

UDI – Pipe Status

Slutrapportering Steg 2 Samverkansprojekt

1. Sammanfattning

Projektet har testat, verifierat och utvecklat nya lösningar med syfte att ta fram nya verktyg att avbrotts- och ingreppsfritt bedöma status på nedgrävda ledningar för vatten och fjärrvärme. Metoderna som valts ut är inte nya i sig, men deras tillämpningsområden är det.

Vi har mätt med dessa metoder på ledningar som av olika skäl ska tas ur drift. Därefter har vissa ledningar grävts upp och provbitar skickats till RISE laboratorium som undersökt deras faktiska skick. Därmed kunde vi jämföra metodernas bedömning av röret med dess faktiska skick och på så sätt få veta i vilken utsträckning metoderna klarar av att korrekt bedöma rörets skick.

28 ledningar har besökts av en eller flera mätmetoder. Sammanlagt 70 bitar från 12 av dessa ledningar har skickats till RISE för undersökning. Den äldsta undersökta ledningen, en segjärnsledning för vatten, är lagd 1890 i Helsingborg medan den nyaste var en gråjärnsledning, även den för vatten, lagd 1975 i Göteborg.

Resultatet är att två metoder fungerar så pass bra att de är redo att ta nästa steg mot marknaden. En akustisk metod för att bestämma hur stor del av rörväggen som fortfarande är frisk har vidareutvecklats från att fungera på fjärrvärmerör till att även fungera på de vattenledningar som undersökts i projektet. En elektrokemisk metod för att leta efter hål på isoleringen runt naturgasledningar har vidareutvecklats till att även fungera på isolerade fjärrvärmerör. Två andra metoder står längre från marknaden men uppvisar så pass stor potential att de är intressanta att arbeta vidare med.

Samtidigt har ansträngningar gjorts för att med delvis hjälp av data från de nya metoderna men framförallt med hjälp av redan befintliga data om ledningarna, ta fram modeller för beräkning av vilka ledningar som bör vara i sämst skick. I slutet av projektet testades en AI-modell som utvecklats av en av de deltagande nätägarna. Modellen visar sig mycket lovande och flera nätägare kommer nu att samverka för att göra pilotförsök och utveckla detta verktyg vidare.

Ett av projektets viktigaste resultat är kanske att de deltagande nätägarna successivt börjar se på ledningsunderhåll och förvaltning på ett annat sätt än tidigare. Även om stora variationer finns är branschen generellt sett reaktiv i sin approach, d.v.s. man reparerar läckor där de

uppstår i större utsträckning än förebygger dem. Vi ser en tydlig omsvängning bland nätägarna med ökat intresse för att basera underhålls- och förnyelseplaneringen på kännedom om faktiskt skick på rören. En förutsättning för att detta intresse ska kunna växa är förstås att det alls finns metoder som kan ge en sådan kännedom. Pipe Status har bidragit till att förstärka nätägarnas verktygslåda på detta område.

2. Testat och utvärderat (del)lösningar

Följande metoder har testats i projektet:

Delta-t (Arne Jensen AB)

Den metod som testats i Pipe Status går ut på att bestämma genomsnittlig kvarvarande godstjocklek på nedgrävda metallrör. Mellan två eller flera befintliga åtkomstpunkter (t.ex. ventiler i gatan eller brandposter) skickas en ljudsignal som fortplantar sig genom vattnet i röret. Ljudsignalens hastighet och utbredning ligger till grund för att fastställa hur tjock rörväggen är i genomsnitt. Om man har kännedom om rörets ursprungliga dimensioner kan man förenklat således beräkna hur mycket som rostas bort. Med rätt ingångsvärden ger metoden ett faktiskt resultat men den kan inte säga hur skadorna är fördelade, om det exempelvis handlar om enstaka kraftiga skador eller ett flertal lindriga skador.

Genomsnittsvärdet kan dock utgöra mycket värdefull information för nätägaren vid en samlad bedömning om rörets skick.

Metoden valdes ut till projektet eftersom den redan fanns på marknaden för fjärrvärmerör och ansågs ha goda möjligheter att utvecklas för tillämpning även på vattenledningar. Under projektet har metoden använts på såväl fjärrvärmerör som vattenledningar för att få jämförande data. Bitar av vissa ledningar har därefter undersökts hos RISE för att jämföra metodens prediktion med faktiskt skick. Projektet har visat att metoden fungerat för de vattenledningar som undersökts i projektet och analyserats hos RISE. En förutsättning för att metoden ska ha en chans att ge tillförlitliga resultat är dock att fullständig kännedom om ledningen finns att tillgå (material, dimension, anslutningar, reparationer etc.). Till skillnad från fjärrvärmeledningar, där dokumentationen om nedlagda rör vanligen är god, är det dock vanligt att dokumentationen om vattenledningar är bristfällig eller i det närmaste saknas. Detta har både historiska skäl, som att kommunen/huvudmannen som anlade vattenledningen för mer än hundra år sedan inte längre finns kvar, och organisatoriska skäl, som att drift och reparation premierats högre än exakt dokumentation av anläggningen. Floran av dimensioner och material hos vattenledningarna har också genom åren varit väsentligt större än hos fjärrvärmerör.

För tillförlitliga mätresultat vid enstaka mätning är det avgörande med fullständig kännedom om ledningens mått och material längs med hela sträckan som mäts. Vid upprepade mätningar, reproducerade vid återkommande besök, eller med stationärt monterad utrustning torde man eventuellt kunna uttala sig om rörets förändring med en lägre mätosäkerhet. Det

skulle ge ett mått på förändringshastigheten, men i sig inte ett säkrare mått på återstående livslängd. En intressant vidareutveckling av detta vore dock att analysera förändringstakten och framförallt derivatan av denna strax innan skada uppstår. En hypotes är att man skulle uppmäta en ickelinjär förändring för exempelvis segjärn, på grund av materialets plasticitet, när ett materialbrott är nära. Detta kan vara ett uppslag för kommande forskningsprojekt.

Arne Jensen AB har i nära samarbete med Öresundskraft utvecklat en mätare som monteras på fjärrvärmerör och som kan fjärravläsas. Denna mätare utför samma arbete som gjorts manuellt i Pipe Statusprojektet, fast kontinuerligt. Att utveckla en liknande mätare som kan monteras på brandposter, ventiler eller liknande är inte orimligt. Nätägare skulle kunna välja att investera i sådana mätare för montering på ledningar där risk för och/eller konsekvenser av haverier är större.

I Pipe Statusprojektet har vi som planerat endast testat manuella enstaka mätningar med Delta-t men inte hunnit testa och verifiera upprepade mätningar, än mindre kontinuerliga mätningar med hjälp av fjärravlästa mätare.

Elektrokemisk metod (Swerea/RISE Kimab)

Den elektrokemiska metoden är användbar för att lokalisera blottlagda beläggningsskador på markförlagda metalliska rörledningar med en isolerande skyddsbeläggning. Mätmetodiken ska användas enbart på rörledningar där varje rördel har elektrisk kontakt med varandra genom t ex svetsning. Metoden tillämpas sedan tidigare på naturgasledningar och valdes ut för att utveckla den så att den kan tillämpas på bl.a. fjärrvärmeledningar (och i förlängningen vattenledningar) med en isolerande skyddsbeläggning. Metoden innebär att blottlagda stålytor i beläggningsskador (både stora och små skador) kan lokaliseras i ett tidigt skede. Detta är intressant då dessa blottlagda skador ökar risken för korrosion och genomfrätningar på rörledningarna.

Mätmetodiken innebär i korthet att inledningsvis utförs elektrokemiska potentialmätningar (korrosionspotentialmätningar) var 10:e meter utefter rörledningen utan strömutförelse. För att kunna utföra lokaliseringsmätningar av blottlagda stålytor med korrosionsangrepp ansluts en mätsladd till en lättåtkomlig ventil som är placerad i t ex en kabelbrunn och som är i elektrisk kontakt med rörledningen. En ytterligare mätsladd ansluts till en mätelektrod som trycks mot markytan. De båda mätsladdarna ansluts sedan till en multimeter med hög ingångsimpedans. För att kunna lokalisera de blottlagda beläggningsskadorna matas en likström ut från olika mätelektroder som är nedtryckta i marken. Den utmatade strömmen från mätelektroden skickas till rörledningen. Den utmatade strömmen från elektroderna, kommer att läcka in i blottlagda stålytor där korrosion pågår. Vid blottlagda stålytor utan och med korrosionsangrepp uppstår stora potentialgradienter som enkelt kan mätas med två externa referenselektroder som trycks mot markytan.

Vid de inledande undersökningar som utfördes i projektet konstaterades att placeringen (avståndet från rörledningen) av de strömmatade elektroderna hade en stor betydelse för lokalisering av blottlagda stålytor på metalliska fjärrvärmerör med en skyddsbeläggning. Vid för långt avstånd mellan den strömmatade elektroden och rörledningen är risken stor att den utmatade strömmen läcker in i en annan konstruktion som är elektriskt ihopkopplad med rörledningen. Exempel på sådana markförlagda föremål kan vara nakna jordningslinor av koppar, telekablar med blymantel, delvis nedgrävda elskåp, stolpar, etc. Detta problem löstes dock genom att placera de strömmatade elektroderna i nära anslutning av rörledningen. Försök gjordes även genom att ändra strömriktningen på den utmatade strömmen. Mätresultaten visade dock att det inte var nödvändigt att ändra strömriktningen för att lokalisera blottlagda stålytor hos fjärrvärmerör med en bra skyddsbeläggning. Med den elektrokemiska mätmetoden lokaliserades två stora skador på en markförlagd fjärrvärmeledning placerad i en urban miljö. Vid uppgrävning av fjärrvärmeledningen bekräftades dessa skador och även följskador på isolering och metallrör.

Efter att initialt ha avfärdat metoden kan vi således konstatera att den efter vidareutveckling och justering inom projektet bedöms fungera som metod att söka efter skador på isoleringen på fjärrvärmerör. Åtminstone en ledningsägare (Öresundskraft) har uttalat att de betraktar den som fullt användbar i sitt arbete med proaktivt ledningsunderhåll. För att utveckla och förfinas mätmetoden ytterligare bör ytterligare mätningar göras. Metoden som är enkel, snabb, billig (ingen dyr utrustning behöver användas) och resultat fås direkt vid genomförandet av mätningarna. Ingen databehandling av mätvärden behöver göras.

Under projektet har det också konstaterats att metoden torde vara lämplig för att kontrollera nyanlagda metalliska vattenledningar med en isolerande skyddsbeläggning inte fått skador i samband med nedgrävning, något som inte är helt ovanligt. Sådana skador kan leda till snabb korrosion då befintliga läckströmmar koncentreras till en enstaka punkt.

Markradar (Adapis Georadar AB)

Radarvågor som sänds genom marken har länge använts för att lokalisera föremål såsom ledningar, arkeologiska fynd eller undersöka markförhållanden i övrigt inför exempelvis anläggningsarbete. Inför projektet bedömdes det finnas potential att med denna metod även identifiera skador på ledningar. Till skillnad från de tidigare beskrivna metoderna befann sig denna väsentligt längre bort från tillämpning. Adapis har genomfört mätningar på ett stort antal ledningar och uttalat sig om bedömd sannolikhet för möjliga skador på ledningarna. Överensstämmelsen mellan skada och icke-skada har dock inte kunnat styrkas för de rörprover som också undersökts i RISE:s laboratorium. Detta är dock inte helt uppseendeväckande då projektfasen i mycket skulle utgöra en läroprocess för metodägaren. Genom kontinuerliga mätningar och feedback från RISE om faktisk status skulle metoden successivt vässas. Av orsaker som beskrivs närmare i avsnitt 8 nedan kunde feedback från RISE först lämnas mot slutet av projektet, då alla mätningar redan var avslutade. Adapis hade

därmed inga möjligheter att successivt vässa metoden baserat på faktiskt resultat från närmast föregående mätning.

En viktig anledning till att projektet förlängdes under hösten 2018 var att bereda Adapis en sådan möjlighet. En längre sektion vattenledning med varierande och väldokumenterade skador grävdes ned på nytt, enkom med syfte att utföra mätningar på ett föremål där facit i förväg var känt. I och med detta kunde metoden justeras så att skadorna på ledningen framträdde tydligare på radarbilden. Parallellt med detta har Adapis även tagit emot varierande rörbitar från projektet, som passerat RISE:s laboratorium och därmed fått skador dokumenterade, för kontrollerade försök i egen anläggning.

Även om metoden i dagsläget befinner sig för långt från marknaden för att kunna tillämpas reguljärt för att identifiera skador på ledningarna så är den samlade bedömningen att resultaten är så pass lovande att den bör fortsätta att utvecklas.

Som ett oplanerat sidospår har Adapis, på initiativ av Öresundskraft, även försökt identifiera s.k. ”blöta muffar”, eller med andra ord de rörskarvar där omgivande fukt och vatten trängt in i isoleringen runt fjärrvärmerör. När plastmantlade isolerade fjärrvärmerör havererar är det mycket vanligt att detta sker just i skarven till följd av korrosion. Öresundskraft har konstaterat att Adapis träffsäkerhet på detta område var så pass hög att man är intresserad av att fortsätta tillämpa metoden reguljärt.

Resistivitmätningar i kombination med markradar (Lunds universitet och Guideline Geo)

Syftet med denna metod är kortfattat att undersöka hur skadlig och elektrokemiskt aktiv den omgivande miljön runt det nedgrävda röret potentiellt kan vara. Metoden i sig har inte ambition att uttala sig om skicket på röret, även om vissa upptäckter gjorts i projektet som skulle kunna dra metoden också i denna riktning.

Resistivitetmetoden undersöker markens förmåga att leda ström, vilken bl.a. påverkas av markens sammansättning. Om en ledning löper genom ett område som har hög förmåga att leda ström (låg resistivitet) kan man anta att ledningen på denna plats är mer utsatt för korrosion än på andra platser. Svaga läckströmmar förekommer generellt sett i marken i urban miljö till följd av exempelvis högspänningskablar eller andra anläggningar och kan leda till korrosion på metallföremål i marken, såsom vatten- och fjärrvärmeledningar. I kombination med mångkanalig markradar från Guideline Geo får man inte bara en 3D-bild av markens varierande strömledningsförmåga utan också ledningens precisa dragning genom den. Informationen är tänkt att användas som del i bedömningsunderlaget i samklang med annan information, t.ex. från andra metoder.

Det mångkanaliga markradarsystem som testades är mycket kraftfullt för skanning av stora ytor, och kan därmed på ett tids- och kostnadseffektivt sätt användas för att lokalisera

ledningarna, vilkas existens och läge ofta avviker från befintlig dokumentation. Metoden fungerar inte i miljöer med konduktiv mark, vilket i praktiken gör metoden oanvändbar om det ligger lerhaltig jord ovanpå ledningarna.

I sitt grundutförande är resistivitetsmetoden ganska arbetskrävande och kräver att ett stort antal stålelektroder (metallstavar) sticks ned i marken längs med och bredvid ledningen för att skicka ström och mäta mellan dessa. När ledningen ligger under hårdgjord yta är det inte en optimal lösning eftersom det kräver håltagning. Projektet lånade därför in ett forskarteam från Sorbonne Université i Paris som utvecklat en prototyp för alternativ tillämpning av resistivitetsmätning. I stället för att sticka ned stålelektroder i marken, för att skapa galvanisk koppling, har man fäst platta elektroder under en lång matta som släpas över ytan som skall mätas. Plattelektrodena bygger på kapacitiv koppling till marken, vilket fungerar även på hårdgjorda ytor, och därmed kan även ledningar i gatumiljö snabbt skannas av. Mattan har dock nackdelen av lägre upplösning och vissa skillnader mellan mätresultat från mattan och metallstavarna finns. Det är dock projektets bedömning att en snabbare och mindre arbetskrävande metod än den galvaniska är nödvändig om metoden ska väcka brett intresse bland nätägarna. Den kapacitiva metoden behöver vidareutvecklas och anpassas för att lämpa sig för rutinmässig användning, men har god utvecklingspotential för tillämpningen.

Projektet har inte haft möjlighet att jämföra korrelationen mellan markens resistivitet och förekomst av skador på ledningarna. Detta beror dels på att relativt få ledningar kunde mätas med metoderna, dels på att de ledningar där mätningar utfördes visade sig vara i gott skick med begränsat antal skador att jämföra med. Däremot framträdde ett annat oväntat resultat som sannolikt innehåller metodens verkligt intressanta potential. I 3D-bilden framträdde förutom markens varierande resistivitet även ett mönster som kan kopplas till ledningens olika segment. Vår teori är att strömmen från mätinstrumenten fortplantas genom varje segment, och att skadade rördelar lättare fångar upp strömmen.

Den ledning med dokumenterade skador som grävdes ned under hösten 2018 utsattes också för förnyade mätningar med resistivitetsmetoden och dessa mätningar bekräftar mönstret. Det skulle betyda att metoden inte bara som förväntat kan säga något om den miljö där ledningen ligger utan även något om ledningen självt. Vi anser att detta bör utredas närmare i framtida projekt

Pipe Inspector (MTA Messtechnik)

Pipe Inspector är en friflytande sond som utan att avbryta drift kan stoppas ned i vatten- eller fjärrvärmeledningen och följa med strömmen medan den registrerar och spelar in vad den hör, ser och känner på vägen. Metoden fanns redan på marknaden vid projektstart men syftet var att introducera den till svenska nätägare samt erhålla referensdata som komplement till andra mätningar. Ventiler, brandposter och liknande befintliga ingångar på ledningen är tänkta att användas när sonden matas in och hämtas ut. Det var emellertid ingen av de påtänkta ledningarna som hade tillräckligt stora sådana öppningar för att få in sonden utan driftsavbrott

eller grävarbeten. Av denna anledning har sonden inte kunnat testas som planerat. Hos en nätägare (NSVA) uppstod dock en möjlighet att använda sonden på en tryckavloppsledning med misstänkt skada. Ledningen fylldes med havsvatten och försöket med sonden var framgångsrikt såtillvida att det kunde konstateras att det inte fanns någon skada på röret, bortsett från att det var delvis igensatt på sina ställen. Att filma avloppsledningar är en känd och mycket spridd teknik för statusbedömning av avloppsledningar. För att Pipe Inspector skall komma till sin rätt fordras speciella slussar som kan släppa in sonden i dricksvattenledningar, respektive hämta ut den.

Dataanalys och statusbedömningstjänst (4IT, Stockholm vatten och avfall, SVOA)

Under projektets gång har inriktningen på arbetspaketet med dataanalys och statusbedömningstjänst ändrats. Planen var att med hjälp av data om själva ledningen från nätägaren, data om påverkansfaktorer (trafik, klimat, jordart etc.) från andra aktörer och inte minst data från ovanstående mätmetoder tillsammans med konstaterat faktiskt skick på de uppgrävda rören ta fram beräkningsmodeller och algoritmer som sammantaget skulle kunna ge nätägaren en bild av skicket på sina ledningar. Mycket beroende på att de uppgrävda ledningarna blev färre till antalet än förutsett, samt att dessa även var i bättre skick än väntat, saknades tillräckligt underlag för beräkningar. Den ursprungliga idén, som drevs av 4IT (och initialt av Sigma IT Consulting), har därför övergivits så som den formulerats. I stället har en annan väg prövats av en av nätägarna och visat sig mer lovande än vad som förväntats av den ursprungliga idén.

Denna andra väg innebär att med artificiell intelligens (AI) statusbedöma vattenledningar och därmed även förutspå vattenläckor. SVOA har skapat en AI-modell där de har matat in 21 olika parametrar, dels den fakta om ledningen som de själva har, inklusive driftstörningar, dels externa data såsom trafiklast, befolkningsförändring, geologi, meteorologi och bebyggelse. Genom att mata in denna data för hela Stockholm kommuns ledningsnät för vatten och låta modellen (genom s.k. djup maskinlärning) lära sig hur olika parametrar förhåller sig till om ledningen haft en läcka eller inte, erhöles mycket lovande resultat. Under det halvår som följde efter att modellen lämnat sitt resultat inträffade nästan samtliga nya läckor på ledningar som modellen pekade ut som högriskledningar. Detta resultat är tillräckligt för att modellen ska ses som högtintressant och ett viktigt potentiellt verktyg att bedöma status på nedgrävda ledningar.

Under hösten 2018 har ett arbete inletts mellan SVOA och flera andra nätägare i projektet (bl.a. NSVA, VA SYD och Ängelholm) där dessa ska mata in motsvarande data i modellen. Förutom att de därmed får veta vilka ledningar som modellen pekar ut som högriskledningar bidrar de även till att göra modellen vassare. Denna typ av AI-modell stärks ju mer data den hanterat eftersom den kontinuerligt lär sig hur den ska tolka den. VA SYD:s data kommer att vara av särskilt intresse eftersom de parallellt köpt tjänsten Prevoir från Suez. Prevoir gör med samma uppsättning data en bedömning av vilka ledningar som bör bytas först samt pekar på hur mycket underhåll som krävs i just ditt nät för att upprätthålla en viss nivå på nätets skick.

VA SYD kommer att låta AI-modellen arbeta med exakt samma data som Prevoir matats med och en jämförelse blir därför högintressant. Den stora skillnaden är att Prevoir inte använder AI och endast är avsedd att tillämpas en gång. AI-modellen kan köras vid behov och nya datalager kan matas in vartefter, exempelvis från de fem ovanstående metoderna.

Detta planerade samarbete mellan SVOA och andra nätägare kommer att fortsätta efter att Pipe Status steg 2 avslutats, både bilateralt mellan nätägarna samt inom ramen för forskningsprogrammet Mistra InfraMaint som leds av RISE och där flertalet nätägare från Pipe Status deltar. AI-modellen är inte heller begränsad till vattenledningar och såväl Öresundskraft som Krafringen har uttryckt intresse för att testa den med sina ledningsdata för fjärrvärmenätet.

Visionen, som en nätägare uttryckte det, är att låta AI:n lägga budget för kommande års underhållsarbete genom att väga samman bedömd status med bedömda konsekvenser för ett ev. ledningsbrott (Servar ledningen kritiska samhällsfunktioner eller väldigt många hushåll? Ligger den i anslutning till annan kritisk infrastruktur eller bara riktigt dåligt till så att en läcka skulle bli väldigt dyr att komma åt? O.s.v.)

3. Identifierat möjligheter och hinder kopplat till nyttiggörande

De individuella möjligheterna och hindren för varje metod beskrivs ovan i avsnitt 2. Detta stycke behandlar frågeställningar som rör sig på en mer övergripande nivå.

Samtidigt som projektet har pågått har den generella utvecklingen inom sensorer och AI tagit stora kliv framåt. Det gör att varje VA- och fjärrvärmebolag funderar på hur de kan dra nytta av de nya möjligheterna. Samtidigt arbetar de flesta idag på samma sätt som de gjorde igår, och det är även så de kommer att arbeta i morgon. Det finns med andra ord en diskrepans mellan hur man skulle kunna arbeta och hur man faktiskt arbetar. Detta är på många sätt kärnfrågan, att förändra förhållningssättet kring underhåll från reaktivt till proaktivt. De flesta Nätägare ägnar fortfarande mångdubbelt mer resurser åt att leta efter de platser där det började läcka igår istället för att leta efter de platser där det börjar läcka i morgon. Detta är en generell utmaning för samtliga nya lösningar inom statusbedömning som försöker ta sig till marknaden. Vi upplever dock något av ett paradigmskifte, åtminstone bland de nätägare som deltar i Pipe Status, där det numera finns ett stort intresse för ett mer proaktivt arbete och nyttjande av nya lösningar som kan hitta svaga ledningar innan de havererar. Vi tror att detta delvis är ett resultat av projektet i sig, att frågan skiftat från att diskutera om det är lönt att försöka bestämma status på ledningarna till hur man gör det bäst och effektivast.

Metoder som utvecklas av enskilda företag, såsom Delta-t eller Adapis markradar, har en kortare väg till marknaden från den punkt de fungerar som prototyp än metoder som utvecklats av forskningsinstitut, såsom elektrokemisk metod (Swerea/RISE) och

resistivitetmetoden (Lunds universitet). Vi har i projektet initierat diskussioner mellan dessa parter om ev. samarbete kring kommersialisering.

Ett påtagligt hinder, åtminstone för små nätägare/kommuner, är det är kostsamt att nyttja befintliga tjänster. Suez tjänst Prevoir, som nämns ovan i stycke 2, tillhandahålls av Suez som säljer själva *beräkningen* till nätägaren. När nätägaren har uppdaterad data måste en ny beräkning köpas. Detta är en stor fördel med SVOA:s AI-modell där nätägaren kan ha kontroll över *verktyget* och få små marginalkostnader för varje ny beräkning som görs.

En möjlighet som kommit fram som idé under projektet är att utnyttja innovationsupphandling som verktyg att vässa de nya lösningarna och stimulera andra att komma fram. Nätägaren kan då ställa krav på vad den upphandlade lösningen ska åstadkomma utan styra på vilket sätt. I en sådan innovationsupphandling skulle både metoder som utvecklats under projektet och andra metoder delta. Planerna var att inkludera innovationsupphandling i steg 3 och även om det i skrivande stund beslutats att inte ansöka om steg 3 så utesluter det inte att innovationsupphandlingar ändå äger rum. Exempelvis deltar flertalet nätägare från Pipe Status även i det nystartade Mistra InfraMaint, där innovationsupphandling kopplat till underhåll av infrastruktur ingår.

4. Gedigen kännedom om användare, kravställare, kunder, marknader

De grundläggande behov som projektet riktar in sig på är generellt uttryckt att

- Det saknas tillräcklig kunskap om skicket på nedgrävda ledningar för vatten och fjärrvärme, inte minst vad det gäller återstående förväntad livslängd
- Bristen på sådan kunskap gör att arbetet hos nätägaren gärna blir reaktivt (reparera läckor) och att förebyggande arbete baseras på erfarenhetsmässiga bedömningar och ibland ”magkänsla”

Ovanstående punkter gäller inte bara för Sverige utan även globalt. Svenska VA-nät uppvisar förluster på 10-20 procent. I andra länder med sämre ekonomiska resurser förekommer förluster på uppskattningsvis 50% i vissa nät. Samtidigt skryter Tokyo Water med att deras förluster är 2%. Denna remarkabla siffra är dock inte främst ett resultat av precisionsinriktat statusbedömningsarbete utan uppnås genom ett intensivt reaktivt arbete där mycket stora resurser läggs på att jaga läckor och åtgärda dem omedelbart (dessutom har man ett förhållandevis ungt nät). Det är med andra ord möjligt att uppnå en mycket låg läckfrekvens med reaktivt arbete, men till mycket höga kostnader. För de flesta nätägare i världen gäller att dessa kostnader inte accepteras eller kan bäras av kunderna, som i slutändan får betala dem via vatten- eller värmefakturan. Det krävs därför statusbedömningsmetoder som i högre utsträckning kan rikta resurserna mot de ledningar som har kort återstående livslängd. Med ett

sådant förhållningssätt kan kostnaderna hållas nere, också på grund av att upphandlingar av entreprenader blir billigare då de inte måste utföras akut för att reparera en läcka.

Som nämns ovan i avsnitt 3 upplever vi att projektet engagerat och inspirerat många andra behovsägare till att arbeta mera kontrollerat med underhåll och statusbedömning. Flera har tagit initiativ till olika nya projekt och insatser som på olika sätt handlar om att få bättre koll på ledningsnätet. Även om dessa insatser ligger utanför den snävare avgränsningen som funnits i Pipe Status-projektet så syftar de mot samma mål. T.ex. har NSVA undersökt möjligheten att med hjälp av sensorer monterade på ledningsnätet skicka kontinuerliga data med hjälp av Helsingborgs Lo Ra-nät (low range wifi) som är tillgängligt i staden. Över huvud taget sprids nu digitaliseringens gospel brett i samhället och vi konstaterar att Pipe Status påverkat tänket hos vissa nätägare så att de är bättre rustade att ta till sig och nyttiggöra de nya möjligheter som digitalisering medför. Resultaten från Pipe Status har kunnat spelas direkt in i Mistra InfraMaint och att NSVA och VA SYD nu deltar där beror till stor del på att organisationerna redan utsatt sig för att tänka proaktivt, exempelvis genom Pipe Status-projektet.

Utvecklingen av statusbedömningsmetoder för ledningar pågår globalt. Ännu finns ingen mirakelmetod utan det handlar fortfarande om att välja mellan ingreppsfria metoder som ger begränsad information, eller metoder som säger desto mer om ledningens skick men som också kräver stora ingrepp, driftsavbrott och inte minst stora kostnader. Projektet har därför varit i tät dialog med Isle Utilities, en ursprungligen brittisk grupp som specialiserat sig på att scouta och lyfta nya innovationer gentemot VA-nätägare. De verkar nu globalt och har bl.a. inventerat världsmarknaden på läcksöknings- och statusbedömningsmetoder som de listar i en databas (CAT Wizard) som Pipe Status bidragit till. När metoderna från Pipe Status introduceras på marknaden kommer detta att vara en viktig kanal för att lyfta dem även internationellt.

5. Utvecklad nyttiggörande- och kommunikationsplan

Det finns flera resultat från projektet som vi gärna vill ta vidare på olika sätt. Det handlar dels om att få tillämpning på de metoder som bedöms ligga nära marknadsintroduktion (Delta-t och elektrokemisk metod), dels om att ta de metoder som ligger längre från marknaden idag men som uppvisar lovande möjligheter (resistivetsmätningar och markradar) vidare i utvecklingen. Inte minst önskar vi att AI-modellen fortsätter utvecklas och tillämpas.

Trots detta beslutade projektet under slutet av 2018 att inte gå in med en ansökan till steg 3. Beslutet grundar sig på att detta ramverk lämpar sig dåligt för de aktiviteter som vi vill utföra samt att vi bedömer att det finns andra alternativ tillhanda. De flesta nätägare i Pipe Status deltar i det Mistra-finansierade projektet InfraMaint som syftar till smartare underhåll av infrastruktur med fokus på bl.a. VA-nät. Projektet startade under hösten 2018 och är ett mer

passande ramverk för delar av det vi vill uppnå, inte minst utvecklingen av SVOA:s AI-modell.

Inom projektet har kommunikationen mycket handlat om att ha dialog med ledningsnätsspecialisterna hos de olika nätägarna kring enskilda metoder och mätningar på deras objekt. Mot slutet av projektet har denna roll successivt övergått till en faciliterande roll för projekt, där frågorna drivs framåt av nätägarna. På så sätt arrangerades exempelvis ett antal möten där syftet var att väcka intresse för SVOA:s AI-modell hos de andra nätägarna, både för att modellen skulle kunna nyttiggöras hos dem, men också för att förbättra modellen med hjälp av data från andra nät. Detta bilaterala samarbete pågår just nu och fortsätter framöver, exempelvis mellan SVOA, VA SYD och NSVA, i nära anslutning till InfraMaint. Under våren 2019 kommer exempelvis en trainee hos NSVA att samla alla tillgängliga data om deras ledningsnät så att den går att mata in i AI-modellen.

En särskild rapport om projektets resultat med fokus på de nya metodernas förmågor har skrivits med nätägare inom och utanför projektet som tänkt målgrupp (bilaga 1).

Bortom projektet har ett antal presentationer gjorts, dels på flera forsknings- och innovationskonferenser arrangerade av Svenskt Vatten och Sweden Water Research, dels i samband med inkommande besök, exempelvis av kinesiska delegationer som besökt LTH. Flera nätägare har också på eget initiativ nått uppmärksamhet i lokalmedia, exempelvis Öresundskraft och NSVA, i samband med omfattande mätningar på deras ledningar.

Vad det gäller möjligheten att introducera Delta-t på den internationella marknaden kommer en förstudie att genomföras under 2019 inom ramen för Vinnovas Go Global-program.

6. Utveckling och förändringar av konstellation

Den största förändringen i konstellationen inträffade efter ett drygt halvår då Sigma IT Consulting, ledaren av arbetspaket 3 Data och statusbedömningstjänst, valde att lämna projektet med hänvisning till att de förlorat nyckelkompetens på området. Det innebar att den kvarvarande partnern med datakompetens, 4IT, tog över rollen som ansvarig för att väga samman data och leda arbetspaketet. Detta arbete var dock mer komplext än väntat bland annat eftersom den data som förekom i projektet var av annorlunda art än den som förväntats, vilket har att göra med antalet ledningar som det var möjligt att hämta data från (se vidare avsnitt 8).

Parallellt med dessa motgångar skedde en rakt igenom motsatt utveckling på Stockholm vatten och avfall (SVOA). Där utvecklades under hösten och vintern 2018 den AI-modell som också beskrivs i avsnitt 2. De ambitioner som projektet hade med den statusbedömningstjänst som Sigma och 4IT skulle utveckla har i stora stycken uppfyllts av SVOA:s AI-modell. Det innebar också att SVOA:s roll i projektet förändrades. Från att inledningsvis varit tänkt att

primärt handla om att tillhandahålla ledningar att mäta på samt att ge tillgång sin unika läcksökningsbana i Norsborg övergick deras roll till att bli drivande i att ta fram projektets mest lovande resultat, AI-modellen.

I och med att datamängderna från uppgrävda ledningar var mindre än väntat (se avsnitt 8) föll också den tilltänkta rollen för institutionen för matematisk statistik och superdatoren Lunarc vid Lunds universitet bort. Matematisk statistik har dock varit delaktig under hela projektet som rådgivare och bollplank och därigenom väglett projektet genom de nya situationer som uppstått.

Å andra sidan blev engagemanget från avdelningen för teknisk geologi betydligt större än väntat, detta då deras resistivitetsmetod (avsnitt 2) visade på större potential än inledningsvis förväntat. Även RISE fick en större roll än planerat, detta då de tog hand om en stor del av de sammanhållande uppgifterna samt datavärdering från AP 3.

En organisatorisk förändring var också att rektor på LU beslöt att lägga ned Lunds universitets avdelning för öppen innovation (LU Open) varför även projektledningen fick flytta över till koordinatören Sweden Water Research halvvägs genom projektet.

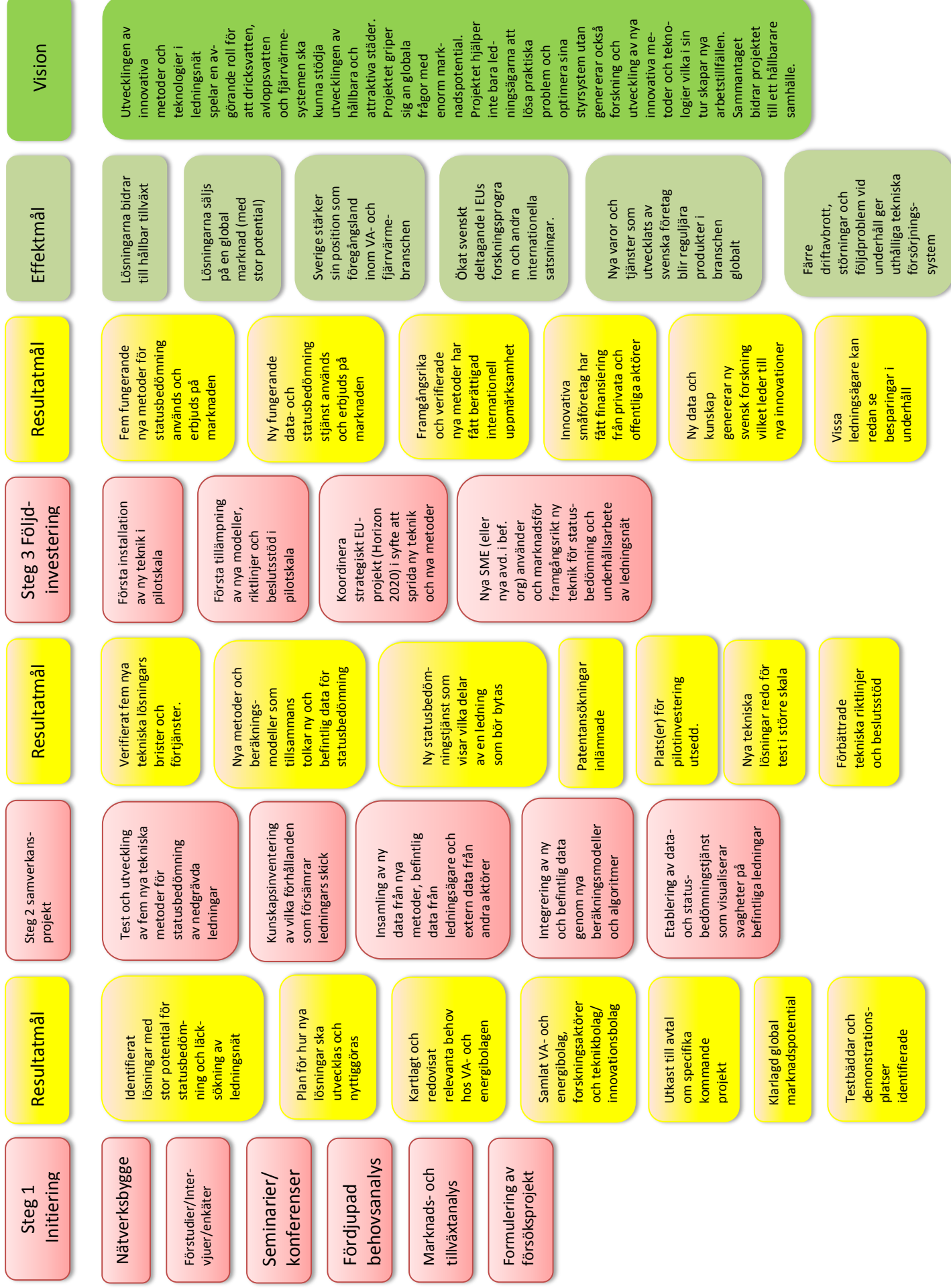
7. Projektets effektlogik

Någon har beskrivit UDI-projekt, inte som en process att uppnå vissa satta mål, utan som en målsökande process där målen utvecklas efter hand. Detta gäller även för Pipe Status. Om målet vid projektstart var att ta fram nya metoder som kan berätta för oss i vilket skick röret är så har det också utvecklats till att med de nya metoderna som verktyg ställa om nätägarnas många gånger reaktiva approach till en mer proaktiv approach (givetvis finns stora variationer mellan olika nätägare).

Mål:

- **Verifierat fem nya tekniska lösningars brister och förtjänster:** Delvis uppnått. Vi har testat fem lösningar och verifierat deras resultat men två metoder (markradar och resistivitetsmätningar) konstateras inte vara redo idag att sättas på marknaden. Däremot har vi hittat oväntade förmågor hos en metod (resistivitetsmätningar) som stärker dess framtida potential. En annan metod har visat sig fungera på ett avgränsat område (markradar, som hittar blöta muffar på fjärrvärmeledningar).
- **Nya metoder och beräkningsmodeller som tillsammans tolkar ny och befintlig data för statusbedömning:** Uppnått genom SVOA:s AI-modell, där alla relevanta data kan matas in
- **Ny statusbedömningstjänst som visar vilka delar av en ledning som bör bytas:** Detta mål har successivt bedömts som delvis felformulerat men steg har ändå tagits på vägen att nå dit. Se nedan.

Effektlogik – Statusbedömning och förvaltning av ledningsnät, ansökan UDI steg 2



- **Patentansökningar inlämnade:** Arne Jensen AB har sökt patent för sensorboxarna som de utvecklat tillsammans med Öresundskraft och som utgör en viktig del i förstudien Go Global som Vinnova nyss beviljat.
- **Plats(er) för pilotinvestering utsedd:** Målet formulerades i betydelsen att ha ett tydligt partnerskap och upplägg för steg 3, vilket i dagsläget inte är aktuellt att söka. Däremot kommer flera nätägare i projektet att göra pilotförsök med SVOA:s AI-modell. Flera nätägare har visat intresse för tillämpning av Delta-t på vattenledningar och elektrokemisk metod på fjärrvärmerör så snart de erbjuds på marknaden.
- **Nya tekniska lösningar redo för test i större skala:** Målet uppnått – SVOA:s AI-modell, Delta-t och elektrokemisk metod är redo för tester i större skala.
- **Förbättrade tekniska riktlinjer och beslutsstöd:** Delvis uppnått. Förbättrade riktlinjer ligger sannolikt längre fram i tiden, de kräver att den påbörjade förändrade kulturen hos nätägarna i riktning bort från reaktivt arbete mot mera proaktivt arbete fortsätter. Beträffande beslutsstöd, se nedan.

Målbilden vid projektstart var att på egen hand ta fram ett beslutsstödsystem som kunde tas vidare till marknaden. Det skulle utvecklas bl.a. med hjälp av statistiska analyser av mätresultat och faktiskt skick på uppgrävda rör. Då antalet rör i slutändan blev väsentligt lägre än väntat och de rör som ändå grävdes upp var i för gott skick för att ge tillräckligt underlag till sådana analyser (se avsnitt 8) sakades denna möjlighet. Ett viktigare skäl till att överge målet var att det visade sig vara både osmart och delvis irrelevant. Den snabba utvecklingen inom digitalisering och sensorer gjorde att flera nya mjukvaror och beslutsstödsystem med inriktning på VA började bli mer etablerade på marknaden. Exempel är portugisiska Baseform, spanska Buntplanet och singaporienska Visenti. Samtidigt började befintliga GIS-leverantörer till branschen också röra sig i riktning mot att baka in sådana tjänster i de system de redan säljer på bred front sedan länge (t.ex. Digpro, VA-banken, Cactus m.fl). Halvvägs in i projektet stod det därför klart att vi i ett ev. steg 3 skulle behöva involvera någon eller några av dessa aktörer i stället. Många nätägare var dessutom inte intresserade av att hantera ännu en tjänst som separat verktyg utan ville kunna docka in den som en modul i det system de redan upphandlat.

SVOA:s AI-modell är samtidigt på god väg att utvecklas till en sådan tjänst vi föreställde oss. Även om den just nu inte bygger på data från någon av de nya mätmetoderna i projektet, är den kapabel att hantera vilken data som helst som man kan anta påverkar rören. Om denna eller liknande modeller i framtiden kommer att utgöra komponenter i de system som säljs till nätägarna eller inte är ännu ovisst, men många bedömare menar att sådana system kommer att inkludera AI i framtiden.

Om man tittar på de resultatmål som förutspåddes gälla för steg 3 så är samtliga mer eller mindre är inom räckhåll. I mål 1 (räknat uppifrån) skulle antalet metoder sannolikt bli färre än fem men minst två, sannolikt tre. Mål 2 bör kunna uppnås med vidareutvecklad AI-modell i

samverkan med systemleverantörer till branschen. Mål 3 är på gång att uppnås för åtminstone en metod via Go Global-insatsen men sannolikt för fler metoder genom vårt samarbete med Isle Utilities och andra organisationer för internationellt utbyte mellan nätägare såsom Eureau för VA-branschen. Mål 4 och 6 ligger nära inom räckhåll för våra fungerande metoder medan mål 5 är av mer kvalitativ art och sannolikt får verklig effekt på sikt.

Grund för bedömningen om projektet är på rätt väg, eller vad som ens utgör rätt väg, har varit en tät dialog med nätägarna, d.v.s. behovsägarna samt kontinuerlig omvärldsbevakning inom området. Vi har inte använt några kvantitativa indikatorer.

8. Lärdomar och misslyckandeåtervinning

Projektets verkligt stora styrka har varit partners intresse och engagemang som illustreras av detta exempel: Under hösten 2017, när projektet åkt på flera bakslag på kort tid och behövde tänka om kallade projektledningen till ett möte med partnerskapet för att i samråd definiera fortsättningen på projektet. Förhoppningen var att åtminstone hälften av partnerskapet skulle dyka upp men resultatet var att samtliga kom! Betydelsen av detta möte och uppslutningen därtill kan inte överskattas för projektets vidareutveckling därefter.

Ett av bakslagen som inträffat var insikten om att det inte skulle vara möjligt att mäta på så många rör som planerats. Knäckfrågan var om vi efter mätning också skulle kunna komma åt rören efter att de tagits ur drift för att kunna skicka provbitar till RISE, det var ett väldigt begränsat antal av de ledningar som förnyas som gick att komma åt. Orsakerna var bl.a. att gamla rör ofta lämnas kvar i marken och att de nya rören anlades på annan plats, t.ex. på andra sidan gatan. Det är då inte rimligt (både ur kostnads- och störningssynpunkt) att schakta upp denna ledning. Ofta tillämpas också rörspräckning vid ledningsförnyelse, d.v.s. att det nya röret schaktfritt pressas in genom det gamla som då spräcks. Ytterligare andra gånger anläggs den nya ledningen ovanför den gamla, som först kan tas ur drift när den nya är klar och då kommer man inte längre åt den gamla. Detta ledde till att ett för litet antal ledningar kunde utgöra underlag för beräkningsmodeller och statistisk analys, detta arbete fick därmed överges. Samtidigt var de ledningar som vi kom åt ofta i så pass bra skick att de skador som faktiskt kunde jämföras blev färre. Detta är i sig en dråplig situation – de metoder vi skulle utveckla genom att testa dem på skadade rör blev svårare att testa då de rör som antagits vara skadade och därför beslutats grävas upp då faktiskt visade sig att inte alls vara så skadade som antagits. Nya mätmetoder är verkligen behövda! I slutändan fick vi dock upp tillräckligt med rör för att RISE skulle kunna göra en rimlig analys (se bilaga 2)

Eftersom projektet var beroende av ledningar som nätägarna av olika skäl skulle gräva fram var vi hänvisade till den tidsplan som gällde för sedan tidigare upphandlade entreprenader och kommunala planer för underhåll av vägar m.m. Detta, tillsammans med att RISE inte kunde göra analyser successivt när rören kom in till dem utan tvingades vänta tills en rimlig mängd anlant för att inte driva kostnaderna i taket, gjorde att mätningarna i allt väsentligt inträffade

under den första halvan av projektet medan analyserna inträffade under den sista fjärdedelen av projektet. Inte minst för Adapis markradar var detta olyckligt, eftersom metoden var beroende av kontinuerlig feedback från tidigare mätningar för att kunna justera metoden till nästa mätning osv. Metodägaren skulle använda projektet som en läroprocess. Genom projektets förlängning och nedgrävning av kontrollerat rör kunde detta delvis kompenseras och intressanta resultat framträdde likväl (se avsnitt 2).

Ett annat bakslag var Sigma IT Consultings avhopp tidigt i projektet. Det kan i efterhand konstateras att det kanske inte var helt rimligt att lägga deras relativt tunga roll i projektet i knät på den kvarvarande IT-partnern, 4IT. Utan tidigare erfarenhet från VA eller fjärrvärmebranschen eller komplexa projekt som detta, nådde de inte ända fram när projektet även hade att hantera begränsad mängd ledningar att hämta data från. Man kan i efterhand fråga sig om det inte varit rimligare att redan från början involvera någon befintlig IT-aktör inom VA och fjärrvärme men bedömningen inför projektet var att dessa båda aktörer hade värdefull och behövlig erfarenhet med sig från andra branscher (trafikplanering och olycksstatistik avseende 4IT och sensorer/big data avseende Sigma).

En viktig lärdom från projektet är att det ibland finns mycket begränsad kännedom om vad det är för vattenledningar som ligger i marken, precis var det har läckt tidigare eller hur det har reparerats. Orsakerna är flera, men en viktig sådan är att en stor del av nätet anlades från 1800-talets slut och fram emot 1940-talet. Sverige hade då 2498 kommuner och i den mån det alls dokumenterades vid nyanläggning skiljer det sig också i vilken mån dokumentationen ärvt vidare till dagens VA-huvudmän. Vid några tillfällen har även ”säker” kunskap om ledningen visat sig vara fel när den väl tagits upp. Typiskt sett har material eller dimension avvikit från det som varit registrerat hos ledningsägaren. För vissa mätmetoder är det avgörande att ha rätt ingångsvärden vid mätning på ledningen för att undvika att inducera fel i beräkningarna. För fjärrvärme är kunskapen om nätet betydligt bättre. Lärdomen består i att det nu bland VA-nätägarna diskuteras flitigt hur man bättre kan skapa en kultur och rutiner som gör att det framöver alltid dokumenteras vid underhållsarbeten och nyanläggning exakt vad det är som ligger i marken i form av ledning, reparation och andra observationer. Tidigare har man kanske registrerat att man lagat en läcka, men inte hur eller med vilket material.

9. Bilagor

1. *Utvärdering av icke-förstörande mätmetoder för lokalisering av skador på rörledningar i mark – rapportering av projektet Pipe Status*. Presentation av projektresultatet med nätägarna som målgrupp.
2. *Pipe Status – Utlåtande angående de utvärderade mätmetoderna*. Rapport från jämförelsen mellan mätmetodernas utlåtanden och RISE undersökningar om faktiskt skick på undersökta rör.
3. Bilder och utvalda pressklipp från projektet.