

Våra värdefulla ledningsnät

Fjärrvärme och VA-ledningar

Maria Rindelöv

Lund, 10 juli 2015



Innehåll

Inledning.....	4
VA-system	5
Historia	5
Dagens ledningssystem	5
Vattenledningar	6
Statusbedömning av dricksvattenledningar	6
Diagnosticeringsmetoder för dricksvattenledningar.....	8
Läcksökning.....	8
Sektionering	9
Flödesmätare	9
Olika typer av flödesmätare.....	9
Tryckfallsmätare.....	10
Vattenmätare.....	10
Loggrar.....	10
Mindre sektionering.....	11
Spindelhyssning.....	11
Metoder för att hitta läckans placering på en ledning	11
Smartball	12
Breivoll Pipescanner.....	13
Russeltech See Snake	13
Sahara TV inspektion	14
Den inre miljön i ledningarna	14
Korrosion i vattenledningar.....	15
Vanliga underhållsåtgärder på vattenledningar	16
Avloppsledningar.....	16
Diagnosticeringsmetoder för avloppsledningar	16
Metoder för Statusbedömning	17
Filmning av ledningar	17
Genomlysning	17
Kontroll av deformation	17
Kontroll av flöde för att hitta inläckage till spillvattensystemet.....	17
Ammoniummetoden.....	18
Dränering- och stuprör.....	19
Överbelastade avloppssystem	19

Avloppsvattnets innehåll och risker för kontamination	20
Drift och underhåll på avloppsledningar	20
Rotbekämpning.....	20
Material i vatten- och avloppsledningar	21
Gråjärn.....	21
Segjärn	21
Korrosionshastigheter på gjutjärn och segjärnsrör.....	22
Plastledningar	22
Skadeprocesser i plastledningar	23
PE, PP och PVC	23
4S problematiken	23
Toe in effekt.....	24
Betong.....	24
Fjärrvärme.....	25
Fjärrvärmens Historia.....	25
Dagens fjärrvärmesystem	25
Korrosion på ledningar.....	26
Reningsprocesser för fjärrvärmevatten.....	27
Mekanisk rening.....	28
Avgasning	28
Avhärdning.....	28
Totalavsaltning.....	28
Justering av pH.....	28
Korrosionskontroll	28
Korrosionsmätsond	29
Filtrering av rost.....	29
Läckage.....	29
Läcksökning på fjärrvärmerör	29
Pulsekometermetoden.....	30
Nodbaserade elektroniska system	30
Värmekamera	31
Delta-t metoden	31
Gamla Betongkulvertar.....	31
Intervjuer med projektets deltagare	32
VA-bolagen.....	32

Fjärrvärmebolagen	33
Aktiviteter genomförda inom Urban Magma-fokusgruppen Asset Management	33
Minimässa	33
Breivoll.....	34
Inspecta	34
Bauer Watertechnology	35
Wideco.....	35
Primozone	35
Seminarium om framtidens ledningsnät	36
Slutsatser och tankar kring framtiden	36
Referenser	38

Inledning

VA- och fjärrvärmenäten utgör några av de absolut viktigaste infrastrukturerna i vårt samhälle där återinvesteringsvärdet hos VA- och fjärrvärmeledningarna ligger på 600 miljarder kronor resp. 400 miljarder kronor. Utan fungerande avloppssystem och vattenförsörjning kommer en ohållbar situation snabbt att uppstå med vattenbrist, avföring- och avfallsansamling i städerna. Ledningsnäten är väldigt viktiga för ett drägligt liv och detta borde motivera för ett ökat intresse för FoU-arbete med ledningssystem.

Delar av ledningsnätet börjar komma upp i en hög ålder och det är aktuellt med att statusbedöma ledningar för att kunna planera förnyelsearbetet. Ett problem som VA- och fjärrvärmebolagen möter idag är att många av de metoder som finns för statusbedömning kräver kostsamma uppgrävningar. Ofta kräver metoder avstängning av driften och för trycklösa vattenledningar finns det även risk för kontaminering om vattenledningen skulle ha ett hål någonstans [1].

Behov finns att kunna övervaka äldre gråjärn och segjärnsledningar framöver. Gråjärnsledningar som är lagda under 50- och 60-talet uppvisar högre läckfrekvens, vilket förmodligen beror på en sämre anläggning [2] med maskiner till skillnad från tiden innan då man grävde ner ledningar för hand. Städer som Stockholm, Göteborg och Malmö förändras kontinuerligt med växande antal invånare [3] vilket kan innebära högre belastningar på ledningar.

Fjärrvärmebolagen har i sina ledningsnät gamla kulvertar från 1960 och 70-talet där man har problem med inträngande vatten. Vattnet orsakar sen i sin tur korrosion på stålrören som tillslut brister och orsakar läckage. Som lösning idag har man dragit in fuktlarmtrådar i de kulvertar där det är möjligt och använder även fuktlarm i kammarna, som larmar vid stigande vattennivåer.

Men övervakningen för inträngande vatten är fortfarande ett problem och statusen i många äldre kulvertar är okänd [4].

Syftet med denna rapport är att sammanställa den kunskap som finns om metoder för statusbedömning av ledningsnät ur ett branschöverskridande perspektiv där både VA och fjärrvärmebranschen deltar. Arbetet, som samlat representanter från VA och fjärrvärmebolagen i Malmö, Lund och Helsingborg är har genomförts i fokusgruppen Asset Managent inom det Vinnovafinansierade Vinn-Växt initiativet Urban Magma. Rapporten bygger dels på en litteraturstudie och dels på intervjuer med representanter från deltagande VA- och fjärrvärmebolag. I rapportens sista del beskrivs också några av de aktiviteter som genomförts under fokusgruppens arbete.

Det övergripande målet med arbetet är att få en branschöverskridande överblick på hur dagens ledningsnät ser ut och hanteras, identifiera utvecklingsbehoven samt stimulera till att finna innovativa lösningar på dessa.

VA-system

Historia

Ledningsnät har funnits länge med i historien, till och med från antika Rom med sina akvedukter. Men att börja införa ledningsnät för dricksvatten och avlopp började inte komma upp på tal på allvar förrän på mitten av 1800-talet runt om i olika städer. I takt med att industrialiseringen kom igång, flyttade fler och fler människor in till städer där man levde trångbott och fick dela små ytor. Hanteringen med avfall fungerade inte bra eftersom människor inte hade någonstans att lämna avfallet, utan man fick slänga avfall och spillvatten ut på gatorna. Miljön i städerna blev därför snabbt mycket dålig och ohygienisk. På den tiden hämtade man vatten från speciellt utplacerade brunnar och det krävs mycket vatten för att upprätthålla en god hygien. Den mängden vatten som fanns till hands räckte inte till för detta och konsekvensen blev att sjukdomar började sprida sig runt om i städerna [5].

Avlopssystemet på den tiden utgjordes av diken och rännstenar på gatorna där avfallsvatten tömdes och leddes ut till närmaste vattendrag. Stockholm är ett exempel där avfallshanteringen ledde till att närliggande sjöar omvandlades till avloppsträsk och under somrarna blev stanken så outhärdlig, att de som kunde flytta tog sig ut från staden [6].

På 1800-talet använde man torrdass för att lätta sig, dessa fanns både i hus och på allmänna platser runt om i städerna. De som skötte dasstömningen var ofta lösdrivare och kvinnor som var prostituerade. Dasstömningen skedde under nattetid och dessa personer var ofta berusade och kunde med jämna mellanrum snubbla och tappa tunnorna med all avföring rinnande ut. Det var även vanligt att innehållet i dessa latriner tömdes på olika plaster inom staden [7].

Många led av sjukdomar som pest och kolera och dödligheten var mycket hög. De ansamlade och närbelägna soptipporna, toalettavfall och nergrävda kroppar började även orsaka föroreningar av vattenkällorna i städerna. Dödligheten var mycket hög i Stockholm där var tredje barn dog före ett års ålder och medellivslängden för kvinnor var 26 år och för män 20 år. Vid mitten av 1800-talet var situationen ohållbar och det var då man började på allvar att arbeta med att införa nergrävda vatten- och avloppsledningar[6].

År 1861 invigdes det första vattenverket i Sverige och år 1875 fanns det upprättade vattenledningsnät i fjorton städer i Sverige. År 1909 fanns det 65 städer med vattenledningsnät. Vattenverken anlades oftast vid vattenfall för att ge drivkraft till vattenflödet. Innan elektriciteten kom till Sverige, använde man ångkraft, diesel och självfall för att få fram flödet [5].

Avlopssystem började även anläggas från ca mitten av 1800-talet. England var först ut med att anlägga kloaksystem av murat tegel på 1830-talet och andra länder tog snart efter. Först i Sverige var Göteborg 1866 med att få ett avlopssystem. Avlopssystemen användes till en början främst till att ta bort tvätt och disk-vatten. Först 1920 kopplades toaletter in till avlopssystemet [8].

Dagens ledningssystem

Vattendistributionsnätet består av huvudledningar som utgår från vattenverk. Dessa transporterar renat vatten som är uttagen från en vattentäkt. Dessa huvudledningar övergår till distributionsledningar som går under gatorna. Dessa är i sin tur kopplade till mindre servisledningar som leder in vattnet till husen. I husen finns koppar- eller galvledningar som leder vattnet till kranen. De vanligaste rörmaterialen i VA-nät är gråjärn och segjärn, men ledningar ersätts idag med PE-ledningar så andelen plaströr ökar ständigt [9].

I vattendistributionsnätet ingår även vattentorn som har funktionen att se till att vattentillförseln till ledningsnätet är jämn utan uppehåll eller tryckförändringar. Ibland kan vattenverket ha problem med att leverera vatten under en liten tid och då tas vatten från vattenreservoaren i vattentornet ut till kunderna istället [10].

Avloppsystemen består av huvudledningar, distributionsledningar, serviser, magasin och tunnlar. Man brukar dela in avloppsvatten i tre olika kategorier; spillvatten, dagvatten och dräneringsvatten. Det finns tre typer av avloppssystem där det kombinerade systemet är ett system där spillvatten, dagvatten och dräneringsvatten leds bort genom en gemensam ledning.

Duplikatsystemet är systemet där det finns två ledningar, en som leder bort spillvatten och en som leder bort dagvatten och dräneringsvatten. Den tredje typen av avloppssystem är separata systemet som har en ledning för spillvatten. Dagvattnet avleds till ett dike eller till marken och dräneringsvattnet leds antingen till spilledningen eller till marken.

Avloppsvattnet leds bort till ett reningsverk som renar vattnet innan det får gå ut igen till närmsta sjö eller vattendrag [10]. Vanliga rörmaterial som finns utgör avloppsledningar är betong, PVC och PE [11].

Vattenledningar

Vattenledningarnas funktion är att transportera dricksvatten ut till kunderna. Det ska ske dygnet runt, utan avbrott vilket kräver att ledningarna måste fungera. Det finns tre parametrar som är viktiga i sammanhanget: hydraulisk funktion, strukturell kondition och vattenkvalité. Hydraulisk funktion innebär att ledningarna ska kunna transportera vattnet på ett tillfredsställande sätt. Det ska finnas ett lagom tryck i ledningarna. För högt eller för lågt tryck kan påverka transportförmågan och obalans i trycket kan orsakas av dålig uppbyggnad av nätet eller av en dålig drift. Strukturell kondition innebär att ledningens material kan ha tagit skada av t.ex. korrosion eller sättningar. Läckage brukar då uppstå som följd. Vattenkvalité innebär att vattnet ska vara fri från dålig lukt, färg och dålig smak. Dålig vattenkvaliteten kan bero på att det är för dålig vattenomsättning i ledningarna eller att vattnet inte blir tillräckligt renat vid vattenverket[2].

Statusbedömning av dricksvattenledningar

Idag finns det inga bra metoder för att statusbedöma vattenledningar, det man har att gå efter är informationen från driftstörningsrapporter. Inre filmning av ledningar görs inte då ledningarna ofta har beläggningar längs väggarna som döljer sprickor och korrosion. Den enda gången som man kan inspektera ledningar är när man gräver upp dem, vilket blir för dyrt för att använda som en metod för statusbedömning.

Gamla gråjärnsrör från 1890-1940 uppvisar inte högre läckfrekvens än de lagda på 50- och 60-talet. De uppvisar ökad läckagefrekvens upp till att de blir 30 år gamla och de ledningar vars ålder ligger mellan 30-80 finns det ingen direkt koppling mellan ålder och läckfrekvens. Resultaten visar att där finns andra faktorer än ålder som påverkar läckfrekvensen. Det kan vara tidigare läckage, belastningar på rören, ledningsmaterial, anläggningsarbete och geografiskt läge.

En faktor är anläggningsperioden. Gråjärnsledningar som lades under 50- och 60-talet har förhöjd läckagefrekvens. Detta beror med stor sannolikhet på att man gick över från att gräva för hand till grävmaskiner, då ledningarna lades ner i större ledningsgravar med för dåligt stöd från omgivande jord. Under 60-talet skedde en byggrush där ledningar fick en sämre anläggning.

Läckor på ledningarna tenderar att komma gruppvis. Det finns olika faktorer till bakomliggande orsak, t.ex. kan olika jordarter vara mer korroderande än andra. De jordarter som speciellt korrosiva är

lerjordar med en hög halt av svavel. I en brittisk studie såg man att lerjordar hade nästan dubbelt så mycket läckage som ledningar i sandjordar [11].

Trafiklasten påverkar och varierar från område till område. Kvalitén på anläggningsarbetet varierar även från olika perioder och i olika områden på nätet. Men det kan även finnas fler förklaringar till att läckor kan samlas till vissa områden. När en läcka väl uppstår, så uppstår även följdläckor i närliggande område, det kan till och med uppstå på samma ledning. Detta beror på att omliggande jord har lösts upp i samband med grävningsarbete när läckan reparerades.

Lös jord kan orsaka sättningar, även tryckförhållanden förändras och tryckslag kan framkallas och flera följdläckor kan uppkomma på närliggande ledningar. Enligt Sundahl [2], såg man att läckor tenderar att komma gruppvis, nära varandra fysiskt och tidsmässigt. I Malmö studerades läckor i Gamla Staden mellan åren 1985 till 1994 där man såg att över 40 % av alla läckor har inträffat inom 6 månader efter en huvudläcka och inom 200 meters radie från denna [2].

Temperatur spelar även en signifikant roll för läckfrekvensen. I en rapport från Svensk Vatten [12] tar författarna upp sambandet mellan ökad läckage under vintern med temperaturen i det utgående vattnet från vattenverken. När dess temperatur går under noll och omgivande temperatur i marken är varmare, då utlöser detta läckor i ledningarna. Det beror på att under de här omständigheterna skapas det ringdragspänningar i rörens ytteryta och ringtryckspänningar i innerytan [12]. I en amerikansk studie har man sett en stark korrelation mellan vattnets temperatur och läckage. Man såg vid fallande temperatur att antalet sprickor ökade i gråjärnledningar. Sprickorna var för det mesta cirkulära och uppkom mellan diametrarna 76 mm till 203 mm [13]. Gråjärn är känsligt för snabba fall i temperaturer och genom att utjämna temperaturen i vattnet kan läckor minskas. Var det skulle vara lättast att göra detta är hos vattenverks som tar ut vatten från ytvatten[12].

En annan faktor som kan utlösa läckage under kalla månader är att vattnet i marken kan frysa till is och isen ger marken en större volym. Detta orsakar större belastningar på ledningarna. Ett förslag från Sundahl [12], är att använda sig av en sinuskurva för att skapa en prognos för läckfrekvensen i och med att lufttemperaturen har ett cyklist förlopp och likaså har läckagefrekvensen. En intressant projektidé hade varit att värma upp vattnet till att ha samma temperatur som marken och iaktta hur många läckor som uppstår den vintern och jämföra med historisk statistik. Enligt rapport från Svenskt Vatten passar sig detta bäst för vattenverk som tar vatten från ytvatten [12].

En viktig faktor för sprickbildning är lasten på ledningarna och graden på trycket. Tryck som kommer i axialled kan beror på olika orsaker som t.ex. att röret ligger som en balk och bär upp last, att ledningen utsätts för låga temperaturer eller att det finns invändiga tryck. Tryck i axialled orsakar de typer av cirkulära sprickor som kallas för balkbrott. Tvärgående spänningar orsakas av tryck från jord och trafik. När marken blir kall, expanderar den och trycket ökar på ledningen. De här typerna av sprickor är längsgående på ledningen.

Invändig korrosion kan också ge upphov till läckage och korrosionshastigheten påverkas av vattnets kvalitet och strömningshastighet. Korrosion ger minskad godstjocklek och försämrad hydraulisk funktion. Alkalisk pH i dricksvatten minskar korrosionshastigheten. Jordtyp och även fukt i marken ökar yttre korrosion, så det innebär att läckande ledningar ökar risken för korrosion. Likaså ökar vägsaltning risken för yttre korrosion [12].

Idag görs mycket statusbedömning utifrån driftstörningsrapporter och dessa utgör den största grunden till att få information om vattenledningarnas status. Dessa formulär bör utformas så att alla fyller i samma typ av information i dem så de blir lättare att jämföra. Sundahl uttrycker ett behov till att förbättra formulären och även förse med mer beskrivning av hur själva skadan ser ut.

Det kommer underlätta att förstå bakomliggande orsaker. Och när ledningar grävs upp, borde det ingå i rutinerna att studera ledningens status genom okulär besiktning och att ta ett foto och lägga upp den på databasen [12]. Vid uppgrävning kan man rapportera var på röret skadan sitter, beskriva skadans lägen som klockan, halv, kvart i, prick etc. Och att man beskriver om sprickan är cirkulär, längsgående, om muffen är skadad eller om det är ett hål på röret. Driftstörningsrapporten måste vara lätt att fylla i och det måste ske snabbt.

Från ett examensarbete från 2014 på 4S hemsida[14], rapporteras det fortfarande om bristfällig data om ledningarna hos fem av Sveriges VA-män. De visade sig ha en dålig dokumentation över bl.a. orsaken till läckor, jordart, skarvmotod, produktionsmetod och SDR-tal. Brister i informationen gjorde det svårt för författarna att använda data till att dra slutsatser, nästan hälften av studerade rapporter angav inte någon skadeorsak. VA-bolagen samlar även in information på olika sätt och den information som återges är olika och gör dem svåra att sammanställa [14].

Det har föreslagits att VA-bolagen behöver alla en gemensam rapportmall så att samma information fylls i och underlättar för att kunna jämföra resultat och lättare se trender och variationer. På så sätt skulle det bli mycket lättare att kunna sammanställa data och få överblick över vad som sker i ledningsnäten. Datainsamlingen är viktig även för att kunna använda data till olika statistiska modeller som kan användas till att beräkna kvarstående livslängd.

Diagnosticeringsmetoder för dricksvattenledningar

Dagens underhållsarbete av ledningar fokuserar till stor del på att söka efter läckor. Reparation av läckage är en vanlig åtgärd mot strukturell skada på vattenledningar men även fogar och delar i nätet kan läcka p.g.a. otätheter från installation. Åtgärder av läckor sker om det blir mest lönsamt [9], förlust av vatten i sig utgör ingen ekonomisk förlust eftersom det är billigt att producera nytt. Därför finns det inget som motiverar att laga och tätar alla läckor som finns[14]. Om det är brist på råvatten eller om det skulle vara dålig kvalitet på råvattnet, då måste man se över läckorna. Dåligt råvatten skulle innebära högre kostnader för att rena mer vatten. Kostar det redan mycket att rena avloppsvatten, är det också viktigt att hålla antalet läckage nere. Den acceptabla andelen läckage beror på lokala förhållanden i miljön [9].

Problem med läckage uppstår när man får en stor vattenläcka med högt tryck. Stora läckage medför stora vattensamlingar där ovanliggande jordlagret kan försvagas. Detta kan leda till att mark och infrastruktur kollapsar. Vid dessa händelser måste vattenförsörjningen stängas av för reparationer, vilket innebär att kunder blir drabbade. Idag jobbar man med att underhålla ledningsnät genom att söka existerande läckor och laga de som är akuta, vilket är väldigt kostsamt [14]. En idé hade varit att leta efter svagheter på ledningsnätet innan haverier sker och planera underhållsarbetet därefter.

Läcksökning

En av de metoder som finns idag för att söka läckage på dricksvattenledningar är kontinuerlig övervakning. Detta sker via mätstationer, kopplade till centrala enheter. Den här metoden är vanligast hos större vattenverk. Man kan även mäta flödet i brunnar genom att tillfälligt installera dem där och utföra mätningar under några nätter.

Insamlad data jämförs sedan med historisk data och då kan man se indikationer på läckage. Andra vanliga metoder är sektionering av ledningsnätet, där nätet stängs av områdesvis och man mäter då från en reservoar vattennivå och kan på så sätt detektera stora läckage.

När man har hittat området där läckan finns påbörjas finlokalisering. De metoder som man brukar använda för detta är ventillyssning, marklyssning och korrelationsmetoden. Ventillyssning sker genom att man lyssnar efter läckage på ventilstång. För att höra svagare ljud och ljud på större avstånd kan

man använda sig av ljudförstärkare. Marklyssning sker med hjälp av mikrofoner på de platser man tror läcka finns.

För att lokalisera läckans exakta läge, använder man sig av korrelator. Korrelatorn mäter upp tiden det tar för ett läckageljud att nå två utplacerade mikrofoner vid två olika mätpunkter. Sedan beräknas läckans läge. Vad som är viktigt att tänka på inför den här metoden är att man känner till ledningens material och dimension [9].

Sektionering

Man kan systematiskt stänga av olika områden i ett dricksvattennätverk för att se i vilket område det råder stort utläckage [15]. En vattenreservoar, vattentorn eller ett vattenverk måste vara ansluten till nätverket eftersom det är där man avläser förändringar i vattennivån. Genom att stänga igen ventiler i nätet kan man utestänga mindre områden och sen se hur stor förändringen blir i vattennivån. Man läser av nivåförändringen en gång per minut i tex 10 min. Den minsta nivåförändringen är den förändring man utgår ifrån och tar som den mest sanna. Det är då minst tappningar har gjorts och man kan använda data till att jämföra med beräknad förbrukning. Skulle förbrukningen vara högre än den beräknade, då misstänker man läckage. För att få mest pålitliga resultat ska mätningarna utföras nattetid mellan kl. 0.00 och 05.00 då minst antal människor är i rörelse och vattenförbrukningen är som lägst.

Vad som är bra är att ha ett schema över ledningsnätet till hands för ventilöppning och stängning för att underlätta arbetet. Metoden kräver att man känner till vattentornets area och att man har ett beräknat värde på förväntad nattförbrukning från människor och industrier. För beräkning av hur mycket vatten en industri använder kan man kontakta dem och be dem läsa av sin förbrukning av vatten vid olika tillfällen under den natten då mätningarna gjordes [16]. Den avläsa förbrukningen från reservoaren jämförs med en beräknad förbrukning för varje delområde och om förbrukningen är högre än det beräknade, då finns det förmodligen en läcka i delområdet [15].

Metoden ger en bra bild på var läckage kan finnas och om man kan utesluta större felkällor från resultatet, fortsatt läckagesökning kan då sättas in på rätt plats. Men problemet är att metoden kan innehålla flera felkällor som t.ex. läckande ventiler. Man behöver också en korrekt karta över området, då resultaten är beroende av detta.

Innan mätningarna måste ventiler och brandposter kontrolleras. Arbetet kan vara besvärligt eftersom vid ingrepp i ledningarna finns det risk att ingreppet i sig självt kan orsaka läckage. Och metoden ger endast en ögonblicklig bild av läckaget [16]. Bra resultat är också beroende av att nätet är trycklöst när ventilerna är stängda [15].

Flödesmätare

Flödesmätare används för att mäta mängden vatten som flödar igenom ett rör per en tidsenhet [17] och instrumentet används till att se indikationer på läckage. Med dem kan man kontinuerligt mäta tex. nattminimiflödet. Flödesmätare är ofta utplacerade på huvudledningar mellan två indelade områden. De kan sitta direkt på ledningen eller i en brunn [9]. I och med att de sitter på platser som naturligt avgränsar olika områden, ger de en bättre övervakning på ledningsnätet och underlättar upptäckt av läckage [15].

Olika typer av flödesmätare

En v/h mätare används till att beräkna flödesvolymen genom att den mäter vätskenivån och flödeshastigheten. På botten av ett rör installeras en ultraljudsensor vilket skickar iväg ett ultraljud som transporteras till vattnets ytan där den reflekteras och återvänder till sensorn. Flödesmätaren mäter tiden det tar för ljudet att återvända och kan därigenom mäta nivån på vattnet. För att mäta

flödes hastigheten, skickar flödesmätaren ut ultraljuds dopplersignal som kommer att reflekteras från partiklar eller från bubblor med en viss frekvens beroende på flödes hastigheten. På så sätt mäter instrumentet flödes hastigheten med en noggrannhet på +/- 2 % [18]. En annan vanlig typ av flödesmätare är de induktiva flödesmätarna som består av ett rör där vattnet flödar igenom med två spolar på ovan- och undersidan av röret. Dessa spolar tillförs växel- eller pulsad likspänning och då skapas det ett magnetfält inne i röret. Detta magnetfält byter hela tiden riktning och när vattnet sen flödar igenom, leder vattnet elektricitet och alstrar då en spänning som är mätbar [19].

Med hjälp av flödesmätare kan man se skillnader i ingående vatten och debiterat vatten, samt förändringar i nattminimiflödet. Dessa förändringar kan tyda på läckage. Fördelen med flödesmätarna är att man får en kontinuerlig bild på ledningarnas status och man kan installera en datamodell som analyserar data från mätarna och kan ge en fortlöpande modell på flödesriktning, tryck och hastighet vilket är behjälpligt för att hitta läckage [16]. På spillvattenledningarna kan flödesmätare vara till hjälp till att visa var någonstans tillskottsvatten läcker in vid t.ex. nederbörd [15].

Tryckfallsmätare

Till skillnad från flödesmätare, kan man installera tryckfallsmätare i synliga ledningar i pumpstationer och de behöver inte grävas ner. Det är ett billigare alternativ och även de kan kopplas in till en dator. Dataprogrammet illustrerar flöde och tryck i nätet och ju fler mätare som finns ute, ju sannare bild får man. Dataprogrammet kan vara behjälpligt till att visa på var läckage kan finnas eller t.ex. hur en ventilstägning skulle påverka nätet [16].

Vattenmätare

En vattenmätare mäter upp den mängd vatten som kunden förbrukar och utgör grunden för debiteringen [20]. För att kunna uppskatta utläckage av dricksvatten, kan man jämföra mätningar av utgående vatten med förbrukningen. Det är viktigt att de här mätarna regelbundet kalibreras för pålitliga resultat.

Det är även viktigt att räddningstjänsten redovisar hur mycket vatten de har förbrukat till VA-huvudman då stora vattenförluster sker vid räddningsarbete. Vattenmätarna har begränsning för vad de kan detektera och vid låga flöden underregistreras flöden och vid mycket låga flöden registreras inget [16].

Loggrar

Under nattetid då minst personer förbrukar vatten [15] använder man loggrar som lyssnar efter läckageljud på ledningar. Loggrarna utgör cylindriska elektroniska enheter som kan flyttas runt på olika platser eller så kan de sitta på ett ställe permanent. Man placerar ut dem på ventiler eller på brandposter och använder dem på känsliga rör eller på rör som är svåra att avlyssna. På gråjärnsrör går det att ha 500m mellan loggrarna pga. loggrarnas höga känslighet. Tekniken bygger just på att lyssna efter läckageljudet som fortplantar sig längs metall ledningar [15].

Loggrarna har en sändare som skickar ut signal till mottagare som kan ta upp signaler på en räckvidd upp till 150m från loggern. Signalen kan fås via sms eller tas upp i förbipasserande tjänstebilar där varje loggars serienummer presenteras och styrkan på det upptagna ljudet. Vid signal påbörjas lokalisering av läckans exakta läge. Loggrarna har även en klocka som registrerar när ett läckageljud upptäcks och loggrarna brukar vara aktiverade mellan klockan 02:00 och 04:00.

Nackdelen med den här metoden är att loggrarna kan avge falska signaler genom att de kan plocka upp ljud från pumpar, trafikljus och gatubelysning. Loggrarna fungerar dock inte på plaströr och skulle det finnas avlagringar på rören så kommer avlagringarna påverka resultatet negativt. Men när metoden fungerar som det ska, är detta en snabb och enkel metod för att detektera läckage [15].

Mindre sektionering

Den här metoden används till att hitta den ledning där läckan sitter. Man stänger av ventil efter ventil för att kunna lokalisera läckaget i området mellan två ventiler. Man förflyttar sig systematiskt längs en ledning och läser av flödet i t.ex. ett vattenverk efter varje ny stängning. Men man måste försäkra sig om att ventilerna verkligen är stängda och det går att använda spindelhyssning för att kontrollera det om rören inte är av plast.

På spillvattenledning kan man utföra samma metod för att detektera inläckage. Efter varje avstängning avläser man flödesmätare ute på nätet och när flödet minskar ner till det normala är läckan funnen. Detta är en enkel och snabb metod att ringa in ett litet område där läckan befinner sig, lokaliseringen bör ske under natten då minst personer blir drabbade av avstängning av dricksvatten. Ute på spillvattenledningarna är flödet som minst under nattetid och inläckage blir då lättare att hitta [16].

Spindelhyssning

Det är en väldigt enkel metod där man själv lyssnar efter läckljud. Läckage avger ljud som sprider sig i röret och ljudet kommer från vatten som rinner ut ur läckan. Vid läckage uppstår ett friktionsljud när vattnet trycks ut via en spricka och det bildas ljud som sprids inne i rörledningen. Man kan även höra ljudet av vatten som träffar marken. Hur väl ljudet kan detekteras beror på vattentrycket, rörmaterialet, fyllningen runt röret, storleken på läckan och dess utseende.

Man väljer ut olika punkter på ledningen som t.ex. ventiler eller brunnar och lyssnar på ledningen. Man jämför styrkorna på ljuden och vet då hur nära/långt ifrån man är från läckan. Det finns enkla instrument som man kan använda som bakelitlur eller stetoskop-lur. Spindelhyssning fungerar bara på metalledningar eftersom det är enbart dessa som kan transportera ljuden.

Genom att lyssna efter läckageljud vid olika punkter på ledningen som t.ex. ventiler eller i brunnar och jämföra ljudstyrkorna, kan man avgöra ungefär var läckan kan finnas. Det finns enklare utrustning att ta hjälp av som t.ex. bakelitlur eller stetoskoplur. Den här metoden fungerar dock bara på metalledningar eftersom plastledningar dämpar ljuden. Läckor i stora rör över 300 mm är svårare att upptäcka eftersom ljudet dämpas i dessa stora dimensioner och även packningar mellan två rör kan dämpa ner ljud.. Ljud från pumpstationer, tryckstegringar, fjärrvärme, rinnande vatten från brandposter, kranar, disk- och tvättmaskiner kan störa. Metoden i sig är enkel och bra men tar tid att utföra [16].

Idag ersätts gamla rör med PE ledningar, vilket gör att den här metoden inte fungerar på dem [16] och det finns en efterfrågan på läcksökningsmetod för plaströr. Enligt rapporten ”Ny metod för läcksökning” från Svensk Vatten har man använt sig av radar och dopplersignaler för att detektera läckage i plaströr. Metoden verkar lovande och man behöver arbeta mer på att förbättra signalanalys och kartlägga karaktäristiken av olika typer av vattenläckor [21]. Men vad som kanske inte är lika känt är att det finns möjligheter att använda vanlig markradar för att detektera läckage från plaströr [22].

Metoder för att hitta läckans placering på en ledning

För att hitta läckornas läge på en ledning kan man använda sig av marklyssning och korreleringsmetoden. Marklyssning går ut på att man använder sig av en markmikrofon som man förflyttar på marken längs ledningen. Då kan man hitta platsen där ljudet från läckan är starkast. Den här metoden används för finlokalisering. Under de rätta omständigheterna kan man upptäcka läckor ända ner på 1,5 m djup med metoden. När det gäller minde läckor och rörmaterial av plast, måste man placera mikrofonen rakt över ledningen så man inte missar läckan då ljudet får en lägre styrka. Mikrofonen flyttas 0,5 till 1 meter åt gången och när ljudet upptäcks, sker finlokalisering då mikrofonen flyttas med mindre avstånd för att bestämma läckans läge [16].

Korreleringsmetoden innebär att man placerar ut två sensorer och sändare vid två mätpunkter, t.ex. på två ventiler där de har kontakt med röret. Läckageljudet sprider sig genom ledningen till de båda sensorerna och kommer nå den ena sensorn först (om läckan inte är precis i mitten av ledningen) som ligger närmst läckan. Metoden går ut på att räkna tidsskillnaden för registreringen av ljudet hos de två sensorerna. Ljudets hastighet är beroende av rörmaterial och dimension [16].

Sensorerna fångar upp läckageljudet och skickar ljudet till en korrelator. Korrelatorn räknar ut längden från mätpunkten till läckan genom formeln $L = D - (V \cdot T_d)/2$, där L = längden till läckan från mätpunkten, D = längden mellan mätpunkterna, V = ljudhastigheten och T_d = tidsskillnaden. Vid undersökning är det viktigt att se till att korrelatorn har kontakt med mätpunkterna och att utföra flera mätningar för att säkerställa läckans läge.

Vid mätning ska man också själv lyssna efter läckljud med en marklyssnare [16]. Metoden fungerar sämre på plastledningar och på större dimensioner. Istället kan man då använda hydrofoner som lyssnar efter det lågfrekventa läckage ljudet som sprider sig i vattenpelaren [23].

Smartball

Sydvatten, Göteborg vatten och Norrvatten gjorde en gemensam upphandling med Pure Technologies för att göra läcksökningar på sina ledningsnät. Företaget Pure Technologies har utvecklat en metod där man använder sig av en vattentät boll av aluminium iklädd i ett hölje av skum som förs in i trycksatta vattenledningar under drift. Bollen innehåller bl.a. en akustisk sensor, en transmitter, GSP och temperatursensor. Bollen spelar in och lagrar ljud som den fångar upp i röret.



Bild 1. Principen för Smartball [24].

Ljudet som läckage ger ifrån sig är karakteristiskt och lätt att identifiera eftersom det är få ljud som liknar just läckageljud. Signalen från bollen är kopplad till en dator och när bollen närmar sig en läcka, kommer signalen från bollen att öka upp tills den kommer till ett maximum då bollen är precis vid läckan och när den passerar kommer signalen att avta.

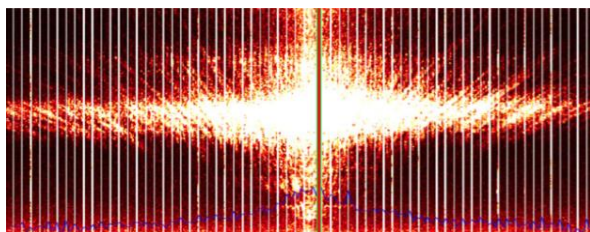


Bild 2. Signal från smartball när den passerar en läcka [24].

Ljudets karaktär kommer sedan ytterligare att analyseras för att bestämma graden av utläckaget och svarresultaten indelas i en litet (0-7,5 l/min), medium (7,5 -37,5l/min) och stort läckage (>37,5l/min) [24].

Breivoll Pipescanner

Metoden går ut på att man skickar in ultraljud in i rörväggarna och ljudet reflekteras både från ut- och insidan. Tiden för reflektion mäts upp och används till att beräkna godstjockleken. Genom tekniken kan man även detektera korrosionshål och sprickor. Metoden går endast att applicera på metalledningar och är en vanlig metod inom gas- och oljeindustrin.

Instrumentet har 64 mätsonder och kan användas i rör med diameter 250-400mm. I rör med större diameter kommer scannern för lång ifrån väggen och signalerna blir för svaga. Scannern fungerar på rörmaterial som stål, gjutjärn och segjärn.



Bild 3. Pipescanner från Breivoll [25].

För att få in scannern i ledningen måste en öppning på tre meter schaktas fram och en del av ledningen tas bort där en inslussningsdel sätts in. Scannern transporteras sen igenom vattenfyllda ledningar där den kan mäta godstjocklek med en noggrannhet på $\pm 0,2 - 0,4$ mm vid en bra signalstyrka. Scannern detekterar hål som minst är 1 cm^2 och har en upplösning på $25 \times 25 \text{ mm}^2$.

Metoden detekterar inte läckage, spänningar eller mikrosprickor. Scannern kan inte ta större vinklar än 11° och ger inte lika bra precision i rör med cementbruk. De längder scannern kan ta är 450 meter åt varsitt håll från insättningspunkten. Efterarbete är nödvändigt med spolning och provtagning innan ledningen kan tas i bruk igen [25,26].



Bild 4. Mätning med Pipescannern kräver uppgrävningsarbete och att en öppning till scannern monteras in i det befintliga nätet [26].

Russeltech See Snake

Metoden är baserad på Remote Field Technology (RFT) och går ut på att instrumentet skickar ut elektromagnetiska signaler och mäter sen tiden det tar för signalerna att bli reflekterade vilket är beroende av rörväggens tjocklek. På så sätt kan man bestämma ledningens godstjocklek. Instrumentet sätts in i röret vid brandpost (den är svår att få in i svenska brandposter) och inne i ledningen behöver den ingen kontakt med väggen. På så sätt rör den inte upp lagren på väggarna och kan även utföra

mätningar på ledningar med cementbruksisolering. Instrumentet åker med vattenflödet och klarar av att ta svängningar på 90° och rördimensioner mellan 75-750 mm. Metoden fungerar särskilt bra att detektera punktkorrosion med mindre än 20 % kvar av den ursprungliga godstjockleken [27].

Sahara TV inspektion

Det finns även en kamera som är framtagen av Pure Technologies som är tillverkad för att filma i vattenledningar. Kameran förs in i vattenledningen och kräver en öppning som är minst 50mm. Kameran transporteras med flödet där vattentrycket får högst vara 160 mvp. Ända upp till 800m kan inspekteras vid ett enda tillfälle och metoden filmar miljön inne i ledningen och kan detektera problem som t.ex. avlagringar, igensättningar och korrosion [28].



Bild 5. Sahara TV kamera både filmar och spelar även in ljud från läckage [29].

Det finns kamera med inbyggt akustiskt sensor som även detekterar läckage och gasfickor. Mätningen kan ske i vattenledningar under drift och man behöver tillgång till öppningar på ledningen som är minst 10,2 cm. Metoden passar för att lokalisera var skador finns i röret och graden på skadan [29].

Den inre miljön i ledningarna

På vattenledningarnas insida sitter en biofilm där bakterier, små växter och djur lever. De livnär sig från organiska och oorganiska ämnen som finns i vattnet. Exempel på organismer som lever i biofilmen är mikrosvampar, alger och aktinomyceter. Biofilmen kan ge upphov till dålig lukt och smak på vattnet genom att bitar av den kan lossna och följa med vattnet ut till kunden. Vid mindre ledningar är det större risk att biofilm kan lossna eftersom större andel volym vatten kommer i kontakt med biofilmen [9].

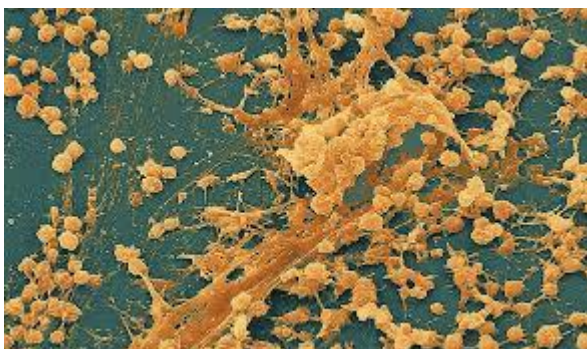


Bild 6. En biofilm växer på insida av ledningarna [30].

Biofilmen kan påverka vattnets kvalité negativt om det sker förändringar i biofilmens population och patogena bakterier som t.ex. *E. coli* får fotfäste. När de väl har etablerat sig i biofilmen är det svårt att bli av med dem även om man klorerar vattnet. De kan infektera organismer i biofilmen där de får skydd och kan överleva länge. Under gynnsamma omständigheter kan de frigöras och riskerar då att kontaminera dricksvattnet och orsaka allvarliga sjukdomsutbrott [31].

Mikrobiell kontaminering av dricksvattnet kan även ske vid ledningsreparationer, vid lågt vattentryck i ledningarna, korrosion, korskopplingar och dåligt underhåll. Prover tas på färdigt dricksvatten på vattenverket och på utvalda ställen på offentliga platser. Man kan genom dessa provtagningar få en bild av vattenkvaliteten och kunna kartlägga eventuella kvalitéförsämringar. De typer av analyser som görs på proverna är kemiska och mikrobiologiska analyser. Provtagningarna ska man ta med 6 månaders mellanrum för de små vattenverken och med 2 veckors mellanrum för de stora vattenverken [32]. Enligt rapporten ” Om mikrobiella förändringar i dricksvattenledningsnät” från Svensk Vatten, har forskning på biofilmen i vattenledningarna uppvisat att det finns markanta skillnader i florans hos vatten med bra kvalitet och vatten med dålig kvalitet. De bakterier som är vanliga i biofilmen och som finns i höga halter är Alpha-, Beta- och Gamma-Proteobacteria, liksom Actinobacteria, Firmicutes och Bacteroidetes [31].

Det som skiljer bra och dålig vatten från varandra är att det framträder olika typer av bakteriekluster, vilket innehåller flera bakteriearter. Desulfotomaculales är ett exempel på en bakterieart som kan bidra till försämring av ledningsmaterial hos metalliska ledningar. Den här bakteriearten är anaerob och producerar vätesulfid, H_2S . Vätesulfid är en gas som är frätande på metaller (även betong). Gasen har en dålig lukt och reagerar med metaller där fällningar av metallsulfider bildas. Bakteriearter inom Acidithiobacillus kan även oxidera vätesulfat till svavelsyra som i sin tur kan korroderar järn, vilket betyder att dessa bakterier kan ge upphov till korrosionsskador på grå- och segjärnsledningar.

Ledningar med ojämn och gropig inre ytor erbjuder större ytor för biofilm att växa på. De ledningsmaterial som har visat sig har störst tillväxt av biofilm är ledningar klädda med bitumen. PE och EPDM-gummi har också uppvisat tillväxt av biofilmer. PVC är ett material som har visat minst tillväxt av biofilm [31].

Korrosion i vattenledningar

Frättningsprocesser som sker på ytan eller på insidan av ledningarna kallas för korrosion. Korrosion orsakar många gånger hål i de metalliska ledningarna där läckage uppstår som följd. Korrosion innebär att metalledningen ”löses upp” genom att dess elektroner vandrar ifrån metallen (anodytan) ut till en katodyta. Vid anodytan blir metallen omvandlad till metalljoner när den lämnar ifrån sig elektroner [33]. Vattenledningar kan angripas av korrosion både utvändigt och invändigt [9]. Invändig korrosion kan motverkas genom att man behandlar vattnet genom att höja dess pH upp mellan 7,5-9 [34] eller att invändigt isolera rören [9].

Men utvärdig korrosion är vanligast och de typer av korrosion som kan uppstå är korrosion orsakad av luftningsceller, galvanisk korrosion, mikrobiell korrosion och läckströmskorrosion. Den vanligaste typen av korrosion är luftningsceller och det sker genom att det finns olika halter av syrgas på olika ställen på ledningarna. Detta kan uppstå när en ledning täcks av lera i ett visst område och på andra områden omges av sand.



Bild 7. Yttre korrosion är vanligast på dricksvattenledningar [35].

Leran släpper inte igenom syre och bildar en syrefattig zon, vilket utgör anoden. Sand har en hög genomsläpplighet för syre och bildar ett syrerikt område som då blir katod [9]. Det är vid anoden som metallen blir till metalljoner och där kommer det med tiden uppstå hål på ledningen [33].

Vanliga underhållsåtgärder på vattenledningar

Mangan och järn i vattnet är slambildare och kan i värsta fall följa med ut till kunden. Slambelägg i rören ökar korrosion eftersom vattnet under slammet blir syrefattigt. Beläggningen gör det även svårt för desinfektionsmedlet att nå rörets yta. Det är därför viktigt att vattenverken får bort höga halter av mangan och järn från vattnet. De metoder man använder för att bekämpa bakterier, slam och beläggningar/utfällningar är spolning, mekanisk rensning och desinfektion av nätet. Vid desinfektion använder man natriumhypoklorit, vilket är ett pulver som man strör ut på ytor i ledningar som ska desinfekteras [1]. De åtgärder som är vanligast är spolning, rensning av ledningsnätet, desinfektion av ledningsnätet, underhåll och tillsyn av ventiler, underhåll och tillsyn av brandposter, tillsyn av katodisk skydd, rengöring av reservoarer, byte och revision av vattenmätare [9].

Avloppsledningar

Avlopssystemets funktion är att avleda avloppsvatten ut till reningsverket. Systemet är byggt med självfall där ledningarna lutar så att smutsen kan rinna ner. Det som är viktigt för avlopssystem är att dess kondition och funktion har en bra kvalitet. Funktion innebär dess förmåga att transportera vatten och funktionen kan begränsas genom att det finns något i ledningen som orsakar stopp eller att lutningen inte är tillräcklig brant. Dess kondition innebär kvalitén på själva ledningsmaterialet och hur materialet kan försvagas med tiden, vilket kan medföra en kortare livslängd [2].

Diagnosticeringsmetoder för avloppsledningar

Det som mest påverkar avloppsledningars kondition är sprickor och dessa är även de mest vanliga förekommande defekter på betongrör. Det finns två typer av sprickbildningar; punktformation (mindre än 5m) och utspridda sprickor (mer än 5m). Punktsprickor beror på att en extrem belastning trycker på en begränsad del av ledningen. Utbredda sprickor beror på att hela ledningen har utsatts för högt tryck som har gått över dess kapacitet. Ledningar som ligger ytligare än 2m får största trycket från trafiken och för de ledningar som ligger djupare kommer trycket från jordlasten. Det kan även tränga in jord i sprickorna och andra otätheter, detta medför att stödet kring ledningen försämras och ny sprickbildning sker. Balkbrott uppstår då det inte finns tillräckligt med fyllnadsmaterial under röret och istället vilar röret på ett par punkter och fungerar då som en balk. Trycket på röret blir större än vad den klarar och detta leder till att det bildas cirkulära sprickor på betongrör eller deformationer på plaströr. Vid tillfällen då det saknas stöd under ledningens nedre kvartscirkel, skapas det långsgående sprickor på betongledningen eller deformationer på plastledningar. Det är viktigt vid anläggningen att ledningar tillförses med stöd vid de nedersta kvartscirkelarna. De sprickor som är långsgående behöver inte sträcka sig över en hel ledning för att utgöra en risk för kollaps. När betongledningar saknar underlagsstöd vid fogarna, kommer betongspetsen hänga i muffen på nästa rör och när trycket på röret blir för stort spricker muffen [36].

I en studie av Viveka Lidström [36] har det visats sig att det är dubbelt så vanligt att det uppstår sprickor i rör som ligger i fyllnadsmaterial än ledningar som ligger i annat material. Det kan bero på att ledningarna inte får tillräckligt med stöd vid den undre kvartscirkeln. Det kan också bero på att fyllnadsmassorna är rörliga eller att anläggningen av ledningen har skett på ett dåligt sätt. Vid försämrade kondition hos plaströr (PVC) uppvisar de ofta deformationer. De flesta deformationerna sker även mer i utfyllnadsmaterial än i övrigt material. Ledningars kondition försämras med accelererad hastighet över en tid. Om man känner till en lednings utgångskondition, är det möjligt att göra en prognos över den fortsatta konditionsförändringen. De större förändringarna i konditionen har setts hos ledningar som ligger instabila jordar och på ställen som har fått ökad trafiklast.

Betongledningar lagda före 1950 uppvisar mindre motståndskraft och står sämre emot tryck än de betongrör som är producerade efter 1950. Detta beror på skillnader i tillverkningen och hållfasthetsegenskaper.

De processer som alltså är avgörande för försämrad kondition är sprickbildning, rörbrott, fogförskjutningar och inläckage [36].

Metoder för Statusbedömning

Metoder som används för statusbedömning på avloppsledningar är b.la. filmning, genomlysning och kontroll av deformation,

Filmning av ledningar

Filmning av avloppsledningar ger en bra uppdatering om rörets tillstånd. Ledningen spolas i samband med filmningen för att underlätta framåtkomlighet med kameran och ge bättre sikt. Med hjälp av den här metoden kan man upptäcka problem som rörbrott, rotinväxt, fel i kartan och inläckage. Man måste också titta efter otäta ledningsskarvar, otäta brunnsfogar och hålrum mellan servis och huvudledning [16].

Vid inläckage kan man se vatten spruta in och då måste man ta prover för att få indikation av vilken typ av vatten det kan röra sig om. För att hitta inläckage av dagvatten kan man filma under regniga perioder eller fylla dagvattenledningar i samma rörgrav med dricksvatten och se var det läcker in till spillvattensystemet. Metoden att filma under regniga perioder kan begränsas genom att tiden kanske inte räcker till för att undersöka hela områden i nätet. Att fylla dagvattenledningar är kostsamt och det behövs planering innan man kan genomföra testerna [16]. För att få en sådan bra statusbedömning som möjligt, är det viktigt att kombinera olika metoder, t.ex. filmning med flödesdata.

Genomlysning

En annan metod som används på små avloppsledningar är genomlysning, där en stark lampa placeras i ena brunnen och en vinklad spegel i den andra brunnen. På så sätt kan man se om ledningen har större tvärsnittsförändringar eller om det finns stora föremål i ledningen [2].

Kontroll av deformation

Man kan använda fasta tolkar, ett instrument med utgående piggar som man drar igenom ledningarna för att se om de kommer fastna någonstans. Om de fastar så vet man att det finns deformationer inne i röret och att deformationen är stor nog att förhindra tolken. Man kan även använda en mätande tolk med fjädrade tolkarmar som kan mäta upp hur stor deformationen är på olika punkter. Deformation anges som procentuell förändring av den inre diametern [36].

Kontroll av flöde för att hitta inläckage till spillvattensystemet

Ovidkommande vatten i spillvattensystem kan bestå av olika typer av vatten som t.ex. dricksvatten, grundvatten, regnvatten, dräneringsvatten, smältvatten eller ytvatten. Man kan misstänka stort inläckage när mängden inkommande vatten till reningsverk eller pumpstation är större än utgående vatten, då är det en bra idé att påbörja en inläckagesökning.

Ovidkommande vatten och bräddningar bidrar till miljöförstöring och på lång sikt kan man spara in mycket pengar om man minskar på utläckage från dricksvattenledningar och inläckage till spillvattenledningar. Det ligger stora omkostnader i källaröversvämningar då man måste utföra utredningar, utbetalningar av ersättningar till fastighetsägare [36].

En enkel och snabb metod är att titta på data från pumpstationer som kan visa på för höga flöden. Optimalt är att titta under natten vid torrt väder och jämföra data med data från regn- och

smältperioder. Skillnaden mellan dessa värden utgör ovidkommande vatten. Man tittar även på pumparnas aktivitet, är aktiviteten högre än normalt då flödar det in mer vatten.

Den här metoden ger information på vilket område i nätet det sker inläckage och är ett bra komplement till övriga metoder. Mycket data ska analyseras och man använder därför datamodell för ändamålet.

En annan enkel och bra metod är att under nattetid lyfta upp brunnslöcket och uppskatta flödet på ledningarna, när normalflödet är så litet som möjligt. Då kan man avgöra om flödet kan vara onormalt stort. Vädret och nivån på grundvattnet är viktiga parametrar som avgör när man kan utföra undersökningen. Skulle det föreligga höga flöden under torra perioder, då läcker det förmodligen in dricksvatten. Vid regnigt väder beror höga flöden på ovidkommande vatten från högre grundvattennivå och inläckage av dagvatten.

Det som är svårt med metoden är att på vintern kan locken ha frusit fast och är svår att öppna. Det finns en viss fara för säkerhet då brunnarna ligger på vägar och det råder även fallrisk. På vägar med mycket trafik är brunnarna inte tillgängliga. Metoden fungerar också bara vid torrt väder [16].

Ammoniummetoden

Den här metoden kan användas till att både hitta inläckage till spillvatten och utläckage från dricksvattenledningar. För att säkerställa att inläckage pågår, kan man vid undersökningen analysera vattnets ammoniumhalt. Då kan man upptäcka om avloppsvatten är utspädd av inläckande vatten. Normalt ska ammoniumhalten ligga mellan 35-45mg/l i spillvatten men om uppmätt halt skulle ligga under 20 mg/l räknas spillvattnet som utspädd. Detta bekräftar inläckage [16] och inkommande vatten kan komma från felkopplat dagvattensystem, inträngande grundvatten eller så kan vattnet komma från läckande vattenledningar. Med den här metoden arbetar man uppströms och tar prover och mäter ammoniumhalten vid nedstigningsbrunnar. Man kan då märka in de brunnar som uppvisar lägre halt av ammonium tills halten börjar öka igen och då har man ringat in inläckaget.



Bild 8. Ammoniummetoden kräver provtagningar från brunnar kring området där det läcker [22].

Det går även att beräkna andelen inläckage vid funnen läcka genom att beräkna hur mycket spillvatten som släpps ut i området. Man måste ta reda på hur många fastigheter det finns i området och få ett medelvärde på hur mycket vatten de släpper ut. Sedan beräknar man hur mycket extravatten det finns för att få fram den uppmätta ammoniumhalten. Sedan kan man tillsätta tillskottsvattnet till reningskostnaden och man får fram kostnaden för inläckaget. Metoden är snabb och ger resultat direkt

och vid rätt vald brunn är det lätt att avgöra om området är aktuellt eller inte. Inläckaget måste dock åtgärdas innan fortsatt läcksökning kan fortsätta nedströms.

Indikation på var man kan börja leta efter inläckage får man från flödesmätarna. Plötsliga förändringar i flöde som inte kan härledas till stor nederbörd eller snösmältning beror ofta på inläckage av dricksvatten från en läckande vattenledning. Man sätter in personal till det område som verkar drabbat som påbörjar sökningsarbetet. Kompletterande analyser kan göras för att ta reda på om inläckage kommer från en vattenledning och man kan mäta parametrar som pH, konduktivitet och hårdheten på vattnet och jämföra värdena med värden från dricksvattnet.

Man kan även utföra klortest på vattnet för att försäkra sig om att läckan är dricksvatten. Om fallet är så kommer klorhalten att öka ju närmre läckan man kommer. Man kan använda reagenspulver som påvisar närvaron av klor genom färgomslag till rosa eller så kan man använda ett mätband som kommer färgas i närvaro av klor och färgen kommer sen bedömas. Det går även elektroniskt att mäta närvaron av klor och dess halt.

Metoden ger snabbt resultat och passar bra till tex. villaområden där flöden är låga. Bättre resultat får man i områden som har separerade system för att kunna utesluta vädret men metoden går också bra att använda i kombinerade system om vädret är torrt och man kan utesluta nederbörd. Under vintern kan det vara svårt att få upp brunnslocken då de ofta fryser fast. Brunnarna ligger ofta i vägar och detta utgör en arbetsrisk och det finns även en risk för fall. På vägar med mycket trafik är brunnarna inte tillgängliga. För att kunna gå vidare med brunn undersökningarna nedströms, måste funnen läcka först lagas. Metoden är begränsad av vädret och vilket avloppssystem som finns i fastigheterna [16].

Dränering- och stuprör

För att detektera om stuprör är kopplade till spillvattensystem kan man färga vattnet, följa det och se var det tar vägen. Man kan även röka spillvattenledningar och se om det kommer ut rök från stuprören. Vid fastigheter kan man också se i inpektions- eller spolbrunnar på dagvattensservisen hur rören är kopplade. Man kan också se om dräneringen är kopplad till brunnen. Finns det inga brunnar vid fastigheterna måste man filma för att se om dräneringen är kopplade till spillvattensystemet [16].

Dräneringsledningar och även stuprör kan vara kopplade till spillvattenledningar, det kan bero på att dräneringsledningar ligger djupt och inte kunnat kopplas till dagvattenledningar [16]. Många fastigheter före 1950-talet kopplade in dagvattensystem in till spillvattensystemet och det kan även förekomma idag. Vid kraftig nederbörd ger detta stora mängder ovidkommande vatten som går in i spillvattensystemet och går vidare in till reningsverken. Reningsverken har en begränsad förmåga att ta in vatten och vid stora inflöden måste man koppla om en del vattnet, så att vatten passerar det första biologiska reningssteget och går direkt till den kemiska reningen.

Detta kan leda till att stationen för kemisk rening blir överbelastad och detta leder i sin tur till ökade kostnader för att rena vattnet. Vid höga tryck finns det risk för att avloppsvatten släpps direkt ut i naturen, vattendrag och även till vattentäckter. Detta är ett återkommande problem i reningsverk vid stor nederbörd [37]. Även nödutsläpp kan ske vid strömavbrott då pumpar slutar att fungera eller vid driftarbete [39]. Inläckage kan också ske från bräddar anslutna till sjöar vid höga vattennivåer. Vattnet går då direkt in till spillvatten och orsakar problem för reningsverken [37].

Överbelastade avloppssystem

Vid kraftigt regn löper de med kombinerat avloppssystem risk för översvämning i källare, eftersom stora mängder regnvatten leds då ner till spillvattenledningarna. Detta leder till att avloppssystemet inte klarar av att avleda allt avloppsvatten och då tränger avloppsvatten upp tillbaka genom golvbrunnarna i källaren och orsakar översvämning [39].

Att leda dagvatten och dräneringsvatten till spillvattensystemet ökar driftkostnaderna för reningsverken då de måste rena stora mängder vatten vid kraftig nederbörd. Miljön far illa av de bräddningar som måste göras och det kostar samhällen mycket p.g.a. alla källaröversvämningar i form av utredningar och ersättningar till fastighetsägare [39]. Många omkopplingar måste göras på fastigheter för att kunna minska på ovidkommande vatten av dag- och dräneringsvatten. Ansvar för att detta ska ske ligger enligt lagen på fastighetsägarna och det är ett arbete som kostar mycket pengar och kräver stora insatser för dem, därför kvarstår problemet [9].

Avloppsvattnets innehåll och risker för kontamination

Vilken typ av verksamhet som finns i det omgivande området avgör vad som kommer att finnas i spillvattnet. Avloppsvatten innehåller vanligtvis ämnen som förbrukar syre, närsalter, mikroorganismer, tungmetaller, svårnedbrytbara ämnen och läkemedelsrester [39]. Vanliga patogena bakterier i avloppsvatten är Salmonella, Campylobakter och EHEC (enterohemorragisk E. coli) och de har sitt ursprung från toalettwater, bad-, tvätt- och diskwater men även från industrier som mejerier och slakterier. Det inkommande vattnet till reningsverket innehåller ca 10^{10} bakterier per ml. De flesta bakterierna är gramnegativa och producerar endotoxiner. Det är ett ämne som finns på deras cellvägg och sprids genom luften och orsakar problem i andningsvägarna, feber och influensaliknande symptom [40].

Det föreligger risker att dricksvattnet kan kontamineras av avloppsvatten. Detta kan ske om det skulle finnas hål både i vattenledningen och i avloppsledningen vid nära avstånd. När det finns ett utläckage av vatten, kommer omgivande jord att bli vattenmättad. Då kan bakterier ta sig fram i alla slags riktningar och ta sig från den nedre belägna avloppsledningen upp till dricksvattenledningen och kontaminera dricksvattnet [41] om ledningen skulle bli trycklöst. Det föreligger även risk för kontamination vid reparation av VA-rör, det kan ske felkopplingar av misstag eller rör kan skadas under reparation [43].

Drift och underhåll på avloppsledningar

De vanligaste underhållningsåtgärderna för avloppsledningarna är bl.a. att förbättra transporten, täta stora läckor, spolning, rensning, rotbekämpning, reparation av fogar som läcker och renovering. Ibland sker omläggning av rör, tillsyn av brunnar och slamsugning av dagvattenbrunnar.

Det är viktigt att ledningarna är täta och att ingen inläckage av grundvatten eller jord sker, det medför ökad belastning för reningsverket och kan vid enstaka tillfällen orsaka översvämningar.

Ledningarna ska vara fria från föremål som kan bromsas upp genomflödet som t.ex. utspolade trasor, hår och tops. Stopp i ledningarna är den vanligaste driftstörningen och det åtgärdas med högtrycksspolning. Förekommer det korta intervall mellan spolningarna, visar det på en dålig transportkapacitet i röret och ledningen bör undersökas [11].

Rotbekämpning

Trädrötter växer med jämna mellanrum in i VA-ledningar genom fogar, sprickor och bildar inne i ledningarna nystan som kan orsaka stopp. Rötterna tar sig in genom fogarna och äldre betongledningar med otäta fogar har oftare problem med rotinväxt. För nyare ledningar tar det lite längre tid för rötterna att växa in och även plastledningar är utsatta för problemet.

De metoder som finns för att ta itu med problemet är högtrycksspolning med roterande knivar, termisk behandling med ånga eller byte av ledning. Den vanligaste metoden är roterande knivar som är ihopsatt med ett aggregat för högtrycksspolning. Röret kan sen efterbehandlas med ånga. Måste ett rör behandlas oftare än ett intervall på fyra till fem år, brukar man börja fundera på att förnya röret genom relinig, lägga ett nytt rör eller plantera nya träd längre bort [9].

Idag finns det ingen bra lösning att bli av med inväxande rötter [9] och nuvarande bestämmelse säger att det ska vara minst tre meter från träd till ledningar. Enligt en rapport från Svensk Vatten är avståndet för liten, man förespråkar sju meter för ett säkrare avstånd [43].

Material i vatten- och avloppsledningar

De tre vanligaste rörmaterial som finns idag i vattenledningarna är gråjärn, segjärn och PE. Gråjärn och segjärn utgör gjutjärnsrör och PE står för polyeten rör. I avloppssystemen utgör betong det vanligaste materialet som följs av PVC [11].

Gråjärn

Gråjärn är ett material som har använts sedan 1860-talet ända fram till 1970-talet. Dessa rör tillverkades i dimensionerna 8-120mm och rörmaterialet är en legering mellan av järn och kol. Gråjärn innehåller även andra ämnen som kisel och mangan i små mängder [11]. Gråjärnet är känsligt för hårda stötar pga. att kolet uppträder i formen som fjällformigt grafit och utgör ett sprött material [44].

Dessa typer av rör kan alltså lätt skadas vid anläggning men de är dock tåliga mot högt yttre tryck. Materialet är känsligt för balkbrott vid små dimensioner eller när ledningen utsätts för korrosionsangrepp. Gråjärnsrör från 50- och 60-talet har uppvisat högre läckfrekvens (läckor/km, år) än gråjärnledningar från tidigare period, ända tillbaka till 1890-talet. Detta beror på att under 50- och 60-talet började man använda maskiner vid anläggning av ledningar. Ledningsgravarna blev bredare och man använde fyllnadsmaterial som inte gav lika bra stöd till ledningarna [11]. Innan dess grävdes ledningar ner för hand och fyllnadsmaterialet kunde då packas mycket bättre.

Arbete med grävsopor orsakade förmodligen också att gråjärnsledningarna utsattes för fler stötar, vilket gav upphov till sprickbildning [11]. Gråjärnledningarna från 50- och 60-talet är intressanta för statusbedömning, speciellt ledningar i de lägre dimensionerna.

Segjärn

Gråjärnsledningarna var spröda och känsliga för slag därför ville man med tiden skapa nytt och starkare ledningsmaterial. Segjärnsledningar kom ut på marknaden på 50-talet och de innehöll magnesium vilket gjorde materialet tåligare mot stötar. Ledningarna tillverkades därför i en mindre godstjocklek. När de lades ner i marken var man även oförsiktig med vilket fyllnadsmaterial man använde. Fyllnadsmaterialet kunde utgöras av vanlig jord från omgivningen som kunde vara korrosiva jordar. På dessa platser uppstod därför läckor snabbt och korrosionen kom i form av punktkorrosion p.g.a. att rören hade en tåligare karaktär.

Innan 80-talet fanns det inget effektivt ytskydd mot korrosion utan man använde då bitumen. Men efter 80-talet kom förbättrade utvändiga och invändig skydd, man använde cementbruksisolering på insidan och utvändigt använde man ett aluminium och zink legering under en epoxybeläggning. De här typerna av rör tillverkades i Sverige mellan åren 1967-92 och idag tillverkas de utomlands.

Segjärn är känt för att ha problem med korrosion på utsidan där gropfrätningar uppstår ofta i skador och porer i korrosionsskyddsbeläggningen. Skador på själva beläggningen kan uppstå när röret transporteras, lagras eller vid anläggning. Skador på nergrävda rör kommer ifrån jordsättningar och underrostning. I en rapport från Svenskt Vatten nämns termoplastbelagda segjärnsrör och levasintbelagda rör som korrosionshårdiga [45].

Det är viktigt med ett effektivt korrosionsskydd som är tjock, kan tåla stötar och har en god vidhäftning till segjärnet. Det är även viktigt att den är porfri och har en hög ogenomsläpplighet för vatten syrgas och andra gaser. Enligt en rapport från Svensk Vatten 2003, finns det en studie där 103 skadefall på segjärnsrör hade kartlagts och man hade sett att av 103 skadefall, hade 52 % av skadorna

uppkommit genom utvändigt korrosion och korrosion hade varit del av skadebilningen för 69 % av totala antalet skador [45].

Segjärn används i vattenhuvudledningar i Sverige och när det gäller att utföra statusbedömning måste man kolla upp vilket typ av korrosionsskydd de har och i vilken jordtyp de ligger i, båda faktorerna kan nämligen vara avgörande för dess status. Ledningar som är lagda före 1980 har sämre korrosionsskydd och kan uppvisa högre läckage frekvens än de som är lagda senare. Läckagefrekvensen från olika tidsperioder är inte sammanställt eftersom det saknar underlagsdata. [11].

Vanligaste korrosionstypen på segjärnsledningar och gråjärnsledningar är gropkorrosion, det är en snabb typ av korrosion som uppstår vid en stor katodyta och en liten anod yta. Vanligaste anledningen till att det uppstår gropkorrosion inne i röret är att luftningsceller bildas i samband med slambildning i röret. Vanligast är att groparna ligger längs botten på rören.

Vid lika stora anod och katodytor uppstår allmän korrosion utmed hela ytan som är en långsammare typ av korrosion. Olika typer av lokal korrosion kan uppstå utanpå rören så som luftningsceller, mikrobiell och galvanisk korrosion.

Luftningsceller uppstår när det finns variationer i syrekonscentrationen, det kan t.ex. uppstå när ett rör ligger precis vid ytan av grundvattnet och går delvis under och över ytan [11]. Även sulfatreducerande bakterier kan orsaka korrosion. Galvanisk korrosion sker när två metaller kommer i kontakt med varandra med olika elektronpotentialer, som t.ex. koppar eller stål mot gjutjärn. I stora delar av Sverige är kalkhalten låg, vilket påskyndar korrosions processer.

Vad som är viktigt att tänka på vid grävning kring rör, t.ex. när man lagar läckor är att man måste fylla igen med fyllnadsmaterial som är lik övrigt omgivande material längs röret så det inte uppstår skillnader i syrekonscentrationen. Risken är då att det kan uppstå allmän korrosion längs hela ytan på ledningen där reparationen har skett. I detta fall skulle hela ledningen bli anod och området som reparerats blir katoden. Detta medför en långsam korrosionsprocess som kallas allmän korrosion där hela ytor korroderas långsamt. Risken är störst om röret ligger över grundvattens nivån för under vattenytan är syrekonscentration mer homogen [11].

Korrosionshastigheter på gjutjärn och segjärnsrör

Det är svårt att uppskatta hur fort korrosion sker, det är viktigt att ta hänsyn till den jordart som rören är nedgrävda i och omliggande fyllningsmaterial. Fyllningsmaterialen varierar dessutom väldigt mycket vilket försvårar bedömningen. I en studie har man sett att rören måste ha minst 60 % av sin godstjocklek kvar för att ha kvar sin bärighet. Från undersökningar i Sverige från olika provplatser har man sett att hastigheten på allmän korrosion ligger mellan 4-29 μm per år och man har då beräknat att tiden det skulle ta för gjutjärnsledningar att komma till den punkten då de har 60 % av sin godstjocklek kvar är mellan 165-1200år. För segjärn ledningar skulle tiden vara mellan 30-300 år. Efter 7 år ligger hastigheten för lokal korrosion mellan 21-190 μm per år. Tiden på genomfrätning är då 63-570 år för gjutjärn och för segjärn ligger tiden mellan 30-300 år [11].

Plastledningar

Under 50- och 60-talet började man gradvis gå över från metalledningar till plastledningar. Fördelen var att plastledningar inte får problem med korrosion. Vid den här tiden introducerades i en liten skala även GRP rör (glasfiberarmerad polyester) för stora ledningar. De vanligaste plastmaterialen som används i VA-ledningar är PE (polyeten), PVC (polyvinylklorid) och PP (polypropen).

Skadeprocesser i plastledningar

Belastningar på plastledningar orsakar töjningar på materialet och ledningarna klarar att bära upp belastning för en tid med en begränsad uttöjning. Den här perioden kallas för korttidshållfasthet. Men vid en viss tidpunkt börjar materialet ge med sig där deformationen blir värre och risker för sprickor blir högre. Den här fasen kallas för långtidshållfasthet. De här två faserna är olika långa hos olika plaströr, t.ex. PE och PP deformeras mer än PVC. Termoplaster deformeras mer än hårdplaster som t.ex. GRP.

Plaströr genomgår tre faser under sin livstid och i de olika faserna ser skadorna olika ut. Fas ett är olika lång för de olika typerna av plaster beroende på de olika egenskaperna hos plastmaterialen och när de tillverkades. De PE rör som tillverkas idag varar i flera hundra år i fas ett i jämförelse med de som tillverkades på 60-talet som bara varar i fas ett i några decennier. Om rören utsätts för högre tryck under fas ett än vad de ska klara bildas brott med utbuktningar på röret. I fas två sker det istället en långsam sprickbildning och i fas tre bildas det åldringssprickor [11].

Viktiga faktorer som alltså påverkar plaströrens livslängd är materialens egenskaper, belastningens storlek, temperaturen och miljön. Höga temperaturer och starka kemikalier påverkar rörens hållfasthet på ett destruktivt sätt. Rör med tjockare godstjocklek klarar högre belastningar och har därför längre livslängd.

PE, PP och PVC

PE och PP plaster är polyolefiner och de här typerna av rör används mest i VA-system men även som mantel runt fjärrvärmerör. PE finns idag som PE80 och PE100 och dessa beteckningar visar på att molekylstrukturerna är olika och ger olika tryckhållfasthet. PE och PP tål de flesta syror, luter och organiska lösningsmedel men är känsliga mot halogener. PP kan användas i temperaturer upp till 90 °C och eventuellt upp till 110 °C [46]. PEH betyder polyeten med hög densitet och PEM innebär polyeten med medium densitet. Tillverkning av PE sker genom att man polymeriserar eten [47].

Polypropen (PP) är en plast som utgörs av propen och har egenskapen att omvandlas till glasaktigt material vid temperaturer vid -10 till -20, vilket gör materialet känslig för brott under vinterhalvåret [48].

Polyvinylklorid (PVC) består av vinylkloridmolekyler i polymerer. Materialet skapas av att blanda klor och eten tillsammans med mjukgörande ämnen [49].

4S problematiken

Stockholm, Umeå och Norrköping har fått erfara att relativt nylagda plaströr har gått i sönder och orsakat stora utläckage av dricksvatten, vilket inte borde hända. Detta beror på att rören rör på sig och drar ihop sig och sväller vid temperaturskiftningar. När temperaturskillnader och rörelse uppstår i rören, finns det en risk att muffarna lossnar. Vid undersökningar har man även sett att svetsningen inte riktigt har skett fullständigt. Dessa typer av läckage är väldigt kostsamma och VA-bolagen idag är redan belastade med förnyelsearbete med åldrade ledningsnät [50].

Enligt en rapport från 4S hemsida beskrivs det att 53 % av problemen i PE ledningar sker i skarvarna och att huvuddelen av skarvarna i PE ledningar har elektrosvetsmuffar. De fyra vanligaste felen i skarvarna var dålig skrapning, för lång svetstid, deformationer och skador.

Vid dålig skrapning, kommer oxidskiktet att ligga kvar, vilket kommer försämra hopsvetsningen. Vad som också kan förekomma är att rören inte blir lagrade på rätt sätt på arbetsplatsen och förlorar den ovala formen som de ska besitta vilket försvårar hopsvetsningen. Elektrosvetsmuffarna tillverkas

dessutom i en storlek som inte riktigt passar ihop med de ledningar som man ofta använder muffarna till att svetsa ihop [14].

Toe in effekt

PE rören drar ihop sig vid ändarna pga. inneliggande spänningar från tillverkningen. Detta fenomen kallas för toe in och PE rör måste svetsas ihop med andra rör ganska kort tid efter att de har blivit kapade, annars kommer det bli ett gap mellan röret och svetsmuffen. Det i sin tur kommer orsaka att det blir en dålig svetsning och att för lite PE material kommer att smälta samman. Detta kommer producera en känslig skarv. Ett PE rör ändrar även dimension med tiden när den sätts i drift och diametern kan öka upp till 3 % och blir då för stora för elektronsvetsmuffarna.

Betong

Betongledningar består av betong med längsgående eller cirkulär armering och i skarvarna är de tätade med gummiring. Betongrören är känsliga för sättningar och vid stötar kan det bildas sprickor eller mikrosprickor. Vatten läcker vidare in i dessa sprickor och korrodera armeringen. Detta leder i sin tur till att armeringens volym ökar och spränger sönder omgivande betong. De ledningar som klarar sig undan skador och fuktig miljö kan klara sig bra länge. De betongledningar som är lagda har ofta en stor dimension och om det skulle uppstå brott, kan det skapa stora konsekvenser. För många betongledningar vet man inte hur statusen ser ut och därför är det svårt att uppskatta deras livslängd.

Vid 1999 upphörde man att lägga betongledningar i Sverige p.g.a. dåliga drifterfarenheter. Men mellan perioden 1949-1999 har det lagts mer än 10 mil SENTAB-rör mellan dimensionerna 500-2000mm i svenska VA-system och betong utgör alltså en betydlig del av VA-systemet [27].

Fjärrvärme

Fjärrvärme innefattar ett slutet system där man pumpar runt uppvärmt, hett vatten för att värma upp samhället. Man kan likna systemet vid hjärtat som pumpar runt blod till kroppen. Ett värmeverk värmer upp vatten genom förbränning av olika material som t.ex. avfall, spillvärme från industrier och rester från skogsindustrin. Det uppvärmda vattnet pumpas sedan ut genom ett isolerat ledningsnät till hushåll, offentliga byggnader och överallt i samhället där värme behövs. I varje fastighet finns en fjärrvärmecentral med en värmeväxlare dit det varma vattnet når och värmeväxlaren överför värmen till fastighetens lokala vattensystem för att värma upp kranvatten och element [51]. Ledningsnätet består av två parallella ledningar, ett som leder ut uppvärmt vatten från värmeverket ut till samhället och ett som transporterar använt och kallare vatten från husen till värmeverket för att åter värmas upp igen.

Fjärrvärmevattnet återanvänds alltså om och om igen. Temperaturen på utgående vatten ligger mellan 80-90 grader och temperaturen på inkommande vatten ligger mellan 40-50 grader. För fjärrvärmebranschen är det viktigt att bygga ut ett nät som har en lång drifttid och som fungerar säkert. Utbyggnad av fjärrvärmen är dyrt och kan kosta mellan 2000-12000 kr/meter. Därför är det viktigt att hitta metoder för att livstidsförlänga nätet och förvalta den på bästa sätt [51].

Fjärrvärmens Historia

I samband med industrialiseringen på 1800-talet började städerna växa med ökad antal invånare och aktivare stadsliv. Med den ökade aktiviteten ökade också effekterna av det, nämligen att bildningen av avfall ökade drastiskt. När den danska staden Frederiksberg började breda ut sig, blev omgivande marker dyrare att köpa upp för att dumpa sopor på. Därför var staden vid 1800-talets slut fylld med sopor på gatorna och stanken var enorm. Stadens invånare var rädda att epidemier skulle uppstå och myndigheterna tvingades komma fram med nya idéer [52].

I Tyskland och i USA hade man börjat bygga upp anläggningar där man brände upp sopor för bli av med dem och då passade man även på att ta vara på den energi som bildades [53]. År 1882 inrättades ett fjärrångverk i Manhattan som är i drift än idag [54]. År 1898 skickade Frederiksberg sopor med tåg till Hamburg i studiesyfte för att ta reda på om detta skulle vara en bra idé med att bränna sopor och utvinna energi. De blev övertygade om att det var en rätt väg att gå och år 1903 upprättades den första fjärrvärmeanläggningen i Frederiksberg [52].

I Sverige kom den första fjärrvärmeanläggningen år 1878 till Sabbatsberg sjukhus, som var först med att starta upp ett fjärrvärmesystem. Svenska värmetekniker studerade förutsättningarna i Sverige för att starta upp fjärrvärme på storskala. Flera fjärrvärmeprojekt initierades i början av 1900-talet men de ledde ingenstans och man mötte på motstånd från bl.a oljeindustrin. Men efter andra världskriget började Sverige förändras och antalet invånare i städerna steg kontinuerligt. Behovet efter el och värme ökade kraftigt och man insåg att el och värme skulle snart koma att bli en bristvara. Det var vid den här tidpunkten som fjärrvärme fick sitt inträde till fler städer. Det första kommunala fjärrvärmeverket invigdes den 29 oktober i Karlstad 1948 och därefter följde fler städer i dess spår som t.ex. Malmö, Göteborg och Stockholm. Men det dröjde ända till 70-talet innan det stora genombrottet kom i samband med miljonprogrammen som kunde direkt anslutas till fjärrvärme [53].

Dagens fjärrvärmesystem

Idag består äldre fjärrvärmenät av ställedningar som ligger inneslutna i betongkulvertar som utgör lådor av betong. Inne kan ledningarna ligga i ett hålrum, uppfästa genom metallkonstruktioner eller så kan ledningarna vara ingjutna i betongen [4].



Bild 10. Gamla fjärrvärmeledningar i betongkulvert.

De nyare ledningarna ligger inbäddade i ett lager av isolering med en plastmantel runt om. I isoleringen ligger larmtrådar som utlöser larm om de detekterar fukt inne i isoleringen.



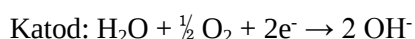
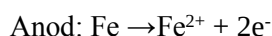
Bild 11. Nyare fjärrvärmeledningar omgiven i isolering med en mantel av PE-plast.

Det är viktigt att ledningarna fungerar säkert och att de är hållbara i längden för att kunna leverera värme på ett tillfredsställande sätt. För att bevara ledningarna i ett gott skick måste man förbehandla fjärrvärmevattnet innan det pumpas ut i systemet, annars finns det risk för att inre beläggningar, korrosion och läckage uppstår. Till fjärrvärmevattnet tillsätts även färgämnet pyranin som ger fjärrvärmevattnet dess gröna färg. Syftet är att lättare kunna detektera utläckage. Fjärrvärmeledningar utgörs främst av kolstål och koppar som ibland utsätts för korrosionsangrepp. Detta kan bero på att omgivande vatten i jorden tränger in igenom betongkulvertar och orsakar med tiden korrosion på medieröret [54].

Korrosion på ledningar

Det finns två typer av korrosion, allmän korrosion eller lokal korrosion. Allmän korrosion innebär att frätning sker över en hel yta. Denna process kan ske genom att t.ex. kolet i kolstål materialet bildar katodytor och järnet bildar anodytor [55].

Järnet bildar järnjoner och börjar då upplösas. Vid de två ytorna sker följande reaktioner:



Allmän korrosion sker vid närvaro av syre och kan ske vid neutral, sur eller alkalisk pH. Vid hög närvaro av syre bildas produkten hematit (rödrost), Fe_2O_3 och vid låga halter syre bildas magnetit (svartrost), Fe_3O_4 . Vid allmän korrosion är risken för sprickbildning och läckage liten eftersom en hel yta är angripen och genomfrätningen sker långsamt.

Lokal korrosion uppstår på ställen där det råder olika potentialskillnader, t.ex. vid olika koncentrationer av syre. Denna process kan uppstå vid t.ex. avlagringar där syre inte kan komma in under avlagringen och den delen blir då syrefattigt. Elektrolyterna runt om har högre syrehalt och bildar då ett katodområde. Vid spalter kan koncentrationsskillnader uppstå genom att elektrolyter tar sig in i spalten och förblir stillastående. Detta medför en låg syrehalt och området bildar en anodside. Den här typen av korrosion kallas för spaltkorrosion [56].

Gropkorrosion kan uppstå då kloridjoner påbörjar nedbrytning av oxidskiktet på ledningens yta vid lokala platser. Där kommer att bildas en grop och avlagringar med korrosionsprodukter. Dessa avlagringar förhindrar syre att ta sig till området och gropen bildar på så sätt en anod och omkringliggande område bildar en stor katodyta. Detta ger upphov till en hög strömtäthet och punktangrepp på ytan.

Vid lokal korrosion föreligger det alltså en stor risk för att det bildas hål ganska snabbt. Om syrehalten ökar och magnetitfilmen på rörens insida inte är tillräckligt tät, kommer korrosion uppstå på ställen där filmen är tunnare. Syre kan komma in via t.ex. ett läckage i en värmväxlare och hur mycket syre som kommer in kommer att bestämma hur mycket korrosion det kommer ske på rören. T.ex. 1 gram syre fräter bort ca 3,4 gram järn och skulle 1 gram syre spridas ut på en hel yta blir korrosionens effekter mindre. Rör det sig om en lokal frätning, kommer 1 gram syre fräta igenom röret snabbare [57].

Det som är avgörande om det blir en lokal eller en allmän korrosion beror på om det finns en tillräckligt tät magnetitfilm. Om syrehalten är hög från början i ett nytt fjärrvärmenät som tas i drift, då kommer en allmän korrosion att ske för där har ingen magnetit hunnit bildats än och ytan ligger blottad för frätningar [57]. Detta är en initial korrosion som kommer ske på alla nya rör och den nya magnetitfilmen är viktig för att förhindra ytterligare korrosion på röret, det fungerar alltså som ett skydd [56].

Vid ett surt pH uppstår vätgasutvecklande korrosion där metallen korroderar enligt formeln:
$$\text{Fe} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2.$$

Vätgasbildande korrosion är inte så vanligt och förhindras genom att höja pH till ett alkaliskt pH. Vätgasutvecklande korrosion blir försumbart vid pH över 9,0 men vid ett för högt pH ligger det dock en risk för korrosion då hydroxidjonerna börjar reagera med magnetitskiktets yta och löser upp den. När metallytan blottläggs kan metallen angripas av nya korrosionsangrepp.

Vad som är optimalt för fjärrvärmevatten är ett pH värde mellan 9,5-10 med en syrehalt under 10 µg/kg. Vid dessa förhållanden anses korrosion vara försumbart [57]. Förutom att korrosion kan bilda hål på rören, orsakar korrosion även slambildning från korrosionsprodukterna. Slammet ger upphov till problem vid värmeöverföringen i värmväxlare då slammet lägger sig på ytorna [57]. Risken för överhettning i rören ökar vilket kan medföra att röret spricker. Det kan bli dålig cirkulation och även stopp i rören. Slammet orsakar även slitage i pumpar och störningar för vattenmätare [59].

Reningsprocesser för fjärrvärmevatten

För att undvika problem med korrosion, måste vattnet som ska användas för fjärrvärme förbehandlas. Vattnet måste erhålla ett alkalisk pH, bli syrefritt och få en låg konduktivitet. Ju mindre salt det finns i vattnet, ju mindre elektrisk ledande förmåga har vattnet och ju mindre syre det finns i vattnet, ju mindre korrosion kan ske [56]. Det är viktigt att man bevakar vattnet noggrant för att förhindra korrosion och hur bra kvalitet det blir på fjärrvärmevattnet beror på råvattnets ursprungliga kvalitet. De viktiga stegen i att behandla fjärrvärmevatten är mekanisk rening, avgasning, avhårdning, avsaltning och kemikaliedosering.

Mekanisk rening

Man använder sig av silar, smutsfickor och filtrering för att avlägsna partiklar. De typer av filter man använder är patronfilter, påsfilter och kolfiler. Man låter en del av vattnet ledas ut från flödet som kontinuerligt filtreras och återförs till huvudledning. Vanligtvis används patronfilter med filtreringskapacitet på 0,1-100µm.

Avgasning

Man vill få ut lösta gaser som t.ex. syre, kväve och koldioxid från vattnet. Metoderna man använder är att tillföra värme eller sänka trycket. I en tryckavgasare förs vatten i kontakt med ånga under lite övertryck där temperaturen ligger över 100° C. Ett annat sätt är vakuumavgasning där trycket sänks så vattnet befinner sig i mättat tillstånd under 100° C. Man kan även tillsätta syrebindande kemikalier för att få bort syre.

Avhärdning

Man vill få ner halterna på kalcium och magnesium eftersom de orsakar utfällningar vid temperaturer över 50° C. Dessa utfällningar orsakar problem vid värmeöverföringen på värmeväxlarna där de lägger sig på de värmeöverförande ytorna. Man avlägsnar kalcium och magnesium joner genom en jonbytare där dessa joner byts ut mot natriumjoner. Natriumsalter är lösliga och minskar risken för beläggbildning. En annan metod man kan använda sig av är partialavsaltning där man byter ut kalcium. Och magnesiumjoner mot vätejoner. Vätejonerna kommer sen i sin tur reagera med bikarbonat och bilda koldioxid och vatten. Det är ett bra sätt att få bort bikarbonatet som ingår i vissa korrosionsprocesser [56].

Totalavsaltning

Man vill minska halten av salter i vattnet för att minska konduktiviteten och använder sig av ett katjonfilter och anjonfilter som tar bort de positiva och negativa jonerna (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ ersätts med vätejoner och Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ ersätts med hydroxidjoner). Ett alternativ kan vara omvänd osmos.

Justering av pH

Man tillsätter natriumhydroxid tills att pH ligger sig mellan 9,5 till 10 [57].

Korrosionskontroll

Det man regelbundet tar prover på är pH, konduktivitet och korrosionspartikelinnehåll. Man kan även ta prover på syrehalt och hårdheten i vattnet med kolorimetriska metoder. Man tillsätter då indigokarmin till vattnet som reagerar med syre och oxideras. Det sker då färgomslag från gul till orange, rosa, röd, purpur, blå eller blågrön beroende på syrehalten i vattnet. För att avgöra syrehalten jämför man färgen med en färdig färgstandard. Problemet med denna metod är att vattnet är redan grönfärgad och det gör resultaten svårtydda. Det man kan göra är att avfärga vattnet innan man utför testet [56].

För att få en bild på hur korrosionen ser ut inne i rören, kan man använda sig av korrosionskuponger. Dessa består av samma material som de ledningar som ska testas för korrosion och kupongen sätts in i en mätstation. Mätstationen innehåller normalt fyra stycken kuponghållare [55]. En del av hetvattnet passerar in igenom mätstationen som tar upp vatten via en cirkulationspump. Kupongerna avfettas, tvättas och vägs innan de sätts in. När nya kuponger sätts in sker en initial korrosion som är kortvarig men ganska kraftig. Korrosionsangreppet resulterar i en ny magnetitfilm som lägger sig över kupongen. När detta har skett, sjunker korrosionshastigheten till väldigt låga nivåer. För att kunna räkna bort initialkorrosionen tar man ut en kupong efter en månad och låter de övriga sitta kvar i tre månader [57]. När man tar ut kupongerna rengörs de, vägs och okulärbesiktas [55]. Man beräknar

viktskillnaden på kupongen före och efter den har exponerats för vattnet och beräknar ett medelvärde på viktförlusterna på kupongerna. Det medelvärde använder man se för att beräkna korrosionshastigheten och hastigheten anges i tjockleksreduktion per tidsenhet, ex. $\mu\text{m}/\text{år}$ eller $\text{mm}/\text{år}$. Man tittar sen även på vilken typ av korrosion som har skett på den och på hur beläggningen ser ut. Det går nämligen att se ett samband mellan korrosionshastighet, korrosionstyp och beläggningar [57].

Korrosionsmätsond

När man vill bevaka korrosionen kontinuerligt kan man använda en korrosionsmätsond. Det är ett instrument som består av en elektrod gjord av syrafast stål (ädel metall) och den bildar en galvanisk cell med rörets yta (oädel metall) när den monteras in [57]. Mätsonden mäter sen hur stark strömmen är mellan elektroderna. Ju starkare strömmen är, ju högre halt syre finns i vattnet och därmed får man ett mått på hur korrosivt vattnet är. Mätsonden omvandlar strömmen till en 4-20mA-signal. Signalen presenteras sedan som en trendkurva plottad mot tiden. Det är viktigt att kunna se när förändringar sker för att lättare kunna koppla dem till händelser. Korrosionssond används bl.a. till att detektera läckage ute på fjärrvärmecentraler [59].

Filtrering av rost

Korrosionsprodukterna i fjärrvärmevattnet består vanligast av svartrost och rödrost. För att analysera halterna av dessa ämnen kan man använda sig av milliporfiltrering. Man fångar upp partiklarna genom sugfiltrering, en liter vatten filtreras och färgen på filtret jämförs med en färgkarta. Det man kan se är hur hög halten är och vilken typ av rost som förekommer mest [56].

Läckage

Driftstörningar som läckage kan ge nya stora omkostnader, därför är det viktigt att snabbt kunna åtgärda läckage på fjärrvärmerör. För att enkelt detektera läckage har man tillsattit pyranin i fjärrvärmevatten som är ett fluorescerande grönt färgämne. Färgen gör fjärrvärmevattnet synlig om det skulle komma upp till markyta eller läcka ut genom kranen.

Två typer av läckage kan uppstå på fjärrvärmeledningar, inläckage av markvatten utifrån via öppningar i manteln och utläckage av fjärrvärmevatten ut till isoleringen. Inläckage av markvatten är vanligast och sker via öppningar i skarvar och böjar. Läckage kan både finnas med från början eller uppstå med tiden efter att röret har blivit utsatt för tryck från tung trafik, av markrörelser eller korrosion. Det är viktigt att rören är belägna över grundvattennivån, annars kan stora mängder vatten läcka in till isoleringen längs långa ledningssträckor. Läckage av fjärrvärmevatten ut till isoleringen är en snabb process eftersom det finns ett konstant tryck på vattnet. Skulle röret ligga nära markytan kan läckaget detekteras genom att hett och grönfärgat fjärrvärmevatten tränger upp i marken [60]. Vid reparationsarbete där man utför grävningsarbete och pålning, finns det risker att det kan ske stora skador på rören. Vid stora läckage kan fjärrvärmesystem tömmas på stora mängder vatten men oftast upptäcks de här typerna av skador på plats och läcksökning är inte nödvändigt.

Läcksökning på fjärrvärmerör

För att detektera läcka i fjärrvärmerör, använder man sig av indikeringstrådar som är inbäddade i isoleringen runt medieröret. Metoden går ut på att man mäter resistansen mellan trådarna och röret [60], dvs. det elektriska motståndet. Ju högre resistans där finns, ju mer spänning krävs för att driva ström av en viss styrka genom kretsen [61]. Vid inläckage av vatten kommer resistansen sjunka rejält eftersom vattnet kommer underlätta att driva runt ström i kretsen p.g.a. sitt saltinnehåll.

Resistansen är alltså mycket hög när isoleringen är torr men kommer sjunka drastiskt när isoleringen har blivit blöt. Man försöker genom metoden också få en idé om hur stor läcka det kan röra sig om.

Man resonerar att ju blötare isolering, ju större ledningsförmåga av ström finns det. På så sätt kan man avgöra storleken på läckan.

Men metoden fungerar dåligt eller inte alls när läckage av avsaltat fjärrvärmevatten går ut i isoleringen. Inläckande vatten från omgivande mark har en okänd saltkoncentration och de varierar i sina saltkoncentrationer, även detta ger ett opålitligt underlag för att bedöma storleken på inläckaget [60].

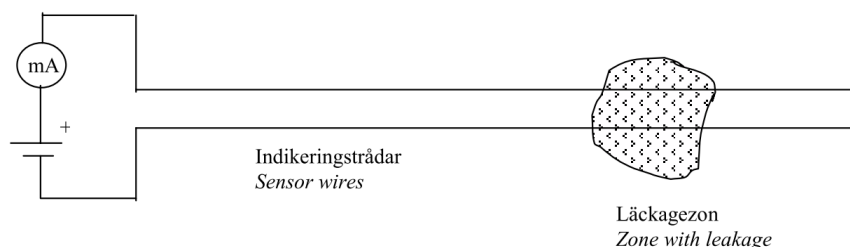


Bild 12. Bild på hur systemet är uppbyggt [60].

Resistansen bevakas ständigt via uppkopplade datorer och larmsystem. När resistansen går under en viss gräns, utlöses ett larm.

Pulsekometermetoden

För att hitta det exakta läget på läckaget skickar man ut en signalpuls på trådarna och beräknar tiden det tar för signalen att reflekteras. Signalen kommer att reflekteras så fort den stöter på någon typ av avbrott på tråden. Tanken är att signalen ska reflekteras när den stöter på en zon av blött isolat. Men området kring tråd med blött isolat utgör en diffus störning och endast små amplituder reflekteras vilka är svåra att detektera. Kortslutna trådar ger mycket mer tydliga och exakta reflektioner. Skulle det finnas fler än ett läckage, blir detekteringen ännu mer svår eftersom man då får signaler som studsar i olika riktningar mellan läckagen. Den här metoden trots sina svagheter, ger den mest exakta lägesbestämningen av läckage i rör med indikationstrådar.

Förbättringar av metoden har gjorts, man har utvecklat metoden mer och indelat systemet i mindre områden. Varje bit detekteras för sig och är inkopplat till varsitt larmsystem. Larmsystemen är sedan kopplade till en övervakningsdator där man har överblick på alla zoner och kan se vilket område som skulle utlösa ett larm. Man kan alltså direkt se vilket område som har känt av en ev. läcka och sen kan man använda sig av pulsekometer för att mer exakt lokalisera felkällan. Det här tillvägagångssättet ger bättre resultat med felmarginaler på några få meter. Mer exakta läckage detekteringar ger mindre kostnader för man behöver då bara gräva där läckan finns [60].

Nodbaserade elektroniska system

Systemet bygger på att man placerar ut läckdetektorer vid rörskarvar i ledningen istället för att ha längsgående trådar. Dessa sensorer känner av temperatur och fukt och larmar till övervakningscentral vid läcka. Sensorn sitter inne i isoleringsskummet och skickar signal trådlöst till en signalmodul utanför röret. Signalmodulen är kopplat till en övervakningscentral via kabel som även tillförser systemet med ström. De flesta läckor uppstår vid skarvarna pga. svetsfel och det här systemet kanske fungerar bäst på nyare ledningar som inte har börjat korrodera längs ledningen.

Metoden saknar förmågan att detektera läckage längs ledningarna men sensorerna övervakar och larmar individuellt oberoende av situationen hos de övriga sensorerna. Har man fem olika läckage, kommer de fem sensorerna larma var för sig om det lokala läckaget, till skillnad från larmtrådar där överledningsströmmen från läckagen slås samman på tråden. Svagheten med systemet är att den inte känner av läckage längs ledningen, dock kan fukt sprida sig och kan nå sensorn efter en viss tid [60].

Värmekamera

Principen bakom metoden innebär att värmekameran fångar upp infraröd strålning och kan fånga upp våglängder upp till 14 000 nm. Vidare skapar kameran en avbild av strålningen. Ju varmare ett objekt är, ju mer infraröd strålning strålar ut från den. Värmekamera kan fånga upp den här typen av ljus liksom en vanlig kamera kan fånga upp synligt ljus [62].

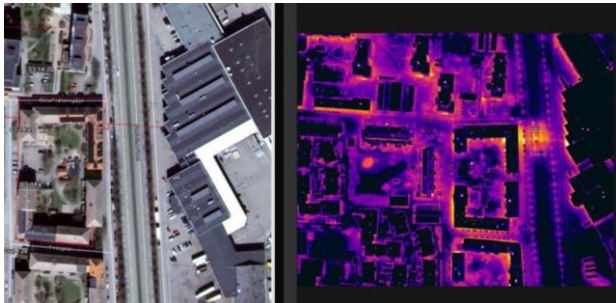


Bild 13. Bild från en värmekamera tagen från flyg. Den ljusa fläcken på ledningen är en läcka [63].

För att inspektera ett fjärrvärmenät kan man ta bilder med en värmekamera från ett flygplan där utläckage visar sig som ljusa punkter på vägarna. Fotograferingen kan ske under vintertid då det är kallt och då det är uppehållsväder. Det sker även under nattetid eftersom solen då inte värmer upp gatorna. Bilderna ligger sedan till grund för vilka läckor fjärrvärmebolag ska prioritera. Genom värmekamera får man överblick på var det läcker och hur omfattande läckagen är [63].

Delta-t metoden

Delta-t är en metod som man kan använda för att mäta upp ett medelvärde på en lednings godstjocklek. Ultraljud skickas igenom en vattenfylld ledning där man mäter ljudens hastighet, vilket är relaterat till hur stor godstjockleken är. Syftet är att kunna detektera tunn godstjocklek innan ledningen går sönder och byta ut dem. En vibrationsgenerator fästs i ena änden på utsidan av röret och likaså en mikrofon placeras ut på utsidan av den andra änden på röret. Man använder utrustningen på befintliga platser som kammare eller ventiler. En signalanalysator tar emot information om ljudvågorna via radiosignaler från mikrofonerna. Mätningen sker på rör som är i drift och är vattenfyllda. Man får ut medelvärdet på godstjockleken mellan de två mätpunkterna och resultatet ges ut till användaren i tre färger; rött, gult och grönt. Rött innebär att mer än 50 procent av godstjockleken har avverkats, röret måste bytas, gult innebär att 20-50 procent av godstjockleken har avverkats, man måste ha koll på röret och grönt innebär att mindre än 25 procent av godstjockleken har avverkats, röret kan fortfarande användas. För att kunna lokalisera en störning måste man dela upp långa rör i mindre mätpunkter. Upphovsman Arne Schleimann-Jensen arbetar på att vidareutveckla metoden så att man kan lokalisera var på ledningen risken finns för ledningsbrott [64].

Gamla Betongkulvertar

Inom fjärrvärmebranschen har man problem med att statuskontrollera gamla betongkulvertar. Dessa kulvertar är inte nedstigningsbara och okulär besiktning är alltså inte möjligt. Att gräva upp dem skulle kosta alldeles för mycket och ofta är dessa gamla betongkulvertar belägna i centrala delar av städer, grävningar skulle alltså orsaka för stora störningar i trafik och stadsliv. Idag behövs metoder för statusbedömning i dessa gamla kulvertar.

Problemen med kulvertar uppstår då vatten tränger sig in genom betongen och ansamlas inne i kulverten där det med tiden orsakar korrosion på medierören. Detta kan i sin tur orsaka haverier.

Påverkan från omgivning kan leda till att otätheter uppstår och vatten letar sig in. T.ex. vid lågt pH eller vid högre halter av klorider är risken stor för korrosion i metallkonstruktioner i betongen [4].

Vid korrosion i armeringen sväller armeringen upp nio gånger sin volym. Denna volymökning ger upphov till en inre sprängningskraft i betongen, som först orsakar sprickor och senare kan spränga bort omkringliggande betong. Sprickorna accelererar förloppet genom att mer vatten, syror och klorider kan tränga in. Till slut korroderar armeringen bort och betongens bärrighet minskar drastiskt.

Infästningar som bär upp medierör lossnar från betongen. Korrosion på medierören leder till slut att det blir håll och fjärrvärmevatten läcker ut. Lokala korrosionsangrepp kan leda till att kulvertlock blir försvagade som riskeras att ge efter för hög trafiklast och som i sin tur leder till skador på medierör.

Ökade nederbörds mängder utgör också ett hot mot kulvertarnas beständighet och ett fungerande dräneringssystem är viktigt för att uppehålla livslängden på dem. Vid stora nederbörd kan marken förflytta på sig och grundvattennivån stiga som kommer påverka kulvertarna [4]. Men materialet hos kulvertar kan fortfarande ha en bra beständighet förutsatt att kulvertarna har monterats ihop på rätt sätt och fått ligga i stabila jordar utan inträngande vatten. Under de här omständigheterna kan de klara sig bra längre än den beräknade gränsen på 30 år.

Livslängden beror alltså på flera olika faktorer såsom uppbyggnaden av kulverten, trycket ovanifrån, övriga påfrestningar, jordtyp som omger kulverten, halten av klorider, isolering, kvalitén på armeringen, fungerande ventilation, pH-värde och graden av fukt i kulverten. För att kunna utvärdera statusen på en kulvert, måste man titta på alla parametrar [4].

Betongkulvertarna börjar nu komma upp i en hög ålder och det är idag aktuellt med planering för förnyelse. Det skulle bli alldeles för kostsamt om man skulle byta ut alla kulvertar på en gång och det skulle även bli bökigt då de kulvertar är placerade i de centrala, äldre delarna av städerna där det är ont om plats för nya ledningar.

Att kunna statusbedöma dem är ett viktigt steg för att kunna göra en planering och prioritering av de ledningar som är i störst behov av förnyelse. Eftersom det inte går att gå ner i kulvertarna och besikta dem, upptäcks inte dåliga kulvertar förrän fjärrvärmevatten läcker ut och fler innovativa metoder efterfrågas [4].

Intervjuer med projektets deltagare

I samband med detta projekt genomfördes intervjuer med projektdeltagarna i ett försök att få en klarare bild på nuläget och de behov som de idag möter i sin verksamhet. Det var intressant att notera att branscherna står inför liknande utmaningar och att det kunskapsutbyte mellan branscherna som samtal och workshops under projektiden genererade uppfattades såväl som nytänkande som oerhört lärorikt av deltagarna. Nedan följer en kortfattad sammanfattning på vad som kom upp under intervjuerna.

VA-bolagen

Generellt har bolagen god uppfattning om hur nätet ser ut och var de äldre ledningarna finns. Bolagen använder sig av olika metoder för att statusbedöma nätet

- Inläckage på spillvattenledningar med kamera
- Loggrar på vattenledningar
- Korrelationsmetoden på vattenledningar
- Genomfört tester med innovativa metoder, tex Smartball

Man efterfrågar statusbedömningsmetoder för trycksatta ledningar. Det hade även varit bra att kunna utvärdera om en ledningssträcka som uppvisar exempelvis två läckage är dålig i sin helhet och behöver bytas ut, eller om det räcker med att åtgärda själva läckorna.

Bolagen efterfrågar läcksökningsmetoder för plastledningar. Metoder som kan ange läget på läckaget hade varit önskvärt och besparat kostnader för uppgrävning och minskat störningar i stadsmiljön. På plastledningar hade det också varit bra med en metod som kan identifiera var skarvarna sitter då dessa är svaga punkter där läckor kan uppkomma. En annan frågeställning gäller hur man ska förnya plaströr. På avloppsidan har man noterat att fett fastnar fortare på väggarna på plastledningarna och att beläggningar bildas snabbare.

Bolagen efterlyste även biomarkörer – en färdig produkt som man kan bevaka bakterietillväxten live inne i rörnäten

Fjärrvärmebolagen

Fjärrvärmebolagen har kartlagt sina nät och har god uppfattning om vilken typ av ledningar som ligger marken i de olika delarna av nätet. Generellt står bolagen inför utmaningar när det gäller den äldre delen av ledningsnätet. Gamla betongkulvertar som är från 1950–70-talet. Att byta ut hela det gamla ledningsnätet är oerhört kostsamt och det finns ett behov att identifiera de ledningssträckor som bör prioriteras vid en ombyggnad.

Fjärrvärmebolagen använder sig idag av en rad olika metoder för att bedöma statusen i sitt ledningsnät. Vid våra samtal nämndes

- Flygtermografering
- delta t
- nedläggning av fuktrådar i äldre kulvertar
- användning av läckagestatistik för statusbedömning
- larmsystem i kammare
- försök med georadar

Man efterlyser statusbedömningsmetoder som kan användas på längre ledningssträckor och som kan användas utan att gräva fram rören och utan att avbryta driften. Metoder som mäter godstjockleken och på så vis kan identifiera de svaga punkterna hade varit till stor hjälp. Även nya material, plastmaterial som tål de temperaturer och tryck som finns i fjärrvärmenätet finns det intresse för, som ett billigare alternativ till dagens ledningar. Även metoder för att reparera eller förlänga drifttiden av gamla fjärrvärmerör, ex invändig relining är av intresse.

Aktiviteter genomförda inom Urban Magma-fokusgruppen Asset Management

Minimässa

I projektet anordnades en minimässa för att lyfta fram innovativa företag vilka bidrar till att skapa hållbarare ledningsnät. De företag som presenterade sitt arbete på mässan var Breivoll, Bauer Watertechnology, Ispecta, Widecco och Primozone. Syftet var att stimulera dialog och hitta framtida lösningar på dagens olösta problem och dilemman.



Bild 13. Urban Magma arrangerade en minimässa där olika företag fick chansen att presentera deras expertis och knyta kontakter med projektdeltagarna.

Breivoll

Breivoll är ett företag som är specialiserade på att statusbedöma metalliska vattenledningar genom en teknik som heter ”Acoustic Resonance”. Det är en teknologi som använder låg frekvent ultraljud till att detektera invändig och utvändig korrosion [65]. Det är en teknologi som inte kräver direktkontakt med rörväggen. Metoden kan urskilja på variationer på godstjockleken som är orsakad i produktionen och på verklig korrosion genom en halvvåg resonans.

Metoden kan även kartlägga den interna topografin så som fogar, ventiler, tidigare reparationer och utgreningar. Även läckage ljud fångas upp och kan matchas till den topografiska kartläggningen. Instrumentet är en pipescanner som sätts in i röret och efter inspektion sammanställs en rapport. I rapporten redovisas variation i godstjocklek orsakad av produktion, inre och yttre korrosion. Med rapporten kommer också en analys av rörets kondition, sammanfattning och rekommendation om vad som behövs göras med röret [65].

Breivoll bedriver egen forskning och har haft en industri doktorand från 2007 till 2012. Han har arbetat med att undersöka om det går att använda syntetisk apertur-fokusering till att förbättra ultraljudsmätningar i vattnen ledningar. Syntetisk apertur-fokusering innebär att mätningar sker från flera positioner som sedan kombineras, vilket resulterar i en bättre upplösning i mätningarna.

Den här metoden används i SAR, syntetisk-arpentur radar [66], där man avbildar objekt från flyg och satellit [67]. Doktorandarbetet hade sitt fokus på anpassning av syntetisk apertur fokusering till cylinderformad geometri igenom flera skikt. Resultaten har bekräftat förhoppningen att teknologin signifikant hjälper att förbättra upplösningen och signal-brus förhållandet i mätningarna, speciellt då avståndet till ultraljudssensorerna är stort och när avståndet till rörväggen varierar [66].

Inspecta

Inspecta är ett företag som är inriktade på besiktning, provning, certifiering, konsultation och utbildning. Företaget har mer än 30 års erfarenhet av skade- och haveriutredningar i energi- och processanläggningar. De utfört status- och livstidsbedömning inom energi, process- och skogsindustrin. Företaget är specialiserade på digital röntgen och de kan ta röntgen bilder på ledningar under drift. Röntgensystemet består av en batteririven puls-röntgenrör och av en digital panel som skickar röntgenbilden till datorn där man kan analysera bilden på plats. En programvara används till hjälp för att uppskatta och mäta olika defekter.

Året 2013 startades ett nytt samarbete med 4S där Inspecta för första gången började arbeta med PE ledningar. Detta skedde genom ett SVU projekt där man ville utreda haveri och att säkerställa tätheten

och kvalitén i skarvarna i nylagda PE ledningar. Med projektet ökade intresset för röntgen på PE ledningar och som resultat av projektet, används nu metoden på PE-ledningar. Digitalröntgen ger högupplösande bilder på elektrosvetsmuffen och det man kan se är bl.a. porer, avvinklingar, toe in effekt, ovaliteter, smuts och instickningsdjup [68].

Bauer Watertechnology

Det här företaget har specialiserat sig på kemikaliefri vattenbehandling där vattnet blir behandlat med elektromagnetiska pulser. Spolen avger elektromagnetiska pulser som orsakar att jonerna i vattnet slår ihop sig och bildar mikrokristaller. Dessa mikrokristaller är oladdade och fastnar därför inte på rörets yta. På så sätt förhindras nya avlagringar att byggas upp. Kristallerna mjuknar även upp befintliga avlagringar som avlägsnas med tiden och kristallerna skyddar även till att ny avlagring uppstår. Upplösande avlagringspartiklar följer med ut till avloppssystemet utan att orsaka stopp i ventiler eller pumpar. Den här teknologin utvecklades av Professor Harald Bauer i Tyskland för 20 år sedan och idag är företaget etablerat i Estland, Ryssland och i Norden [69].

Metoden bygger på att i styrenheten genereras en puls i olika frekvenser vilket skapar en pulserande elektromagnetisk kraftfält i spolen. Mikrokristaller är mellan 10-50 mikron. Bauer Pipejet består av styrenhet, mikroprocessor och en vattenbehandlare med en inbyggd spole som installeras i rörsystemet. I cirkulerande system tillkommer ett filter som installeras separat [69].

Wideco

Wideco är ett företag som har fokuserat på att utveckla läckagedetekteringssystemet WiDetec med början i energi- och processindustrin. Men idag har de även utvecklat ett detekteringssystem för både dricksvatten och fjärrvärme. De tillverkar även fuktlarmtrådar för kammare som E. ON och Öresundskraft använder idag. Övervakningssystem för bräddningar inom avlopp finns också tillgängliga. De tillverkar även tätningssystem för rör genomföringar genom väggar, golv och tak av betong och systemet kallas för WiSecure [70].

Primozone

Primozone är ett företag som använder sig av ozon för att behandla vatten. Ozon är en gas där en tredje syreatom har bundit in till två syremolekyler. Den här strukturen är mycket ostabil och mycket oxiderande. Ozon är fem gånger mer oxiderande än syre och två gånger mer oxiderande än klor. Eftersom ozon har en hög oxiderande förmåga, är den effektiv för att döda bakterier, virus och svamp. Ämnet kan även användas till att förbättra smak, odör, missfärg och kan bidra till flockulation av organiska material som sedan underlättar filtration.

Ozon skapas när hög elektrisk spänning träffar en syremolekyl eller syremolekylen strålas av UV-ljus i stratosfären. Då splittras molekylerna till två syreatomer och en syreatom binder då in till en existerande syremolekyl och då bildas ozon. Den inbundne syreatomen reagerar snabbt med ett annat ämne och lossnar direkt kvar är syremolekylen. Primozone beskriver ozonbehandling som en av de mest effektivaste behandlingar för vatten då ozonet avdödar bakterier, virus och svamp. Behandlingen beskrivs av Primozone som miljövänlig då restprodukterna av ozon är endast syre.

Ozon kan även användas till att reducera läkemedelsrester, ta bort pesticider, kontrollera lukt och färg på avloppsvatten och flockulera organiska ämnen. Primozone är för närvarande involverade i ett uppstartat projekt med finansiering från Tillväxtverket där de samarbetar med avloppsreningsverk för att eliminera läkemedelsrester från avloppsvatten och tio svenska avloppsreningsverk är projektpartners med Primozone. Enligt en studie gjorda av Primozone, visar resultatet att man kan få bort 95 % av läkemedlen med 5g O₃/m³ vatten och filtration [71].

Seminarium om framtidens ledningsnät

I projektet anordnades även ett seminarium där framtiden var i fokus. Projektdeltagarna diskuterade hur framtida ledningar skulle kunna se ut och fungera. Ett ämne som diskuterades var nanoteknologi och hur den kan integreras i ledningsmaterial. Ivan Maximov från Lund Nano Lab höll föreläsning om ämnet där han berättade att betong kan förbättra sina mekaniska egenskaper och förminska genomsläpplighet av joner genom att tillföra nanopartiklar som TiO_2 , SiO_2 eller Al_2O_3 till betongmaterialet. Nanopartiklar skulle även kunna användas som en inbyggd indikator i icke metalliska ledningsmaterial.

Dessa nanopartiklar genom att förändra sitt elektriska, optiska eller andra egenskaper skulle kunna indikera ökad stress på ledningen, temperaturförändringar, läckage eller någon annan parameter som är av intresse. En annan möjlighet skulle vara att tillverka mikrosensorer som kan bevaka t.ex. temperatur, fukt, stress eller pH. Möjligheten finns även att använda korrosion inhiberande partiklar som är coatade med nanopartiklar som motverkar korrosion.

Sigma Connectivity deltog också på seminariet där de berättade om Big Data och hur ny data kan utvinnas från ledningsnäten genom att koppla upp delar av nätet så som pumpar, ventiler, relästationer, elektronik och mätstationer. Är det möjligt genom mer data få bättre kännedom om vad som sker ute på nätet och kanske bättre kunna förutse haverier? Möjligheten finns att även montera in sensorer som t.ex. mäter temperatur, gaser och vibrationer.

Sven Lidin, professor i oorganisk kemi höll föredrag om hur biologin styr kemin inne i ledningarna och hur biofilmen kan påverka ledningsmaterialet. Det finns bakterier som orsakar korrosion och biofilm kan även orsaka stopp i ledningarna. Teori finns om att bakterier kan försvaga ledningsmaterial genom att växa till sig i sprickor men kanske också orsaka sprickbildning. Detta kan vara ett område som man kan titta närmre på.

Slutsatser och tankar kring framtiden

Förutom den här kunskapssammanställningen och våra seminarier, har det hänt mycket i projektet. Vi har formulerat två ansökningar till Svenskt Vatten som har handlat om att testa nya metoder för statusbedömning och att genomföra en litteraturstudie på förslagna metoder. Svenskt Vatten beslutade sig för att stödja en litteraturstudie om de påtänkta metoderna som ett första steg. En Utvecklingsdriven Innovation ansökan till Vinnova togs fram där vi presenterade behovet för ledningsnätsägarna att kunna statusbedöma äldre ledningar. Ansökan beviljades för steg 1, vilket innebär att vi fick anslag till att designa projekt inför steg 2.

I skrivande stund håller projektet med att arbeta på den andra ansökan för steg 2 till Vinnova. Ledningsnätsägarna som ingår i projektet är Sydvatten, VASYD, NSVA, Kretslopp och Vatten, Stockholm Vatten, Norrvatten, E.ON, Kraftringen, Öresundskraft och Vattenfall. Andra aktörer i projektet är Lunds Universitet, Swerea och Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

De metoder som är intressanta att utveckla i Vinnovaprojektet och testa är metoder som varken kräver någon uppgrävning eller avbrott i driften. De metoder som ingår i projektet är delta-t, markradar, resistivitetsmätningar, kamera eller smartball som spelar in läckageljud. Metoderna kommer att utvärderas genom att de testas på ledningar som bolagen planerar att gräva upp. De uppgrävda ledningarna kommer sedan att tas upp, analyseras och jämföras med resultaten från mätningarna med metoderna. Tanken är att metoderna ska på ett bra sätt komplementera varandra och ge en tydlig bild på ledningarnas status.

Stockholm Vatten äger en testsite där de har nergrävda trycksatta ledningar och har tillförsett projektet med testsite. Tanken här är att gräva ner skadade och defekta ledningar för sen köra mätningar på dem. På så sätt har man redan facit färdigt och kan jämföra direkt med resultaten.

Den andra delen i projektet kommer handla om datahanteringen. Bolagen som är med i projektet och bolag i allmänhet har kommit olika långt i att hantera sina data på ett effektivt sätt. En del kan ha data på flera databaser och på Excel filer. Här har vi sett ett stort behov att driva på förbättring av datahantering och använda data på ett effektivare för att få ut mer information om ledningsnätet och göra bättre analyser på befintlig data.

Vi tror att det här projektet är ett viktigt steg att ta för att kunna förvalta ledningsnäten på ett bättre sätt. Det finns ett väldigt målande citat från en rapport av Environmental Protection Agency i USA som sammanfattar väldigt bra de aktuella behoven och vad som är målsättningen för vårt projekt:

“Thomson and Wang (2009) reported the existence of a number of barriers to effective use of condition assessment technologies, including lack of data for comparison, lack of consensus on what are the key required data, the limited availability of proven inspection techniques to discern pipe structural condition, cost of inspection and condition assessment, lack of confidence in the adequacy of existing techniques and level of expertise required for the implementation of various techniques and models.” [1].

Metoderna för statusbedömning måste valideras på ett tydligt sätt och visa för ledningsnätsägarna vad de kan göra och var begränsningarna finns. Vidare måste metodernas kostnader ligga på rimliga nivåer för bolagen. Förnyelsearbetet är mycket viktigt för ett hållbart samhälle, alla människor är beroende av fungerande ledningar och därför borde det ligga i allas intressen att se till att arbetet kan fortgå.

Urban Magma Ledningsnät har sett ett stort behov att börja arbeta med de här frågorna och vi hoppas att detta är bara början på ett givande samarbete för att sträva mot att bibehålla och utveckla hållbara och attraktiva städer.

Referenser

- 1 EPA (2012) *Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems*.
> <http://www.epa.gov/aww/publications.html#cawcs>< (2015-05-05) Citat från s. 71
2. Sundahl A-C (1996), *Diagnos av vattenledningars kondition*. Institutionen För Teknisk Vattenresurslära, Lunds Universitet.
3. Statistiska Centralbyrån,(2014) *Största folkökningen på många år*. ><http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Befolkning/Befolkningens-sammansattning/Befolkningsstatistik/25788/25795/Behallare-for-Press/376142/>< (2014-11-18 ,10:27)
4. Sernhed K, Ekdahl E, Skoglund P, (2012) *Statusbedömning av Betongkulvert*. Fjärrsyn, Rapport nr 2012:9
5. Proos A, Liljegren E, Lundqvist J, (2009) *Vatten och Avlopp –ett stort tekniskt system*.
><https://www.liu.se/cmts/kursutbudet/tgtu37/filarkiv/1.70913/Grupp9.pdf>< (2014-11-18, 10:51)
6. Wikipedia, (2015) *Vatten och Avlopp i Stockholm*.
>http://sv.wikipedia.org/wiki/Vatten_och_avlopp_i_Stockholm< (2014-11-18)
7. Stockholm Vatten, (2012) *Pudrettkärringar och budare*. ><http://www.stockholmvatten.se/Om-oss/Kranvatten-i-150-ar/Avloppets-historia/Ett-morkt-kapitel-i-var-historia/Pudrettkarringar-och-budare/>< (2015-03-14)
8. Wikipedia,(2014) *Avlopp*. ><http://sv.wikipedia.org/wiki/Avlopp>< (2014-11-18)
9. Svensk Vatten, (2008) *Allmänna VA-ledningar, Grundutbildning för rörnätspersonal*. Svenskt Vatten Publikation U5.
10. Sydsvatten,(2010)*Vattentorn, så funkar de!* ><http://www.drickkranvatten.se/vattentorn-sa-funkar-de>< (2014-11-18)
11. Malm A, Horstmark A, Larsson G, Uusijärvi J, Meyer A, Jansson E, (2011) *Rörmaterial i Svenska VA-ledningar – egenskaper och livslängd*. Svenskt Vatten, Rapport nr 2011-14,
12. Andersson L, Bengtsson Sjörs Å, Jonelind C, (2006) *Vattenledningar och vattenläckor-variationer på dricksvattnets temperatur och dess betydelse för antalet vattenläckor*. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport nr 2006-06
13. Habibian A, (1994) *Effect of Temperature Changes on Water-Main Breaks*. *J. Transp. Eng* 120(2), s. 312–321
14. Appelfeldt D, Kohler J,(2014) *Läckor på PE-ledningar, statistiksammanställning och analys*.
><http://www.4sledningsnat.se/för-medlemmar/tester-rapporter-18151367>< (2014-11-18)
15. (2) Uusijärvi Jenny,(2013) *Minskning Av In- och Utläckage Genom Aktiv Läcksökning*. Svenskt Vatten Utveckling.
16. Brännlund I ,(2010) *Att söka efter in- och utläckage, handbok*. Norrköping Vatten

17. Berner C, (2014) *Ledande Partner För Tekniska Lösningar*
><http://www.christianberner.se/produkter-a-o/f/flodesmatare>< (2014-06-16)
18. Paab Tekno Trading, (2014) *Så funkar det*. ><http://www.paab.com/sv/sa-funkar-det.html#flash1>< (2014-06-16)
19. ABB, (2014) *Flödesmätare-mäter flödet exakt-spar resurser*. ><http://new.abb.com/se/om-abb/teknik/sa-funkar-det/flodesmatare>< (2014-06-16)
20. Wikipedia, (2014) *Vattenmätare*.
>[http://sv.wikipedia.org/wiki/Vattenm%C3%A4tare_\(m%C3%A4tinstrument](http://sv.wikipedia.org/wiki/Vattenm%C3%A4tare_(m%C3%A4tinstrument)< (2014-11-18, 18:16)
21. Rothman M, Abrahamsson S, Karlsson N, Huss L-G, Johansson T, Ousbäck J-O, Rahm J, Samuelsson C, Örbom A, Axelsson D, (2013) *Ny läcksökningsmetod*. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport nr 2013-02 >http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2013-02.pdf< (2014-11-15)
22. Stampolidis A, Soupios P, Vallianatos F, Tsokas GN, (2003) *Detection of leaks in buried plastic water distribution pipes in urban areas, a case study*. Lab. of Geophys. & Natural Hazards, Technol. Educ. Inst. of Crete, Greece DOI: 10.1109/AGPR.2003.1207303 Conference: Advanced Ground Penetrating Radar, 2003. Proceedings of the 2nd International Workshop on Source

>http://www.researchgate.net/publication/4020523_Detection_of_leaks_in_buried_plastic_water_distribution_pipes_in_urban_places_-_A_case_study< (2015-05-06)
23. Ekblad T, Moberg F, Malmgren M, (2014) *Läcksökning på vattenledningsnät*. Svenskt Vatten Utveckling, Publikation 107
24. Johnsson S, (2013) *Smartball för läckagedetektion, inspektion hos Sydsvatten*.
><http://www.kfsk.se/download/18.38228ad4143b351109714fba/1394619799805/SmartBall.pdf>< (2014-11-19)
25. Breivoll, (2006) *Technology Overwiev*. >http://en.breivoll.no/description_of_technology< (2014-11-19)
26. Brenna L (2014) *Condition Assessment of District Heating Systems and Water Mains*. PowerPoint
27. Malm A, (2010) *Invändig inspektion av vattenledningar*. Svensk Vatten, Rapport nr 2010-11
28. Pure Technology (2014) *Sahara Video*.

>http://www.puretechltd.com/products/sahara/sahara_video.shtml<(2014-11-19)
29. Pure Technologies (2014) *Sahara Pipewall Assessment*.
<http://marketing.puretechltd.com/acton/attachment/4437/f-00b3/1/-/-/-/Sahara%20PWA.pdf> < (2015-05-06)
30. Potera C, (2010) *Biofilm Disoersing Agent Rejuvenates Older Antibiotics*.
><http://ehp.niehs.nih.gov/118-a288/>< (2015-05-08)
31. Lurigh K, J Paul C, Persson K, Rådström P, (2013) *Om mikrobiella förändringar i dricksvattenledningsnät* >http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2013-08.pdf < (2014-11-19)

32. VASYD, (2014) Provtagningar på dricksvatten
><http://www.vasyd.se/Artiklar/Dricksvatten/Provtagningar-pa-dricksvatten>< (2014-11-19)
33. Wikipedia,(2014) *Korrosion* ><http://sv.wikipedia.org/wiki/Korrosion>< (2014-11-19)
34. Svenskt Vatten- och Avloppsverksföreningen, (1996) *Dricksvattenteknik, Efterbehandling, Distribution*. VAV, Publikation P73 nov 1996
35. Deamstime (2015) Arkivfoto: Gamla stora dricksvattenrör sammanfogade med nya blåa ventiler. ><http://se.dreamstime.com/arkivfoto-gamla-stora-drinkvattenrr-sammanfogade-med-nya-bla-ventiler-och-nya-bla-gemensamma-medlemmar-frdigt-reparerat-leda-i-rr-image42762089> < (2015-05-06)
36. Lidström V, (1996) *Diagnos av Avloppsledningars kondition*. Lund, Institutionen för Teknisk Vattenresurslära LTH, Lunds Universitet
36. Sweco, *Samlad kunskap inom teknik, miljö och arkitektur, Metoder för att identifiera källor till tillskottsvatten*. Power Point
- ><http://www.svensktvatten.se/Documents/Kategorier/R%C3%B6rn%C3%A4t/R%C3%B6rn%C3%A4tskonferens%20Malm%C3%B6%202011/1%20Ulf%20Lundblad%20-%20K%C3%A4llor%20till%20tillskottsvatten.pdf>< (2015-05-06)
37. Sweco, *Samlad kunskap inom teknik, miljö och arkitektur, Rörnätskonferens* .
- ><http://www.svensktvatten.se/Documents/Kategorier/R%C3%B6rn%C3%A4t/R%C3%B6rn%C3%A4tskonferens%202012%20Stockholm/15%20K%C3%A4llor%20till%20tillskottsvatten.pdf> < (2014-11-20)
38. Nordh L, (2014) *Dagvattenseparering*. Karlstad kommun. > <http://karlstad.se/bygga-och-bo/vatten-och-avlopp/dagvatten/dagvattenseparering/> <
39. Miljösamverkan Västra Götaland, (2013) *Handläggarstöd bräddningar*.
>http://www.miljosamverkanvg.se/miljosamverkanvastragotaland/SiteCollectionDocuments/Projekt%20och%20rapporter/Avlopp/Br%C3%A4ddningar/Handl%C3%A4ggarst%C3%B6d/Handlaggarstod%20braddningar_MVG_november_2013.pdf < (2014-11-20)
40. Arbetsmiljö VA,(2012) Mikrobiologiska Arbetsmiljörisker
><http://www.arbetsmiljova.se/halsoocholycksrisker/mikrobiologiskaarbetsmiljorisker.4.5c577972135ee95b56380003394.html> < (2015-05-06)
41. Alenius F, Hellberg M, Lilliestjerna A, Lundström J, Petterson J, Utas J (2013) *Hälsomässiga risker på vattenledningsnätet och förhöjd risk för magbesvär*. Institutionen för Bygg- och Miljöteknik, Chalmers Tekniska Högskola.
- ><http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/183182/183182.pdf> < (2015-05-06)
42. Söderberg M-S, Malm A, Dryselius R, Toljander J (2013) *Mikrobiologiska risker vid dricksvattendistribution – översikt av händelser, driftstörningar, problem och rutiner*. Livsmedelsverket, Rapport nr 19/2013

43. Östberg J, Stål Ö, Martinsson M, Fransson A-M (2010) *Förebyggande av rotinträngningar i VA-ledningar- utveckling av beslutsstöd*. Svensk Vatten, Rapport nr 2010-04
44. Andersson C-G, Eriksson P, Westman M, Emilsson G (2004) *Lägesrapport kapseltillverkning*. Svensk Kärnbränslehantering, Rapport nr R-04-14
45. Vinka T-G (2003) *Korrosion på metaller i svenska jordar, sammanställning av resultat från fältexponeringar och praktiska erfarenheter*. Svensk Vatten, Rapport nr 34 2003,
>http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_2003-34.pdf < (2015-03-14)
46. Nordplast, (2014) *Kemikalie-beständighetstabeller för plaster och elastomerer – ett urval termoplaster och tätningsmaterial anpassade för utrustning och anläggningar i korrosiv miljö*.
><http://www.nordplast.no> < (2014-11-24)
47. Wikipedia, (2014) *Polyeten* ><http://sv.wikipedia.org/wiki/Polyeten> < (2014-11-24)
48. Wikipedia, (2014) *Polypropen* ><http://sv.wikipedia.org/wiki/Polypropen> < (2014-11-24)
49. Wikipedia, (2014) *Polyvinylklorid* ><http://sv.wikipedia.org/wiki/Polyvinylklorid> < (2014-11-25)
50. 4S Ledningsnät, (2012) *Kommunerna slår larm – de nylagda VA-ledningsnäten håller inte måttet – kostnaderna skjuter i höjden!* ><http://www.4sledningsnat.se/om-4s/4s-ledningsnat-17367942> < (2014-11-25)
51. Svensk Fjärrvärme (2014) *Så Funkar Fjärrvärme* > <http://www.svenskfjarvarme.se/> < (2014-09-16)
52. DBDH (2014) *District Heating History* ><http://dbdh.dk/district-heating-history/> < (2014-11-25)
53. Svensk Fjärrvärme (2014) *Fjärrvärme- A Real Success Story*.
>http://www.svenskfjarvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Ovriga_rapporter/Fjarvarmens_historia/Fj%C3%A4rrv%C3%A4rme_story.pdf < (2014-11-25)
54. Svensk Fjärrvärme (2014) *Så går det till att göra fjärrvärme* ><http://svenskfjarvarme.se/Vi-varmer-varandra/Sa-funkar-fjarvarme/> < (2014-11-25)
55. Nordvärme (1990) *Korrosion och Vattenbehandling i Nordiska Fjärrvärmesystem ,erfarenheter och praxis* >http://www.nordvarme.org/archive/wg_reports/korrosjon%20og%20vannbehandling.pdf < (2014-11-28)
56. Bertilsson E, Mowitz M (2004) *Säkerställande av god fjärrvärmekvalité*.
><http://www.matarvattensektionen.org/medlemmar/Lasvart/rapporter/Vattenkvalitet%20i%20fjv.pdf> <
57. Tarkea P, (1997) *Korrosionsrisker vid användning av stål- och plaströr i fjärrvärmesystem - en litteraturstudie*. Svenska Fjärrvärmeföreningen, FOU 1997:14
>http://www.svenskfjarvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/FOU-rapporter%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Hetvattenprogrammet,%20rapporter/1997/Korrosionsrisker_vid_anvandning_av_stal_och_plastror_i_fjarvarmesystem_FOU_1997-14.pdf < (2015-05-06)

58. Alba Värmeteknik (2015) *Kemisk Rengöring*. ><http://www.albaclean.se/kemiskrengoring.htm>< (2015-05-06)
59. Thorén A, (2004) *Funktion av diffusionspärren i PEX-rör efter sju års drift*. Svensk Fjärrvärme, Värmegles 2004:12
>[http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/FOU-rapporter%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/V%C3%A4rmegles,%20rapporter/Rapporter%202004/Funktion hos diffusionssp%C3%A4rren i pex-r%C3%B6r efter 7 %C3%A5rs drift VG 2004 12.pdf](http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/FOU-rapporter%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/V%C3%A4rmegles,%20rapporter/Rapporter%202004/Funktion%20hos%20diffusionssp%C3%A4rren%20i%20pex-r%C3%B6r%20efter%207%C3%A5rs%20drift%20VG%202004%2012.pdf)< (2015-05-06)
60. Andersson J, (2002) *Digitala läckdetekteringssystem – en studie på nyare tekniker på marknaden och jämförelser med dagens system*. Fjärrvärmeföreningen, FOU 2002:71
>[http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/FOU-rapporter%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Hetvattenprogrammet,%20rapporter/2002/Digitala läckdetekteringssystem-En studie av nyare tekniker på marknaden och jämförelser med dagens%20system FOU 2002-71.pdf](http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/FOU-rapporter%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Hetvattenprogrammet,%20rapporter/2002/Digitala%20läckdetekteringssystem-En%20studie%20av%20nyare%20tekniker%20p%C3%A5%20marknaden%20och%20j%C3%A4mf%C3%B6relser%20med%20dagens%20system%20FOU%202002%2071.pdf)< (2015-05-06)
61. Wikipedia, (2015) *Resistans* ><http://sv.wikipedia.org/wiki/Resistans> < (2015-05-06)
62. Wikipedia (2015), *Thermografic camera*. >http://en.wikipedia.org/wiki/Thermographic_camera < (2015-05-06)
63. Öresundskraft (2014) *Flygfoto avslöjade värmeläckor*.
><http://www.mynewsdesk.com/se/oresundskraft/pressreleases/flygfoto-avsl%C3%B6jade-v%C3%A4rmel%C3%A4ckor-1012707>< (2014-10-23)
64. Ny teknik (2013) *Ljudvågor avslöjar fel i fjärrvärmerör*
>http://www.nyteknik.se/nyheter/innovation/forskning_utveckling/article3776464.ece < (2014-03-11)
65. Brenna L, Breivoll (2014) *Condition assessment of district heating systems and water mains*, Power Point
66. Breivoll, (2015) *In-line utility pipeline inspection*. ><http://www.breivoll.no> < (2015-05-06)
67. Wikipedia,(2014) *Syntetisk aperturradar*. >http://sv.wikipedia.org/wiki/Syntetisk_aperturradar< (2015-05-06)
68. Inspecta, (2012) *Digitalröntgen med Digital Detector Array - DDA*
><http://www.inspecta.com/sv/Vara-tjanster/Provning/Digitalrontgen-med-Digital-Detector-Array-DDA/> < (2014-12-02)
69. Bauer Watertechnology, (2007) *Rena rör med elektromagnetisk vattenbehandling*.
><http://www.bauer-wt.com/swe/files/underhall-och-driftsakerhet-2007-edit.pdf> < (2015-05-06)
70. Wideco, (2015) *To detect and to secure*. ><http://wideco.se/>< (2015-05-06)

71. Promozone, (2015) *Removal of micro pollutants such as pharmaceutical residues from waste water.* > <http://www.primozone.com/municipal/pharmaceutical-residue#.VD-PwHkcRKM>< (2015-05-06)

Referens bild 11: <https://www.svevia.se/referenser/energi/energi/2013-01-08-totalentreprenad-anslutning-fjarrvarme-karlstad-energi.html>