket PFAS-ämnen människor kan få i sig utan risk för hälsan. Det nya fastslagna värdet är 4,4 nanogram per kilo kroppsvikt och vecka, och gäller för fyra olika PFAS-ämnen tillsammans (PFOS, PFOA, PFNA och PFHxS). Enligt WHO:s rekommendationer kan ett estimerat gränsvärde för dricksvatten beräknas på följande sätt:

Riktvärde= (TDI \* kroppsvikt \* andel som kommer via dricksvatten)/daglig vattenkonsumtion

Om inga andra uppgifter finns så föreslår WHO (2017) att följande värden används:

Kroppsvikt = 60 kg

Andel som kommer från dricksvatten = 20 %

Daglig vattenkonsumtion = 2 liter/dag (dvs 14 liter per vecka)

Om EFSA:s och WHO:s rekommendationer tillämpas så blir riktvärdet för dessa fyra ämnen 3,8 ng/liter.

EFSAs nya utvärdering av hälsoeffekter från PFOS, PFOA, PFNA och PFHxS baseras på epidemiologiska undersökningar av människor och tröskelvärdet är satt för att skydda mot negativa hälsoeffekter på immunsystemet och på effektivitet av vaccinering. Tröskelvärdet ger samtidigt skydd mot negativa effekter på förhöjd nivå av kolesterol i blodet, låg födelsevikt och ökad nivå av leverenzymmer.

Livsmedelsverkets åtgärdsgräns är idag 90 nanogram per liter vatten för 11 PFAS-ämnen per liter vatten. Dagens åtgärdsgräns är alltså inte ett gränsvärde för veckointag per kilo kroppsvikt. I det nya dricksvattendirektivet kommer ett gränsvärde för PFAS: 100 nanogram per liter av 20 PFAS-ämnen. Direktivet är ett minimidirektiv, vilket innebär att alla medlemsländer får införa skarpare regler. Detta innebär att Livsmedelsverket kommer att se över sin åtgärdsgräns för PFAS-ämnen i dricksvatten. Livsmedelsverkets kommande gränser för PFAS-ämnen i dricksvatten i Sverige kommer att grunda sig på EFSAs:s bedömning, EU:s dricksvattendirektiv och den egna pågående kartläggningen av kommunernas dricksvatten.

#### *Kravställning*

Norrvatten behöver ha möjlighet att klara framtida skarpare krav när det gäller förekomst av PFAS. Som riktlinje gäller därför tillsvidare följande krav på dricksvattenkvalitet:

- PFAS11 (Livsmedelsverket) < 90 ng/l
- PFAS20 (Dricksvattendirektivet) < 100 ng/l
- PFAS 4 (EFSA) < 3,8 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 biofilmsbildning 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 0,45 $\mu$ m-filter före förbränning. Även optiska parametrar används som mått på halten organiskt material där absorbans 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-absorbans) 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 varmest 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 CODMn där gränsvärdet för tjänligt med anmärkning ligger på 4 mg/L O<sub>2</sub>. Det är dock tillåtet att istället mäta parametern TOC om en kvot mellan CODMn och TOC har fastställts baserat på data från minst två år (SLVFS 2001:30). TOC har analyserats internt på Görvälnverket sedan 2017 och därför baseras beräkningen av kvoten på data från åren 2017–2020. Kvoten för råvattnet beräknats till 1,15 i medel med standardavvikelsen 0,15. Medelvärdet för kvoten på dricksvattnet beräknas till 1,51 med standardavvikelsen 0,13. Detta innebär att gränsvärdet för CODMn på 4 mg/L O<sub>2</sub> i dricksvattnet motsvarar en TOC-halt på ca. 6 mg/L i medel.

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 5.

Enligt dricksvattenföreskrifterna ska särskild hänsyn tas till de kvalitetsförändringar som kan förväntas uppstå under distribution (SLVFS 2001:30) 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 5. Gränsvärden för parametrar kopplade till naturligt organiskt material (NOM) i dricksvattenföreskrifterna (SLVFS 2001:30)

Parameter	Enhet	Dricksvatten – Utgående vattenverk	Dricksvatten – Hos konsument
<b>Oxiderbarhet eller COD<sub>Mn</sub></b>	mg/L O <sub>2</sub>		4
<b>Färgtal</b>	mg/L Pt	15	30
<b>Turbiditet</b>	NTU	0,5	1,5
<b>Odlingsbara bakterier 3 dygn 22C</b>	antal/mL	10	100
<b>Långsamväxande bakterier 7 dygn 22C</b>	antal/mL		5000

#### Kravställning NOM

Norrvatten ska basera kravet på NOM utifrån det lagstadgade gränsvärdet på COD<sub>Mn</sub> på 4 mg/L O<sub>2</sub>. Då COD<sub>Mn</sub> i stort sett har ersatts av analys av TOC vid Görvålnverket rekommenderas dock att ställa kravet i form av TOC-halt istället. Med dagens faktor på kvoten TOC/COD<sub>Mn</sub> (1,5) motsvarar detta en TOC-halt på 6,0 mg/L.

Då kvoten är beroende av sammansättningen av det organiska materialet bör omräkningsfaktorn följas upp och uppdateras kontinuerligt för att alltid garantera att gränsvärdet för COD<sub>Mn</sub> på 4,0 mg/L O<sub>2</sub> efterlevs.

De biotillgängliga fraktionerna av NOM behöver också reduceras i högre grad i den framtida beredningsprocessen. 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 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. Föroreningarna 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. Motståndskraften 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 60 mg/l, för distributionsnät med långa uppehållstider gärna högre, 80 – 100 mg/l. Alltför hög alkalinitet 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 för Norrvatten 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. Enligt Livsmedelsverkets föreskrifter finns det en gräns för tjänligt med anmärkning med hänsyn till korrosion för var och en av dessa joner som ansatts till 100 mg/l. Ur kemisk synvinkel kan detta i hög grad ifrågasättas, eftersom jonernas inverkan skiljer sig dramatiskt åt, med kloridjoner som den i särklass allvarligaste i relation till lokala korrosionsangrepp på flertalet metalliska konstruktionsmaterial. Dessutom är molvikten för kloridjoner bara ca en tredjedel av sulfatjonernas, vilket innebär att man till antalet tolererar en tre gånger så hög halt kloridjoner som sulfatjoner. Eftersom jonernas inverkan sker på basis av hur många de är och inte vad de väger, är detta i hög grad anmärkningsvärt. Lämpligen bör halten kloridjoner i ett dricksvatten begränsas till högst 50 mg/l för att undvika lokala korrosionsangrepp, medan gränsen för halten sulfatjoner kan kvarstå.

#### *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 $\text{HCO}_3^-$	>60 (önskvärt 80-100)
Kalcium	mg/l	$\geq 10$ (max 100)
Naturligt organiskt material	mg/l $\text{O}_2$ ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ) mg/l C (TOC)	$\text{COD}_{\text{Mn}}$ max 4,0 mg/l TOC max 6 mg/l
Klorid	mg/l	$\leq 50$
Sulfat	mg/l	$\leq 100$
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 (3 § SLVFS 2001:30). 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, 2020).

Det är endast ett fåtal desinfektionsbiprodukter som är reglerade med gränsvärden i dricksvattenföreskrifterna, dessa innefattar Trihalometaner (summovärde), Bromat, Ammonium och Nitrit (SLV 2001:30). Då denna reglering ansetts bristfällig har man i det nya dricksvattendirektivet även föreslagit gränsvärden för klorit, klorat och halogenerade ättiksyror (summovärde HAA) för att täcka in en större andel av de biprodukter som kan bildas. Dessa kommer därför troligtvis att ingå i Livsmedelsverkets lagkrav inom de närmaste åren. 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 paragraf 7 (SLVFS 2001:30).

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, 2020). 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 Görvålverket 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 hydrofob 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 (upphovsämmen) 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 nitrosdimetylamin (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 Görvälnverket 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 samt dricksvattendirektivet idag samt de förslag som finns på kommande gränsvärden i det nya dricksvattendirektivet i förhållande till halter uppmätta på Norrvatten.

		NV (Medel)	SLVFS (2001:30)	Dricksvattendirektivet nuvarande (framtida förslag)
<b>Ammonium</b>	mg/l	0,08	0,5	-
<b>Nitrit</b>	mg/l	<0,005	0,1	0,50 (0,50)
<b>Bromat</b>	µg/l	<5	10	10 (10)
<b>Summa THM<sup>1)</sup></b>	µg/l	<4,0	50	100 (100 <sup>2)</sup> )
<b>Klorit</b>	mg/l	-	-	- (0,25)
<b>Klorat</b>	mg/l	-	-	- (0,25)
<b>Halogenerade ättiksyror<sup>3)</sup></b>	µg/l	-	-	- (60)

1)Summan av; kloroform, bromoform, dibromklormetan och bromdiklormetan.  
 2)Nu med tillägget: i de fall det är möjligt och utan att desinfektionen äventyras bör medlemsstaterna sträva efter ett lägre värde  
 3)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 (2001:30) samt i förslaget till nytt dricksvattendirektiv.

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, 2020). Det kan även innebära att vara öppen för alternativa metoder för att hålla tillväxten på ledningsnätet i linje med de lagkrav som ställs, exempelvis genom installation av UV-aggregat på strategiska platser i distributionssystemet.

## 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 Görvålnfjärdens 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 föreningar kan också det 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 definition för otjänligt eller tjänligt med anmärkning, d.v.s. tydlig eller mycket stark och svag 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 krävs 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 krävts 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. Det finns även med parametrar från det kommande dricksvattendirektivet, därav att det kan saknas mätvärden. 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 krävda råvattenkvalitet. Kraven är ställda så att Livsmedelsverkets gränsvärden hos användare klaras med minst en faktor 10 för att förhindra tillväxt i ledningsnätet och i slutändan vid tappkran hos konsument.

Tabell 7. Utgående dricksvattendata för åren 2000–2020 samt Norrvattens kvalitetskrav (mikrobiologiska parametrar) i NFVP-projektet. Livsmedelsverkets gränsvärden redovisas på utgående dricksvatten och hos användare, skillnad görs för otjänligt (**fet stil**) och tjänligt med anmärkning.

Data (2000-2020) Mikrobiologiska parametrar	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	<10 (0)	<10 (0)	0
E-Coli	cfu/100 ml	0	0	0	0	0	0
Presumtiva Clostridium Perfringens	cfu/100 ml	0	0	0	-	0	0
Intestinala Enterokocker	cfu/100 ml	0	0	0	0	0	0
Odlingsbara mikroorganismer 22°C, 3dygn	cfu/ml	0	0	94	<10	100	<1
Långsamväxande bakterier 22°C, 7dygn	cfu/ml	0	1	140	-	5000	10
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. Parametrar från Beta-östradiol till Nonylfenol är från kommande dricksvattendirektiv och har inte börjat mätas av Norrvatten ännu.

### *Temperatur*

Livsmedelsverkets krav på utgående dricksvatten är 20°C, temperaturer över det så blir vattnet tjänligt med anmärkning. Vattentemperaturen vid Görvälnfjärden når inte upp till den nivån då råvattnet tas under språngskiktet sommartid, däremot kan temperaturen överstiga 12°C. En låg temperatur på råvattnet är önskvärd ur många aspekter. Bl.a. så motverkas tillväxt på ledningsnätet då klorret 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.

### *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 60 mg/l, ny kunskap tyder dock på att Norrvatten bör ha en alkalinitet på 80 – 90 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.

Tabell 8. Utgående dricksvattendata för åren 2000–2020 samt Norrvattens kvalitetskrav (kemiska parametrar) i NFVP-projektet. Livsmedelsverkets gränsvärden redovisas på utgående dricksvatten och hos användare, skillnad görs för otjänlig (*fet stil*) och tjänligt med anmärkning.

Data (2000-2020)		Utgående Dricksvatten					
Kemiska parametrar	Enhet	Min	Median	Max	SLV:s krav utgående	SLV:s krav hos	NV:s krav
					dricksvatten	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 <sub>2</sub> /l	0,16	0,28	0,38	<0,4	-	<0,4
Färgtal	Pt mg/l	5	5	10	15	30	6
UV Absorbans 254 nm	Abs 5cm	0,249	0,407	0,523	-	-	0,45
Lukt styrka vid 20°		ingen	ingen	svag	-	tydlig (svag)	ingen
Smak vid 40°C		ingen	ingen	ingen	-	tydlig (svag)	ingen
pH	pH-enhet	7,9	8,2	8,7	-	10,5 (<6,5 >9,5)	8,4
Konduktivitet, 25°C	mS/m	21,3	27,6	33,4	-	250	30
Alkalinitet	mg/l	47	70	95	-	-	>60
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	-	100	100
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	-	100	50
Sulfat	mg/l	30	45	59	-	100	100
Kemisk Syreförbrukning, COD	mg/l	2,0	3,0	5,0	-	4,0	4,0
Total Organiskt Kol, TOC	mg/l	3,3	4,2	5,4	-	6,0	6,0
Ammonium	mg/l	0,03	0,09	0,18	-	0,50	0,50
Nitrit	mg/l	<0,005	<0,005	0,034	0,10	0,50	0,050
Nitrat	mg/l	0,4	1,0	2,1	-	50 (20)	20
Fosfat	mg/l	<0,015	<0,015	0,043	-	-	0,5
Aluminium	mg/l	0,011	0,022	0,059	-	0,100	0,100
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	µg/l	<4,0	<4,0	<4,0	-	100 (50)	50
Tetra- och Trikloreten	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 Dikloreten	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	-	5,0	5,0
Arsenik	µg/l	0,177	0,259	0,646	-	10	10
Bly	µg/l	0,010	0,024	0,089	-	10	5
Bor	µg/l	12,3	19,9	35,2	-	100	100
Kadmium	µg/l	<0,002	0,003	0,035	-	5,0	5,0
Krom	µg/l	0,026	0,109	0,340	-	50	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	-	10	10
Uran	µg/l	-	-	-	-	30	30
ΣPFAS11 (2013-2020)	ng/l	4,4	10,9	20,9	-	90	90
ΣPFAS4 (2013-2020)	ng/l	2,2	5,2	7,7	-	-	3,8
S:a Kvantifierade Bekämpningsmedel	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	-	0,50	0,50
Beta-östradiol	µg/l	-	-	-	-	-	0,001
Bisfenol A	µg/l	-	-	-	-	-	0,01
Halogenerade ättiksyror	µg/l	-	-	-	-	-	80
Klorit	mg/l	-	-	-	-	-	0,25
Klorat	mg/l	-	-	-	-	-	0,25
Mikrocystin - LR (2015 - 2019)	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	-	-	1,0
Nonylfenol	µg/l	-	-	-	-	-	0,3

*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 försämrats. 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 försämrats 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.

## 5. Sammanfattning av samtliga kvalitetskrav

Norrvattens Dimensionerande förutsättningar - Kvalitet	
Parametrar	Norrvattens krav
Mikrobiologiska parametrar	Tillräcklig barriärverkan enligt MBA, 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 omräknat till TOC på 6 mg/l samt en reduktion av halterna lättnedbrytbart organiskt material. <i>(Halten av lättnedbrytbart organiskt material ska vara så låg att tillväxt på nätet ej överskrider SLV:s krav avseende förekomst av långsamväxande bakterier.)</i>
Organiska spårämnen Lösta kemiska föroreningar (samt kombinationseffekter av dessa)	Ingen genotoxisk effekt på humanceller samt krav på att klara EFSA:s rekommendation avseende PFAS4, vilket efter beräkning enligt WHO:s anvisningar ger ett riktvärde för PFAS4 på 3,8 ng/l.
Lukt & Smak	Lukt eller smak enligt SLV:s gränsvärden får ej förekomma. <i>(Lukt &amp; 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 samt kommande krav i nya dricksvattendirektivet. <i>(Dessutom minimera exponeringen av DBP:s utifrån aktuellt forskningsläge.)</i>

## 6. Referenser

Livsmedelsverket (SLVFS 2001:30), Statens livsmedelsverks föreskrifter om dricksvatten. (Omtryck LIVS 2017:2)

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.

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>

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

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

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

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

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

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

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

<http://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/339/mikrobiologiska-sakerhetsbarriarer>.

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

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

SLV, Handbok för klimatanpassad dricksvattenförsörjning, Livsmedelsverket 2019 v1

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

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

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

Online: [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/kommittedirektiv/genomforande-av-det-nya-eu-direktivet-om\\_H8B176](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/kommittedirektiv/genomforande-av-det-nya-eu-direktivet-om_H8B176)

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

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

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

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

SLV, 2020. <https://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/374/desinfektionsbiprodukter>

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

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>

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