



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Lekkasjedeteksjon med inline- metoder

Inline methods of leak detection

Helene Olsbye
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne oppgaven er skrevet ved Norges Miljø- og biovitenskapelige universitet, i samarbeid med Oslo kommune Vann- og avløpsetaten. Ideen til oppgaven er utarbeidet gjennom samtaler med mine veiledere Oddvar G. Lindholm og Lars A. Wermskog, og tar utgangspunkt i testing av lekkasjesøksteknologi gjennomført av Oslo kommune Vann- og Avløpsetaten i november 2018.

Jeg er svært takknemlig for å ha fått være med på disse testene, og jeg vil gjerne uttrykke at denne oppgaven ikke hadde vært mulig å gjennomføre uten all hjelp og støtte jeg har fått fra VAV sin side, og at de valgte å inkludere meg i sitt prosjekt.

Jeg vil gjerne takke mine veiledere, professor Oddvar G. Lindholm og Lars A. Wermskog, for all hjelp og oppfølging jeg har fått gjennom hele perioden. Jeg vil også takke Chetan Hathi, John Westby og Kjetil Tangen for å alltid ha vært tilgjengelige for å besvare spørsmål. Til sist vil jeg takke resten av de ansatte i seksjon Vanddistribusjon i VAV for mange hyggelige lunsj-samtaler.

Helene Olsbye, mai 2019.

Sammendrag

Denne oppgaven har som hensikt å beskrive ulike former for inline lekkasjeteknologi, med spesielt fokus på inline-produktene SmartBall og Sahara. Inline lekkasjeteknologi er metoder hvor lekkasjesøksinstrumentet føres inn i ledningen under inspeksjonen. Bakgrunn for oppgaven er Oslo kommune Vann- og avløpsetatens (VAVs) testing av SmartBall og Sahara på Sørkedalsledningen i Oslo. Testene ble gjennomført i november 2018, i samarbeid med selskapet Xylem Inc., som eier produktene SmartBall og Sahara. Disse testene ble gjennomført uten større problemer, og anses som vellykkede. SmartBall undersøkte 6 474 meter med ledning, og fant 16 mistenkte lekkasjer, hvorav 2 har blitt verifisert av VAV. Sahara ble sendt 200 meter inn i ledningen før man trakk den tilbake. Sahara fant 1 lekkasje. Testingen av metodene, samt resultatene fra testene, er beskrevet i denne oppgaven, og brukes som bakgrunn for en vurdering av fordeler og ulemper ved metodene. Metodene sammenlignes videre med andre inline-metoder, og med mer tradisjonelle former for lekkasjesøk, som lydloggere, geofoner osv. Inline-metodene som beskrives i oppgaven er Sahara, SmartBall, PipeGuard/Daisy, Pipe-Inspector og PipeMic. Oppgaven beskriver også et konkret ledningsstrek i Oslo, og undersøker om en inspeksjon med SmartBall vil være mulig å gjennomføre på dette ledningsstrekket. Eksempelet belyser utfordringene knyttet til en inspeksjon med SmartBall, spesielt knyttet til faren for å miste instrumentet inne i ledningen. I ledningen som er beskrevet i denne oppgaven, ble risikoen for å miste instrumentet ansett som for stor. Eksempelet belyser også andre problemer som kan dukke opp ved bruk av inline-metoder, som få egnede innføringspunkter, eller spjeldventiler som er vanskelig å passere. Oppgaven konkluderer med at inline-metoder åpner for muligheten til å gjennomføre inspeksjoner på strekk som tidligere har vært vanskelige å inspisere. Metoden krever mer planlegging enn tradisjonelle metoder, og kan være mer tidkrevende enn andre metoder. Problemstillinger knyttet til forsyningsikkerhet under inspeksjonen må vurderes av VAV, og kan være en utfordring ved metoden. Til gjengjeld kan metoden inspisere lengre ledningsstrek under en enkelt inspeksjon, og kan oppdage små lekkasjer som er vanskelig å detektere med tradisjonelle metoder. Metoden er mindre sårbar for store ledningsdiametere og lydsvake ledningsmaterialer, og kan dermed oppdage lekkasjer på ledninger hvor lydloggere o.l ikke har klart å finne lekkasjer. Inline-metoder kan dermed være et viktig hjelpemiddel for VAV, men hvor utbredt metoden blir avhenger av ledningsnettets egnethet, samt hvordan man bygger ut ledningsnettet videre. Vedlagt ligger også 3 rapporter som gir en kort innføring i forskjellige lekkasjesøksmetoder, med fordeler og ulemper ved de forskjellige metodene.

Abstract

The purpose of this assignment is to describe different types of inline leak detection technology, mainly focusing on SmartBall and Sahara. Inline leak detection technology are methods of leak detection where the leak detection tool is inserted into the water pipe. The basis of this paper is the demonstrations of SmartBall and Sahara that were conducted by the Water and Sewage department of Oslo (VAV). The demonstration was conducted in November 2018, in collaboration with the company Xylem Inc., who own the SmartBall and Sahara technologies. The demonstration was conducted without major hang ups and were considered a success. SmartBall inspected 6 474 meters of the pipeline and located 16 possible leakages. 2 of these have been verified by VAV. Sahara travelled 200 meters inside the pipe and located 1 leakage that was confirmed on site.

The demonstration of SmartBall and Sahara, along with the results of the demonstration, are described in this paper. This is used as a basis for a discussion of the pros and cons of the technology, and a comparison of inline and traditional leak detection technologies. SmartBall and Sahara are also compared to other inline technology, namely PipeGuard/Daisy, Pipe-Inspector and PipeMic.

The paper considers a pipeline in Oslo for a possible SmartBall inspection. The task highlights challenges related to a SmartBall inspection, especially considering the possibility of the instrument being lost in the pipe. In the example in this paper, the possibility of this happening was considered too high for an inspection to take place. The example highlights other challenges with the technology as well, such as a lack of insertion points, or too many butterfly valves (of which SmartBall cannot pass). The conclusion of the paper is that inline leak detection technologies creates new possibilities for the inspection of pipelines that have been considered too difficult to inspect with traditional methods of leak detection. The method might be more time-demanding than traditional methods and requires more planning. In return, inline leak detection technology has the capacity to inspect long stretches of a pipeline during a single trial and can detect small leaks that are difficult to find with traditional methods of leak detection. Inline leak detection methods work well with large diameter pipelines, and materials that do not carry sound well. Because of this, inline leak detection technologies may become an important tool for the municipality, but the applicability of the method depends on the accessibility of the existing pipelines, and whether the municipality considers this kind of technology when building new pipelines. There are 3 reports attached to the main documents. These reports give a description of different kinds of leak detection technologies, and a brief summary of the pros and cons of the technology.

Innholdsfortegnelse

FORORD	II
SAMMENDRAG	III
ABSTRACT.....	IV
1. INNLEDNING:	1
1.1 BAKGRUNN:	1
1.1.1 Historie.....	1
1.1.2 Hva er situasjonen i dag?.....	1
2. STATUS I DAG:	1
2.1 HVORFOR OPPSTÅR LEKKASJER?	1
2.1.1 Gammelt ledningsnett:.....	2
2.1.2 Frost og andre grunnforhold:.....	3
2.1.3 Høyt trykk:	3
2.2 HVORFOR ØNSKER MAN Å REPARERE LEKKASJER?	3
2.2.1 Hygiene/leveringssikkerhet:	3
2.2.2 Økonomi:	4
2.3 FEMTRINNSPLANEN FOR LEKKASJEREDUKSJON I VAV:.....	5
2.3.1 IWAs vannbalansemodell:	5
2.3.2 Soneregnskap:	6
2.3.3 Trykkstyring:.....	8
2.3.4 Utvikle, implementere og integrere analyse-systemer og utstyr:.....	10
2.3.5 Bedre rapportering og nøkkeltall:	11
2.4 TRADISJONELLE METODER FOR LEKKASJESØK	12
2.4.1 Innledning.....	12
2.4.2 Lyttestav.....	12
2.4.3 Geofon	12
2.4.4 Lydloggere.....	12
2.4.5 Korrelerende lydloggere.....	12
2.4.6 GPRS-lydloggere.....	14
2.4.7 Satellitt.....	14
2.5 INLINE-METODER	15
2.5.1 Sahara.....	15
2.5.2 SmartBall.....	16
2.5.3 MTA Pipe-Inspector	19
2.5.4 PipeMic.....	21
2.5.5 PipeGuard	23
2.5.6 Oppsummering inline-metoder	26
3.CASE.....	27
3.1 INNLEDNING	27
3.2 SMARTBALL.....	28
3.2.1 Resultat (Fra Xylems rapport om SmartBall).....	33
3.3 SAHARA	35
3.3.1 Resultat	38
3.4 KORT OPPSUMMERING AV TESTENE.....	38
3.5 FORSLAG TIL GJENNOMFØRING AV INSPEKSJON/VURDERING AV EGNETHET TIL LEDNING	39
3.5.1 FORUTSETNINGER	39
3.5.1.1 Robusthet og resiliens.....	39
3.5.2 ELEMENTER VED INSPEKSJONEN.....	39
3.5.2.1 Ledningsstrekke.....	39
3.5.2.2 Innføring og uttak av instrumentet.....	40
3.5.2.3 Kritiske punkt på ledningen	43
3.5.2.4 Innvendige ventiler på ledningsstrekke	47
3.5.2.5 Stikkledninger	48

3.5.2.6 <i>Tapping av ledningen</i>	49
3.5.3 DISKUSJON	49
4. AVSLUTTENDE ANALYSE OG KONKLUSJON	51
REFERANSELISTE	55
VEDLEGG 1: RUTINESØK	57
VEDLEGG 2: SATELLITT	60
VEDLEGG 3: ONLINE-MODELLEN	62

1. Innledning:

1.1 Bakgrunn:

1.1.1 Historie

Historisk sett tok det lang tid før vannverkene anså lekkasjer som et problem. Dette kan ha vært blant annet fordi man lenge ikke målte lekkasjer, men heller førte opp anslag, som ofte var svært lave. Halden og Odda sto for eksempel oppført med 2 % lekkasjetap i den kommunaltekniske statistikken for 1967. Samtidig steg vannforbruket voldsomt i etterkrigstiden. Noe av økningen skyldtes en befolkningsvekst, kombinert med at de nye boligene som ble bygget etter krigen hadde innlagt vann, hvilket gjorde at vannforbruket i hjemmet steg. Flere vannverk begynte likevel etter hvert å rette blikket mot lekkasjer som en del av problemet. Dette toppet seg i Oslo på midten av 60-tallet, hvor vannforbruket steg fra 108 millioner kubikkmeter i 1965 til 122 millioner i 1966 (Johansen, 2004). Mengden vann som forsvant på vei til forbrukerne gikk fra 29 millioner kubikkmeter til 43 millioner kubikkmeter i denne perioden. Dette voldsomme hoppet i vannforbruk førte til et økt fokus på vannlekkasjer, og med dette fokuset fulgte flere nye tiltak. Et av disse var å etablere en egen gruppe med natt-lekkasjelyttere (Johansen, 2004). Denne hendelsen var dermed starten på bruken av aktivt lekkasjesøk i Oslo kommune, et arbeid som har fortsatt frem til i dag.

1.1.2 Hva er situasjonen i dag?

Per i dag har Oslo kommune Vann- og avløpsetat (VAV) et estimert vanntap på 35,3 %. Man antar lekkasjene er likt fordelt mellom kommunale ledninger og stikkledninger (Oslo kommune, 2017).

2. Status i dag:

2.1 Hvorfor oppstår lekkasjer?

Alle distribusjonssystemer lekker. Årsaken til lekkasjene, samt hvor store de er, vil variere etter lokale forhold (Farley and Trow, 2003).

I Norge har man et relativt høyt lekkasjenivå. En rapport fra Norsk Vann, basert på besvarelser fra 11 kommuner, viste at disse 11 kommunene (deriblant Oslo og Trondheim) hadde et lekkasjetap på 14 – 40 % (Asle Flatin, 2009).

Det er mange årsaker til de høye lekkasjetallene i Norge, men de vanligste årsakene man peker på er som følger (Asle Flatin, 2009):

- Gammelt ledningsnett
- Høyt trykk
- Frost
- Ugunstige grunnforhold
- Dårlig lagte ledninger
- Lite kunnskap om rørmaterialer

2.1.1 Gammelt ledningsnett:

Mye av ledningsnettet i Oslo ble lagt på 1900-tallet. De første ledningene som ble lagt var uthulede trestokker, som ble skjøtet sammen av smijernringer, såkalte bøssinger (Johansen, 2004)



Figur 1: Trerør. Kilde: (Oslo kommune, 2015b)

Etter 1850 ble det mer vanlig med rør av grått støpejern (Ødegaard, 2014). Disse rørene kunne lages i mye større dimensjoner, og ga mer effektiv brannslukking (Johansen, 2004). De første rørene av grått støpejern ble støpt i sandformer, og hadde derfor varierende rørtykkelse. Senere begynte man å støpe rørene i roterende former, noe som ga en mye jevnere rørtykkelse (Ødegaard, 2014).

I løpet av 1960-tallet begynte man å legge seige støpejernsrør, også kalt duktile støpejernsrør, som kunne lages med mye mindre rørtykkelse enn forgjengerne av grått støpejern. Duktilt støpejern er seigere enn grått støpejern, og er dermed mindre utsatte for brudd. Manglende kunnskap om korrosjon førte derimot til at mange av de første ledningene som ble lagt var svært utsatt for korrosjon, hvilket skapte problemer (Ødegaard, 2014).

Nyere støpejernsrør legges med utvendig og innvendig korrosjonsbeskyttelse, og har derfor en mye lenger levetid enn sine forgjengere (Ødegaard, 2014).

Mange av rørene som ble lagt i etterkrigstiden ble lagt før man fikk tilstrekkelig kunnskap om leggeteknikk. Man hadde lite kunnskap om effekten av ytre belastninger på ledninger, samt riktig leggeteknikk. Av denne grunn er det mye problemer med ledninger lagt i perioden 1950-70 (Ødegaard, 2014). Ett eksempel er at man la rørene på treklosser med noen meters avstand, såkalte skolinger. Røret fikk ekstra punktbelastning ved skolingen, noe som viste seg å gi spenninger i materialet og dermed økt fare for lekkasje.

Kunnskap om rørmaterialer og leggeteknikk har forbedret levetiden på rør som legges, men det finnes fortsatt mange gamle ledninger i drikkevannsnettet, som gir problemer for drift og vedlikehold.

Oslo kommune publiserte i 2015 sin Hovedplan for vannforsyning for 2015-2030. Denne planen var en revisjon av hovedplanen fra 1998, og er et overordnet styringsdokument for

Vann- og avløpsetaten for perioden. Planen presenterer utfordringer etaten vil møte de neste årene, og angir mål for etaten i planperioden (Oslo kommune, 2015b).

I hovedplanen for vannforsyning for Oslo kommune fra 2015 er målsettingen å øke rørfornyelsen fra 1 % til 1,2 % per år (Oslo kommune, 2015b). Selv om dette er mer ambisiøst enn tidligere målsetting, betyr det fortsatt at det vil ta lang tid å bytte ut de eldre ledningene.

2.1.2 Frost og andre grunnforhold:

(Reikvam, 2013) undersøkte sammenhengen mellom frost i bakken og brudd på vannledninger for Oslo kommune i 2013. Når vann fryser i bakken, øker lastene på ledningen, fordi vann utvider seg når det fryser. Tidligere forskning har indikert at frostlaster kan være 2 til 3 ganger så høye som jordlastene uten frost. Heterogene jordmasser kan føre til ujevn belastning på røret, fordi de ulike jordtypene holder på forskjellige mengder vann (Reikvam, 2013).

Norge har varierende jordsmonn, og mange steder er jordsmonnet av slik art at det korroderer de utvendige ledningene (Ødegaard, 2014). For eksempel vil jordsmonn bestående av alunskifer, marin leire, eller områder med saltvann, kreve ekstra korrosjonsbeskyttelse på rør. (Skaar, 2013)

Lokale variasjoner i jordsmonn kan også føre til skader på røret om byggherren ikke tar hensyn til dette under legging av røret. Ulik fasthet i grøft øker faren for lokale setninger. Dette kan føre til punktbelastning og skader på ledningen. (Interconsult AS, 1997)

2.1.3 Høyt trykk:

Norge har et svært kupert landskap. Dette har ført til at man har et relativt høyt trykk i ledningsnett (Asle Flatin, 2009).

Samtidig har VAV en målsetting om å levere tilfredsstillende trykk til abonnentene, en målsetting som videreføres i hovedplanen frem mot 2030 (Oslo kommune, 2015b). Oslo kommune VAV leverer derfor et trykk i sitt nett som er høyt nok til at vannet kan nå forbrukere i blokker og andre høyhus.

Høyt trykk fører til at mer vann unnslipper lekkasjehull, lekkasjehullene vokser fortere, lekkasjer i skjøter øker, og lekkasjer oppstår raskere (Asle Flatin, 2009).

2.2 Hvorfor ønsker man å reparere lekkasjer?

2.2.1 Hygiene/leveringssikkerhet:

Det er mange grunner til å utbedre lekkasjer, men den viktigste kan sies å være hensynet til hygiene. Der vann kommer ut, kan det også lekke inn hvis utvending trykk er høyere enn innvendig trykk.

Faren for innlekk av forurenset vann nevnes i VAV sin hovedplan for vannforsyning. Denne påpeker at økte nedbørsmengder fremover kan bety at ledninger oftere står under vann, som

kan være forurenset. Dette vannet kan trenge inn i ledningen dersom det skulle oppstå situasjoner med trykkløst nett. Det finnes fortsatt felleskummer i VAV sitt ledningsnett, og disse utgjør en åpenbar risiko for vannkvaliteten i situasjoner hvor trykket faller bort (Oslo kommune, 2015b).

Forsøk har vist at mikroorganismer ikke trenger inn i lekkasjehull dersom det går en vannstrøm ut av dette hullet (FHI, 2016). Et høyt trykk vil dermed redusere faren for inntrengning av mikroorganismer i ledninger, men en reduksjon av antall lekkasjer vil gi et sikrere nett, også i trykkløse situasjoner.

Målet om å levere nok vann til en økende befolkning er et annet viktig argument for å redusere lekkasjemengden i Oslo. Hovedplanen for vannforsyning har som målsetting at dagens vannforbruk (ca. 100 mill m³/år, sum av forbruk og lekkasjer) ikke skal øke. Dagens prognoser for befolkningsvekst sier at Oslos befolkning vil vokse til 800 000 personer innen 2030 (Oslo kommune, 2015b). Dersom denne prognosen stemmer, betyr det at lekkasjetapet må reduseres kraftig.

Mattilsynet har pålagt VAV å etablere en ny drikkevannskilde innen 2028 (Mattilsynet, 2017). VAV er i dag helt avhengig av Oset vannrenseanlegg for å sikre nok vann til Oslos befolkning. I en situasjon hvor vannforsyningen fra Oset bortfaller, vil det ikke være mulig å opprettholde en alternativ vannforsyning i mer enn to måneder, før reservemagasinerne (Elvåga, Langlia og Alnsjøen) vil være tomme. Vannforsyning fra disse kildene vil kreve at det utstedes kokevarsel til Oslos innbyggere. Dersom Oslo skulle oppleve tørkeperioder, vil dette også påvirke leveringssikkerheten fra Oset. Det er dermed helt nødvendig med en ny vannforsyning som kan forsyne hele Oslos befolkning med vann. (Oslo kommune, 2015b)

Denne vannforsyningen vil, når den står ferdig, kunne sikre vannforsyningen til Oslo i mange år fremover. Den vil likevel ikke fjerne behovet for lekkasjesøk på ledningsnettet.

2.2.2 Økonomi:

I VAVs hovedplan for vannforsyning 2015-2030 (2015b) står det at VAVs tjenester skal være kostnadseffektive. Farley og Throw (2003) nevner en rekke argumenter for hvorfor kostnader vil øke med høye lekkasjetall. Når en andel av det produserte vannet forsvinner før det når frem til abonnentene, må vannverket øke produksjonen for å produsere tilstrekkelige mengder.

Hvor mye vann som kan forsvinne til lekkasjer før det vil lønne seg å forbedre ledningsnettet, fremfor å øke produksjonen, er noe ulike vannverk har ulik oppfatning om. Noen mindre kommuner, som Nes kommune, har såpass enkel vannproduksjon (UV-behandling og pH-justering med lut) at de anser det som billigere å øke vannproduksjonen enn å reparere lekkasjer (fra mailutveksling med Guro Lilleslåtten, Avdelingsingeniør i Nes kommune, 2017).

Vannbehandlingen ved Oset er langt mer avansert, og man kan dermed anta at kostnadene knyttet til vannproduksjon er høyere der. Det er i tillegg en begrenset tilgang på råvann i Oslo, og tørkeperioden i 1995-1996 viste for alvor hvor sårbar situasjonen i Oslo er (Oslo kommune, 2015b). En økning av vannproduksjonen er dermed ikke en akseptabel tilnærming til lekkasjehåndtering i Oslo.

Et høyt lekkasjetap vil også føre til økte utgifter i nettet generelt, da det betyr at man må ha en høyere dimensjon på ledninger, høydebasseng osv. (Farley and Trow, 2003).

Lekkasjer som er store nok til at vannet kommer til overflaten kan gjøre stor skade på infrastruktur. Aviser melder stadig om rørbrudd i Oslo, som medfører skade på eiendom, eller gir tørrlegging av områder (Trodal, 2018), (Johnsen, 2015), (Fossheim, 2018). Hendelser som gir skade på eiendom, fører til negative oppslag i media, hvilket kan gi et negativt inntrykk av vannverket i befolkningen, i tillegg til at det vil føre til store kostnader for de som blir sittende med regningen.

Lekkasjevann kan også lekke inn på avløpsnett. (Lindholm, 2012) forsøkte å måle andel fremmedvann ved å måle konsentrasjon av tot-P på innløp i 15 avløpsrenseanlegg i Norge. Ved hjelp av denne metoden kunne de konkludere med at fremmedvannmengden inn på avløpsanleggene i snitt var på 68 %. Selv om metoden bygger på antatte verdier for tot-P per person, og det dermed kan knyttes noe usikkerhet til tallet, gir beregningene likevel en indikasjon på hvor stort problemet med innlekk av fremmedvann på norske avløpsledninger er. Innlekk av vann vil gi en mye høyere belastning på rensesanlegg og ledningsnettet enn hva avløp alene hadde gitt. Det vil føre til økte utgifter knyttet til dimensjonering, da man må dimensjonere nettet for mye høyere vannføringer enn hva som ville vært nødvendig uten fremmedvann. Det vil også føre til en fortykning av avløpet, hvilket kan gi en lavere renseseffekt (Lindholm, 2012).

Selv om lekkasjer bare utgjør en andel av alt fremmedvann som havner i avløpet (Lindholm, 2012), vil arbeid med å redusere lekkasjetapet likevel kunne bidra til å redusere mengden fremmedvann i avløpet.

2.3 Femtrinnsplanen for lekkasjereduksjon i VAV:

VAV har i mange år satt søkelys på lekkasjereduksjon i sitt ledningsnett. Dette arbeidet har ført til utformingen av VAVs femtrinnsplan for lekkasjereduksjon. Dette er en ambisiøs plan, som skal bidra til å oppnå VAVs mål om å redusere vanntapet fra 36 % til 20 % innen 2030 (Oslo kommune, 2017).

Planen består av følgende trinn (hentet fra (Oslo kommune, 2017)):

1. Implementere IWA Vannbalanse-modell i alle ledd i VAV
2. Bygge ferdig alle eksisterende/nye målesoner
3. Utvikle, implementere og integrere analyse-systemer og utstyr
4. Trykkstyring/Trykkoptimalisering og Trykkreduksjon
5. Rapportering og Nøkkeltall

2.3.1 IWAs vannbalansemodell:

The International Water Association (IWA) er en organisasjon som har som mål å være en internasjonal plattform for fagfolk innenfor Vann og avløp (VA). Organisasjonen leder flere prosjekter som forsøker å finne løsninger på problemer innenfor VA, og ønsker å få VA inn på den globale dagsordenen (IWA).

Selv om lekkasjer er et velkjent problem innenfor vann-bransjen, er det fortsatt ikke en universell enighet om hva lekkasjer faktisk *er*. IWA har derfor laget en vannbalansemodell som deler opp den totale vannmengden i forskjellige undergrupper, som alle havner i enten fakturert vannmengde, eller ikke fakturert vannmengde (Asle Flatin, 2009).

Total vannmengde (Menge vann målt ut fra vannbehandlingsanlegget)	Legalt forbruk	Legalt forbruk fakturert	Fakturert, målt forbruk	Fakturert vannmengde	
			Fakturert, ikke målt forbruk		
	Vanntap	Legalt forbruk, ikke fakturert		Ikke fakturert, målt forbruk	Ikke fakturert vannmengde
				Ikke fakturert, ikke målt forbruk	
		Tilsynelatende tap		Illegalt forbruk	
				Vannmålerfeil	
		Virkelige tap (Lekkasjer)		Lekkasje, overløp bassenger	
				Lekkasje offentlige ledninger	
	Lekkasje private ledninger				

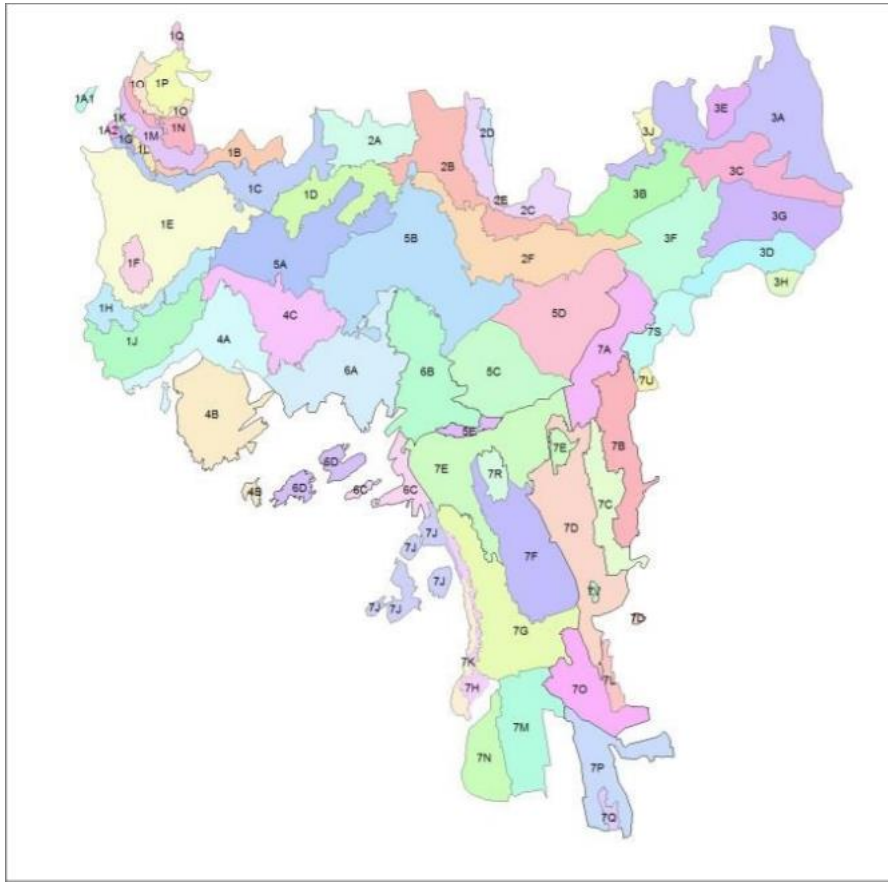
Figur 2: IWAs vannbalansemodell (Kemi, 2010).

Vannbalansemodellen skal beregnes etter volum, og gir en universell forståelse av forskjell på lekkasjetap og vanntap, og hvordan man kan dele opp disse i underkategorier. Dersom man kan hente inn informasjon om hvor mye vann som havner i hver av disse underkategoriene, vil man få en mye bedre forståelse av hvor vannet faktisk havner, hvilket gir et bedre grunnlag for å planlegge hvor det lønner seg å investere.

Modellen gir også et godt grunnlag for sammenligning mellom forskjellige vannverk, men dette forutsetter at de forskjellige vannverkene følger samme definisjon av hva som går under de forskjellige kategoriene. Muligheten for sammenligning mellom kommuner forutsetter også at de bruker samme verdi for forbruk pr. Innbygger (Asle Flatin, 2009).

2.3.2 Soneregnskap:

Større vandrdistribusjonsnett deles ofte opp i soner. Dette er områder hvor man ved hjelp av vannmålere, pumpestasjoner, ventiler osv. har kunnskap om hvor mye vann som går inn og ut av sonen. Ved å dele opp nettet i soner, kan man få bedre oversikt over hva som foregår i hver sone, og det er lettere å detektere hendelser på nettet. Ideelt har man full oversikt over hvor mye vann som går inn og ut i hver sone, og i hvilke ledninger vannet går inn og ut.



Figur 3: Kart som viser Oslos målesoner. Kilde:(Reikvam, 2013)

Det kan likevel være vanskelig å få en fullstendig oversikt over ledningsnettet, da det er stort og uoversiktlig, og sonene i Oslo er relativt store (Fra samtaler med lekkasjesøkere i VAV, driftsstasjon på Helsefyr).

Oslo har per i dag 67 målesoner. Hvor god oversikt man har innenfor hver sone varierer. I noen av de minste sonene har man fullstendig oversikt over hvor vannet kommer inn, og kan dermed lett oppdage hendelser innenfor sonen. Andre soner er langt mer uoversiktlige, og man er ikke alltid sikker på om ventiler inn til sonen står åpne eller ei (Fra samtaler med lekkasjesøkere på Helsefyr, driftsstasjonen til VAV).

En økning av antall soner kan bli et viktig verktøy for lekkasjesøkerne ved Helsefyr. Total kontroll over vann innenfor soner betyr at man enkelt kan oppdage dersom forbruket innenfor en sone går opp.

Det kan også være enklere å beregne hva nattforbruket innenfor en sone bør være. Dersom det kun er husholdninger, kan man anta nattforbruket vil være nær null. Man kan også anta et eventuelt forbruk om natten vil variere. Dersom det skulle være et konstant forbruk om natten, kan man anta en andel av dette forbruket er lekkasjer. Innenfor mindre soner vil usikkerheten knyttet til vannforbruk være redusert, og det kan være enklere å etablere eventuelle forklaringer på uvanlig forbruk (vannfyllerier el.).

Flere soner kan også bidra til et mer effektivt lekkasjesøk. Allerede i dag finnes soner i VAV sitt nett hvor man har så god kontroll på alt som går inn og ut at man kan friskmelde sonen uten å utføre rutinesøk i området. Her vil man lett oppdage dersom vannforbruket er høyere

enn vanlig, og man kan dermed konsentrere seg om andre soner frem til vannforbruket eventuelt endrer seg. I fremtiden kan det dermed hende rutinesøk ikke lenger vil være nødvendig.

Et økt antall målesoner er noe lekkasjesøkerne i VAV har etterspurt, da de fleste målesonene per i dag er for store til å kunne brukes til noe annet enn en indikasjon på hvilke områder lekkasjegruppa burde konsentrere seg om.

2.3.3 Trykkstyring:

Trykket i et vannforsyningssystem avgjøres av trykkreduksjonsventiler, pumpestasjoner og høydebasseng. Krav til vanntrykk i systemet kan variere, men det er ofte krav om minimum 25 meter vannsøyle (m VS) trykk. For at abonnentene skal oppleve tilstrekkelig trykk i boligen sin, er det vanlig å kreve at alle abonnentene skal ha minimum 15 m VS under maksimal bruk (Ødegaard, 2014).

Oslo har en variert topografi, med store høydeforskjeller innad i kommunen. Det kan derfor være vanskelig å ha et tilstrekkelig trykk i de høyeste områdene, uten at det fører til et svært høyt trykk i de laveliggende områdene. Dersom man skal ha et trykk tilpasset til de forskjellige høydene, må man ha mange soner. Siden det er dyrt å etablere trykksoner, har man mange steder i stedet valgt å akseptere et litt lavere trykk i de høyeste områdene, og et litt høyere trykk i de laveste områdene (Ødegaard, 2014). I Oslo har man tradisjonelt hatt en veldig service-vennlig innstilling angående trykk. Dermed har man levert høyt nok trykk til å kunne levere trykk til toppen av boligblokker.

Som nevnt tidligere i oppgaven har trykk mye å si for hvor stort lekkasjetapet innenfor en sone blir. Vannføringen gjennom en åpning i ledningen er avhengig av trykket, og et høyt trykk vil dermed gi et større lekkasjetap ut av hull (Asle Flatin, 2009). Dette kan vises med formelen for vannføring gjennom en åpning (Asle Flatin, 2009):

$$Q = K * A * \sqrt{2 * 9,81 * P}$$

Der Q er vannføringen ut av åpningen, A er arealet på åpningen, P er trykket, og K er en faktor mindre enn 1 (Asle Flatin, 2009), (Farley and Trow, 2003). Denne formelen viser at endringen i vannføring ut av åpningen vil være proporsjonal med \sqrt{P} (Farley and Trow, 2003).

I tillegg til å dempe lekkasjetapet, lister IWA opp en rekke andre fordeler knyttet til trykkreduksjon i nettet. Blant disse er (Farley and Trow, 2003):

- Reduksjon i forbruk: Dersom det er mindre trykk hos abonnentene, vil forbruket være mindre i den tiden de lar kranen stå åpen.
- Færre rørbrudd: Data fra britiske vannverk har vist en sammenheng mellom reduksjon i trykk og reduksjon i antall rørbrudd
- Bedre kontroll på trykket vil sørge for at trykket ikke varierer i like stor grad ut fra hvor høyt forbruket på ledningsnettet er

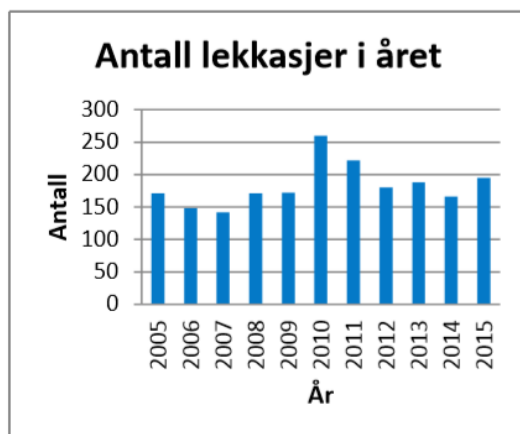
Noen mulige ulemper som bør likevel vurderes før økt trykkstyring implementeres. Den største bekymringen er konsekvensene en senkning av trykket kan få for brannmannskaper (Farley and Trow, 2003). Brannvesenet er avhengige av et høyt nok trykk til brannslukking,

og dette hensynet må komme foran et eventuelt ønske om lekkasjereduksjon. Det er likevel ikke gitt at trykkstyring av nettet ikke kan kombineres med et høyt nok trykk i brannsituasjoner.

Det er også verdt å merke seg at endringer i trykk sliter på nettet. Trykkstyring kan være bra for ledningsnettet dersom det gir jevnere og mer kontrollerte endringer i trykk enn hva som ville ha oppstått ved normal bruk (Farley and Trow, 2003). Man må derimot være forsiktig og sørge for at trykkstyring av nettet ikke gir større variasjoner i trykk enn hva som ville ha oppstått naturlig, da dette i verste fall kan slite mer på ledningsnettet.

Det vil også være en del utgifter knyttet til implementering av trykkstyring av et system. Den mest åpenbare er investeringen i utstyr, som trykkreduksjonsventiler. Installasjon og vedlikehold vil også koste penger, samt overvåking av nettet (Farley and Trow, 2003). Dersom man kan redusere kostnader knyttet til høyt trykk i nettet (tap av vann, rørbrudd, slitasje på nett osv.) kan dette likevel vise seg å være en god investering.

Det er også et uttalt mål i VAV at mengden reparerte lekkasjer skal bli mindre (Sitat: Seksjonsleder for vanddistribusjon Lars Wermskog). Med dette menes at man i lengden skal redusere mengden lekkasjer som oppstår. Lekkasjenivået i Oslo har holdt seg relativt stabilt tidligere (Figur 4).



Figur 4: Antall lekkasjer i året, 2005-2015. Kilde: (Oslo kommune, 2015a)

Da holder det ikke å kun jobbe med metoder for lekkasjesøk. For å kunne redusere andelen lekkasjer må man gjøre noe med årsakene til at lekkasjer oppstår. Det er som nevnt tidligere i oppgaven mange grunner til at lekkasjer oppstår, men trykk er en årsak hvor man ser en direkte sammenheng med vanntap fra lekkasjer.

Det er flere forskjellige måter å redusere trykket i nettet på. En metode er å senke trykket i hele nettet. Man bruker i så fall trykkreduksjonsventilene til å senke trykket inn til sonen, og holder trykket på et lavere nivå permanent (Oslo kommune, 2015b). Alternativt kan trykket reduseres om natten. Siden nattforbruket som regel vil være lavt, er det ikke behov for like høyt trykk på nettet om natten.

Et annet alternativ er å velge ut viktige punkter hvor man plasserer ut trykkmålere, og at målingene på disse bestemmer trykkstyringen til trykkreduksjonsventilene. Et siste alternativ er å endre trykksoneene, alternativt øke antall trykksoner, og bruke disse som utgangspunkt for trykkstyring av nettet (Oslo kommune, 2015b).

2.3.4 Utvikle, implementere og integrere analyse-systemer og utstyr:

VAV benytter IWA sin best practice modell i sin håndtering av lekkasjer. Denne modellen påpeker tre lekkasjenivå i et vandrdistribusjonsnett (Perelman and Ostfeld, 2013):

1. Dagens lekkasjenivå
2. Økonomisk lekkasjenivå
3. Uunngåelig lekkasjenivå

Dagens lekkasjenivå er det lekkasjenivået man har beregnet i eget ledningsnett, basert på tilgjengelige data. Det økonomiske lekkasjenivået må beregnes ut fra data, og baserer seg på en beregning av kost/nytte. Som nevnt i tidligere kapitler, kan høye lekkasjetall øke kostnader knyttet til ledningsnett, rensesanlegg osv. Reduksjon av lekkasjer vil også koste penger, og man må derfor måle kostnader knyttet til tiltak, opp mot effekten av tiltakene. Man vet av erfaring at det alltid vil være noe lekkasje på ledningsnettet, blant annet på grunn av den høye alderen til ledningsnettet. Disse lekkasjene vil utgjøre det uunngåelige lekkasjenivået i ledningsnettet. (Oslo kommune, 2019)

Modellen deler lekkasjereduksjon inn i fire hovedpunkter (Oslo kommune, 2019):

1. Trykkstyring
2. Aktivt lekkasjesøk
3. Rehabilitering og forvaltning av ledningsnett
4. Hurtighet og kvalitet av reparasjoner

Trykkstyring er utdypet i kapittel 2.3.3. Aktivt lekkasjesøk betyr at man finner lekkasjer som ikke er meldt inn, gjennom et systematisk lekkasjesøk på ledningsnettet. I Oslo kommune VAV har man en egen avdeling dedikert til dette formålet. Det motsatte er passivt lekkasjesøk, hvor man kun oppdager lekkasjer som publikum melder fra om (Næs, 2017).

For å nå et lavere lekkasjenivå, ønsker VAV å forbedre det aktive lekkasjesøket. Dette gjør de ved å satse på ny teknologi, både innenfor grovlokalisering og finlokalisering. Teknologi de har testet ut hittil er:

- Online
- HOMIS
- Satellitt
- SmartBall
- Sahara

Online og HOMIS er analyseverktøy. En kort beskrivelse av disse følger nedenfor.

2.3.4.1 Online:

VAV samler kontinuerlig inn enorme mengder data. Fjernkontrollsystemet, målere ute i nettet, ansatte og kunder gir kontinuerlig informasjon om trykk, vannhastighet, lekkasjer, osv. Per i dag har ikke VAV noen tilstrekkelige metoder for å bruke denne informasjonen til noe mer enn historiske verdier. Dette ønsker man nå å endre på via ovennevnte 5 trinns plan (kapittel 2.3).

I første omgang vil man lage en modell av nettet som beregner hydrauliske parametere basert på målinger i nettet i sann-tid. Om man lykkes med denne modellen vil man ha en modell som kan gi et mye bedre estimat på konsekvensene endringer i et punkt vil ha for resten av nettet. Denne modellen er allerede laget, og man jobber med verifisering av metoden. Så langt har modellen vist gode resultater sammenlignet med de reelle forholdene i nettet.

I fremtiden ønsker man å kunne bearbeide data VAV samler inn på en måte som kan gjøre det mulig å se større sammenhenger mellom dataene, f. eks. å forstå hvilke parametere som er til stede før store hendelser i nettet. Dersom man kan lykkes i en slik modell, kan det i fremtiden være mulig å forutse større hendelser, eller oppdage dem rett etter de har inntruffet.

Online-modellen til VAV er utdypet ytterligere i vedlegg 3.

2.3.4.2 HOMIS:

HOMIS er et analyseverktøy som analyserer vannforsyningen på sonenivå. Implementeringen av dette verktøyet er under arbeid.

SmartBall, Satellitt og Sahara er lekkasjesøksinstrumenter, og vil bli utdypet i kapittel 2.4 og 2.5.

Samlet vil disse teknologiene kunne gjøre det aktive lekkasjesøket både mer effektivt og mer presist enn tidligere. Bedre analyseverktøy vil kunne gi mer presis grovlokalisering av lekkasjer, hvor man kan oppdage indikasjoner på lekkasjer raskt.

Etter hvert som fokuset skifter til mindre lekkasjer, trenger man bedre metoder for finlokalisering av lekkasjer. Her kan metoder som SmartBall og Sahara sørge for at man oppdager lekkasjer tidligere, før de rekker å vokse til brudd. Ved å også oppdage de mindre lekkasjene, kan man senke lekkasjenivået i nettet ytterligere.

Effekten av disse tiltakene forutsetter at lekkasjer utbedres når de er lokalisert.

2.3.5 Bedre rapportering og nøkkeltall:

VAV samler hvert år inn driftsdata. Ut fra disse dataene utarbeides nøkkeltall, som er konkrete tallverdier knyttet til forskjellige deler av driften. Det kan være antall utbedrede lekkasjer det året, eller antall ledningsbrudd på nettet. Disse tallene sier noe om hvorvidt VAV har nådd målene de har satt seg for perioden, eller hvor godt de ligger an til å nå målene over en lengre periode.

Nøkkeltall er viktige for å få konkrete tall på hvor godt tiltakene man har satt inn fungerer, men for at nøkkeltall skal ha en verdi må de være basert på korrekt informasjon. En del av VAV sin femtrinnsplan er derfor å forbedre metoden for utarbeidelse av nøkkeltall, ved å betrakte lekkasjetall på et mikronivå. Dette vil si at man konsentrerer seg om mindre områder i Oslo for å utarbeide nøkkeltall for lekkasjer.

Ved å etablere gode metoder for å utarbeide nøkkeltall, kan VAV periodevis fastslå hvor god effekt forskjellige tiltak har gitt. Dermed kan de justere tiltak underveis, og sørge for å benytte de tiltak som gir best effekt på ledningsnettet.

2.4 Tradisjonelle metoder for lekkasjesøk

2.4.1 Innledning

Når vann unnslipper et rør i form av en lekkasje, lager dette en lyd. Lyden vil bevege seg gjennom vannet og rørveggene, fra punktet den oppsto. Mens lyden beveger seg gjennom røret vil den dempes, til den ikke lenger er mulig å detektere. Hvor raskt dette skjer, og dermed hvor langt lyden vil kunne bevege seg i røret, avhenger av rørmateriale og -diameter. Annen støy, som fra trafikk, vil kunne overdøve lyden når den blir svak nok (Hamilton and Charalambous, 2013).

Lydens frekvens vil også påvirke hvor langt lyden vil bevege seg. Høye frekvenser dempes raskt, mens lavere frekvenser kan bevege seg lenger før de dempes (Hamilton and Charalambous, 2013).

Store deler av ledningsnett er lagt i metallrør, og lekkasjesøksmetoder basert på akustikk er derfor blitt svært vanlig. Allerede i 1970 var nattlyttere fra Oslo kommunes Vann- og kloakkvesen ute i gatene på nattestid og lyttet i kummer med lyttestav (Johansen, 2004). Vanlige akustiske metoder for lekkasjesøk vil bli beskrevet under.

2.4.2 Lyttestav

Lyttestav er en av de enkleste formene for lekkasjesøk, og er en stang som brukes for å lytte etter lekkasjer på rør. Staven kan være laget av metall, tre eller plast, og har stetoskop-lignende ørepropper som operatøren kan bruke til å lytte etter lekkasjer (Hamilton and Charalambous, 2013).

Lyttestaver forsterker ikke lyden, og metoden kan dermed kun benyttes der lekkasjen lager en lyd som er kraftig nok til at den overdøver annen støy. Metoden er også avhengig av at det ikke er mye bakgrunnsstøy, og det er derfor en metode som har blitt benyttet på natten, hvor det er mindre støy (Hamilton and Charalambous, 2013).

2.4.3 Geofon

En geofon brukes til å lytte etter lekkasjer fra overflaten. Geofonen plasseres på jordoverflaten over røret. Lyder som detekteres av geofonen overføres til operatøren, gjennom hodetelefoner koblet til geofonen (Farley and Trow, 2003).

2.4.4 Lydloggere

Lydloggere er små mikrofoner utstyrt med en opptaker. Lydloggerne festes på utsiden av røret ved hjelp av en magnet, og kan stilles inn slik at de skrur seg på og «lytter» på et bestemt tidspunkt. Lydopptakene kan hentes ut i ettertid, og analyseres (Farley and Trow, 2003).

2.4.5 Korrelerende lydloggere

Korrelerende lydloggere er, som andre lydloggere, i stand til å detektere lyd, enten ved å registrere lyden i vannstrømmen, eller gjennom vibrasjoner i røret. Forskjellen fra andre

lydloggere, er at korrelerende lydloggere også kan beregne avstanden til lekkasjen fra nærmeste lydlogger (Hamilton and Charalambous, 2013).

For at lydloggere skal korrelere, må minst to loggere detektere lyden fra lekkasjen. Metoden forutsetter at lyden beveger seg gjennom vannet og ledningen med konstant hastighet. Om lyden beveger seg med konstant hastighet vil den nå den nærmeste lydloggeren før den når andre lydloggere. Dersom man vet avstanden mellom de to loggerne, samt differansen i tid det tok for lyden å nå de forskjellige lydloggerne, kan man beregne avstanden fra nærmeste lydlogger til lekkasjen (Hamilton and Charalambous, 2013).

Korrelerende lydloggere kan dermed gjennomføre både grovlokalisering og finlokalisering av lekkasjer.

For å kunne beregne avstanden mellom lydlogger og lekkasje må man vite hva lydens hastighet var da den beveget seg gjennom ledningen. Dette varierer som nevnt tidligere i forhold til rørmateriale og -diameter, og er derfor ikke en verdi man vet eksakt. Det er i stedet vanlig å ta utgangspunkt i teoretiske verdier for lydshastighet. Disse verdiene kan avvike fra den reelle hastigheten i ledningen, hvilket kan gi feil distanse til lekkasjen. Lydhastigheten kan måles, og dersom man har forhold som indikerer at de teoretiske verdiene kan avvike fra de reelle, kan man forsøke å måle vannhastigheten. Dette kan gjøres ved å skape en lyd i røret, f. Eks. Ved å åpne en ventil delvis, og registrere hvor fort lyden forplanter seg fra denne ventilen (Hamilton and Charalambous, 2013).

I samtaler med John Westby (Funksjonsleder for lekkasjesøksgruppen, VAV) har det blitt gitt uttrykk for at korrelerende lydloggere er et viktig redskap innenfor lekkasjesøk. Ifølge ham er det den desidert vanligste måten for lekkasjesøkere i VAV å lokalisere lekkasjer på. Oslo kommune VAV har i dag 16 koffertar med 8 korrelerende lydloggere i hver.

Gruppeleder Kjetil Tangen (Avdeling lekkasjesøk, VAV) har anslått at de korrelerende lydloggerne har en nøyaktighet på ca. 90%. Han gir også uttrykk for at de aller fleste lekkasjer lokalisert gjennom rutinesøk har blitt funnet ved hjelp av korrelerende lydloggere. Dette forsterker inntrykket av at korrelerende lydloggere er et svært viktig hjelpemiddel for lekkasjesøkere på Helsefyrr.

Lydloggere finnes i to forskjellige versjoner, akselerometere og hydrofoner.

2.4.5.1 Akselerometere

Akselerometere festes på utsiden av røret, gjerne med en magnet. Akselerometere registrerer lydvedvibrasjonen i røret, og fungerer derfor best på rør med en god evne til å bære lyd. De fungerer godt på rør av metall, men har en lavere effekt på plastrør (Hamilton and Charalambous, 2013).

På grunn av magnetfestet er de mer portable enn hydrofoner, og kan brukes til rutinesøk.

2.4.5.2 Hydrofoner

Hydrofoner senkes ned i vannet, og detekterer lydbølger i vannet. Hydrofoner kan derfor være en bedre metode på rør med stor diameter, eller rør av plast, da lyden dempes raskere i disse

rørene. Til gjengjeld vil det være mer arbeidskrevende å installere hydrofoner, siden disse må føres inn i selve røret, i motsetning til andre lydloggere (Hamilton and Charalambous, 2013).

Lydloggere med hydrofoner kan dermed være mer egnet i tilfeller hvor man ønsker å plassere ut lydloggere permanent i et område, eller i områder hvor vanlige lydloggere ikke klarer å detektere lekkasjer på grunn av lokale forhold. Dette kan for eksempel være i sentrumsområder med mye bakgrunnsstøy (Hamilton and Charalambous, 2013).

2.4.6 GPRS-lydloggere

GPRS-lydloggere plasseres ut permanent i et område, og gir kontinuerlig informasjon til operatøren om lyder i området.

Ifølge John Westby (VAV) har VAV flere slike loggere. GPRS-lydloggerne er som regel plassert ut i områder hvor det hyppig oppstår lekkasjer, slik at man kan oppdage lekkasjer tidlig. Disse loggerne gir kontinuerlig overvåking av et område, i motsetning til korrelerende lydloggere brukt i lekkasjesøk, som kun kan oppdage lekkasjer i de minuttene de er plassert ut i nettet.

GPRS-lydloggere lytter tre ganger i løpet av et døgn. Dersom de oppdager en vedvarende lyd i denne perioden, sendes en beskjed til en ekstern server som står hos leverandør. Lydloggerne er utstyrt med batterier med ca. Fem års varighet. Batteriene er utskiftbare, og denne utskiften håndteres av leverandøren.

GPRS-loggerne sender en rapport hver 14. dag, uavhengig av om det er detektert lekkasjer i denne perioden. GPRS-loggerne gir dermed en kontinuerlig overvåking av nettet. Dette er noe man ikke oppnår med rutinesøk med lydloggere. Lekkasjegruppa i VAV har et mål om å inspisere hele ledningsnettet i Oslo hvert 3. år (fra samtaler med John Westby). Dette betyr at lekkasjer kan stå lenge uten å bli oppdaget. Med kun rutinesøk kan lekkasjer som ikke er synlige fra overflaten stå i nærmere tre år uten å bli oppdaget.

Siden GPRS-loggere er faste installasjoner kan de også utstyres med hydrofon, noe som gjør dem bedre rustet til å lytte på rør av lydsvake materialer. Videre kan GPRS-loggere stilles inn til å lytte på natten, og dermed redusere mengden bakgrunnsstøy.

VAVs fremgangsmåte for rutinesøk basert på noen av de ovennevnte metodene er utdypet ytterligere i vedlegg 1.

2.4.7 Satellitt

Selskapet Utilis Ltd. Har utviklet en metode for å benytte satellitt-bilder for å indikere lekkasjer på vannledningsnett. Tjenesten benytter samme type satellitt som har blitt brukt til å finne vann på Mars, og finner områder der det kan være lommer med drikkevann. Når disse funnene kombineres med informasjon om hvor drikkevannsledningene ligger, kan man få en indikasjon på hvor det kan ha oppstått lekkasjer. Resultatene fra satellittbildene kombineres så med akustisk søk lokalt, for å finne den nøyaktige posisjonen til eventuelle lekkasjer (Røe, 2018). I Norge er det Teta Vannrensing AS som tilbyr tjenesten (AS, 2018).

Metoden baserer seg på prinsippet at vannkilder både over og under bakken reflekterer elektromagnetiske bølger. Ulike vannkilder vil reflektere ulike bølgelengder. Dersom man vet hvilke EM-bølger som reflekteres av ulike vannkilder, kan man bruke denne kunnskapen til å identifisere en vannkilde i et område ved å registrere hvilke bølger som reflekteres når man sender EM-bølger mot et område (Guy, 2018).

Bruk av satellitter kan ikke finne spesifikke lekkasjer og deres lokasjon, men kan benyttes som et hjelpemiddel for operatører, slik at de kan snevre inn området de leter etter lekkasjer. Dermed forutsetter metoden at man enten har akustisk utstyr for lekkasjesøk, eller at man leier inn mannskap til å lete etter lekkasjer på grunnlag av satellittbildene.

Satellittbilder kan dermed være med på å senke kostnadene ved lekkasjesøk, dersom man gjennom denne metoden kan redusere antall km med ledning å kontrollere med tradisjonelle metoder. Det er likevel ikke en metode som alene kan lokalisere lekkasjer, og man må vurdere hvorvidt denne metoden er mer besparende enn annet utstyr som kan utføre kartlegging av større ledningsstrek, og samtidig finne den eksakte lokasjonen til eventuelle lekkasjer.

Oslo kommune testet ut lekkasjesøk ved hjelp av satellitter i 2018. Resultatene var skuffende, da treffsikkerheten var på ca. 20%, noe som var langt lavere enn forventet. VAV har per i dag ingen planer om å fortsette å benytte metoden.

2.5 Inline-metoder

Med inline-teknologi menes instrumenter som føres inn i selve røret, for å finne lekkasjer innenfra røret. Av tilgjengelig teknologi finnes både hydrofoner og teknologi basert på trykkforskjeller. Den mest vanlige metoden er derimot akustiske instrumenter. Dette kapittelet beskriver noen av de mest aktuelle teknologiene på markedet i dag.

2.5.1 Sahara

Sahara ble utviklet av the Water Research Centre i Storbritannia (Bond et al., 2004).

Sahara finner lekkasjer ved hjelp av en akustisk sensor som sitter på enden av en kabel. Den akustiske sensoren er kun 25 mm i diameter, hvilket minsker sjansen for at den skal støte inn i partikler i røret. Kabelen sensoren er festet til sørger for å tilføre energi til sensorene, samtidig som den fører informasjon fra sensorene tilbake til operatøren, som sitter over bakken (Bond et al., 2004). Operatøren vil få informasjon fra instrumentet mens det er inni røret, og kan høre en lekkasje med en gang Sahara detekterer den. Man er dermed ikke avhengig av å hente ut Sahara for å få tilgang på dataene.

Operatøren kan, ved deteksjon av en lekkasje, stanse Sahara inne i røret. For å lokalisere Sahara, er operatøren utstyrt med et system kalt PipeSpy 2000. Dette instrumentet kan lokalisere Sahara på dybder ned til 10 meter, og fungerer på plast, sement, stål og støpejern, med noen begrensninger på rørtykkelse (Tabell 1) (Bond et al., 2004).

Materiale	Største veggtykkelse
Plast	Ubegrenset
Sement	Ubegrenset
Stål	25 mm

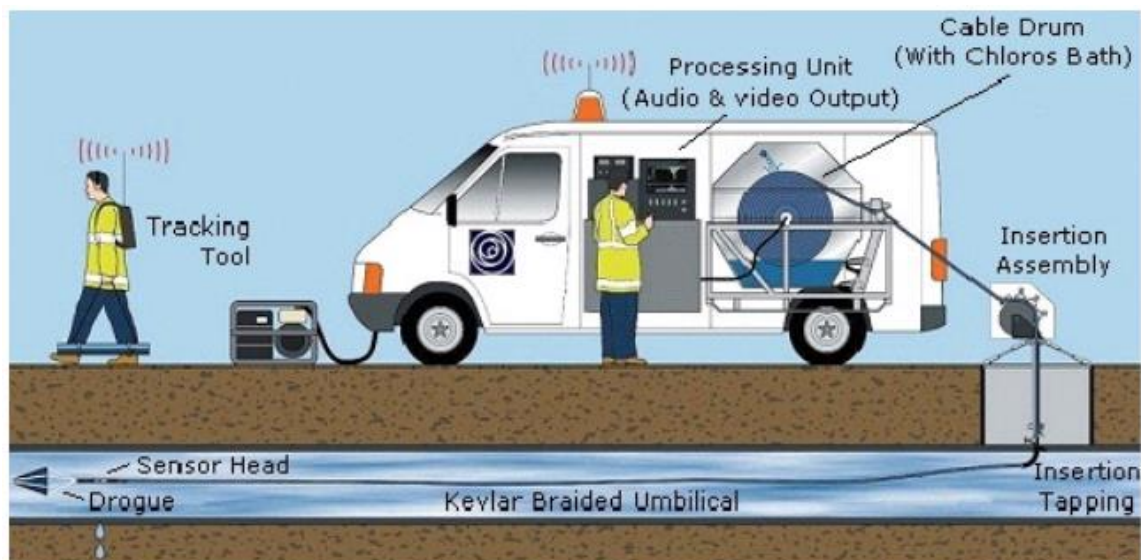
Duktilt jern	40 mm
Støpejern	40 mm

Tabell 1: Viser maksimal vegtthkkelsete for deteksjon av Sahara i røret for forskjellige rørmaterialer.

Kilde: (Bond et al., 2004)

Sahara er designet for å operere på rør i drift, og drives fremover av vannstrømmen i røret. For å gi instrumentet en større overflate er det utstyrt med en fallskjerm. Instrumentet kan føres inn i trykksatte rør. Alt utstyret vil også desinfiseres før det går inn i røret. Kabeltrommelen står i et klor-bad, som sørger for kontinuerlig desinfeksjon av kabelen (Bond et al., 2004).

Sahara kan benyttes for rør med minimum 300 mm diameter, og fungerer på alle rørmaterialer. Instrumentet trenger en ventil på minimum 50 mm for å føres inn i røret. Systemet hevdes å kunne oppdage lekkasjer så små som 1 l/time (Perelman and Ostfeld, 2013). Det hevdes også at Sahara har en rekkevidde på opp mot 1850 m (Bond et al., 2004).



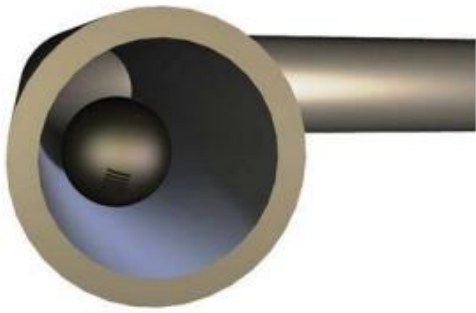
Figur 5: Illustrasjon av hvordan en inspeksjon med Sahara ser ut (Bond et al., 2004)

Ved hjelp av kameraet kan man også se tilstanden på ledningen underveis, og dermed få informasjon som en rent akustisk undersøkelse ikke vil oppdage (som begroing/rustknoller osv. på innsiden av røret).

Kabelen vil derimot begrense lengden på inspeksjonen. Der andre, fritt svømmende teknologier kan sendes relativt lange strekninger, for så å tas ut i en annen kum, må Sahara trekkes tilbake etter en viss distanse. Skal man inspisere et større ledningsstrek, må man bevege seg fra kum til kum, og hele prosessen med å sette opp utstyr må gjennomføres for hvert nytt inspeksjonspunkt.

2.5.2 SmartBall

SmartBall er et instrument som finner lekkasjer basert på akustikk. (Fletcher and Chandrasekaran, 2009) Instrumentet er utviklet av Pure Technologies, som nå er kjøpt opp av Xylem. (Xylem, 2017) SmartBall plasseres i et trykksatt rør, og ruller langs bunnen av røret, mens det fanger opp lyder inni røret. (Fletcher and Chandrasekaran, 2009)



Figur 6: Illustrasjon av SmartBall inni et rør. Kilde: (Fletcher and Chandrasekaran, 2009)

SmartBall består av en liten, kuleformet kjerne. Denne kjernen inneholder flere forskjellige sensorer, som måler akustikk, akselerasjon, styrke/retning på magnetfelt (magnetometer), temperatur på vannet og en ultrasonisk sender. Kjernen er utstyrt med en energikilde (Liu and Kleiner, 2013), som kan holde sensorene i gang i opp mot 170 timer (Fletcher and Chandrasekaran, 2009).

Under en inspeksjon vil den akustiske sensoren fange opp lyder inni røret, og kontinuerlig ta opp lyd. Dette lydopptaket lagres, og kan overføres til en pc når inspeksjonen er over. Teknikere fra Xylem kan deretter bruke denne lydfilen til å identifisere lekkasjer i røret (Fletcher and Chandrasekaran, 2009).

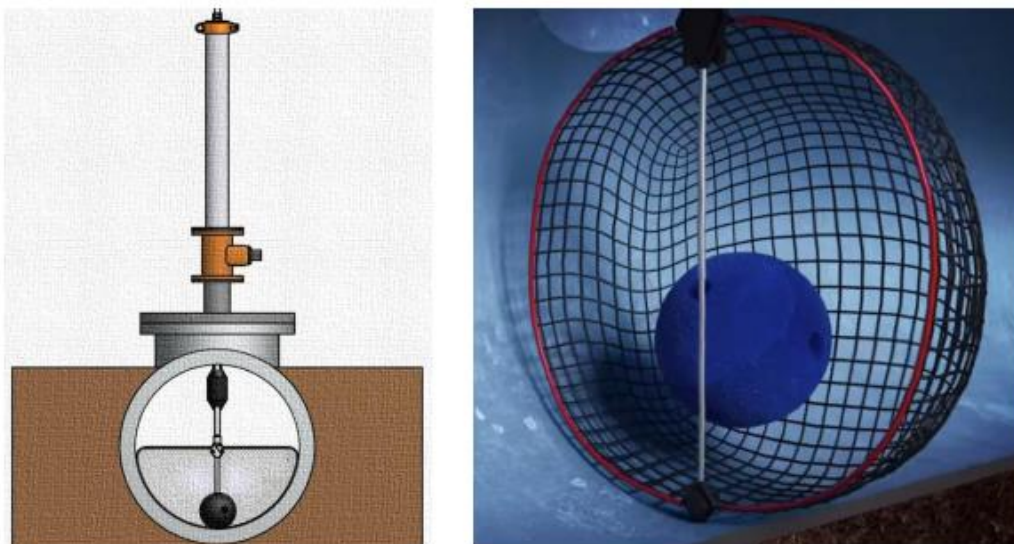
Ballen er dekket av et lag skum-gummi. Laget sørger for å beskytte kjernen, samt hindre at ballen selv lager lyd som kan være forstyrrende på lydopptaket. Ballen beveger seg fremover ved hjelp av strømmingen i røret, og man er derfor nødt til å ha en viss hastighet på vannstrømmen for at ballen skal rulle fremover. Skum-gummien øker størrelsen på ballen, slik at den får bedre fremdrift (Fletcher and Chandrasekaran, 2009).

SmartBall føres inn i røret ved hjelp av en klov som komprimerer ballen slik at den kan føres inn gjennom en ventil (Figur 7). Kloen har en mekanisme som lar operatøren frigjøre ballen når den er inne i røret.



Figur 7: Bilde av kloen som brukes til å føre SmartBall inn i røret. Kilde: (Pure Technologies Ltd., 2018)

Ved slutten av inspeksjonen hentes ballen ut ved hjelp av et nett som plasseres ut i røret før inspeksjonen starter. Dette nettet dekker innsiden av røret ved ekstraksjonspunktet, og er utstyrt med et kamera, samt en lykt, slik at man kan se på videoen når SmartBall er i nettet og kan hentes ut.



Figur 8: Illustrasjon som viser nettet inne i røret (Pure Technologies U.S Inc., 2018)

Både innføring og uttak av ballen kan gjennomføres uten å stenge vannet.

Siden SmartBall er tilnærmet lydløs, kan den være vanskelig å spore i røret under en inspeksjon. For å vite hvor ballen befinner seg i røret er man nødt til å spore den ved hjelp av sensorer (Fletcher and Chandrasekaran, 2009). Disse sensorene monteres på røret før inspeksjonen. Under inspeksjonen sender SmartBall ut et lydsignal med en bestemt frekvens. Dette lydsignalet sendes ut hvert tredje sekund. Sensorene lytter etter dette signalet, og registrerer når ballen passerer. Sensorene plasseres ut med en avstand som er mindre enn maksimal rekkevidde for signalet fra SmartBall. Det vil si at neste sensor fanger opp signalet fra ballen før den forrige sensoren mister det (fra samtaler med Xylem). På denne måten kan man spore ballens bevegelser underveis i inspeksjonen. Dette er svært viktig, da ballen ikke sender ut noen andre signaler underveis, og man dermed er avhengig av å hente ut ballen etter endt inspeksjon for å få tilgang på dataene den har registrert. Dataene hentes ut av SmartBall ved at ballen åpnes og kobles til en pc (observert under inspeksjonen beskrevet i kapittel 3.2).

Som annen inline-teknologi, vil SmartBall passere lekkasjen inne i røret, og vil dermed være i stand til å plukke opp lyden av svært små lekkasjer. SmartBall kan fungere på alle rørmaterialer, noe som gjør det til en mer interessant teknologi i nyere tid, hvor rør av plast blir stadig mer utbredt.

Siden ballen ruller fritt inni røret, fremfor å være festet til en vaier, kan den også passere hindre og bend lettere, og har en mye større rekkevidde enn mange andre inline-metoder.

Bruk av metoden forutsetter at man har oversikt over alle eventuelle stikkledninger på ledningen som skal inspiseres. Ved manglende oversikt kan ballen i verste fall bli sittende

fast, eller bli sugd inn i en stikkledning. Man vil i så fall være avhengig av å finne igjen ballen for å få tak i dataene den samlet inn under inspeksjonen, da ballen ikke overfører noen data til operatøren underveis.

På grunn av dette kan det være krevende å benytte metoden på rør med mange stikkledninger, da dette vil medføre en større risiko for at man overser, eller ikke vet om, en stikkledning som dermed blir stående åpen. Det kan dermed hende SmartBall først og fremst er egnet for større overføringsledninger, hvor man har få stikkledninger.

Xylem har etablerte prosedyrer for å håndtere situasjoner hvor noe går galt inne i ledningen, og etablering av disse prosedyrene er en del av forberedelsene før en inspeksjon gjennomføres (Pure Technologies Ltd., 2018).

At ballen er frittrullende betyr at man er nødt til å ha en høy nok vannstrøm inni røret for å sikre at ballen beveger seg fremover. Dersom vannstrømmen i røret ikke er høy nok ved vanlig drift, kan man være nødt til å tappe vann fra røret under inspeksjonen. Ved rør med høy diameter (som man ofte har i overføringsledninger) kan det være snakk om store vannmengder dersom man må tappe vann fra røret, og man er avhengig av å etablere en resipient for dette vannet. Dette er riktignok kun tilfelle dersom ledningen ikke har en høy nok hastighet under vanlig drift. Et eksempel på en slik ledning er beskrevet i kapittel 3.2.

Tilgang til ledningen kan også være et problem. Sensorene som sporer ballen underveis må festes direkte på røret, og man er dermed avhengig av å ha tilgang til røret gjennom en kum eller lignende, med jevne mellomrom på strekket av ledningen som skal inspiseres. Dette er ikke nødvendigvis alltid tilfelle, og kan hindre ballens mulighet til å benyttes for å lokalisere presist hvor en ledning ligger. Dersom det ikke er mulig å plassere ut sensorer i kummer, er det også mulig å bruke kjente rørelementer som bend eller t-kobling til å spore ballens posisjon under inspeksjonen.

En inspeksjon med SmartBall er en tidkrevende prosess. Dersom man er avhengig av å leie inn utstyr og mannskap fra Xylem for å få gjennomført en inspeksjon, vil dette forsinke arbeidet, og man kan dermed ikke utføre en inspeksjon med en gang man mistenker en lekkasje. Ballen vil først og fremst være egnet for bruk dersom man skal utføre en planlagt inspeksjon av en ledning.

Selv om ballen kan benyttes mens røret er i drift, vil behovet for å stenge alle stikkledninger nødvendigvis føre til at noen kunder kan bli stående uten vann i perioden hvor testen utføres. Dette trenger ikke være noe problem, da man ved varsling god tid i forveien kan la kundene planlegge for perioden uten vann. Inspeksjonen kan også foregå i perioder med lavere vannforbruk, som om natten.

2.5.3 MTA Pipe-Inspector

MTA Pipe-Inspector er utviklet av MTA Messtechnik og European Pipeline Center. Instrumentet er frittsvømmende, og tar både lyd- og video-opptak. Det er tubeformet, og er designet til å holde seg flytende i rørstrømmen. Instrumentet drives fremover av vannstrømmen. At instrumentet fungerer trådløst betyr at rekkevidden vil være begrenset av varigheten til batteriene i instrumentet. Disse har en varighet på 3-14 timer avhengig av modell, der de største modellene har den lengste batteritiden. (Henrich et al., 2017)

Pipe-Inspector kan leveres i fem forskjellige størrelser, og kan benyttes på diametere mellom 100 mm og 3000 mm. Pipe-Inspector fungerer på alle rørmaterialer, og kan også forsere 90 graders bend (Henrich et al., 2017).

For å øke sikten til kameraet inne i røret er Pipe-Inspector utstyrt med LED-lykter. (Henrich et al., 2017) påpeker at kameraets sikt vil påvirkes av flere faktorer, blant annet turbiditet og innvendig farge i røret.

Selv om Pipe-Inspector er designet for å holde seg flytende midt i rørstrømmen, kan det også flyte høyere i rørstrømmen, for eksempel på rørstrekk med spjeldventil. Pipe-Inspector hevdes å kun trenge 5 cm med vann i et rør for å være i stand til å drives fremover kun ved hjelp av vannstrømmen. Instrumentet kan også utstyres med en fallskjerm for å øke overflaten dersom det er nødvendig. (Henrich et al., 2017)



Figur 9: Pipe-Inspector i forskjellige størrelser. Kilde: (Henrich et al.)

Pipe-Inspector finner lekkasjer ved hjelp av akustiske sensorer, som tar opp lyden av lekkasjer når instrumentet passerer dem. I (Henrich et al., 2017) hevdes det at instrumentet kan detektere lekkasjer så små som 5 l/time, og kan detektere lekkasjer ved trykk fra og med 5 bar.

I tillegg til kamera og akustisk sensor, er Pipe-Inspector utstyrt med en rekke andre sensorer, blant annet sensorer som registrerer posisjonen til Pipe-Inspector under inspeksjonen. Rørbend vil også registreres av Pipe-Inspector. Dersom det er ønskelig, kan Pipe-Inspector også leveres med sensorer som kan festes på røret før inspeksjon, som er i stand til å registrere når Pipe-Inspector passerer. Under inspeksjonen vil Pipe-Inspector også måle temperatur og lengde fra innføringspunkt. (Henrich et al., 2017)

Pipe-Inspector kan operere på rør i drift, og vil da føres inn i røret gjennom T-rør eller andre passende punkter, ved hjelp av spesialutstyr. Alt utstyr som er i kontakt med forsyningsvannet vil desinfiseres før det kommer i kontakt med vannet. (Henrich et al., 2017)

I motsetning til annen inline-teknologi presentert her, kan Pipe-Inspector kjøpes inn av vannverk. Man er dermed ikke avhengig av å leie inn instrument og mannskap av en andrepart.

I likhet med andre instrumenter som opererer uten fysisk kontakt med operatøren, er en av ulempene til Pipe-Inspector at den forutsetter at man har oversikt over alle stikkledninger, da den ellers kan forsvinne inn i påkoblede ledninger på strekket.

2.5.4.1 Erfaringer med Pipe-Inspector fra Øvre Eiker vannverk

Informasjon om disse forsøkene er hentet fra samtaler med John Westby og John Henning (Glitre Vann).

Øvre Eiker vannverk gjennomførte flere tester med Pipe-Inspector i 2017. Pipe-Inspector ble testet ut på to rørstrekk, et på $D = 600$ mm, med 2 bar trykk, og ett med $D = 500/600$ mm og 8 bar trykk.

Inspeksjonene med Pipe-Inspector kunne gjennomføres ved hjelp av eksisterende ventiler på ledningene, og det var derfor ikke nødvendig å installere ekstra utstyr på ledningene i forkant av inspeksjonene. Til gjengjeld måtte vannet stenges før Pipe-Inspector kunne føres inn i røret. Det hadde vært mulig å gjennomføre inspeksjonene uten stenging av vannet, men det hadde da vært nødvendig å montere eget utstyr for innsetting. Det ble derfor ansett som en bedre løsning å stenge vannet før innføring av instrumentet.

For å få tilstrekkelig vannhastighet i ledningen, måtte man tappe vann av ledningen. Etter endt inspeksjon kom PI ut i punktet man tappet vann ut av.

Under inspeksjonen indikerte PI et område hvor det kunne være en mulig lekkasje. Ved graving viste det seg derimot å ikke være noen lekkasje i dette punktet. For å være på den sikre siden ble det gravd 10 meter i hver retning fra det indikerte området. Det ble likevel ikke lokalisert noen lekkasje. Usikkerheten knyttet til resultatene kan kanskje begrunnes med det lave trykket i ledningen. Ledningen ble valgt ut nettopp fordi det lave trykket gjorde det vanskelig å søke etter lekkasjer på noen annen måte på ledningen. Man håpet inline-metoder ville være i stand til å lokalisere lekkasjer.

Det ble gjennomført to rørinspeksjoner. Den første inspeksjonen ble ansett som en suksess, da PI gjennomførte inspeksjonen som planlagt. Det ble bemerket at kameraet ikke hadde så klart sikte som man hadde håpet. Ved en øking av vannføringen i røret ble partikler i ledningen satt i bevegelse, noe som ga svært dårlig sikt.

I rørstrekket med høyere trykk forsvant instrumentet inn i en ledning tilkoblet hovedledningen. Dette skjedde på grunn av en åpen ventil, som man hadde trodd var stengt. Det ble konkludert med at det ville være vanskelig å finne igjen Pipe-Inspector, da den forsvant inn i en støpejernsledning, og Pipe-Inspector kun kan peiles hvis den setter seg fast i et rør av eternitt eller PE.

2.5.4 PipeMic

Den følgende informasjonen om PipeMic er et resultat av samtaler med John Westby 08.02.19.

PipeMic kommer i tre forskjellige størrelser, 4 ½, 9, og 12 mm. Oslo kommune har i 4 ½ mm og 9 mm. 4 ½ brukes som regel på stikkledninger, mens 9 mm brukes på hovedledninger.

PipeMic kan levere i lengder fra 70 meter til 300 meter.



Figur 10: PipeMic. Fra foredrag av John Westby

For å utføre en inspeksjon med PipeMic må vannet stenges av i strekket man ønsker å inspisere, før man kan montere på innføringsplaten. Dette gjøres på brannventiler. Når innføringsplaten er montert, kan man åpne vannstrømmen i ledningen igjen, før PipeMic føres inn i røret.

PipeMic går gjennom et klorbad før den entrer ledningen, slik at den blir tilstrekkelig desinfisert. PipeMic er også utstyrt med en tellmekanisme, som forteller operatøren hvor mye ledning som er brukt. Dermed kan man enkelt lokalisere en lekkasje etter den er oppdaget av instrumentet.

I Oslo kommune benyttes PipeMic kun på PE-rør. Dette har flere årsaker. For det første er PipeMic en relativt omfattende prosess om man må montere på innføringsplaten før man kan benytte PipeMic på strekket. Dette er tidkrevende sammenlignet med tradisjonelle lydloggere, som man kan montere direkte på røret. Derfor anses den som mest aktuell for PE-rør, da disse er svært lydsvake, og tradisjonelle metoder er mindre effektive på disse.

I tillegg viser erfaring i VAV at eldre rør av grå støpejern ofte er svært begrodde på innsiden. Ved bruk av PipeMic på disse kan stakefjæren på PipeMic i verste fall ryke, fordi den stanger inn i utvekstene på ledningen.

Fordeler/ulempes ved PipeMic er som ved annen inline-teknologi. Siden mikrofonen befinner seg i selve vannstrømmen, kan den passere lekkasjer, og dermed plukke opp lekkasjer som man ellers ikke ville ha vært i stand til å høre. Det er også mulig for en operatør å skille

mellom flere lekkasjer på samme ledningsstrek, da man kan markere lekkasjene etter hvert som man passerer dem, og dermed kan skille mellom disse, og andre lekkasjer man hører senere i inspeksjonen. Dette er ikke like enkelt ved bruk av tradisjonell teknologi, hvor det kan være vanskelig å skille mellom lekkasjer på et ledningsstrek.

En fordel med PipeMic er at man kan kjøpe utstyret selv. Dermed kan man trene sine egne operatører til bruk av utstyret, og benytte egne operatører til å gjennomføre inspeksjoner. Dette kan bidra til å kutte de langsiktige kostnadene, og kan kanskje også begrense mengden personell som kreves for en inspeksjon, i forhold til om man må hyre inn personale, i tillegg til det personale etaten har tilgjengelig. I tillegg kan det bidra til å minske tiden det tar fra man beslutter at en inspeksjon er nødvendig, til inspeksjonen blir gjennomført. Ved innleie av eksternt personell er man i større grad nødt til å vente til de er tilgjengelige, noe som kan ta tid.

2.5.5 PipeGuard

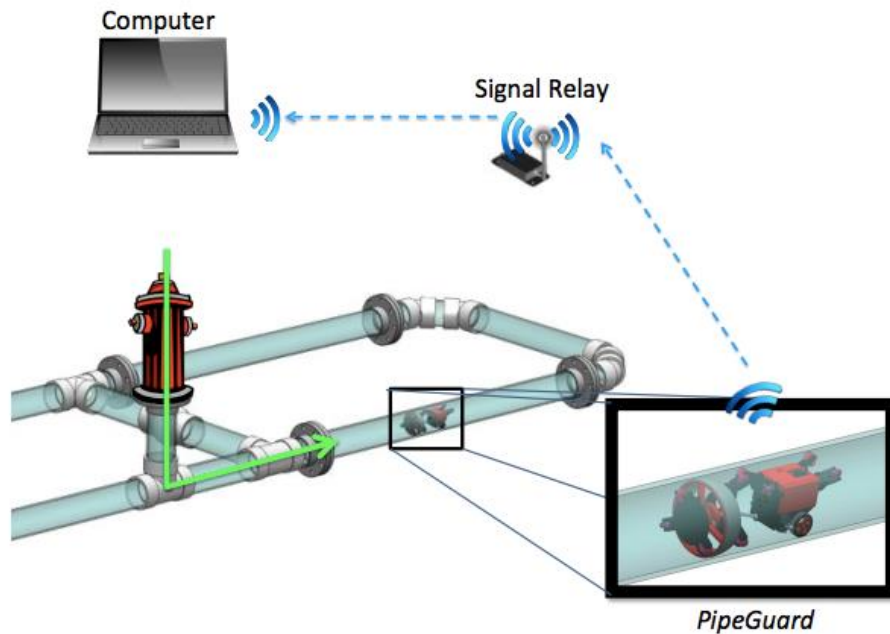
Produktet PipeGuard ble utviklet ved MIT og er en inline lekkasjedeteksjonsrobot (Chatzigeorgiou et al., 2013).

Når vann unnslipper et trykksatt rør gjennom en lekkasje, vil det skje en brå trykkendring i det vannet går fra høyt trykk inne i røret, til et mye lavere trykk utenfor røret. Denne trykkforskjellen oppstår uavhengig av diameter og materiale på røret, og er også lite påvirket av fluidet inne i røret. Den plutselige endringen i trykk vil skape et sug mot lekkasjepunktet (Chatzigeorgiou et al., 2013).

PipeGuard er utstyrt med en sirkelformet membran, som beveger seg nærme rørveggen under hele inspeksjonen. Membranen er trykket over en trommel, som er festet med en slingrebøyle (gimbal mechanism) som gir trommelen en høy bevegelighet (Chatzigeorgiou et al., 2013).

Når membranen passerer en lekkasje, vil den trekkes mot lekkasjen på grunn av suget som skapes av lekkasjen. Instrumentet er utstyrt med sensorer som registrerer bevegelsen i membranen, og vinkelen til bevegelsen. På grunn av fjær festet til trommelen, vil den trekkes tilbake til sin opprinnelige posisjon når den har passert lekkasjen (Chatzigeorgiou et al., 2013).

PipeGuard er utstyrt med flere hjul, samt en motor for å drive instrumentet fremover. I forsøkene som er beskrevet av Chatzigeorgiou (2013) testes PipeGuard på et rør fylt med luft under trykk, hvor det ikke er noen volumstrøm i mediet. Om denne testen skulle ha blitt utført under samme forhold i et vanddistribusjonssystem ville man dermed ha vært nødt til å stenge vannet før testen kunne ha blitt gjennomført.



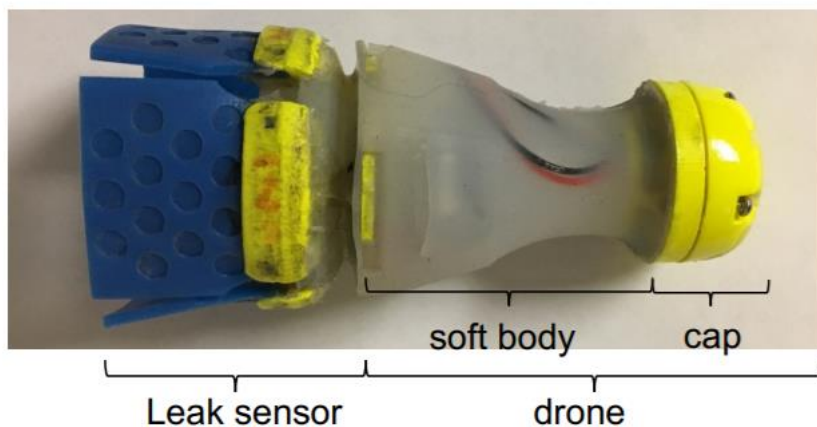
Figur 11: Illustrasjonsbilde av PipeGuard i et rørsystem. Kilde: (Chatzigeorgiou et al., 2013)

En artikkel skrevet av Wu et al. (2017) peker ut to hovedproblemer med PipeGuard. Den første er den ovennevnte, at instrumentet ikke klarer å detektere lekkasjer dersom det er noen volumstrøm i røret. Dette anses som en stor ulempe, da det medfører at man under en inspeksjon ville vært nødt til å stenge av vannet. Behovet for et stillestående medium medfører at instrumentet er avhengig av en motor for å bevege seg fremover. Andre instrumenter tilgjengelig på markedet kan bevege seg fremover kun ved hjelp av vannstrømmen, noe som er langt mer energibesparende (Wu et al., 2017).

Det andre problemet som påpekes i artikkelen (Wu et al., 2017) er at instrumentet kan forveksle ujevnheter inne i røret med lekkasjer.

Artikkelforfatterne bestemte seg derfor for å videreutvikle ideen om en lekkasjesensor basert på trykkforskjeller (Wu et al., 2017).

Resultatet ble et helt nytt design, som påstås å løse de ovennevnte problemene.



Figur 12: Daisy. Kilde: (Wu et al., 2017)

Det nye instrumentet (Figur 12) detekterer lekkasjer basert på det samme prinsippet som PipeGuard, men i stedet for en membran-disk, er instrumentet utstyrt med et skjørt av membraner, som kan detektere lekkasjer. Instrumentet er laget i myk plast, og kan derfor forsere rørbend uten problemer. (Wu et al., 2017)

Instrumentet kan detektere lekkasjer i rør med volumstrøm, og er dermed ikke lenger avhengig av noen motor for å bevege seg, men skyves i stedet fremover med vannstrømmen. Det er utstyrt med et batteri, slik at instrumentet kan operere uten å være bundet av en kabel. (Wu et al., 2017)

Under forsøkene var det vanskelig å opprettholde kontakt med instrumentet gjennom trådløst internett, og man ga opp denne delen av konseptet. Dataene må derfor lastes ned fra instrumentet etter inspeksjonen er ferdig og instrumentet er hentet ut av rørsystemet (Wu et al., 2017).

Forfatterne av artikkelen hevder at det nye instrumentet kan skille mellom lekkasjer og ujevnheter inne i røret. Dette gjøres blant annet ved hjelp av kunnskap om hvordan sensorene registrerer ujevnheter, sammenlignet med lekkasjer. Dermed antas det at instrumentet vil bli bedre på å skille mellom lekkasjer og ujevnheter etter hvert som flere forsøk utføres (Wu et al., 2017).

2.5.6 Oppsummering inline-metoder

Inline-metodene som er beskrevet i kapittel 2.5 er oppsummert i tabell 2.

	Tjoret/ Ikke tjoret	Må man stenge vannet?	Deteksjonsgrense (l/h)	Kan den kjøpes inn?	min. ledningsdiameter	Rekkevidde	Prisnivå	Omfang av innsats for kommunen	Måleprinsipp
SmartBall	Ikke tjoret	Nei	230	Nei	4 inch (102 mm)	170 timer	Høyt	Omfattende	Akustikk
Sahara	Tjoret	Nei	1	Nei	300 mm	1850 m	Høyt	Omfattende	Akustikk
Pipeinspector	Ikke tjoret	Nei	5	Ja	100-1500 mm	40 km	Høyt	Omfattende	Akustikk
Daisy	Ikke tjoret	Ja	N/A	N/A	N/A	N/A, under test 221 m	N/A	N/A	Trykkdifferanse
PipeMic	Tjoret	Nei	N/A	Ja	Ca. 12 mm	70-300 m	Lavt	Middels	Akustikk

Tabell 2: Sammenligner forskjellige egenskaper ved inline-metoder

Inline-metodene kan deles inn i to hovedgrupper: Tjorede og frittgående instrumenter. Det finnes fordeler og ulemper ved hver av disse gruppene. Den største fordelen med tjorede instrumenter, er at de gir anledning til å logge data i sanntid. Dette gir operatøren mulighet til å stanse instrumentet inne i ledningen dersom operatøren ønsker å gjøre nærmere undersøkelser basert på måledata. Siden operatøren vet hvor instrumentet er i ledningen, kan lekkasjer lokaliseres med høy presisjon under inspeksjonen. En annen fordel er at man ikke risikerer å miste instrumentet under inspeksjonen.

Den største ulempen med tjorede metoder er at rekkevidden blir begrenset av kabellengden.

To tjorede løsninger som tilbys i Norge er Sahara og PipeMic. Begge metoder bruker akustikk for lekkasjedeteksjon, og Sahara kan i tillegg filme innsiden av røret under inspeksjonen. Videooverføringen viser den innvendige tilstanden på ledningen, og er et viktig redskap for å unngå sammenstøt med rustknoller, gjenstander, og annet som kan befinne seg inne i røret. Sahara kommer dessuten med innføringsutstyr som kan monteres på ledningen uten å stenge vannet først. PipeMic har ikke et tilsvarende sporingsinstrument som det Sahara har, og man bruker i stedet lengde kabel som er matet inn i røret for å bestemme avstand fra innføringspunkt til lekkasje.

Kamerafunksjonen, samt den større rekkevidden (1850 meter kontra 70-300 meter), er de største fordelene med Sahara, kontra PipeMic.

Fordelen med PipeMic er at instrumentet kan kjøpes inn. Instrumentet kan dermed raskt hentes frem dersom det er behov for å lokalisere en mistenkt lekkasje. Sahara må leies inn med operatører, og det vil ta tid å planlegge en inspeksjon.

Den andre hovedgruppen innenfor inline-metoder er de frittgående metodene. Den største fordelen med de frittgående metodene er rekkevidden. Rekkevidden er først og fremst begrenset av batteritiden, og disse instrumentene kan dermed inspiserer lange ledningsstrekker.

Den største ulempen med frittgående metoder er at operatøren har mindre kontroll på instrumentet under inspeksjonen. Denne type instrumenter overfører ikke noen informasjon til operatøren under inspeksjonen, og man er avhengig av å hente ut instrumentet før man får tak i informasjonen som er hentet inn. Metoden krever ofte også bearbeiding av data før resultatene av inspeksjonen kan presenteres, da man ikke får lokalisert lekkasjene underveis i inspeksjonen.

I kapittelet over har jeg presentert tre frittgående inline-metoder. Disse er SmartBall, Pipe-Inspector og PipeGuard/Daisy. Av disse tre skiller Daisy seg mest ut, da dette instrumentet har en annen teknologi for lekkasjedeteksjon enn de andre (membran kontra hydrofon). Det virker som om dette instrumentet fortsatt er under utvikling, og det er lite informasjon om det tilgjengelig, annet enn hva som er publisert i ulike tidsskrifter. Det er derfor ikke mulig å sammenligne denne teknologien med de andre produktene.

Pipe-Inspector og SmartBall lokaliserer lekkasjer ved hjelp av akustikk. Pipe-Inspector tar i tillegg videoopptak under inspeksjonen. Begge instrumentene kan leveres med utstyr som sporer instrumentet under inspeksjonen. De kan også leveres med innføringsutstyr som kan monteres på ledningen uten at man behøver å stenge vannet. Instrumentene beveger seg ulikt inne i røret, da SmartBall ruller langs bunnen av røret, mens Pipe-Inspector flyter i rørstrømmen. Pipe-Inspector kan, i motsetning til SmartBall, kjøpes inn.

VAV benytter PipeMic, og har nylig testet ut SmartBall og Sahara. Disse testene er beskrevet i kapittel 3.

En mer utførlig diskusjon av disse teknologiene følger i kapittel 4.

3. Case

3.1 Innledning

Det følgende avsnittet skal se på Oslo kommunes testing av SmartBall og Sahara. Testene ble gjennomført i november 2018, på en ledning som frakter vann inn i Sørkedalen i Oslo. Denne ledningen kalles Sørkedalsledningen.

Sørkedalsledningen fraktet før vann fra Langlia renseanlegg. Langlia renseanlegg er ikke lenger i drift, og Sørkedalsledningen frakter nå vann fra Oset ut til Sørkedalen. Selve ledningen er en 600 mm stålledning fra 1939, med et utvendig belegg av bitumen. Ledningen har ikke noe innvendig belegg.

Det er lite vannforbruk på ledningen, og for å oppnå tilstrekkelig vannhastighet i røret var man derfor nødt til å tappe ledningen for vann. Dette vannet ble sluppet ut i Heggelibekken. Det ble søkt om utslippstillatelse før testene kunne begynne. Denne tillatelsen ble innvilget, men på grunn av begrensninger i tillatelsen fikk man kun kjørt SmartBall en gang. Det var i utgangspunktet planlagt å kjøre SmartBall to ganger, da dette ville ha gitt en mer presis peiling av ledningen. Utslippstillatelsen var på 90 l/s.

VAV hadde på forhånd montert ventiler i innsetting- og uttakspunktet på ledningen. Disse ble montert under eksisterende brannventiler.

VAV hadde dagen før inspeksjonen åpnet en ventil i en kum langs ledningsstrekket SmartBall skulle passere, og man visste også om en annen lekkasje. Xylem ble ikke informert om dette da VAV ville se om SmartBall/Sahara klarte å finne disse.

Selve prosjektet tok fem dager å gjennomføre. Prosjektet innebar både testing av SmartBall og Sahara. Gjennomføringen av de to testene er beskrevet hver for seg.

3.2 SmartBall

Xylem stilte med et team på fire operatører for gjennomføring av testene. To av disse operatørene var under opplæring. Vanligvis gjennomføres inspeksjoner med to kvalifiserte operatører fra Xylem, samt en representant fra kundens side.

SmartBall ble ført inn i røret i et punkt nær Bogstad badeplass, og ble tatt ut av røret i et punkt nær Haga. Totalt ble 6 474 meter ledning inspisert av SmartBall.

Før testingen begynte, ble totalt ni sensorer plassert ut i kummer på ledningsstrekket som skulle inspiseres. Sensorene hadde en gjennomsnittlig avstand på 722 meter fra hverandre, med den minste avstanden på 668 m, og den lengste på 789 m.

Sensorene ble limt direkte på ledningen, og ble montert av en operatør fra Xylem. Operatøren slipte bort smuss og annen forurensing fra ledningsoverflaten, før sensoren ble limt på røret. Sensoren var koblet til en ledning, som var lang nok til å nå ut av kummen (Figur 13). Denne ble sikret med tau på innsiden av kummen, slik at den lett kunne nåes på inspeksjonsdagen. Sensorene ble installert permanent, og ble ikke fjernet fra kummene etter inspeksjonen var over. Ifølge en av Xylems operatører, kan disse sensorene brukes igjen dersom det skulle være ønskelig.



Figur 13: Bilde av sensoren, bilde som viser festing av sensor på røret. Kilde: Helene Olsbye

Montering av sensorene ble gjennomført uten noen store hindringer, med unntak av en kum som var oversvømt. Denne ble tømt ved hjelp av to pumper, slik at en operatør fra Xylem kunne feste sensoren på ledningen. Sensorene fungerer selv om de står under vann, og

pumpene kunne dermed hentes ut når sensoren var festet, og trengte ikke å stå i kummen under inspeksjonen.

Etter sensorene var plassert, ble ventilene for innsetting og uthenting inspisert, og det ble bekreftet at disse var egnet for innsetting- og uttaksutstyret til Xylem.

En hel dag ble satt av til selve inspeksjonen av ledningen. Denne dagen begynte med montering av et nett i punktet på ledningen hvor SmartBall skal hentes ut etter endt inspeksjon. Dette nettet er utstyrt med et kamera, samt en lyskilde, slik at man kan kontrollere at ballen er i nettet når inspeksjonen er over. Selve nettet er illustrert i Figur 8.

Alt utstyr som var i kontakt med vannet inne i røret ble desinfisert med 15% natriumhypokloritt. Dette ble påført utstyret med en sprayflaske.

Monteringen foregikk på ledningen mens den var trykk-satt, og foregikk ved at man monterte et vertikalt rør over ventilen, som inneholdt stangen med nettet i enden. Røret var tett i enden, og når det var festet over ventilen, åpnet man ventilen slik at røret ble fylt med vann. Luften i røret ble sluppet ut når det fyltes med vann. Trykket i røret ble målt, og var på 7,5 bar. Dette er 1 bar lavere enn forventet trykk. Dette var ifølge operatørene ikke et problem.



Figur 14: Montering av innføringsutstyret



Figur 15: Utstyret ble festet med klemmer

Når alt var klart, ble stangen med nettet skjøvet ned i røret, til nettet nådde bunnen. En kabel som overfører video fra kameraet i nettet ble koblet til en pc, slik at man kunne se film fra inne i røret (Figur 16). Fra filmen kunne man se vannet var nesten stillestående inne i røret. Det ble gitt beskjed til rørleggere fra VAV om at man måtte slippe ut mer vann for å øke vannstrømmen i røret. På grunn av misforståelser ble det åpnet i et punkt nedenfor nettet og vannet gikk dermed feil vei. Dette ble etter hvert ordnet, men førte til noe forsinkelse.



Figur 16: En datamaskin viser filmen fra inne i røret

Når nettet var ferdig montert, flyttet operatørene seg til startpunkt for inspeksjonen, og startet installering av innsetningsutstyret til SmartBall. Monteringen av innføringsutstyret ble utført ved hjelp av et innføringsrør montert vertikalt over ventilen. Monteringen skjedde mens ledningen var trykk-satt, og det var ikke behov for å stenge vannet på noe tidspunkt.

Før SmartBall ble ført inn i røret, ble vannhastigheten i røret målt. Hastigheten ble målt ca. 2,5 cm (1 inch) over bunnen av røret, og var ca. 0,12 m/s, hvilket er 1/3 av hva som er nødvendig. Vannstrømmen måtte derfor økes. Vannstrømmen ble under første halvdel av inspeksjonen økt ved å slippe ut vann i Heggelielva. Utslippspunktet befant seg ca. halvveis på ledningsstrekket, og måtte stenges når SmartBall nærmet seg. Etter dette ble det sluppet ut vann i et punkt etter uttakspunktet for SmartBall.

SmartBall ble ført inn i røret ved hjelp av en klo (Figur 7) som komprimerte ballen slik at den kunne føres inn gjennom ventilen på ledningen. Når SmartBall var ført inn i røret løsnet man kloen, slik at SmartBall ble frigjort, og kunne følge vannstrømmen.

Mens SmartBall var inne i røret fulgte to team ballens bevegelser ved hjelp av sensorene. De to teamene bestod av både operatører fra Xylem og fra VAV, og var utplassert i de to neste kummene etter kummen hvor ballen sist ble registrert. Sensorene ble avlest ved at operatører fra Xylem koblet dem til en bærbar pc, som tolket signalene fra sensoren (Figur 17).



Figur 17: Bilde som viser pcen koblet til sensoren under inspeksjonen. Kilde: Helene Olsbye

Når ballen nærmet seg ble signalene fra den plukket opp av sensorene, som sendte signal videre til pc-en. Signalene fra sensorene ble sterkere etter hvert som ballen nærmet seg, og toppet seg da ballen passerte. Når ballen hadde passert, ble signalene svakere igjen, og man kunne dermed registrere når ballen hadde passert. Så fort ballen hadde passert, pakket operatørene sammen, og flyttet seg til den 2. neste kummen.

Ballen måtte rulle opp en bakke før uttakspunktet, og det var noe bekymring knyttet til hvorvidt den ville ha høy nok fart til å klare dette. Denne bekymringen viste seg å være ubegrunnet, da ballen rullet opp bakken uten problemer, og havnet i nettet som planlagt. Takket være kameraet i nettet kunne man se tydelig på skjermen når ballen trillet inn i nettet.

3.2.1 Resultat (Fra Xylems rapport om SmartBall)

Dataene samlet inn av SmartBall ble sendt til analysering i Canada før de ble presentert for VAV.

Det ble totalt funnet 16 punkter som kunne være lekkasjer. Av disse var:

- 4 i skjøter
- 1 i rørveggen
- 10 i kum
- 1 ukjent

Det var ingen indikasjoner på gasslommer i ledningen.

I rapporten levert fra Xylem ble hver indikasjon på lekkasjer kort beskrevet, og man fikk en indikasjon på størrelse på lekkasjen, den nøyaktige posisjonen fra innsetningspunkt, samt avstand til nærmeste sensor. Punktet hvor man mistenker lekkasje ble også tegnet inn på flybilder av området.

Totalt var SmartBall i ledningen i 4 timer og 9 minutter. Dette er mindre enn hva man estimerte på forhånd, og skyldes at ballen hadde en høyere hastighet enn hva man hadde lagt til grunn i planleggingen av prosjektet.

Ballen hadde en snitthastighet på 0,4 m/s.

VAV har per i dag (mai 2019) ikke verifisert alle resultatene. Sahara fant en lekkasje som samsvarte med en av lekkasjene SmartBall indikerte, så denne kan anses som bekreftet. Nylig måtte VAV grave opp en lekkasje på ledningen da det kom vann opp av bakken. Dette punktet var 9 meter fra et punkt hvor SmartBall hadde indikert en lekkasje. Det ble da også gravd i punktet hvor SmartBall hadde indikert en lekkasje, her ble det ikke funnet noen lekkasje. (Fra møte hos VAV)

Da Xylem ble informert om dette, kunne de forklare avviket med å påpeke at kartet som er ført opp i GIS ikke stemte overens med den traseen SmartBall tegnet etter inspeksjonen, og at punktet hvor man hadde gravd var et av områdene hvor SmartBall sin trase avvek mest fra GIS-dataene. Avviket mellom traseen i GIS og traseen SmartBall tegnet opp tilsvarte omtrent 9 meter, og avviket mellom indikert og reelt lekkasjepunkt kan dermed muligens forklares med avviket i kartdata (Fra møte med VAV/mailutveksling). Under vanlige forutsetninger foretas det også mer nøyaktige GPS posisjonsmålinger. I dette tilfellet av pilotprosjektet ble det ikke anvendt leteutstyr som kunne lokalisere et rørbend hvor GPS-posisjon var nødvendig, etter Xylems anbefaling identifisert i planleggingsfasen.

Ved gjentatte inspeksjoner med SmartBall i ledningen kunne man ha fastslått ledningens eksakte posisjon bedre, og det ville ha vært mulig å konkludere hvorvidt feilen skyldes feil i GIS eller hos SmartBall.

Utover denne gravingen har man ikke verifisert noen andre punkter indikert av SmartBall, og det er dermed ikke mulig å konkludere med treffsikkerheten til metoden.

Ansatte i lekkasjeavdelingen på Helsefyrt (Kjetil Tangen/John Westby) er svært fornøyde med metoden.

Installeringen av SmartBall var tidkrevende, men mye av tidsbruken var knyttet til problemene med for lav vannstrøm/feil retning på vannstrømmen. Dette er ikke noe Xylem kan klandres for, da det virket som om det først og fremst var grunnet misforståelser. Utplassering av sensorene tok ca. En arbeidsdag, men disse ble som nevnt tidligere stående igjen etter inspeksjonen, og kan dermed brukes på nytt. Dette vil gjøre nye inspeksjoner mer effektive.

3.3 Sahara

Det ble satt av en dag til inspeksjonen med Sahara. Det var ikke nødvendig å plassere ut sensorer eller lignende i forkant av inspeksjonen, og inspeksjonen kunne derfor gjennomføres dagen etter SmartBall-inspeksjonen. Sahara ble ført inn i røret i samme ventil som ble benyttet til innføring av SmartBall. Etter endt inspeksjon ble Sahara trukket tilbake, og ut, av samme ventil som den ble ført inn i.

Utstyret til Sahara ble fraktet til startpunktet i en liten lastebil, og deler av utstyret ble stående i lastebilen under hele inspeksjonen. Det var også her operatøren satt og overvåket data samlet inn av Sahara under inspeksjonen (Figur 18, 20 og 21). Trommelen med linen til Sahara sto inne i lastebilen.

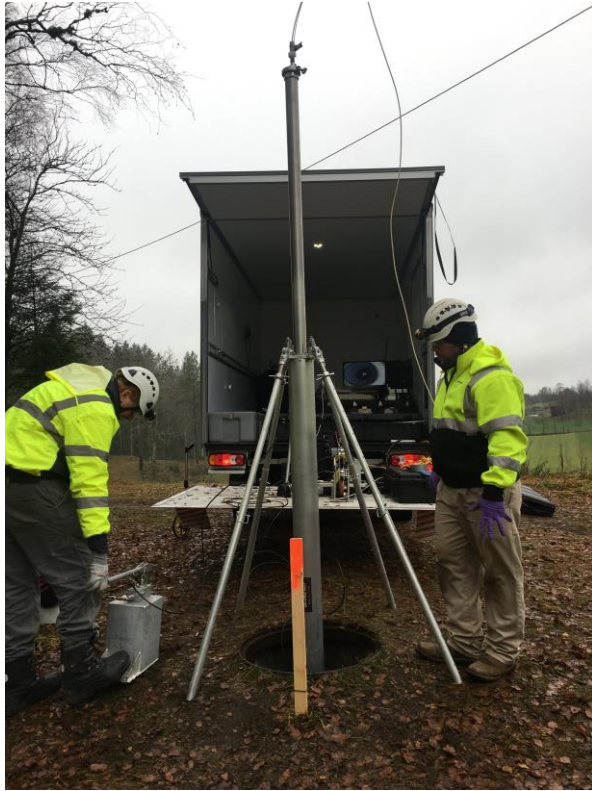
Før innføring av Sahara ble vannstrømmen i røret målt ved hjelp av et flowmeter. Vannstrømmen ble målt D/2 fra bunnen av røret.

Sahara ble ført inn i røret uten at man behøvde å stenge av vannet. Det ble benyttet samme type innføringsrør som for SmartBall. For å sørge for at Sahara fikk riktig posisjon i røret under innføringen benyttet operatørene fra Xylem en stakepinne som var festet i et spor på Sahara.

Når Sahara var i riktig posisjon i røret, kunne inspeksjonen begynne. Sahara ble da ført noen meter inn i røret, før man fikk bekreftet posisjonen til Sahara med en overflatesensor. Man målte også avstanden til dette punktet fra innsettingspunktet.



Figur 18: Fallskjermen (i gult) festes til Sahara. Kilde: Helene Olsbye



Figur 19: Utstyret for innføring av Sahara. Kabelen Sahara er festet til stikker opp av toppen på installasjonen.

Kilde: Helene Osbye



Figur 20: Etter Sahara var i røret, monterte man på et instrument som sørget for jevn innføring av kabel til Sahara.



Figur 21: Installasjonen av Sahara er ferdig. Bilde av innsiden av røret kan ses i bakgrunnen.



Figur 22: Operatør fra Xylem følger med på lyd og data fra Sahara under inspeksjon. Videoen fra Sahra kan sees på skjermen foran operatøren. Kilde: Helene Olsbye

3.3.1 Resultat

Det oppsto en del problemer knyttet til innføring av Sahara i røret. Problemet syntes å være knyttet til vanskeligheter med å få Sahara i riktig posisjon inne i røret. Under det første forsøket på innføring falt stakepinnen ut av sporet, og operatørene måtte ta Sahara ut av røret og gjennomføre innføringen på nytt. Dette førte til at innføringen tok lenger tid enn planlagt. I følge Xylem var disse problemene knyttet til manglende vannstrøm i ledningen, forårsaket av feil håndtering av ventil.

Sahara fant en lekkasje 126 meter fra innsetningspunkt. Lekkasjen var i en kum, og ble bekreftet av VAV under inspeksjonen.

Xylem tar alltid 2 opptak med Sahara i området hvor de finner en lekkasje.

Totalt ble 200 meter av ledningen inspisert. Sahara har kapasitet til å inspisere strekk opp mot 1850 meter, men det ble besluttet å avslutte inspeksjonen etter 200 meter, da man anså metoden hadde blitt tilstrekkelig demonstrert da Sahara allerede hadde funnet en lekkasje, som ble bekreftet, etter 126 meter.

Kameraet til Sahara filmet under hele inspeksjonen, og lastebilen var utstyrt med en egen skjerm som kontinuerlig viste filmen den mottok fra Sahara. Bildet var klart nok til at man tydelig kunne se innsiden av røret.

Det ble under oppsummeringsmøtet nevnt at minimum diameter for vertikal innføring i rør er 400 mm for Sahara.

Det ble også stilt spørsmål om hvorvidt Sahara kan bli sittende fast i knoller i røret. I følge Xylem har dette skjedd før, men fallskjermen til Sahara kan lett rives av dersom Sahara setter seg fast, hvilket gjør det enkelt å dra Sahara ut av røret om et problem skulle oppstå.

Maksimal diameter på ledninger for inspeksjon med Sahara ble av operatøren anslått til å være 1,2 meter. Ved en høyere diameter vil ikke kameraet kunne fange opp like skarpe bilder. Dette gjelder kun kameraet, og for rent lekkasjesøk er det ingen øvrig grense for rørdiameter.

3.4 Kort oppsummering av testene

Gjennomføringen av testene var en suksess. Begge metodene påviste lekkasjer, hvorav to er bekreftet hittil. Montering av innføringsutstyr tok noe lenger tid enn planlagt for begge metodene, men så fort instrumentene var ført inn i ledningen, gikk resten av testen som planlagt.

Sørkedalsledningen er en ideell ledning til å teste slik teknologi, da den har en høy diameter og få abonnenter. Det har dermed få konsekvenser å stenge påkoblede ledninger for å gjennomføre en SmartBall-inspeksjon. I neste delkapittel skal jeg vurdere egnetheten av SmartBall til å finne lekkasjer i et mer utfordrende ledningsstrek i Oslo.

3.5 Forslag til gjennomføring av inspeksjon/vurdering av egnethet til ledning

Målet med denne øvelsen er å gi et inntrykk av hva som kreves for å gjennomføre en SmartBall-inspeksjon, samt belyse problemstillinger man må ta hensyn til før en inspeksjon kan begynne.

Ledningsstrekket er valgt ut fordi det har en rekke egenskaper som må løses for at en SmartBall-inspeksjon skal kunne være mulig.

Beskrivelser av ledningen og problemer ved den er hentet fra kartprogrammet Gemini, og i en reell situasjon ville det vært nødvendig med en visuell inspeksjon av viktige punkt underveis i ledningen.

3.5.1 Forutsetninger

En ledningsinspeksjon må vurderes ut fra nøkkelprinsipper for VAV:

3.5.1.1 Robusthet og resiliens

En robust vannforsyning er en vannforsyning som kan opprettholde normal forsyning under negative hendelser i nettet, som ledningsbrudd eller bakterieutbrudd (Bjørkvoll et al., 2015). Resiliens er et viktig element i en robust vannforsyning, og beskriver hvor enkelt nettet kan returnere til normal tilstand etter en hendelse (Bjørkvoll et al., 2015). Dette kan måles både i tid- og pengebruk knyttet til å få nettet tilbake i normal drift.

For å sikre et robust ledningsnett er det viktig å etablere redundans. Det vil si at man har alternative forsyningsveier dersom en ledning skulle settes ut av drift. Denne redundansen bør ideelt kunne opprettholdes også ved bortfall av en ledning, slik at ledningsnettet ikke utsettes for unødvendig risiko ved planlagte arbeider.

Andre viktige elementer for å sikre en robust vannforsyning er å dimensjonere nettet og renseanleggene til å kunne håndtere større mengder enn hva som er nødvendig i en normal forsynings situasjon. Bassenger vil også bidra til å øke robustheten til nettet. Slike tiltak sikrer at nettet kan håndtere hendelser som store branner o.l.

Disse begrepene er viktige å tenke på når man skal vurdere om en ledningsinspeksjon lar seg gjennomføre. Ledningsinspeksjoner med inline-teknologi vil mest sannsynlig kreve stenging av vann i perioder, noe som vil øke sårbarheten i området i denne perioden. Man må da vurdere om robustheten i nettet er opprettholdt, eller om området blir for sårbart til at inspeksjonen lar seg gjennomføre.

3.5.2 Elementer ved inspeksjonen

3.5.2.1 Ledningsstrekket

Ledningsstrekket er 3823,74 meter langt, og strekker seg fra Furulund til Disen. Underveis krysser ledningen Akerselva. Ledningen varierer i både diameter, materiale og byggeår, og består av følgende materialer, med tilhørende total lengde:

Materiale:	Total lengde:
Armert, umettet glassfiber	470,48
Støpejern, grått	602,82
Støpejern, duktilt	174,87
Stål	2574,6

Tabell 3: Viser lengde ledning av forskjellig rørmateriale

Mesteparten av ledningen består av stål. SmartBall fungerer på alle rørmaterialer, så en variasjon i disse vil ikke være et problem for instrumentet.

Ledningen er bygd i flere omganger, og er av varierende alder. De eldste strekkene er fra 1920, og det yngste strekket er fra 2018. Mye av ledningen ble lagt i 1942, og snittalderen på ledningen er ca. 60 år.

Hele strekket av ledningen er i drift. Det er ikke kjent hvorvidt det er noe indre belegg i ledningen. Diameteren varierer flere ganger underveis, men er aldri mindre enn 600 mm. Siden SmartBall kan inspisere ledninger ned til ca. 102 mm, er strekket stort nok for en inspeksjon. Fordelingen av diameter er som følger:

Diameter:	Total lengde:
600 mm	539,19 m
700 mm	22,92 m
800 mm	2693,41 m
900 mm	553,72 m
1000 mm	14,5 m

Tabell 4: Viser lengde ledning med forskjellig diameter

3.5.2.2 Innføring og uttak av instrumentet

Et viktig moment i planleggingen av en rørinspeksjon er å etablere punkter hvor instrumentet kan føres inn og ut av røret. I utgangspunktet har SmartBall stor nok rekkevidde til å inspisere hele ledningen i ett strekk. I så fall ville det kun være nødvendig med ett innføringspunkt, og ett uttakspunkt. Hindringer underveis i ledningen kan derimot føre til at man er nødt til å ta opp ballen og sette den inn igjen underveis. Dette hadde gjort inspeksjonen mer omfattende og tidkrevende, og er derfor noe som bør unngås.

Gemini viser at det er totalt 49 kummer på strekket.

Som en del av inspeksjonen vil man feste sensorer i kummer langs strekket, som beskrevet tidligere i oppgaven. Det vil derfor være nødvendig å inspisere alle kummer som er pekt ut som mulige punkter å plassere ut sensorer, for å undersøke tilgjengelighet, høyde i kummen,

tilstand på stige osv. Xylem anbefaler sensorer hver 500-1000 meter av ledningsstrekket (Pure Technologies Ltd., 2018).

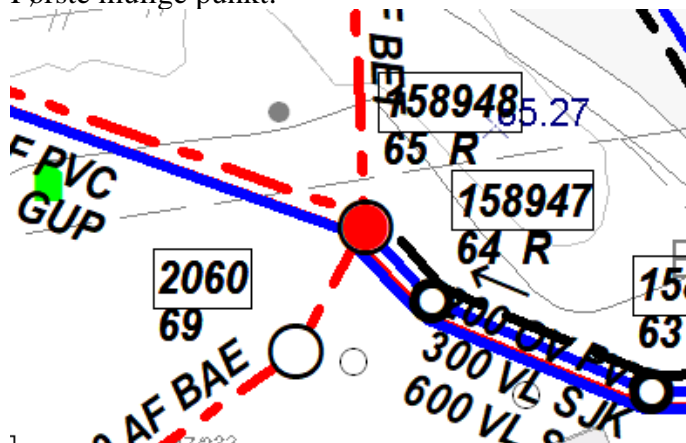
6 av kummene er kombinert vann og avløpskummer. Det er også 11 kummer som er kombinert vann og overvann. Jeg vil i utgangspunktet se på muligheten for å benytte kummer som kun har drikkevannsledninger, da kombinerte kummer kan ha en rekke utfordringer. Kummer kombinert med avløp kan være oversvømt, hvilket kan være en helserisiko for operatørene som må ned i kummen for å installere sensorer. Kummer med avløp kan dessuten ha rotter, hvilket utgjør en risiko for operatører som skal ned i kummen. Kombinert vann/overvann utgjør en noe mindre risiko for operatøren enn vann/avløpskummer, men det er likevel utfordringer knyttet til disse, med tanke på muligheten for oversvømmelse i kummen. Det er viktig at kummer inspiseres før man kan etablere om det er fornuftig å benytte dem i inspeksjonen.

Det er få kummer med ventiler på strekket. Dette begrenser muligheten for uttak og innsetting. Totalt fant jeg 7 kummer med en ventil på strekket. En eventuell installasjon av nye ventiler er noe VAV må konsulteres om hvorvidt er mulig dersom en inspeksjon avhenger av det. Det vil da være nødvendig å vurdere de økonomiske konsekvensene av et slikt tiltak, samt eventuelle problemer knyttet til stenging av vannet.

Av ventilene som er tilgjengelige på strekket, er det kun tre brannventiler, og tre lufterventiler. Brannventiler vil gi en tilstrekkelig tilgang til røret for innføring av en SmartBall. Det er derimot ikke alltid tilfelle med lufterventiler, som kan ha en rekke forskjellige utforminger. Her vil det igjen være behov for en visuell inspeksjon for å undersøke utformingen til lufterventilene. Dersom man kun skal anse brannventilene som aktuelle for innføring av SmartBall, vil man bare ha tre punkter hvor det er mulig å føre ballen inn og ut, og det eneste tilgjengelige strekket for inspeksjon vil være mellom disse tre.

Mulige innsetningspunkter på ledningen (Fra Gemini VA):

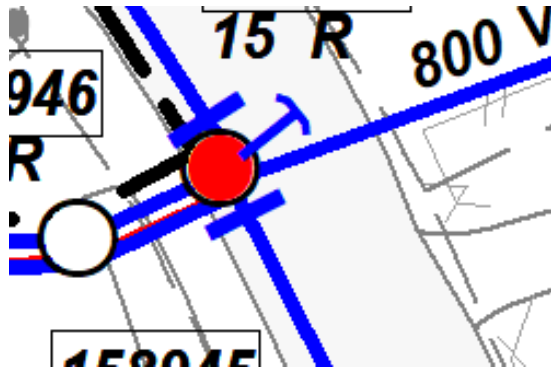
Første mulige punkt:



Figur 23: Første mulige innsetningspunkt

Kummen inneholder den første brannkummen på ledningsstrekket. Kummen befinner seg 732 meter fra startpunktet. Kummen er en kombinert vann- avløp- og overvannskum. Dersom denne kummen skal benyttes må den inspiseres, slik at man kan kartlegge hvordan ledningene ligger i kummen. Dersom det er åpent avløp i kummen bør den ikke brukes som innsetningspunkt.

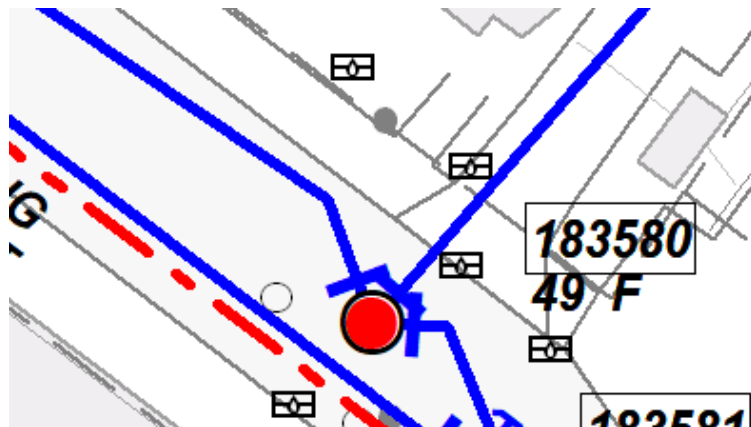
Et alternativt punkt for innsetting av SmartBall ligger 25 meter nedenfor det første mulige punktet. Kummen ligger dermed 757 meter fra startpunktet.



Figur 24: Alternativt innsetningspunkt

Denne kummen er kombinert overvann og drikkevann. Ved å unngå kummer med avløp, kan man unngå visse problemer som kan eksistere i avløpskummer (gass, rotter, åpent avløp). Å velge denne kummen som innsetningspunkt vil ikke avkorte det inspiserte strekket med ledning nevneverdig.

Uttaks-punkt:



Figur 25: Et mulig uttakspunkt

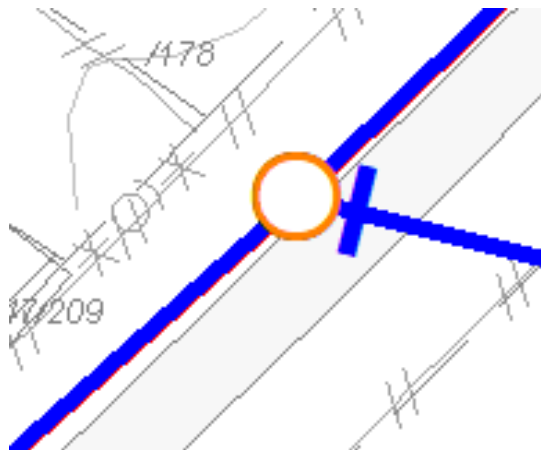
Denne kummen er den siste kummen med brannventil på strekket, og dersom SmartBall skal hentes ut av en brannkum, vil den måtte hentes ut i dette punktet. Denne kummen brukes kun til vannledninger.

Denne kummen ligger 1877 meter fra brannkummen som ble ansett som den mest lovende for innsetting av SmartBall. Det vil si at dersom man kun skal bruke brannkummene som er tilgjengelige på ledningen per i dag, vil den maksimale lengden man kan inspisere på dette strekket være 1877 meter. Det totale strekket tiltenkt for inspeksjon er 3823,74 meter. Totalt vil man dermed kun være i stand til å inspisere 49% av det opprinnelig tiltenkte ledningsstrekket. Om man ønsker å øke lengden ledning tilgjengelig for inspeksjon, vil man være nødt til å se på alternative ventiler å benytte til innføring av SmartBall. Alternativt vil man være nødt til å montere flere brannventiler på strekket. Dette vil være kostbart å gjennomføre, og siden det er snakk om ledninger med stor diameter, kan stenging av vann i dette området knyttet til slikt arbeid gå på bekostning av leveringssikkerheten.

3.5.2.3 Kritiske punkt på ledningen

Det er flere punkt på ledningen som kan skape problemer under en inspeksjon. Disse er beskrevet under.

Punkt 1:



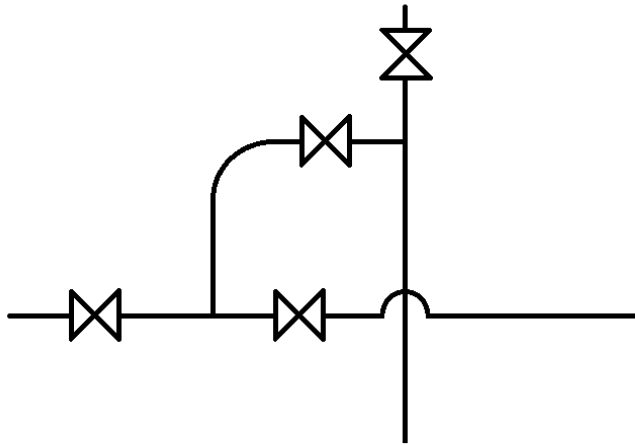
Figur 26: Første sårbare punkt på ledningen. Fra Gemini VA

Dette punktet ligger ca. 90 meter fra startpunktet. Hovedledningen er 800 mm i diameter i dette punktet, og den påkoblede ledningen er 300 mm i diameter. Som man kan se av bildet, er det en stengeventil på den påkoblede ledningen, slik at denne kan stenges under inspeksjonen. Problemet er at det påkoblede røret leder til viktig infrastruktur, og stenging av dette røret vil nødvendigvis gjøre vannforsyningen mer sårbart. Infrastrukturen i området får vann fra andre ledninger, og dette røret er dermed ikke kritisk for å sørge for vannforsyning. Det vil imidlertid være opp til VAV å vurdere sårbarheten til leveransen av vann til området dersom man stenger denne ledningen.

I en vurdering av hvorvidt man burde stenge dette røret for å gjennomføre en inspeksjon, bør man vurdere risikoen for flere andre store hendelser i nettet under inspeksjonen. Denne risikoen bør vurderes opp mot hvilken risiko/skade som vil oppstå dersom det skulle skje en større hendelse på ledningsstrekket man ønsker å inspisere med SmartBall. I områder hvor man har lite oversikt over tilstanden på ledningsnettet kan det eksistere sårbare punkter man ikke vet om. En inspeksjon av sårbare ledninger vil gi verdifull informasjon om tilstanden til ledningen, men må alltid veies opp mot risikoen en inspeksjon utgjør.

En vurdering av denne sårbarheten, samt akseptabel risiko knyttet til denne er ikke noe jeg vil gå nærmere inn på, da det innebærer en mer presis beskrivelse av forholdene i det aktuelle området. Det er derimot opp til VAV å vurdere. I mellomtiden vil jeg avskrive muligheten for å stenge denne ledningen, og vil heller gå ut fra at ballen må føres inn i ledningen på et punkt etter påkoblingen.

Punkt 2:



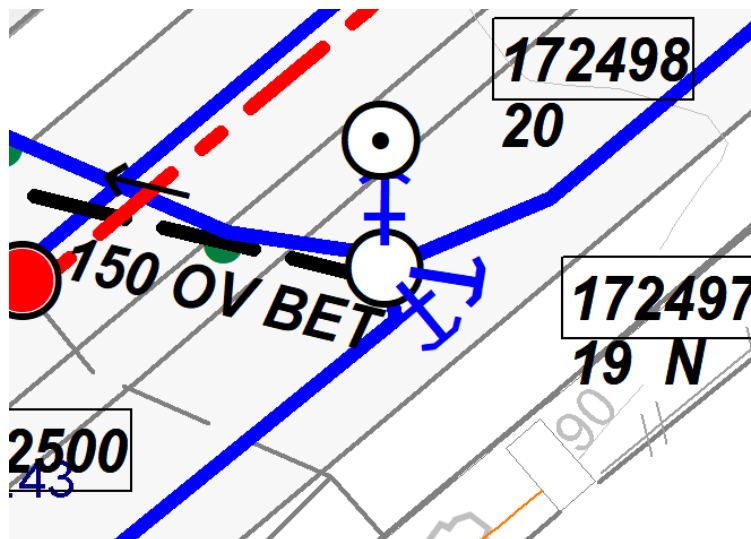
Figur 27: Illustrasjon av et kritisk punkt på ledningen

Dette punktet ligger 1511 meter fra det opprinnelig tiltenkte startpunkt. Hovedledningen er 800 mm i diameter i dette området. Det påkoblede røret uten stengeventil er 800 mm i diameter. Som man ser av figur 27, er det ikke mulig å stenge den påkoblede ledningen. Det vil dermed ikke være mulig å garantere at SmartBall ikke forsvinner inn i denne ledningen. Det er tilgjengelige stengeventiler noen meter inn på ledningen, men det er ingen tilgjengelige punkter å montere utstyr for uttak av SmartBall i dette punktet, og det vil dermed være vanskelig å få SmartBall ut av ledningen om den skulle havne i dette røret.

SmartBall kan dermed ikke passere dette punktet. Man vil dermed ha to alternativ for å gjennomføre en inspeksjon på dette strekket. En mulig løsning er å finne en alternativ trase for SmartBall, som unngår dette punktet. Undersøkelser i Gemini viser ingen åpenbare alternative traseer.

Et annet alternativ for å gjennomføre en inspeksjon på det opprinnelige strekket vil innebære å hente ut SmartBall før punktet, og sette SmartBall inn igjen etter dette punktet. Det vil medføre mye ekstra arbeid, og man vil også være avhengig av at det er tilgjengelige brannventiler på ledningen som SmartBall kan føres ut og inn av.

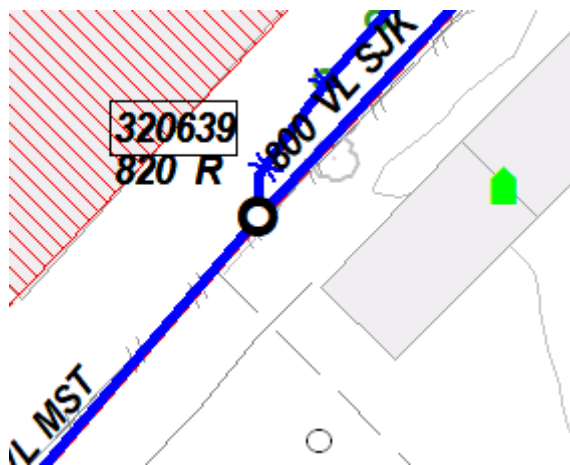
Punkt 3:



Figur 28: Et tredje problematisk punkt på ledningen

Dette punktet ligger 1636 meter fra startpunkt. I dette punktet er det et påkoblet 600 mm diameter rør uten stengeventil. Tegninger av kummen i Gemini VA viser en stengeventil et stykke inn på det påkoblede røret. Røret burde inspiseres før en eventuell inspeksjon med SmartBall kan igangsettes, slik at man kan fastslå hvorvidt denne ledningen er et hinder for SmartBall.

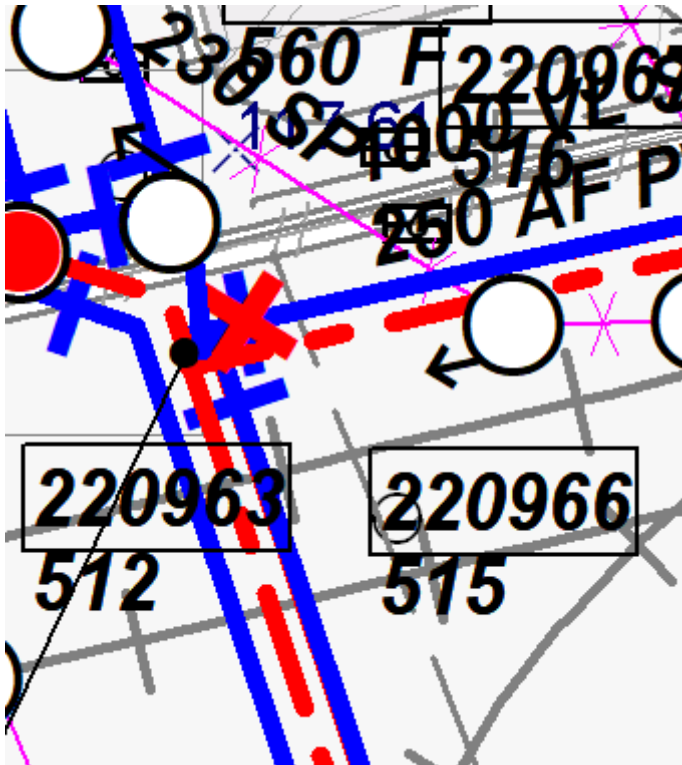
Punkt 4:



Figur 29: Påkoblet punkt uten stengeventil

Dette punktet ligger 2854 meter fra startpunkt. I dette punktet er en påkoblet 800 mm diameter ledning uten stengeventil. Dette krever nærmere undersøkelser for å fastslå hvorvidt denne ledningen er et mulig hinder for SmartBall å passere.

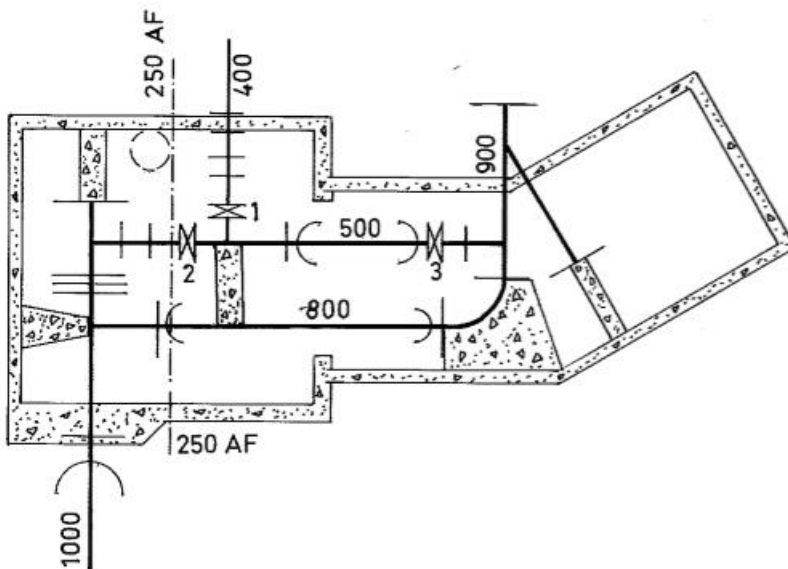
Punkt 5:



Figur 30: Et annet mulig kritisk punkt for en ledningsinspeksjon

Dette punktet ligger 3194 meter fra startpunktet. For å følge det opprinnelig tiltenkte ledningsstrekket skal SmartBall passere gjennom punktet der ledningen bøyer seg 90 grader. Den påkoblede ledningen som forsetter mot kummen har ifølge Gemini VA ikke noen stengeventil og kan derfor være problematisk for SmartBall å passere. Det er ingen tilgjengelige kumtegninger eller bilder i Gemini VA, og det vil derfor være nødvendig å inspisere kummen for å fastslå hvorvidt SmartBall kan passere punktet.

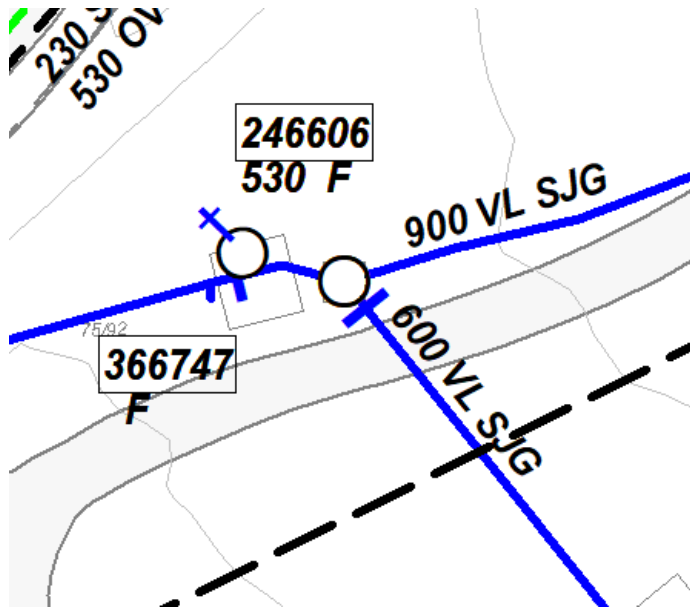
Punkt 6:



Figur 31: Et mulig problematisk punkt for SmartBall å passere

Dette punktet ligger 3209 meter fra startpunktet. Dette krysset vil også kreve en visuell inspeksjon, da det er et avansert rørkryss, uten stengeventiler som kan sikre at SmartBall ikke havner i feil rør. Siden krysset er avgrenset slik at begge ledninger ender i samme ledning, kan det hende SmartBall kan passere, dersom krysset er laget slik at SmartBall uansett vil havne i den tiltenkte ledningen igjen, og det ikke er noen lommer hvor SmartBall kan bli sittende fast, uten at man kan få den ut igjen. Dette er noe som er vanskelig å fastslå ut fra tegningen av kummen, og en visuell inspeksjon vil derfor være nødvendig i denne kummen.

Punkt 7:



Figur 32: Påkoblet ledning uten stengeventil

Dette punktet ligger 3770 meter fra startpunktet. I dette punktet er en ledning med 900 mm diameter uten stengeventil koblet til det tiltenkte ledningsstrekket. SmartBall vil ikke være i stand til å passere dette punktet, som ligger ca. 54 meter fra det tiltenkte endepunktet.

Det vil være to måter å håndtere dette punktet på. Det første alternativet vil være å hente ut SmartBall før punktet. Dette vil redusere lengden ledning inspisert med SmartBall.

Alternativt kan man stenge ledningen SmartBall var tenkt å passere gjennom, og så la SmartBall gå inn i røret på 900 mm. Man vil da være avhengig av å finne en kum hvor SmartBall kan hentes ut fra ledningen på 900 mm. Dette vil derimot ikke være en løsning i dette tilfellet, da denne ledningen ikke har noen brannventil.

3.5.2.4 Innvendige ventiler på ledningsstrekket

Undersøkelser i Gemini VA viste totalt 21 ventiler:

Ventiltype:	Antall:
Sluseventil	10
Spjeldventil	11

Tabell 5: Viser antall sluse- og spjeldventiler på ledningsstrekket

Spjeldventiler kan være en utfordring for SmartBall å passere. Siden spjeldet er plassert i midten av rørtverrsnittet, halverer det diameteren tilgjengelig for SmartBall. Hvorvidt en spjeldventil vil være en utfordring for SmartBall å passere avhenger av diameteren på røret.

Etter en gjennomgang av alle spjeldventilene på strekket viser det seg at samtlige, med unntak av én, befinner seg i rørstrekk med 800 mm diameter. Den siste spjeldventilen er i et rør med 600 mm diameter, og befinner seg mot enden av strekket. I samtaler med Xylem er det etablert at SmartBall kan passere spjeldventiler uten problemer på rør med diameter over 400 mm. Dermed vil ingen av spjeldventilene på det aktuelle strekket utgjøre noe problem for SmartBall.

For å etablere en god oversikt over ledningsstrekket burde operatører fra VAV sjekke ventilene på strekket før en eventuell inspeksjon. Opplysninger fra Gemini VA er ikke alltid pålitelige, og man vet av erfaring at sluseventiler i Gemini VA kan vise seg å være spjeldventiler i virkeligheten, og motsatt.

3.5.2.5 Stikkledninger

Dersom ballen skal kunne passere gjennom ledningen uten noen risiko for å forsvinne inn i stikkledninger, er det viktig at alle stikkledninger kan stenges under inspeksjonen. Ledningen passerer flere ledningskryss, og det er også enkeltledninger koblet til ledningen.

Under inspeksjonen av Sørkedalsledningen (kapittel 3) ble alle stikkledninger stengt, hvilket førte til bortfall av vann for abonnentene knyttet til disse ledningene. Dette påvirket ikke så mange abonnenter, da mange av beboerne i nærheten har egen vannforsyning, og området ikke er tett befolket.

Denne ledningen er derimot i et område hvor mange abonnenter kan bli berørt. En ideell løsning ville være om man kan levere vann fra annet hold under inspeksjonen. Alternativt må man se an hvor lenge en inspeksjon vil vare, og se om det er akseptabelt med brudd i vannforsyningen for abonnentene i denne perioden. Dette er derimot kun mulig dersom ingen viktig infrastruktur berøres. Det er også sårbart med tanke på tidspunktet for inspeksjonen. Dersom man må stanse vannforsyningen til svært mange abonnenter, vil det være best å gjøre dette i en tidsperiode hvor det er lavt forbruk, som midt på dagen. Det er derimot alltid en fare for at inspeksjonen vil ta lenger tid enn først antatt, slik som var tilfelle både for SmartBall- og Sahara-inspeksjonen (kapittel 3). En planlagt inspeksjon i arbeidstiden kan dermed bli forsinket, med det resultat at abonnenter står uten vann rundt middagstider, en periode hvor vannforbruket er høyt. En inspeksjon på natten kan være et mulig alternativ for å sørge for at færrest mulig abonnenter rammes.

Det er totalt 11 påkoblede ledninger med stengeventil på strekket. Jeg har ikke tatt med ledninger uten stengeventil, eller påkoblede ledninger i punkter SmartBall ikke kan passere på grunn av andre ledninger uten stengeventil.

Diameter	Antall
150 mm	1
300 mm	3
320 mm	1

450 mm	1
500 mm	3
600 mm	1
800 mm	1

Tabell 6: Viser antall påkoblede ledninger av forskjellig diameter.

Som man kan se av tabellen, er det snakk om ledninger av relativt høy diameter. Stenging av disse ledningene kan dermed i verste fall påvirke vannforsyningen i området.

For å kunne forutse hvordan stenging av disse ledningene vil påvirke resten av ledningsnett, kreves modellering i en hydraulisk modell. Dette er arbeid som VAV kan vurdere å benytte videre. En vurdering av sårbarheten til nettet knyttet til disse ledningene vil også være nødvendig å gjennomføre før en inspeksjon kan igangsettes.

3.5.2.6 Tapping av ledningen

SmartBall krever en viss vannstrøm for å bevege seg fremover. Hvor høy vannføring som er nødvendig avhenger av eventuell stigning på ledningen.

Vannføringen i ledningen vil også være viktig å etablere. Denne vil antakeligvis synke når påkoblede ledninger stenges under inspeksjonen.

Under inspeksjonen av Sørkedalsledningen tappet man vann ut til en bekk i området for å øke vannføringen i ledningen. Dersom man skal øke vannføringen i ledningen vil man være nødt til å tappe vann av ledningen. Det vil dermed være nødvendig å etablere mulige resipienter som kan ta imot vannet. Siden ledningen har en diameter på ca. 800 mm vil det være snakk om store vannmengder som må håndteres.

Siden ledningen krysser Akerselva, kan denne kanskje være en mulig resipient under første del av inspeksjonen.

Dersom vannføringen er høy nok til å drive SmartBall fremover, er det ikke nødvendig å tappe vann fra ledningen. Sørkedalsledningen har et lavere forbruk enn mange andre ledninger, da det er snakk om et endestykke på en ledning. Ledninger i et høyere forbruk vil ha en større vannhastighet, og det kan derfor være unødvendig å tappe vann fra ledningen.

3.5.3 Diskusjon

Ledningsstrekket som ble valgt ut for oppgaven byr på en rekke utfordringer. De mest kritiske er mangelen på brannventiler på strekket, som hindrer inspeksjon av store deler av ledningen. De påkoblede rørene uten stengeventil utelukker også deler av strekket, da dette er punkter SmartBall ikke kan passere.

I samtaler med ansatte i VAV har det kommet frem at det i punkt 2 (figur 27) kommer vann fra en stor forsyningsledning. Det vil si at denne ledningen uansett ikke kan stenges, da denne leverer vann til ledningen som skal inspiseres. I denne samtalen ble det også gitt uttrykk for at ledningsstrekket fra dette punktet, frem til Furulund, har vært vurdert for en SmartBall-inspeksjon før, men er funnet uegnet for formålet. Dette er fordi vannforsyningen i området er ansett som for sårbar dersom man stenger denne ledningen. Selv om selve inspeksjonen kan

gjennomføres uten å stenge vannet, har man tidligere vært nødt til å stenge vannet før inspeksjoner for å montere de rette ventilene. En mangel på ventiler på strekket har også blitt sett på som en årsak til at strekket ikke bør inspiseres.

Dermed er første halvdel av strekket utelukket for inspeksjon. Den andre halvdel kan vurderes for inspeksjon, men her er det som nevnt tidligere en rekke utfordringer på strekket, og deler av strekket har allerede blitt vurdert som uegnet for inspeksjon.

Det kan derfor se ut som om en SmartBall-inspeksjon vil være uegnet på dette strekket, da man må vurdere økonomien ved en slik metode. En SmartBall-inspeksjon er kostbart, sammenlignet med andre metoder, og det burde derfor være ønskelig å få mest mulig data ut av inspeksjonen. Såpass korte ledningsstrekk kan inspiseres av andre, enklere metoder for lekkasjesøk.

Man må her også vurdere tidsbruken knyttet til en SmartBall-inspeksjon. Installeringen av innsetnings- og uttaks-utstyret tok flere timer hver sist gang VAV benyttet metoden. Det var riktignok litt problemer underveis som forsinket installasjonen noe, men selv uten problemene er installeringen tidkrevende. Dersom man til gjengjeld får utfyllende informasjon om flere kilometer med ledning, blir ikke den relative tidsbruken per km inspisert stor. Men om man skal bruke flere timer på å installere inntak- og uttaks-punkt gjentatte ganger på et strekk for å få inspisert i underkant av to km ledning, vil tidsbruken i forhold til km ledning bli svært høy.

Sahara kan vurderes som et alternativ, om man anser ledningsstrekket som for komplisert til å inspiseres med SmartBall. Sahara krever likevel også ventiler for innføring av instrumentet, og man har tidligere benyttet brannventiler. Bruk av Sahara vil dermed medføre noen av de samme begrensningene som bruk av SmartBall når det kommer til innføring av instrumentet. Sahara krever derimot ikke en egen uttakskum, da Sahara trekkes ut av samme punkt som det ble satt inn i.

Generelt:

Det er i utgangspunktet en rekke ledninger på VAVs ledningsnett som kan være aktuelle for inspeksjon ved hjelp av SmartBall. Det er derimot en del hindringer i nettet som kan gjøre ledninger uegnet for en inspeksjon.

En mulig hindring er det store antallet spjeldventiler i ledningsnettet. Mange av disse ventilene befinner seg på ledninger mellom 400-600 mm. Spjeldventiler er ikke nødvendigvis et problem for SmartBall å passere, med mindre de befinner seg på ledninger med diameter 400 mm eller mindre. I disse tilfellene vil Xylem måtte vurdere egnetheten til ledningen, ved hjelp av sine operatører.

Spjeldventiler er dermed ikke noe man trenger å ta hensyn til for ledninger større en 400 mm. Her vil derimot andre problemstillinger dukke opp. Man kan anta at jo større en ledning er, desto flere er avhengige av ledningen. Eventuelt bortfall av leveringssikkerhet på disse ledningene ved en inspeksjon kan derfor gi for store konsekvenser til at det kan aksepteres av VAV å risikere.

Der tilstedeværelsen av ventiler inne i røret kan gi problemer på noen ledninger, vil mangelen på utvendige ventiler kunne skape problemer for VAV ved inspeksjon med SmartBall. Som undersøkelsen av den spesifikke ledningen viste, vil mangel på utvendige ventiler kunne

vanskeliggjøre inspeksjoner med SmartBall. SmartBall er avhengig av ventiler for å settes inn og hentes ut. Videre bruk av SmartBall på VAVs ledningsnett kan dermed være avhengig av den videre utbyggingen av ledningsnettet.

4. Avsluttende analyse og konklusjon

Gjennom femtrinnsplanen for lekkasjereduksjon ønsker VAV å få et mer effektivt aktivt lekkasjesøk. Planen innebærer testing av nye metoder for å kunne oppdage enda mindre lekkasjer, samt åpne for å kunne inspisere ledninger som før har vært vanskelig å inspisere. Inline-metoder åpner for nye muligheter innenfor lekkasjesøk, men metodenes egnethet for VAV sitt ledningsnett avhenger av lokale forhold, samt hvordan VAV bygger sitt ledningsnett videre.

Testingen av inline-metodene Sahara og SmartBall (kapittel 3) var vellykket, og demonstrerte metodenes egnethet for lekkasjesøk over lengre strekninger. Testingen ble imidlertid gjort på et ideelt ledningsstrek som ikke belyste alle utfordringer knyttet til inline-metoder, spesielt for frittgående instrumenter som SmartBall.

Kartleggingen av ledningsstrekket i kapittel 3.4 viste hvor krevende det kan være å gjennomføre en inspeksjon med inline-metoder, dersom ledningen ikke er tilpasset en slik inspeksjon. Bruk av spjeldventiler på ledninger med 400 mm diameter eller mindre utelukker ledningen for SmartBall-inspeksjon. Dersom man ønsker å benytte SmartBall i fremtiden, burde man derfor unngå spjeldventiler på ledninger med 400 mm diameter eller mindre. En annen vesentlig utfordring med SmartBall er faren for å miste instrumentet dersom det finnes påkoblede ledninger. Slike ledninger vil måtte stenges før SmartBall kan passere.

Onlinemodellen kan, dersom man lykkes i å implementere den, bli et viktig redskap å bruke i fremtiden, og kan effektivisere lekkasjesøk dersom det gir muligheter for å lokalisere områder med antatt mye lekkasje. Hvor viktig denne metoden blir i fremtiden, avhenger av hvor presis den kan bli.

Lekkasjesøk med satellitt er per i dag ikke verdt investeringen da det er svært lav treffsikkerhet og de ikke har klart å lokalisere lekkasjer som burde ha vært åpenbare dersom metoden fungerte så bra som det har vært antydning tidligere. Dersom de videreutvikler metoden og kan øke treffsikkerheten kan man vurdere metoden på nytt, men per i dag er ikke metoden egnet.

Inline-metoder gir muligheten til å foreta rørinspeksjoner på ledninger som før var svært vanskelig å inspisere (pga. stor diameter, lydsvakt materiale, få kummer osv.). Teknologien kan benyttes til rent lekkasjesøk, men da disse metodene er kostbare og tidkrevende, burde de benyttes over et lengre rørstrek dersom man bestiller dem.

En tilstandsvurdering av store, kritiske ledninger er noe etaten burde vurdere om er mulig å utføre. Per i er man usikker på tilstanden i noen viktige ledninger i nettet. En inspeksjon av disse ledningene med inline-metoder kan gi VAV verdifull innsikt i ledningenes tilstand, noe som igjen kan gi VAV muligheten til å være bedre forberedt på hendelser på disse ledningene. Før dette kan gjennomføres, må man vurdere hvorvidt en inspeksjon av ledningen lar seg gjennomføre på en forsvarlig måte, eller om det setter ledningens funksjon i fare.

Det finnes etter hvert mange forskjellige typer inline lekkasjeteknologi på markedet, med forskjellige fordeler og ulemper. SmartBall og Sahara har fordelen av å allerede være testet av VAV, med resultater som hittil virker lovende. Annen teknologi kan vurderes som alternativ til SmartBall/Sahara. Hittil er Pipe-Inspector det beste alternativet jeg har funnet i Norge.

Per i dag gjennomføres mye lekkasjesøk i VAV i form av rutinesøk (med lydloggere, korr. loggere, geofon osv.). Rutinesøk er knyttet til relativt lave kostnader, da man først og fremst betaler for timelønnen til de ansatte som utfører arbeidet, samt kostnader knyttet til innkjøp og vedlikehold av utstyret de ansatte benytter. Dersom man i fremtiden kan få et mer presist lekkasjesøk, for eksempel ved hjelp av VAV sin online-modell, eller ved å etablere flere målesoner, kan man få et mer effektivt lekkasjereduksjonsarbeid, og behovet for rutinesøk kan minske. I stedet for å bruke tid på å kontrollere ledninger hvor det ikke er noen indikasjoner på lekkasje, kan man kanskje i fremtiden oppdage lekkasjer innenfor mindre områder, og gjennomføre finsøk i disse områdene. Dette vil friggi mye tid for lekkasjesøkerne, og kan gi flere oppdagede lekkasjer per arbeidstime.

Inline-teknologi er et dyrere alternativ, men åpner til gjengjeld for muligheten til å vurdere store, utilgjengelige ledninger i ett strekk. På slike ledninger, som kan være vanskelige å inspisere med de tradisjonelle metodene, kan inline være et viktig instrument. Denne teknologien er derimot mindre egnet for ledninger med svært mange påkoblinger, da instrumentene er sårbare inne i røret. En inspeksjon med et tjoret instrument, som Sahara, kan da vurderes som et alternativ. Sahara kan også spores i rør av flere materialer, og kan dermed kanskje anses som et tryggere alternativ i et uoversiktlig ledningsnett.

Inline-teknologi har en del begrensninger, som man må være forberedt på før man tar i bruk metoden.

Den første er planleggingen som må til for å gjennomføre en inspeksjon. Dette er ikke en metode man kan bruke dersom man mistenker en lekkasje og har et ønske om å raskt fastslå hvor lekkasjen befinner seg. Inspeksjoner med inline-teknologi tar lang tid å planlegge, og kan kreve mye tilrettelegging før man kan gjennomføre inspeksjonen.

Selv om instrumentet kan føres inn i ledningen uten å stenge vannet, er man nødt til å stenge ledninger koblet til ledningen som inspiseres, ved bruk av fritt svømmende metoder. Man kan derfor likevel anta at noen abonnenter vil være uten vann under inspeksjonen. Dette er ikke noe man trenger å bekymre seg for med tradisjonelle, akustiske metoder for lekkasjesøk.

Dersom man ikke lykkes i å stenge alle ventiler til påkoblede rør, risikerer man at instrumentet forsvinner i et slikt rør. Dette vil stanse inspeksjonen, og data samlet inn vil gå tapt dersom man ikke klarer å finne igjen instrumentet. Instrumentet kan i verste fall tapes i systemet, hvor det kan gi problemer for drift. Inspeksjonen med SmartBall demonstrerte derimot at det er fullt mulig å gjennomføre en inspeksjon av et relativt langt strekk, uten problemer.

Inline-teknologi er også kostbart å benytte til inspeksjoner, da det ofte må leies inn av selskapet som tilbyr teknologien.

Under en inspeksjon vil man måtte sikre seg at vannstrømmen er høy nok til å bevege instrumentet fremover. I noen ledninger vil vannet bevege seg relativt tregt, som i Sørkedalsledningen. Da er man avhengig av å kunne tappe vann av ledningen for å sikre en

høy nok hastighet på vannet. Det kan være en utfordring å tappe vann fra en ledning, da dette vannet må føres ut i en egnet resipient. Det kan her være snakk om store vannmengder, som Sørkedalsledningens 90 liter per sekund. Det vil være nødvendig å søke om tillatelse dersom man skal slippe vannet ut til en resipient, hvilket krever at man kan dokumentere at vannet ikke inneholder stoffer som kan være skadelige for resipienten, som f. eks klor. Dette ble gjort før inspeksjonen av Sørkedalsledningen, hvor man kunne vise at vannet ikke inneholdt klor.

Å finne en egnet resipient i Oslo kan være en utfordring, men mulige resipienter kan være bekker, elver eller innsjøer.

Inline-teknologi gir også kun en indikasjon på lekkasjer i øyeblikket, i motsetning til f. eks soneregnskap, som gir en mer kontinuerlig overvåking av ledningsnett. Det samme kan riktignok sies om rutinesøk, så dette er ikke en stor ulempe med teknologien.

Tid- og pengebruk knyttet til metoden må sees i sammenheng med hvor mange lekkasjer man oppdager ved å bruke metoden, og hvor presis lokaliseringen av lekkasjen er. Resultatene fra SmartBall og Sahara har hittil vært lovende, men uten noen verifisering av metoden er det vanskelig å konkludere. Dersom man fortsetter verifisering av metoden, med positive resultater, kan man vurdere videre bruk av metoden.

VA-norm for Oslo kommune legger føringer for hvilke rørmaterialer Oslo kommune skal benytte seg av når de legger nye rør. Ved konvensjonell graving skal duktile støpejernsrør benyttes, med mindre det er aggressive grunnforhold (alunskifer). Det skal i så fall benyttes PE-rør. PE-rør skal også benyttes ved bruk av gravefrie løsninger, som utblokking eller inntrekking. (Norsk Vann)

VAV legger dermed opp til at store deler av nettet også i fremtiden vil bestå av duktile støpejernsrør. Det betyr at tradisjonelle metoder for lekkasjesøk (geofon, lydloggere, korr. loggere osv.) vil fortsette å være viktige lekkasjesøksinstrumenter i fremtiden, da disse metodene er svært presise, og fungerer godt på duktilt støpejern.

Erfaring hittil har vist at VAV sitt ledningsnett ikke er tilpasset inline-metoder, og det kan være nødvendig å installere utstyr på ledningen i forkant av inspeksjoner med inline-metoder. Det kan her for eksempel være snakk om å installere ekstra ventiler. Disse installasjonene vil øke både kostnadene og tidsbruken knyttet til hver inspeksjon. Inline-metoder forutsetter også at man har tilstrekkelig med brannventiler på strekningen, som er plassert på en slik måte at de kan benyttes for innføring av instrumentet. På strekk med få egnede ventiler kan det være vanskelig å gjennomføre en inspeksjon.

Man er riktignok kun nødt til å gjennomføre disse installasjonene en gang, og dersom man ønsker å gjennomføre inline-inspeksjoner på ledninger jevnlig, unngår man disse kostnadene ved senere inspeksjoner.

For å sikre effektivt lekkasjesøk i fremtiden må man ta hensyn til lekkasjesøk ved planlegging av nye ledninger/rehabilitering av eksisterende ledninger. Dette gjelder spesielt ved legging/rehabilitering av ledninger som er vanskelig å søke etter lekkasjer på, som ledninger med innvendig strømppe, eller vara-rør. Ved å planlegge for tilgjengelighet senere kan man spare driftsavdelingen mye tid og ressurser ved senere inspeksjoner. Dette åpner også for at man kan gjennomføre inspeksjoner med inline-metoder på en enklere og mer effektiv måte i fremtiden.

VAV burde fortsette sitt arbeid med å kartlegge hvilke ledningsstrekk som kan være aktuelle for inline-metoder. Inline-metoder har ikke de samme begrensningene knyttet til ledningsdiameter og -materiale som mer tradisjonelle metoder for lekkasjesøk, og kan derfor være et viktig redskap i VAVs videre arbeid med lekkasjereduksjon. Hvor nyttig metoden kan bli for VAV avhenger av hvor egnet det eksisterende ledningsnett er, samt utformingen av fremtidige ledninger.

Referanseliste

- AS, T. V. 2018. *Nedre Romerike Vannverk og Skedsmo Kommune tar i bruk satellitter i verdensrommet for å finne lekkasjer av drikkevann på ledningsnettet!* [Online]. <http://www.tetavannrensing.no/satellittbasert-lekkasedeteksjon-forst-i-skandinavia/>; tetavannrensing.no. [Accessed 07.02.19 2019].
- ASLE FLATIN, A. V. 2009. Erfaringer med lekkasjekontroll. *Norsk Vann Rapport*. Norsk vann.
- BJØRKVOLL, T., LIUM, A.-G. & HALVORSEN, T. 2015. Verdien av en robust vannforsyning- Hvordan verdsette konsekvenser av brudd i drikkevannsforsyningen?
- BOND, A., MERGELAS, B. & JONES, C. 2004. Pinpointing leaks in water transmission mains. *Pipeline Engineering and Construction: What's on the Horizon?*
- CHATZIGEORGIOU, D. M., WU, Y., YOUCEF-TOUMI, K. & BEN-MANSOUR, R. Reliable sensing of leaks in pipelines. ASME 2013 Dynamic Systems and Control Conference, 2013. American Society of Mechanical Engineers, V002T25A004-V002T25A004.
- FARLEY, M. & TROW, S. 2003. *Losses in water distribution networks*, IWA publishing.
- FHI 2016. Vannforsyning og helse: Veiledning i drikkevannshygiene.
- FLETCHER, R. & CHANDRASEKARAN, M. 2009. Smartball (Tm) - a New Approach in Pipeline Leak Detection. *Ipc2008: Proceedings of the Asme International Pipeline Conference - 2008, Vol 2*, 117-133.
- FOSSHEIM, B., BARALDSNES. 2018. Stor vannlekkasje i Oslo – flere boliger har fått skader. tv2.
- GUY, L. 2018. *System and method of underground water detection*. 15 / 832,775
- HAMILTON, S. A. & CHARALAMBOUS, B. A. 2013. *Leak detection : technology and implementation*, IWA Publishing.
- HENRICH, G., TAFERNER, M. & HUAINIG, M. 2017. Simultaneous Cable-Less Video Inspection of Pipelines with Integrated Leak Detection. *Pipelines 2017*.
- INTERCONSULT AS 1997. Grøfteutførelse stive rør. *VA miljø-blad*, 6.
- IWA. *About us* [Online]. <https://iwa-network.org/about-us/>. [Accessed 15.04 2019].
- JOHANSEN, T. A. 2004. *Det viktige vannet: Norsk vann- og avløpshistorie*, Interconsult ASA.
- JOHNSEN, B. 2015. Brudd på vannledning tørrla hele Sørenga. *Aftenposten*.
- KEMI, T. F. 2010. Hovedplan vann.
- LINDHOLM, L., BJERKHOLT 2012. Fremmedvann i nordiske avløpsledningsnett.
- LIU, Z. & KLEINER, Y. 2013. State of the art review of inspection technologies for condition assessment of water pipes. *Measurement*, 46, 1-15.
- MATTILSYNET 2017. VEDTAK OM Å ETABLERE EN FULLGOD RESERVEVANNFORSYNING OG VEDTAK OM Å LEGGE FRAM EN FRAMDRIFTSPLAN. <https://www.oslo.kommune.no/politikk-og-administrasjon/slik-bygger-vi-oslo/vannforsyning-oslo/#gref>.
- NORSK VANN VA norm Oslo. <http://va-norm.no/dokument/5-transportssystem-vannforsyning/5-6-rorledninger/?source=207&override=1&real=15608&l=nb>.
- NÆS, K. 2017. *Lekkasjereduksjon på vandrdistribusjonsnett: strategi for Nedre Eiker kommune*. Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- OSLO KOMMUNE 2015a. Fagrapport vannforsyning.
- OSLO KOMMUNE 2015b. Hovedplan vannforsyning 2015-2030.
- OSLO KOMMUNE 2017. Plan for lekkasjereduksjon.
- OSLO KOMMUNE 2019. Plan for lekkasjereduksjon, Kvartalsrapport 2, Mars 2019.
- PERELMAN, B. L. & OSTFELD, A. 2013. Operation of remote mobile sensors for security of drinking water distribution systems. *Water Res*, 47, 4217-26.

PURE TECHNOLOGIES LTD. 2018. Preliminary SmartBall™ Inspection Plan for the Langlialedning DN600 Treated Water Pipeline

REIKVAM, S. 2013. *Frostskader på drikkevannsledninger*. Norwegian University of Life Sciences, Ås.

RØE, P. S. 2018. Ser vannlekkasjene fra verdensrommet. *Vannspeilet*. Norsk Vann.

SKAAR, B. S. 2013. *Fornyingsstrategi for vann-og avløpsnett og bærekraftanalyse for rehabilitering av vannledninger*. Norwegian University of Life Sciences, Ås.

TRODAL, C. R. 2018. Store mengder vann fosset ut i Oslo sentrum. *tv2*.

WU, Y., KIM, K., HENRY, M. F. & YUCEF-TOUMI, K. Design of a leak sensor for operating water pipe systems. *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2017 IEEE/RSJ International Conference on, 2017. IEEE, 6075-6082.*

XYLEM 2017. Xylem to acquire Pure Technologies, a leader in smart infrastructure assessment and management for the water industry.

ØDEGAARD, H. 2014. *Vann- og avløpsteknikk*. 2.

Vedlegg 1: Rutinesøk

Hensikten med denne rapporten er å beskrive fremgangsmåten lekkasjesøkere i VAV bruker når de leter etter lekkasjer på drikkevannsledninger. Informasjonen gitt i rapporten er basert på samtaler med lekkasjesøkere ved Helsefyrt driftsstasjon, VAV.

Metode for lekkasjesøk:

Lekkasjesøkere på Helsefyrt har en rekke hjelpemidler for å lete etter lekkasjer. Disse er først og fremst de følgende:

- Korrelerende loggere
- Korrelator
- Ikke korrelerende GPRS-loggere
- Korrelerende GPRS-loggere
- GPRS-loggere med hydrofon

I vanlig rutinesøk benyttes korrelerende lydloggere. Lekkasjegruppa har 16 koffertar med korrelerende lydloggere, med 8 loggere i hver koffert.

De korrelerende loggerne festes på ledningen man ønsker å undersøke ved hjelp av magneter. De plasseres med ca. 200 meters mellomrom, og det er dermed mulig å lytte på ca. 1,6 – 1,8 km kommunal ledning, pluss private stikkledninger, per inspeksjon. Loggerne står en hel natt, og stilles inn til å lytte tre ganger i løpet av natten. Ved å ta tre opptak kan man utelukke forbruk. Det lyttes om natten på grunn av redusert forbruk og støy i denne tidsperioden. Hvert opptak varer i 45 sekunder.

For å få tilgang på informasjonen loggerne har hentet inn må loggerne tas ut av kummen, og informasjonen overføres til en PC. Lytterne er utstyrt med PCer i felt som har programmer som kan korrelere. For at programmet skal kunne korrelere, må operatøren først tegne inn ledningen som skal korreleres, og oppgi diameter, materiale og lengde mellom loggerne. Selve korreleringen er gjort på noen sekunder.

Loggerne har en feilmargen på 10%. Dette kan skyldes avvik i lydshastighet i røret, eller avvik i oppgitte ledningsparametere.

Dersom loggerne detekterer noe som kan være en lekkasje, vil neste steg være et fin-søk i området for å finne den eksakte posisjonen til lekkasjen. Dette gjøres ved å sette ut loggere nærmere den mistenkte lekkasjen, ved bruk av en korrelator, eller ved hjelp av geofon/marklytter.

Ventillytting benyttes også for å indikere lekkasjer. Marklytter kan benyttes til dette formålet.

Når det er enkel tilgang på ledningen, og lekkasjen er på en kommunal ledning, kan fin-søket ta kort tid. Dersom lekkasjen er på en privat stikkledning, vil det derimot ta lenger tid å påvise lekkasje, pga. Varsling av grunneier osv.

Lekkasjegruppa har som en generell regel at lekkasjepunktet skal være bekreftet gjennom 2/3 kanaler før man graver. Disse kanalene kan være ved synlig innlekk i andre rør, utslag på

korrelerende loggere, eller ved marklytting. Dette systemet sørger for at det relativt sjeldent forekommer at man angir feil punkt for graving (det anslås at dette skjer 5-10 ganger i året).

Lekkasjesøkerne har relativt frie tøyler i valg av hvor de ønsker å utføre rutinesøk, men man har en målsetting om å ha kontrollert hele ledningsnettet hvert andre år. Innmeldte lekkasjer og lignende prioriteres før rutinesøk.

Fordeler/ulempes med metoden:

- Fordeler
 - o Beste tilgjengelige metode slik ledningsnettet er i dag
 - o Veldig nøyaktig metode
 - o Plukker opp lydsvake lekkasjer som ellers ville ha blitt forbigått
 - o Blir veldig godt kjent i terrenget, når alt overføres til en pc vil man ikke ha den lokale kunnskapen man har i dag. Man får en inspeksjon av hvordan tilstanden i nettet er generelt
- Ulemper
 - o Tungvint /uoversiktlig
 - o Gir ingen kontinuerlig overvåking av området. Gir bare nå-status.
 - o Tar tid
 - o Har ikke et spesifikt mål å gå etter, må bare lete på måfå.

Status:

Søket gjennomføres på en så effektiv måte som dagens forhold tillater. Så lenge målesonene er såpass store og uoversiktlige, er lekkasjesøkerne fortsatt nødt til å kontrollere områder for lekkasjer ved hjelp av rutinesøk. Mindre målesoner, hvor man har kontroll på vannmengder inn og ut av sonen, ville ha gitt et mye mer effektivt lekkasjesøk, da man kunne ha friskmeldt soner uten å måtte kontrollere rørene inne i sonen. Det ville også ha gitt muligheten til en mer kontinuerlig overvåking av nettet. Dagens metode avhenger av at det ikke oppstår lekkasjer rett etter at området er blitt sjekket av lekkasjesøkere.

Dagens metode sørger for at nettet er under jevnlig tilsyn. Under rutinesøk kan feil/mangler utover lekkasjer oppdages av operatørene og meldes inn.

Kostnader ved metoden kan knyttes til timelønn for de ansatte, samt innkjøp/vedlikehold av utstyr. Mindre målesoner, samt utplassering av GPRS-loggere minsker behovet for rutinesøk, og vil gi en mer effektiv bruk av arbeidstimer for lekkasjesøkerne.

Lekkasjegruppa er svært fornøyde med metoden (fra samtale med John Westby), og anser korrelerende lydloggere som et viktig instrument i deres arbeid. I fjor ble ca. 166 lekkasjer funnet ved hjelp av lydloggere i rutinesøk (tall fra DV, hentet av Kjetil Tangen). Online-modell og annen lekkasjeteknologi vil ikke kunne erstatte behovet for fin-lokalisering av lekkasjer, men kan effektivisere metoden dersom man kan friskmelde målesoner ut i fra vannforbruket innenfor sonen.

Konklusjon:

Rutinesøk med lydloggere er en velkjent metode for lekkasjegruppa, som de er fornøyd med. Metoden gir gode resultater, og man har etablert gode rutiner for arbeidet. Så lenge store deler av ledningsnettet fortsatt består av duktilt/grått støpejern, vil korrelerende lydloggere fortsette å være et viktig redskap for lekkasjesøk.

Vedlegg 2: Satellitt

Denne rapporten beskriver Oslo kommunes testing av satellitt til lekkasjesøk som ble gjennomført i 2018. Informasjonen som er gitt om forsøkene er hentet fra samtaler med John Westby.

Metode:

VAV bestilte en demonstrasjon fra Teta Vannrensing AS. Demonstrasjonen ble gjennomført i uke 35 i 2018. Gjennomføringen tok 5 dager fra oppstartsmøte til resultatene ble presentert. Området som ble undersøkt var vest for rikshospitalet langs ring 3 og nordvest med hele Holmenkollen til og med kommunegrensen mot Bærum.

Satellitten går i bane rundt jorden, og kan ta fotografier hver gang den passerer et område. Man kan bestille jevnlige bilder fra området.

Bildene ble tatt rundt 15. Juli, og ble behandlet av selskapet. Resultatene ble presentert for VAV mandag 27. August. VAV kontrollerte deretter resultatene fra rapporten, ved lekkasjesøk i felt, for å undersøke om Tetas funn var reelle lekkasjer. VAV benyttet korrelerende lydloggere i området for å teste for lekkasjer.

VAV hadde før testen kjennskap til lekkasjer i området. Det var snakk om lekkasjer på stikkledninger. VAV ønsket å se om Teta klarte å finne disse.

Teta ønsket å få tilgang på ledningsnett på forhånd for å analysere sine funn før rapporten ble presentert for Oslo kommune VAV. VAV ga ikke Teta tilgang før de hadde presentert funnene sine.

Teori:

Metoden baserer seg på prinsippet at vannkilder både over og under bakken reflekterer elektromagnetiske bølger. Ulike vannkilder vil reflektere ulike bølgelengder. Dersom man vet hvilke EM-bølger som reflekteres av ulike vannkilder, kan man bruke denne kunnskapen til å identifisere en vannkilde i et område ved å registrere hvilke bølger som reflekteres når man sender EM-bølger mot et område (Guy, 2018).

Resultater:

Utilis presenterte 25 områder av interesse, hvor det kunne være lekkasjer. Dette var før VAV hadde gitt selskapet tilgang til informasjon om ledningsnett.

Etter de fikk tilgang på ledningsnett nedjusterte de antall punkter til 19. De 6 andre punktene som ble indikert var områder hvor VAV ikke har noe ledningsnett. I løpet av uke 35 ble 11 av disse punktene undersøkt. 8 er per i dag ikke undersøkt.

Av de 11 punktene som ble undersøkt fant man lekkasje i 3 punkter:

- 1 lekkasje i en ventil i en kum

- 1 lekkasje i en vannledning
- 1 lekkasje VAV visste om før prosjektet ble satt i gang

Under lekkasjesøket ble det også oppdaget flere lekkasjer som Utilis ikke hadde klart å indikere. Totalt var det 12 lekkasjer i området som ikke ble funnet. Disse var:

- 3 lekkasjer på vannledninger
- 8 lekkasjer på private stikkledninger
- 1 lekkasje på en ventil i en kum

I ett av punktene var det ingen vannledninger i nærheten. Det var derimot en myr i området.

Områdene som ble indikert av satellitten hadde stor diameter, og det medførte mye arbeid for VAV å søke etter lekkasjer i områdene som ble indikert.

Totalt ble ca. 160 timer internt ført i sammenheng med prosjektet.

Fordeler/Ulemper:

Fordeler:

- Kan gi mer effektivt lekkasjesøk
- Oppdage lekkasjer raskere
- Jevnlig overvåking av ledningsnettet
- Mulighet for å få bilder hver 2. måned

Ulemper (fra VAVs erfaring):

- Greier ikke skille mellom grunnvann/overflatevann/lekkasjevann
- Meget ressurskrevende
- Lav treffprosent

Konklusjon:

Metoden er per i dag for lite treffsikker, og for ressurskrevende.

Referanser:

GUY, L. 2018. *System and method of underground water detection*. 15 / 832,775

Vedlegg 3: Online-modellen

Big data:

Big data var i utgangspunktet et uttrykk som ble brukt for å beskrive hvordan mengden informasjon hadde blitt så stor at man måtte finne nye metoder å behandle dataene på. Denne informasjonsmengden er mye større enn hva et menneske kan behandle, og krever kraftige algoritmer for å kunne behandles. Selskaper som Amazon har benyttet Big Data til sin fordel, ved å kunne tilpasse anbefalinger og reklame til kunder basert på deres internetthistorikk (Mayer-Schönberger and Cukier, 2013). Google klarte på sin side i 2009 å demonstrere mulighetene Big Data ga, da de klarte å spore et influensautbrudd i sann-tid basert på hva brukere søkte etter på Google (Mayer-Schönberger and Cukier, 2013). Selskapet klarte dette ved å lage en programvare som sammenlignet søkeord i sin database med tidligere utbrudd av influensa (Mayer-Schönberger and Cukier, 2013). Programmet prøvde til sammen 450 millioner kombinasjoner, før det fant frem til en kombinasjon av 45 søkeord, som ga en indikasjon på hvor utbrudd ville oppstå som stemte svært godt med de tidligere utbruddene (Mayer-Schönberger and Cukier, 2013). Under et influensa-utbrudd i 2009 ga denne programvaren bedre indikasjoner enn helsemyndighetenes egne, som var basert på innrapportering fra leger (Mayer-Schönberger and Cukier, 2013).

Google demonstrerte dermed at det er mulig å utvikle programmer som leter etter sammenhenger innenfor enorme datamengder, og som kan gi svært presise prognoser basert på disse sammenhengene. Programmene klarer dette ved å gå vekk fra spørsmålet om hvorfor disse sammenhengene finnes, men heller konsentrere seg om hvorvidt de finnes. Med moderne prosessorhastigheter kan millioner av kombinasjoner testes ut, helt til en kombinasjon passer. Behandlingen av data handler ikke om at man skal lage programmer som tenker selv, men handler heller om å lage programmer som benytter matematiske modeller for å behandle data (Mayer-Schönberger and Cukier, 2013).

Big Data i VAV:

VAV samler kontinuerlig inn enorme mengder informasjon fra forskjellige kanaler. Store mengder sensorer plassert ut i nettet gir informasjon om vannhastighet og -mengder, trykk, turtall i pumper osv. I tillegg kommer innrapporterte meldinger, både fra eksterne og interne. Alt dette er tilgjengelig for VAV, men det har hittil ikke eksistert noen metode som gir VAV muligheten til å samle denne datamengden på en slik måte at de forskjellige parameterne kan sammenlignes med hverandre i stor skala.

Dette ønsker man å endre, ved å skape en online-modell i VAV hvor man kan kombinere all informasjon som VAV samler inn, og bruke denne informasjonen til å lære mer om ledningsnett og driften.

I første omgang skal denne informasjonen brukes i en online-modell som viser hydrauliske forhold i sann-tid i nettet. Denne modellen er på plass, men er enda ikke tatt i bruk av lekkasjesøkere på Helsfyr. Modellen viser hele VAVs ledningsnett, og bruker informasjon fra sensorene plassert ut i nettet til å vise trykk, hastighet, og andre parametere i de forskjellige punktene i nettet.

Verifisering av resultatene fra modellen foregår fortsatt, men resultatene har så langt vist seg å stort sett stemme godt.

Denne modellen kan bli et svært nyttig verktøy for lekkasjesøkere, samt resten av etaten, dersom den gir presise nok resultater. Man kan overvåke nettet på en mye mer presis måte, og den gir også muligheten til å observere fenomener man tidligere kun har måtte anta. Deriblant vil det være mulig å se hvorvidt strømningsretningen endrer seg. Man får også en mye bedre mulighet til å observere hvordan inngrep i ledningsnettet påvirker resten av nettet.

Videre utvikling:

Denne modellen kan bli et verdifullt verktøy for VAV. Arbeidet med å samle inn informasjon kan i tillegg legge grunnlaget for enda større muligheter i fremtiden.

Som Google tidligere har demonstrert, kan man, med riktig kunnskap, bruke innsamlet data til å predikere fremtidige hendelser. Mulighetene for VAV, dersom de kan implementere modeller som kan behandle de innsamlede dataene, er enorme.

Store hendelser i nettet er som regel et resultat av flere faktorer, som f. Eks. alder på røret, endringer i trykk, temperatur osv. Dersom en modell kan beregne hvilke faktorer som er avgjørende for at en lekkasje oppstår, kan denne modellen videre forutse hvor og når hendelser oppstår. Dette vil endre hele tilnærmingen til lekkasjesøk i VAV. Man vil kunne innta en proaktiv rolle, hvor man oppdager hendelser når de oppstår, og også kan beregne hvilke ledninger hvor det mest sannsynlig vil oppstå lekkasjer.

Dette kan gi store økonomiske besparelser. Å oppdage lekkasjer raskt betyr en kraftig reduksjon i volum av vann som går tapt før lekkasjen oppdages. Dette gir mindre fremmedvann i andre systemer, hvilket senker presset på avløpsnettet.

Man vil også få mer effektivt lekkasjearbeid dersom man kan forutse hvile ledninger som bør undersøkes, hvilket kan gi flere oppdagede lekkasjer per arbeidsdag.

Ulempene med metoden er hittil at den ikke er i bruk enda, og at den vil være tidkrevende å lære for lekkasjesøkere.

Verifisering av metoden er svært viktig. Etter hvert som man beveger seg mot behandling av datamengder som er for store for mennesker å vurdere, blir det desto viktigere å vurdere resultatene med et kritisk blikk. Det vil ikke være mulig for et menneske å umiddelbart se om en prognose i systemet er feil, og man må derfor være varsom med å stole blindt på resultatene.

Dette er også viktig angående den eksisterende online-modellen. Selv om denne har vist seg å stemme godt overens med de virkelige parameterne i ledningsnettet, er det ikke gitt at resultatene i modellen alltid stemmer. Brukere av modellen bør derfor alltid være bevisste på at resultatene fra modellen ikke nødvendigvis er helt presise.

Med Big Data vil det også alltid være en fare for at det dukker opp data i modellen som påvirker den i feil retning. I verste fall blir dette aldri oppdaget, fordi datamengdene er for store for et menneske å kontrollere. Feil kan oppstå dersom målere viser feil, eller dersom innsamlede data endres. Programvare vil også som regel alltid inneholde bugs, uten at disse

nødvendigvis får noen store konsekvenser for systemet. Det vil derfor alltid være nødvendig å benytte sunn fornuft når man ser på resultatene, og vurdere hvorvidt resultatene er troverdige.

Med all innsamlet data vil det alltid være en fare for at fiendtlige aktører kan få tilgang på dataene. Dette er noe man må forsøke å unngå ved å installere sikkerhetstiltak, og sørge for å begrense tilgangen til systemet mest mulig.

Fordeler/ulemper:

Fordeler:

- Mer effektivt lekkasjesøk
- Bedre forståelse av ledningsnettet
- Tidligere oppdagelse av lekkasjer

Ulemper:

- Feil i modellen kan være vanskelig å oppdage
- Er ikke implementert enda
- Må verifiseres

Konklusjon:

En online-modell kan bli et viktig hjelpemiddel for lekkasjesøkere på Helsefyrt. Dersom de kan bruke programmet til grovlokalisering av lekkasjer, kan dette føre til at de får et langt mer effektivt lekkasjesøk. Metoden er ikke presis nok til å erstatte rutinesøk, men kan effektivisere søket. Verifisering av modellen gjenstår før den kan tas i bruk.

Referanser:

MAYER-SCHÖNBERGER, V. & CUKIER, K. 2013. *Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think*, Houghton Mifflin Harcourt.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway