

Invändig inspektion av vattenledningar

Annika Malm



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SV-Utveckling) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvatten
Management

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

Agneta Granberg, ordförande	Göteborgs Stad
Carina Färm	Eskilstuna Energi & Miljö AB
Daniel Hellström, sekreterare	Svenskt Vatten
Margaretha Lindbäck	Luleå kommun
Charlotte Lindstedt	Göteborg Vatten
Kenneth M. Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB
Mats Rostö	Gästrik Vatten AB
Bo Rutberg	Sveriges Kommuner och Landsting
Lena Söderberg	Svenskt Vatten
Ulf Thysell	VA SYD
Susann Wennmalm	Käppalaförbundet
Fred Ivar Aasand, adjungerad	Norsk Vann

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan återopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

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

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Invändig inspektion av vattenledningar
Title of the report:	In-line inspection of water mains
Rapportnummer:	2010-11
Författare:	Annika Malm, Göteborg Vatten
Projektnummer:	28-113
Projektets namn:	In-situ inspektion av dricksvattenledningar
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling och VA SYD
Rapportens omfattning	
Sidantal:	29
Format:	A4
Sökord:	Invändig inspektion vattenledning, Remote Field Technology, ultraljud, pipescanner
Keywords:	In-line inspection, water main, Remote Field Technology, Ultrasonic, Pipescanner
Sammandrag:	Invändig inspektion av vattenledningar ger en bild av vattenledningsnätets status. De två metoder som visat sig användbara är dels en metod baserad på magnetfält och dels en metod baserad på ultraljud. För metoden med ultraljud har en inspektion i Malmö följts och utvärderats.
Abstract:	Internal inspection of pipes can give additional information about the water network status. Two inspection methods are promising; one method based on magnetic field measurements and one based on ultrasound measurements. For the ultrasonic method an inspection in Malmö has been studied and evaluated.
Målgrupper:	VA-sektorn, industri och konsulter
Omslagsbild:	Inspektion med pipescanner Malmö mars 2009. Foto: Annika Malm, Göteborg Vatten
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2010
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

Vattenledningars status bedöms idag utifrån läckage, rörbrott och erfarenheter från friläggning av enstaka ledningssträckor. Eftersom status kan skilja sig från sträcka till sträcka, eller till och med från rörlängd till rörlängd, är det svårt att få ett helhetsperspektiv på hur ledningsnätet ser ut. Invändig inspektion av ledningar kan ge en hjälp att bedöma hur ledningarna ser ut och framtida behov av förnyelse.

Tack till Svenskt Vatten Utveckling som finansierade projektet och till VA SYD som ställde upp och finansierade ett försöksprojekt för att utvärdera en av teknikerna. Tack också till alla från när och fjärran som medverkat och svarat på frågor.

Göteborg den 17 augusti 2010

Annika Malm

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Bakgrund.....	8
2 Syfte och avgränsningar.....	9
3 Metoder för invändig inspektion av vattenledningar.....	10
3.1 Sammanfattning av beskrivna metoder	10
3.2 TV-inspektion (CCTV).....	10
3.3 Magnetiskt läckflöde (Magnetic flux leakage, MFL)	11
3.4 Ultraljud (Ultrasonic Testing, UT).....	11
3.5 Elektromagnetisk metod (Remote Field Technology).....	14
4 Inspektion med pipescanner	17
4.1 Malmö	17
4.2 Stockholm	22
4.3 Täby	23
4.4 Erfarenheter från Oslo.....	23
5 Inspektion med Hydroscope tool®	25
5.1 Erfarenheter från Calgary – Kanada.....	25
5.2 Erfarenheter från Australien.....	25
5.3 Erfarenheter från London – Storbritannien.....	25
5.4 Erfarenheter från Hongkong	26
6 Slutsatser	27
7 Referenser.....	28
7.1 Artiklar, rapporter och tidskrifter	28
7.2 Internet	29
7.3 Personliga kontakter	29

Sammanfattning

Skador på dricksvattennätet innebär inte bara utläckage av vatten utan även att leveranssäkerheten minskar och att risken för att dricksvattnet förorenas ökar. För avloppsledningar finns sedan länge möjligheter att som komplement till skadeutvecklingen inspektera ledningarna invändigt med framförallt TV-inspektion. Vattenledningsnätet är mer komplicerat att TV-inspektera och dessutom består en stor del av dricksvattennätet av gjutjärns- och segjärnsledningar med beläggningar av korrosionsprodukter, vilket gör att TV-inspektion inte tillför mycket. I stället är det kvarvarande godstjocklek, spänningar och sprickor som bör mätas för att få en bättre prognos på kvarvarande livslängd.

Andra tekniker för invändig inspektion av vattenledningar kan ge en bättre bild av vattenledningarnas status, och ge indikationer på att en ledning är nära kollaps. Det finns tekniker för att göra invändig inspektion, utöver TV-inspektion. En genomgång av tillgängliga tekniker har gjorts, och dess för och nackdelar dokumenterats. Information har inhämtats både från VA-förvaltare och teknikleverantörer. De två metoder som visat sig användbara är dels en metod baserad på magnetfält och dels en metod baserad på ultraljud. Båda ger en bild av metalliska ledningars återstående livslängd och har använts i fullskala på flera platser. För metoden med ultraljud har en inspektion i Malmö följts och utvärderats i denna rapport.

Idag är tekniken på marknaden något krånglig och dyr, men i takt med att tekniken blir mer tillgänglig kommer efterfrågan att öka. Det finns ett stort intresse för enklare lösningar och att kunna inspektera framför allt mindre dimensioner.

Summary

Defects in the drinking water network are not only a matter of leakage of water, but also a question of supply security and risk of drinking water contamination. For the sewer pipes, there is an opportunity to discover defects before they occur, mainly by in-line inspections with CCTV. Water mains are more complicated to inspect by CCTV, and also are the pipes often covered by biofilm and corrosion products, making the CCTV inspection useless. For the water mains are the remaining thickness, corrosion pits, tension and cracks of more interest for the pipe status assessment.

Other techniques for internal inspection of pipes give more information of the water mains status, and may give indications that a water main is near collapse. There are techniques for internal inspection, beyond CCTV inspections. A review of available technologies has been made, and its pros and cons documented. Information was collected from both water utilities and technology providers. Two techniques have been proved useful; one method based on magnetic field and one method based on ultrasound. Both methods provide a picture of metallic pipes remaining lifetime and have been used in full scale at several locations. For the ultrasonic method an inspection in Malmö has been followed and evaluated in this report.

Today, inspection technologies are quiet complicated and rather expensive, but as the technology becomes more available, the demand for inspections will increase. There is an interest in uncomplicated solutions and inspection techniques for especially smaller dimensions.

1 Bakgrund

Skador på dricksvattennätet innebär inte bara utläckage av vatten utan även att leveranssäkerheten minskar och att risken för att dricksvattnet förorenas ökar. Det är därför av avgörande betydelse att rätt ledningar läggs om, och att omfattningen inriktas på de delsträckor som har nedsatt funktion. Tidigare forskning har visat att skadeutvecklingen är det bästa tillgängliga prognosunderlaget för återstående teknisk livslängd för en vattenledning (Saegrov, 2005; Wengström, 1996). Andra faktorer, som t.ex. ledningarnas ålder, ger inte en användbar prognos eftersom de delsträckorna som har högst skadefrekvens successivt förnyas.

För avloppsledningar finns sedan länge möjligheter att som komplement till skadeutvecklingen inspektera ledningarna invändigt med framförallt TV-inspektion. Vattenledningsnätet är mer komplicerat att TV-inspektera och dessutom består en stor del av dricksvattennätet av gjutjärns- och segjärnsledningar med beläggningar av korrosionsprodukter, vilket gör att TV-inspektion inte tillför mycket. I stället är det kvarvarande godstjocklek, spänningar och sprickor som bör mätas för att få en bättre prognos på kvarvarande livslängd.

Andra metoder för invändig inspektion av vattenledningar ger en bättre bild av vattenledningsnätets status, och kan ge indikationer på att en ledning är nära kollaps. Det finns teknik för att göra invändig inspektion, utöver TV-inspektion. Tekniken är utvecklad för olje- och gasindustrin, vilket gör att den i grunden inte är gjord för att passa vattenledningsnätets förutsättningar. De saker som i viss grad skiljer och som måste anpassas för att klara vattenledningar är:

- Vattenledningar har ojämna rörväggar (korrosion, biofilm) och strypningar vid ventiler
- Rörmaterial och dimensioner kan skilja sig, även på korta sträckor
- Förekomst av böjar, i olje- och gasindustrin är ledningsböjarna mycket mjukare
- Vattenledningar har inga naturliga punkter för att sänka ned utrustning
- Hygieniska aspekter (vatten är livsmedel)

2 Syfte och avgränsningar

Rapportens fokus är att granska metoder för statusbedömning av metalliska ledningar, främst gjutjärn och segjärnsledningar. Övriga vattenledningar (asbest, betong, plast etc.) behandlas bara översiktligt. Dock täcker gjutjärn och segjärnsledningarna in hälften av det svenska vattenledningsnätet (Svenskt Vatten, 1997).

Metoderna beskrivs och granskas utifrån följande aspekter avseende genomförande:

- Krav på förarbete, rengöring etc.
- Insättningsmetod, öppning som krävs
- Avgränsningar, material, max vinkeländring, dimension etc.
- Kostnad
- Tid, sträcklängd
- Krav på efterarbete, provtagning, spolning, klorering etc.

Resultatet granskas utifrån följande frågeställningar:

- Kan metoden bedöma återstående godstjocklek?
- Vilken upplösning har resultatet?
- Hur små hål kan metoden se?
- Kan metoden ge sprickbedömningar?
- Kan metoden ge spänningsbedömningar?

Metoder för läckagekontroll behandlas inte här, om de inte också omfattar en statusbedömning.

3 Metoder för invändig inspektion av vattenledningar

I kapitlet beskrivs de metoder som idag finns på marknaden och som kan bedöma godstjocklek på metalliska ledningar utan att gräva upp hela ledningen.

3.1 Sammanfattning av beskrivna metoder

De metoder som finns och deras användningsområden är summerade i tabell 3-1. Observera att ledningsinspektion för vattenledningsnät är ett område under utveckling. Förändringar sker kontinuerligt vilket kan göra tabellen inaktuell om några år.

Tabell 3-1 Metoder för invändig inspektion (Rajani & Kleiner, 2004; Dingus et al., 2002; Makar & Chagnon, 1999).

Metod	Ledningsmaterial	Feltyper metoden klarar	Kräver närkontakt med väggen / Rengöring*	Anmärkning
TV-inspektion (CCTV)	Alla	Synliga fel.	Nej / LC,HC	Kräver mycket rengöring av metalliska ledningar som skadar korrosionsskiktet, alternativt syns inte själva röret pga. beläggningar
Magnetiskt läckflöde (MFL)	Metalliska	Defekter, hål	Ja / HC	Låg precision, under utveckling. Kräver mycket rengöring som skadar korrosionsskiktet
Ultraljud	Metalliska	Återstående godstjocklek	Nej / MC	Hög precision Svårt med avvinklingar
Elektromagnetisk metod (RFT, RFEC)	Metalliska	Grafitering, urholkningar, stora sprickor, Återstående godstjocklek	Nej / MC	Medelprecision Klarar avvinklingar bra

* LC=lätt rengöring; MC=moderat rengöring krävs (men inte så att det skyddande korrosionsskiktet förstörs); HC=totalrengöring krävs.

Invändiga inspektioner kräver avstängning av ledningen med hänsyn till dricksvattenkvalitet. Invändig inspektion som kräver rengöring innebär ännu mer arbete eftersom sediment rivs upp. Det lager av korrosionsprodukter som bildats kan skadas, och i sin tur öka korrosionen. Därför viktigt att på förhand veta om ledningen kan inspekteras utan rengöring eller inte.

3.2 TV-inspektion (CCTV)

TV-inspektion är visuell, och endast det som kan ses med ögonen kan upptäckas. Det finns ingen möjlighet att bedöma ledningens återstående material eller utvändig kondition.

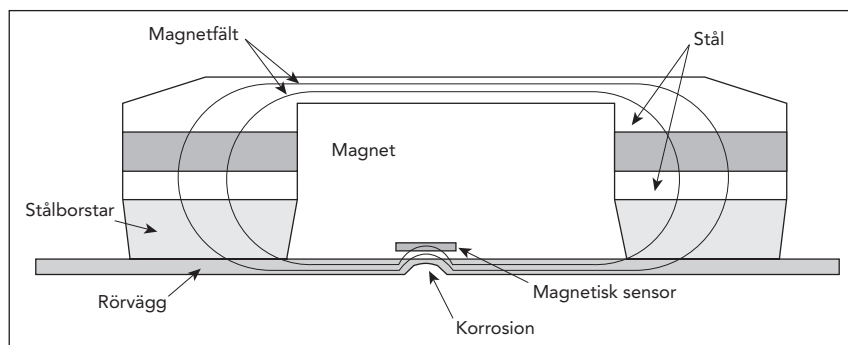
3.2.1 På marknaden idag – Sahara TV-inspektion

Sahara TV-inspektionssystem är en TV-inspektionsenhet speciellt utvecklad för vatten och som transporteras med hjälp av vattenflödet (WRc, 2010).

Sahara TV-inspektionssystem bygger på samma insättningsteknik som Sahara läcksökningssystem, men istället för läcksökningutrustning används en TV-inspektionsenhet. Insättningsmetoden kräver en öppning om minst 50 mm, och maximalt vattentryck är 160 mvp. Kameran förflyttas med hjälp av vattenflödet och maximalt kan 800 m inspekteras vid ett tillfälle. TV-inspektionsenheten kan se hur ledningen ser ut invändigt (beläggning, korrosion etc.) men inte något om godstjocklek eller utvändig korrosion. Komplettering med läcksökning ger en indikation om status, men inte kunskap om områden utan hål, men med tunt gods.

3.3 Magnetiskt läckflöde (Magnetic flux leakage, MFL)

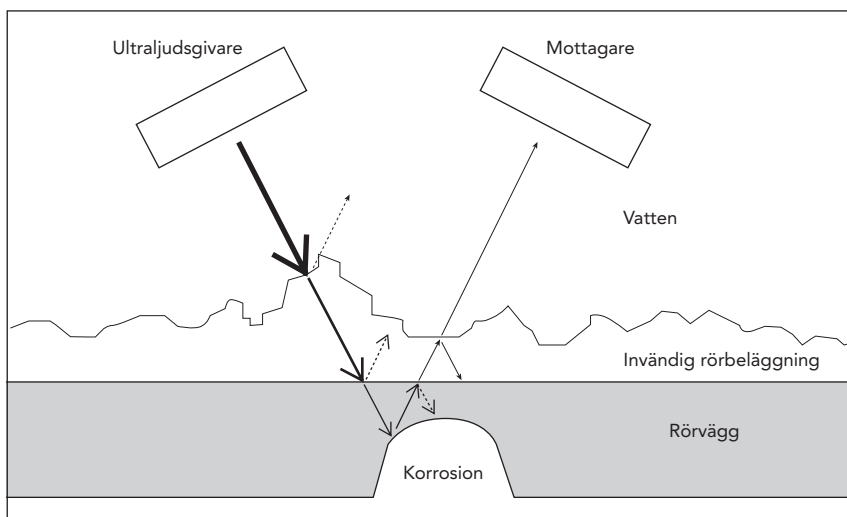
Metoden bygger på att magneter placeras så att ett magnetfält byggs upp i ledningen. Om magnetfältet är tillräckligt starkt kommer en del av det igenom ledningen när korrosionshål uppträder. Magnetfältsläckaget samlas upp av detektorer inne i ledningen, se figur 3-1. Metoden är vanlig i gas och oljeindustrin. Metoden bygger på att instrumentet är i direkt kontakt med rörväggen. Det betyder att ledningen måste rengöras före inspektionen. Metoden är inte användbar för vattenledningar eftersom den kräver närkontakt med materialet och en vattenledning är aldrig helt slät invändigt (Makar & Chagnon 1999). Om ledningen rengörs så att de blir släta förstörs också det skikt som skyddar ledningen.



Figur 3-1 Schematisk bild av inspektion med magnetisk metod (översatt från Makar, 1999).

3.4 Ultraljud (Ultrasonic Testing, UT)

Metoden bygger på att ultraljudstransducers (omvandlare, förmedlare) sänder ut ultraljud genom rörväggen. Ljudet reflekteras både på insida och på utsida rörvägg, se figur 3-2. Tidsfördröjningen används för att beräkna godstjockleken. Metoden kan mäta godstjocklek, se korrosionshål, urgröppningar och sprickor. Tuberculation (bildning av korrosionskrustor) minskar precisionen (Rajani & Kleiner, 2004). Metoden är användbar enbart på metalliska material och är vanlig i gas och oljeindustrin.

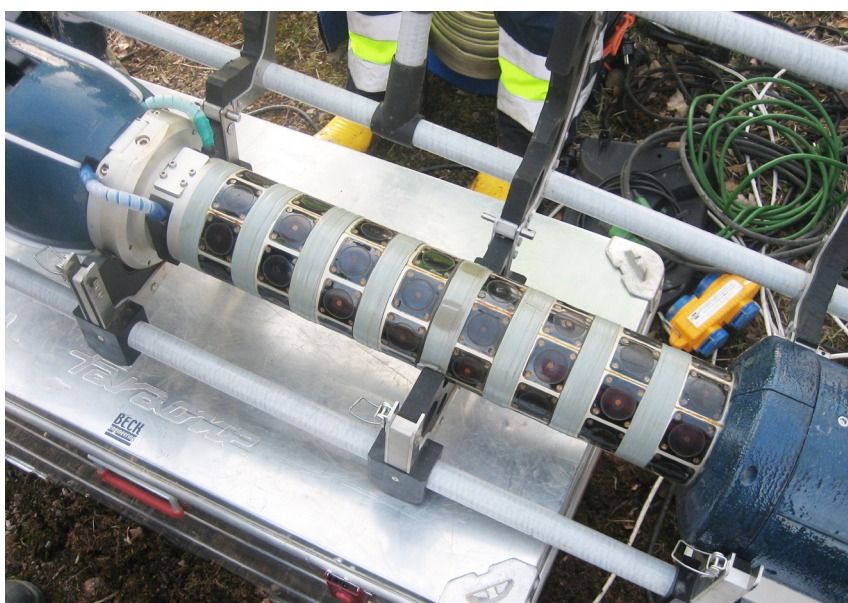


Figur 3-2 Schematisk bild av inspektion med ultraljud. De streckade pilarna visar ljud som tar en annan väg pga. korrosionsprodukter på rörväggsytan (översatt från Makar & Chagnon, 1999).

3.4.1 På marknaden idag – Breivoll pipescanner

Pipescannern från Breivoll Inspection Technologies klarar i dagsläget stål, gjutjärn och segjärn. Ledningar med korrosionsskydd, som exempelvis cementbruk ger inte resultat med lika hög precision i dagsläget. Metoden är i princip även möjlig på betong och plast, men algoritmer är inte utvecklade för dessa material. Pipescannern har 64 mätsonder. Utrustningen är mycket känslig och skyddas tills den är på plats med en plåt, se figur 3-3.

Utrustningen kräver att ledningen schaktas fram på en sträcka om ca tre meter för att kunna montera en inslussningsenhet. Grovrengöring med plugg bör utföras utan att ytskiktet närmast rörväggen förstörs. Därefter kan skannern placeras i ledningen, se figur 3-4. Scannern transporteras ut i ledningen med hjälp av vattenflöde. Vattenflödet regleras med brandposter, men en framdriftsenhet som skall minska flödesbehovet är under utveckling.



Figur 3-3 Rörscannern med 64 mätsonder (foto: Annika Malm).

Inspektionen tar upp till en dag att genomföra, per inspektionspunkt, exkl. schaktning och montering av inslussningsenhet.

Skannern klarar diametrar från 250–400 mm. Om ledningen blir större kommer skannern för långt från rörväggen och det leder till att upplösningen blir för grov och signalen för svag. Inspektionen kan ske max 450 meter "åt vardera hållet" från inspektionspunkten. Max avvinkling som utrustningen klarar är 11°.

Kostnaden är beroende av längden som inspekteras, men ligger i storleksordningen 500–1 500 kr/m. Efterarbetet som krävs är spolning och vattenprovtagning för att säkerställa vattenkvaliteten.



Figur 3-4 Rörscannern snart på plats i ledningen (foto: Annika Malm).

Metoden kan bedöma godstjocklek med en noggrannhet av $\pm 0,2$ – $0,4$ mm beroende på signalstyrka. Om signalen är mycket svag visar scannern inget resultat på grund av för hög osäkerhet.

Resultatet visar hål i storleksordningen ner till ca 1 cm^2 (Vangdal, pers. medd. 2009). Skanningsutrustningen har en minsta upplösning på $25 \times 25 \text{ mm}^2$. Dock finns 5 mätpunkter som sammanvägs inom dessa $25 \times 25 \text{ mm}^2$, vilket gör att upplösningen i praktiken blir ner mot 1 cm^2 . Mindre korrosionshål eller mycket tunna områden mindre än 1 cm^2 upptäcks inte. Utrustningen är därmed inte bra för att finna läckage, dock kan sägas att om godstjockleken är stor i övrigt så verkar det osannolikt med korrosionshål.

Metoden kan inte bedöma spänningar. Sprickor syns men mikrosprickor går inte att detektera med metoden.

3.4.2 På marknaden idag – SWIFT

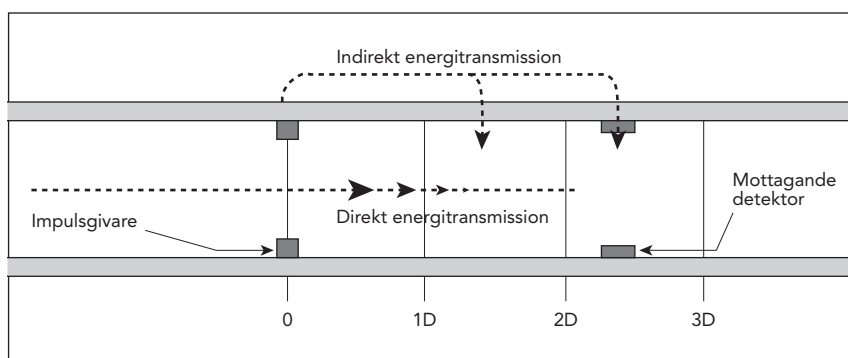
Swift är främst utvecklad för att bedöma buckling och andra geometriska defekter på plastledningar (PVC/HDPE). En kamera gör visuell inspektion och med ultraljud mäts dimension och godstjocklek. SWIFT har bara 8 mätsonder (probes) vilket gör att upplösningen inte är så stor och att de

inte har möjlighet att se mindre korrosion (<10 mm) i metalliska ledningar. SWIFT använder vattenflöde för att transportera sig i ledningen (Dijkstra, pers. medd. 2009).

SWIFT klarar diametrar större än 300 mm och upp till 10 km ledningslängd (Applus RTD, 2010). SWIFT klarar viss avgradning men kan inte ge information om ledningsstatus i böjarna (Dijkstra, pers.medd. 2009).

3.5 Elektromagnetisk metod (Remote Field Technology)

Remote Field Technology (RFT) eller Remote Field Eddy Current (RFEC), figur 3-5, är en elektromagnetisk metod som mäter tiden för att elektromagnetiska signaler skall komma tillbaka. Tiden beror på hur mycket material som måste passeras.



Figur 3-5 Elektromagnetisk metodens princip (översatt från Rajani, 2004).

Metoden kräver inte direktkontakt med rörväggen och därför kan den användas utan att skyddsskiktet förstörs. Metoden klarar även cementbruksisolerade ledningar.

3.5.1 På marknaden idag – See Snake Tool från Russeltech

See Snake Tool, (tidigare Hydroscope) från Russeltech är baserad på RTF-tekniken. Metoden kräver ingen kontakt med rörväggen och kan därmed också klara passager förbi korrosionsbulor etc. (fritt utrymme 6,3 mm). Utformningen gör att den klarar 90°-böjar, och inspektionen kan därmed ske från amerikanska brandposter. Svenska brandposter är normalt satta på sidan om ledningen och är svårare att använda som insättningspunkt.

Metoden använder vattenflöde eller tryckluft för att transportera utrustningen i ledningen. Data laddas över via USB eller bluetooth. See Snake klarar dimensioner från 75–750 mm med en godstjocklek om maximalt 25,4 mm för gråjärn/segjärn och 12,7 mm för stål. Gränsen för vilken godstjocklek See Snake klarar har satts utifrån praktiska skäl, ju tjockare gods desto långsammare går inspektionen. Metoden klarar cementbruksisolerade ledningar (Russell, pers.medd. 2010 & Picacorp, 2010).

Figur 3-6 och 3-7 visar hur det kan se ut vid inspektion med See Snake.



Figur 3-6 See Snake (Bild med tillstånd från Russelltech).



Figur 3-7 See Snake precis före insättning i röret (Bild med tillstånd från Russelltech).

Resultatet redovisas i en klassning av ledningen på en skala "good/fair/poor/bad". Metoden är bäst på att avgöra hål och korrosionsgropar där mindre än 20 % av den ursprungliga rörväggen återstår (90 % träffsäkerhet) och sämre på att avgöra korrosionsdjup på gropkorrosion där mer än 20 % av den ursprungliga rörväggen återstår (Hartman et al., 2002). Hydroscope 201 kan se jämn korrosion om den är mer än 5 % av ursprunglig godstjocklek. För lokal korrosion ser utrustningen korrosion över 20 % av ursprunglig godstjocklek på en yta med diameter 50 mm (Ferguson et al., 1996). Hur små hål metoden kan upptäcka är svårt att avgöra, eftersom det är en fråga om tolkning (Brander pers.medd., 2010).

En farhåga är att gummipackningar vid skarvar innebär att ett område missas i samband med skarven. Enligt Brander (2010) är det inget hinder, utan de högfrekventa radiovågorna passerar en gummipackning som om det var luft.

Det finns också utrustning från Russelltech som klarar mycket stora diameter, EMIT Tool (Russelltech, 2010).

3.5.2 På marknaden idag – Eagle 2000 Plus Multichannel NDT System från TesTex

Eagle 2000 Plus Multichannel NDT System från TesTex kan användas i både metalliska och icke-metalliska material. Dock krävs att ledningen är torr och väl rengjord. Dessutom klarar utrustningen bara 30 meter, vilket innebär många insättningspunkter (Hopper, 2009). Metoden kan endast användas på mindre ledningar, 8–150 mm. Metoden klarar böjar, upp till 180°. Punktkorrosion ner till 1 mm storlek och där godstjockleken reducerats med 30 % kan detekteras. Metoden kan också se sprickor, både längsgående och cirkulära (TesTex, 2010).

4 Inspektion med pipescanner

4.1 Malmö

4.1.1 Förberedelser

VA SYD, ett kommunalförbund som består av Malmös och Lunds VA-verksamheter, tyckte att inspektion med pipescanner lät intressant att testa. Det första Malmö gjorde var att se om de hade en ledningssträcka de har behov av att inspektera och som klarar de begränsningar som pipescannern har. Ledningen måste vara av dimension 250–400 mm, av gjutjärn eller segjärn, den får inte ha invändig cementbruksisolering och den får inte ha böjar eller avvinklingar större än 11°.

Malmö hittade en sträcka de hade behov av att inspektera och som klarade kraven. Ledningen är från 1898 som ursprungligen gick till ett vattentorn (som numera är bostäder). Ledningen, 475 meter gjutjärnsledning från 1898 ligger under ett gammalt spårområde och delvis i skyddsror. VA SYD var intresserade i vilket skick ledningen var och om spårområdet påverkat ledningens skick. Den del av ledningssträckan som ligger i det gamla spårområdet är mest utsatt. Det finns risk att läckströmmar från spåren skadat ledningen eller att det finns ämnen i marken som påverkat ledningen.

Kartan över den utvalda sträckan skickades till Breivoll Inspection Technologies som bedömde om sträckan verkar lämplig. Breivoll träffade VA SYDs personal och berättade om hur metoden fungerade. Vid denna diskussion framkommer att det är omöjligt att inspektera hela sträckan med bara en insättningspunkt. I samband med vägomläggningar har en del av sträckan bytts ut till segjärn (1961), och lagts som en dykarledning under en rondell. Eftersom dykarledningen hade avvinklar större än 11° kunde inte hela ledningssträckan som var tänkt från början inspekteras utan endast fram till rondellen. VA SYD bestämmer sig därför för att inspektera den del som ligger under spårområdet, ca 240 meter.

VA SYD har nyligen i samband med nybyggnad av nytt köpcentra lagt om en del av en annan gammal ledning, en 450 mm respektive 375 mm gjutjärn, också från förra sekelskiftet. Dessa ledningar var i mycket gott skick. Därför har VA SYD goda förhoppningar att också den ledning som skall inspekteras är i bra skick. Det som kan befaras är som nämnts läckströmmar från järnvägen eller markförhållandena.

VA SYD och Breivoll träffades ytterligare en gång för att se på ledningssträckan på plats och stämma av alla detaljer. Breivoll har en checklista på saker som skall avklaras, på nästa sida listas de viktigaste momenten.

Därefter bestämdes datum för skanning och minst en vecka före skickades inslussningsenheten ner till VA SYD för montering på ledningen.

VA SYD gjorde en läckagekontroll av sträckan inför skanningen och sträckan bedömdes vara tät.

Checklista för pipescanning (Skieldheim, pers.medd. 2009)

- Material, läggningår, dimension och längd på ledningen
- Jordmån/massor ligger ledningen i och vad har det funnits för verksamheter som kan påverka ledningens miljö (t ex gammalt bangårdsområde)
- Miljö finns runt inspektionsstället, gatubild, hinder
- Vattenförbrukningen på ledningen, höjdvot och tryckklass (Med höjdvot menas det högsta vattentrycket på sträckan. Höjdvoten beror på både det aktuella trycket och ledningens profil. Om det är en höjdskillnad på 40 meter på ledningen, och trycket är 5 bar på 40 meter, och inspektionen skall starta från 0 meter, så blir det reella trycket 9 bar. Vidare säger höjdskillnaden också något om hur mycket vatten som måste tömmas ur ledningen om inspektionen sker från lågpunkten, och därför väljs helst en punkt längre upp för att minska volymen vatten som måste tömmas ur.)
- Avgreningar, böjar och avvinklingar på sträckan (och eventuella brunnar)
- Tidigare reparationer eller renoveringar på sträckan
- Abonnenter som blir berörda (utan vatten) av skanningen
- Kontroll att det finns tillräckligt flöde så att scannern kan flyta med och hur detta vatten kan avledas, dvs. lokalisera brandposter, ventiler och de avloppsbrunnar som kan användas. (Det krävs minst Ø 50–75 mm brandpostledning för att få upp hastigheten så att scannern flyter med i ledningen.)
- Stängning av ventiler, vilka och var
- Lokalisera alternativa evakueringsmöjligheter för pipescannern
- Val av plats för montering av inslussningsrör
- Kontroll av möjlighet att skanna åt två håll från inslussningspunkten, dvs. är det möjligt att få vattnet att strömma åt båda hållen? Om det är möjligt går det troligen att skanna åt båda hållen från nedsättningspunkten. Ett alternativ är att gå ner från andra hållet på ledningen som skall inspekteras om den tänkta nedsättningspunkten inte fungerar.
- Kunden/kommunens resurser i form av personal, maskiner, strömförsörjning etc.
- Klara ut av operativt ansvar, dvs. vem som har beslutsmyndighet under skanningens gång. Om snabba beslut måste tas, vid oförutsedda händelser, är det nödvändigt att veta vem som skall bestämma.
- Kontroll av alternativ, om proceduren måste avbrytas
- Behov av trafikavstängningar
- Test av alla ventiler så de inte har fastnat

4.1.2 Genomförande

Skanningen utfördes 31 mars 2009. VA SYD stängde ledningen nästan helt och öppnade brandposter. Vattnet i schakten pumpades med drännpump, dels hade VA SYD en pump och dels Breivoll. VA SYD hade med sig ett litet dieselaggregat och Breivoll hade ström från batterier i bilen. Bilen ser ut ungefär som en TV-buss, med kablage och utrustning åtkomligt från bakluckan, se figur 4-1.



Figur 4-1 Bilen med skannerutrustningen (foto: Annika Malm).

Schakten bestod av lera och VA SYD hade bottnat med grus så att det gick att arbeta i den länshållna schakten. Ett treben ställdes över inslussningsenheten. Trebenet har ett hjul som används för att kabeln skulle löpa bra. Det var dock svårt att få trebenet på plats eftersom schaktväggarna var ojämna. Trebenet säkrades upp med en vajer runt ledningen som spändes. Breivoll föredrar att beställaren använder spontlåda så att schaktväggarna blir raka och trebenet kan stå uppe på backen, men de hade inte angett detta till VA SYD.

Breivoll skruvade loss alla bultar på locket på inslussningsenheten, vilket måste göras för hand. Det är viktigt att vattentrycket i ledningen är borta när bultarna lossas, annars riskerar personen som lossar bultar att få locket med full kraft på sig. När de sista bultarna skruvades upp kom lite vatten, men det var enbart vatten stående i ledningen och snart upphörde vattenflödet. En plexiglasskiva sprayad med antibakteriell spray (Antibac overflate desinfeksjon 70 % +) lades på öppningen.

Breivoll tog ut scannern och även en framdriftsenhet de testade för första gången. Framdriftsenheten skulle driva fram scannern med hjälp av propeller, utan vattenflöde. Tyvärr så befarade de att enheten inte skulle orka, på grund av att kabeln de hade med sig inte var självbärande i vatten. En

självbärande kabel var beställd men ännu inte levererad vid tillfället. Normalt har Breivoll en lösplugg, som är lite större i diameter än skannern men mindre än ledningens diameter, framför skannern. Löspluggen driver fram genom att det blir hög vattenhastighet längs väggarna när nästan hela tvärsnittet är blockerat av pluggen.

Pipescannerns elektronik måste vara torr och därför kontrollerade Breivoll att det var tätt runt elektroniken och ett övertryck, för att inte riskera att elutrustningen blir förstörd. Vid detta tillfälle var trycket lite lågt och någon liten del som kanske läckte lite, men de lyckades få upp ett övertryck så att skannern kunde användas. Det tog lite tid och ett samtal till Nordnorge, för att de skulle vara säkra på att kunna köra.

Sammantaget tog det ca tre timmar att få skannern på plats. Det var mycket som skulle ordnas med, utrustningen skulle desinfekteras och skyddas och bultar skulle lossas och skruvas fast. Breivoll startade ca 07:45 och 10:30 var skannern på plats i ledningen. Denna gång tog det extra lång tid på grund av den nya framdriftsenheten, problem med övertrycket för elektroniken samt att det tog tid att få trebenet på plats.

Till sist var allt på plats och locket på, se figur 4-2. Locket måste vara på för när skanningen körs skall det vara ett övertryck i ledningen. Först testade Breivoll att driva fram skannern med den nya framdriftsenheten. Det gick några meter men inte längre. Då öppnades den stängda ventilen och det blev tryck och flöde i ledningen. Skannern gick långsamt framåt, men VA SYDs personal fick öppna lite mer i en brandpost för att det skulle bli mer fart.



Figur 4-2 Scannern på plats i ledningen och locket påsatt (foto: Annika Malm).

En kamera på skanningsutrustningen gjorde att det gick att se hur ledningen såg ut invändigt vid inspektionen. Bilden var dock lite grumlig, eftersom stoft som låg i ledningen virvlade upp. I bilden syntes korrosionsbulor, men enbart lokalt, och ledningen såg i övrigt mycket fin ut. Att det virvlade upp så mycket sediment beror till stor del på att flödet i ledningen normalt går i motsatt riktning.

Pipescannern kom ca 201 meter in i ledningen mot beräknat 240 meter. Kabeln blev för tung och flödet för lågt för att driva scannern längre. I stället för att dra ut hela utrustningen, ta bort den nya framdriftsenheten, sätta på en mjuk plugg och köra fram igen, valde Breivoll att inte köra de sista metrarna.

När scannern nått så långt den kunde komma fixerades enheten med hjälp av justerbara plastfötter. Scannern måste vara helt centrerad för att resultatet ska bli bra. Därefter verifieras att data från skanningen lagrades på dator. Skanningen utfördes när pipescannern drogs tillbaka. Trycket hölls på ca 2 bar i ledningen.

Efter skanningen tog Breivoll bort sin utrustning och även inslussningsenheten. Då var klockan ca 14:30. Ledningsbiten från 1896 sattes tillbaka och allt som återstod var två skruvmuffar. Återfyllning kunde börja ske 15:45.

När ledningen har varit ur drift måste vattenprover tas innan ledningen kan tas i drift igen. Dagen efter skanningen spolades ledningen och vattenprov togs. Analysen av provet tog tre dagar så först fyra dagar efter skanningen öppnades ledningen igen. Det var inga problem att hålla ledningen stängd i detta fall, eftersom inga abonnenter är anslutna på denna sträcka.

4.1.3 Utvärdering

Rapporten med resultatet översändes till VA SYD efter ca två veckor och därefter kom Breivoll och presenterade resultatet muntligen. Utskrifterna från skanningen är svårtolkade och en muntlig genomgång förtydligande resultatet.

Resultaten visar:

- Ledningarna som användes 1889 var gjutna i 4-meterslängder och hade en godstjocklek på 13 mm. De var gjutna i en liggande form eftersom godstjockleken var någorlunda jämn.
- På ett par ställen visades små punkter som kan vara hål. Scannern kan inte se små hål men kan se indikationer på tunna områden.
- Den tunnaste delen var ca 9 mm.
- Det hade blivit luft i ledningen på några rörlängder (antagligen en höjdpunkt på ledningen) och då blir resultatet inte riktigt användbart.
- Den utvändiga korrosionen var så gott som frånvarande.
- Den invändiga korrosionen var liten med undantag av enstaka rörlängder.
- Flera rör har områden med tunnare gods men sett över hela rörlängden är den kvarvarande godstjockleken bra. Baserat på att den ursprungliga godstjockleken är 13 mm, är den minsta godstjockleken aldrig under 70 % av den ursprungliga.

Sammanfattningsvis är ledningen i bra skick. Trots att järnvägen gått ovan ledningen är den inte påverkad av läckströmmar. Skyddsröret verkar ha fyllt sin funktion. Det enstaka rör som var sämre är troligen produktions- eller lägningsfel, eftersom inga skador visas på andra ställen.

En norsk rapport (Norvar, 1998) bedömer att om 60 % av godstjockleken på gjutjärnsrör är kvar är ledningens hållfasthet fortfarande tillfredställande. Om 50 % är kvar börjar det bli vanskligt och är mindre än 50 % kvar är risken för brott hög. VA SYDs ledning hade som minst 70 % kvar vilket därmed är en fullgod ledning. VA SYD har många ledningar som är förlagda under ungefär samma tidsperiod och med samma material och markförhållanden. Sannolikheten att dessa ledningar håller länge är hög.

Kostnaden för inspektionen blev 140 000 kr exkl VA SYDs egna kostnader om ca 43 000 kr (Leif Malmström, pers.medd. 2009). Det innebär en sammantagen meterkostnad på ca 875 kr.

4.2 Stockholm

I Stockholm genomfördes en inspektion under januari 2009 som har beskrivits i Svenskt Vattens tidning (Meyer, 2009 och Meyer, pers.medd. 2009).

Inspektionen var tänkt att genomföras på en ledning i Drottningholmsvägen. I sista stund upptäcktes att ledningen lagts om och höjts på ett ställe i samband med byggnation av en korsande ledning. Riktningssavvikelsen, som var mer än vad metoden klarar, var inte angiven i kartverket utan enbart på gamla arbetsritningar.

I stället valdes en annan ledning under Ulvsundavägen, en 250 mm gjutjärnsledning från 1924. Tanken var att anlägga en grop och inspektera 450 meter. Vid inspektionen fann Breivoll att ledningen var rostangripen, och därmed var tvärsnittsarean mindre än förväntat. Efter 173 meter kom Breivoll inte längre på grund av en rostbula och en skarv med liten riktningssavvikelse. Inspektionen blev därmed endast 173 meter.

På sträckan fanns endast en servis, som fick stå öppen under inspektionen. Eftersom det hela tiden var tryck på vattnet och ledningen spolades kontinuerligt bedömdes inte det vara någon fara för vattenkvaliteten. Abonnenten fick in brunt vatten och i efterhand konstaterades att serviser alltid bör vara stängda i samband med inspektion. Vattenprover togs efter skanningen och de var utan anmärkning.

Utifrån den uppmätta godstjockleken kan den återstående livslängden bedömas. Stockholm Vatten gjorde efter skanningen en ekonomisk kalkyl. Kostnaden för skanningen ställdes mot nyttan med att kunna senarelägga en förnyelse. Vid skanningen framkom att ledningen bör hålla minst 20–30 år till. Skanningen kostade 1 250 kr per meter inkl Stockholm Vattens interna kostnader. Stockholm Vatten har beräknat att en omläggning idag kostar ca 6 000 kr/m. Om förnyelsen av ledningen kan senareläggas 20–30 år motsvarar 6 000 kr ett nuvärde om 2 000–3 000 kr/m med 3,5 % real kalkylränta.¹ Inklusiv skanning blir nuvärdeskostnaden 3 400–4 300 kr/m, vilket

¹ Nuvärde av 6 000 kr om 20 år med 3,5% kalkylränta är $6\,000 \cdot (1/(1+0,035)^{20}) = 3\,000$ kr
Nuvärde av 6 000 kr om 30 år med 3,5% kalkylränta är $6\,000 \cdot (1/(1+0,035)^{30}) = 2\,200$ kr

skall jämföras med omlägningskostnaden. Besparingen för Stockholm Vattens specifika fall blir således 30–40 % jämfört med omläggning idag.

Den fasta kostnaden är relativt stor och eftersom sträckan inte var så lång blev meterkostnaden relativt hög. Om den ursprungliga sträckan 450 meter hade kunnat inspekterats hade meterkostnaden legat på ungefär hälften.

Stockholm Vattens slutsatser av rörskanningen var:

- Skanningen gett ett beslutsunderlag att skjuta fram förnyelsen av ledningen med 20–30 år, vilket innebär en besparing.
- Metoden ger ett bra beslutsunderlag och är kostnadseffektiv om undersökningen leder till senareläggning av förnyelse.
- Vid behov av åtgärder ger inspektionen ett bra underlag för val av förnyelsemetod.
- Idag kan metoden endast användas i ledningar med diameter 250–400 mm och med riktningsavvikelser på max 11° och på ledningar av metalliska material utan beläggning. Detta innebär att endast en liten del av Stockholm Vattens ledningsnät har förutsättningar för att inspekteras med hjälp av denna metod.

4.3 Täby

Täby kommun har också utfört en skanning. En ledning, viktig ur försörjningssynpunkt inspekterades. Täby hade tänkt skanna 390 meter men på grund av avvinklingar och beläggningar vid en T-ventil kom utrustningen bara 140 meter. Efter skanningen spolades ledningen och vattenprov togs. Skanningen gick relativt fort och förskolan som blev utan vatten hade inte ens märkt av avbrottet. Ledningen öppnades igen innan resultaten från vattenprovet var analyserats, men vattnet var enligt provet bra. Täby tycker tekniken är intressant och ser fram emot utveckling mot även mindre dimensioner (Praesto, 2009; Karlsson, pers medd. 2009).

4.4 Erfarenheter från Oslo

Oslo kommuns VA-förvaltning (Oslo VAV) är den stad som använt invändig inspektion med rörscanner från Breivoll mest. Resultaten används som underlag för beslut om förnyelse, dvs. om ledningen är fullgod, bör renoveras med puruetanbeläggning eller om en ny ledning krävs. Eftersom de använt metoden vid många tillfällen har de utvecklat en rutin. I Norge har de dessutom oftast brunnar på vattenledningen vilket gör en inspektion lättare att genomföra. Oslo VAV meddelar drabbade brukare att vattnet kommer att stängas av under några timmar (Bernhus, pers.medd. 2010).

Oslo har delat in sina vattenledningar i tio rörklasser baserat på material, dimension, ålder/produktionsår. Oslo hoppas att resultatet från de ledningar som skannats kan överföras till andra ledningar i samma rörklass. Korrosionshastigheten bör vara samma oavsett om ledningen är stor eller mindre, men godstjockleken är mindre på mindre ledningar. Erfarenheterna från Oslo är att rören man lagt är av olika kvalitet. Rörkvaliteten varierar stort från rörlängd till rörlängd och är inte konstant på en sträcka mellan till

exempel två ventiler. Det gör det svårt att dra generella slutsatser utifrån de skanningar som genomförts (Bernhus, pers.medd. 2010).

Oslo planerar att skanna ca 22,5 km vattenledningar de kommande tre åren. En viktig del i arbetet är att verifiera resultaten av skanningen. I samarbete med NTNU (Norges teknisk-naturvetenskapliga universitet) kommer verifiering att ske genom att man gräver upp enskilda ledningssträckor och jämför (Bernhus, pers.medd. 2010).

5 Inspektion med Hydroscope tool®

5.1 Erfarenheter från Calgary – Kanada

Calgary har under åren 1993–1999 använt Hydroscope. De har haft ett inspektionsprogram att inspektera 20 km årligen, med fokus på dels speciella projekt där statusen är viktig att veta och dels i led att få en bild av nätets status (Kozhushner et al., 2001).

En undersökning genomfördes 1998–1999 där ca 2 km inspekterade vattenledningar av gjutjärn och segjärn verifierades mot uppgrävda sandblästrade ledningar. På varje enskild sträcka valdes de tre av Hydroscope uppmätta största gropkorrosionspunkterna ut och resultatet jämfördes med verkligt korrosionsdjup. Resultaten från 1998 var något missvisande men under samarbetets gång utvecklades även Hydroscope och resultaten från 1999 stämmer bättre överens med verkligheten. De sämsta ledningarna, med mellan 0–20 % av rörväggen kvar i de tre största korrosionsgroparna, stämmer till 90 %. Ledningar med mindre skador stämmer något sämre men relativt bra (Kozhushner et al., 2001; Hartman et al., 2002).

Calgary har ökat sin kostnadseffektivitet genom att de kan undvika omläggningar av ledningar som varit bra vid inspektion. Metoden ger Calgary möjlighet att med utgångspunkt av inspekterat rörnät säga något om resterande. Om de har kunskap om 10 % kan de bedöma resterande 90 % om förutsättningarna är desamma (Hartman et al., 2002).

Kostnaden för genomförandet var ca \$40 per meter (2003 års priser), där ca halvparten utgörs av kostnader för eget arbete i samband med inspektionerna och halvparten kostnaden för Hydroscope (Brander pers.medd. 2010).

Hydroscope har inte använts de senaste sex åren eftersom den inte funnits på marknaden. Den nya versionen, kallad See Snake Tool, har nyligen kommit ut och Calgary planerar att starta inspektioner sommaren 2010 (Brander pers.medd. 2010).

5.2 Erfarenheter från Australien

En undersökning gjord i Australien där tre provsträckor testades med Hydroscope och sedan evaluerades med uppgrävda analyser (Ferguson et al., 1996). Resultatet från Hydroscope överensstämde mycket väl med verkligheten för utvändig korrosion. För invändig korrosion kunde resultaten inte jämföras, på grund av svårigheter att sandblästra invändigt. Inga ytterligare kända undersökningar från Australien har påträffats.

5.3 Erfarenheter från London – Storbritannien

London har erfarenheter från 1997, då en 500 meter provsträcka inspekterades. I rapporten konstaterades att metoden var användbar, men att den måste bli mer praktisk, mer kostnadseffektiv och inte påverka vattenkva-

litet, dvs. sediment som frigörs vid inspektion (Koutsakos, 1997). Det har inte gått att finna uppgifter om eventuell fortsättning.

5.4 Erfarenheter från Hongkong

En råvattenledning är inspekterad. Dock finns inga resultat dokumenterade. En specialstudie av en delsträcka visade mycket mer skador än vad den första inspektionen indikerade (Vickridge & Lau, 2008).

6 Slutsatser

Det sker utveckling på området invändig inspektion men det är svårt att få en total överblick av alla möjligheter. Tekniken används mer av andra verksamheter men det finns utvecklingspotential för att använda tekniken på vattenledningar. De två metoderna som visat sig användbara är dels en metod baserad på magnetfält (Hydroscope/See Snake Tool) och dels en metod baserad på ultraljud (pipescanner). Båda ger en bild av metalliska ledningars återstående livslängd och har använts i fullskala på flera platser.

Det finns många meter vattenledningar och det finns ett behov hos VA-förvaltare att ta reda på mer om statusen på ledningarna. Idag är tekniken på marknaden något krånglig och dyr, men i takt med att tekniken blir mer tillgänglig kommer efterfrågan att öka. Det finns ett stort intresse för enklare lösningar och att kunna inspektera framför allt mindre dimensioner.

Breivolls pipescanner finns på nära håll och är utvärderad i Sverige. Det vore önskvärt med mer nära referenser för andra tekniker också. See Snake kommer att användas inom kort i Calgary och mer slutsatser kommer preliminärt att finnas i slutet av 2010.

Utvärderingen av Breivolls pipescanner visar att tekniken fortfarande under utveckling, idag är det mycket handpåläggning eftersom produkten är egenutvecklad och alla detaljer fortfarande har förbättringspotential. Breivoll blir dock kontinuerligt bättre på att bedöma inspektioner.

Inför ett val om en ledning skall förnyas eller inte kan en inspektion ge stöd i beslutet. Om resultatet visar att ledningen är bra och det finns möjlighet att senarelägga förnyelsen kan inspektion till och med ge en kostnadsbesparing, men om resultatet visar att ledningen behöver förnyas omgående är inspektionen endast en ytterligare kostnad.

7 Referenser

7.1 Artiklar, rapporter och tidskrifter

- Dingus, M., Haven, J. and Austin, R. (2002) Nondestructive, non-invasive assessment of underground pipelines. American Water Works Research Foundation, Denver, CO.
- Ferguson, P., Heathcode, M., Moore, G. and Russell, D. (1996) Condition assessment of water mains using remote field technology, Water, March/April 1996.
- Hartman, W.F., Karlson, K. and Brander, R (2002) Waterline restoration based on condition assessment – a case study Distribution & Operation Conference, September 2002.
- Koutsakos, E., Woodward, T. och Russell, D.E. (1997) Using a non-destructive technique for evaluating water mains conditions BHR Group.
- Kozhushner, G., Brander, R. och Ng, B. (2001) Use of pipe recovery data and the Hydroscope NDT inspection tool for condition assessment of buried water mains American Water Works Association – Infrastructure Conference.
- Makar, J.M. and Chagnon, N. (1999) Inspecting systems for leaks, pits, and corrosion. Journal of American Water Works Association, Vol. 91, No. 7, pp. 36–46.
- Meyer, A. (2009) Ny teknik för rörscanning artikel tidskriften Svenskt Vatten 2 2009.
- Norvar (1998) Forfall og fornyelse av ledningsnett – prosjektrapport 84–1998.
- Praesto, M.h. (2009) Ny metod blir viktig kunskapsbank NoDig info 2/2009.
- Rajani, B. and Kleiner, Y. (2004) Non-destructive techniques to determine structural distress indicators in water mains, Evaluation and Control of Water Loss in Urban Water Networks, Valencia, Spain, pp1–20.
- Saegrov, S. (ed) (2005) Care-W Computed aided rehabilitation of water networks IWA Publishing ISBN 1843390914.
- VAV (1997) Statistiska uppgifter över kommunala vatten- och avloppsverk, VAV S97, nuvarande Svenskt Vatten.
- Vickridge, I., och Lau, T. (2008) Lessons Learnt from Pipeline Condition Assessment in Hong Kong Not published, found on www.bv.com.
- Wengström, T.Rd. (1993) Comparative Analysis of Pipe Break Rates Chalmers Tekniska Högskola, Inst. för vattenförsörjning- och avloppsteknik, Publ 2:93.

7.2 Internet

Applus	www.applusrtd.com (2010-08-25)
Picacorp	www.picacorp.com/download/See%20Snake%20brochure.pdf (2010-08-17)
Russelltech.com	www.russelltech.com/PDF/LDT/LDT%20Brouchure.pdf (2010-08-17)
Samlingssida NDT	www.ndt-ed.org/GeneralResources/GeneralResources_Links.htm (NDT=Non Destructive testing)
Testex	www.testex-ndt.com/piping_inspection.html
WRc	www.wrcplc.co.uk/default.aspx?item=1101 (2010-07-06)

7.3 Personliga kontakter

Breivoll	Vegar Skieldheim, personligt, mail och telefon Ernst Kloostermann, personligt, mail och telefon Arne Christian Vangdal, personligt, mail och telefon
City of Calgary	Roy Brander mail 2010-04-19
Oslo VAV	Carina Bernhus, personligt och mail
Russelltech	Dave Russell mail 2009-05-09, 2010-08-17
Solna Vatten	Andre Meyer mail och telefon
TesTex	Larry Hopper, mail 2009-12-14
Täby kommun	Staffan Karlsson
VA SYD	Ulf Jensen, personligt, mail och telefon Leif Malmström personligt, mail och telefon Kenneth Nilsson personligt, mail och telefon
Applus RTD	Lolke Dijkstra, mail 2009-11-30



Box 47607, 117 94 Stockholm

Tel 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se