

Luftspolning av tryckavloppsledningar för bekämpning av svavelväte

Magnus Bäckström

Daniel Johansson

Stefan Marklund

Jan-Erik Ylinenpää



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SV-Utveckling) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet.

SV-Utveckling (fd VA-Forsk) initierades gemensamt av Svenska Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvatten
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

SV-Utveckling styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Anders Lago, ordförande	Södertälje Kommun
Olof Bergstedt	Göteborg Vatten
Lena Söderberg	Svenskt Vatten AB
Per Fåhraeus	Varbergs Kommun
Carina Färm	Eskilstuna Energi & Miljö AB
Daniel Hellström	Svenskt Vatten AB
Marie Nordkvist Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB
Bo Rutberg	Sveriges Kommuner och Landsting
Ulf Thysell	VA SYD
Susann Wennmalm	Käppalaförbundet
Fred Ivar Aasand	Norsk Vann, adjungerad

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47 607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Luftspolning av tryckavloppsledningar för bekämpning av svavelväte
Title of the report:	Air-flushing of pressure sewers as a method for hydrogen sulphide control
Rapportnummer:	2010-01
Författare:	Magnus Bäckström, Luleå tekniska universitet; Daniel Johansson, Mälarenergi AB; Stefan Marklund, Luleå kommun; Jan-Erik Ylinenpää, Luleå kommun
Projektnummer:	26-114
Projektets namn:	Luftspolning av tryckavloppsledningar för bekämpning av svavelväte
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Luleå kommun, Mälarenergi AB
Rapportens omfattning	
Sidantal:	32 + 27
Format:	A4
Sökord:	Spillvatten, distribution, överföringsledning, korrosion, svavelväte
Keywords:	Sewage, distribution, pipe, corrosion, sulphide
Sammandrag:	Luftspolning av tryckavloppsledningar har utprovats som ett alternativ för att förhindra svavelvätebildning i avloppsnätet. Syftet med luftspolningen är att tömma tryckledningen på spillvatten och på detta sätt förkorta uppehållstiden samtidigt som de sulfidbildande mikroorganismerna i ledningen får ett betydligt tuffare liv. Fullskaleförsök visar att luftspolning är ett realistiskt och fungerande alternativ för bekämpning av svavelväte i avloppsnät. Luftspolningstekniken har dock sina begränsningar, som då tryckavloppsledningen har tydliga höjdpunkter och svackor.
Abstract:	This study describes air-flushing of pressure sewers as a method for hydrogen sulphide control. The air-flushing equipment consists of a compressor that injects air into the upstream end of a pressure sewer. Full-scale studies show that air-flushing could be a realistic and viable option for hydrogen sulphide control in sewage systems. However, air-flushing is less suitable when the pressure sewer has an irregular profile with pronounced high and low points.
Målgrupper:	Ingenjörer, planerare, projektörer, konsulter och driftansvariga inom VA
Omslagsbild:	Exempel på betongkorrosion orsakad av svavelvätebildning i tryckavloppsledning, Sörbyledningen, Luleå. Foto: Magnus Bäckström
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2010
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

Överföring av spillvatten via pumpstationer och tryckavloppsledningar från områden långt från centrum och långt från det befintliga självfallsnätet har länge varit en rationell lösning på avloppsproblemen. I en tid då sanering av enskilda avlopp och VA-utbyggnad i omvandlingsområden är högst aktuell, blir långa tryckavloppsledningar allt vanligare. Med dessa ledningar ökar dock uppehållstiden för spillvattnet, dessutom i en miljö där tillgången till syre är ytterst begränsad. Detta har inneburit ökande problem med svavelväte, som är en mycket illaluktande och aggressiv gas.

Under början av 2000-talet fick några anställda vid VA-avdelningen i Luleå kommun idén att blåsa ur tryckavloppsledningar med luft en gång varje natt, då tillrinningen till avloppspumpstationen är låg. Kraftiga kompressorer köptes in, kopplades in och utrustningen för dosering av kemikalier mot svavelvätebildning togs bort. Det verkade som att luftspolningen fungerade och man byggde om fler pumpstationer på samma sätt. Intrasserade kollegor från Mälarenergi i Västerås kom på besök 2006 för att hitta nya vägar att bekämpa svavelväteproblem. Detta resulterade i att man i Västerås beslöt att tillämpa metoden, först som ett kortare försök och sedan som en permanent anläggning i en avloppspumpstation i ytterområdena. I detta skede föddes idén om att dokumentera och analysera fullskaleanläggningarna i ett projekt finansierat av Svenskt Vatten med Luleå tekniska universitet som projektägare.

De fullskaleanläggningar för luftspolning som beskrivs i denna rapport är ett bra exempel på den uppfinningsriktighet och det engagemang som finns i VA-branschen. Rapporten ger inte alla svar men är förhoppningsvis en bra introduktion till en relativt okänd men fungerande teknik för svavelvätebekämpning.

Projektledare var Magnus Bäckström (Luleå tekniska universitet). Under planering och uppstart av projektet deltog Gilbert Svensson och Maria Viklander (Luleå tekniska universitet) med värdefulla bidrag. Från Luleå kommun har Stefan Marklund och Jan-Erik Ylinenpää deltagit under hela projektets gång. Jan-Erik Ylinenpää har genomfört mätningar, levererat driftdata och bidragit med kunskapen om uppbyggnad och funktion av anläggningarna i Luleå. Stefan Marklund bearbetade teoriavsnittet i rapporten (kapitel 2). Från Luleå kommun bidrog även Roger Nilsson och Torbjörn Norén med värdefulla kunskaper och erfarenheter.

Daniel Johansson (Mälarenergi AB/Eskilstuna Energi & Miljö) tillförde mycket viktiga erfarenheter kring hur en luftspolningsanläggning byggs upp och driftsätts, vilket sammanfattas i Bilaga 1. Ann-Charlott Arnell (Mälarenergi AB) genomförde de inledande försöken och etableringen av luftspolningstekniken i Västerås vilket senare ledde till den permanenta anläggningen som redovisas i denna rapport. Från finansören Svenskt Vatten har vidare Daniel Hellström delgivit värdefulla synpunkter.

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Inledning.....	8
1.1 Bakgrund.....	8
1.2 Kort beskrivning av luftspolningstekniken.....	8
1.3 Målsättning med projektet.....	9
1.4 Tillvägagångssätt.....	9
2 Svavelväte i avloppsledningsnät.....	11
2.1 Svavelvätebildning.....	11
2.2 Problembild.....	17
3 Fullskaleförsök med luftspolning av tryckavloppsledningar.....	19
3.1 Ale, Luleå.....	19
3.2 Antnäs, Luleå.....	22
3.3 Barkaröby, Västerås.....	24
4 Diskussion.....	27
4.1 Svavelvätebildning.....	27
4.2 När är luftspolning lämplig?.....	27
4.3 Möjliga förbättringar av luftspolningstekniken.....	28
4.4 Andra åtgärder och strategier mot svavelväte.....	29
5 Slutsatser.....	30
6 Referenser.....	31
Bilaga 1.....	32
Luftspolning – installation i en pumpstation med torruppställda pumpar.....	32

Sammanfattning

I avloppssystem bildas sulfid i huvudsak av bakterier som reducerar sulfat till sulfid. Detta sker vid nedbrytning av organiskt material i syrefri miljö. Sulfiden kan sedan avgå från avloppsvattnet i form av svavelväte som är en giftig, korrosiv och obehagligt luktande gas.

Luftspolning av tryckavloppsledningar har utprovats som ett alternativ till kemikaliedosering med kalciumnitrat (Nutriox) för att förhindra svavelvätebildning i avloppsnätet. Det är i grund och botten en enkel teknik där luftinblåsning sker med hjälp av en kompressor som installeras i avloppspumpstation uppströms tryckledning där svavelvätebildning är ett problem. Syftet med luftspolningen är att tömma tryckledningen på spillvatten. På detta sätt förväntas uppehållstiden för spillvattnet i tryckledningen minska samtidigt som de sulfidbildande mikroorganismerna i ledningen får ett betydligt tuffare liv. Hypotetiskt skapar luftspolningen en luftkudde som trycker spillvattnet i tryckledningen framför sig samtidigt som biofilm och sediment rivs loss.

Tekniken att regelbundet spola ur tryckavloppsledningar med luft har utprovats i ett antal försöks- och fullskaleanläggningar i Luleå och Västerås. Uppföljning av tre luftspolningsanläggningar utifrån tillgängliga drifterfarenheter/driftjournaler och mätdata har genomförts. Kompletterande mätningar av svavelvätehalter i luftfasen har skett med hjälp av en portabel gasdatalogger (OdaLog). Installation av en luftspolningsanläggning har dokumenterats avseende praktiska erfarenheter av utformning och driftsättning samt kostnader.

Fullskaleförsök visar att luftspolning som teknik för bekämpning av svavelväte i avloppsnät är ett realistiskt och fungerande alternativ. Förutom att förhindra svavelvätebildning, kan luftspolningen minska gångtider och därmed livslängd på pumpar samt bibehålla ledningens kapacitet. Dessutom är luftspolning klart ekonomiskt fördelaktig jämfört med dosering med kalciumnitrat. Luftspolningstekniken har dock tydliga begränsningar, som då tryckavloppsledningen har flera tydliga höjdpunkter och svackor samt luftare som inte kan stängas utan risk för ledningens funktion.

För att framgångsrikt nyttja luftspolningstekniken krävs således att ledningssträckans hydraulik är känd samt att ledningens dimension och profil är lämplig. Fortsatta studier bör inriktas på att teoretiskt beskriva vad som händer i ledningen när denna luftspolas. Möjligheten att reglera luftspolningsintervallen utifrån behovet bör utvecklas.

Summary

This study describes air-flushing of pressure sewers as a method for hydrogen sulphide control. The air-flushing equipment consists of a compressor that injects air into the upstream end of a pressure sewer. The compressor and its accompanying installations are typically placed in a sewage pumping station. The purpose with air-flushing is to evacuate the pressure sewer from sewage. As a consequence, residence time for sewage as well as the growth of sulphide producing micro-organisms is reduced. Hypothetically, the sewage is pushed forward together with parts of the biofilm and sediment in the pipe by a concentrated plug of air.

Air-flushing of pressure sewers has been tested through pilot- and full-scale experiments in Luleå and Västerås. Records of operation and statistics from three air-flushing installations have been analysed. In addition, measurements of hydrogen sulphide concentrations with a portable gas probe (OdaLog) have been carried out. Practical experiences from each step in the installation process (e.g. design and start-up) have been documented together with a cost analysis. The cost analysis included a comparison between air-flushing and chemical addition (Nutriox) as methods for hydrogen sulphide control.

The full-scale studies show that air-flushing could be a realistic and viable option for hydrogen sulphide control in sewage systems. Air-flushing decreases the sulphide formation. Previous public complaints on unpleasant-smelling hydrogen sulphide gas ceased when air-flushing was installed. A maintained capacity of the pressure sewer was observed. Furthermore, air-flushing achieved hydrogen sulphide control at a lower cost compared with chemical addition.

However, air-flushing is less suitable when the pressure sewer has an irregular profile with pronounced high and low points. Thus, the hydraulic features of the pressure sewer (e.g. profile, dimensions, and pump characteristics) need to be well described and analysed in order to utilise the air-flushing technique. Further studies should be focusing on a theoretical description of what happens in the pressure sewer during air-flushing. The possibilities to vary the frequency of air-flushing based on the hydrogen sulphide formation should be studied further.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

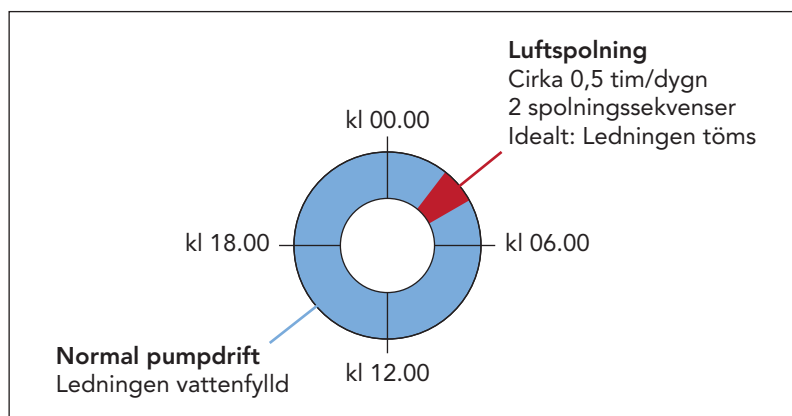
Spillvattenledningsnäten i svenska kommuner förgrenar sig över allt större geografiska områden. Mindre avloppsreningsverk omvandlas ofta till pumpstationer som transporterar det tidigare lokalt behandlade spillvattnet till ett större effektivare verk. Drivkrafter till detta skedande kan vara ökande miljökrav, driftsmässiga eller rent ekonomiska skäl. Sanering av avloppssituationen i tätortsnära bebyggelse (ex. omvandlingsområden) är en annan aktuell process i många kommuner som leder till att verksamhetsområdet utbredds, fler avloppspumpstationer, LTA-system (Lätt Tryckavlopp) och långa överföringsledningar tillkommer. Ytterligare en drivkraft är den "växtvärk" som expansiva städer eller regioner upplever. Detta framtvänger exploatering av stora områden relativt långt från städernas centrum vilket i normalfallet medför överföringsledningar på flera kilometer.

Strategin som går ut på att sanera, effektivisera och centralisera avloppsreningen har många fördelar men det medför också problem. Ett av dessa är den sulfidbildning som kan ske vid långa uppehållstider i utsträckta ledningsnät. I avloppssystem bildas sulfid i huvudsak av bakterier som reducerar sulfat till sulfid. Detta sker vid nedbrytning av organiskt material i syrefri miljö. Sulfiden kan sedan avgå från avloppsvattnet i form av svavelväte som är en giftig, korrosiv och obehagligt luktande gas. Svavelvätebildning är således ett mycket allvarligt problem som innebär hälsorisker för personal, korrosion i ledningar och pumpstationer, luktstörning för kringboende samt eventuellt negativ påverkan på avloppsreningsprocesser och därigenom sämre reningsresultat.

1.2 Kort beskrivning av luftspolningstekniken

Luftspolning av tryckavloppsledningar har utprovats som ett alternativ till kemikaliedosering med kalciumnitrat (Nutriox) för att förhindra svavelvätebildning i avloppsnätet. Det är i grund och botten en enkel teknik där luftinblåsning sker med hjälp av en kompressor som installeras i avloppspumpstation uppströms tryckledning där svavelvätebildning är ett problem. Kompressorn kopplas på utgående tryckavloppsledning från avloppspumpstationen. Syftet med luftspolningen är att tömma tryckledningen på spillvatten, dock kan en total torrläggning av tryckledningen vara svårt att åstadkomma. På detta sätt förväntas uppehållstiden för spillvattnet i tryckledningen minska samtidigt som de sulfidbildande mikroorganismerna i ledningen får ett betydligt tuffare liv. Hypotetiskt skapar luftspolningen en luftkudde som trycker spillvattnet i tryckledningen framför sig samtidigt som biofilm och sediment rivs loss. En positiv bieffekt av detta är att kapaciteten i tryckledningen ökar, eller åtminstone bibehålls på acceptabel nivå.

Dimensioneringen av kompressorn bestäms av de två kriterierna maximal tid som avloppspumpstationen kan stängas av utan risk för bräddning samt den aktuella tryckavloppsledningens volym. Val av kompressor är dessutom beroende av strömtillgången i pumpstationen. I luftspolningscykeln ingår två luftspolningar med paus emellan (figur 1-1). Tanken är här att eventuellt kvarvarande spillvatten efter den första luftspolningen rinner tillbaka i ledningen mot pumpstationen och evakueras vid den andra luftspolningen. Praktiskt sett innebär detta att luftspolningscykeln sker under lågflödesperiod (natt) med en varaktighet på ca 30 minuter.



Figur 1-1 Schematisk bild av driftcykel under ett normaldygn med luftspolning

1.3 Målsättning med projektet

Projektets syfte är att utreda om luftspolning är en fungerande metod för att förhindra svavelvätebildning samt att studera metodens begränsningar. Förslag på förbättringsåtgärder ska tas fram, både avseende utformning och drift. Ytterligare en målsättning med projektet är att sammanfatta kunskapsläget avseende svavelvätebildning i avloppsnät.

Problem med svavelväte i avloppsnät är utbrett, förhoppningen är att detta projekt kan vara ett bidrag till den svenska VA-branschens fortsatta teknikutveckling och kunskapsuppbyggnad inom svavelvätebekämpning.

1.4 Tillvägagångsätt

Tekniken att regelbundet spola ur tryckavloppsledningar med luft har utprovats av VA-tekniker i Luleå (VA-avd., Luleå kommun) och Västerås (Mälarenergi AB). Denna utvecklingsprocess, som resulterat i ett antal försöks- och fullskaleanläggningar, påbörjades för ca 10 år sedan i Luleå. Projektet som redovisas i denna rapport har fokuserats på uppföljning av luftspolningsanläggningar (tabell 1-1) utifrån tillgängliga drifterfarenheter/driftjournaler och mätdata. Då tillämpningen startade som ett rent driftprojekt varierar mängden driftdata kraftigt mellan de olika anläggningarna, i vissa fall har kompletterande mätningar av

svavelvätehalter i luftfasen skett med hjälp av en portabel gasdatalogger (OdaLog).

Tabell 1-1 Fullskaleanläggningar luftspolning, Luleå och Västerås

Anläggning	Beskrivning	Luftspolning
Ale, Luleå (P218)	Avloppspumpstation med ca 150 anslutna pe. Tryckavloppsledning PVC110, L = 4 500 m.	Permanent sedan december 2000
Barkaröby, Västerås (SPU46)	Avloppspumpstation med ca 100 anslutna pe idag, förväntas öka i samband med exploatering. Tryckavloppsledning PE140, L = 1 500 m	Permanent sedan januari 2008
Antnäs, Luleå (P244)	Avloppspumpstation med ca 2 300 anslutna pe. Tryckavloppsledning PVC280, L = 7 600 m	Försök ca 2003-2007, ej permanent idag

Parallellt med uppföljningen av fullskaleanläggningarna har litteraturstudier bedrivits. Teoribildningen kring svavelvätebildning i avloppsnät har beskrivits ingående av professor Hvitved-Jacobsen i den engelskspråkiga boken *Sewer Processes: microbial and chemical process engineering of sewer networks* (Hvitved-Jacobsen, 2002). Denna bok utgör huvudstommen i teoriavsnittet kring svavelvätebildning som återfinns i denna rapport.

Aspekter som rör utformning, driftsättning och ekonomi dokumenterades av intern projektledare Daniel Johansson vid Mälarenergi (Bilaga 1). Fokus för denna internrapport var hur man praktiskt går till väga för att bygga en luftspolningsanläggning och hur investerings- och driftkostnaderna står sig kontra kemikaliedosering med kalciumnitrat.

2 Svavelväte i avloppsledningsnät

2.1 Svavelvätebildning

Bildning av svavelväte är ett väl känt och undersökt fenomen såväl nationellt som internationellt. När kommunal avloppsrening i vårt land etablerades breddades frågan från slutet av 60-talet och ca 15 år framåt var inte detta fenomen något som vare sig noterades som signifikant eller togs speciell hänsyn till vid design eller planerad drift. Att så var fallet är inte förvånansvärt då avloppskompetensen var föga spridd i flertalet kommuner och problembilden sannolikt var avsevärt ljusare då, eftersom längre sammanhängande spillvattennät inte förekom i samma omfattning.

Den dominerande lösningen på spillvattenfrågan var ju fram till 60-talets slut att så kvickt som möjligt avleda allt avlopp till närmast liggande recipient. I och med detta löstes också svavelväteproblemet innan det hann uppkomma.

Analys av problembild, djupare uppföljning i fält och åtgärdsförslag har framför allt sitt ursprung i länder som tidigt har erfarit svavelvätebildning, som t ex USA, Australien och Sydafrika (Hvitved-Jacobsen, 2002). Dessa länder har alla gemensamt "rätt" förutsättningar; höga spillvattentemperaturer i kombination med utsträckta ledningsnät.

De grundläggande förutsättningar som gäller vid svavelvätebildning är numera väl kända, både på mikro- och makronivå. Bland dessa kan framhållas

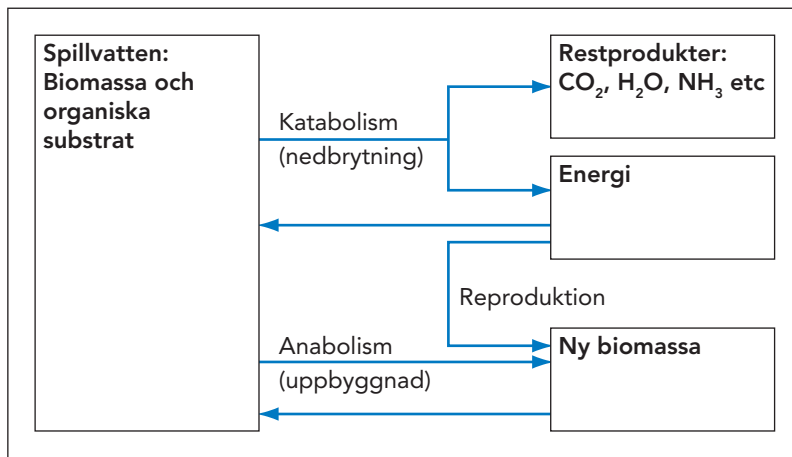
- Låg syrgashalt i spillvattenflödet
- Inget kväve tillgängligt som nitrat i spillvattnet
- Lättillgänglig kolkälla
- Biofilm/mikrobiellt material i kontakt med spillvattnet
- Tillräcklig (anaerob) uppehållstid
- (Hög) Temperatur

Som bakomliggande faktorer av betydelse finns ledningsnätets generella status, ledningens faktiska profil med svackor, sättningar, sedimentbildning, utfällningar, extrema biofilmskikt etc. Detta berörs mer i kommande avsnitt.

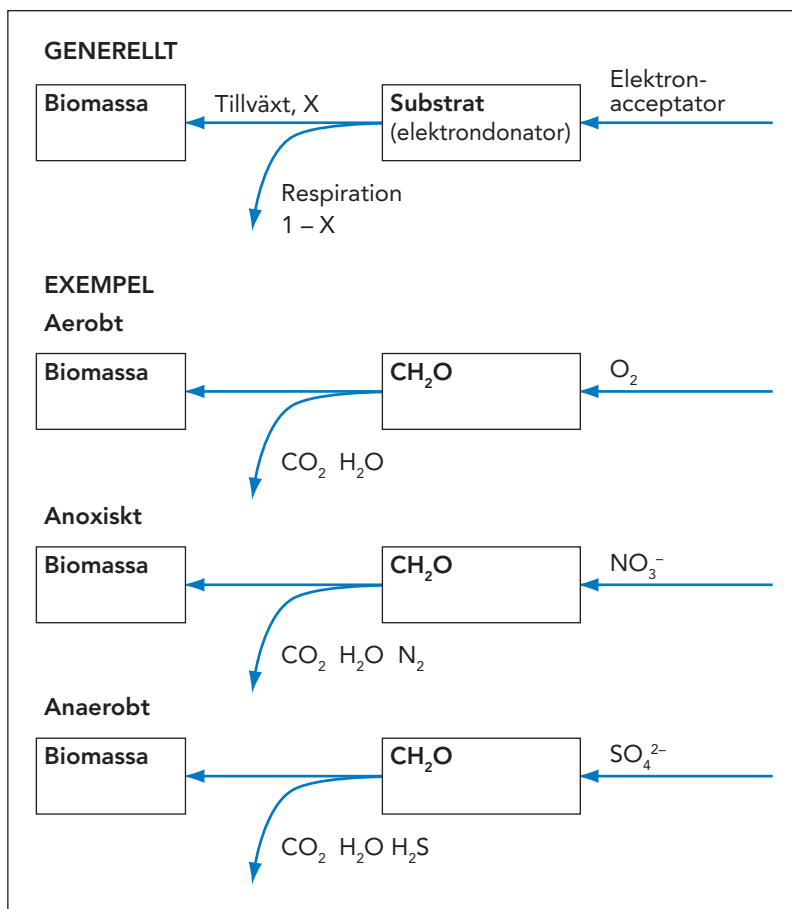
2.1.1 Kemiska förutsättningar

Kemiska förutsättningar och processer styr vilka biologiska processer och system som utvecklas i avloppsnät. Den interna miljön i avloppsledningen domineras av heterotrof biomassa både i vattenfasen, i biofilmen på rörets insida och i eventuella mer omfattande sediment och påväxt inne i rören. Denna biomassa nyttjar substratet (lättillgänglig BOD/COD) som kolkälla för att antingen skapa tillväxt av eller vidmakthålla befintlig biomassa (Figur 2-1).

Denna energikälla/substratet (lättillgängliga BOD/COD) tillgängliggörs mikroorganismerna genom kataboliska processer via oxidation av substratet. Sålunda är substratet elektrondonator. Kopplat till detta



Figur 2-1 Processöversikt avseende organiskt material i avloppsledningsnät



Figur 2-2 Mikrobiell energicykel i spillvattennät; generellt och tre exempel för olika kemiska förhållanden

är en reduktion via en elektronacceptor där antingen löst syre (aerob process), nitrat (anoxisk process) eller svavel (anaerob process) finns närvarande.

I grunden är detta energiproducerande (respirativa) reaktioner som kräver en extern källa som fungerar som (slutlig) elektronacceptor. Under anaeroba förhållanden kan dock (fermentativa) processer som

ej kräver en extern elektronacceptor fortgå. Härvidlag undergår der organiska materialet stegvis en serie av balanserade oxidativa och reducerande reaktioner.

Dessa fundamentala samband och kemiska huvudstråk finns närmare beskrivna av Hvitved-Jacobsen (2002). Nedan återges principiellt en generell bild av energicykeln i ett spillvattennät samt vad som faller ut som slutprodukt i de tre huvudstråken (Figur 2-2).

Det organiska material kan här ses som den dominerande elektron-donatorn som sålunda oxideras. Vad gäller det reducerande steget så kan mikroorganismerna nyttja olika elektronacceptorer. Om syre (luft) finns tillgängligt så nyttjas den (primärt) som slutlig elektronacceptor, i dess frånvaro och om nitrat(kväve) finns tillgängligt nyttjas nitrat som elektronacceptor. Om vare sig syre eller kväve i form av nitrat finns tillgängligt kan svavel nyttjas som elektronacceptor. Detta visas översiktligt nedan (Tabell 2-1).

Tabell 2-1 Elektronacceptorer för olika kemiska förutsättningar och ledningsnät (Hvitved-Jacobsen, 2002)

Kemiska förutsättningar	Primär elektronacceptor	Ledningsnät
Aeroba	Syre	Delvis fyllda självfallssystem. Luftad tryckavloppsledning
Anoxiska	Nitrat	Tryckavloppsledning med dosering av nitrat (Nutriox)
Anaerobiska	Sulfat (Koldioxid)	Tryckavloppsledning Fyllda självfallsledningar. Självfallsledningar med dålig lutning och ansamling av sediment

Om man som kolkälla sätter in en kolhydrat (CH_2O) på den oxiderande sidan blir de stökiometriskt balanserade slutprodukterna vatten (H_2O) vid aeroba processer, Kvävgas (N_2) och vatten via anoxisk processer och svavelväte (H_2S) och vatten vid anaeroba processer.

2.1.2 Biologiska förutsättningar

Mikroorganismen kräver vissa fundamenta för överlevnad och tillväxt. Det handlar om tillgänglig energi, kemisk jämvikt och spårämnen samt makronäringsämnen. Klassvis visas detta nedan (tabell 2-2).

Ur ett processperspektiv kan en given ledningssträcka ses som en reaktor med inneboende och svårstyrda biologiska processer. Som Hvitved-Jacobsen beskriver det finns ett flertal fenomen som komplicerar bilden

- Avloppsvatten innehåller substrat och mikroorganismer som varierar i tid och rum.
- Processerna har varierande aeroba och anaeroba förhållanden.
- Det finns skilda undersystem; den omblandade (avlopps)vattenfasen, biofilmen på rörets insida, i sediment samt vattenytan i kontakt med luft.
- De mikrobiella processerna agerar tvärs dessa undersystem.

Tabell 2-2 Klassificering av mikroorganismers behov för tillväxt

Funktion/behov	Källa
Energi	Organiskt material, Oorganiskt material, Solljus
Elektronacceptor	Syre, Nitrat, Nitrit, Sulfat, Organiskt material
Kolkälla	Koldioxid, Karbonat, Organiskt material
Makronäringsämnen	Kväve, Fosfor
Spårämnen och tillväxtfaktorer	Metaller, vitaminer

Som också påpekas är dessa förhållanden och reaktioner av intresse ur ett bredare perspektiv där hela avloppssystemet inklusive reningsanläggningar ingår. Man kan betrakta ett långsträckt ledningsnät som ett något svårstyrt biologisk reningssteg som väl kan samverka med ett efterföljande mekaniskt-kemiskt reningsverk. Alternativt kan inriktningen vara att så långt det är möjligt bibehålla lättnedbrytbara organiska substanser för att stödja biologisk fosfor- eller kvävereduktion. Som ytterlighet åt andra hållet gäller de interna processer som genererar svavelväte eller oönskad utfällning av spårämnen som kan påverka processeffektiviteten i slutreningsprocessen.

2.1.3 Aeroba och Anoxiska mikrobiella processer

Under normala aeroba förhållanden bryts komplext organiskt material ner vid mikroorganismernas ämnesomsättning genom att elektroner lämnas till molekyllärt syre som i sin tur reduceras (cellandning). Simultant omvandlas organiskt kol till koldioxid parallellt med att kväve och fosfor från det organiska materialet frigörs i oorganisk form, som ammonium/ammoniak (NH_3/NH_4) och fosfat.

Den nettoenergi som här produceras nyttjas för mikrobiell tillväxt och underhåll. Anoxiska förhållanden förekommer nästintill enbart artificiellt, det vill säga med nitrat som tillsatt närsalt. De mikrobiella processerna är här identiska med de aeroba. Aeroba förhållanden i ledningsnät utan intermittert luftning är vanligtvis inte långvariga. Med OUR (Oxygen Uptake Rate) på mellan 2–10 g $\text{O}_2/\text{m}^3\text{h}$ och normala mättnadsnivåer på 9–11 g O_2/m^3 så inses att syrebrist kan uppträda inom 30 minuter och att syreöverskott är sällsynt förekommande efter 2–3 timmar. Även vid låga spillvattentemperaturer (5–12 °C) så bedöms anaeroba uppehållstider överstigande 0,5–2 timmar medföra signifikant sulfidbildning.

Typiskt bedöms inte svavelväte uppstå i självfallsledningar om halten löst syre överstiger 0,2–0,5 mg/l. Om lägre halt än så förväntas kan generella empiriska ekvationer för förväntad sulfidproduktion nyttjas (se nedan) (Hvitved-Jacobsen, 2002). Då syresättningsprocessen ändå alltid pågår i icke fyllda självfallsledningar så blir verklig sulfid tillväxt alltid lägre, vanligen minde än en tredjedel av beräknat (max)värde.

För att enklare kunna bedöma under vilka förhållanden signifikanta mängder svavelväte kan uppstå i ledningar med en diameter understigande 600 mm finns en metodik med ett så kallat Z-värde:

$$Z = 3 \cdot \text{BOD}_5 \cdot (S^{0,5} \cdot Q^{0,33})^{-1} \cdot (R/B) \cdot 1,07^{T-20}$$

där

T = temperatur (°C)

BOD₅ = Biokemisk syreförbrukning (mg O₂/l)

S = ledningslutning (%)

Q = flöde (l/s)

R = våta perimetern (m)

B = rörets bredd vid vattenytan (m)

Z-värdet klassas sedan på tre nivåer, enligt tabell nedan (Tabell 2-3):

Tabell 2-3 Uppskattning av risken för svavelväteproblem utifrån Z-värdet (Hvitved-Jacobsen, 2002)

Z-värde	Trolig omfattning av svavelväteproblem
Z < 5 000	Problem inträffar ganska sällan
5 000 < Z < 10 000	Risk för svavelväteproblem
Z > 10 000	Risk för frekventa svavelväteproblem

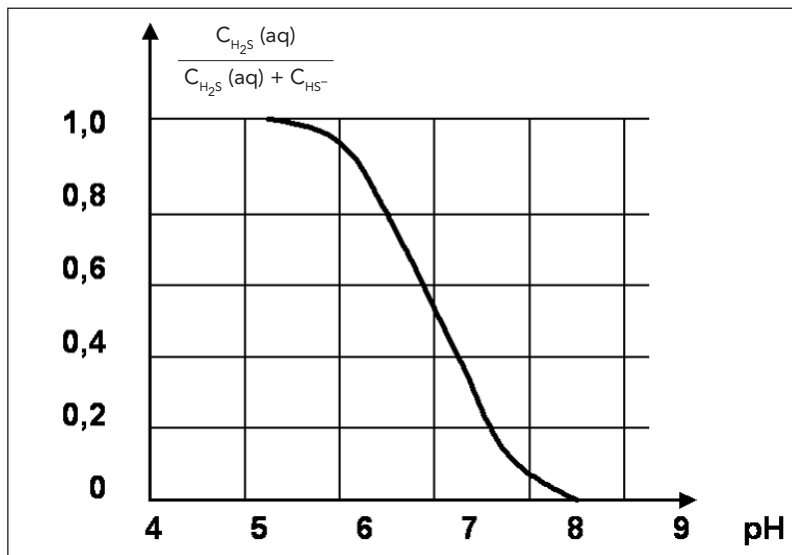
Då simultan nedbrytning och syresättning sker i ickefyllda självfallsledningar ska alltså Z-värdet nyttjas för en översiktlig bedömning av risknivån.

2.1.4 Anaeroba processer

Under anaeroba förhållanden kan biologisk förbränning och energitvinning fortgå för att stödja mikrobiell tillväxt. I frånvaro av syre sker ofullständig oxidation av organiskt material med hjälp av mikroorganismer (Fermentation). Vid fermentativa processer krävs ingen extern elektronacceptor då det organiska materialet undergår en serie oxidativa och reducerande processer som innebär att organiskt material oxiderat i ett steg reduceras i nästkommande. Som resultat av dessa komplexa processteg produceras lågmolekylärt organiskt material (t.ex. VFA; Volatile Fatty Acids)).

I avloppsnät kan påräknas att de anaeroba processerna i huvudsak omfattar produktion av VFA, CO₂ och omvandling av svavel till svavelväte. Produktionen av VFA, som är fettsyror med korta kolkedjor, kan vara positiv för processen i reningsverk eftersom biologisk kväverening kräver en lättillgänglig kolkälla. Omvänt kan bildningen av VFA i avloppsledningarna teoretiskt vara negativ för biogasproduktionen, eftersom "råmaterialet" för rötning försämras eller bryts ned redan innan avloppsvattnet når reningsverket.

Då svavel och anaeroba förhållanden här är av speciellt intresse kommer förhållandena runt detta att beröras något i det följande. Komponenterna svavelväte och dess dissocierade form kan samexistera i vattenfasen, medan bara svavelvätet kan avgå som gas. Detta är av specifikt intresse vilket visas i figuren nedan (Figur 2-3). Observera att jämviktsläget är temperaturberoende, kurvan i figur 4 återger principiellt jämviktskoncentrationens pH-beroende vid temperaturer vanligt förekommande i avloppsvatten. Ju kallare vatten, desto mer förskjuts kurvan åt höger i figuren.



Figur 2-3 Jämviktskoncentrationer för H_2S löst i vatten

Figuren visar praktiskt att i pH-intervall av intresse här (ca 6,5–7,5) så är mellan 20–80% i form av H_2S . Högre pH reducerar här mängden H_2S tillgänglig för avgasning till atmosfären i röret. Vid jämviktsförhållanden kan förväntas att partialtrycket för svavelväte i gasfasen kan uppgå till mellan 50 och 150 ppm (gram/ m^3), med det lägre värdet vid pH 7,5.

Som Hvitved-Jacobsen visar så pågår de mikrobiella processerna i självfallsledningar i blandning av aeroba och anaeroba miljöer, medan miljön i en trycksatt helt fylld ledning alltmer övergår till ren anaerob miljö.

När anaeroba förhållanden uppstår i en tryckledning kan, om normala förhållanden i övrigt förekommer, den biologiska aktiviteten börja producera sulfid löst i vattenfasen enligt följande:

$$\Delta S = r_a \cdot (A/V) \cdot T_u$$

där

ΔS = Sulfid löst i vatten (g/m^3)

(= differens i sulfidhalt mellan ledningens start och slut)

r_a = sulfidbildningskonstant (gS/m^2h)

A/V = area/volym-kvot, dvs. inre röryta/innervolym i röret ($1/m$)

T_u = Anaerob uppehållstid i ledningen (timmar)

Den specifika produktionen av sulfid (sulfidbildningskonstanten) kan beräknas enligt följande (Anm. fler beräkningsmodeller har föreslagits (Hvitved-Jacobsen, 2002)):

$$r_a = k \cdot (COD_s - 50)^{0,5} \cdot 1,07^{(T-20)}$$

där

$k = 0,0015$ för hushållspillvatten utan inblandning

av industrispillvatten

$k = 0,003$ för hushållspillvatten med inblandning

av industrispillvatten (livsmedelsindustri)

COD_s = löst halt kemiskt syreförbrukande ämnen ($g O_2/m^3$)

T = Temperatur ($^{\circ}C$)

2.2 Problembild

Förekomst av svavelväte i spillvattenförande ledningsnät har dubbel problembild, dels som hälsorisk primärt för VA-verkens personal dels som korrosionsskapande produkt i ledningsnät och anknutna strukturer. Till detta ska läggas att svavelväte även vid extremt låga halter är illaluktande, en av många spillvattenanknutna ämnen som kan kräva frånluftsrening vid avloppspumpstationer.

2.2.1 Lukt- och hälsoproblem

Svavelväte är en mycket giftig gas (kan jämföras med cyanid) och kan orsaka allvarliga hälsoproblem. När koncentrationen av gasen är låg har den en stark och obehaglig lukt (som ruttna ägg). Vid högre koncentrationer blir gasen luktlös eftersom den trubbar av luktsinnet. En koncentration av 1 000 ppm leder till döden och lägre nivåer kan leda till skador på luftvägar och ögon, depressioner, psykiska förändringar, kräkningar och illamående. Eftersom svavelväte är något tyngre än luft samlas den gärna i botten av t.ex. nedstigningsbrunnar om luftomsättningen är dålig, vilket kan leda till stora arbetsmiljöproblem. Hälsoproblem kan även uppstå vid arbete i pumpstationer och på avloppsreningsverk när svavelväte avgår från avloppsvattnet. Effekter på hälsan och inverkan på luktsinnet vid olika svavelvätehalter har sammanställts nedan (Tabell 2-4).

I skyddsföreskrifter omnämns normalt de akuta hälsoriskerna med svavelväte vid höga halter. Även vid en långvarig exponering vid lägre halter bör det finnas risk för att svavelväte angriper kroppens vävnader, främst i ögon och lungor. Den obehagliga lukten vid låga till medelhöga halter gör nog att de flesta inte utsätter sig för en långvarig exponering samt att skyddsåtgärder vidtas. En lämplig rutinåtgärd är att personalen alltid bär ett gaslarm och ej utför ensamarbeten på utsatta platser.

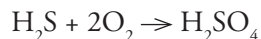
Tabell 2-4 Människans reaktion på olika svavelvätehalter
(Ledskog m.fl., 1994)

Svavelvätehalt i luft (ppm)	Människans reaktion
0,002 – 0,2	Lukttröskel
1	Svag men klart märkbar lukt
3 – 5	Kraftig lukt
10	Hygieniskt gränsvärde för en arbetsdag
30	Stark obehaglig lukt
10 – 50	Lätt ögonirritation
50 – 100	Allvarliga ögon- och andningsbesvär efter en timmes arbete
100 – 250	Hosta, ögonbesvär, yrsel efter 10 – 20 minuter luktkänslan försvinner efter 2 – 15 minuter
150 – 300	Förlamning av luktsinnet
300 – 500	Allvarliga lungskador, potentiell livsfara
500 – 1000	Stark effekt på centrala nervsystemet, andningsförlamning, medvetslöshet
> 1000	Omedelbar dödsrisk

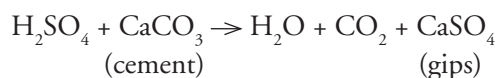
2.2.2 Betongkorrosion

Betongkorrosion orsakas av svavelväte som från gasfasen i ledningen absorberas i den våta med ej vätskefyllda innerytan i betongröret. Betongytan korroderar typiskt ickehomogent, till dominerande del i rörtoppen och nära medelvattenytan (om sådan finns).

Rent kemiskt reagerar svavelväte med luftsyre varvid svavelväte oxideras till svavelsyra mikrobiellt enligt följande:



Svavelsyran reagerar sedan vidare med den alkaliska cementen i betongen. Detta kan uttryckas på följande sätt



Uttryckt i ord reagerar syra med cement varvid vatten, koldioxid samt gips bildas. Betongens hårda struktur löses upp och enbart fyller-materialet kvarstår till slut i icke nedbruten form.

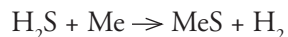
Ekvationerna ovan indikerar att upp 32 gram av svavelväte (räknat som svavel) kan reagera med uppemot 100 gram kalciumkarbonat ingående i cementandelen i betong. Detta betyder att korrosionshastigheten kan vara betydande. Vid hög svavelvätebildning kan nedbrytningshastigheten vara upp till 4–5 mm/år, vilket för flertalet betonggör innebär att täcksiktets tjocklek samt total oanfrätt godstjocklek kan ifrågasättas strukturellt efter ett år eller två. Även om detta inte är helt realistiskt för svenska förhållanden så är det uppenbart att 5–10 år räcker som drifttid innan kritiska tillstånd kan uppträda.

Generellt kan förutsättningarna för svavelväteangrepp öka om

- Aktuellt system är lokaliserat nedströms ett avsnitt med potential för hög sulfidbildning. Huvudsakligen handlar det här om system nedströms tryckavlopp med tillräckligt hög (anaerob) uppehållstid.
- Ej trycksatta system som utsätts för extrem turbulens och aerosolbildning samt där inkommande flöde består av höggradigt anaerobt vatten.

2.2.3 Metallkorrosion

Metallkorrosion där svavelväte är inblandat är mest synbart med koppar närvarande. Den kan generellt uttryckas enligt följande



På obehandlade kopparytor bildas snabbt svart fjällande kopparsulfid som efterhand bildar ett allt tjockare skikt. Sulfiden smutsar ner omgivningen, försvårar service och ger ett väldigt dåligt allmänt intryck, även om nedbrytningshastigheten sannolikt är mindre kritisk tekniskt jämfört med betongmaterial. Metallisk korrosion angriper såväl kopparledningar som oskyddad koppar i el-detaljer, styrsystem etc.

Metallkorrosion förekommer mest i spillvattenpumpstationer och andra strukturer kopplande till spillvattennät samt i inloppsdelarna till avloppsreningsverk (före biologisk rening)

3 Fullskaleförsök med luftspolning av tryckavloppsledningar

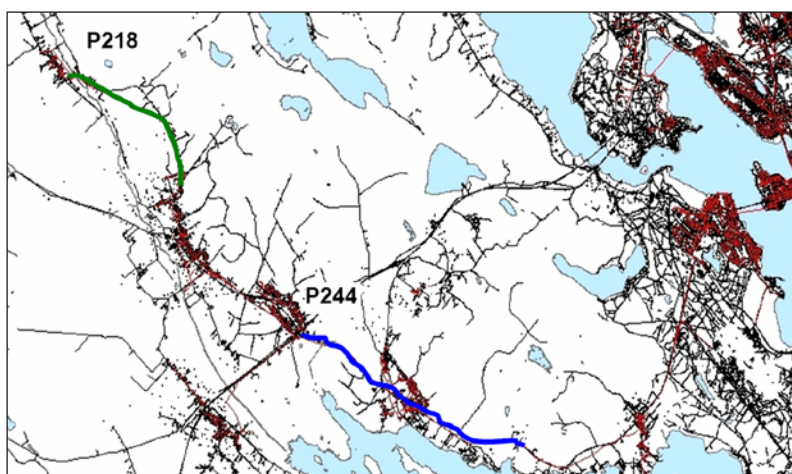
Tekniken för luftspolning av tryckavloppsledningar har utvecklats under en längre tid och flera pilotförsök har gjorts under resans gång. Vid projektets slut var två fullskaleanläggningar i permanent drift, en i Luleå (Ale) och en i Västerås (Barkaröby). Huvuddelen av redovisningen i denna rapport kretsar kring dessa två permanentade anläggningar.

Ett luftspolningsförsök i Antnäs, Luleå som av olika anledningar inte permanentats beskrivs också. Detta försök har inte dokumenterats i samma omfattning, men kan ändå ge värdefullt bidrag till förståelsen av luftspolningsteknikens begränsningar.

3.1 Ale, Luleå

3.1.1 Beskrivning VA-system

Det centrala VA-ledningsnätet i Luleå kommun sträcker ut sina tentakler ca 20 km i nordlig, västlig och sydlig riktning. Utbyggnaden av VA-ledningsnätet har som i de flesta kommuner skett successivt i takt med att VA-verk i mindre samhällen har ersatts med överföringsledningar och pumpstationer. Byn Ale ligger längst ut på den södra tentakeln (Figur 3-1). Dricksvatten från stadens huvudvattenverk i Gäddvik levereras till byn och spillvatten från byn överförs via en avloppspumpstation (P218) med två våtuppställda pumpar samt en 4 452 meter lång tryckavloppsledning. Spillvattnet överförs till Uddebo avloppsreningsverk via sex ytterligare avloppspumpstationer utöver den i Ale. Tryckavloppsledningen från Ale, som anlades i slutet av 1980-talet, är av PVC och har en ytterdiameter på 110 mm. Ledningens profil är relativt jämn och flack (statisk uppfodringshöjd är ca 20 meter). I dagsläget är det ca 150 pe anslutna till pumpstationen.



Figur 3-1 Översikt spillvattenledningsnät Luleå kommun södra (grön markering: tryckavloppsledning fr. Ale, blå markering: tryckavloppsledning fr. Antnäs)

3.1.2 Problembild svavelväte

Problem med svavelvätebildning i tryckavloppsledningen uppmärksammades mycket snart efter överföringsledningen togs i drift. Tryckledningen mynnar i en släppbrunn relativt när bebyggelse vilket inneburit att klagomål inkommit regelbundet. Fram till och med år 2000 doserades kalciumnitrat (Nutriox) som huvudsaklig åtgärd mot svavelväteproblemen. Årligen doserades ca 5 000 liter Nutriox (baserat på uppgifter från 1995, 1996 och 1997). Då inkommande flöde till pumpstationen varierar kraftigt, främst p.g.a. inläckage under snösmältning och vid intensiva regn var regleringen av rätt dos tidvis komplicerad. Som komplement till kemikaliedosering krävdes pluggrensning av tryckavloppsledningen. Pluggrensningen initierades då kapaciteten i anläggningen sjönk och/eller då svåra svavelväteproblem uppstod. En halvering av normalkapaciteten p.g.a. igensättning i tryckavloppsledningen kunde ske efter 3–6 månaders drift. Normalkapaciteten är ca 6 l/s för en pump vid ca 40 mvp mottryck. Under åren 1995 till 1999 skedde minst fyra pluggrensningar (enl. uppgifter från driftjournaler), det vill säga i genomsnitt en pluggrensning per år.

Under några år på 1990-talet uppmättes spillvattnets uppehållstid i tryckledningen samt svavelvätehalt i släppbrunnen. Dessa kompletterande driftdata har noterats i driftjournalen för att underlätta reglering av kemikaliedoseringen. För perioden 1995–1997 varierade uppmätt uppehållstid mellan 6 timmar och upp emot 2 dygn. Korta uppehållstider inträffade som väntat i samband med snösmältning, långa uppehållstider uppstod under sommarmånaderna samt under vintern. En tendens som kan skönjas ur driftjournalerna är att klagomål och förhöjda svavelvätehalter oftast inträffar när uppehållstiden är ett dygn eller längre (> 24 timmar) sommar och höst.

3.1.3 Uppbyggnad av luftspolningsanläggning

I december år 2000 ersattes kemikaliedoseringsutrustningen med en luftspolningsanläggning. I befintlig pumpstationsbyggnad inhystes en kompressor (Atlas Copco GA15, motoreffekt 15 kW) och tillhörande utrustning; styrenhet, tilluftsdon, luftfilter, ventiler och kopplingar (Figur 3-2).

Huvuddelen av arbetet utfördes av VA-verkets driftpersonal. Detaljkunnande kring installation och service av kompressor köptes in från extern entreprenör. Dimensioneringen av kompressorn skedde på samma sätt som beskrivits tidigare; den totala volymen spillvatten i tryckledningen (35 m³) förväntades blåsas ur mellan två pumpstarter. Den tillgängliga tiden för luftspolning bedömdes i detta fall till 30 minuter. Eftersom man ville utföra två luftspolningssekvenser krävdes att kompressorn ger tillräckligt luftflöde för att blåsa ur hela ledningen på 15 minuter, vilket innebar att man önskade ett luftflöde på minst 2,5 m³/min.

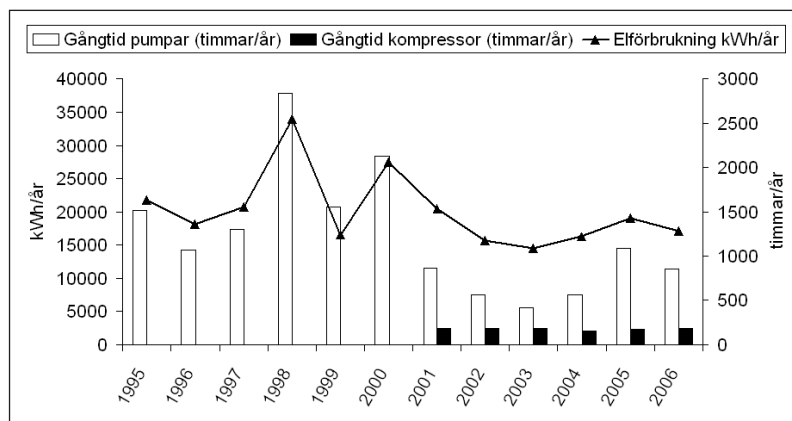
3.1.4 Drifterfarenheter luftspolning

En årsvis sammanställning av den totala elförbrukningen i avloppspumpstationen, totala gångtider för båda pumparna samt gångtid för kompressor (luftinblåsning) för perioden 1995–2006 ges i figur 3-3.



Figur 3-2
Luftspolningsanläggning i P218

Dataunderlaget är hämtat från driftjournaler. Sammanställningen visar att den totala elförbrukningen i pumpstationen (inklusive uppvärmning) ligger på ungefär samma nivå (ca 20 000 kWh/år) efter installationen av luftspolningsanläggningen. En svag minskning kan skönjas. Pumparnas gångtid har minskat med drygt 50 % om man jämför perioden 1995–2000 (utan luftspolning) med perioden 2001–2006 (med luftspolning). Årliga jämförelser mellan mängden pumpat avloppsvatten kan tyvärr ej göras eftersom kontinuerlig flödesmätning inte har skett under hela den studerade perioden. Kompressorns årliga gångtid är närmast konstant 180 timmar per år, vilket överensstämmer med den programmerade gångtiden 0,5 timmar per dag.



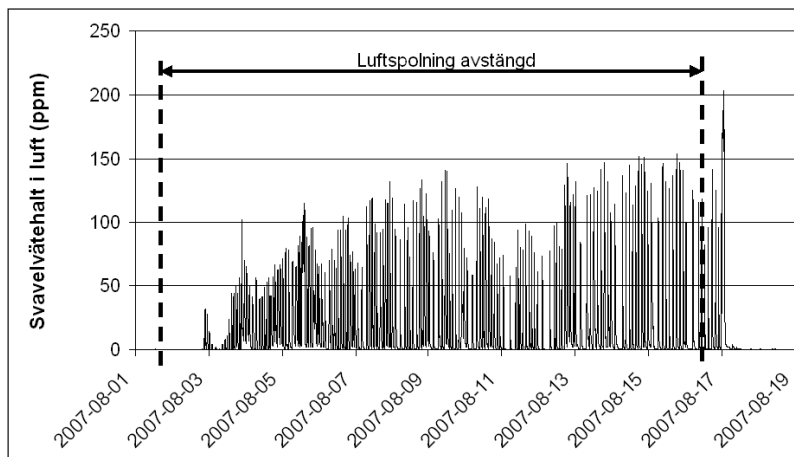
Figur 3-3 Årlig elförbrukning samt årliga gångtider för pumpar och kompressor, Ale

Klagomål på lukt eller andra svavelväterelaterade problem har inte noterats i driftjournalerna efter det att luftspolningsanläggningen installerades. Service av kompressorn har skett årligen. Huvudsaklig serviceåtgärd är oljebyte. När det gäller övrigt kompressorunderhåll byttes kompressorns luftfilter i februari 2004 och i september samma år rengjordes backventil mot avloppsledning. Under 2007–2008 genomfördes ett större pluggrensningsprogram på flera av kommunens längre tryckavloppsledningar. 2008 pluggrensades även tryckavloppsledningen från Ale och det noterades att tryckledningen innehöll mycket sediment och beläggningar.

Som en del i detta FoU-projekt beslutades att utföra en avstängning av luftspolningen under en period för att se hur svavelvätebildningen eventuellt stegras. Detta skedde under augusti 2007. Kompressorn stängdes av den 1 augusti och återstartades efter klagomål på lukt den 16 augusti. Under denna period mättes även svavelvätehalten i luft i släppbrunn (där tryckavloppsledningen övergår i självfallsledning). Svavelvätehalten mättes med en automatisk mätare med inbyggd logger av typen OdaLog. Spillvattentemperaturen varierade mellan 8,0 och 9,5 °C under försöket.

Mätning av svavelväte genomfördes även under en tvåveckorsperiod (17 juli–1 augusti) innan kompressorn stängdes, det vill säga under normal drift. Under denna period var svavelvätehalten under detekterbar nivå.

Som figur 3-4 visar steg svavelvätehalten till ca 25 ppm efter ett dygn och till nivån 100 ppm efter 2 dygn. Efter 2 veckor hade de maximala svavelvätehalterna under respektive dygn stabiliserat sig kring 150 ppm. Efter återstart av luftspolningsanläggningen kl 13 den 16 augusti tog det ca ett dygn innan svavelvätehalten åter stabiliserat sig på en icke detekterbar nivå.



Figur 3-4 Respons (svavelvätehalt i släppbrunn) på avstängning av permanent luftspolning Ale

3.2 Antnäs, Luleå

3.2.1 Beskrivning VA-system

Precis som den tidigare beskrivna anläggningen P218 i Ale, Luleå är P244 i Antnäs beläget inom det södra VA-stråket i Luleå kommun (figur 3-1). Avloppspumpstationen pumpar vidare spillvatten från Antnäs samt uppströms liggande byar (Ale, Alvik och Ersnäs). Till stationen är det ca 2 300 anslutna pe. Den 7 639 meter långa tryckavloppsledningen är av PVC och har en ytterdiameter av 280 mm. Tryckavloppsledningen fångar även in spillvatten från byn Måttund på sin väg mot centrala staden via en separat avloppspumpstation (P248) och tryckavloppsledning.

3.2.2 Problembild svavelväte

Svavelväteproblem har förekommit under lång tid. Boende i närheten av luftare har klagat på lukt och allvarliga korrosionsproblem i nedströms liggande pumpstationer och släppbrunnar/självfallsledningar av betong har uppmärksammat. Det har även varit dålig arbetsmiljö för VA-verkets driftpersonal med uppenbara risker för att utsättas för höga halter svavelväte vid arbete i nedströms liggande pumpstation.

3.2.3 Uppbyggnad av luftspolningsanläggning

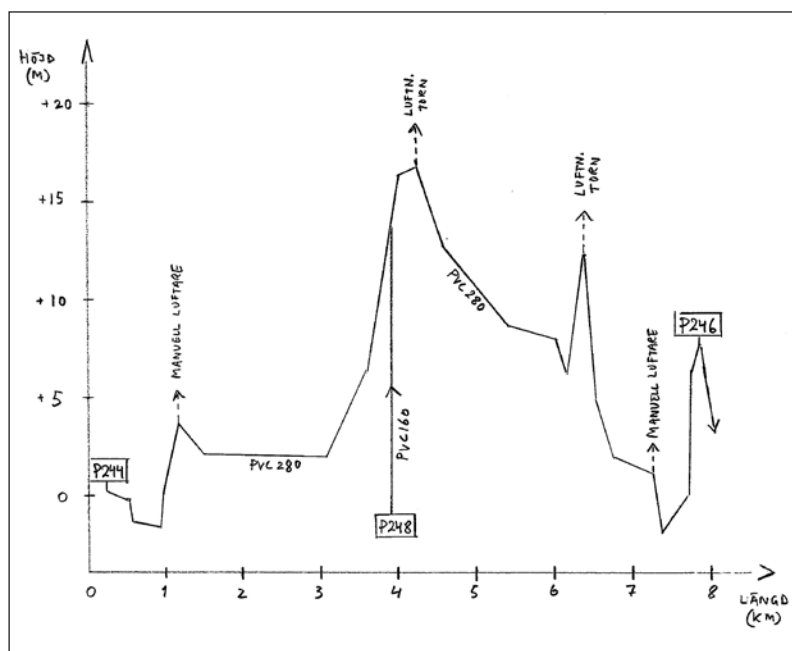
Under 2000-talet installerades en luftspolningsanläggning pumpstation P244 för att om möjligt komma till rätta med svavelväteproblemen. Innan dess hade olika åtgärder (pluggrensning och kemikaliedosering)

genomförts, men de goda erfarenheterna från andra luftspolningsanläggningar (Ale och Persön) i Luleå kommun ansågs kunna tillämpas även här och ge en långsiktigt effektiv lösning.

3.2.4 Drifterfarenheter luftspolning

Efter några år av fullskaleförsök med luftspolning beslutades att andra åtgärder var lämpligare för att bemästra svavelvätebildningen i den aktuella tryckavloppsledningen. Bakgrunden till beslutet var de upprepade läckor som skedde på ledningen samt allmänna kapacitetsproblem. Den troliga orsaken till läckorna var att luftare stängdes då luftspolningen påbörjades. Ledningsprofilen (figur 3-5) visar att det finns flera höjdpunkter och sänkor på den 7,6 km långa sträckningen. Erfarenheterna från detta försök var att luftspolning av en relativt grov och lång tryckledning (PVC280) med en ”komplicerad” profil var svår att genomföra med gott resultat. Om inte en effektiv och driftsäker stängning av luftare kan ske är det av ringa värde att blåsa in luft i P244 i Antnäs. Dessutom, att laborera med stängning/öppning av luftare innebär stora risker för allvarliga haverier på tryckledningen, då luft i ledningen (som ej kan evakueras) tillsammans med tryckslag är rena krutdurken belastningsmässigt.

Djupare studier av de hydrauliska förhållanden som rådde visade på ett behov att bygga om luftarna på ledningen, vilket också genomförts. Dessutom drogs slutsatsen att tätare pluggrensning vore en bra åtgärd både med tanke på svavelvätebildning och (framförallt) med syftet att återfå en stor del av ledningens ursprungliga kapacitet. Omfattande pluggrensningar har skett 2007–2008, dessutom har nya högre luftningstorn och större pumpar i pumpstation P244 installerats. Preliminära iakttagelser pekar på att detta gett önskvärd effekt.



Figur 3-5 Profil tryckavloppsledning från pumpstation P244 i Antnäs

3.3 Barkaröby, Västerås

Mälarenergi AB hade vid detta projekts början inte någon permanent anläggning för luftspolning av tryckavloppsledningar, men ett omfattande utredningsuppdrag (kartläggning) kring svavelväteproblemen var påbörjat.

Under 2006 provades luftspolning en begränsad tid i avloppspumpstationerna SPU26 (Irsta), SPU74 (Örtagården) och SPU46 (Barkaröby) med genomgående gott resultat (Arnell och Hedström, 2006). Under 2007 inleddes därför installationen av en permanent anläggning i SPU46, Barkaröby, Västerås. En fullständig dokumentation av installation och driftsättning av luftspolning i SPU46 samt en sammanställning av kostnader ges i Bilaga 1. Nedan ges en kort sammanfattning av denna bilaga.

3.3.1 Beskrivning VA-system

Spillvattentryckledningen från SPU46 ansluter till tryckledningen från SPU74 ca fyrahundra meter öster om SPU74 (figur 3-6). SPU74:s tryckledning är en 160 mm PE-ledning med en total volym på 44 m³ och en längd på cirka 2,8 km. SPU46 har en 140 mm PE-ledning med en volym på 18 m³ och en längd på 1,5 km. Tryckledning har en flack profil. Ledningen startar på +4m och mynnar ut på +7m. Dess högsta punkt ligger på +8m.



Figur 3-6 Översikt VA-system Barkaröby (SPU46) och Örtagården (SPU74)

Hustypen i tillrinningsområdena för SPU46 och SPU74 består av villor. Båda områdena är fortfarande under uppbyggnad. SPU46 är dimensionerat för 250 villor, under 2008 var endast ca 35 av dem anslutna. SPU74 är dimensionerad för 375 villor. Mälarenergi har dock inte insyn i hur stor del av detta område som idag är bebyggt då det

interna ledningsnätet ägs och drivs av exploatören. Pumpstationerna och ledningssystemen är byggda från och med 2004 och framåt.

Pumpstationen SPU46 togs i drift i februari 2006. Stationen har en betongsump med en diameter på 2 000 mm samt ett hus på ca 12 m². Pumparna är torrumpställda centrifugalpumpar i markplanet med en effekt på 6,0 kW och är utrustade med friströmshjul. Pumpkapaciteten är 9 l/s vid 18,8 mvp.

3.3.2 Problembild svavelväte

Höga halter svavelväte har uppmätts i släppbrunnen SNB6308, nedströms SPU46 och SPU 74 (Arnell & Hedström, 2006). Under en tre-veckors period i augusti 2006 var medelhalten svavelväte i luft 107 ppm, maxvärdet var 496 ppm. Orsaken bedömdes vara lång uppehållstid för spillvattnet inom avrinningsområden till SPU74 och SPU46 samt gasbildning i tryckledningarna. Försök med Nutrioxdosering gjordes, men kontinuerligt låga halter uppnåddes ändå inte.

3.3.3 Uppbyggnad av luftspolningsanläggning

Principerna för dimensionering av kompressorn som Mälarenergi utgick från var densamma som i Luleå, det vill säga att kompressorn ska hinna tömma ledningen på spillvatten under perioden mellan stopp och start för pumparna. Om volymen innan anslutningen från SPU46 på tryckledningen från SPU74 räknas bort, blir den totala ledningsvolymen som kompressorn ska evakuera ca 56 m³.

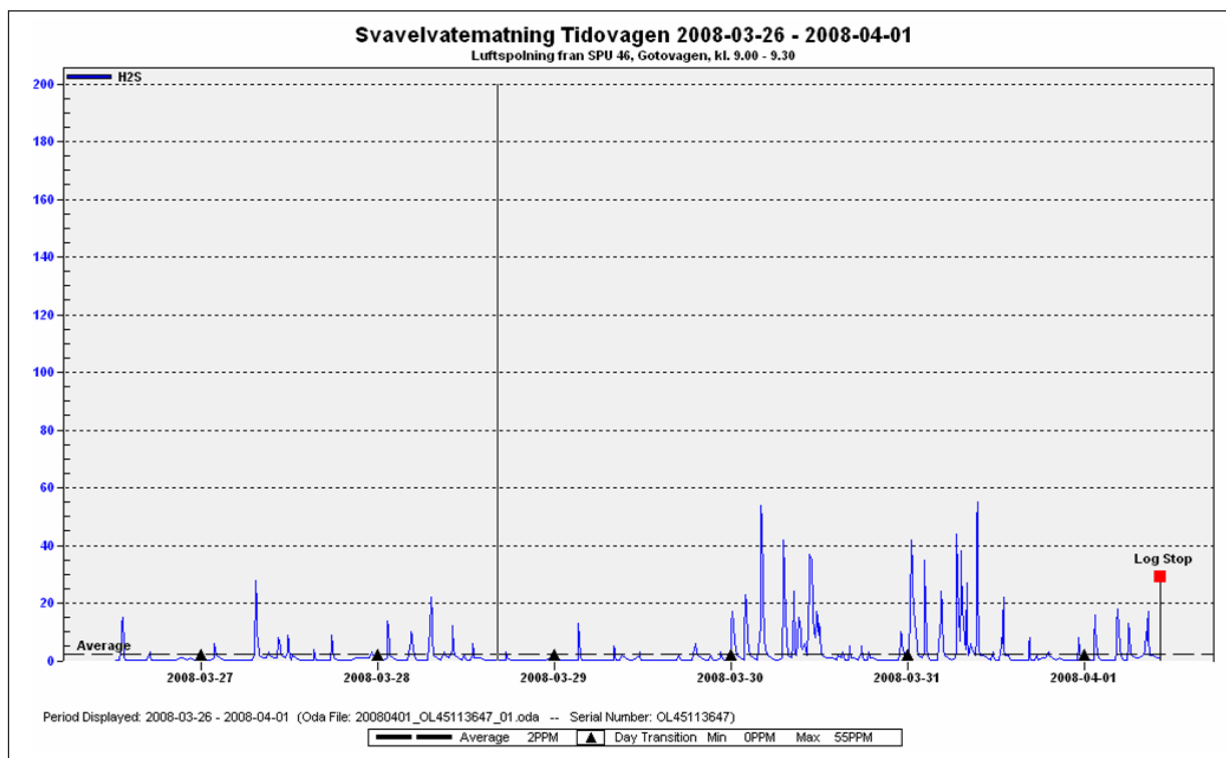
En kompressor av typen Atlas Copco GA18+ beräknades ge ett flöde på 54,8 l/s. Detta innebär att den behöver ca 17 min för att evakuera ledningen vilket bedömdes som möjligt utifrån aktuellt inflöde till pumpstationen och uppmätta intervall mellan start och stopp.

Det luftflöde som kompressorn levererade (54,8 l/s) ställde helt andra krav på ventilationen i pumpstationen än de tallriksventiler som var monterade i stationen från början. Efter råd från kompressorleverantören installerades nya till- och frånluftsdon.

3.3.4 Drifterfarenheter luftspolning

Drifterfarenheterna från anläggningen är goda, men drifttiden är ännu för kort att dra några långtgående slutsatser kring den långsiktiga funktionen. Resultatet av mätningar i släppbrunnen (SNB6308) visar att medelvärdet på svavelvätehalten i luftfasen ligger mellan 1 och 2 ppm med toppar på 40–60 ppm. Dessa toppar uppstår ca 12 timmar efter att luftspolningen skett. I figur 3-7 visas ett kortare intervall från mätperioden (2008-03-26 till 2008-04-01).

Under den första månadens drift av luftspolningsanläggningen inträffade tre larm (driftstörningar). En gång löste pumparna ut på låglast och två gångerna på minimilarmsnivå för axeleffekt. Efter att justeringar i mjukstarten har anläggningen fungerat i två månader utan störning.



Figur 3-7 Svavelvätehalt i luftfasen i släppbrunn SNB6308

3.3.5 Ekonomi

Den totala kostnaden för att driftsätta luftspolningsanläggningen i SPU46, Barkaröby, Västerås uppgick till 400 000 kr. I denna kostnad ingår en del arbeten med styrsystem och pumpprogrammering som skulle genomföras oavsett luftspolning eller inte. För att lättare jämföra luftspolning med andra möjliga åtgärder mot svavelväte gjordes därför en kostnadsberäkning för nästa anläggning. Installationskostnaden för nästa anläggning beräknades till 161 000 kr, det vill säga mindre än hälften av kostnaden för den första anläggningen. Förutom betydligt lägre kostnader för styrning och övervakning bedömdes arbetstiden (och därmed personalkostnaden) bli mycket lägre vid genomförandet av ytterligare en avloppspumpstation med luftspolning. Den kortare arbetstiden motiveras med att utvecklingsarbetet nu är gjort och inte behöver göras igen för följande objekt.

Jämfört med kalciumnitrat (Nutriox), innebär luftspolningsmetoden att de årliga driftkostnaderna minskar till en fjärdedel. Luftspolningsanläggningen som byggdes inom ramen för projektet kommer således att betala sig ekonomiskt efter ca sju år i drift. Nästa luftspolningsanläggning, som förväntas kunna installeras till betydligt lägre kostnad enligt ovan, betalar sig efter ca 4 år vid en jämförelse med dosering av kalciumnitrat (Nutriox).

4 Diskussion

4.1 Svavelvätebildning

Att avloppsledningen är en komplicerad biologisk reaktor framstår med all önskvärd tydlighet i ljuset av de senaste decenniernas forskning inom området. Avloppsledningsnät handlar alltså inte enbart om hydraulik, som man schablonmässigt kan tänkas tro, utan även i högsta grad kemi och biologi. Fortsatt forskning kring VA-ledningsnätens inre liv är viktig och rimligen också utmanande för olika typer av forskare på grund av komplexiteten.

Det har vetenskapligt prövats och funnits gällande att svavelvätebildning i en tryckavloppsledning kan beräknas om man känner till area-volym förhållanden i ledningen, uppehållstiden samt en sulfidbildningsfaktor som i princip beror på hur organiskt "tjockt" och varmt spillvattnet är. När det gäller tryckavloppsledningar varierar inte area-volym förhållandet över tiden eftersom ledningen är helt fylld. Med andra ord, den mikrobiologiskt reaktiva ytan är konstant. Om vi dessutom antar att spillvattenkvaliteten är relativt konstant (enbart hushålls spillvatten) samt att temperaturvariationerna normalt är långsamma förlopp (årstidsbundet), kan man något tillspetsat säga att det räcker att hålla koll på uppehållstiden i ledningen.

I praktiken varierar både spillvattenkvalitet och temperatur, i fallet Luleå i norra Sverige innebär avsteg från normaltillståndet att spillvattnet blir mer utspätt (inläckage) och har lägre temperatur (smältvattenpåverkan). Detta borde följaktligen leda till en sänkning av svavelvätebildningen eftersom mikrobiella processer och därmed även svavelvätebildning är temperaturberoende. Ett förståeligt antagande vore att de biologiska processerna i ledningarna mer eller mindre stannar av vid låga spillvattentemperaturer.

Fullskaleförsöket i Ale, Luleå som redovisas i denna rapport visade dock att svavelvätebildning och därmed mikrobiologisk aktivitet skedde vid spillvattentemperaturer ned mot 8 °C. Detta uppmättes under augusti. Åtgärder mot svavelväte (Nutriox och senare luftspolning) ansåg krävas under hela året för att undvika klagomål på lukt, alltså även under kallare årstider. Även om det inte kan påvisas via mätningar i detta projekt är det följaktligen mycket troligt att svavelvätebildning sker även vid spillvattentemperaturer betydligt under 8 °C. Enligt Hvitved-Jacobsen (2002) är en viss sulfatreducerande bakterie känslig för temperaturvariationer, men om det under längre tid är låg spillvattentemperatur kommer troligen bakteriestammar att utvecklas som är anpassade till kallare vatten.

4.2 När är luftspolning lämplig?

Till viss del bekräftas uppehålltidens betydelse av drifterfarenheter och mätdata från Ale, Luleå (P218). Luftspolning tycks fungera mycket bra

i denna anläggning, men frågan är då vad som egentligen sker i ledningen när luften blåses in varje natt kring kl 02:00. Pumparnas gångtid sjönk betydligt och svavelvätebildningen verkar hållas i schack efter installationen av luftinblåsning. Det finns förmodligen fler förklaringar till detta. Den totala volymen spillvatten som står i ledningen motsvarar tillrinningsvolymen för ett dygn vid normalflöde. Eftersom ledningen har en fördelaktigt flack profil och rördimensionen är relativt liten (110 mm) så bör den inblåsta luften klara att skjuta vattenpelaren framför sig. Luftinblåsningen övertar således en del av pumparbetet samtidigt som den mikrobiologiskt aktiva biohuden i ledningen påverkas kraftigt, dels mekaniskt (luft-vattenrörelser i en hastighet av dryga 2,5 m/s), dels kemiskt/biologiskt (syresättning och därmed ändrade redoxförhållanden). De mätningar av pumpkapaciteten som gjorts i Ale, Luleå pekar dessutom på att luftspolningen gör att ledningens kapacitet bibehålls. Även de positiva resultaten så här långt från Barkaröby (SPU46) tyder på att denna typ av anläggning (pumpstation+tryckledning) är lämplig för luftspolning. Profilen på ledningen är flack och jämn och rördimensionen är relativt liten (140 mm).

På samma sätt kan de dåliga erfarenheterna av luftspolningstekniken i Antnäs, Luleå (P244) förklaras. Det är en grov tryckledning med rejäla svackor och flera höjdpunkter med luftare på sträckan. Även om det är svårt att bevisa vad som exakt skedde i ledningen under luftinblåsning pekar det mesta på att tömning av ledningen med hjälp av luftspolning var svår att uppnå. Dessutom, haverier på ledningen orsakades förmodligen på grund av luft som ej kunde evakueras. Bland annat Jönsson (1993) har beskrivit att det krävs höga vattenhastigheter för att transportera bort isolerade luftfickor i tryckledningar. I samma studie angavs också flera negativa konsekvenser av luftfickor, bl.a. nedsatt kapacitet, trycktransienter och instabil strömning i ledningen.

4.3 Möjliga förbättringar av luftspolningstekniken

Erfarenheter från den permanenta luftspolningsanläggningen i Barkaröby, Västerås pekade på att luftspolning möjligen skulle ske oftare än en gång per dygn. Ökningen av svavelvätehalterna som uppmäts efter 12 timmar skulle därmed kunna undvikas. Möjligen är luftspolningen och därmed tömningen av tryckledningen mindre effektiv här jämfört med fallet Ale, Luleå. Den snabbare ökningen av svavelvätehalten kan också bero på en något högre spillvattentemperatur i Västerås jämfört med Luleå.

Möjligheten att köra luftspolningscykeln tätare eller glesare, till exempel per automatik utifrån parametrarna uppehållstid eller svavelvätehalt, vore en intressant utveckling av metoden. Om det dessutom gick att höja effektiviteten i tömningen av ledningen genom att laborera med luftflöde eller utformning av tryckledningen borde detta ge kortare uppehållstider och ytterligare hämma de mikroorganismer i biohuden som producerar svavelväte.

4.4 Andra åtgärder och strategier mot svavelväte

Sulfid/svavelvätbildning kan försvåras eller förhindras genom en mängd olika åtgärder och strategier. I detta projekt har det funnits många tillfällen att reflektera kring detta. De åtgärder som redan omnämnts är dosering med kalciumnitrat (Nutriox) som bidrar med en "harmlös" elektronacceptor när syret tar slut samt pluggrensning för att reducera biohudens tjocklek och sedimentansamlingar. Båda metoderna är bra men kemikalier är dyrt och pluggrensning tidskrävande. Pluggrensning som ensam åtgärd är oftast inte praktiskt möjlig med tanke på att svavelväteproblemen förmodligen snart återkommer, vilket skulle kräva alltför täta rensningar. De senaste årens erfarenheter från Luleå är dock att regelbunden pluggrensning ger ett bra utgångsläge både kapacitetsmässigt och för att dämpa svavelväteproblemen.

Övriga åtgärder som diskuterats är återluftning/syresättning av avloppsvatten, förhindra sedimentbildning i ledningsnätet samt bättre självrensning som reducerar biofilmens tjocklek. Vad gäller återluftning bör syrehalten inte understiga 0,2–0,5 mg/l för att möjliggöra oxidation av sulfid och förhindra avgasning till luftdelen i spillvattenledningen. Detta är framför allt en process som fortgår naturligt i delvis fyllda självfallsledningar. När det handlar om fyllda ledningar så återstår enbart tillsats av trycksatt luft eller syrgas. Denna teknik har begränsad tidshorisont och måste återupprepas med givna tidsintervall (lägen) vid längre uppehållstider. En annan möjlighet är att tillse att det vatten som lämnar en pumpstation är helt mättat med luftsyre, huruvida detta kan ge någon positiv effekt måste beräknas från fall till fall.

Att reducera sedimentbildning handlar ofta om att anlägga ledningen korrekt, så att sättningar och ojämnheter i ledningsprofilen undviks. Detta är en initial insats som sedan ger effekt i uppemot 100–150 år, en insats som bortrationaliserades under framför allt 1970-talet då den tidigare yrkesmässiga manuella rörläggningen med noggrann läggning i enhetlig rörbädd på många håll ersattes av slarvigare läggning av lättare rörmaterial i eftergivligt eller inhomogent fyllnadsmaterial. Flera stora bostadsområden som byggdes ut under kort tid under 1970-talet har varit och är idag föremål för omfattande underhålls- och förnyelsearbete, exempelvis Hertsön i Luleå. Idag är vi återigen medvetna om betydelsen av kvalitativ rörläggning så att tvärsnitt, transportförmåga och jämn ledningsprofil vidmakthålls.

Biofilmens tjocklek kan reduceras med en god självrensning. För att nå tillräcklig självrensning behöver skjuvspänningen nära rörväggen uppnå vissa kritiska nivåer. I trycksatta rör är här vattenhastigheten avgörande. Med högre vattenhastighet ökar friktionen och skjuvspänningen, det vill säga den energi som frigörs nära rörväggen och som river loss en del av biofilmen. För mindre rördiametrar (< 0,4m) motsvarar den rekommenderade skjuvspänningen en vattenhastighet på ca 1 m/s, för större rör behövs värden överstigande 1,2–1,4 m/s. En vattenhastighet på dessa nivåer medför hög energiförbrukning per transporterad volym, med ett system så utformat att erforderliga höga flöden genereras en gång per dygn kan rimlig driftsekonomi sannolikt nås.

5 Slutsatser

När spillvattnet transporteras genom långa tryckavloppsledningar sker en mängd kemiska och biologiska processer som förändrar spillvattnets sammansättning. Det finns idag modeller för att beräkna förväntad svavelväteproduktion utifrån parametrarna uppehållstid, spillvattenkvalitet, temperatur och rördimension.

Fullskaleförsök i Luleå och Västerås visar att luftspolning är en fungerande åtgärd för att minska svavelvätebildningen i spillvattennätet. Förutom att förhindra svavelvätebildning, kan luftspolningen minska gångtider och därmed livslängd på pumpar samt bibehålla ledningens kapacitet. Dessutom är luftspolning klart ekonomiskt fördelaktig jämfört med dosering med kalciumnitrat. Regelbunden pluggrensning av tryckavloppsledningen är ett bra och ibland nödvändigt komplement till luftspolning.

Luftspolningstekniken har dock tydliga begränsningar, som då tryckavloppsledningen har flera tydliga höjdpunkter och svackor samt luftare som inte kan stängas utan risk för ledningens funktion. I detta fall bör en annan åtgärd för svavelvätebekämpning väljas, exempelvis dosering med kalciumnitrat.

Möjligheten att reglera luftspolningsintervallen utifrån behovet bör utvecklas. Ytterligare hydrauliska studier krävs för att bättre förstå och om möjligt förbättra tekniken, exempelvis om luften blandas med vattnet och på så vis skapar turbulens eller om den inblåsta luften rör sig som en plugg genom röret.

Sammanfattningsvis så är luftspolning som teknik för bekämpning av svavelväte i avloppsnät ett realistiskt och fungerande alternativ. För att framgångsrikt nyttja denna teknik krävs dock att ledningssträckans hydraulik är känd och ingenjörsmässigt förstådd samt att hinder för en god funktion identifieras och åtgärdas.

6 Referenser

Arnell, A-C. och Hedström, H. (2006) Svavelvätemätningar på avloppsledningsnätet i Västerås, juni – september 2006.

Internrapport Mälarenergi AB, 2006-10-31

Hvitved-Jacobsen, T. (2002). Sewer Processes: microbial and chemical process engineering of sewer networks. CRC Press.

ISBN 1-56676-926-4

Jönsson, L. (1993). Luft- och sedimentansamlingar i tryckledningar.

Inledande studie. VA-Forsk rapport nr 1993-02.

Ledskog, A., Larsson, S-G. och Lindqvist, B-G. (1994). Svavelväteproblem i avloppsledningar – drifterfarenheter och tillämpbara anvisningar. VA-forsk rapport nr 1994-07.

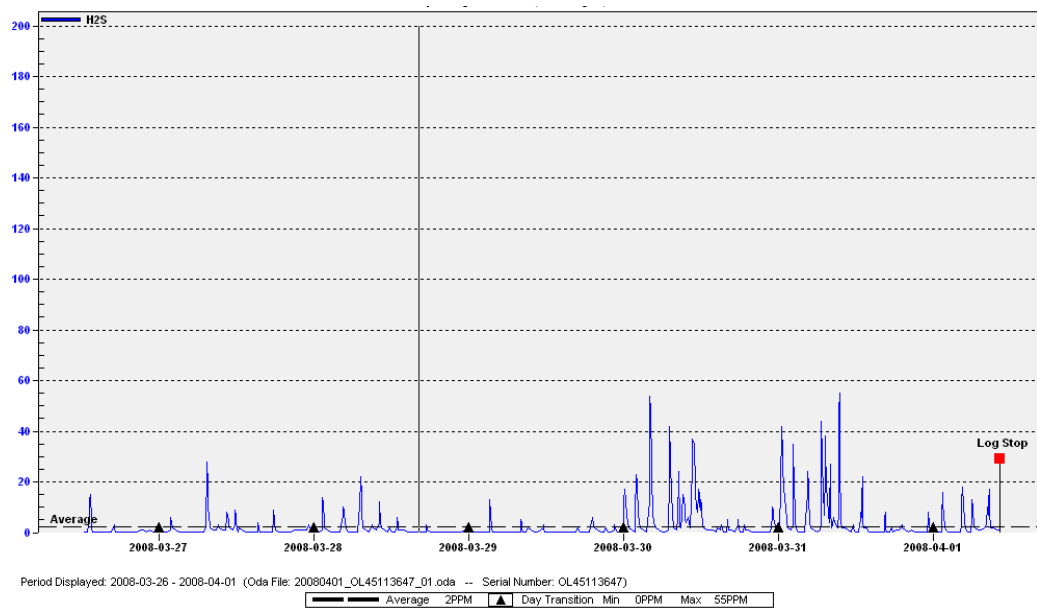
Bilaga 1

Luftspolning – installation i en pumpstation med torruppställda pumpar

Internrapport av Daniel Johansson, Mälarenergi, 2008-09-06

Luftspolning

Installation i en pumpstation med torruppställda pumpar



Daniel Johansson

Förord

Denna rapport är en del i slutrapporteringen av Mälarenergis projekt Svavelvätebekämpning genom luftspolning. Den beskriver installation och automatisering av en luftspolningsanläggning. Syfte med rapporten är att i detalj försöka återge hur vi har gjort och tänkt under projektets gång samt att redogöra för våra erfarenheter.

Samtidigt är detta ett farväl från mig i och med att jag nu slutar på Mälarenergi. Jag vill därför rikta ett stor tack till alla mina arbetskamrater på Mälarenergi. Min förhoppning är att vi finner nya samarbetssätt också i framtiden. Detta projekt är ett bevis på vår uppfinningsrikedom och sökande efter nya lösningar.

Västerås 2008-09-06

Daniel Johansson

Innehåll

1	Bakgrund till luftspolningsprojektet på Mälarenergi	4
2	Förutsättningar för luftspolning i SPU46, Gotövägen, Barkarö	5
2.1	Beskrivning av tillrinningsområdet	6
3	Uppbyggnad av luftspolningsanläggningen	7
3.1	Dimensionering av kompressorn	7
3.1.1	Fysiska begränsningar och lösningar	7
3.2	Rörsystemet	7
3.3	Ventilation	12
3.4	Mätning av temperatur och svavelväte	16
3.5	Styrning och övervakning av pumpstationen	16
3.5.1	Beskrivning av programmet för luftspolning	17
3.5.2	Kommunikation mellan kompressorn och undercentralen	18
3.5.3	Övervakningssystemet	18
4	Idrifttagning	19
4.1	Första försöket	19
4.1.1	Ändringar efter första försöket	19
4.1.2	Omprogrammering av styrsystemet	21
4.2	Andra försöket	21
4.2.1	Ändringar efter andra försöket	21
4.3	Tredje försöket	21
5	Förbättringsförslag	22
5.1	Genomförda förbättringar	23
6	Ekonomi	24
7	Tankar kring tekniken i framtiden	26
7.1	Slutsats	26

1 Bakgrund till luftspolningsprojektet på Mälarenergi

Projektet är en fortsättning på Mälarenergis pilot från 2006, vars syfte var att med hjälp av luftspolning bekämpa svavelväte. Arbetet genomfördes av Ann-Charlotte Arnell och Hans Hedström på pumpstationerna SPU26, SPU46 och SPU74. Nedan återges slutsatsen från deras rapport ”Svavelvätemätningar på avloppsledningsnätet i Västerås”.

”Under hösten 2006 har ett försök att ersätta Nutrioxdoseringen i SPU74 Örtagården och SPU46 Barkarö Gotövägen med luftspolning av tryckavloppsledningarna pågått. Mätningarna från försöket visar övervägande goda resultat. Förslaget är att Mälarenergi utvidgar provperioden för att senare permanenta lösningen. Placeras kompressorn i SPU46 Barkarö Gotövägen kan den ersätta Nutrioxdoseringen både i denna station och i SPU74 Örtagården.”

I januari 2007 fick vi besök av kollegorna från Luleå kommun. De föreslog att Mälarenergi ska involveras i framtagningen av en Svenskt Vattens utvecklingsrapport om svavelvätebekämpning med hjälp av luftspolning.

Mälarenergi åtog sig att permanenta en automatisk luftspolningsanläggning i SPU46 samt att genom mätningar försöka visa på sambanden mellan ökad spillvattentemperatur och ökad svavelvätebildning.

3 Uppbyggnad av luftspolningsanläggningen

Nedan följer en beskrivning av byggnationen och de erfarenheter som erhållits i denna fas av projektet.

3.1 Dimensionering av kompressorn

Hypotesen som Mälarenergi och Luleåkommun har utgått ifrån för dimensionering av kompressorn, är att den ska hinna tömma ledningen på spillvatten under perioden mellan stopp och start för pumparna. Om volymen innan anslutningen från SPU46 på tryckledningen från SPU74 räknas bort, blir den totala ledningsvolymen som kompressorn ska evakuera ca 56 m³.

En kompressor av typen Atlas Copco GA18+ ger ett flöde på 54,8 l/s. Detta innebär att den behöver ca 17 min för att evakuera ledningen enligt hypotesen. Pumparna i stationen går inte så ofta beroende på lågt inflöde av spillvatten. Därför är det mycket lätt att hitta perioder på 17 min per dag som kompressorn behöver för att tomma ledningen och då pumparna står still. Därmed uppfylls dimensioneringsvillkoret.

3.1.1 Fysiska begränsningar och lösningar

Storleken på säkringen kan vara en begränsning i en befintlig station då motorn i en kompressor oftast har en högre effekt än spillvattenpumparna. De befintliga säkringarna i pumpstationen är tillräckliga eftersom kompressorns motoreffekt är 18,5 kW, vilket är tre gånger högre än pumparnas effekt.

I SPU46 fanns en yta längs in i det vänstra hörnet som kompressorn fick plats i. Men kompressorer är tunga, vår vägde 495 kg, vilket gjorde att det inte var lätt att få in den i hörnet, förbi pumpar och rör. I de stationer som Mälarenergi nu bygger förbereder vi en lättåtkomlig yta för en eventuellt framtida installation av kompressor. Utrymmet skapas genom att huset behåller samma area men inte längre centreras över sumpen. Denna åtgärd frilägger en yta direkt innanför dörren.

Kompressorer innehåller en del olja som vid ett haveri kan rinna ut på golvet och utgöra en arbetsmiljörisk samtidigt som olja inte ska släppas ut på spillvattennätet. Den installerade kompressor innehåller 7,5 liter olja. För att undvika haveriskador har vi därför placerat kompressorn i en balja av rostfri plåt.

3.2 Rörsystemet

Sammankopplingen av kompressorn och pumparnas tryckledning är egentligen mycket enkel. Problemet är att dessa två olika medium normalt inte förekommer i samma system vilket gör att det inte finns några färdigutvecklade applikationer för detta.

Från början hade vi tänkt använda en backventil på luftledningen för att förhindra att spillvatten kommer in i kompressorn. Men det finns inte en backventil i en tillräcklig liten dimension, som både är konstruerade för luft och för spillvatten.

Problemet har vi löst genom att kompressorn står i standby-läge och att styrningen av luftspolningen sker via en magnetventil på luftledningen. Luften i ledningen motverkar samtidigt att vattnet kommer in i kompressorn. Detta fungerar så länge det inte finns ett läckage på ledningen. Men om ett läckage uppstår kommer kompressorn att känna av det sjunkande trycket och starta.

På följande sidor visas en bildserie över de komponenter som finns med på luftledningen.



Figur 3 Bilden visar en översikt över luftledningen



Figur 4 På utgående luftledningen från kompressorn har vi en avstängning i form av en kulventil, ett filter, en tryckregulator och en magnetventil



Figur 5 Bilden visar filtret som används för att filtrera bort oljan som finns i tryckluften



Figur 6 För att inte skada ledningen valde vi att inte använda ett högre lufttryck än vad pumparna ger dvs. ca 2,5 bar



Figur 7 Bilden visar den magnetventil som har använts

För att kunna genomföra rörrensning, ansluts ledningen till blindflänsen på pumparnas tryckledning via en tryckklassad slang. Det är viktigt att slangen är lite längre än själva avståndet mellan blindflänsen och luftledningen. En alldeles för tajt slang blir mycket svår att hantera. För att snabbt kunna stänga av och koppla bort slangen valde vi att sätta en kulventil och en klockoppling som anslutning mot flänsen.

Observera att anslutningen av slangen inte ska ske med slangklämmor som visas i figur 9, utan med riktiga tryckklassade kopplingar.



Figur 8 Tryckklassad slang



Figur 9 Anslutning mot blindfläns

Kompressorn har en automatisk kondensavtappning som idag avleds direkt ner i sumpen, se Figur 10. För att inte släppa ut oljehaltigt vatten på ledningsnätet samlar vi till en början upp vattnet i en dunk för att först kunna bedöma mängderna och därefter hitta en lämplig lösning för att hantera problemet.

Fokus för projektet har legat på igångsättning av själva funktionen vilket har medfört att vi har satt igång processen utan att ha hittat en permanent lösning för avtappningen.



Figur 10 Bilden visar kondensavtappning

3.3 Ventilation

Kompressor levererar ett luftflöde på 54,8 l/s, vilket ställer helt andra krav på ventilationen i pumpstationen än de talriksventiler som var monterade i stationen från början. Efter råd från kompressorleverantören installerades nya till- och frånluftsdon. På kommande sidor följer en bildserie som beskriver installationen.

Figuren nedan visar tilluftsdonet med intagsgaller från utsidan. Det är viktigt att tillufts- och frånluftsdonet inte sitter för nära varandra. Detta för att minimera risken för rundgång av luften.



Figur 11 Tilluftsdonet, sett utifrån

Nästa figur visar tilluftsdonet från insidan av huset. Donet består av ett rör på 315 mm och en filterhållare med ett filter samt en jalusi så att stationen inte ventileras mer än nödvändigt när kompressorn inte är i drift.



Figur 12 Tilluftsdonet, sett innifrån

Bilden nedan visar hur filtret är monterat i filterhållaren. Notera det smidiga spännet för att öppna luckan till filterhållaren.



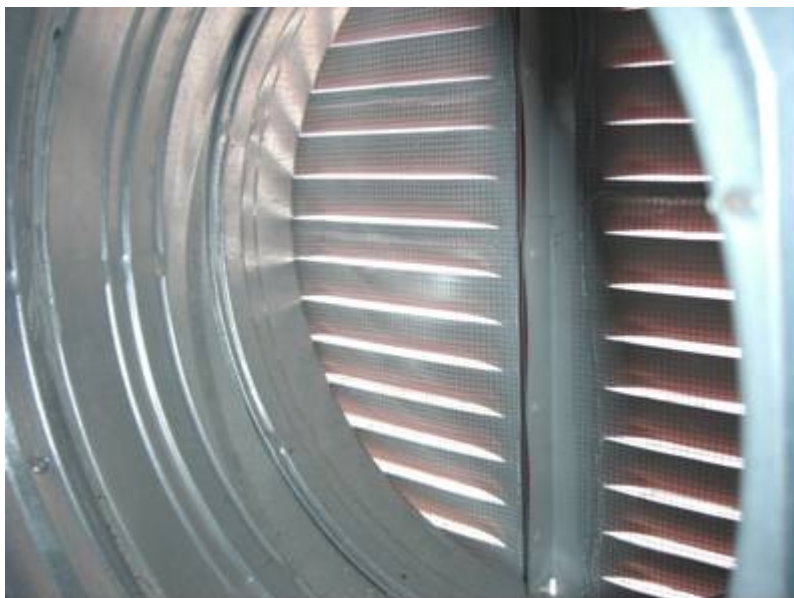
Figur 13 Filterhållaren

Figur 14 visar filtrets storlek och dess kvalitet. Filter ska bytas ut när det ser smutsigt ut.



Figur 14 Filtret

Innanför intagsgallret finns ett finmaskigt nät för att förhindra att djur och fåglar kommer in i stationen, vilket visas i figuren nedan.



Figur 15 Nätet

Figur 16 visar kompressorns avluftningshuv och genomförning i väggen. Kompressorns kylluft måste avledas ut genom väggen, annars blir lufttemperaturen inne i stationen för varm. Även här är dimensionen på röret 315 mm.



Figur 16 Avluftningshuv

Figur 17 visar frånluftsdonet från utsidan. Det mindre gallret ovanför jalousin är stationens ordinarie ventilationsdon. Då jalousivingarna är lätta att förstöra har vi monterat ett sabotageskydd framför dessa.



Figur 17 Frånluftsdonet, sett utifrån

3.4 Mätning av temperatur och svavelväte

Temperaturmätningen på spillvattnet var tänkt att ske med en givare nedsänkt i sumpen trots att det medförde en risk för fettansamling på givaren. Alternativet var att mäta på utsidan av tryckledningen men vi ansåg inte att detta kunde ge en rättvisande återgivning av spillvattentemperaturen. Eftersom det inte var problemfritt att få igång själva funktionen på anläggningen, bortprioriterades temperaturmätningen i detta skede av projektet.

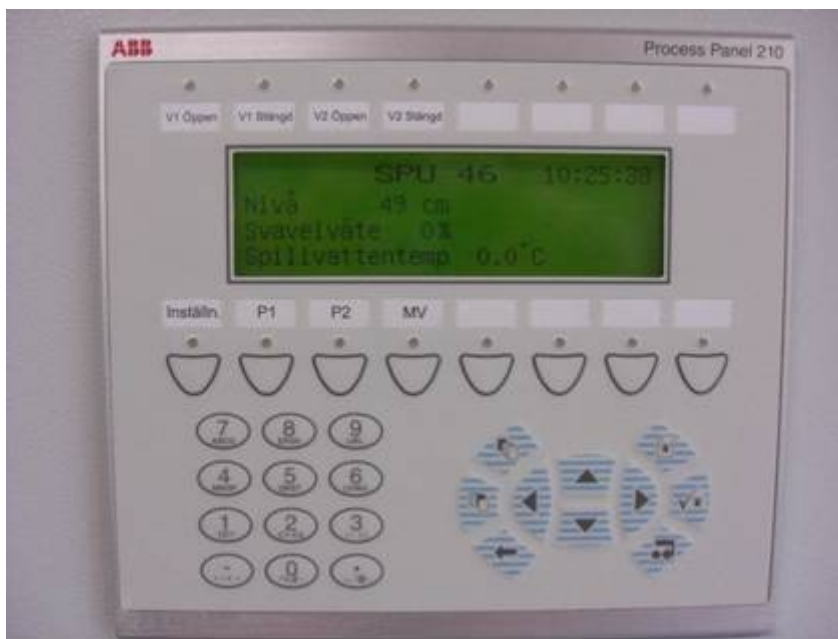
När det gäller mätningen av svavelvätet undersökte vi först om det var möjligt att utföra en stationär mätning i pumpstationen och i släppbrunnen. Denna typ av uppföljning ställer krav på strömförsörjning, en fuktsäker placering för givaren och möjlighet för givaren att skicka in signalen till ett övervakningssystem. I pumpstationen finns förutsättningar för allt detta. Tryckledningens släppbrunn ligger däremot ute på en grönyta långt från någon strömförsörjning och övervakningssystem. Strömförsörjningen kan lösas med hjälp av solceller och batterier och signalöverföringen kan lösas genom GSM-teknik eller via radio. Men enligt kollegor i andra kommuner är livslängden på svavelmätaren drygt ett år, beroende på att givarens mät kropp är en förbrukningsvara. Vi ansåg därmed att en stationär svavelvätemätning i släppbrunnen är en för dyr lösning.

Förutsättningarna för svavelvätebildningen ändrar sig inte så fort vilket gör att anläggningen inte behöver styras automatiskt, utifrån koncentrationen av svavelvätet i släppbrunnen. Vi valde istället att följa upp anläggningens funktion med hjälp av portabla Odal-logger.

3.5 Styrning och övervakning av pumpstationen

När projektet startade bestod övervakningen i pumpstationen endast av ett GSM-larm för hög nivå i sumpen. Anledningen till detta var att vi stod inför ett generationsskifte på undercentralerna. Tidigare hade vi använt ABB:s OP45 eller någon av Swedmeter:s olika paneler för övervakning och pumpstyrning. Men båda dessa har eller kommer att fasas ut.

Ersättningen blev ABB:s AC 800M typ PM856. Den kan både styra luftspolningen och pumparna. Till en början var planen att inte använda någon operatörspanel då styrparametrarna i programmet inte behöver ändras så ofta. Men vi insåg snabbt hur bra det var att samla in alla vissnings- och styrparametrar i ett och samma gränssnitt och slippa ha med datorn till stationen. ABB:s process panel 210 blev valet, se figur 18.



Figur 18 Den nya processpanelen

Med den nya hårdvaran följde ett nytt programmeringsverktyg, *control builder*. Detta gjorde att vi blev tvungna att köpa programmeringen av AC800 från FVB. De fick i uppdrag att programmera luftspolningen och att skriva om det gamla pumpstyrningsprogrammet som är anpassad efter Mälarenergis övervakningssystem.

3.5.1 Beskrivning av programmet för luftspolning

Programmet är i stora drag uppbyggt på följande vis. Kompressorn står i standby-läge och luftspolningen styrs med hjälp av magnetventilen på luftledningen. En tid ställs in för hur länge luftspolningen ska pågå och när det ska ske. För att det ska bli tydligt när luftspolningen verkligen äger rum samt att luftspolningssekvensen inte stör start av pumparna används en hysteres.

Om nivån i sumpen är högre än den valda intervallen för hysteringen, startar en av pumparna för att pumpa ner nivån i sumpen till stoppnivån. Därefter öppnas magnetventilen. Om nivån i sumpen däremot är mindre än det inmatade värdet för hysteringen, öppnas magnetventilen direkt.

Medan luftspolningen pågår är pumparna förreglade. Om nivån i sumpen hastigt stiger till startnivån, avbryts luftspolningen. Pumparna kan då tömma sumpen ner till stoppnivån, för att undvika en bräddning. När den inställda tiden för luftspolningen har gått ut, stängs magnetventilen och kompressorn går ner i standby-läge. Någon av pumparna startar igen, när startnivån i sumpen återigen har uppnåtts.

I programmet ingår även styrning för tvåpumpsdrift.

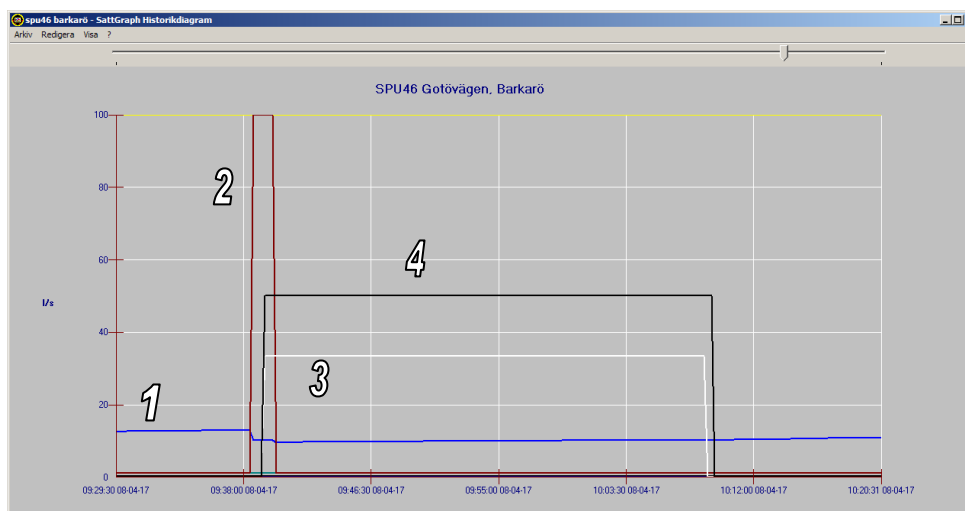
3.5.2 Kommunikation mellan kompressorn och undercentralen

Atlas Copco har en ny utrustning som skulle göra det möjligt med nätverkskommunikation mellan AC800 och operatörspanelen på kompressorn. Kommunikationsutrustningen skulle möjliggöra en direkt styrning av kompressorn samt en djupare analys av exempelvis energiåtgången. Genom direktstyrning av kompressorn skulle magnetventilen fungera som en backventil för kompressorn.

Men FVB kunde inte upprätta en kontakt mellan AC800 och kompressorn. De fick heller aldrig någon information från Atlas Copco om vilken signal som visar vad. Därför har vi idag endast en signal via ett relä in i övervakningssystemet från kompressorns motor. Genom den kan vi kontrollera om kompressorn är i drift samtidigt som magnetventilen är öppen. Gör den inte det, utlöses ett larm.

3.5.3 Övervakningssystemet

Nedan visas en bild från övervakningssystemet Satt Graf 2000. Grafen beskriver en luftspolningscykel. Den blåa kurvan (nr 1), åskådliggör nivån i sumpen. Den bruna kurvan (nr 2), visar strömmen för P1, den vita kurvan (nr 3), beskriver magnetventilen och den svarta kurvan (nr 4) visar kompressorns motor.



Figur 19 Graf på luftspolningscykel från övervakningssystemet

Grafen visar att P1 har gått in och pumpat ner nivån i sumpen innan magnetventilen öppnar och kompressormotor startar. Kompressormotorn är sedan i drift ett kort tag efter att magnetventilen har stängt för att därefter gå ner i standby igen.

4 Idrifttagning

4.1 Första försöket

Vid första försöket fungerade inte anläggningen alls. Pumparna löste hela tiden ut på låglast vilket ledde till att försöket avbröts.

Efter genomgång av försöket och jämförelse med den i inledningen omnämnda piloten hittade vi felet. Pumparnas avstängningsventiler var stängda under luftspolningen. Därför automatiserade vi avstängningsventilerna genom att montera elektroniska ventildon. Åtgärden minimerar risken med att luften kommer ner i pumphusen.

4.1.1 Ändringar efter första försöket

Nedan visas en av de automatiska avstängningsventilerna till P1 och P2. Ventildonet är Ventims unic – 10. Som det framgår av figuren nedan fick vi anpassa donen till befintliga kulventiler med hjälp av en adapter.



Figur 20 Ventildon med adapter



Figur 21 I det runda visarglasat finns det en mekanisk visualisering om ventilen är öppen eller stängd

Figur 22 visar manöverskåpet för avstängningsventilerna V1 och V2. Den översta raden används för att styra ventilerna i läge hand. Den undre raden används för att välja driftläge för ventilerna, dvs. hand, automatik eller om de ska vara avstängda.



Figur 22 Manöverskåp för avstängningsventiler

4.1.2 Omprogrammering av styrsystemet

Programmet för styrningen av pumparna och luftspolningen skrevs om för att inkludera automatiserad ventilstyrning. Ventilerna manövreras vid varje start och stopp och är alltid stängda tills en av de två pumparna får startsignal. När det har skett, öppnas ventilen samtidigt som pumpen varvas upp. Ventildonet får stängningssignal vid en nivå i sumpen som ligger högre än stoppnivån för pumparna, eftersom ventildonet har längre stängningstid än vad pumparnas nedrappningstid är. Genom att ventilen är helt stängda när pumpen stannar, minimeras risken för att luft från tryckledningen ska komma in i pumpen. Stängda avstängningsventiler är också ett villkor för att magnetventilen ska öppnas.

4.2 Andra försöket

Med rätt utrustning och rätt program trodde vi att luftspolningen nu skulle fungera men det blev ändå ett bakslag. Pumparna löste ut på låglast återigen. Efter tester, kunde vi konstatera att allt som vi har byggt till fungerade och att felet måste ligga någon annanstans.

Pumparna löste även ut när luftspolningen inte var i drift, och oftast var det P2 som löste ut. Vi lyfte upp pumpen för kontroll av kulbackventilen och upptäckte att kulan inte rullade tillbaks till ventsättet utan hade fastnat på sättets kant. Detta orsakade att pumparna tappade sin sugförmåga, eftersom pumphuset och sugröret blev fyllda med luft när vattnet i pumpen runnit ut. Vid kontrollen upptäckte vi också att pumparnas avluftsventiler läckte.

4.2.1 Ändringar efter andra försöket

När pumparnas avstängningsventiler är stängda blir mottrycket på backventilerna mindre än om hela vattenpelare från tryckledningen pressar på backventilen. Det reducerade trycket är inte tillräckligt högt för att trycka tillbaka kulan mot ventsättet. Av denna anledning håller inte kulbackventilerna tätt. Istället monterades klaffbackventiler som stänger och tätar bättre vid små mottryck och de läckande avluftsventilerna byttes ut.

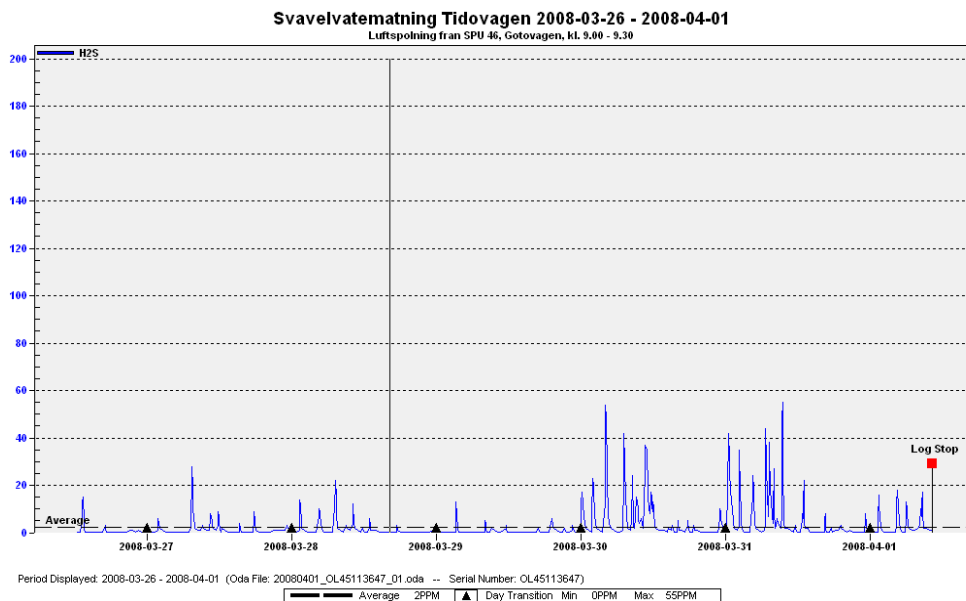
4.3 Tredje försöket

Äntligen fungerade allt! Efter att en vecka gått utan driftstopp kunde vi börja le och efter tre månader kunde vi fastslå att anläggningen nu fungerar.

Anläggningen har sedan igångsättningen i slutet av januari endast löst ut tre gånger. En gång löste pumparna ut på låglast och två gångerna på minimilarmsnivå för axeleffekt. Efter det att vi har justerat den parametern i mjukstarten har anläggningen fungerat i två månader utan störning.

5 Förbättringsförslag

Resultatet av mätningar i släppbrunnen visar att medelvärdet på svavelvätebildningen ligger mellan 1 och 2 ppm med toppar på 40-60 ppm. Dessa toppar uppstår ca 12 timmar efter att luftspolningen skett. En jämn och låg koncentration över hela dygnet skulle kunna uppnås om en till luftspolning utförs per dag. Programmet ska skrivas om för att möjliggöra detta. Nedan visas en kortare intervall från mätperioden.



Figur 23 Graf över svavelvätebildningen i SNB6308

Det oljehaltiga kondensvattnet ska tas omhand på ett bättre sätt. Under en tid samlas vattnet upp i en dunk för att se hur stora volymerna blir. Ett förslag på lämplig hantering är att installera en liten oljeavskiljare för kompressorer. Ett annat är att fortsätta samla upp vattnet i dunkar för att sedan köra dessa vidare till någon av Mälarenergis oljeavskiljare. Vid stora volymer blir det sista förslaget ett sämre val, sett ur ett arbetsmiljöperspektiv.

Kopplingen på blindflänsen används också för att fylla pumparna med vatten när de fått luft i sig. För att underlätta detta arbete kan anslutningen ske med ett t-rör med två kulventiler. Den ena anslutningen används för att fylla på vatten i tryckröret och den andra för luftspolningen. Luftspolningen kan då utföras med en skruvkoppling istället för den inte lika säkra klockkopplingen som vi använder idag. Slanganslutningen ska inte ske med slangklämmor utan med riktiga tryckklassade kopplingar.

Fler larm kan också behövas för bättre övervakning av anläggningens funktion.

I de nya pumpstationer som Mälarenergi bygger kommer vi att installera avstängningsventiler som är anpassade för ventildon. Detta medför att installationen och funktionen på ventilstyrningen blir bättre eftersom ingen adapter behövs mellan ventil och don.

Styrningen av pumpstationen via den nya driftpanelen har blivit mycket lyckat. Nästa gång kan vi bygga upp en speciell meny i driftpanelen för att styra ventilerna. Detta gör att vi inte behöver ett separat skåp för ventilstyrningen.

5.1 Genomförda förbättringar

Under färdigställandet av denna rapport, uppmärksammade jag att kompressorn hade stått avstängd en tid och att den läckte olja. Detta hade inte upptäckts omgående, beroende på ett icke fungerande larm. Larmet borde ha löst ut när kompressorn inte var i drift samtidigt som magnetventilen var öppen. Följden blev att spillvatten trycktes tillbaka intill luftfiltret som då fylldes med vatten. Sedan fastnade filtrets avtappningsventil och spillvatten började läcka ur filtret.

Kompressorleverantören hittade en lösning på båda problemen. Kompressor läckte olja pga att den inte hann tryckutjämna när magnetventilen stängde. Därför öppnades kompressorns säkerhetsventil. Problemet avhjälpes genom att kompressorn får arbeta mot en tank på 100 liter.

Lösningen är också bra ur ett säkerhetsperspektiv. Spillvatten som eventuellt kommer tillbaks i luftledningen kommer att samlas upp i tanken. Figur 24 visar lufttankens placering i det nya rörsystemet. Kostanden för den här installationen är inte med i den ekonomiska analysen eftersom inköpet mm gjordes efter att jag har slutat på Mälarenergi.



Figur 24 Installation av lufttank

6 Ekonomi

Det har funnits två delar i detta projekt. Det ena är installationen av ny utrustning för styrning och övervakning samt konverteringen av det gamla pumpprogrammet. Den andra är automatisering av luftspolningen. Den första delen skulle ändå ha genomförts men blev nu en del i svavelvätebekämpningen då vi måste ha det ena för att kunna göra det andra.

Tabellen nedan visar en sammanställning över projektets ekonomi. Kolumnen ”Uppdatering av styrning & övervakning” redovisar kostnaden för att endast göra den första delen av projektet. En kostnad som uppgår till ca 103 00kr. Resterande del av kostnaderna har tillkommit pga luftspolningen och uppgår till ca 298 000kr, vilket visas i kolumnen ”Endast luftspolning”.

Kostnadsposter		Kostnader för hela projektet	Del 1 Uppdatering av styrning & övervakning	Del 2 Endast luftspolning	Beräknade kostnader för nästa anläggning
		Skr	Skr	Skr	Skr
Kompressor		75 000		75 000	75 000
Balja till kompressor		2 751		2 751	2 751
Rörsystem		11 765		11 765	11 765
Ventilation		10 000		10 000	10 000
Styrning & övervakning	Hårdvara	53 601	37 489	16 112	
Styrning & övervakning	Programmering	79 655	53 125	26 530	5 000
Automatiska ventiler		16 472		16 472	16 472
Arbetstid		145 471	12 000	133 471	40 000
Övrigt		5 655		5 655	
Summa		400 369	102 614	297 755	160 988
Summa VVS-installation					40 988

Driftkostnaderna för svavelvätebekämpning med Nutriox i SPU46 och SPU74 har uppgått till ca 60 000 kr/året. För luftspolningen uppskattas denna kostnad till ca 10–15 000 kr/år. Kostnaderna omfattar elanvändning och underhåll av luftspolningsanläggningen. Jämfört med Nutriox, innebär luftspolningsmetoden att de årliga driftkostnaderna minskar till en fjärdedel.

Det innebär att luftspolningsanläggningen som byggdes inom ramen för projektet kommer efter ca sju år i drift att börja betala sig ekonomiskt. Men mycket av utvecklingsarbetet är nu genomfört och kommer inte att behöva göras om. I sista kolumnen redovisar jag därför de beräknade kostnaderna för en ny

luftspolningsanläggning. Enligt de beräkningarna är det inte omöjligt att uppnå en halvering av investeringskostnaderna, vilket skulle leda till att anläggningen kan betala sig efter ca 4 år.

Styrnings- och övervakningskostnaderna kommer i fortsättningen att troligtvis endast bestå av uppdatering av menyer i driftpanelen samt närvaro vid idrifttagningen. När det gäller arbetstid, har jag endast räknat med den tid som åtgår för installation av anläggningen.

Ovanstående beräkning innefattar inte kostnaderna för ett test om det överhuvudtaget är möjligt att använda svavelvätebekämpningen med hjälp av luftspolning.

De grönmarkerade rutorna redovisar de kostnader som ryms inom en VVS-installation. I projektet uppgick dessa kostnader till nästan 41 000 kr. Jag tror att detta är ett pris som bör gå att få ner om allt köps från en och samma leverantör.

7 Tankar kring tekniken i framtiden

Vi kan idag inte säga på vilka pumpstationer som tekniken kommer att fungera. Den största skillnaden mellan tryckledningen för SPU46 och SPU74 mot SPU26 där vi först provade med luftspolning är att SPU26:s tryckledning har många och stora höjdskillnader. SPU46 och SPU74:s tryckledningar är mycket flacka och pumparna har därmed lättare att trycka ut luften ur dessa. En testkörning för att kontrollera att luftspolning verkligen fungerar bör vara obligatoriskt innan nyinstallation av en automatiserad anläggning påbörjas.

Med tanke på ovanstående föreslår jag att varje ny pumpstation ska anpassas för Nutriox för att sedan om det är möjligt gå över till luftspolning. Utrustningen för Nutriox är inte platsspecifik och består av en tank med plastledningar, nivåglas och en doseringspump, med en kostnad på ca 60–70 000kr. Därför kan den lätt flyttas mellan pumpstationerna. Exempelvis kan utrustningen flyttas från en pumpstation som fått igång fungerande luftspolning till en ny pumpstation som ännu inte testkörts med luftspolning. Investeringen i nutrioxanpassningen blir därmed inte bortkastad. På mycket lång sikt kommer vi kanske att få nutrioxanläggningar som vi inte har nytta av. Men den initiala investeringen och idrifttagningen av pumpstationen blir på så vis lägre och mindre komplicerad.

Dimensionering av kompressorn bygger på antagande om att kompressorn ska hinna tömma ledningen på spillvatten mellan stopp och start för pumparna. Men vi har aldrig observerat att tryckledning är helt tömd på spillvatten. Under handkörningen av kompressorn testades olika spolningstider men utan någon större skillnad på svavelvätebildningen i släppbrunnen. Detta skulle kunna vara en indikation på att syresättningen av spillvattnet är en mer avgörande faktor för en lyckad svavelvätebekämpning än att luften tömmer ledningen. Om antagandet stämmer skulle det kanske räcka med en mindre kompressor som ger ett mindre flöde men som går oftare. Detta skulle ha en mycket positiv effekt på investeringskostnaden men ett eventuellt negativt utfall för driftkostnaden beroende på längre drifttider och därmed högre energikostnader.

7.1 Slutsats

Vi har lyckats med målet att få en automatiserad och driftsäker luftspolningsanläggning som bekämpar svavelvätebildningen bra. Vi har också lärt oss hur vi ska göra nästa gång. Men tekniken är fortfarande ny och oprövad, så troligen kommer vi att ställas inför nya utmaningar både vid kommande byggnationer men också på den befintliga anläggningen. Tiden får utvisa vilka delar som först kommer att behöva bytas ut eller justeras. Vi måste även fortsättningsvis vara beredda på att utveckla och förfinas tekniken.

Mälarenergi har en målsättning att bekämpa svavelvätebildningen så långt det går. I dag uppgår den totala kostnader för nutrioxanvändning till ca 500 000 kr/år. Detta försök visar att det finns en stor ekonomisk potential i

svavelvätebekämpningen med hjälp av luftspolning. De årliga driftkostnaderna kan sänkas till en fjärdedel av vad de uppgår idag.

Det finns också en betydande miljövinst med luftspolning. Användningen av Nutriox medför långa lastbilstransporter som Mälarenergi nu har en möjlighet att undvika.



Box 47607, 117 94 Stockholm
Tel 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
E-post svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se