

Master Thesis
TVVR 20/5011

Luft- och vattenspolning

En utvärdering av dess effekt på
vattenkvalitet

Anna Bondeson



Division of Water Resources Engineering
Department of Building and Environmental Technology
Lund University

Luft- och vattenspolning

En utvärdering av dess effekt på
vattenkvalitet

Av:
Anna Bondeson

Master Thesis

Division of Water Resources Engineering
Department of Building & Environmental Technology
Lund University
Box 118
221 00 Lund, Sweden

Water Resources Engineering
TVVR-20/5011
ISSN 1101-9824

Lund 2020
www.tvrl.lth.se

Master Thesis

Division of Water Resources Engineering

Department of Building and Environmental Technology Lund University

Swedish title: Luft- och vattenspolning: En utvärdering av dess effekt på vattenkvalitet

English title: Air scouring: An assessment of its effect on water quality

Author: Anna Bondeson

Supervisors: Catherine Paul, Kenneth M Persson

Examiner: Magnus Larson

Language: Swedish

Year: 2020

Keywords: Air scouring; Drinking water; Water quality; Maintenance; Drinking water distribution system

Förord

Denna utredning blev ur mitt perspektiv ett första steg i att undersöka luft- och vattenspolnings effekt på ledningsnät och vattenkvalitet. Förhoppningsvis kan framtida utredningar gå vidare genom att använda andra metoder och analyser, i slutet av rapporten tas några idéer om detta upp.

Detta arbete utgör den sista delen av min civilingenjörsutbildning inom väg- och vattenbyggnad på LTH. Jag vill tacka Catherine Paul på Teknisk vattenresurslära för stöttning och värdefulla kommentarer i olika skeden av arbetet och Kenneth M Persson för synpunkter i slutet av skrivprocessen.

På Pollex AB vill jag tacka Per Johansson, Johan Westlund och Adam Bengtson för hjälp med provtagning i fält och för att jag fått ta del av deras kunskap om luft- och vattenspolning. Vidare tackar jag mina handledare på företaget, Hans Andreasson och Mattias Höglund, som gjort detta arbete möjligt genom att dels efterfråga utredningen dels bidra med kunskap och utrustning.

Sammanfattning

Kvaliteten på dricksvatten kontrolleras av huvudmannen (ofta en kommunal organisation) som också är ansvariga för underhåll på ledningsnätet. En typ av underhållsmetod för dricksvattenledning är luft- och vattenspolning. Pollex AB är ett företag som bl.a. utför luft- och vattenspolning. De bedömer effekten av arbetet genom att med mätglas observera förändring i partikelinnehåll och missfärgning på vattnet under spolningens gång. Pollex AB strävar efter att vara innovativa i sina metoder och ett av målen är att utveckla sin kvalitetsbedömning av luft- och vattenspolning. Syftet med denna studie var därför att undersöka förändringar i parametrar som kan relatera till vattenkvalitet för att dra slutsatser om effekten av luft- och vattenspolning. Förhoppningen var också att kunna identifiera kompletterande sätt att bedöma effekten i fält.

Spolningsarbetets effekt på olika parametrar undersöktes genom att ta vattenprover via brandposter före och vid olika tidpunkter efter ett underhållsarbete. Val av parametrar, analysmetoder och bedömning av den samlade vattenkvaliteten för samtliga prover har följt Livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter. Parametrar som har ett direkt samband med missfärgning studerades extra noga då detta är ett av de vanligaste problemen med dricksvattenkvalitet i Sverige och också en vanlig anledning till att Pollex AB anlitas. För att kunna dra tillförlitliga och fördjupade slutsatser om resultaten från vattenproverna har personal på både Pollex AB och det kommunalt ägda bolaget (med ansvar för det ledningsnät som studerades) intervjuats. Pollex AB bidrog med kunskap om luft- och vattenspolning och kommunen kunde ge information om sitt ledningssystem och sin dricksvattenkvalitet.

Studien visar en antydning till positiv effekt på ett antal parametrar till följd av luft- och vattenspolning men gav inte tydliga resultat. Samband med förändring hos manganhalt (tydligast), järnhalt, turbiditet och antal odlingsbara mikroorganismer bedöms möjlig. Vidare är bedömningen att metoden för mätning inte lyckas fånga upp effekten av luft- och vattenspolning på ett rättvist sätt. Med dessa resultat rekommenderas Pollex AB att göra fortsatta utredningar. Ett förslag är att utföra turbiditetsmätning i fält vid ett antal olika punkter och för ett antal olika underhållsarbeten för jämförelse. Resultat från detta skulle kunna ge information om huruvida turbiditet är en lämplig parameter för att dokumentera effekten av spolning. Ett annat förslag är att göra en ny utredning genom analys av mikrobiologiska parametrar. En intressant analysmetod som kan användas för detta är flödescytometri.

Eftersom man får med sig stora mängder missfärgat vatten och partiklar ut under spolningsarbetet borde mycket information kunna skaffas genom att studera innehållet i dessa vattenvolymer. I både den föreslagna turbiditetsmätningen och analys genom flödescytometri borde mätningar på detta vatten inkluderas.

Nyckelord: Luft- och vattenspolning; dricksvatten; vattenkvalitet; underhåll; dricksvattenledningar

Abstract

The quality of drinking water is controlled by the water organisation/company that delivers water to consumers, the organisation is also responsible of the maintenance of the drinking water distribution system. One method of maintenance is called air scouring. Pollex AB is a company utilizing, among other methods, air scouring. The staff assess the effect of the work by using a transparent plastic funnel observing changes in particle concentration and discolouration of the water during the air scouring. Pollex AB strives at being innovative in their methods and one of the goals is to develop their quality assessment of air scouring. The purpose of this study was therefore to investigate changes in parameters related to water quality to enable making conclusions of the effects of air scouring. The hope was also to identify complementary ways in field to evaluate the effect.

The effect on different parameters due to air scouring were investigated by sampling water at fire hydrants before and at several points in time after accomplished maintenance. The choice of parameters, analysis methods and assessment of the overall water quality of each sample is based on the recommendation of Livsmedelsverket. Parameters correlated to discolouration of drinking water were studied extra carefully since discolouration is one of the most frequent problem regarding water quality in Sweden and also a regular reason why Pollex is contacted by clients. To make reliable conclusions of the results both personnel at pollex and at the municipality (water organisation) where this study were conducted were intervjued. Personnel at Pollex contributed with knowledge of air scouring and the personnel at the water organisation provided information concerning their distribution system and water quality.

This study displays an indication of positive effect on a number of parameters due to air scouring but did not produce clear results. Correlation to changes in manganese concentration, iron concentration, turbidity and cultivable microorganisms (heterotrophic plate count) is considered possible. Furthermore the assessment is that the sampling method perhaps fails in fairly capturing the effect of air scouring. Due to the results of this study Pollex AB is recommended to conduct further studies. A suggestion is to carry out turbidity measurements during work in field at a number of locations during air scouring. This should be done in a number of distribution system for comparison. The results from this could display if turbidity is a useful parameter to document the effect of air scouring. Another suggestion is

to conduct a deeper microbiological study, for this an analysis using flow cytometry is an interesting option. Additionally, since a big amount of discolored water and particles are flushed during air scouring a lot of information should be possible to extract from analysis of the content of those volumes of water. For both the suggested turbidity measurement and studies using flow cytometry measurements of the flushed water should be included.

Keywords: Air scouring; Drinking water; Water quality; Maintenance; Drinking Water Distribution System

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och frågeställning	2
1.3	Avgränsning	2
1.4	Disposition	3
1.5	Metodik	3
2	Teori	5
2.1	Luft- och vattenspolning	5
2.2	Vattenkvalitet	7
2.3	Intervjuteknik	10
3	Metod	12
3.1	Provtagning	12
3.1.1	Mätpunkter och utrustning	13
3.1.2	Förfarande	15
3.2	Intervjuer	16
3.2.1	Intervju med personal på Pollex	16
3.2.2	Intervju med driftpersonal	16
4	Resultat och analys	17
4.1	Intervju med personal på Pollex	17
4.2	Intervju med driftpersonal	20
4.3	Jämförelse av parametrar	23
4.4	Observationer under provtagning	23
4.5	Analyserade parametrar	25
4.5.1	Övriga parametrar	30
5	Diskussion och Slutsats	32
5.1	Diskussion	32
5.1.1	Resultat	33
5.1.2	Metod	35
5.2	Slutsats	36
6	Vidare forskning	37
A	Intervjuunderlag Pollex	I

B	Intervjuunderlag kommun	II
C	Grafer för Övriga parametrar	IV

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Dricksvatten är ett livsmedel som förväntas hålla god kvalitet när det tappas ur kranen. Huvudmannen, ofta kommunen, är ansvarig för kvaliteten när vattnet lämnar verket och för att den upprätthålls under distribution till abonnenter. Ansvar för distribution och vattenkvalitet gäller fram till förbindelsepunkten in till fastigheter (Livsmedelsverket, 2019b). Ansvar ligger också på huvudman att underhålla ledningsnät och vidta åtgärder när kvaliteten på dricksvattnet inte uppfyller Livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter (Livsmedelsverket, 2017). Enligt Verberk, O'Halloran, Hamilton, Vreeburg och van Dijk, 2007 handlar en av de vanligaste klagomålen på dricksvattenkvalitet om missfärgning.

Livsmedelsverket är den myndighet som utformar de lagar och föreskrifter som dricksvattendistributörer måste rätta sig efter. Bland annat finns riktlinjer för kontrollprogram som beskriver provtagningsfrekvens och vilka parametrar som bör analyseras. I denna utredning baseras provtagning på Livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter, mer om detta i metodbeskrivningen.

Att underhålla ledningsnätet i dricksvattensystemet är alltså av stor betydelse för att säkerställa vattenkvalitet hela vägen från vattenverk till abonnenter. Luft- och vattenspolning är en av de vanligaste underhållsmetoderna och har använts i flera årtionden (Pourcel, Eskerud Smith & Duchesne, 2017). Ainsworth och WHO, 2004 menar att det är högst väsentligt att utvärdera luft- och vattenspolnings effekt på vattenkvaliteten, framförallt för att motivera insatsen för framtida underhållsplaner. Hur effekten utreds beror på ambitionsnivå, kompetens och resurser. En enkel variant är att se om klagomål från abonnenter förändras. Till detta är standardanalyser av vattenprover på nätet relevant. Beroende på vilka problemen man har på dricksvattensystemet analyserar man givetvis för dem. Prover före och efter en underhållsinsats är avgörande för att kunna bedöma effekter.

Denna utredning har gjorts i samarbete med Pollex AB. I deras arbete med underhåll på dricksvattnet används bland annat luft- och vattenspolning. Personalens utvärdering av spolningsarbetet görs genom att observera förändring i utspolade mängder missfärgat vatten och partiklar samt återkoppling med huvudmän om huruvida man har upplevt en förbättring över

tid med ledningsnätet. Intresse finns hos Pollex AB att ta fler steg i att kunna dokumentera effekter av denna spolningsmetod under själva arbetet.

1.2 Syfte och frågeställning

I dagsläget sker alltså Pollex bedömning av effekten av luft- och vattenspolning okulärt samt genom återkoppling med beställare. För att kvalitetssäkra underhållsmetoden är det intressant att göra en systematisk insamling och analys av data.

Syftet med detta examensarbete är därför att göra en utvärdering av luft- och vattenspolning som underhållsmetod. Förhoppningen är att genom provtagning bekräfta de effekter på vattenkvalitet man idag okulärt bedömer att man uppnår med spolningen.

Frågeställning för utredningen är:

Vilken effekt har underhållsmetoden luft- och vattenspolning på utvalda parametrar som relaterar till vattenkvalitet?

1.3 Avgränsning

I beskrivningen av luft - och vattenspolning i rapporten ligger betoning på de praktiska aspekterna av underhåll.

Utredning gjordes endast på ett dricksvattennät. Fler hade givetvis varit önskvärt men den långa tidsramen på underhållsarbetena (här 8-10 veckor spolprocess följt av 8 veckor för sista provtagning) begränsar denna möjlighet. Det undersöktes om två parallella projekt kunde användas men endast ett projekt startade och slutade inom tidsramen för detta arbete.

Antalet provpunkter på det studerade dricksvattennätet övervägdes tillsammans med handledare på Pollex AB och LTH. Kriterierna var att få tillräcklig mängd data för analys utan att ha orimligt många provpunkter och provtillfällen med avseende på tid, arbetsinsats och kostnad. Var på nätet som prover skulle tas bedömdes av personal på Pollex under deras planering av spolningen.

Ur analysrapporterna från laboratoriet har ett urval gjorts av vilka parametrar som lyfts fram för resultat och analys; Extra fokus har lagts på parametrar med tydlig koppling till problem med missfärgning. I övrigt har andra parametrar som visat konsekvent förändring över tid studerats noggrannare.

Utförandet av intervjuer och samtal har gjorts med viss inspiration från litteratur men utan en strikt planering av utförandet. Anledningen var att intervjuerna inte är huvudmetoden i arbetet utan har använts för att skaffa information och insikt i olika avseenden. Svar som har bedömts intressanta för bakgrundsinformation, analys eller diskussion har inkluderats i rapporten.

1.4 Disposition

Rapporten har följande disposition:

1. Inledning

- Arbetet sätts i ett sammanhang, syfte och avgränsning presenteras.

2. Teori

- Här presenteras teorier som är nödvändiga för att analysera och diskutera utredningens resultat.

3. Metod

- I detta kapitel återges när och hur arbetet genomfördes.

4. Resultat och Analys

- Resultat från intervjuer redovisas. Observationer från fältarbetet och resultat från vattenprover presenteras och analyseras.

5. Slutsats och Diskussion

- Resultatet och analys problematiseras och slutsatser presenteras. Metodval diskuteras.

6. Vidare forskning

- Idéer på vidare utredningar ges.

1.5 Metodik

För att besvara frågeställningen genomfördes följande huvudaktiviteter:

- Insamling av nödvändigt teoretiskt underlag.
- Intervjuer och samtal med personal på Pollex AB och på den kommun där utredningen genomfördes.

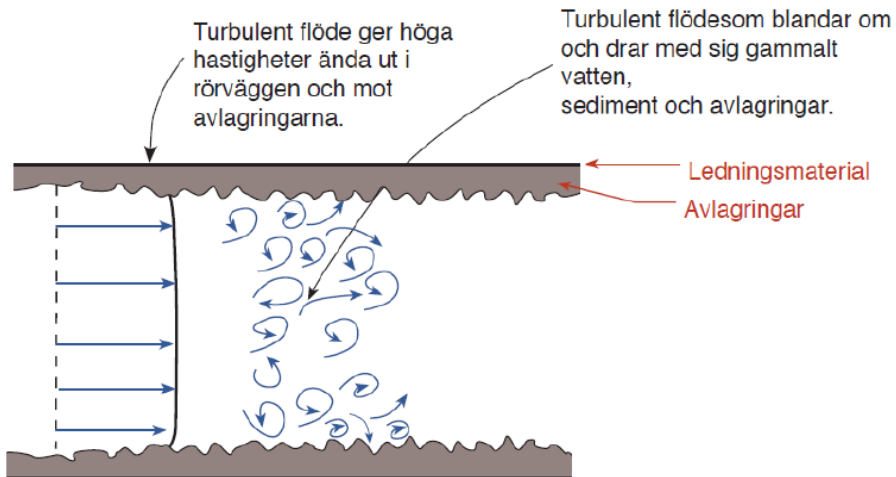
- Insamling av vattenprover.
- Observation och iakttagelser under provtagning.
- Analys av provsvar från laboratorie.
- Reflektion kring resultaten och idéer för vidare utredning.

2 Teori

2.1 Luft- och vattenspolning

I detta avsnitt beskrivs underhållsmetoden luft- och vattenspolning. Förhoppningen är att det motiverar val av metod och möjliggör tolkning av resultat.

Dricksvattenledningar kan underhållas med hjälp av luft- och vattenspolning. Det är en metod som enligt Ainsworth och WHO (2004) har god verkan på rör med diametrar upp till 200 mm. Kitney, Woulf och Codd (2001) hävdar att metoden till och med kan användas på ledningar med dimension upp till 225-300 mm. Beroende på bland annat ledningsmaterial är den sträcka som kan spolas i taget 1500 m (Kitney m. fl., 2001). Verknings sättet för luft- och vattenspolning är att genom kraftigt ökad turbulens skapa tillräcklig friktion utmed rörvägg för att riva med sig partiklar som sedimenterat i ledningar samt löst sittande biofilm och korrosionsprodukter (Pourcel m. fl., 2017), se figur 1. Partiklar i storleksordning 2-3 cm kan rivras med (Persson Pencon, Berghult, Höglund, Andreasson & van der Heiden, 2019).

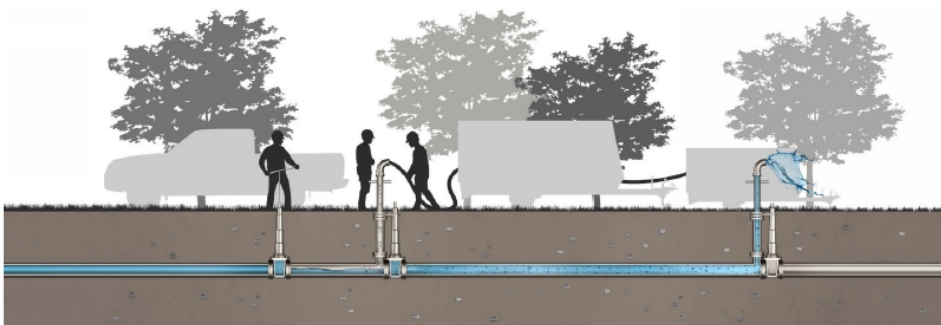


Figur 1: Illustration av hur ökad turbulens under luft- och vattenspolning river med avlagringar och sediment i ledningar, (Persson Pencon, Berghult, Höglund, Andreasson & van der Heiden, 2019)

Turbulensen ökas genom att en blandning av luft och vatten spolas genom

ledningsstäckan. Luften tillförs via en brandpost med hjälp av en kompressor och efter att luften har passerat kompressorn måste den passera olika filter för att eventuella partiklar och olja ska avlägsnas (Kitney m. fl., 2001). Andelen vatten respektive luft som flödar in i ledningen ska styras så att ett lågt tryck och hög hastighet uppnås, Persson Pencon m. fl. (2019) uppger att hastigheter på 10 m/s går att uppnå. I figur 2 visas en schematisk uppställning för luft- och vattenspolning. Till höger i figuren visas hur luft- och vattenblandningen tas ut ur en brandpost nedströms, stötarna av luft respektive vatten för med sig material som lossnat (Ainsworth & WHO, 2004). Längst till vänster används en ventil för att justera vattenflödet (kallas styrventil). På den efterföljande brandposten (som öppnas med ventil) kopplas en tryckslang på för att man ska kunna avläsa ledningstryck. Utöver tryckslang kopplas slang från kompressor på för tillförsel av luft.

Nedströms brandposten till höger i figur 2 har en ventil stängts så att sträckan har isolerats. Vanligtvis finns det flera anslutande ledningar till sträckan som ska spolas, alla ventiler till dessa ledningar måste stängas innan man kan spola. Som illustreras i figuren är det vanligt att vattnet tas ut och leds ner mot närmsta dagvattenbrunn eller över mark där det kan infiltrera. Enligt Kitney m. fl. (2001) bör dock det utspolade vattnet tas om hand.



Figur 2: Illustration av uppställning för luft- och vattenspolning, (Persson Pencon, Berghult, Höglund, Andreasson & van der Heiden, 2019)

Det krävs mycket erfarenhet hos personal för att få till rätt proportion vatten/luft under spolningen. För att den ska bli så verksam som möjligt ska man skapa ett flöde där alternerande pluggar av luft och vatten formas (Ainsworth & WHO, 2004). Principen är att vattnet som en ledningssträcka spolas med bara ska ha flödat genom redan rengjorda ledningar eller vatten som man vet håller tillräckligt bra kvalitet (Ainsworth & WHO, 2004).

Vidare är det viktigt att utvärdera hur arbetet påverkar flöde och tryck i anslutande ledningar eftersom ett lågt tryck är något man vill undvika (Ainsworth & WHO, 2004).

Enligt Ainsworth och WHO (2004) är luft- och vattenspolning inte en metod som är effektiv mot hårda avlagringar fästa till rörvägg. Däremot används mindre vatten än vid enbart vattenspolning och rensningen blir effektivare. Jämfört med till exempel piggnings är luft- och vattenspolning dessutom relativt skonsam för rören. (Ainsworth & WHO, 2004). Persson Pencon m. fl. (2019) menar dock att man bör hantera vissa ledningar försiktigt. Ju högre hastighet som uppnås desto "aggressivare" är spolningen för ledningar och det invändiga ytskiktet. Metoden rekommenderas att inte användas på galvaniserade ledningar som ofta har ett känsligt korrosionsskikt. Vid aggressiv spolning kan också korrosionslagret på gjutjärnsledningar skalas av alltför mycket, vilket ofta leder till att ett icke-oxiderat skikt exponeras mot vattnet och orsakar "blödning", dvs att utfällningar av järn missfärgar vattnet tills att ett nytt skikt utvecklats. Eftersom detta kan ta lång tid kan resultatet bli lång tid med missfärgat vatten (Persson Pencon m. fl., 2019). (Persson Pencon m. fl., 2019) rekommenderar även att man spolar ur alla brandposter på nätet medan man utför underhåll.

2.2 Vattenkvalitet

I det följande avsnitt presenteras främst information om de parametrar där en tydlig och konsekvent förändring skedde vilket också till stor del är de parametrar som kan kopplas till problem med missfärgning. För information om andra parametrar som analyserats hänvisas till annan litteratur

Vanliga problem med dricksvatten är att det under distribution från vattenverk till abonnenter blir missfärgat, grumligt, får sämre lukt eller smak. Livsmedelsverket rekommenderar att förändringar från normala nivåer för färg, turbiditet, lukt och smak undersöks då de kan tyda på ett allvarigare problem med kvaliteten (Livsmedelsverket, 2019d). Vatten kan dock likväl vara ofarligt ur hälsosynpunkt även om det skulle finnas anmärkningar på lukt och smak eller se grumligt ut (WHO, 2011).

Som med allt annat bryts med tiden materialet i dricksvattenledningarna ner och det finns behov av underhåll, och till sist utbyte, av ledningar. Ledningar av metalliska material kommer korrodera och att ett korrosionsskikt byggs upp på rörväggen är oundvikligt (Persson Pencon m. fl., 2019). Färg, pH och konduktivitet är en del av de tekniska parametrar som ska regleras för att

minska vattnets ledningsangripande förmåga (Livsmedelsverket, 2019d).

När delar i infrastrukturen i drickvattensystemet korroderar ökar risken för brott, läckor och nedsatt kapacitet. Detta påverkar på olika sätt också kvaliteten på drickvattnet negativt. Hastigheten med vilken metaller korroderar påverkas av pH och, för vissa metaller, vattnets alkalinitet och kalciumhalt, där höga halter av alla dessa parametrar generellt är mindre korrosiva (WHO, 2011).

Om vattnet hos användaren är missfärgat av järn och mangan är det ofta till följd av att utfällningar av dessa ämnen har släppt från rörvägg respektive sediment i ledningsnätet. Detta sker inte sällan vid högre eller förändrade flöden (Livsmedelsverket, 2019c). På grund av korrosion av ledningar innehållandes järn (stål-, gjutjärn-, segjärn-, galvaniserade ledningar etc.) bildas korrosionsprodukter på rörväggarna som kan rivs av vid ökad turbulens. Höga halter järn orsakar röd-bruna utfällningar (rost) och järnsmak (WHO, 2011). Mangan följer ofta med från råvattnet och fälls ut från vattenfasen, varpå det kan ackumuleras som löst sittande avlagringar i ledningar vilka ofta är svartfärgade (WHO, 2011).

Problem kan också skapas av en hög mikrobiologisk aktivitet. Problem med biokorrosion, lukt, smak och tillväxt av biofilm är några (G. Liu m. fl., 2014). WHO (2011) menar precis som Livsmedelsverket (2019d) att en förändring i lukt och smak är viktigt att undersöka då det kan betyda att något i distributionsanläggningen eller reningsprocessen är nedsatt (WHO, 2011).

En hög mikrobiologisk aktivitet kan bero på hög tillgång på lättnedbrytbart organiskt material som stimulerar tillväxt av mikroorganismer (W. Liu m. fl., 2002). För att minska denna tillväxt försöker man följa huvudprincipen att utgående vatten från vattenverken ska ha så låg halt av naturligt organiskt material (NOM) som möjligt. I distributionsnäten är det sedan svårare att kontrollera halterna och tillväxten (Persson Pencon m. fl., 2019). I Sverige är det vanligaste sättet att mäta innehållet av naturligt organiskt material (NOM) i drickvatten som kemisk syreförbrukning (COD-Mn) (Livsmedelsverket, 2020). Förutom att fungera som föda till mikroorganismer kan för höga halter av organiskt material orsaka missfärgat (ofta brunt) vatten (Livsmedelsverket, 2019c).

Bland hela spektrat av mikroorganismer finns det dem som är sjukdomsframkallande (patogener) varför det är väldigt viktigt att kontrollera vattnets

mikrobiologiska parametrar. Eftersom mikroorganismer tenderar att vara fästa till partiklar är det dessutom önskvärt att dricksvatten har låg turbiditet. Högt partikel- och luftinnehåll i vatten orsakar högre turbiditet. Små luftbubblor kan vara orsakat av underhåll på ledningsnätet och förviner med tiden men bör ändå undersökas (WHO, 2011).

Livsmedelsverket (2017) anger vilka parametrar (och dess gränsvärden) som ska följas av drickvattendistributörer. I bilaga C redovisas gränsvärdena för de parametrar som undersöks i denna utredning. De mikrobiologiska parametrarna i livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter är indikatororganismer som återspeglar risken att vattnet är kontaminerat av sjukdomsframkallande organismer. Gränsvärdena för indikatororganismerna är valda så att de ska kunna gå att bedöma förekomst av hälsoskadliga organismer så bra som möjligt men det är inte ett perfekt system. Även om vattnet inte visar på förekomst av indikatororganismen finns alltid risken att sjukdomsframkallande organismer existerar (Livsmedelsverket, 2019d). Detta beror till stor del på att organismer och kluster av dessa är diskreta enheter som inte självklart fångas upp i enstaka vattenprov.

Två av indikatorparametrarna är långsamväxande bakterier och odlingsbara mikroorganismer. Båda dessa analyseras med odlingsmetoder. Indikatorparametern långsamväxande bakterier ska uppskatta distributionssystemets tillstånd med etablerande och tillväxande mikroorganismer (Livsmedelsverket, 2019e). Idag finns inte en etablerad och effektiv analysmetod för att analysera status hos biofilm (som alltid finns på insidan av ledningar) men Livsmedelsverket, 2019a menar att parametern långsamväxande bakterier kan användas som uppskattning. I indikatorparametern odlingsbara mikroorganismer (22 °C) avspeglas vissa bakterier och mikrosvampar. För höga antal kan innebära risk för vattenburen smitta men parametern är ett allmänt mått på mikrobiologiska aktivitet (Livsmedelsverket, 2019e).

Analys genom odlingsmetoder är av tradition det vanligaste sättet (i Sverige och internationellt) att analysera mikrobiologiska parametrar i dricksvatten men enligt Wingender och Flemming (2011) är detta på många sätt en begränsad metod. Till exempel återspeglas inte den verkliga mängden mikroorganismer eller variationen av dessa i dricksvattensystemet. G. Liu m. fl. (2014) lyfter betydelsen av att betrakta dricksvattensystemet som ett komplext ekosystem. I en studie gjord visar G. Liu m. fl. (2014) att den största andelen och variationen av den mikrobiologiska aktiviteten i ledningsnät finns i löst sediment och lösa avlagringar. Tillsammans med

biofilmen, som ses som en annan fas i systemet, svarade dessa för 98 % av mängden mikroorganismer. Förutom att utgöra en liten andel av den totala mikrobiologiska aktiviteten var artvariationen dessutom annorlunda i bulkfasen (d.v.s. i själva vattnet). I studien framgår också att biofilmens sammansättning var någorlunda konstant över nätet medan mängden löst material varierar lokalt.

De kemiska parametrarna i Livsmedelsverkets föreskrifter är valda efter hur vanligt förekommande de är i dricksvatten. Gränsvärdena för ämnena är ofta satta efter bedömningen att en människa ska kunna dricka två liter av vattnet varje dag under en livstid utan oacceptabla hälsorisker (Livsmedelsverket, 2019d). Kemiska ämnen kan ha sitt ursprung i råvattnet, introduceras i beredningen på vattenverken, tillföras vid inläckage på ledningsnätet eller komma från material från distributionsanläggningen (Livsmedelsverket, 2019c). Det senare är ett exempel på en långsam kemisk förändring av kvaliteten i dricksvattensystemet (WHO, 2011).

2.3 Intervjuteknik

Följande teoriunderlag ligger till grund för den metod som intervjuer och samtal följde under arbetet.

Om ett arbete innefattar fler metoder än just intervjuer är det inte säkert att det krävs mer än en respondent för att få tillräcklig information. En annan strategi är att fortsätta med intervjuer till det att intervjuaren har nått en mättnadspunkt, där fler intervjuer inte bedöms tillföra mer av värde. I övrigt är antalet respondenter i urvalet upp till intervjuaren att bedöma (Ryen, 2004). Vidare menar Ryen (2004) att ledande frågor eller upprepning av samma fråga fast med andra ord ska undvikas. Intervjuaren bör dessutom vara väl förberedd så att fokus under intervjun kan ligga på respondentens svar, nyanser i dessa och samspelet mellan respondent och intervjuare.

Innan intervjun startar ska respondenten ges information om varför intervjun görs och hur den ska gå till med avseende på dokumentation (inspelning, anteckningar, tid, plats för intervjun). Vidare ska rätten att avbryta eller inte svara på frågor belysas (Lantz, 2007). Lantz (2007) menar även att inledningen på en intervju med fördel tar upp frågor om respondentens bakgrund, position, ålder, etc. Detta styrks av Ryen (2004) som anser att början av intervjun fungerar som en slags uppvärmning.

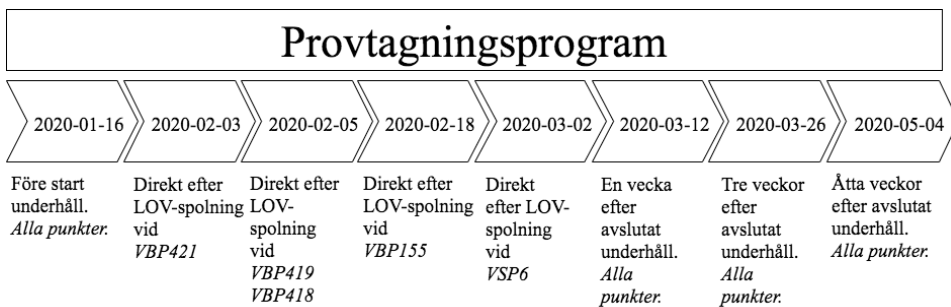
Graden av struktur inför en intervju kommer påverka resultatet. En alltför

strukturerad intervju kan missa att fånga upp viktig information för ämnet medan en alltför ostrukturerad intervju kan göra detsamma eller medföra att okänd information inte får utrymme att komma upp till ytan (Ryen, 2004). Den vanligaste intervjumodellen är den halvstrukturerade, Ryen (2004) beskriver den som att huvudfrågor är bestämda medan ordningsföljd och formulering inte är preciserade. Lantz (2007) menar att den halvstrukturerade intervjun lämnar respondenten att svara fritt på de konkreta frågorna.

3 Metod

3.1 Provtagning

För att svara på frågan om hur utvalda parametrar påverkas av luft- och vattenspolning samlades vattenprover in på ledningsnätet där spolning utfördes. Av sekretessskäl anges inte i vilken kommun provtagning har gjorts. Fem punkter (brand- och spolposter) användes för provtagning. Prover togs på samma punkter vid alla tillfällen för att möjliggöra jämförelse av resultaten. Provtagning gjordes innan Pollex hade påbörjat spolningsarbetet och vid tre olika tidpunkter efter att hela det studerade området hade spolats klart. Syftet med denna metod var att fånga en eventuell systemeffekt. För att även undersöka en eventuell omedelbar effekt/störning togs också prover vid respektive punkt direkt efter luft- och vattenspolning. Detta skedde vid olika tillfällen eftersom spolningsarbetet inträffade vid olika datum i anslutning till de olika punkterna. Ett tidsprogram för provtagning togs fram, se figur 3. Det ska alltså noteras att vid provtagning en vecka efter avslutat underhåll har det t.ex. gått fem veckor sedan Pollex luft- och vattenspolade i anslutning till punkt VBP421.



Figur 3: Program för provtagning med beteckningar för de olika provpunkterna.

Proverna skickades till ett ackrediterat laboratorium för analys med en beställning av analyspaket innehållandes en stor grupp parametrar. En så kallad normal kemisk- och mikrobiologisk undersökning beställdes. Normal undersökning valdes för att den innehåller de standardparametrar som relaterar till vattenkvalitet. Flera av dessa parametrar analyseras regelbundet av huvudman vilket innebär att denne skulle kunna göra jämförelser med egna kontroller.

Den kemiska analysen innefattar

Färg, konduktivitet, lukt, pH, turbiditet, alkalinitet, kemisk syreförbrukning, ammoniumkväve, ammonium, nitritkväve, nitrit, aluminium, järn, kalcium, koppar, magnesium, mangan, hårdhet.

Den mikrobiologiska analysen innefattar

Långsamväxande bakterier (7 dygn), odlingsbara mikroorganismer (22°C, 3 dygn), *Escherichia coli*, koliforma bakterier (35°C).

Provtagningen samordnades löpande med personal på Pollex AB och huvudman. Utrustning från laboratoriet införskaffades i god tid innan programmet började.

3.1.1 Mätpunkter och utrustning

De fem punkterna där vattenprov togs har beteckningarna VBP421, VBP418, VBP419, VBP155 och VSP6, se figur 7 och 8 i rapportens resultatdel. Dessa är beteckningarna för brandposter (VBP) och spolposter (VSP). De tre första är belägna i område A och de två sista i område B.

Det ska noteras att VBP419 och VSP6 inte användes för påkoppling av kompressor eller för uttag av vatten under luft- och vattenspolningen. VBP419 ligger däremot på en ledningssträcka som utsattes för luft- och vattenspolning, d.v.s. man spolade förbi den. För VSP6 gällde däremot att ledningssträckan precis söder om punkten inte luft och vattenspolades. Denna "luftades" endast, d.v.s. spolposten (VSP6) öppnades och den luft som hade tryckts in i ledningen på grund av luft- och vattenspolning i anslutande ledningar togs ut med vattnet. Detta är ett ganska vanligt sätt att göra när man handskas med ändledningar eller mindre dimensioner och kortare sträckor. Den luft som finns kvar i systemet ger en viss rensningseffekt.

I listan nedan anges all utrustning som användes under provtagning. Se även figur 4 på nästa sida.

- Nyckel, skaft och brandposter
- Delar för montering till provtagning
- Brännare
- Termometer

- Provtagningsflaskor med etiketter och väska med kylklampar och följesedel
- Vattenfast penna
- Glas (användes bara vid sista provtagningen)



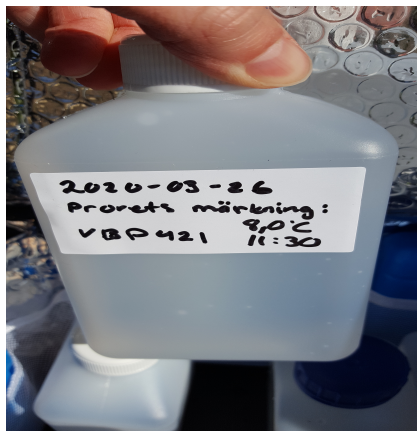
(a) Från vänster till höger: Två typer av brandposter och två varianter av nyckel och skaft.



(b) Till vänster i bild visas delar som fästs på brandpost. Brännare, termometer, vattenfast penna och glas.



(c) Brandpost, delar monterade och ventilen till brandposten öppnad med nyckel och skaft.

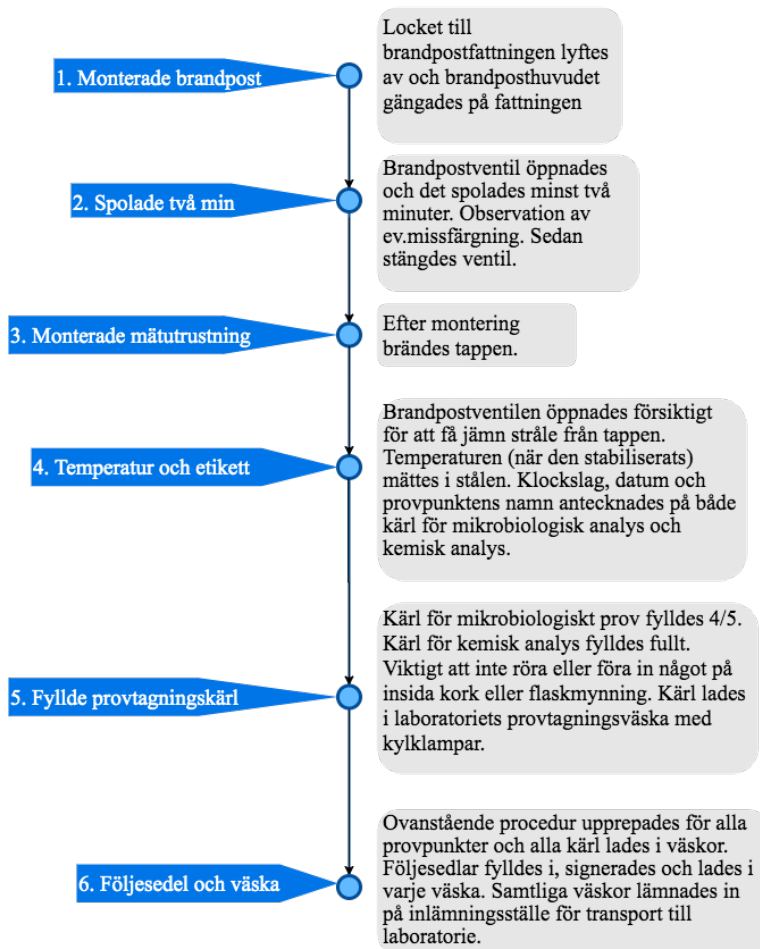


(d) Hur flaskorna för provtagning märktes.

Figur 4: Bilder från provtagning

3.1.2 Förfarande

Provtagningen genomfördes enligt laboratoriets och Pollex anvisningar. Laboratoriet har gjort analys och bedömning i enlighet med Livsmedelsverkets föreskrifter. Proceduren för provtagning illustreras i figur 5 och följdes vid de flesta tillfällena. Vid provtagningarna *direkt efter* luft- och vattenspolning var förfarandet dock något annorlunda för vissa punkter; Eftersom brandpost VBP421, VBP418 och VBP155 redan hade spolats ur i samband med arbetet kunde proceduren ta vid på steg 3 i figur 5. Vid VBP419 och VSP6 följde provtaning vid dessa tillfällen hela proceduren eftersom dessa poster inte användes aktivt i spolningsarbetet.



Figur 5: Procedur för provtagning

3.2 Intervjuer

Intervjuer med personal på Pollex och driftpersonal på det kommunägda bolaget följde en halvstrukturerad intervjumetod (bestående av konkreta frågor men utan svaralternativ). Förhoppningen var att intressant information och kunskap skulle komma fram genom detta metodval. Generellt gällde att intervjun och samtalen med kommunen var mer formella än de med Pollex då relation med personal på företaget sedan tidigare var etablerad. Personal var även innan första mötet informerade om syfte och tid för provtagning. För båda intervjuer kontrollerades det att inga ledande frågor ställdes. Information om varför intervjuerna genomfördes lades fram, särskilt noggrant vid intervju med kommunen. Denna intervju spelades in (vilket det informerades om) men samtal med Pollex dokumenterades endast genom anteckningar.

3.2.1 Intervju med personal på Pollex

För att samla kunskap och erfarenhet om luft och vattenspolning intervjuades personal på Pollex som jobbar med luft- och vattenspolning. Förhoppningen var att eget deltagande vid spolning och frågor i direkt anslutning till fältarbetet skulle kunna användas som underlag för diskussion om resultaten. Intervjufrågor sammanställdes i samband med att litteraturstudie luft- och vattenspolning gjordes. Se bilaga A för underlag till intervju.

Urvalet av respondenter är begränsad till personal på Pollex. Det bestämdes att bara personal som utför praktiskt arbete med luft- och vattenspolning skulle intervjuas och att intervjuprocessen dessutom skulle avslutas om det ansågs att ytterligare intervjuer ej tillförde mer information.

3.2.2 Intervju med driftpersonal

Intervju med personal på det kommunägda bolaget gjordes med förhoppningen att den skulle ge information som kunde användas i analys av resultaten. Av sekretessskäl är personer som intervjuats anonyma. Beslut togs om att intervju anställda som arbetar direkt med VA-frågor och att processen skulle avrundas när tillräcklig information skaffats. Intervjun hölls mitt under perioden för provtagning. Viss kommunikation före och efter intervjun fördes i syfte att samordna material för provtagning. Vissa frågor ställdes också efter själva intervjun eftersom fler funderingar uppstod. Vissa frågor behövde dessutom ställas till annan personal än den som var närvarande under intervjun. Se intervjuunderlag i bilaga B.

4 Resultat och analys

Detta avsnitt inleds med redogörelser av intervjuerna med personal på Pollex och kommunen, se bilaga A och B för intervjuunderlag. Därefter presenteras en jämförelse av parametrarna färg, turbiditet, järn och mangan samt odlingsbara mikroorganismer och långsamväxande bakterier. Vidare presenteras observationerna av missfärgning som gjordes vid två-minutersspolningen innan provtagning. Avslutningsvis redovisas mätvärden för var och en av de ovan nämnda parametrarna.

4.1 Intervju med personal på Pollex

Luft- och vattenspolning hos Pollex följer samma huvudprinciper som presenterades i rapportens teorikapitel. Man börjar spola uppströms på ledningsnätet och arbetar sig systematiskt ut mot ledningsnätets yttre gränser för att undvika flöde mellan spolade och ej spolade områden. Detta bedöms viktigt för resultatet och strategin fungerar i det flesta fall bra. I fält jobbar man med ritningar över området som ska spolas. Dessa ritningar visar i bästa fall följande: grundkarta med vägar, byggnader, fastighetsgränser och VA-ledningar inklusive servisledningar med dimension och material, numrerade ventiler, spol- och brandposter. Något man inte brukar ha tillgång till är information om hög- och lågpunkter, men man säger att detta är önskvärt eftersom man vill undvika att spola med luft över krön eller från högpunkt till lågpunkt (luft svårt att få ut). Detta är ett exempel på svåra förhållanden att spola under. Andra svåra förutsättningar är väldigt små och stora ledningar. Väldigt små ledningar kan vara svåra att föra in luft i. En lösning kan vara att alternera mellan att stänga av och på kompressor och öppna och stänga vattentillförseln (vid brandpost A), d.v.s att först bara tillföra luft följt av bara vatten o.s.v. Väldigt stora ledningar kan vara för stora i förhållande till det lilla uttaget vid branposten (brandpost B), vilket medför att man inte kommer upp i tillräckliga hastigheter längs rörvägg varvid spolningen blir ineffektiv. Det kan också bli problem med att få ut all luft ur dessa stora ledningar mot slutet av spolningen. Slutligen brukar man undvika att spola ändledningar om det inte bedöms nödvändigt. Erfarenheter visar att det riskerar att skapa problem med lång tids "blödning" om de är av metalliska material. Man är även försiktigare när gjutjärnsledningar eller galvaniserade ledningar spolas till skillnad från plastledningar som kan spolas mer "aggressivt".

Från intervjun och observation tillkommer följande praktiska moment under arbetsgången; Minst två personer jobbar tillsammans. Först åker man och inventerar vilka brandposter och ventiler som ska användas (om detta inte har gjorts innan). Sedan installerar man sig på brandpost A (där luft senare ska tillföras). Efter detta åker en eller båda runt och stänger de ventiler som behöver stängas - alla ledningar som ansluter till den ledningssträcka som ska spolras måste stängas. Efter detta delar man upp arbetet, man placerar sig vid respektive brandpost. Personen vid brandpost A (person A) ansvarar för att styra lufttillförsel via kompressorn och justera mängden inkommande vatten ifrån ledningen uppströms genom att vrida på styrventilen. Vidare ansvarar denna person för att trycket i ledningen under luft- och vattenspolning inte överstiger det ursprungliga ledningstrycket (som observeras innan man stänger ventiler på anslutande ledningar). Observation av tryck och lufttillförsel görs inne i ett släp, Pollex har olika typer av släp/utrustning - de med analoga mätare och de med digitala mätare.

Den andra personen har placerat sig vid brandpost B där man tar ut luft- och vattenblandningen. Personerna har kontakt med varandra under olika skeden i spolprocessen. Man meddelar när luft börjar tillföras (person A), när luft är framme vid brandpost B (person B), förändringar i missfärgningar och andra observationer (person B), när vattnet är klart efter att hen kontrollerat med mätglas (person B), när luft stryps (person A), när inga mer luftbubblor och grumlighet syns (person B), vilken sträcka som ska spolras närmast och samråd över hur detta ska göras. Ofta kan man använda samma brandpost A och använda en annan brandpost B för att spola nästa sträcka. Oavsett om samma brandpost A ska användas eller man måste byta till en annan måste man givetvis också öppna och stänga ett antal ventiler. Att hålla ordning på vilka ventiler som används är mycket viktigt för att man ska komma ihåg att öppna dem sen. Ett scenario som kan inträffa är att man märker att trycket (som avläses i släpet) inte går ner mot noll även om man tycker att man har stängt alla ventiler som måste stängas. Då kan det antingen bero på att en eller flera ventiler är trasiga och inte stänger helt. Det kan också bero på att man har missat att stänga någon eller att ritningarna inte är uppdaterade och anger alla ventiler i området. Det man kan göra då är att först ha hålla koll på de ventiler man vet finns och kontrollera om de är öppna eller stängda. Kan man inte lokalisera problemet kan man tvingas ändra spolplanen. Man kan också ha kontakt med kommunen för att undersöka om de känner till ytterligare ventiler som saknas i ritningar och man kan också behöva gå ut och leta i området.

Det är planerat i förväg vilka sträckor som ska spolas eftersom man måste meddela abonnenter som får sitt vatten strypt under arbetet. Det är viktigt att de inte öppnar sina kranar eftersom det kan dra med sig luft in i servisledning och skada komponenter på fastighetens installation. I praktiken använder man sig av de brandposter som behövs för att genomföra spolningen och man prioriterar inte att spola igenom alla som finns på nätet då detta skulle vara väldigt tidskrävande. Att spola igenom de flesta brandposter är annars något som rekommenderas av Persson Pencon m. fl., 2019.

Pollex säger att man får en relativt god bild av kommunens problem eller status med dricksvattnet och/eller ledningsnätet när man kontaktas. Missfärgning, tillsammans med lukt och smak är vanliga problem som kommuner uppger. Det är också väldigt vanligt att Pollex utför rutinmässigt underhållsarbete där problemen inte är akuta.

Indikatorer på effekten av en spolning som personalen använder sig av är (1) hur flödet ser ut vid uttag (brandpost nedströms) och (2) hur graden av missfärgning förändras i takt med spolningen. Vad gäller flödet ska det ska kunna gå att se och höra luftstötter vid brandposten. Bedömning av missfärgning görs med tränat öga samt mätglas, en vit prick i botten av mätglaset ska synas när det är tillräckligt rent. Bedömningen bygger på lång tids erfarenhet hos personal. Erfarenheter om effekten byggs också upp genom ständig återkoppling till beställare. Effekten av ett spolningsarbete dokumenteras idag hos Pollex med en gradering av missfärgningen på vattnet som tas ut vid början av spolningen. Bild 6 visar hur det ofta ser ut under luft- och vattenspolningen. Graderingen görs enligt en skala från ingen missfärgning till kraftig missfärgning. Man dokumenterar även eventuella brister hos ventiler och brandposter man kommer i kontakt med under arbetet. Generellt sätt dokumenteras inte exakt tidsåtgång för enskilda sträckor eller använd mängd



Figur 6: Vatten med kraftig missfärgning tas ut under luft- och vattenspolning, bild tagen under spolning på det ledningsnät som studerades

spolvatten/luft (vilket annars är en rekommendation från Persson Pencon m. fl. (2019)) men man följer spolprocessen noga och noterar avvikelser från en normal spolsession.

Oftast blir vattnet tillslut helt klart efter en tids spolning men det kan hända att man inte hinner vänta tills detta sker (t.ex. när en väldigt stor ledning spolas) eller att man bedömer att längre spoltid inte kommer ge bättre resultat. Då görs bedömningen att man har fått med sig det värsta mängden avlagringar och partiklar ut och att den lilla missäfring som finns kvar i systemet inom en kort tid kommer omsättas, man går därför vidare med resterande delar av nätet. Man kan också sätta en brandpost "på rinn" över natten för att öka omsättning där det behövs.

Generellt framkom i samtalen en inställning hos personal att fler typer av mätmetoder i fält för att dokumentera effekten av spolningen är välkomna och intressanta så länge de är tids- och kostnadseffektiva samt enkelt utförda i fältarbete.

Frågan som ställdes angående sänkt tryck i anslutande ledningar och risk för inläckage kunde personal inte ge djupare svar på. En erfarenhet som framkom var att en ledning kollapsade när man sänkte trycket i samband med spolning. Om ledningen låg på sträckan som skulle spolas eller i anslutande delar kommer framgick inte. Uppgifter fanns om att ledningen från början var i dåligt skick och för eller senare hade behövt bytas ut.

4.2 Intervju med driftpersonal

Luft- och vattenspolningen som gjordes i samband med detta examensarbete är sista fasen i ett femårigt underhållsprogram som har gått ut på att spola igenom hela den berörda kommunens dricksvattennät. Spolningen i detta femårsprogram har gjorts i förebyggande syfte samt för att ha skaffa en referenspunkt för när en total genomgång av ledningsnätet har gjorts. Tidigare (före detta femårsprogram) har spolningar endast gjorts i syfte att lösa mer akuta problem med dricksvattenkvaliteten. Kommunen har varken under detta eller tidigare spolningsarbeten gjort någon specifik bedömning av effekten av underhållsarbetet.

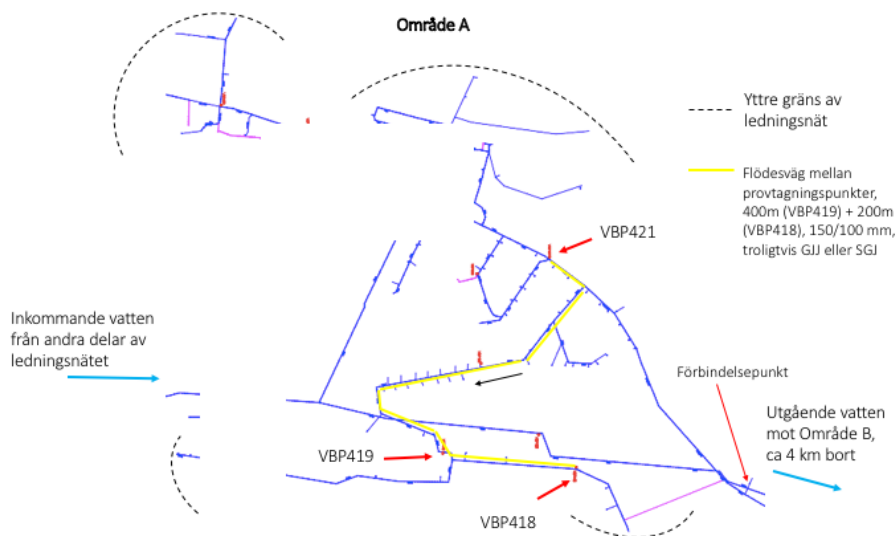
I allmänhet kontrolleras dricksvattenkvaliteten regelbundet genom provtagning på olika delar av ledningsnätet. Dokumentation kring detta finns att tillgå. Man upplever att mer underhåll på många fronter hade behövts men för låg budget kombinerat med tillgänglig personal gör att man inte uppnår

den nivå man hade önskat. Angående frågan om det hade känts givande med mer information hämtad från t.ex. online-mätning eller enkla mätningar i fält är man positivt inställd men hade inga förslag på vad det skulle kunna vara.

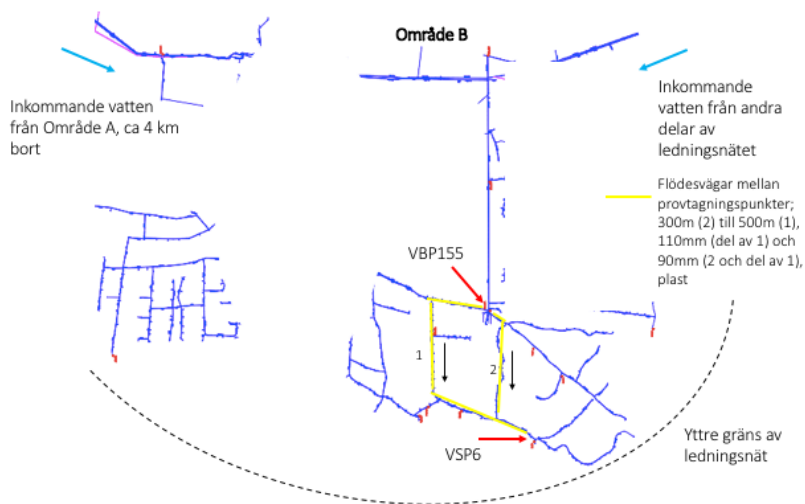
De intervjuade personerna beskriver kommunens dricksvattennät som stort i förhållande till antal meter ledningar men litet i förhållande till antal abonnenter. Angående vattenkvalitet uppger de att de flesta anmälningar från abonnenter rör klagomål på kalkavlagringar och missfärgningar. Anmälningar tas emot via telefon och läggs som ett ärende. Anmälningsfrekvenser bedöms varken vara hög eller låg och man har inte sammanställt dokumentation kring anmälningar för att se hur antalet kan korrelera med satsning på underhåll.

Den del av ledningsnätet som berördes av spolningen utgörs av två mindre samhällen i kommunen. Man kan föreställa sig två kluster av ledningar sammanbundna med två större överföringsledningar, se skiss med information i figur 7 och 8. Fortsättningsvis benämns de två delområdena Område A och Område B.

Till områdena levereras vatten från tre vattenverk och blandningsförhållandet varierar. Vid normal förbrukning sker inflöde av vatten till område A för att sedan transporteras vidare till område B. Område B har även ett visst inflöde från annan riktning. Detta område präglas av säsongsboende med påtagligt större vattenförbrukning under sommarmånaderna, vilket under denna period ger upphov till missfärgat vatten hos abonnenter. Även i område A återkommer problem med grumligt och missfärgat vatten.



Figur 7: Principskiss över område A. Röda pilar markerar position för provtagningspunkter.



Figur 8: Principskiss över Område B. Röda pilar markerar position för provtagningspunkter.

Från 60-talet till in på 80-talet försörjde ett mindre vattenverk område A. Ledningarna i detta gamla system tror man är av olika material innehållandes järn; gjutjärns-, segjärns- och galvaniserade ledningar. Sedan området

kopplades på det större systemet och vattenverket stängdes lades löpande nya ledningar i plastmaterial, exakt ålder för dessa fanns inte att tillgå. Överföringsledningarna mellan område A och område B är av plast och uppskattas vara lagd 1980-1985. Vidare är alla ledningar i område B av plastmaterial och troligtvis lagda under åren 1999 till 2000.

4.3 Jämförelse av parametrar

En jämförelse mellan halterna för färg, turbiditet, järn och mangan visar att VSP6 var den enda punkt där de högsta halterna uppmättes samtidigt. Detta inträffade direkt efter spolning. För punkt VBP421 uppmättes högst halter för turbiditet, järn och mangan direkt efter spolning men färgtalet var högst en vecka efter att avslutat spolningsarbete.

För VBP418 och VBP419 uppmättes högst halter för färg, turbiditet och järn för båda punkter en vecka efter att hela nätet spolats. Beträffande VBP155 sammanföll inte högsta värde för fler än två parametrar vid samma tillfälle.

På samma sätt gjordes en jämförelse mellan odlingsbara mikroorganismer och långsamväxande bakterier. Det visade att antalet långsamväxande bakterier i de flesta fall var fler än antalet odlingsbara. En avvikelse var antalet långsamväxande bakterier vid VBP418 och VBP155 åtta veckor efter spolning, se figur 13.

4.4 Observationer under provtagning

Tabell 1 visar vilken grad av missfärgning som observerades vid två-minutersspolningen precis innan provtagning. Observationer direkt efter luft- och vattenspolning presenteras inte tillsammans med dessa observationer då de inte är jämförbara (av förklarliga skäl var det kraftig missfärgning direkt efter spolning.)

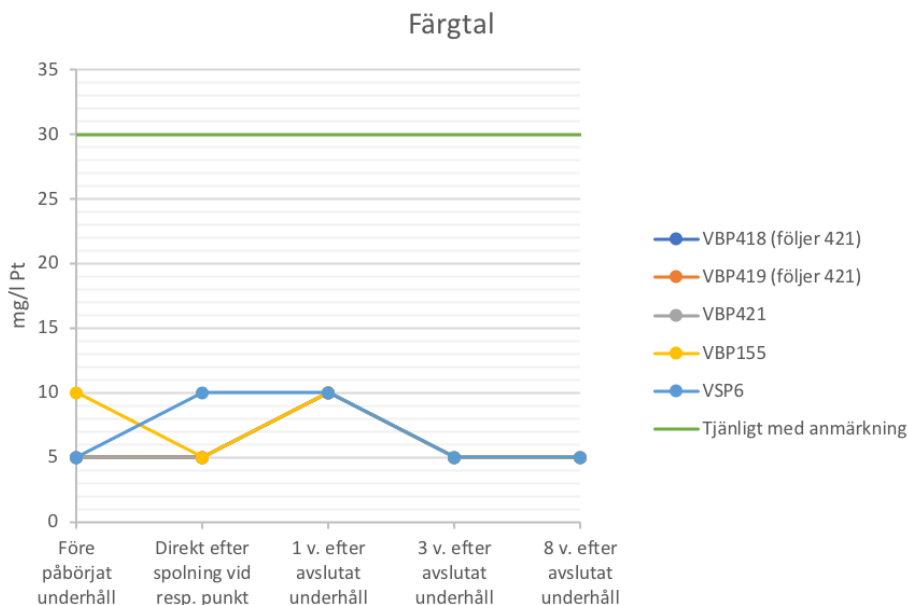
Observation under provtagning					
Tillfälle	VBP421	VBP418	VBP419	VBP155	VSP6
Före påbörjat underhåll	Medel	Kraftig	Kraftig	Kraftig	Medel
En vecka efter avslutat underhåll	Svag	Kraftig	Medel	Medel	Svag
Tre veckor efter avslutat underhåll	Ingen	Kraftig	Ingen	Ingen	Ingen
Åtta veckor efter avslutat underhåll	Ingen	Kraftig	Svag	Svag	Ingen

Tabell 1: Observation av missfärgning under två-minutersspolningen innan provtagning

Ur brandpost VBP418 observerades vid alla tillfällen efter avslutat spolningsarbete först kraftigt missfärgat vatten (varierande röd, brun och svart) och efter en stund vitgrumligt vatten. För att undersöka om det vitgrumliga orsakades av luftbubblor fylldes vid sista tillfället ett glas med detta vatten. Efter en stund hade grumligheten försvunnit och endast lite rödaktiga flagor fanns kvar. Alltså var luftbubblor orsaken till den vitfärgade grumligheten.

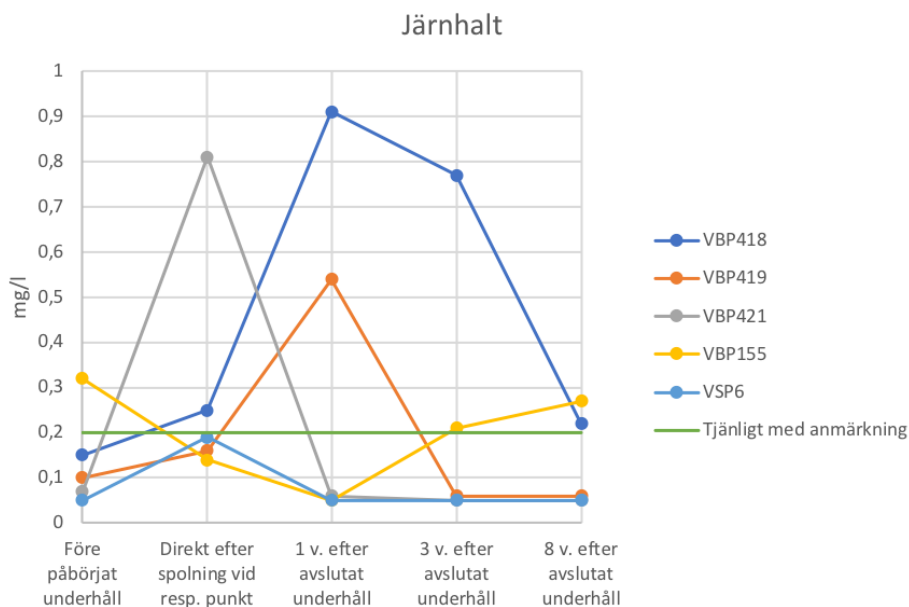
4.5 Analyserade parametrar

Linjediagram har valts där brytpunkterna motsvarar mätvärden. I lämpliga fall har gränsvärdet för Tjänligt med anmärkning enligt Livsmedelsverket (2017) lagts in som referens. Läsaren ska uppmärksamma att mätningarna "Direkt efter spolning" inte sker vid samma tidpunkt, se förklaring i rapportens metoddel.



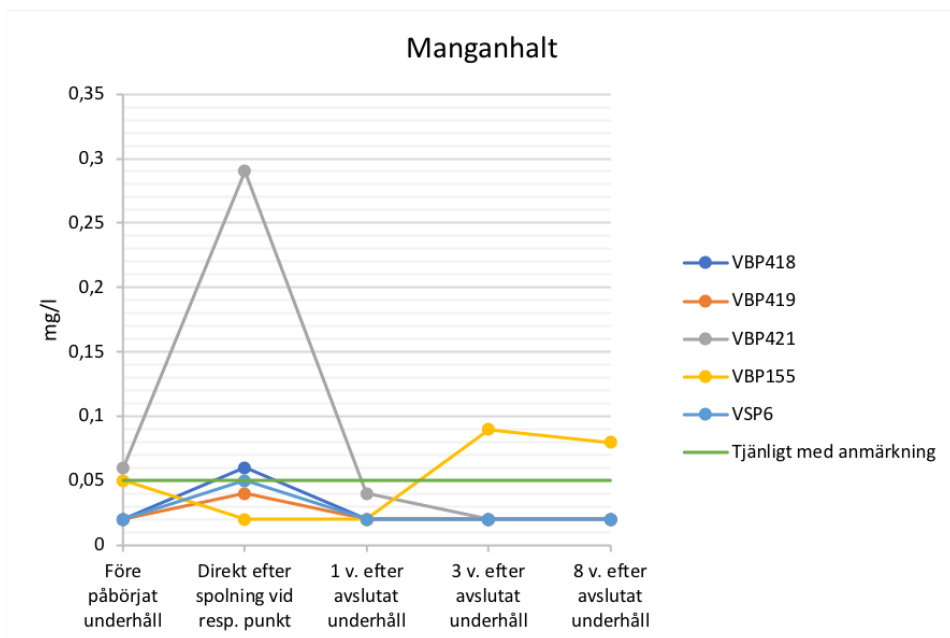
Figur 9: Färgtal vid de olika punkterna.

Figur 9 visar att färgtalen pendlar mellan 5 och 10 mg/l Pt för alla punkter. Före man började luft- och vattenspolning ledningsnätet uppmättes de flesta värden på 5 mg/l Pt vilket är förvånande med tanke på observationer av medel till kraftig missfärgning (tabell 1). En vecka efter spolning låg alla värden på 10 mg/l Pt. Samband med observationen av svag till medelkraftig missfärgning vid denna tidpunkt skulle kunna finnas. Tre och åtta veckor efter spolning låg alla värden på 5 mg/l Pt, vilket skulle kunna korrelera med observationen att ingen till svag missfärgning observerades vid fyra av fem punkter. Alla värden är en bra bit under gränsvärdet på 30 mg/l Pt.



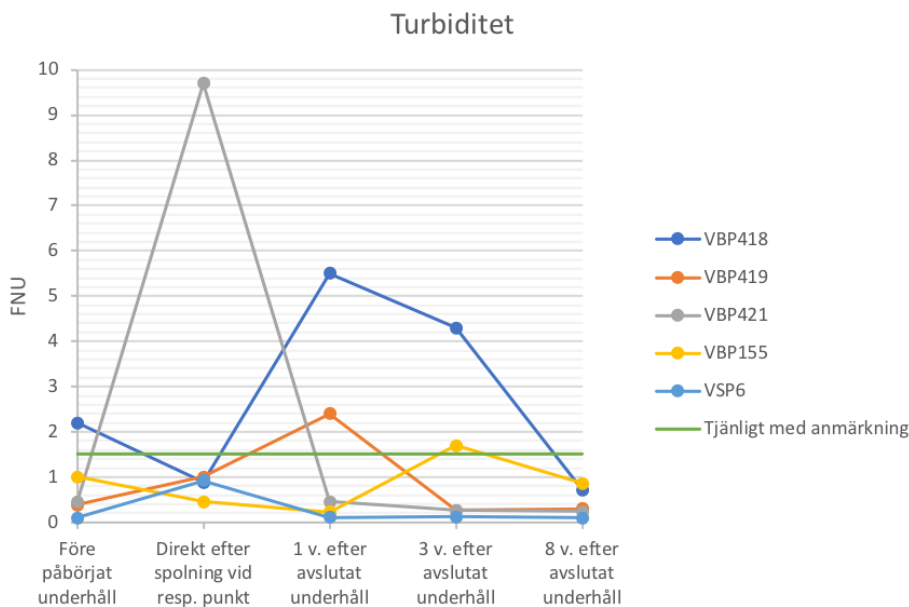
Figur 10: Järnhalt vid de olika punkterna.

Sett till alla punkter visar figur 10 inget gemensamt mönster för järnhalten. Värderna för VBP421 och VSP6 visar ett liknande mönster genom att nå en topp direkt efter spolningsarbete. VBP418 och VBP419 följer till viss del varandra med högst värden en vecka efter spolningarbete. Mätserien för VBP155 har på många sätt ett omvänt mönster jämfört med alla andra då halten ser ut att ha varit högre både före och efter underhåll. Sammantaget överstegs gränsvärdet minst en gång vid fyra av fem punkter. Högst halt uppmättes vid VBP418 på 0,91 mg/l en vecka efter att det hade luft- och vattenspolat i anslutning till denna punkt.



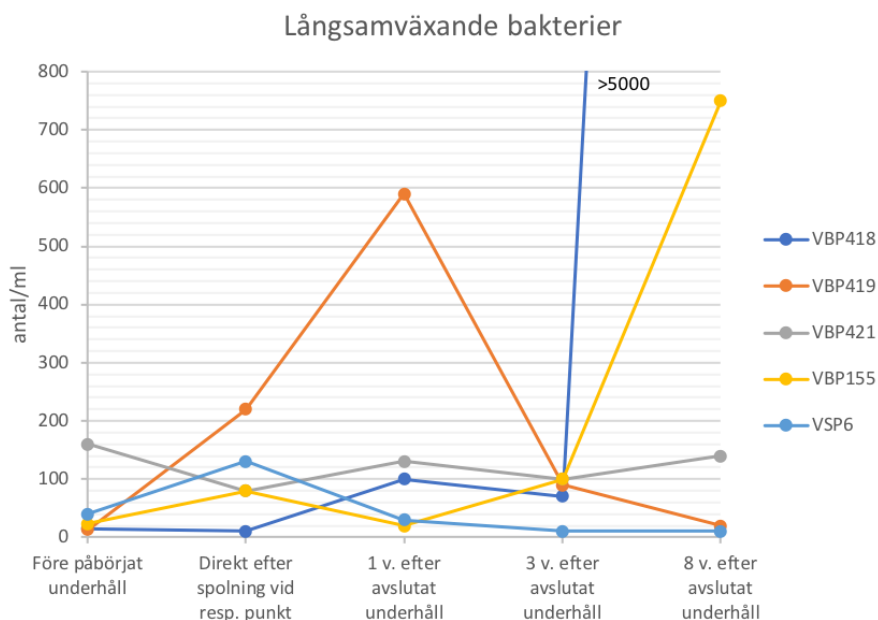
Figur 11: Manganhalt vid de olika punkterna.

Figur 11 uppvisar ett mönster av att manganhalten för fyra av fem punkter var som högst direkt efter luft- och vattenspolning vid respektive punkt och lägre vid efterföljande tillfällen. Högst värde uppmättes vid VBP421 med en halt på 0,29 mg/l. För punkt VBP155 observeras ett omvänt mönster med lägst värden direkt efter spolningsarbete vid denna punkt och högre värden en tre och åtta veckor efter avslutat spolningsarbete för hela området. Vid alla punkter utom VBP419 uppmättes vid minst ett tillfälle en halt över gränsvärdet. Halten var dock vid majoriteten av tillfällena <0,02 mg/l (rapporteringsgräns).



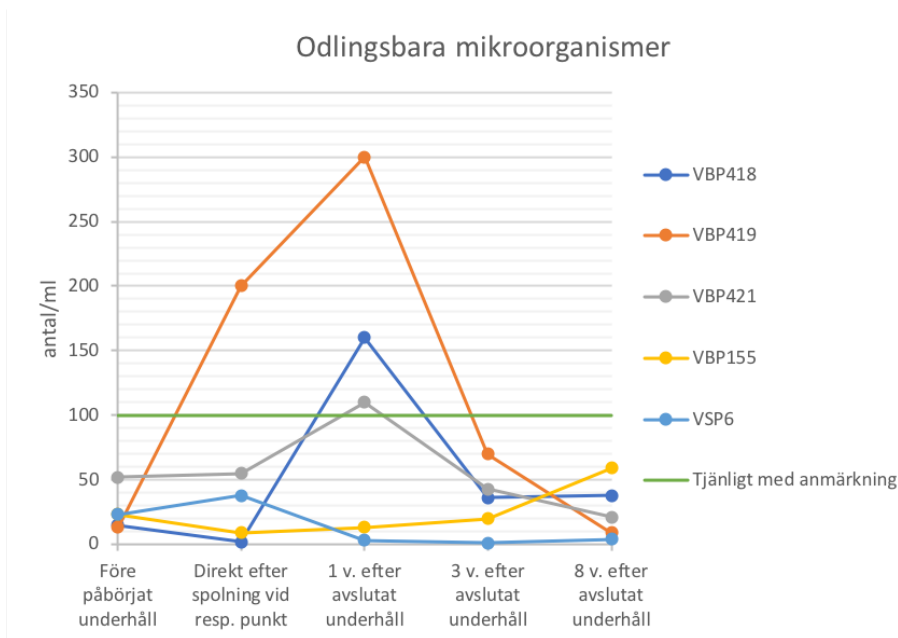
Figur 12: Turbiditet vid de olika punkterna.

Figur 12 visar att värdena för turbiditet inte följer ett gemensamt mönster för punkterna. Vid VBP418 överstegs gränsvärdet vid tre av fyra tillfällen, med högst värden en och tre veckor efter avslutat spolningsarbete. Detta korrelerar möjligtvis med observationer under provtagning (tabell 1). Samtidigt förklaras då inte varför turbiditeten är lägre vid sista tillfället men att det fortfarande observerades kraftig missfärgning vid två-minutersspolningen. För punkt VBP419 uppmättes högst värde en vecka efter spolning. Studiens högsta mätvärde uppmättes under spolning för punkt VBP421 på 9,7 FNU. Vid punkt VBP155 överstegs gränsvärdet med liten marginal tre veckor efter avslutat spolningsarbete. För VSP6 överstegs aldrig gränsvärdet men det högsta värdet uppmättes direkt efter luft- och vattenspolning vid denna punkt.



Figur 13: Antal långsamväxande bakterier vid de olika punkterna.

Figur 13 visar att antalet långsamväxande bakterier vid VBP418 och VBP421 följde ett liknande mönster. För resterande punkter kan inga liknande mönster över tid observeras utan många mätvärden fluktuerar runt 100 antal/ml. Det mätvärde som sticker ut mest är det på 5000 antal/ml vid punkt VBP418 åtta veckor efter spolningsarbetet (egentligen >5000 antal/ml, rapporteringsgräns). Vidare rapporterades vid sista tillfället en högre halt än tidigare för punkt VBP155 på 750 antal/ml. Andra värden som sticker ut är för punkt VBP419 med högre värden än de andra punkterna både direkt efter och en vecka efter avslutat spolningsarbete i hela området.



Figur 14: Antal odlingsbara mikroorganismer vid de olika punkterna.

I figur 14 kan det observeras att inget samlat mönster för de olika punkterna fanns. Det som kan konstateras är att mätserien för punkt VBP419 sticker ut med högre värden direkt efter luft- och vattenspolning vid denna punkt och en vecka efter avslutat spolningsarbete (200 antal/ml respektive 300 antal/ml). Vid denna punkt observeras också den kraftigaste förändringen i antal över tid. Näst efter VBP419 visade VBP418 en störst skillnad i antal över tid jämfört med resterande punkter. Vid punkt VBP155 och VSP6 uppmättes aldrig värden över gränsvärdet och vid VBP421 överstegs det endast marginellt direkt efter spolning vid denna punkt. För VBP155 kan observeras, till skillnad från övriga punkter, en svag ökning en tid efter avslutat underhåll.

4.5.1 Övriga parametrar

För grafer hänvisas till Bilaga C.

Gällande följande parametrar var samtliga resultat under respektive rapporteringsgräns: *E. coli* (<1 antal/ml), koliforma bakterier (<1 antal/ml), aluminium (<0,03 mg/l), koppar (<0,02 mg/l), nitrit (<0,004 mg/l) och nitritkväve (<0,001 mg/l).

Vattenprov från VBP418 före spolning och åtta veckor efter avslutat spolningsarbete gav svag (unken) lukt. Ingen lukt förekom för andra punkter och tillfällen.

Alkaliniteten förändras inte nämnvärt över tid. Förutom ett något högre värde för VBP155 före spolningsarbetet ligger alla värden mellan 160-190 mg/l. HCO_3 . Detta är högre än rekommenderat intervall.

För ammonium och ammoniumkväve låg alla värden utom två under rapporteringsgränsen. Något högre värden uppmättes vid punkt VBP418 direkt efter och en vecka spolning.

Vattnets hårdhet varierar inte nämnvärt över tid och för de flesta punkter pendlar värdena mellan 11 och 12 °dH på ett oregelbundet sätt.

Kalciumhalten har pendlat stadigt på ett värde mellan 70 och 86 mg/l för samtliga punkter utan någon nämnvärd förändring över tid.

Analys av kemisk syreförbrukning visade värden en bra bit under gränsvärdet på 4 mg/l O_2 och inget mönster över tid kan observeras.

I allmänhet uppmättes konduktiviteten ligga mellan 44,8-50,9 mS/m. Värdena låg aldrig i närheten av gränsvärdet för tjänligt med anmärkning på 240 mS/m och inget särskilt mönster kan observeras.

Magnesiumhalterna har legat mellan 3,1 och 3,5 mg/l. Vid alla punkter har uppmätta värden sjunkit något över tid förutom vid punkt VBP418 där en liten ökning kan observeras.

Vattnets pH för samtliga punkter låg vid de flesta tillfällen mellan 7,5 och 7,9. pH är något högre för alla punkter åtta veckor efter spolning. För punkterna VBP155 och VBP419 fluktuerade det något mer över lag men ingen särskild förändring kan urskiljas över tid.

5 Diskussion och Slutsats

5.1 Diskussion

Luft- och vattenspolning är en erkänd metod för underhåll på ledningsnät som används både i Sverige och internationellt. Mycket erfarenhet pekar på goda effekter på vattenkvalitet. Man kan under spolningsarbete observera att stora mängder missfärgat vatten och partiklar ta ut ur sträckan som spolas. Det finns handböcker som redogör för spolningsmetoden och dess effekter men få studier har gjorts i syfte att på ett systematiskt sätt försöka utreda effekten. Denna utredning syftade till att undersöka eventuella förändringar i parametrar relaterade till vattenkvalitet till följd av luft- och vattenspolning. Detta har gjorts genom provtagning och analys i samband med luft- och vattenspolning på vattnet i en del av ett ledningsnät. Utöver provtagning har fakta och kunskap inhämtats genom intervjuer. Intervju med personal med ansvar för dricksvattensystemet i kommunen har gett relevant information för studien. Bland annat har anledning till underhållet blivit tydligt. I en större utredning hade man behövt mer dokumentation om ledningsnätets funktion och tidigare problematik behövt samlas in. Genom intervju med personal på Pollex har en gedigen beskrivning av tillvägagångssättet av luft- och vattenspolning kunnat göras. Förutom att bidra till diskussionsmaterial i denna utredning kan den vara till hjälp i fortsatta utredningar.

Eftersom luft- och vattenspolning ofta utförs som förebyggande underhåll eller för att lösa problem med missfärgning var förväntan att halter av vissa ämnen med tydlig koppling till missfärgning av dricksvatten skulle förändras på ett tydligt sätt och med ett tydligt mönster. Halterna förväntades antingen sjunka efter avslutat underhåll och/eller nå en tydlig topp direkt efter spolning vid respektive provtagningspunkt. Eftersom teorier finns att en del av biofilm i ledningssystemet avlägsnas med luft- och vattenspolning (Pourcel m. fl., 2017) var det också intressant att undersöka om mikrobiologiska parametrar förändrades i samband med underhåll. Enligt Livsmedelsverket (2019a) kan t.ex. situationen kring biofilm uppskattas med parametern långsamväxande bakterier. Eftersom luft- och vattenspolning effektivt avlägsnar löst sediment (Persson Pencon m. fl., 2019) och studier har påvisats en hög mikrobiologisk aktivitet i dessa lösa sediment (G. Liu m. fl., 2014) vore det intressant att se något samband i analysen. Nedan diskuteras resultaten mer i detalj.

5.1.1 Resultat

Sammantaget observerades högre grad missfärgning före luft- och vattenspolning än efter, även om en svag missfärgning och grumlighet fanns vid några av punkterna vid sista tillfället. Vad gäller första tillfället kommenterade personal på Pollex att den kraftiga missfärgning kunde bero på att vatten har stått i brandposten lång tid. Det gör att det i sticket kan finnas mycket beläggning och rost som rycks med när man öppnar brandposten. Av denna anledning, men också för att prover togs när det väl kom relativt klart vatten, är jämförelse mellan färgtal och observation av missfärgning under två-minutersspolningen möjligtvis irrelevant.

Vad gäller parametern färgtal var det mest intressanta att samtliga värden landar på lägre nivå tre och åtta veckor efter avslutat spolningsarbete. Färgtalet var också intressant att studera i jämförelse med turbiditet, järnhalt och manganhalt. För tre punkter sammanföll högt färgtal med dessa parametrar men detta inträffade inte vid samma datum för de olika punkterna. Med fler mätpunkter hade eventuellt fler slutsatser kunnat göras kring hur de fyra parametrarna relaterar till varandra.

Vad gäller mangan skulle man absolut kunna påstå att det sker en ökning i halt direkt efter spolningsarbete vid respektive punkt för att sedan återgå till låga värden (fyra av fem punkter) efter avslutat underhåll. Detta beror troligtvis på den kraftiga störningen i sediment som sker i samband med luft- och vattenspolning (Ainsworth & WHO, 2004; Persson Pencon m. fl., 2019).

Järnhalten varierar inte på samma sätt som manganhalten men en överblick ger ändå intrycket av en ökning i mitten av provperioden. Möjligtvis skulle detta kunna kopplas till fenomenet om avskalande av det yttersta korrosionsskikten som leder till "blödning" innan ett nytt skikt byggs upp (Persson Pencon m. fl., 2019). I intervju med kommunen framgick att flera äldre metallbaserade ledningar finns i område A. Detta innefattar VBP421, VBP418 och VBP419 vilka alla visar på högst järnhalter. Om det går att dra en koppling mellan höga järnhalter lokalt där det också finns mer ledningar innehållandes järn är svårt att säga baserat på denna studie.

När det kommer till turbiditet överstigs gränsvärdet vid relativt många tillfällen men vid olika tillfällen och det är svårt att relatera detta till tiden för underhåll. Intressant var också att kopplingen till järn, mangan och färgtal inte var starkare. Det ska dock påpekas att högst värden för turbiditet och järn

sammanföll för samtliga punkter. Verberk m. fl. (2007) diskuterar användning av betydelserna av turbiditet som kvalitetsmått och det vore intressant att undersöka detta vidare.

När det kommer till långsamväxande bakterier är det enstaka högre antalet utspridda och svårtolkade. Högre antal för VBP419 i mitten av perioden och för VBP418 och VBP155 vid sista mätningen kan inte påstås ha koppling till underhållsinsatsen. Provet med över 5000 antal/ml skulle kunna bero på flera faktorer, t.ex. att provet kontaminerats under provtagning eller att någon störning på nätet hade inträffat.

Vad gäller odlingsbara mikroorganismer finns eventuellt en liten höjning i mitten av perioden. Om detta är slumpmässigt eller har ett samband med luft- och vattenspolning är svårt att säga. Enligt G. Liu m. fl. (2014) som menar att en stor andel mikroorganismer finns i de lösa avlagringarna skulle spolningen ha kunnat frigöra dessa till vattenfasen som sedan avspeglar sig en tid efter spolningen. Det är intressant att högsta antalet odlingsbara mikroorganismer och långsamväxande bakterier inte alltid sammanfaller.

De varierande resultaten i denna utredning skulle kunna bero på att mätningarna inte lyckas fånga upp effekten på ett rättvist sätt. Om omsättningen i normalläge är låg i ledningsnätet kan avlagringar och sediment byggas upp. Förutom vid temporära flödesförändringar störs dessa avlagringar och korrosionsprodukter kanske först vid den ökade turbulensen under luft- och vattenspolningen. Om då också den största delen sediment etc. tas ur systemet under spolning skulle det betyda att denna utredning inte fångar upp effekten av spolningen. Med andra ord, mätningar före och efter luft- och vattenspolningen visar kanske inte vilken förändring i status på ledningsnätet som uppnåtts eftersom sediment och partiklar inte finns suspenderat i vattenfasen. Hade man däremot inte utfört underhållsinsatsen hade problem kunnat uppstå längre fram i tiden.

En annan teori varför man inte ser ett mer samlat och tydligt mönster i resultaten är att det inte fanns akuta problem med kvaliteten från början. I det studerade området fanns inget sådant problem utan underhållsarbetet ingick i en femårsplan som bestod i att spola igenom hela nätet i förebyggande syfte samt för att ha en referensperiod för framtida underhållsinsatser. Till detta ska nämnas att man redan hade spolat resterande delar av nätet. Om man hade studerat det första området som spolades under femårsplanen är det möjligt att en större effekt hade kunnat observeras.

5.1.2 Metod

Provtagningen försökte fånga upp just förändring över tid men det tål att poängteras att det är okänt hur kvaliteten var mellan tillfällena. Det är utöver detta omöjligt att isolera spolningen från andra händelser på ledningsnätet. Förändring i utgående vatten från vattenverk, inläckage på ledningsnätet, andra underhållsinsatser och annat som kan påverka vattenkvaliteten kan ha inträffat. Angående samband mellan den mikrobiologiska status i vattenfasen och det i ledningsnätet som helhet finns många frågetecken. Studie gjord av G. Liu m. fl. (2014) verkar indikera att de mikrobiologiska analyser man gör på bulkfasen inte nödvändigtvis representerar en samlad situation på dricksvattenssystemet.

En mycket viktig reflektion är att det har gått olika lång tid mellan provtagning *direkt efter* spolning vid respektive punkt och provtagning efter avslutat spolningsarbete. Hur jämförbara resultaten är mellan punkterna på grund av detta är svår att säga. En övergripande effekt av hela systemets påverkan av luft- och vattenspolning borde dock kunna göras genom att jämföra prover före och efter att hela området spolats. Att ta prover direkt efter spolning i anslutning till respektive punkt visade sig ändå intressant.

Vad gäller provtagning bör man fundera över om det ger trovärdiga och representativa svar när det görs på brandposter. Vid flertalet tillfällen stod det vatten upp runt brandposten för att det antingen inte slöt tätt vid kopplingen mellan sticket från ledningen och brandposthuvudet eller att vatten rann tillbaka ner i hålet när det togs ur brandposten (ej dränerande brandposter). Dessutom stängdes och öppnades ventilen till brandposten mellan två-minutersspolningen och provtagning vilket orsakar en tryckförändring som kan ha medfört inläckage av ämnen utifrån och därmed påverkat resultatet. Ett alternativ för att undvika detta hade varit att ta prover hemma hos abonnenter i anslutande område. Detta hade dock krävt mer arbete i form av samordning med privatpersoner. Dessutom tillkommer frågan hur deras vattenledningarna på fastigheter skulle påverka resultatet, vattnet skulle passera ledningar som inte har genomgått underhåll och kanske tillför vissa ämnen (koppar t.ex.)

Observationerna av missfärgning vid tvåminuters-spolningen innan varje provtagning är nödvändigtvis inte jämförbara med analysresultaten. Det är, i alla fall innan spolning, sannolikt att missfärgningen berodde på att det stått vatten i brandpoststicket lång tid så att avlagringar och biofilm ackumulerats. Det var dock svårt att bedöma hur lång tids spolning som var rimlig för att

ge representativa mätningar av kvaliteten.

5.2 Slutsats

De parametrar som visar en förändring och som bedöms kunna ha en koppling till luft- och vattenspolningen är manganhalt, järnhalt, turbiditet och odlingsbara mikroorganismer, där mangan- och järnhalt anses ha tydligast koppling. Manganhalterna var något högre vid samtliga punkter direkt efter spolning vilket stämmer överens med tidigare erfarenheter kring mängden svartfärgade missfärgningar som tas ut ur brandposter under spolning. Järnhalterna var högre för tre av punkterna en tid efter avslutat spolningsarbete vilket möjligtvis kan vara orsakat av underhållsintatsen. Slutsatsen är alltså att en antydning till effekt på ett antal parametrar har observerats.

Att utredningen inte gav tydligare resultat kan bero på metoden för mätning. Som diskuterats har provtagning troligtvis inte lyckats fånga upp effekten av luft- och vattenspolning på ett rättvist sätt. Pollex AB rekommenderas att göra vidare utredningar. Ett förslag är att göra en egen studie genom turbiditetsmätning i samband med ett antal underhållsarbeten. Resultatet får sedan sammanställas för att avgöra om det kan fungera som en kvalitetsparameter för underhållsmetoden. Fler idéer diskuteras i nästa kapitel.

6 Vidare forskning

I fortsatta studier hade en större mängd data kunnat samlas in, kanske hade tydligare mönster för olika parametrar trätt fram då. Fler faktorer skulle också kunna läggas till; fler orter/ledningsnät, längre tidsserie för mätning, ledningsnät med olika ledningmaterial och ålder etc. Kostnad och tid ökar då avsevärt och man får bedöma om man hellre vill testa ett annat sätt att mäta effekten. Om möjlighet finns hade man som första steg kunnat utesluta vissa av parametrarna som inte verkar påverkas av spolningen (“Övriga parametrar”) för att dra ner på kostnaden.

Om man skulle göra en större studie och på ett större ledningsnät borde mer fokus läggas på val av provpunkter. Här skulle en hydraulisk modell av nätet kunna vara till hjälp för att optimera antalet och val av punkter. I detta arbete låg till exempel två av punkterna (VBP418 och VBP419) på i princip samma ledningssträcka vilket antagligen inte är optimalt.

Eftersom man kan observera att stora mängder missfärgat vatten och partiklar tas ur ledningar under luft- och vattenspolning skulle prover från det utspolade vattnet kunna ge mycket intressanta resultat. Inspiration för detta borde kunna hämtas från G. Liu m. fl. (2014) som påvisat en hög mikrobiologisk aktivitet i sediment.

Andra parametrar som vore intressant att utreda effekten på är till exempel råhet och beläggning på insidan av ledningar. Det skulle dock bli en mer komplicerad studie då man behöver komma åt ledningarna på något sätt. Vidare vore det intressant att se hur flödeskapaciteten påverkas av luft- och vattenspolning. Då skulle man med fördel göra mätningar före och efter spolning på ett nedsatt ledningsnät där mängden avlagringar och sediment bör vara stor. Här måste dock utredas vilka studier som redan gjorts kring underhåll relaterat till flödeskapacitet. För detta är en hydraulisk modell också lämplig. En annan intressant och viktigt parameter att undersöka är tryckförändringen i anslutande ledningar. Genom att mäta den normala trycknivån vid olika punkter (brandposter) på ett ledningsnät skulle en eventuell förändring i samband med luft- och vattenspolning kunna undersökas.

I denna studie gjordes analys enligt Livsmedelsverkets metoder och rekommendationer. Det finns en analysmetod som har testats flitigt på dricksvattensystem de senaste åren; flödescytometri (eng: Flow Cytometry). Denna metod är ett mycket intressant alternativ till odlingsbaserade analyser för att skaffa mikrobiologisk information på dricksvattennät. Genom att fär-

ga cellernas DNA i vattenprover kan laserstrålar användas för att avläsa bland annat antalet celler (Schleich m. fl., 2019). Det vore väldigt intressant att använda denna analysmetod med samma, eller en variant, av provtagningsmetoden i detta arbete. Detta både för att studera eventuella effekter av underhåll men också för att bidra till kunskapsutveckling av metoden. Förutom förslag om egen turbiditetsmätning uppmuntras Pollex AB hålla sig uppdaterade kring denna metod och överväga ett samarbete i en sådan studie.

Referenser

- Ainsworth, R. & WHO. (2004). *Safe piped water: Managing microbial water quality in piped distribution systems*. Hämtad från <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42785>
- Kitney, P., Woulf, R. & Codd, S. (2001). Air scouring of water mains, an asset management approach. Hämtad från http://www.wioa.org.au/conference_papers/2001/pdf/paper7.pdf
- Lantz, A. (2007). *Intervjumetodik*. Annika Lantz och Studentlitteratur.
- Liu, G., Bakker, G., Li, S., Vreeburg, J., Verberk, J., Medema, G., ... van Dijk, J. (2014). Pyrosequencing reveals bacterial communities in unchlorinated drinking water distribution system: An integral study of bulk water, suspended solids, loose deposits, and pipe wall biofilm. *Environmental science and technology*, 48(10), 5467–5476. Hämtad från <https://doi.org/10.1021/es5009467>
- Liu, W., Wu, H., Wang, Z., Ong, S., Hu, J. & Ng, W. (2002). Investigation of assimilable organic carbon (aoc) and bacterial regrowth in drinking water distribution system. *Water Research*, 36(4), 891–898. Hämtad från [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00296-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00296-2)
- Livsmedelsverket. (2017). *Statens livsmedelsverks föreskrifter om dricksvatten* (Nr 1651-3533).
- Livsmedelsverket. (2019a). Distribution. Hämtad från <http://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/357/distribution>. (26.03.2020)
- Livsmedelsverket. (2019b). Dricksvatten. Hämtad från <http://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/337/dricksvatten>. (28.03.2020)
- Livsmedelsverket. (2019c). Kemiska och radioaktiva parametrar. Hämtad från <http://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/380/kemiska-och-radioaktiva-parametrar>. (26.03.2020)
- Livsmedelsverket. (2019d). Kvalitetskrav. Hämtad från <http://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/358/kvalitetskrav>. (29.03.2020)
- Livsmedelsverket. (2019e). Mikrobiologiska parametrar. Hämtad från <http://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/379/mikrobiologiska-parametrar>. (26.03.2020)
- Livsmedelsverket. (2020). Föreskrivna regelbundna undersökningar. Hämtad från <http://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/382/foreskrivna-regelbundna-undersokningar>. (26.03.2020)
- Persson Pencon, O., Berghult, B., Höglund, M., Andreasson, H. & van der Heiden, F. (2019). *Vattenledning och reservoarer (remissversion, kommer ersätta vav:s publikation p77 utgiven 1995)*. Svenskt Vatten.

- Hämtad från <https://www.svenskvatten.se/globalassets/rapporter-och-publikationer/remiss-svenskt-vatten-p115-spolning-rensning---version-26-april-2019.pdf>
- Pourcel, F., Eskerud Smith, I. & Duchesne, S. (2017). Slug flow simulation, a way to improve air scouring of water mains? *Procedia Engineering*, 186, 601–608. Hämtad från <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.276>
- Ryen, A. (2004). *Kvalitativ intervju - från vetenskapsteori till fältstudier*.
- Schleich, C., Chan, S., Pullerits, K., Besmer, M., Paul, C., Rådström, P. & Keucken, A. (2019). Mapping dynamics of bacterial communities in a full-scale drinking water distribution system using flow cytometry. *Water*, 11, 2137. Hämtad från <https://doi.org/10.3390/w11102137>
- Verberk, J. Q. J. C., O'Halloran, K. J., Hamilton, L. A., Vreeburg, J. H. G. & van Dijk, J. C. (2007). Measuring particles in drinking water transportation systems with particle counters. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 56(5), 345–355. Hämtad från <https://doi.org/10.2166/aqua.2007.069>
- WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*.
- Wingender, J. & Flemming, H.-C. (2011). Biofilms in drinking water and their role as reservoir for pathogens. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214(6), 417–423. Hämtad från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S143846391100071X>

A Intervjuunderlag Pollex

Datum: 2020-01-16 t.o.m. 2020-03-02 Deltagare: Per Johansson och Johan Westlund, ansvariga utförare på Pollex AB Intervju med personal i fält skedde löpande under arbetes gång och alla frågor ställdes inte under samma tillfälle. Underlaget byggdes på något under arbetes gång men utgångspunkten var hela tiden att formulera och ställa frågor enligt metodik för halvstrukturerad intervju.

- Kan du beskriva arbetsgången för luft- och vattenspolning i stora drag?
- Får Pollex en god bild av kommunens problem med dricksvattennätet när de kontaktas?
- Vilka är de vanligaste anledningar att Pollex anlitas för att göra luft- och vattenspolning?
- Svenskt Vatten (Vattenledningar och reservoarer, P115 remissversion) rekommenderar att underlaget som bör tas fram för att skapa en spolplan är följande (se lista nedan). Får Pollex detta idag?
 - ”Grundkarta med vägar, vägnamn, fastighetsgränser, byggnader”
 - ”VA-ledningar inkl. servisledningar med dimension och material”
 - ”Numrerade avstängningsventiler, spol- och brandposter, luftnings- och avtappningsanordningar samt servisventiler”
 - ”För luft- och vattenspolning behövs uppgifter om hög- respektive lågpunkter”
- Svenskt Vatten (Vattenledningar och reservoarer, P115 remissversion) rekommenderar att dokumentation efter spolning ska innefatta “...tidsåtgång, kvalitetsparametrar, använd mängd spolvatten/luft, samt eventuella störningar under spolning”. Vad av detta dokumenteras idag? Vilka är kvalitetsparametrarna?
- Vad utgör en tillfredsställande spolning? Vilka indikatorer finns på att sträckan blev rengjord?
- Hur får man till rätt inställning vatten/luft? Hur jobbar man upp den känslan?

- Vilka förhållanden kan göra det svårt att åstadkomma en tillfredsställande spolning?
- Vilka åtgärder kan vidtas när spolningen inte upplevs tillfredsställande?
- Kan det inte finnas risk med inläckage av vatten från omgivande mark när man sänker trycket i området innan spolningen startar? [Svar saknas]
- Varför är ändledningar problematiska att rengöra med luft- och vattenspolning? Hur brukar dessa ledningar hanteras?
- Är det viktigt för resultatet att jobba sig systematiskt fram - får inte vatten som gått genom ej ännu spolade ledningar gå i rengjorda ledningar? Fungerar det i verkligheten? Blir det tillräckligt tryck i ledningar för abonnenter?
- Hur länge luftas sträckan (Hur ska det se ut i mätglaset? Hur ska det se ut när man kollar på flödet ut?)?
- Vilka ledningsdimensioner kan vara svåra att jobba med?
- Spolas det ur alla brandposter på nätet (rekommendation av Svenskt Vatten, Vattenledningar och reservoarer, P115 remissversion)?
- Ser du att det hade varit nyttigt och praktiskt möjligt att utföra fler typer av mätningar/observationer i fält (förutom mätglas) för att kvalitetsbedöma luft- och vattenspolning?

B Intervjuunderlag kommun

Datum: 2020-03-02 Deltagare: Fyra anonyma deltagare, anställda hos kommunen med olika ansvarsområden för dricksvattensystemet. Gruppintervju genomfördes på deltagarnas arbetsplats. Intervjun spelades in. Vissa frågor fick besvaras i efterhand av enskilda deltagare då information behövde tas fram för specifika frågor.

Kommunens dricksvattennät

- Hur många abonnenter är kopplade på dricksvattennätet?
- Det står på hemsidan att det produceras ca 2,0 m³ dricksvatten per år, är det en aktuell uppgift?

- På hemsidan finns angivet följande kvalitetsmått (visar bild), är de aktuella?
- Används klor i dricksvattenberedningen?

Underhåll på ledningsnät

- Finns det en arbetsplan för underhåll på dricksvattennätet hos kommunen? Hur ser den ut i stora drag?
- Hur kontrolleras idag drickvattenkvaliteten på nätet?
- Kan jag få tillgång till dokumentation av kvalitetsanalys/provsvar?
- Upplevs mängden underhållsarbete av dricksvattenledningarna i kommunen tillfredsställande? (Önskan om mer resurser? Vad skulle i så fall vara prioriterat?)
- Om nej på förra frågan; Saknas det någon resurs som gör att man inte ligger på den underhållsnivå man vill i kommunen.
- Hade det känts givande om mer information kring drickvattenkvaliteten på ert nät hade gått att få, t.ex. genom onlinemätning eller enkla och snabba fältmätningar? Vilken information saknas idag?

Anmälningar/Klagomål

- Hur hanteras och dokumenteras anmärkningar från abonnenter?
- Bedöms anmälningsfrekvensen kring drickvattnet låg/hög från abonnenter?
- Vad är det vanligaste abonnenter anmärker på?
- Kan man se att kommunens satsning på underhåll påverkas av antal anmärkningar från abonnenter?

Luft- och vattenspolning

- Varför anlätades Pollex för luft- och vattenspolning?
- Om luft- och vattenspolning har använts som underhållsmetod tidigare, vad var syftet de gångerna?
- Finns det en samlad bedömning av hur insatserna har fungerat? (Om ja, vilken?)

- Har andra metoder än luft- och vattenspolning använts för att rensa ledningarna på nätet? (Hur bedöms de insatserna ha fungerat?)

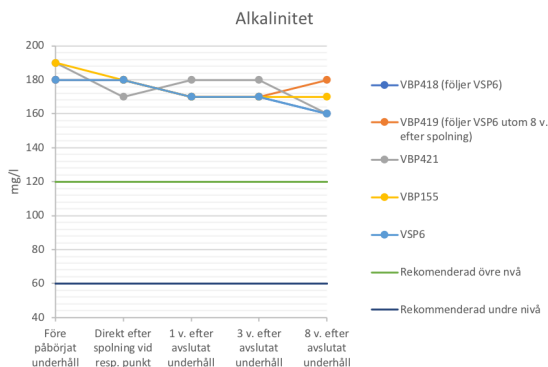
Resultat Luft- och vattenspolning

- Har data kring dricksvattenkvalité samlats in innan Pollex arbete startade?
- Kommer motsvarande data samlas in efter spolningen? (Finns det något annat sätt på vilken kommunen kommer bedöma effekten av insatsen?)

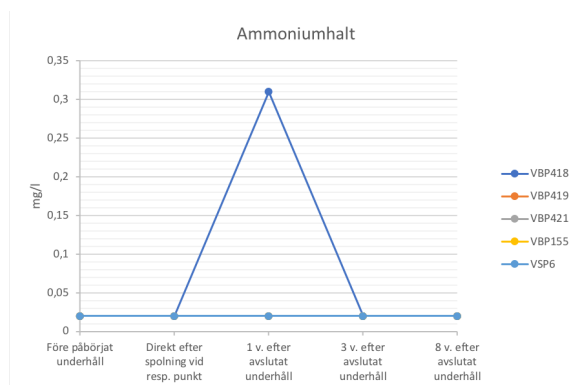
Information om området kring punkterna för provtagning

- Har det gjorts några insatser nyligen på de ledningar som ligger i direkt anslutning till mätpunkterna? Om ja, vilka (visar på ritning vilka punkter det är)?
- Vilket material och vilken ålder har ledningarna där respektive mätpunkt finns? (Material och ålder överlag i området?)
- Vet man övergripande flödesriktningar i området?

C Grafer för Övriga parametrar



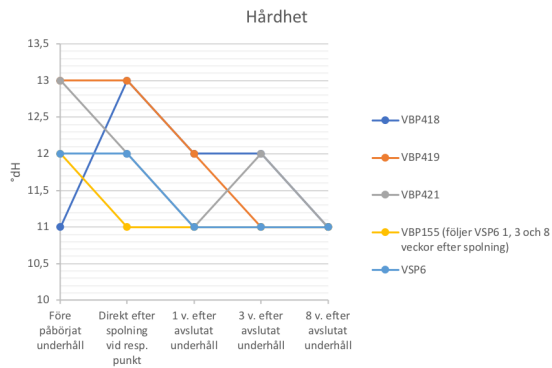
Figur 1: Alkalinitet vid de olika punkterna.



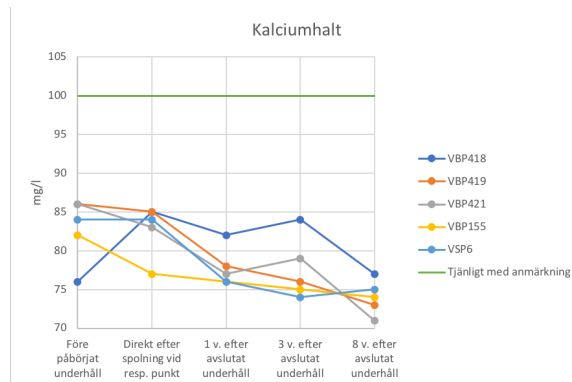
Figur 2: Halt ammonium vid de olika punkterna.



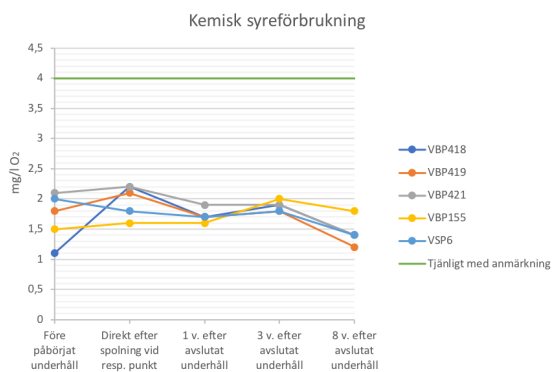
Figur 3: Halt amoniumkväve vid de olika punkterna.



Figur 4: Hårdhet vid de olika punkterna.

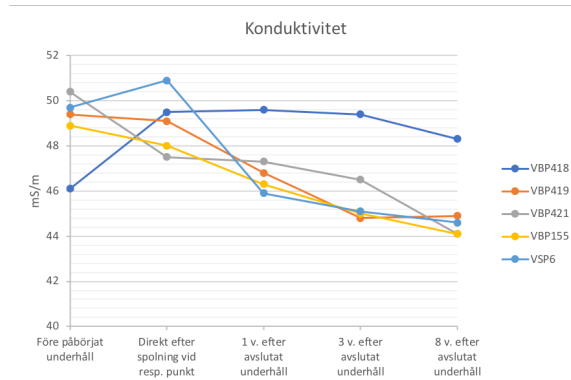


Figur 5: Kalciumhalt vid de olika punkterna.

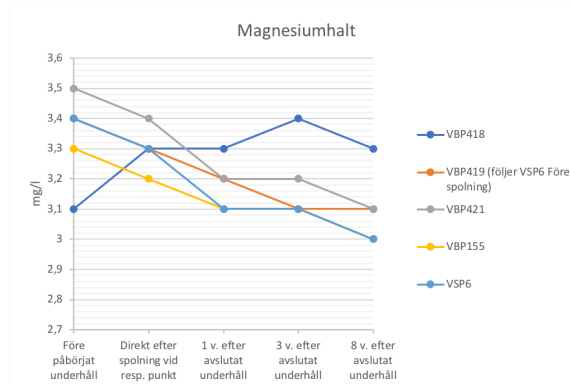


Figur 6: Kemisk syreförbrukning vid de olika punkterna.

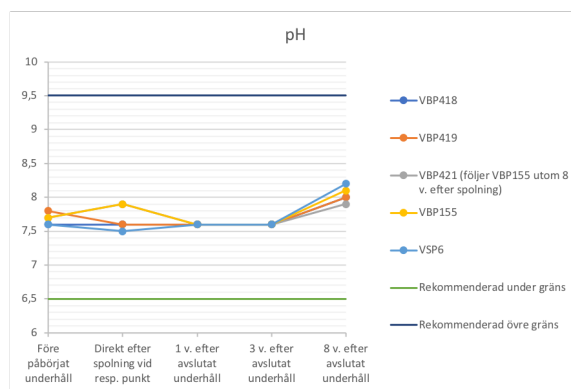
C GRAFER FÖR ÖVRIGA PARAMETRAR



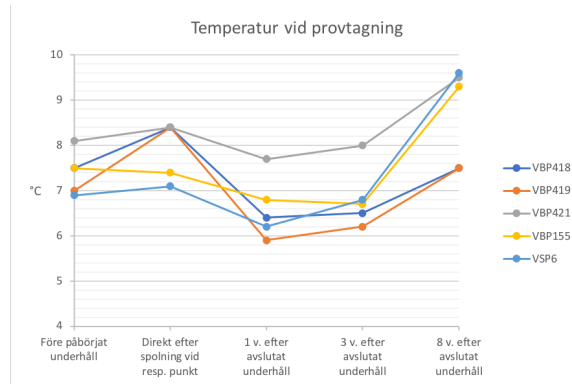
Figur 7: Konduktivitet vid de olika punkterna.



Figur 8: Magnesiumhalt vid de olika punkterna.



Figur 9: pH vid de olika punkterna.



Figur 10: Temperatur vid provtagning vid de olika punkterna.