



CHALMERS



Dricksvattenläckage

Jämförelse av läcksökningsmetoder

Kandidatarbete inom dricksvattenteknik

Tilda Andersson

Elin Blad

Emil Bülow

Sunna Forslund

Alma Larsson Schedin

Beatrice Ohlsson Hansson

Handledare: Thomas Pettersson

Examinator: Frank Persson

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

www.chalmers.se

Omslagsbild. Återgiven med tillstånd (Haidarian, 2023).

Förord

Detta arbete är ett kandidatarbete inom dricksvattenteknik på institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola.

Vi vill börja med att tacka vår handledare Thomas Pettersson för det stöd han gett oss under arbetets gång samt för att ha tagit fram detta kandidatarbete från första början. Ett stort tack går även ut till Susanne Kihl, Behroz Haidarian och kollegorna vid Göteborg Kretslopp och vatten som har bidragit med sin tid och kompetens. Utan er hjälp hade detta arbete inte kunnat genomföras.

Slutligen vill vi tacka vår examinator Frank Persson för konstruktiv respons och engagemang.

Sammanfattning

I Sverige har tillgången på råvatten länge varit mycket god, men i och med klimatförändringarna är denna resurs inte längre lika säker. I dagsläget läcker nästan en femtedel av Sveriges dricksvatten ut och därför har läcksökning på ledningsnätet blivit allt viktigare. I detta arbetet jämförs därför två olika läcksökningsmetoder för att lokalisera dricksvattenläckage i Göteborgsområdet: en befintlig metod, akustisk läcksökning, samt en ny metod, läcksökning med hund. Den akustiska metoden innebär att läckor lokaliseras med hjälp av ljudvågor, medan läcksökning med hund innebär att läcksökningshunden lokaliserar läckan genom att lukta sig till den. Dessa två metoder har jämförts med avseende på olika aspekter som precision, kostnad samt styrkor och svagheter. Information har samlats in genom litteratursökning, en fältstudie samt intervjuer och observationer. För att kunna jämföra status på dagens dricksvattnenät i Göteborg har nyckeltalet Infrastructure Leakage Index, ILI, använts. Då ILI beräknats drogs slutsatsen att ledningsnätets status måste förbättras markant då resultatet i dagsläget inte är acceptabelt. Efter jämförelsen stod det klart att både läcksökningshunden samt den akustiska metoden har mycket god precision. Hur metoderna ställer sig mot varandra sett till kostnadsaspekter behöver mer grundläggande undersökning för att kunna dra mer pålitliga slutsatser. Det framkom också att läcksökningshunden har stora fördelar när det kommer till plastledningar och bullriga miljöer då den akustiska metoden är svår att använda vid dessa förutsättningar.

Abstract

The access to raw water in Sweden has been very good for a long time, but due to climate change this resource is no longer as stable. Today, almost a fifth of the Swedish drinking water is leaking out, leading to leakage detection in municipal water distribution pipes becoming more important. This paper will compare two different leakage detection methods to locate drinking water leakage in the Gothenburg area: one current method, acoustic leakage detection, and a newer method, leakage detection with a dog. The acoustic method means locating leakages through sound waves, while leakage detection with a dog means that the dog locates the leak through scent. These two methods are being compared regarding different aspects such as precision, costs along with strengths and weaknesses. The information has been gathered through literature search and a field study in addition to interviews and observations. To be able to compare the current status of Gothenburg's water distribution pipes the key figure Infrastructure Leakage Index, ILI, was calculated. After ILI was calculated the conclusion that the status of the pipe network had to improve significantly was drawn due to the results not being acceptable. After the comparison it was clear that both methods have very accurate precision. To determine exactly how the two methods compare when it comes to costs further study is required. It was also concluded that the leakage detection dog has great advantages regarding plastic pipes and noisy environments.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1. Bakgrund	1
1.2. Syfte	3
1.2.1. Avgränsningar	3
1.2.2. Precisering av syfte	4
2. Teori	5
2.1. Sökmeter	5
2.1.1. Flödesmätare	5
2.1.2. Mätzoner	5
2.1.3. Läckloggar	6
2.1.4. Spindeltryck	7
2.2. Lokaliseringsmetoder	7
2.2.1. Marktryck	7
2.2.2. Korrelation	8
2.2.3. Läckökning med hund	8
2.3. Material i dricksvattenledningar	9
2.4. Nyckeltal - Infrastructure Leakage Index, ILI	10
2.5. Läckökning i Göteborg	12
3. Material och metod	13
3.1. Litteratursökning	13
3.2. Fältstudier	13
3.3. Intervjuer och observationer	14
3.4. Indata för beräkning av Infrastructure Leakage Index, ILI	14
4. Resultat	15
4.1. Sammanställning för läckökningstillfällen med läckökningshund	15
4.2. Precision för akustisk metod	17
4.3. Sammanställning från fältdagen	17
4.4. Infrastructure Leakage Index, ILI	19
4.4.1. Jämförelse av ILI i Sverige	21
4.5. Ekonomiska aspekter	21
4.5.1. Ekonomiska kostnader för akustisk metod	21
4.5.2. Ekonomiska kostnader för läckökning med hund	22
4.5.3. Jämförelse av ekonomiska aspekter	23
5. Diskussion	26
5.1. Hållbarhet och Infrastructure Leakage Index, ILI	26
5.2. Precision	27
5.3. Kostnad	28
5.4. Felkällor och osäkerhetsfaktorer	30
6. Slutsats	32
Referenslista	33
 Bilaga 1 - Kostnadsuppskattning för utrustning och personal	 35

1. Inledning

Drygt en miljard människor i världen saknar tillgång till rent dricksvatten medan den svenska befolkningen har ett nästintill obegränsat utbud av högkvalitativt dricksvatten (Sveriges geologiska undersökning, 2020). Men i takt med klimatförändringar som bidrar till bland annat längre perioder med torka behöver även Sverige tänka över användningen av dricksvatten och dess förluster. Malm et al. (2019) beskriver att den genomsnittliga dricksvattenförlusten i Sverige är 20 % vilket är relativt högt i jämförelse med andra europeiska länder och därför är det ett problem som bör tas på allvar. Dricksvattenläckage bidrar även till en ekonomisk olägenhet för samhället.

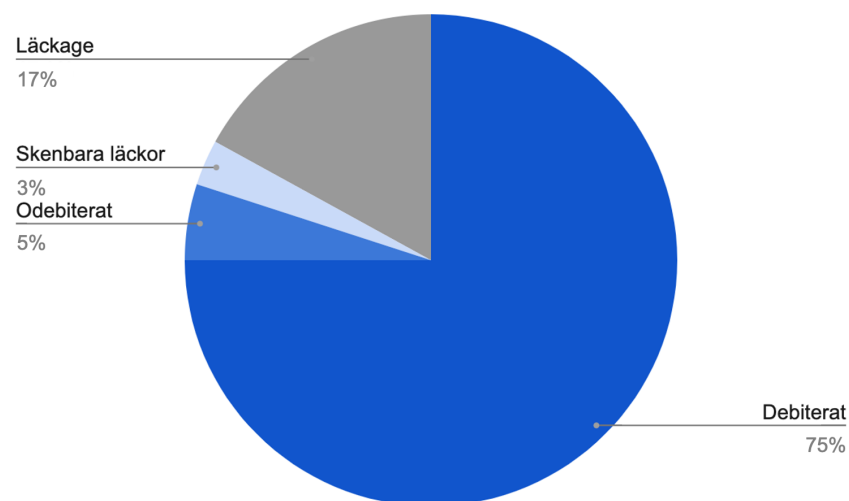
Vattenläckor i dricksvattennätet uppstår främst eftersom ledningarna är i behov av reparationer samt förnyelse då ledningsnätet för vattenförsörjning och avlopp i Sverige anlades under 1900-talet (Svenskt Vatten, 2022). En mängd olika läcksökningsmetoder används idag för att minska förlusterna av dricksvatten och en utveckling av dessa samt nya metoder kan leda till stora förbättringar inom området.

1.1. Bakgrund

Historiskt sett har Sverige haft god tillgång till råvatten enligt Havs- och vattenmyndigheten (2018) och den goda dricksvattentillgången har därför inte varit i behov av ett minskat ledningsläckage. Däremot kommer klimatförändringarna att leda till längre perioder med vattenbrist och därmed blir problematiken kring vattenförsörjningen större (Havs- och vattenmyndigheten, 2018). På grund av detta beskriver Malm et al. (2019) att det behövs åtgärder för hushållning av dricksvatten. En viktig del för besparingen av dricksvattnet är att minska läckagen i dricksvattenledningarna. För att upptäcka läckage finns idag olika metoder som traditionellt har använts, såsom akustisk övervakning, invändig inspektion, gasinjektion och att lyssna manuellt (Malm et al., 2019). Samtidigt utvecklas nya metoder, exempelvis läcksökningshundar (Danderyds kommun, 2022).

Svenskt Vatten (2022) beskriver att det är svårt att bestämma den exakta mängd rent vatten som går till spillo, eftersom det inte finns någon träffsäker metod som kan uppmäta verkliga vattenläckor. Vidare förklarar Svenskt Vatten att det genomsnittliga läckaget är 17 % av det totala levererade dricksvattnet. Data om hur mycket vatten som läcker ut från dricksvattennäten i Sverige baseras på den uppmätta skillnaden mellan utgående vatten från

dricksvattenverken och vattenförbrukningen hos konsumenterna. Konsumenterna debiteras för ungefär 75 % av det utgående vattnet från dricksvattenverken. De återstående andelarna av dricksvattnet utgörs till 5 % av VA-verksamheternas interna förbrukning samt brandvatten, och till 20 % av läckor i dricksvattnenätet. Av läckorna består 3 % av skenbara läckor (otillåten vattenförbrukning eller eventuella fel på vattenmätare). Fördelningen av den totala vattenvolymen från dricksvattenverken illustreras i Figur 1 nedan. Den främsta anledningen till dricksvattenläckage är att Sveriges VA-infrastruktur är sliten (Svenskt Vatten, 2022). I samband med allt lägre kvalitet på ledningarna ökar läckagen och därför finns ett behov av upprustning i en snabbare takt för ett hållbart dricksvattnenät i framtiden.



Figur 1. Visualisering av totala volymen dricksvatten som går ut från dricksvattenverk.

Enligt Livsmedelsverket (2019) är fler långvariga och extrema värmeböljor ett resultat av klimatförändringarna. Vidare nämns hur temperaturökningarna förväntas innebära ökad vattenavdunstning, färre antal dagar med snöbeklädd mark och stigande vattentemperaturer. Vidare påvisar även Livsmedelsverket (2019) att förhöjda temperaturer bidrar till påskyndade korrosionsprocesser. Detta kan medföra försämrad dricksvattenkvalitet samt att ledningarna försvagas och risken för att mer dricksvattenläckage uppstår. Dessutom beskrivs också hur högre vattentemperaturer är ytterligare en effekt av att ledningarna expanderar vilket leder till ökad risk för rörbrott.

Livsmedelsverket (2019) beskriver vidare hur nederbörds mängden är årstidsberoende, och i samband med klimatförändringarna förväntas det bli större variation av vattentillgång under

året. Vårfloden i södra Sverige har blivit lägre och förväntas fortsätta minska. Grundvattennivån avgörs främst av nederbörden som faller under vinterhalvåret. Då klimatförändringarna bidrar till temperaturökning kommer denna period att bli kortare och därmed blir grundvattenmagasinen känsligare och risken för vattenbrist ökar. Livsmedelsverket (2019) konstaterar att det redan idag förekommer låga vattenflöden i södra Sverige och antalet dagar med sådana förhållanden förväntas öka som en konsekvens av klimatförändringarna. I samband med vattenbristen blir dricksvattenläckage väsentligare att upptäcka och åtgärda då hushållning av vatten blir viktigare än det historiskt sett varit. Vattenbristen blir snabbt påtaglig för dem med enskilda brunnar som vanligtvis är grunda i små grundvattenmagasin, framför allt i kustområden och bristområden. I takt med de större svårigheterna med enskild vattenförsörjning kommer det ställas större krav på kapacitet av den kommunala dricksvattenförsörjningen, då ett större antal konsumenter förväntas ansluta.

1.2. Syfte

Syftet med rapporten är att undersöka hur effektiva olika läcksökningsmetoder är. Rapporten behandlar och jämför två olika lokaliseringsmetoder utifrån olika aspekter.

Läcksökningsmetoderna som jämförs är markavlyssning med lyssnarstav tillsammans med korrelator samt läcksökning med hund. Status för Göteborgs dricksvattennät bedöms utifrån en fördjupning i nyckeltalet Infrastructure Leakage Index, ILI.

1.2.1. Avgränsningar

Rapporten kommer enbart fokusera på att jämföra lokaliseringsmetoder för att hitta läckans exakta position, så kallad finlokalisering. Grovlokalisering för att finna vilket område läckan befinner sig i kommer däremot att beskrivas i teorikapitlet. Därtill är rapporten begränsad till undersökning av en mer traditionell metod och en nyare metod. Den mer traditionella metoden innebär användning av markavlyssning och korrelator för att identifiera vattenläckor medan den nyare metoden innebär att identifiera vattenläckor med hjälp av en läcksökningshund. För att tydligt jämföra läcksökningsmetoderna fokuseras på två olika aspekter. Dessa aspekter är ekonomi och effektivitet med avseende på precision.

Arbetet avgränsas till Göteborg Kretslopp och vattens dricksvattensystem.

1.2.2. Precisering av syfte

För att vidare precisera syftet och tydliggöra vilka faktorer som avgör vilken metod som är mest effektiv följer nedanstående frågeställningar:

1. Vilket värde på nyckeltalet Infrastructure Leakage Index, ILI, har Göteborgs dricksvattennät och hur hållbart är det i jämförelse med internationella standarder?
2. Hur skiljer sig precisionen mellan de två olika läcksökningsmetoderna?
3. Hur skiljer sig kostnader mellan de två olika läcksökningsmetoderna?
4. Är läcksökning med hund en lämplig metod för att hitta dricksvattenläckor?
5. Har läcksökning med hund några fördelar i jämförelse med den akustiska metoden?

2. Teori

Följande kapitel behandlar tidigare forskning och information om läcksökningsmetoder, materialaspekter, nyckeltalet Infrastructure Leakage Index och läcksökning i Göteborg. Avsnittet ligger till grund för resultat och diskussion.

2.1. Sökmeter

För att lokalisera en läcka sker en grovlokalisering som börjar i ett helikopterperspektiv och smalnar sedan av i takt med att mer information om läckans plats fås från olika metoder. Dessa olika metoder kan sammanfattas i termen sökmeter och nedan beskrivs de olika metoderna närmare.

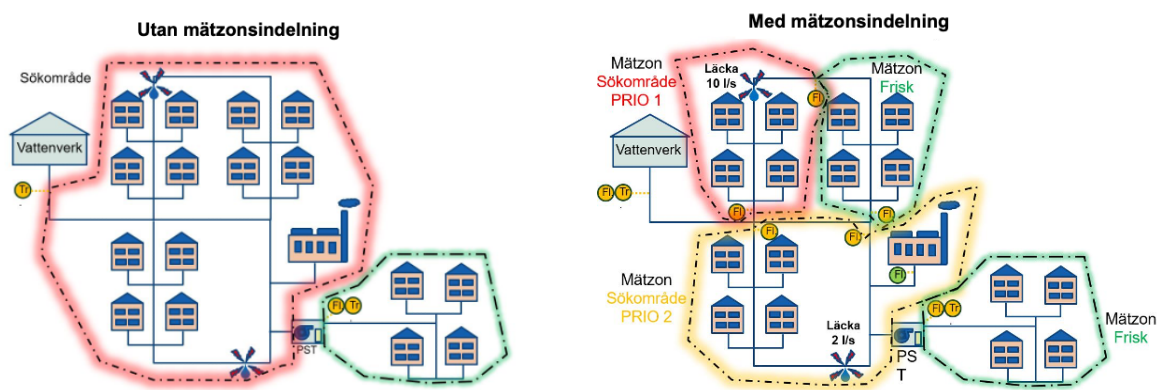
2.1.1. Flödesmätare

En flödesmätare mäter flödet av dricksvatten till ett avgränsat förbrukningsområde (Uusijärvi, 2013). Genom att jämföra den uppmätta mängden producerat dricksvatten med den debiterade volymen eller alternativt genom att analysera förändringar i minimiflödet under natten kan man upptäcka läckor. Dricksvattennätet delas in i olika avgränsade sektioner där flödesmätare installeras på ledningarna. Flödesmätare är inte beroende av vattenledningens förmåga att leda ljud, varför de kan installeras på alla ledningar oavsett material. Enligt Uusijärvi (2013) är de två vanligaste typerna av flödesmätare anborrade mätare och mätare som är monterade med flänsförband. En anborrad mätare bestämmer flödet genom att en elektrisk givare monteras på spetsen av en stång som borrar in i röret. Givaren mäter vattenhastigheten inuti röret och flödets storlek kan sedan beräknas fram. Detta genom att multiplicera den uppmätta hastigheten med arean på röret samt med en korrektionsfaktor för eventuell ojämn vattenhastighet över tvärsnittet. En flödesmätare som är monterad med flänsförband består av ett mätrör, bestående av spolar, och ett transmitterprogram som skickar iväg uppmätt data till en mottagare. Spolarna genererar ett magnetfält och när vattnet strömmar igenom fältet induceras en spänning vars storlek är proportionell mot flödeshastigheten.

2.1.2. Mätzoner

Behroz Haidarian, driftingenjör vid Göteborg Kretslopp och vatten, (personlig kommunikation, 7 mars 2023) beskriver hur dricksvattennätet kan delas in i mindre områden, så kallade mätzoner. Indelning av Göteborg i olika mätzoner effektiviserar och underlättar

upptäckandet av ett dricksvattenläckage. Indelningen görs genom installation med infällning av en eller flera flödesmätare i ledningsnätet. Om en mätzon sträcker sig över ett stort geografiskt område behöver mer omfattande lokaliseringsmetoder användas vilket beskrivs närmare i kapitel 2.2. I och med mätzonsindelning förklarar Haidarian vidare att fler och mindre mätzoner resulterar i att mindre resurser krävs för att lokalisera läckans exakta plats. Figur 2 visar en illustration för hur ett ledningsnät kan se ut, både utan och med mätzonsindelning. Mätzonsindelningen med flödesmätare bidrar även till att storleken på läckan går att identifiera och en prioritetsordningen över vilken läcka som anses som mest akut kan fastställas.



Figur 2. Illustration över ledningsnät utan och med mätzonsindelning. "FI" representerar flödesmätare och "Tr" tryckmätare. Återgiven med tillstånd. (Haidarian, 2023).

2.1.3. Läckloggar

För att upptäcka vattenläckor med läckloggar kan dessa placeras ut på olika ställen i ledningsnätet, på exempelvis brandposter eller ventiler (Uusijärvi, 2013). Under natten, när vattenförbrukningen är som minst, registrerar loggarna läckljud som sedan ger information om en eventuell läcka vid avläsning av data. Vidare beskriver Uusijärvi (2013) att fördelarna med metoden är att loggarna går att flytta runt när man söker efter läckor samt att avläsningen är snabb och användarvänlig. Nackdelarna är däremot att loggarna inte kan användas överhuvudtaget på plastledningar och även på lagade ledningar sjunker pålitligheten. Detta eftersom ljudvågorna dämpas betydligt i plastledningar (Stenberg, 1979). Uusijärvi (2013) påtalar vidare att loggarna kan även registrera buller från omgivningen som läckljud, vilket kan vara problematiskt i stadsmiljöer på grund av många störande ljud trots att mätningen sker under nattetid.

2.1.4. Spindelhyssning

I spindelhyssning jämförs ljud för olika mätpunkter för att få en ungefärlig uppskattning av läckans läge (HAMAFO, u.å.). Ljudet beror på rörmaterial och diameter men även på vattentryck, fyllning runt röret och läckans storlek. Röret ska helst vara helt fyllt med vatten för bästa möjliga ljud.

Mätpunkterna som väljs för avlyssningar är oftast ventiler, exempelvis servisventiler, avstängningsventiler eller brandposter, men även punkter vid direkta anslutningar till ledningsnätet som brunnar eller vattenmätare (Uusijärvi, 2013). En nackdel med spindelhyssning är att det i vissa fall kan vara tidsödande att lokalisera ventiler. Enligt Uusijärvi (2013) är denna metod dessutom känslig för ljud och störningar från omgivningen, vilket kan göra den svårare använd i stadsmiljö. Metoden förväntas också bli mindre vanlig i framtiden eftersom nya ledningar till största grad består av polyetenplast som dämpar ljudet och gör det svårt att lyssna sig till läckor.

2.2. Lokaliseringsmetoder

När en grovlokalisering har utförts med olika sökmetoder används lokaliseringsmetoder för att identifiera läckans exakta plats, som tidigare nämnts kallas detta finlokalisering. Följande kapitel förklarar de olika lokalisering metoderna närmare.

2.2.1. Marklyssning

Olof Bergstedt (personlig kommunikation, 15 februari 2023) som är dricksvattenspecialist vid Göteborg Kretslopp och vatten, förklarar att marklyssning är en av de vanligaste metoderna i Göteborg för att lokalisera läckans position. Hunaidi (2012) beskriver att vid marklyssning förflyttar avlyssnare en markmikrofon längs med ledningar där misstänkt läcka finns. Ju närmare läckan som marklyssning sker desto högre ljud hörs. På samma sätt minskar ljudnivån ju längre bort från läckan marklyssningen görs. Ljudnivån beror på ledningens material och diameter. Vidare redogör Hunaidi (2012) att metoden kan vara svår att använda på plaströr då materialet leder ljud dåligt. Metoden kan även vara svår att använda vid små läckor samt vid höga ljudnivåer från omgivningen.

2.2.2. Korrelation

Hunaidi (2012) förklarar korrelationsmetoden med att två sändare placeras på varsin sida av läckan, se Figur 3. Dessa mäter sedan ljudet från läckan och skickar informationen till korrelatorn. Därefter använder sig korrelatorn av längden mellan sändarna, ljudhastigheten och tidsskillnaden för att räkna ut läckans position. Hunaidi (2012) beskriver vidare att för att bestämma ljudhastigheten används rörets material och diameter, då olika material och rördiameter leder ljudet olika snabbt. Därför kan inte korrelation användas på exempelvis en gjutjärnsledning som lagats med plast. En annan begränsning med metoden är att ledningen måste kunna nås via brandposter eller annan typ av ingång (Malm et al., 2019).



Figur 3. En av de två sändarna utplacerade i en servisventil.

2.2.3. Läcksökning med hund

En läcksökningsmetod, som är relativt ny i Sverige, innebär att en hund lär sig identifiera doften av dricksvatten och urskilja det från annat vatten. Hundföraren Susanne Kihl (personlig kommunikation, 15 februari 2023) beskriver att metoden kräver utbildad hund och hundförare. Vidare förklaras att hunden får söka på området där den misstänkta läckan befinner sig och markerar läckan med frysmarkering. Kihl nämner också att till skillnad från många akustiska metoder begränsas inte denna metod av rörens material. Däremot kan hunden inte avgöra läckans storlek.

Hittills finns det bara en läcksökningshund i Sverige men metoden finns i andra länder. Det enda svenska läcksökningsteamet är hundföraren Susanne Kihl och cockerspanieln Bruno som är en tidigare vägglushund. Kihl (2021a) beskriver att hon länge tränat och utbildat hundar och arbetet har innefattat exempelvis minhundar, mögelhundar och tjänstehundar inom

Försvarsmakten. Vid samtal med Kihl (2023) framkommer det hur hon lärt hunden att känna igen doften av klor i dricksvatten men att hunden också har lärt sig markera dricksvattenläckor då vattnet inte genomgått klorering. De upptäckta läckorna har befunnit sig i olika markförhållanden som exempelvis grus, lera och sand (Kihl, 2021b).

2.3. Material i dricksvattenledningar

Malm et al. (2011) konstaterar att dricksvattenledningar i Sverige idag oftast består av gjutjärn eller plast och fram tills 1970-talet användes gråjärnsledningar (en sorts gjutjärn). Under 70-talet och framåt kom ledningar av segjärn, som är en utveckling av gjutjärnsledningarna, och plast att ersätta gråjärnet. Ledningarna av gråjärn har visat sig tåla höga tryck från omgivningen men de är däremot känsliga mot yttre mekaniska påfrestningar som stötar, sättningar och slag. Malm et al. (2011) menar att det kan vara en anledning till att undersökningar av gråjärnsledningar har påvisat en högre frekvens av läckor än ledningar av segjärn eller plast (mätt i läckor/(km·år)). Segjärn har andra mekaniska egenskaper än gråjärn, vilket materialet får i tillverkningsprocessen när magnesium tillsätts till gjutjärnssmältan. Vidare menar Malm et al. (2011) att det ger en avsevärd förbättring av slagtålighet och seghet vilket i sin tur innebär att godstjockleken kan minskas och det resulterar i ett rör som är mycket mer lätthanterat. Den tunna rörväggen medför dock ett krav på ytbeläggning som skydd mot korrosion, då korrosion av dricksvattenledningar kan leda till vattenläckor samt kvalitetsproblem, till exempel att brunt vatten levereras till konsumenterna.

Fortsättningsvis konstaterar Malm et al. (2011) att från mitten av 1950-talet och framåt började man använda plastledningar av främst polyeten (PE) och polyvinylklorid (PVC) och deras utbredning och användning har sedan ökat successivt. Plaströrens livslängd beror på materialets egenskaper, belastningen på röret (hur stor spänning som uppstår) och omgivande temperatur och miljö. Undersökningar har visat på en lång förväntad livslängd hos plastledningarna. Dessutom har ledningar av PE visat sig ha den lägsta läckfrekvensen, jämfört med både gjutjärnsrör och andra plaströr (Malm et al., 2011).

Möjligheten att läcksöka med akustiska metoder påverkas till stor del av vattenledningens material (Stenberg, 1979). Läckljudet som uppstår via de akustiska metoderna sprids genom vattnet men rörväggens material har en dämpande effekt på ljudvågorna. Påverkan blir större ju mjukare rörväggens material är. Vidare menar Stenberg (1979) att eftersom plast är ett

betydligt mjukare material än gjutjärn så har därför ljudvågorna en större dämpning i plastledningar än i gjutjärnsledningar. Haidarian (personlig kommunikation, 7 mars 2023) beskriver att när Göteborg Kretslopp och vatten arbetar med förnyelse av dricksvattennätet idag är det främst plastledningar som anläggs, både i samband med lagning och utbyggnad. Därför kommer akustisk läcksökning i framtiden att bli en utmaning och det kommer att krävas nya metoder för att hitta läckorna, menar Haidarian.

2.4. Nyckeltal - Infrastructure Leakage Index, ILI

För att jämföra olika dricksvattennät har nyckeltalet Infrastructure Leakage Index (ILI) framtagits av branschorganisationen International Water Association (IWA) (Winarni, 2009). ILI innebär att dricksvattennäten bedöms utifrån flera olika parametrar vilket resulterar i att dricksvattennätens förutsättningar för vattenförluster beaktas. Vidare beskriver Winarni (2009) att ILI utvecklades för att kunna jämföra olika dricksvattennät med varandra, både nationellt och internationellt, och få en rättvis bild över hur effektivt ett ledningsnät är med hänsyn till läckage.

För att tydligare visa hur vattenförbrukningen fördelas har IWA utvecklat en vattenbalans. Malm et al. (2019) har sedan gjort en översättning till svenska samt markerat vattenförlusterna, se Tabell 1.

Tabell 1. Vattenbalans från Malm et al. (2019). Återgiven med tillstånd.

Leverans	Tillåten förbrukning	Debiterad förbrukning	Debiterad och mätt förbrukning	Volym som ger intäkter
			Debiterad men omätt förbrukning	
		Icke debiterad förbrukning	Odebiterad men mätt förbrukning	
	Vattenförluster		Odebiterad och omätt förbrukning	Volym som inte ger intäkter
		Skenbart vattenläckage	Otillåten förbrukning och mätarfel	
		Verkligt utläckage	Utläckage kommunala vattenledningar	
			Utläckage privata servisledningar	

ILI beaktar ledningarnas längd, privata servisledningar och medeltryck i systemet och beräknas enligt nedanstående (ekvation 1) (Malm et al., 2019).

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (1)$$

där $CARL = \text{Current Annual Real Losses}$

$UARL = \text{Unavoidable Annual Real Losses}$

CARL innebär alltså det verkliga läckaget, se i Tabell 1, och UARL uppskattat med hjälp av fyra olika parametrar som Malm et al. (2019) beskriver nedan (ekvation 2) för att visa hur stor del av vattenförlusterna som anses som oundvikliga.

$$UARL = (18 \cdot L_m + N_s \cdot (0.8 + 0.025 \cdot L_p)) \cdot P \quad [\text{liter/dygn}] \quad (2)$$

där $L_m = \text{ledningens längd [km]}$

$N_s = \text{antal servisledningar}$

$L_p = \text{den privata servisledningens längd [m]}$

$P = \text{medeltrycket [mvp]}$

Teoretiskt är värdet 1 optimalt men i verkligheten resulterar ILI oftast i ett högre värde. Ju högre värde desto mer läckage i dricksvattennätet och därmed större behov av åtgärder. Att notera är att ILI inte tar i beaktning hur stora vattenläckorna är sett till volym utan enbart i relation mellan CARL och UARL. Från ILI framgår alltså inte några volymer vatten som läcker. Malm et al. (2019) beskriver hur Världsbanken kategoriserade ILI 2005. En sammanställning av kategoriseringen, se Tabell 2 nedan, gjordes 2019 av Malm et al.

Tabell 2. Kategorisering av ILI, från Malm et al. (2019). Återgiven med tillstånd.

ILI	>3,5	3–3,5	2,5–3	2–2,5	1,5–2	<1,5
	Inte acceptabelt	Dåligt	Inte så bra	OK	Bra	Utmärkt

2.5. Läcksökning i Göteborg

Göteborg Kretslopp och vatten är den förvaltning som är ansvarig för läckagekontroll på dricksvattennätet i Göteborg. Driftingenjören Haidarian förklarar via diskussion (2023) att år 2021 var den aktuella läckagenivån 20 m³/km huvudledning per dygn, och att målet för läckagenivån är 14 m³/km huvudledning per dygn. Läckagenivån 14 m³/km huvudledning per dygn lyckades de också att uppnå 1998. För att behålla eller minska läckagenivån krävs aktiv läcksökning, det vill säga att medvetet söka efter dolda läckor och laga dem. Haidarian nämner att varje år sker cirka 350 rörbrott i Göteborg.

Haidarian (2023) berättar vidare hur Göteborg Kretslopp och vatten arbetar med läcksökning. De använder mätzoner som analyserar och bevakar vattenförbrukningen. I dagsläget finns det cirka 100 stycken mätzoner i Göteborg och en utbyggnad av mätzonerna är planerad. Om en av mätzonernas vattenleverans avviker skickas ett team med två drifttekniker dit som lokaliserar vilken del av området den misstänkta läckan befinner sig via spindelklyssning längs huvudledningen. Haidarian förklarar också att det därefter används lokaliseringstekniker som markklyssning och korrelation för att hitta läckans exakta position. I detta steg är det oftast ledningar som förbinder huvudledningen och fastigheten, så kallade servisledningar, som undersöks. Slutligen grävs den misstänkta läckan upp för att repareras, där ett hål på uppskattningsvis 2 m² grävs för att reparera läckan. Detta för att personal och utrustning ska kunna få plats.

3. Material och metod

För att genomföra arbetet samlades data in genom litteratursökning, en fältstudie samt intervjuer och observationer. Nedan finns närmare beskrivet hur detta gick till. Från det insamlade materialet kunde de två läcksökningsmetoderna jämföras och slutsatser dras.

3.1. Litteratursökning

Först genomfördes en grundläggande litteratursökning för att kunna undersöka skillnader, likheter, möjligheter och begränsningar mellan olika läcksökningsmetoder. Stor del av litteratursökningen har hämtas från olika rapporter utgivna från branschorganisationen Svenskt Vatten. Därtill har information från Sveriges geologiska undersökning (SGU), Livsmedelsverket, Kanadensiska forskningsrådet och Civil Engineering Dimensions använts. Sistnämnda Civil Engineering Dimensions är en peer-reviewed tidskrift publicerad av forskningsinstitutet vid Petra Christian University i Indonesien. Litteratursökningen har även inkluderat information från Yrkeshögskolan, Danderyds kommun, leverantören HAMAFO Teknik AB och hundföraren Susanne Kihls hemsidor.

3.2. Fältstudier

För att få en bredare grund för den jämförande studien genomfördes en fältundersökning tillsammans med Göteborg Kretslopp och vatten samt läcksökningshund och hundförare. Fältstudien ägde rum i ett bostadsområde med en misstänkt läcka vid Hjällbo i nordöstra Göteborg. Läckan hade sedan tidigare lokaliserats av drifttekniker inom läcksökning från Göteborg Kretslopp och vatten och den bedömdes vara belägen inom ett begränsat område längs en underjordisk 40 meter lång gjutjärnsledning med diameter 100 mm. Läcksökningen skedde under snöiga väderförhållanden men asfalten ovanför ledningen var skottad. Under fältundersökningen testades läcksökning genom marklyssning och korrelation samt med läcksökningshund för att lokalisera läckan längs ledningen.

Marklyssningen gjordes genom att hålla en lyssnarstav mot närliggande servisventiler och undersöka närheten till läckan genom att lyssna efter hur starkt ljud som kunde uppfattas från ledningarna. När läckans position hade fastställts någonstans mellan två ventiler användes sedan korrelatorn. De två tillhörande sändarna till den placerades vid respektive ventil och korrelatorn räknade sedan ut en mer exakt position av läckan som markerades på asfalten.

Därefter sökte läcksökningshunden längs ledningen från två olika håll och markerade var den registrerade lukt från dricksvatten.

Området grävdes sedan upp och synliggjorde läckan för att kunna jämföra precisionen. Data från fältundersökningarna sammanställdes och användes i den jämförande studien.

3.3. Intervjuer och observationer

Utöver litteratursökning och fältstudie fördes diskussion med branschaktiva för att få en bättre förståelse för dagens situation kring dricksvattenläckage samt vad framtidens läcksökning kräver för att kunna underhålla dricksvattennätet. Information kring läcksökning samt ekonomiska kostnader för läcksökning med akustiska metoder har mottagits av Behroz Haidarian, driftingenjör vid Göteborg Kretslopp och vatten. Kommunikationen innefattade ett fysiskt möte samt mailkontakt. Vidare fördes mailkontakt med Olof Bergstedt som arbetar som dricksvattenspecialist vid Göteborg Kretslopp och vatten för ytterligare kunskap om läcksökningsmetoder. Intervjuer med hundföraren Susanne Kihl har gjorts för att få mer information kring läcksökningshund, då det i nuläget är ett relativt nytt och outforskat ämne. Hon har även givit information om ekonomiska kostnader vad gäller arbete med läcksökningshund då hon driver företaget Hundägarservice. Slutligen kontaktades företaget HAMAFO Teknik AB via mail för pris och beräknad livslängd gällande utrustning till akustisk läcksökning.

3.4. Indata för beräkning av Infrastructure Leakage Index, ILI

Från Göteborg Kretslopp och vatten samlades data in för beräkning av ILI. Nyckeltalet ILI användes för att göra en bedömning av Göteborg Stads dricksvattennät och därmed undersöka behovet att minska dricksvattenläckaget. Med Haidarian fördes diskussion om följande data:

- Verkligt utläckage
- Genomsnittligt tryck i systemet
- Huvudledningens längd
- Antalet servisledningar
- Genomsnittlig servislängd

4. Resultat

Vidare presenteras resultat från olika källor för att kunna jämföra samt dra slutsatser kring de båda läcksökningsmetoderna. Resultat från fältdagen redogörs samt en sammanställning av Kihls tidigare läcksökningstillfällen med hund och precisionen för den akustiska metoden. Ett resultat för ILI presenteras i två olika tabeller för både det verkliga utläckaget och det önskade utläckaget. De ekonomiska aspekterna som kostnader för både den akustiska metoden och för läcksökning med hund redovisas. De kostnader som ligger i fokus är personalkostnader och priser för utrustningen. Slutligen görs en jämförelse av dessa ekonomiska aspekter.

4.1. Sammanställning för läcksökningstillfällen med läcksökningshund

I Tabell 3 nedan finns en sammanställning över de läcksökningstillfällen som Kihl har utfört med läcksökningshunden som har fått återkoppling. När detta arbete skrevs hade Kihl endast fått återkoppling angående hundens precision för 22 stycken söktillfällen men det har skett många söktillfällen utöver dessa där återkoppling saknas. Utifrån detta har ett medelvärde på felmarginalen beräknats till 1,2 meter. Vanligtvis brukar ett område på uppskattningsvis 2 m² grävas upp, vilket innebär att läckan grävs upp även om hunden markerar 1,2 meter ifrån. Läcksökningshunden markerar oftast mycket nära läcka.

Tabell 3. Sammanställning över insamlad data från Kihls läcksökningstillfällen med läcksökningshunden.

Platserna för försöken har anonymiserats och har istället numrerats 1-22.

Försök	Avstånd från läcka (m)	Rördiameter (mm)	Rörmaterial	Djup (m)	Underlag	Kommentar
1	2		Gjutjärn	2		
2	2 *					*Från där drifttekniker markerat
3	0					Träning, brandpost
4	2					Träning, brandpost
5	1					
6	ca 1-3					Arrangerad läcka, någon meter ifrån
7	3 *	150	Segjärn	1,8	Grus och lera i markbädd	Markering på asfalt, * Avstånd från markerad läcka
8	3	40	Galvrör	1,7	Asfalt	
9	0		Galvad ledning	1,5		
10	2-3	1000	Segjärn	1,6		
11	0,01	100	Segjärn	2	Snö och frusen mark, asfalt	
12	ca 1-2 *					* "100% träffsäkerhet", antagande om 1-2 m, Parkering
13	1			1	Snömodd och tjäle	
14	11					(Vattenmagasin)
15	1-3					
16	1-3					
17	0,4		Gjutjärn och plast	1 m	Asfalt och gräs	
18	0,4		Gjutjärn och plast	1 m	Asfalt och gräs	
19	0,4		Gjutjärn och plast	1 m	Asfalt och gräs	
20	3-4				Lera	
21	0				Lera	
22	1	100	Gjutjärn	1,8 m	Snö och asfalt	Från fältdag
Medelavstånd från läcka		1,2 m				

I beräkningen av läcksökningshundens medelavstånd från läckan uteslöts Försök 14 och klassificerades som en outlier. Det visade sig vara ett vattenmagasin, en ansamling av tillrunnet vatten. Då driftteknikerna undersökte området närmare visade det sig att läckan hittades på gatan ovanför den sträcka som Kihl och läcksökningshunden sökte av.

Vattenmagasinet som hunden markerade vid var alltså 11 meter från den aktuella läckan och eftersom läckan befann sig utanför det avgränsade sökområdet ansågs resultatet inte vara relevant. Detta då läcksökningshunden inte gavs möjligheten att söka på sträckan där läckan faktiskt fanns och då kunde eventuellt en mer korrekt markering ha erhållits.

4.2. Precision för akustisk metod

Enligt Haidarian (personlig kommunikation, 2023) sker falskt positiva läckageutsättningar sällan och uppskattas till 5 % av alla läckagegrävningar som görs med den akustiska metoden. När en uppgrävning skett och läckan visat sig varit felaktigt markerad med ett par meter grävs då ett större område upp för att läckan ska kunna lagas. Alltså sker inte en ny grävning utan det uppgrävda området utökas.

4.3. Sammanställning från fältdagen

En fältdag har genomförts för att jämföra akustiska metoden med läcksökningshunden. Ledningen där den misstänkta läckan befann sig var ungefär 40 meter lång i gjutjärn med diameter 100 mm och beräknades läcka 3 liter/sekund. Den befann sig under en liten asfaltsväg vid ett område med flerfamiljshus med relativt lite trafik och ljud. Det var snöunderlag men vägen, serviser och markeringarna var skottade. Göteborg Kretslopp och vatten hade markerat ut där marklyssningsmetoden visade att läckan befann sig. Därefter sökte hunden efter läckan och markerade vid två ställen, ungefär där Göteborg Kretslopp och vatten hade markerat, se pilarna i Figur 4. Det tog hunden cirka tre minuter att söka av hela sträckan och markera vid läckan. Läcksökningshunden markerade även vid ett tredje ställe där Göteborg Kretslopp och vatten misstänkte att det ansamlas vatten.



Figur 4. Platsen där läckan misstänks befinna sig. Pilarna visar läcksökningshundens markeringar och cirkeln visar driftteknikers markering.

Två veckor efter fältdagen grävdes den misstänkta läckan upp och det visade sig att den fanns på 1,8 meters djup där läcksökningshunden och driftteknikerna markerat. Läckan visas i Figur 5.



Figur 5. Uppgrävd läcka. Återgiven med tillstånd (Haidarian, 2023).

En större ansamling av vatten fanns över hela grävområdet där läcksökningshunden markerade, se Figur 6.



Figur 6. Ansamling vatten vid läckan. Återgiven med tillstånd (Haidarian, 2023).

4.4. Infrastructure Leakage Index, ILI

I Tabell 4 och 5 nedan visas beräkning av nyckeltalet ILI för både det verkliga utläckaget i Göteborg som ligger på 20 m³/km huvudledning per dygn och det önskade läckaget på 14 m³/km per dygn. För beräkningar har Ekvation 1 och 2 använts.

Tabell 4. Beräkning av ILI för utläckage 20 m³/km per dygn.

Beräkning ILI		Enhet
Verkligt utläckage	20	m ³ /km, dygn
Genomsnittligt tryck i systemet	45	mvp
Ledningslängd huvudledning	1 800	km
Antal servisledningar	49 000	st
Genomsnittlig servislängd	15	m
CARL	734,7	l/servis, dygn
UARL	82,6	l/servis, dygn
ILI	8,9	

Värdet 8,9 klassificeras enligt Tabell 2 som "Inte acceptabelt".

Tabell 5. Beräkning av ILI för utläckage 14 m³/km per dygn.

Beräkning ILI		Enhet
Verkligt utläckage	14	m ³ /km, dygn
Genomsnittligt tryck i systemet	45	mvp
Ledningslängd huvudledning	1 800	km
Antal servisledningar	49 000	st
Genomsnittlig servislängd	15	m
CARL	514,3	l/servis, dygn
UARL	82,6	l/servis, dygn
ILI	6,2	

Värdet 6,2 klassificeras enligt Tabell 2 som "Inte acceptabelt".

4.4.1 Jämförelse av ILI i Sverige

Enligt Malm et al. (2019) har en analys av ILI för 107 svenska kommuner gjorts. Analysen visar att majoriteten av kommunernas ILI är mindre än 5. Thomas Pettersson (personlig kommunikation, 2023) menar att bland annat arbetar Kungsbackas kommun aktivt för att minska dricksvattenläckagen. Kungsbackas kommuns ILI tyder även på detta då Moberg (2022) visar att det kan beräknas till 1,8, vilket enligt Tabell 2 klassas som "Bra". Malm et al. (2019) lyfter därtill att ILI idag inte används aktivt i Sverige men att det är något som bör användas mer för att minska vattenförlusterna.

4.5. Ekonomiska aspekter

I följande kapitel kommer olika ekonomiska aspekter för akustisk läcksökning och läcksökning med hund presenteras. Framförallt kommer personalkostnader samt pris för utrustning att redogöras.

4.5.1. Ekonomiska kostnader för akustisk metod

I Tabell 6 nedan redovisas kostnaderna för akustisk läcksökningsutrustning från HAMAFO Teknik AB. Lyssnarstav, digital lyssnarstav och korrelator används alla som lokaliseringsmetoder, alltså när härledning av dricksvattenläckans ungefärliga position gjorts och lokalisering av den exakta platsen vill göras. Tabell 6 visar även genomsnittspris per år för utrustning vid akustisk läcksökning, se Bilaga 1 för antaganden och beräkningar. Utöver utrustning är det främst personalkostnader till driftteknikerna som står för majoriteten av de ekonomiska kostnaderna vad gäller akustisk läcksökning. Haidarian (personlig kommunikation, 30 mars 2023) menar att den största andelen av akustisk läcksökning innefattar grovlokalisering av en läcka och att finlokalisering endast utgör en liten del, se Tabell 7. Timpriset för en drifttekniker anställd av Göteborg Kretslopp och vatten som arbetar med läcksökning på ledningarna är ungefär 900 kr/h och arbetet sker i team om två drifttekniker. Vidare poängterar Haidarian att mycket av uppgifter kring personalkostnader är uppskattade och inte existerande statistik.

Tabell 6. Kostnader för utrustning till akustisk läcksökning (HAMAFO Teknik AB, 2023).

Utrustning	Livslängd	Pris exkl. moms
Lyssnarstav LS-5, LS-10 och LS-15	Oändlig	1 500 - 2 300 kr
Digital lyssnarstav FSB-8D	10-20 år	9 000 kr
Korrelator Lokal 400	10-20 år	120 000 kr
Genomsnittspris per år för utrustning vid akustisk läcksökning		8 600 kr

Tabell 7. Genomsnittliga personalkostnader för akustisk läcksökning (Haidarian, personlig kommunikation, 30 mars 2023).

Sökmetod	Ungefärlig tid för en läcka	Ungefärliga personalkostnader per person för en läcka	Ungefärliga personalkostnader för ett team för en läcka
Grovlokalisering (Spindelnyssning på huvudledning)	15 h	13 500 kr	27 000 kr
Finlokalisering	30 min	450 kr	900 kr

4.5.2. Ekonomiska kostnader för läcksökning med hund

Att köpa in en hund som kan tränas till dricksvattensök kan enligt Kihl (personlig kommunikation, 28 mars 2023) kosta mellan cirka 18 000-20 000 kr. Enligt beräkningar är hunden tänkt att kunna jobba fram till ungefär 8-10 års ålder. Kihl uppmärksammar dock att eftersom det är levande djur kan ibland oplanerade och oförutsägbara situationer uppstå. Exempelvis beskriver Kihl att ytterligare en till hund som var tänkt att utbildas inom

dricksvattensök köptes in, men som efter ett par månaders träning tyvärr fick somna in på grund av plötslig sjukdom.

Under en arbetsdag kan en hund klara av att arbeta med sök ungefär 30-40 minuter i sträck utan paus och kan totalt söka effektivt i 3-4 timmar, beskriver Kihl vidare. Hunden klarar att söka av 2-3 kilometer om dagen, oberoende av väder eller omgivande miljö. I Tabell 8 nedan kan en sammanställning över kostnaderna för en läcksökningshund ses.

Tabell 8. Sammanställning av kostnader för läcksökningshund.

Inköpskostnad	Antal år i aktiv tjänst	Antal timmar om dagen hunden kan arbeta	Tidsintervall hunden kan söka aktivt utan paus
18 000-20 000 kr	6-8 år	3-4 timmar	30-40 min

Vid sökuppdrag med läcksökningshund och förare tillkommer dels en framkörningsavgift som baseras på avståndet till området i fråga samt en startavgift och sedan en fast kostnad per påbörjad söktime. I Tabell 9 nedan kan en sammanställning över kostnaderna för år 2023 ses. Vid ett större sökuppdrag kan startavgiften eventuellt utebli uppger Kihl, så att den totala kostnaden beror enbart på framkörningsavgiften och arbetskostnaden.

Tabell 9. Sammanställning av kostnader för att läcksöka med hund.

Framkörningsavgift exkl. moms (kr/mil)	Startavgift exkl. moms (kr)	Arbetskostnad per påbörjad söktime exkl. moms (kr)
75	6 500	2 500

4.5.3. Jämförelse av ekonomiska aspekter

I Tabell 10 har den totala kostnaden för finlokalisering med akustisk metod sammanställts. Tabellen har baserats på utrustningskostnader och personalkostnader från Tabell 6 och Tabell 7 i kapitel 4.5.1. Vid samtal berättar Haidarian att för akustisk läcksökning tar grovlokaliseringen mest tid och uppskattar att grovlokaliseringen för en läcka tar 15 timmar medan finlokaliseringen för en läcka tar 30 minuter. Därtill har antalet arbetsdagar samt

längden på arbetsdagen antagits vara 21 dagar per månad respektive åtta timmar per dag. Detta tillsammans med föregående information ger att driftteknikerna arbetar med finlokalisering 5,4 timmar i månaden. Därtill har antagandet att driftteknikerna arbetar i team om två gjorts. Mer utförliga beräkningar finns i Bilaga 1.

Tabell 10. Kostnad för finlokalisering med akustisk metod per månad

Kostnad för akustiskt metod per månad	kr/månad
Kostnad för utrustning	700
Personalkostnad för två drifttekniker	9 800
Totalkostnad	10 500

I Tabell 11 och Tabell 12 visas den uppskattade totala kostnaden för läcksökning med hund per månad år 2023. Tabellen har baserats på Tabell 8 och Tabell 9 i kapitel 4.5.2.

Framkörningsavgift och startavgift har uteslutits i dessa beräkningar. Då information saknas för att jämföra hur metoderna skiljer sig tidsmässigt, har två olika beräkningar gjorts. En med antagande att metoderna kräver samma tid för att finlokalisera och en med antagandet att läcksökning med hund tar hälften av tiden akustiskt metod tar. Det vill säga att arbetskostnaden har baserat på 5,4 timmar respektive 2,7 timmar. Mer utförliga beräkningar finns i Bilaga 1.

Tabell 11. Kostnad för läcksökning med hund per månad antaget 5,4 timmars arbetstid.

Kostnad för läcksökning med hund per månad	kr/månad
Inköpskostnad hund	200
Arbetskostnad	15 500
Totalkostnad	15 700

Tabell 12. Kostnad för läcksökning med hund per månad antaget 2,7 timmars arbetstid.

Kostnad för läcksökning med hund per månad	kr/månad
Inköpskostnad hund	200
Arbetskostnad	7 700
Totalkostnad	7 900

För både akustisk läcksökning och läcksökning med hund står personal- och arbetskostnader för majoriteten av den totala kostnaden. I Tabell 10 framkommer att kostnaden för akustisk metod beräknas till 10 500 kr per månad medan Tabell 11 och 12 visar att läcksökning med hund beräknas kosta någonstans mellan 7 900-15 700 kr per månad. Huruvida läcksökning med hund är mer kostnadseffektiv än akustisk metod beror på hur tidseffektiv metoden är.

5. Diskussion

Vidare presenteras en diskussion och jämförelse mellan de två metoderna akustisk metod och läcksökning med hund. En fördjupning kring ILI, precision, effektivitet och kostnader görs. Felkällor och osäkerhetsfaktorer diskuteras för att kritiskt granska resultatet samt på ett rättvist sätt kunna dra slutsatser.

5.1. Hållbarhet och Infrastructure Leakage Index, ILI

Det nuvarande utläckaget på 20 m³/km huvudledning per dygn i Göteborg ger ett värde på ILI som är 8,9 vilket inte är acceptabelt enligt Tabell 2. Detta visar tydligt att dricksvattenläckaget idag är ett stort problem i Göteborg och bör tas på allvar. Som tidigare nämnt är vattenbrist ett växande problem i Sverige och genom att redan nu förebygga dricksvattenläckaget bidrar det till ett framtida hållbart samhälle. På senare tid har Sverige insett värdet på vatten och Göteborg Kretslopp och vatten har därför en ambition om att minska utläckaget till 14 m³/km huvudledning per dygn och därmed sänka ILI till 6,2. Detta värde klassificeras fortfarande som inte acceptabelt enligt klassificeringen av ILI, som kan ses i Tabell 2, men det är en stor minskning i sammanhanget då skalan är liten och få värden anses acceptabla. En fördel med att ta fram värden på ILI är att de kan jämföras både med varandra samt mot andra områden nationellt och internationellt. ILI har inte varit etablerat i Sverige tidigare vilket kan ligga till grund för Göteborg Kretslopp och vattens låga målsättningar. Haidarian (personlig kommunikation, 2023) menar att en annan anledning till de låga målsättningarna kan vara ekonomiska begränsningar då det krävs en balans mellan kostnader för läckage och kostnader för att åtgärda läckage.

Vid jämförelse av värdet på ILI i Göteborg och i Sverige som helhet kan stora skillnader noteras. Detta kan bero på många faktorer, men det visar också på hur viktigt det är att arbeta aktivt med läcksökning för att erhålla ett hållbart dricksvattennät. De stora skillnaderna tyder också på att det är möjligt att sänka utläckaget och därmed spara vattenresurser.

För att minska utläckaget och därmed sänka ILI krävs att det befintliga dricksvattensystemet förnyas och byts ut i en högre takt. Genom att implementera effektiva metoder för läcksökning kommer förnyelsetakten kunna öka och där kan läcksökningshund vara aktuellt.

5.2. Precision

Sammanställningen av Kihls tidigare läcksökningsarbete visar att i genomsnitt markerade läcksökningshunden 1,2 meter från vattenläckan. Då ett hål på uppskattningsvis 2 m² grävs upp för att kunna reparera läckan hamnar läcksökningshundens markering inom området och detta anses som tillräckligt bra. Därtill visar sammanställningen att ledningsdjup, rörmaterial och underlag inte ser ut att påverka läcksökningshundens precision. Sammanställningen är däremot enbart baserad på 22 olika läckor varav många saknar komplett data. För att dra tydligare slutsatser kring hur ledningsdjup, rörmaterial och underlag påverkar hade mer information behövt samlats in. För den akustiska metoden saknas tidigare data på exakt precision, vilket hade behövts för att bättre jämföra de två metodernas precision. Däremot markerade läcksökningshunden och den akustiska metoden på i princip samma ställe under fältdagen. Den markerade platsen var även där läckan befann sig vilket visade sig vid uppgrävning av området. Detta talar för att båda metoderna är träffsäkra.

Därtill finns det faktorer som påverkar precisionen hos båda metoderna. Akustiska läcksökningsmetoder är begränsade vid trafikerade miljöer på grund av svårigheter med att lyssna efter läckljud bland omgivande buller från stadsmiljöer. Detta innebär att läcksökningsarbetet med dessa metoder måste ske under nattetid eller tidigt på morgonen. Läcksökningshunden påverkas däremot inte av stadsbuller eftersom den inte förlitar sig på ljud från ledningar för att lokalisera läckage. Effektiviteten hos akustiska metoder är även beroende av ledningsmaterial och det är framför allt ledningar i plast som är svåra att läcksöka. På plastledningar är det praktiskt taget omöjligt att lyssna efter läckor. När dricksvattennätet förnyas och expanderar i Göteborg är det däremot just plastledningar som anläggs vilket leder till omfattande problematik när det senare kommer till att läcksöka i ledningsnätet med hjälp av akustiska metoder. Så småningom kommer det därför att krävas alternativa läcksökningsmetoder och läcksökning med hund skulle kunna vara ett alternativ.

Eventuella begränsningar med läcksökningshund är att hunden är tränad till att söka efter och markera dricksvatten, det vill säga inte just specifikt vattenläckor. Hunden skiljer alltså inte på huruvida det lokaliserade dricksvattnet härstammar från en läcka eller ett vattenmagasin vilket kan medföra viss risk för felmarkeringar och i sin tur felgrävningar. Dessutom är hunden en levande varelse och kan exempelvis bli sjuk eller ha en dålig dag. Även utrustning kan gå sönder men kanske är läcksökning med hund en skörare metod, framförallt i dagsläget

när det bara finns en läcksökningshund i hela Sverige. Ytterligare en aspekt som skiljer de två läcksökningsmetoderna åt är förmågan att uppskatta storleken på den misstänkta läckan. Genom akustisk läcksökning kan en uppskattning över flödet som läcker från ledningen göras med hjälp av en korrelator medan en läcksökningshund enbart kan markera att det finns en misstänkt läcka, inte hur stor den är. Om det är möjligt att avgöra hur stor läckan är kan en bedömning göras av hur snabbt en åtgärd behöver vidtas.

Sammanfattningsvis anses båda läcksökningsmetoderna vara mycket träffsäkra utifrån den data som finns. Däremot har båda metoderna begränsningar gällande precision. Svagheter för akustiska metoder är omgivningsbuller och plastledningar, och svagheter för hund är känslighet mot sjukdom samt att den söker efter lukten av dricksvatten och kan därmed inte skilja på aktiva läckor och ansamlat vatten som läckt ut från en läcka under en längre tid.

5.3. Kostnad

Resultat angående kostnader för akustisk läcksökning samt läcksökning med hund har delats upp i två huvudsakliga aspekter: kostnad för utrustning och personalkostnader. Tabell 7 visar att för akustisk läcksökning spenderas majoriteten av driftteknikers arbetstid på grovlokalisering av läckan. Knappt 5 % av driftteknikers arbetstid läggs på finlokalisering. Därmed är en väsentlig fråga för att kunna konstatera om akustisk läcksökning eller läcksökning med hund är mest kostnadseffektiv: *Hur stor andel av grovlokaliseringen en läcksökningshund skulle kunna ersätta?* Susanne Kihl (personlig kommunikation, 11 april 2023) menar att en läcksökningshund kan söka av 2-3 kilometer av ledningsnätet per arbetsdag. Alltså kan en läcksökningshund inte enbart söka av mindre områden som skulle motsvara finlokalisering utan också längre sträckor. Däremot är det svårt att bedöma exakt hur tidseffektivt det är i jämförelse mot akustisk läcksökning och därmed kostnadseffektiviteten. Det kan dock konstateras att den läcksökningsmetod som är den mest tidseffektiva också förmodligen är den mest kostnadseffektiva då personalkostnaderna förväntas vara ungefär likvärdiga. Att notera är att dessa beräkningar har gjorts baserade från Göteborg Kretslopp och vatten som har egna anställda drifttekniker. Om jämförelsen istället skulle göras för en kommun som inte har egna anställda drifttekniker skulle det förmodligen vara till läcksökningshundens fördel eftersom det oftast är dyrare att hyra in konsulter jämfört med anställda drifttekniker.

När det gäller kostnader för utrustning för respektive läcksökningsmetod är skillnaden inte särskilt stor. Inköpspris av en hund som sedan utbildas till läcksökningshund kostar ungefär 20 000 kr och beräknas kunna arbeta i ungefär 7 år vilket resulterar i en kostnad på ungefär 3 000 kr för varje arbetsår av hundens liv. Utrustning för akustisk metod har beräknats vara ungefär 8 600 kr per år, se Tabell 6. Inköpspris för utrustning per år för akustisk metod är större jämfört med läcksökning med hund. Å andra sidan är nämnda kostnader för ett helt år och små i relation till personalkostnaderna vilket resulterar i att den ekonomiska skillnaden för utrustning inte blir särskilt stor i jämförelse med övriga kostnader för metoderna.

Även kostnad för utbildning undersöktes men valdes att uteslutas. Detta på grund av att kostnaden antas vara liknande, då utbildningen var cirka ett år både för drifttekniker inom läcksökning och läcksökningshund (Yrkeshögskolan, u. å. & Kihl, personlig kommunikation, 28 mars 2023). Att notera är att utbildning för läcksökningshund kräver mer personalresurser jämfört med för en drifttekniker då en lärare kan utbilda fler elever än antal hundar en hundförare kan lära upp på samma gång. Ytterligare en aspekt som inte tagits i beaktning är kostnader för felgrävningar vid misstänkta läckor. Tidigare har andelen felgrävningar vid akustisk läcksökning antagits vara 5 %. Läcksökningshundar kan markera vid exempelvis vattenmagasin som därmed kan resultera i felgrävning. Då både dessa siffror är baserade på begränsad statistik tas inte denna kostnad i beaktning vid jämförelse av kostnadseffektivitet för de två olika läcksökningsmetoderna.

Sammanfattningsvis konstateras att kostnaderna beror på personalkostnader och därmed tidseffektivitet eftersom övriga kostnader skiljer sig relativt lite. Det konstateras även att vilken läcksökningsmetod som är den mest kostnadseffektiva främst beror på hur stor del av grovlokaliseringen som en läcksökningshund kan ersätta en drifttekniker. Dessutom är det skillnad på hur metoderna går till, vilket påverkar förmågan att grovlokalisera.

Driftteknikerna kan spindellyssna längs huvudledningen efter läckor längre bort medan hunden luktar efter läckor i sin direkta närhet. Detta gör att hunden måste göra ett grundligare arbete på ett större område.

5.4. Felkällor och osäkerhetsfaktorer

När det kommer till beräkning av precision för den akustiska metoden är siffrorna endast uppskattningar och baseras inte på data. En persons uppskattning och erfarenheter kan inte jämföras med siffror som samlats in från faktiska läcksökningar. I detta fall har läcksökning med hund konkreta siffror från ett tjugotal olika läcksökningstillfällen. Avsaknad av data bidrar till en osäkerhet gällande precisionen av den akustiska metoden och bör därför tas hänsyn till vid jämförelse mellan de två metoderna.

När hundföraren Kihl har läcksökt hos olika kommuner med hunden har återkopplingsfrekvensen generellt sett varit låg. Detta har försvårat beräkningen och analysen av läcksökningshundens precision och hur andra faktorer som rördjup, -diameter och material, kan ha påverkat. Om återkopplingen varit mer frekvent hade säkrare slutsatser kunnat dras. I många fall saknas det också återkoppling om hur stort avståndet mellan hundens markering var till den uppgrävda läckan och detta kan påverka beräkningen av precisionen eftersom större mängd insamlad data ger ett mer korrekt resultat. I en del av de sök med bekräftade läckor har det enbart angivits hur långt ifrån läcksökarnas markering som hunden markerade, det vill säga inte hur långt ifrån själva läckan som markeringen var. Ibland har det inte heller angivits om avståndet som meddelats i återkopplingen är avståndet mellan hundens markering och läckan eller avståndet mellan hundens markering och driftteknikernas markering. Eftersom det inte finns angivet hur nära läckan som teknikerna markerade finns möjligheten att det kan påverka beräkningen av läcksökningshundens precision sett till medelavståndet till läckan. Det medför därmed en ytterligare osäkerhetsfaktor till beräkningen. Att analysera den information som Kihl själv har samlat in och noterat från de olika läcksökningstillfällena har även det inte varit helt simpelt. Detta då det ibland har funnits mycket information angiven (underlag, rördjup och -diameter, etc) medan vid vissa tillfällen har det varit mer bristfällig data. Detta syns i Tabell 3 i resultatavsnitt 4.1. Avsaknaden av data kan även ha påverkat beräkningen av hundens precision och huruvida rörets egenskaper eller omgivande faktorer kan ha påverkat hundens sökförmåga. Om det hade funnits mer information hade eventuellt säkrare och mer pålitliga slutsatser kunnat dras, exempelvis om hundens förmåga att läcksöka påverkas av rörets material eller om olika omgivande miljöer kan påverka. Detta är sådant man i nuläget kan se trender av, men för att konkreta slutsatser ska kunna dras behövs mer information att basera detta på.

Gällande felkällor kring kostnader för akustisk läcksökning innefattar det främst återigen uppskattning kring andel arbetstid som läggs på finlokalisering vid sökning av en misstänkt läcka. Information kring detta har samlats in från Göteborg Kretslopp och vatten via Haidarian som inte är baserad på statistik utan snarare en notation av trender från tidigare läcksökningstillfällen. Detta gör att det finns osäkerheter kring fördelningen av personalkostnader för grov- och finlokalisering. Ytterligare en observation som gjorts som potentiellt leder till ett felaktigt resultat är att det angivna timpriset för drifttekniker är utan OB-tillägg. OB-tillägg blir oftast relevant då driftteknikerna ska genomföra en akustisk läcksökning i stadsmiljö eftersom det behöver ske på tidpunkter då ljudnivån inte är för hög. När det kommer till arbetskostnaden för läcksökning med hund tas idag en fast kostnad per påbörjad söktimme ut. Under fältdagen lyckades hunden hitta den utmärkta läckan på cirka tre minuter. Det innebär att hunden har möjlighet att hitta en mycket stor mängd läckor på samma ställe, men om läckorna är utspridda med lång restid emellan kan kostnaderna per läcka öka ganska fort. Dock, ifall hunden kan både grov- och finlokalisera på ett område blir kostnadsfrågan annorlunda. På vilket sätt eller hur mycket kostnadsfrågan kommer påverkas är inte slutsatser som kan dras i nuläget, utan något som behöver undersökas med större datainsamling.

Sammanfattningsvis, angående kostnadsuppskattningarna för de bägge metoderna finns det en del att ta hänsyn till. Majoriteten av kostnaderna är uppskattade och inte baserade på statistik vilket innebär en stor osäkerhetsfaktor. Därför måste hänsyn till detta tas vid närmare analysering av uppgifterna.

6. Slutsats

Här nedan presenteras svar på de frågeställningar som tagits fram i avsnitt 1.2.2. utifrån de slutsatser som dragits i avsnittet för resultat och diskussion:

- I Göteborgsområdet är värdet på ILI inte acceptabelt och kommer att kräva en stor förändring som sträcker sig bortom Göteborg Kretslopp och vattens mål.
 - I och med klimatförändringarna behöver vi ta mer hänsyn till och vara mer försiktiga med vårt vatten.
- Sett till precision är både akustisk läcksökning och läcksökning med hund mycket säkra metoder.
 - Båda metoderna har visat sig vara mycket träffsäkra och kunnat markera de allra flesta läckor.
- Vilken metod som är mest kostnadseffektiv beror på många faktorer som kräver vidare undersökning.
 - Kostnader för läcksökning med hund är beroende på hur stor del, både geografiskt och tidsmässigt, av grovlokaliseringen som hunden kan klara av. Detta måste undersökas mer innan en exakt slutsats kan dras.
- Läcksökning med hund är ett bra komplement till dagens akustiska läcksökning.
- För läcksökning på plaströr är läcksökning med hund en lämplig metod då den akustiska metoden inte går att använda vid dessa förutsättningar.
 - Då det i dagsläget främst är plaströr som nyanläggs ges ett stort incitament att hitta fungerande läcksökningsmetoder.
- Vid läcksökning i bullriga miljöer är läcksökning med hund ett bra alternativ.
 - Detta eftersom hunden inte påverkas av störande ljud från omgivningen eftersom den söker efter läckan med sitt luktsinne.

Referenslista

Danderyds kommun. (2022). Så spar vi dricksvatten – läcksökning med hund.

https://www.danderyd.se/contentassets/751fb19789854742aeec443c9ffb4fb1/a5-danderyd_mars-2022_web.pdf?fbclid=IwAR3w0NnDcHahbChqQ397IS4Lm3RwJrJKnFG1nrhNvxrAnjzi92gMcCf2AVI

Hunaidi, O. (2012). Acoustic Leak Detection Survey Strategies for Water Distribution Pipes. Construction technology update, No. 79. <https://doi.org/10.4224/20329039>

HAMAFO Teknik AB. (u.å). *Spindellyssning*. <https://hamafo.se/product/spindellyssning/>

Kihl, S. (2021a). *Om Oss*. <https://hundagarservice.se/om-susanne/>

Kihl, S. (2021b). *Läcksök/Dricksvatten*. <https://www.specialsok.se/vattenlacksok/>

Livsmedelsverket. (2019). *Handbok för klimatanpassad dricksvattenförsörjning*. <https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/publikationsdatabas/handbocker-verktyg/handbok-for-klimatanpassad-dricksvattenforsorjning-2019.pdf>

Malm, A., Axell, L., Svensson, G., & Røstum, J. (2019). *Vattenförluster från ledningsnätet—Beräkningsverktyg för en hållbar nivå* (2019-17). Sstenbergvenskt Vatten AB. <http://vav.griffel.net/filer/svu-rapport-2019-17.pdf>

Malm, A., Horstmark, A., Larsson, G., Uusijärvi, J., Meyer, A., & Jansson, E. (2011). *Rörmaterial i Svenska VA-ledningar—egenskaper och livslängd* (2011-14). Svenskt Vatten AB. http://vav.griffel.net/filer/rapport_2011-14.pdf

Moberg, F. (2022, 12-14 oktober). *Arbete med läckagesökning, ILI och SELL*. Kungsbacka kommun [Konferenssession]. Nationella Dricksvattenkonferensen, Svenskt Vatten. Visby.

Stenberg, R. (1979). *Läcksökningar på vattenledningar: metodik och teknik för att kontrollera och lokalisera läckor på vattenledningsnät*. Svensk byggtjänst. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat09075a&AN=clpc.oai.edge.chal>

mers.folio.ebsco.com.fs00001000.33e8537d.d4e8.4750.856c.629a19959fb8&site=eds-live&scope=site&authtype=guest&custid=s3911979&groupid=main&profile=eds

Svenskt Vatten AB (2022). *Varför blir det vattenläckor?*

<https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/rornat-och-klimat/fakta-om-utlackage/>

Innehållsansvarig: Karlsson, E.

Sveriges geologiska undersökning. (2020). *Vatten*. <https://www.sgu.se/om-geologi/vatten/>

Uusijärvi, J. (2013). *Minskning av in-och utläckage genom aktiv läcksökning* (2013-03).

Svenskt Vatten AB. http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2013-03.pdf

Winarni, W. (2009). Infrastructure leakage index (ILI) as water losses indicator *Civil Engineering Dimension*, 11(2), s. 126-134.

<http://203.189.120.189/ejournal/index.php/civ/article/viewFile/17230/17771>

Yrkeshögskolan. (u. å). *Läcksökare och Rörnätsutredare*.

<https://www.yrkeshogskolan.se/hitta-utbildning/sok/utbildning/?id=8654>

Bilaga 1 - Kostnadsuppskattning för utrustning och personal

I Tabell B1 nedan finns antagande om genomsnittlig livslängd för utrustning samt pris på produkter från HAMAFO Teknik AB.

Tabell B1. Antagna värden som användes vid beräkning av genomsnittspris för utrustning vid akustisk läcksökning.

Utrustning	Livslängd	Pris
Lyssnarstav LS-5, LS-10 och LS-15	50 år	1 875 kr
Digital lyssnarstav FSB-8D	15 år	8 950 kr
Korrelator Lokal 400	15 år	120 000 kr

Beräkning av genomsnittspris för utrustning vid akustisk läcksökning

Beräkning av genomsnittspris för utrustning vid akustisk läcksökning i kronor kan ses nedan (ekvation B1).

$$\bar{x} = \frac{1875}{50} + \frac{8950}{15} + \frac{120000}{15} = 8634 \text{ kr} \quad (\text{B1})$$

Beräkning av kostnad för akustiskt metod per månad

I Tabell B2 nedan kan beräkningarna för månadskostnaden för läcksökning med akustisk metod ses.

Tabell B2. Kostnad för akustisk metod per månad.

Kostnad för akustiskt metod per månad	Uträkning	kr/månad
Kostnad för utrustning	$\frac{8630}{12}$	700
Personalkostnad för två drifttekniker	$900 \cdot 2 \cdot 21 \cdot 8 \cdot -$	9755
Totalkostnad	$719 + 9755$	10500

Beräkning av kostnad för läcksökning med hund per månad

I Tabell B3 nedan kan beräkningarna för månadskostnaden för läcksökning med hund ses.

Tabell B3. Kostnad för läcksökning med hund per månad

Kostnad för läcksökning med hund per månad	Uträkning	kr/månad
Inköpskostnad hund	$\frac{19000}{7 \cdot 12}$	226
Arbetskostnad	$5,4 \cdot \frac{10000}{3,5}$	15484
Totalkostnad	$226 + 15484$	15710



CHALMERS