

Skador och deras förebyggande i svenska fjärrvärmennät

- Slutrapport av delprojekt inom
GrönBostad Stockholm

Författare: Kristina Lygnerud, Jonas Ottosson, IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Medel från: Projektet Grön BoStad Stockholm som är finansierat av europeiska regionala utvecklingsfonden

Rapportnummer C 409

ISBN 978-91-7883-061-9

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2018**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem



Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
Summary	5
1. Bakgrund och syfte	6
2. Metod	7
2.1 Litteraturgenomgång	7
2.2 Statistik	7
2.3 Intervjuer	8
3 Resultat	9
3.1 Litteratur	9
3.2 Statistik	12
3.2.1 Skadefrekvens i distributionsnät.....	12
3.2.2 Metoder för skadedetektering.....	13
3.2.3 Kostnader för skador.....	15
4 Intervjuer	17
4.1 Intervju med fjärrvärmeföretag.....	17
4.2 Intervju med fastighetsägare med egen kulvert.....	19
5 Diskussion	20
6 Slutsats.....	21
Referenser.....	22



Sammanfattning

Denna rapport har skrivits som en del av projektet Grön BoStad Stockholm som är finansierat av europeiska regionala utvecklingsfonden. Utförare av projektet har varit IVL Svenska Miljöinstitutet.

Skador på ledningar i distributionsnät för fjärrvärme och fjärrkyla ger upphov till stora kostnader för energiföretag. Att kunna förebygga skador, rörbrott och läckor i distributionsnäten bör alltså vara i energiföretags intresse. Förutom att förebygga skador, behöver även skadorna snabbt och effektivt kunna upptäckas då de uppstår. Många ledningar i näten installerades för många år sedan, då digitala övervakningssystem inte fanns tillgängliga i samma utsträckning som idag. Användningen av detekteringssystem av olika slag är utbredd i svenska nät, men det saknas en samlad bild över hur de används och hur effektiva de är.

Denna rapport har som syfte att undersöka hur fjärrvärmeföretag och fastighetsbolag arbetar för att förebygga och upptäcka skador i distributionsnät för fjärrvärme samt att belysa värdet av detta arbete. Undersökningen har gjorts genom en litteraturgenomgång, insamling och analys av statistik kring skador och rörbrott i fjärrvärmenät samt genom intervjuer med aktörer i branschen. Även europeiska distributionsnät har studerats för att sätta rapporten i en internationell kontext.

Fjärrvärmeföretag i Sverige är medvetna om fördelarna med att arbeta systematiskt med att förebygga och upptäcka skador, men det saknas i dagsläget standardiserade, branschtäckande metoder för att göra detta. Statistik kring skador i fjärrvärmenät har under flera år inte samlats in centralt vilket gör det svårt att få en överblick över statusen på svenska distributionsnät för fjärrvärme. Genom branschorganisationen Energiföretagen utförs i skrivande stund arbete för att samordna insamlingen av skadestatistik och förbättra kunskapen kring skador i näten i hela branschen.

Användningen av metoder för att upptäcka skador i fjärrvärmenät varierar mellan näten som studerats i denna rapport. I statistiken för två fjärrvärmenät i Sverige går det att utläsa att 10 – 20 procent av skadorna som rapporterats har upptäckts genom automatiska larmsystem. Många av skadorna upptäcks i stället genom olika, mer indirekta, metoder som ronderingar, termografering och genom att spädmatningen på grund av vattenförluster i en ledning ökar.



Summary

This report is written as a part of the Grön BoStad project, financed by the European Regional Development Fund. The work reported here was performed by IVL Swedish Environmental Research Institute.

Damages in the distribution networks for district heating and cooling drives costs for utility companies. Being able to prevent damages and leakages in the distribution networks should therefore be of interest for utility companies. In addition to preventing damages, it is also important to be able to quickly and efficiently detect damages in the network whenever they occur. Many of the pipes and lines in distribution networks were installed many years ago, when digital surveillance systems were not available to the same extent as they are today. The use of damage detection systems is widely spread in Swedish distribution networks, but there is no summarized and general information in how they are used and how efficient they are.

This report has the purpose to investigate how district heating and cooling companies and property owners are working in order to prevent damages in district heating distribution networks and to quantify the value that this work creates. The investigation has been made through a literature review, collection and analysis of statistical data regarding damages in district heating networks and through interviews held with stakeholders in the industry. In order to place the study in an international context, some European distribution networks have also been included.

Swedish district heating and cooling companies are in general well aware of the advantages that can be achieved by having a systematic approach to the prevention of damages in the distribution networks, there is however a lack of standardized and industry-common methods for this. Statistics concerning damages in Swedish district heating networks has not been gathered on a national level since some years and it is therefore hard to get a general picture of the status of the networks. The trade organization *Energiföretagen* is at the time of writing this report working actively with organizing national statistical data and improving the knowledge regarding damages in Swedish district heating networks.

The use of damage detection methods varies between the district heating networks that have been studied in this report. The statistics from two Swedish district heating networks shows that 10 to 20 per cent of reported damages have been detected through automated systems. A large part of the damages is being detected by various, less direct, methods such as schedules inspections, thermography and through additional water being injected to the network because of leakages.



1. Bakgrund och syfte

Projektet är en del av Grön BoStad Stockholm som är finansierat av europeiska regionala utvecklingsfonden. Utförare av projektet har varit IVL Svenska Miljöinstitutet.

Skador på ledningar i distributionsnät för fjärrvärme och fjärrkyla ger upphov till stora kostnader för energiföretag. Under 2017 avsatte exempelvis Stockholm Exergi 200 miljoner kronor för drift och underhåll, vilket motsvarar ungefär 3 procent av hela Stockholm Exergis omsättning under året (Stockholm Exergi AB, 2018). Förutom drift- och underhållskostnader ger skador upphov till läckor i näten, vilket i sin tur leder till förluster av fjärrvärmevatten. För att ersätta förlusterna behöver nätet spädmatas, vilket innebär både en ekonomisk kostnad och ökad miljöpåverkan. Svensk Fjärrvärmes underhållshandbok uppskattar kostnaden för spädmatning till 50 kr/m³ vatten, och anger att ett fjärrvärmenät kan behöva spädmatas motsvarande en nätomsättning per år på grund av läckor i systemet (Svensk Fjärrvärme AB, 2015).

Att kunna förebygga skador, rörbrott och läckor i distributionsnäten bör alltså vara i energiföretags intresse. Information om ämnet är av blandad karaktär och det saknas en samlad bild över hur svenska distributionsnät drabbas av skador.

Förutom att förebygga skador, behöver även skadorna snabbt och effektivt kunna upptäckas då de uppstår. Många ledningar i näten installerades för många år sedan, då digitala övervakningssystem inte fanns tillgängliga i samma utsträckning som idag. Användningen av detekteringssystem av olika slag är utbredd i svenska nät, men det saknas en samlad bild över hur de används och hur effektiva de är.

Syftet med denna studie är att utreda huruvida det finns en vinning i att förebygga skador och rörbrott i distributionsnät för fjärrvärme och fjärrkyla, samt att ge en inblick i hur vanligt förekommande rörbrott och skador är och hur sådana hanteras.

2. Metod

Arbetet i detta projekt har bestått av tre huvudsakliga delar: en litteraturgenomgång har genomförts, statistik kring skador i fjärrvärmenät har samlats in och sammanställts och slutligen har en intervjustudie utförts.

2.1 Litteraturgenomgång

Litteraturgenomgången har utförts i både svensk och internationell kontext och har haft för avsikt att kartlägga aktuell forskning och utveckling kring området skador i distributionsnät för fjärrvärme och fjärrkyla. Litteraturgenomgången har utförts i vetenskapliga databaser som *ScienceDirect*, *Scopus* och *Google Scholar* där sökord som *fault detection district heat/ing*, *damage district heat/ing*, *leaks district heat/ing*, och, *leak detection district heat/ing* har använts. För svenska källor har sökningar gjorts i *Google Scholar* och i *Energiforsks rapportdatabas*, där sökord som till exempel *skada fjärrvärme*, *underhåll distribution fjärrvärme*, *skadestatistik fjärrvärme*, *skada distribution värme* och *detektering fjärrvärme* har använts.

2.2 Statistik

För att ge en uppfattning om hur ofta och varför skador uppstår i distributionsnät för fjärrvärme och vilka kostnader dessa kan ge upphov till har statistik över skador i fjärrvärmenät samlats in och sammanfattats. Tre länder i Europa har fokuserat på frågan över tid i olika utsträckning; Sverige, Finland och Tyskland och tillgänglig statistik från dessa länder har insamlats och analyserats. Utöver den nationella statistiken har även statistik kring rörbrott och skador i distributionsnäten hos två energiföretag i Sverige, Öresundskraft AB och Göteborg Energi AB, studerats. De statistiska underlagen skiljer sig åt mellan källorna vad gäller antalet insamlade observationer, statistikens ålder och aspekter som tas upp men de ger ändå en inblick i vilka aspekter som är relevanta för fjärrvärmeföretag.

Den svenska statistiken kring skador i fjärrvärmenät har samlats in på två sätt: genom äldre statistik från åren 1983–1997, vilken utgavs av Energiföretagen eller dess föregångare, samt genom ett utdrag från Energiföretagens statistikdatabas *Skadenyckeln* från åren 2012–2018. Skaderapportering i svenska fjärrvärmenät har sedan en tid tillbaka inte sammanställts på nationell nivå. Under åren 1983 till 2003 samlade Energiföretagen (tidigare Svensk Fjärrvärme, Fjärrvärmeföreningen, Värmeverksföreningen) in skadestatistik från sina medlemsföretag. Statistiken gavs ut i rapportform för åren 1982 till 1997, därefter gavs inte statistiken ut i rapportform. Statistik för åren 1997 till 2003 saknas och efter 2003 samlades inte statistik in längre (Sernhed, et al., 2012). Statistiken från denna källa som har inkluderats i studien innehåller uppgifter kring: skador per km ledning (skadefrekvens), kostnader för skador och skadedetektering. Energiföretagen har sedan år 2016 påbörjat ett arbete med att återuppta insamlingen av skadestatistik genom ett verktyg kallat *Skadenyckeln* (Energiföretagen, 2018a). Statistiken från skadenyckeln i denna studie används endast för att belysa vilka metoder som använts för skadedetektering, eftersom andra uppgifter kring till exempel ledningslängd saknas. Statistiken i skadenyckeln bygger på skaderapportering från 29 olika fjärrvärmenät i Sverige mellan åren 2014 och 2018.



För att komplettera den nationella statistiken har även intern skadestatistik från två svenska fjärrvärmeföretag erhållits. De båda fjärrvärmeföretagen är Öresundskraft AB (ÖKAB) samt Göteborg Energi AB. ÖKAB kan anses representera ett medelstort svenskt fjärrvärmenät, medan Göteborg Energi har ett stort fjärrvärmenät med svenska mått. Öresundskrafts fjärrvärmenät omfattar totalt 730 km ledningar med 31 500 m³ vatten i Helsingborg och Ängelholm (Öresundskraft AB, 2018a). Nätet i Helsingborg byggdes och togs i drift 1964 och i Ängelholm togs nätet i drift 1977. Göteborg Energis fjärrvärmenät är 1350 km långt, de första ledningarna togs i drift redan 1952 (Göteborg Energi AB, 2018a). Både Öresundskraft AB och Göteborg Energi AB för liknande statistik över de skador och rörbrott som uppstår i respektive distributionsnät. Bland de uppgifter kring skador i fjärrvärmenät som samlats in för denna rapport är data från Öresundskraft AB mest utförlig. Statistiken innefattar rapporterade skador i Öresundskrafts nät från 1977 fram till 2018 och ger uppgifter kring skadefrekvens, kostnader för skador och skadedetektering. Från Göteborg Energis distributionsnät finns statistik tillgänglig kring antalet rapporterade skador per år mellan 1987–2018, men detaljerade data kring skadorna är endast tillgänglig för åren 2010–2018. I denna studie har från Göteborg Energis nät hämtats statistik för skadefrekvens och skadedetektering.

Den finska branschorganisationen för fjärrvärmeföretag, Finsk Energiindustri eller Energiateollisuus, publicerar årligen sedan 1987 statistik över skador som uppstått i deras medlemsföretags nät. Den senaste publicerade statistiken avser år 2017 och täcker in skador som rapporterats från 40% av Finsk Energiindustris medlemsföretag och skaderapporteringen täcker in 8400 km fjärrvärmeledningar i Finland (Energiateollisuus, 2018). I denna studie har från finsk statistik hämtats uppgifter kring skadefrekvens, metoder för skadedetektering samt kostnader för skador.

I Tyskland har branschorganisationen AGFW, med över 500 medlemsföretag, fört statistik över skador på plastmantlade fjärrvärmeledningar mellan åren 1996 till 2011. Statistiken för år 2011 baseras på rapporter från 195 medlemsföretag som tillsammans motsvarar 11 178 km plastmantlade fjärrvärmeledningar. Sedan 2004 steg antalet rapporterade företag från 111 stycken och ledningslängden från 5 221 km (Espig, 2013). I denna studie används den tyska statistiken för att hämta uppgifter kring skadefrekvens och skadedetektering.

2.3 Intervjuer

För att komplettera den information som går att få från statistik kring rörbrott och skador, har fallstudier genom två intervjuer med två olika aktörer i den svenska fjärrvärmebranschen utförts. Båda aktörerna är geografiskt placerade i Stockholmsregionen. En av respondenterna representerar ett fjärrvärmeföretag och en av respondenterna representerar en fastighetsägare med ett eget kulvertnät för distribution av fjärrvärme. Båda intervjuerna har genomförts med samma intervjuguide. De har genomförts över telefon och sammanfattats i skrift efter genomförandet.

3 Resultat

3.1 Litteratur

Det finns begränsat med litteratur på ämnet internationellt medan man finner mer detaljerade studier från Sverige, en orsak till detta är att fjärrvärmeföretagens tidigare branschorganisation (Svensk Fjärrvärme, nu del av Energiföretagen Sverige) över lång tid belyst frågan. Tittar man internationellt belyses området från ett helhetsperspektiv snarare än utifrån detaljer. En översikt över läcksökningsmetoder ur ett internationellt perspektiv ges t.ex. av Zhou et. al (Zhou, et al., 2018) och i (Filippini, et al., 2018) beskrivs erfarenheter från utvecklingen av läcksöknings-metoder i Italien. De senare understryker vikten av att kunna detektera och fastställa positionen för en läcka eller skada på ett exakt sätt och presenterar en metod för att lokalisera läckor genom mätning och analys av vattenförluster och tryckfall i fjärrvärmenät. I (Tereshchenko & Nord, 2016) diskuteras vikten av tillförlitlighet hos distributionsnät för fjärrvärme och olika mekanismer och orsaker till rörbrott och skador kartläggs genom en litteraturgenomgång. Faktorer som påverkar ledningars driftsäkerhet listas som bland annat ledningarnas ålder, diameter, ledningslängd, ledningsmaterial, värmelast, jordegenskaper samt tryck- och temperaturnivåer. Författarna menar att fjärrvärmeföretag måste samla in data kring skador i näten för att kunna vara fortsatt konkurrenskraftiga och kunna leverera tjänster till kunder med hög tillförlitlighet.

I litteratursökningen märks en ny gren sedan 2015. Fokus ligger på att förutse skador i fjärrvärmenät genom olika statistiska metoder och genom machine learning. Exempel på sådana studier är (Månsson, et al., 2018), (Xue, et al., 2017), (Zimmermann, et al., 2017), (Valincius, et al., 2015) samt (Babiarz & Chudy-Laskowa, 2015). Generellt gäller för dessa typer av metoder att data från befintliga distributionsnät samlas in, behandlas i en modell och ger prognoser för när och var i näten som skador kan uppstå. För att metoderna ska ge resultat av tillräckligt hög kvalitet för att användas i praktiken krävs det att insamlad data kring ledningar och skada är strukturerad och har en viss detaljnivå. I (Zimmermann, et al., 2017) beskrivs hur uppkopplade sensorer, tillsammans med intelligenta algoritmer kan användas för att snabbt upptäcka fel i fjärrvärmenät med utgångspunkt i ett svenskt fjärrvärmenät. Det är troligt att denna utveckling är knuten till den begynnande digitaliseringen av energisektorn i stort, vilket inkluderar fjärrvärmeföretag.

Svensk litteratur är delvis mycket detaljerad. En intressant historisk återblick återfinns i en rapport framtagen för den svenska Fjärrvärmeföreningen som utvärderar möjligheterna hos digitala läckdetektorer i fjärrvärmenät så tidigt som 2002. Rapporten menar att digitala läckdetektorer kan vara ett attraktivt alternativ till konventionella system som till exempel larmtrådar, men att kostnaderna för de digitala systemen vid rapportens utgivning hade för hög kostnad för att kunna realiseras (Andersson, 2002). Mellan 2003 och 2012 finns det begränsat med information, vilket kan hänga samman med att det från 2003 inte insamlats någon nationell statistik kring rörbrott i Sverige.

Genom Svensk Fjärrvärmes forskningsprogram Fjärrsyn undersöktes år 2012 hur svenska fjärrvärmeföretag arbetar med att kontrollera och underhålla betongkulvertar. Rapporten konstaterade att underhållsbehovet i betongkulvertar kommer att öka och att en fungerande skadestatistik och teknikutveckling av övervaknings- och utvärderingssystem kommer att vara av största vikt. Rapporten konstaterar även att statusen på de betongkulvertar som finns i svenska nät till stor del inte är känd för fjärrvärmeföretagen (Sernhed, et al., 2012). I denna studie dras slutsatserna; "För att kunna utnyttja historiska data om fjärrvärmeledningarna är det viktigt att

fjärrvärmebolaget använder sig av en nätdatabas med detaljerad skadedokumentation.” (Sernhed, et al., 2012, s.104) och att ”Metoderna för läcksökning förbättras ständigt och det finns anledning att ha ett kunskapsutbyte mellan fjärrvärmebolagen och med andra branscher som också håller på med distribution av media i rör” (Sernhed, et al., 2012, s.105).

En ytterligare rapport från Fjärrsynprogrammet 2012 hade temat statusbedömning av fjärrvärmenät. Fokus för studien var att redogöra för potentialen hos skadedetekteringsmetoden termografering. Rapporten inleds med att uppge att läckage av vatten och värme från fjärrvärmenät leder till stora kostnader och onödig miljöpåverkan. Rapporten uppger också att läckage i fjärrvärmenät väntas öka i framtiden på grund av ett åldrande ledningsnät (Sjökvist, et al., 2012).

2015 publiceras en utförlig publikation på ämnet underhåll av fjärrvärmenät *Underhållshandboken*, (Svensk Fjärrvärme AB, 2015). Underhållshandboken har syftet att höja kunskapsnivån och öka medvetenheten inom området fjärrvärmedistribution och därigenom öka säkerheten inom arbetsmiljö, miljö och leveranser av fjärrvärme. Fyra huvudargument ges för att fjärrvärmenät ska underhållas och att skador och läckor undvikas; arbetsmiljön för både personal och allmänhet måste säkras, påverkan på miljön genom exempelvis läckage av varmt vatten och av ökade värmeförluster ska minimeras, leveranssäkerhet och driftsäkerhet ska upprätthållas, underhåll utgör kostnader som behöver kontrolleras både kortsiktigt och långsiktigt. När det kommer till skadestatistik i fjärrvärmenät uppges det i *Underhållshandboken* att ett väl uppbyggt underlag över skador ger möjligheter till analys och förbättringar för ledningar och komponenter. Med kunskap om vilka kategorier av ledningar som är skadebenägna blir det möjligt att lägga upp en strategi för att hantera dessa ledningar. I *Underhållshandboken* anges att insamling av skadestatistik i Sverige inte har skett på ett centralt samordnat sätt i landet sedan 2003.

En studie från Lunds Tekniska Högskola år 2017 undersökte hur energiföretag i Sverige kan arbeta systematiskt med att bedöma och klassificera risker i sina distributionsnät och planera sitt underhållsarbete genom detta. Studien utfördes genom intervjuer med ett flertal svenska fjärrvärmebolag och redogör för hur exempelvis Fortum Värme klassificerar fjärrvärmeledningar enligt en konsekvens och probabilitets-modell som baseras på bland annat historisk skadestatistik och ledningens placering (Sernhed & Jönsson, 2017). Man drar även slutsatsen att fjärrvärmenät utgör en viktig samhällsrelaterad funktion och att skador i nätet i värsta fall kan få katastrofala följder. Att arbeta preventivt och systematiskt för att planera renovering av ledningar och undvika skador sägs bli än mer viktigt, studien anger att större energiföretag ofta har implementerat ett systematiskt arbete, medan mindre företag oftare arbetar på ad-hoc basis med skador och deras förebyggande. I en analys av den svenska fjärrvärmebranschens riskbild identifieras rörbrott som en av de viktigaste riskerna att arbeta preventivt med.

Det finns idag grundläggande funktionskrav för övervakningssystem för förisolerade fjärrvärmerörsystem (standard SS-EN 14419:2009) och kraven omfattar tillverkning av larmtrådar, tillverkning av prefabricerade ledningar med larmtrådar och för montering av larmtrådar i fält (SIS, 2009). Vid Distributionsdagarna i Stockholm 23 januari 2019 berättade Energiföretagen om arbete som pågår internationellt kring standards och fjärrvärmedistribution som helhet. Nya aspekter kommer att inkluderas i kommande uppdateringar av befintliga standarder kring distributionsnät med ökat fokus på livscykelperspektiv, systemsyn, differentierade tryck och temperaturer samt utveckling i riktning mot de generationer av fjärrvärme som hanterar lägre temperaturer (4e och 5e). Det förefaller således som om det finns ett ökat intresse både internationellt och nationellt kring distributionsnät och dessas underhåll.



Baserat på litteraturen kan slutsatsen dras att det är viktigt att på ett systematiskt sätt förebygga och detektera läckage.

Som ett resultat av ökad digitalisering utvecklas nya tekniker för att bedriva ett systematiskt arbete med läcksökning.

En systemsyn med livscykelperspektiv blir framöver en uttalad norm i och med att krav kring detta kommer att ställas från EU.

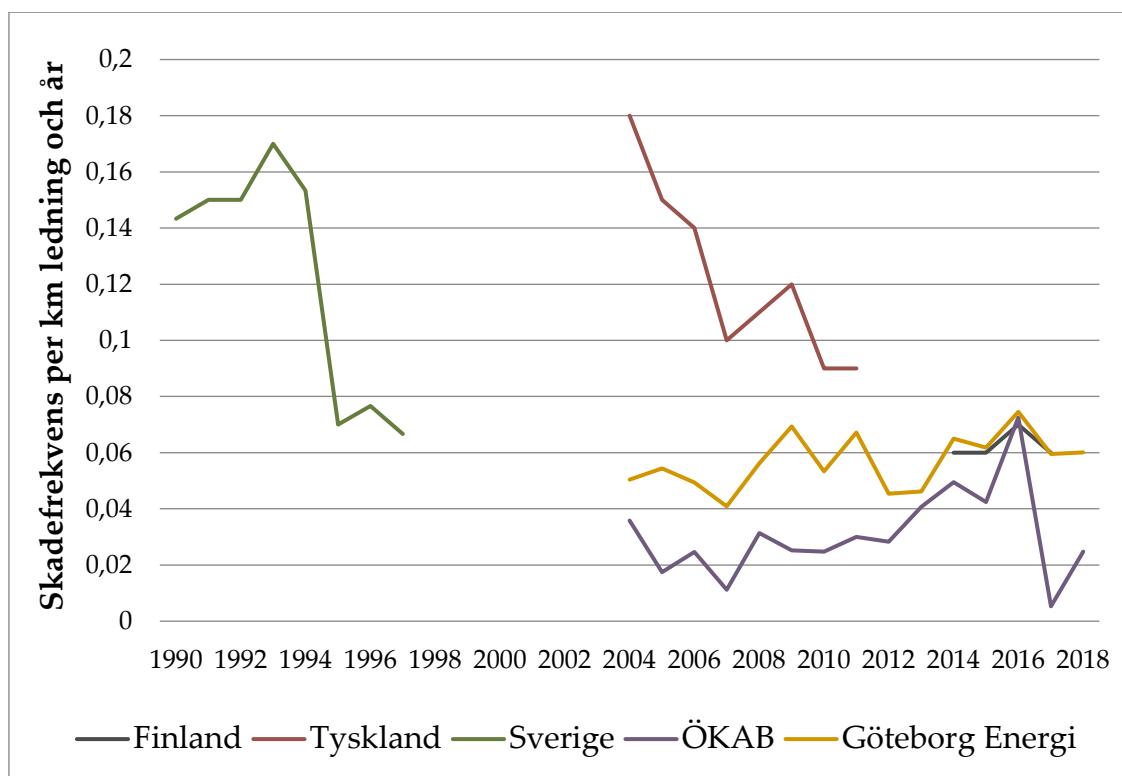
3.2 Statistik

Uppställningen av statistik kring skador i fjärrvärmenät skiljer sig mellan länder, när statistiken samlats in och i det svenska fallet vilket företag som har rapporterat skadorna. I många fall blir därför statistiken svår att jämföra mellan källor. I så hög utsträckning som möjligt presenteras i detta avsnitt statistik som är jämförbar mellan källor, om så inte är fallet anges detta uttryckligen.

3.2.1 Skadefrekvens i distributionsnät

I samtliga källor anges antalet rapporterade skador per år i det studerade nätet. Eftersom näten är av mycket varierande storlek presenteras här därför skadefrekvensen per km installerad ledning. Detta jämförelsetal är beräknat för samtliga källor förutom Energiföretagens statistik, då det i denna inte framgår nätens längd.

Figur 1 nedan visar trender över skadefrekvenserna per km ledning och år för svenska nationella och lokala nät samt tyska och finska nät. Skadefrekvensen ligger i alla nät mellan 0,18 skador/km från tysk statistik år 2004 och 0,01 skador/km från Öresundskrafts nät år 2017.



Figur 1 Skadefrekvenser per km installerad ledning enligt nationell och lokal statistik. Notera att svensk nationell statistik upphör år 1997. (Energiatollisuus, 2018), (Espig, 2013), (Fjärrvärmeföreningen, 1998) (Öresundskraft, 2018), (Göteborg Energi, 2018).



3.2.2 Metoder för skadedetektering

Vilken metod som har använts för att upptäcka de rapporterade skadorna anges på olika sätt i respektive statistikunderlag. Rapporteringen har haft olika detaljnivå i de olika underlagen, vilket gör det svårt att ge en övergripande blick över vilka metoder som använts. Därför görs i denna studie en bredare indelning av de olika rapporterade metoderna i de kategorier som beskrivs i Tabell 1 nedan.

Tabell 1 Beskrivning av indelning av metoder för skadedetektering

Metod för skadedetektering	Beskrivning
Visuella metoder	Skador som upptäckts genom att allmänheten eller energiföretagets personal under besiktningar och ronderingar har noterat att vatten har läckt ut i fastigheter och kammare eller att ånga har läckt ut genom ventilationsrör. Generellt för skadorna som upptäckts med dessa metoder är att de inte har upptäckts genom någon automatiserad eller digitaliserad metod och att det kan ta tid mellan det att skadan uppstår tills den upptäcks.
Vattenförluster	Skador som gett upphov till läckor kan upptäckas genom att spädmatningen behöver ökas till en ledning. Det kan dock vara svårt att lokalisera läckan enbart genom denna metod.
Larmsystem	Skador som upptäcks genom någon form av automatiserat detekteringssystem. Dessa inkluderar fuktlarm (larmtrådar) och nivåvakter i kammare.
Termografering	Skador som har upptäckts genom termografering.
Annat	Skador som rapporterats ha upptäckts genom andra, icke specificerade metoder

Med ronderingar avses löpande, schemalagd besiktning av näten. Termografering är en metod för att upptäcka skador och läckor i fjärrvärmenät genom att fotografera markbeläggningen ovanför ledningar med en värmekamera. Nivåvakter är sensorer som indikerar om vattennivån i exempelvis en kammare överstiger ett förutbestämt värde och indikerar på så sätt ett läckage.

I Tabell 2 redovisas vilka metoder för skadedetektering enligt ovan som har använts för att upptäcka skador i olika nationella och lokala distributionsnät.

Tabell 2 Skadedetekteringsmetoders andel av totalt antal rapporterade skador i alla statistiska underlag, (Energiatollisuus, 2018), (Espig, 2013), (Fjärrvärmeföreningen, 1998), (Energiföretagen, 2018b), (Öresundskraft, 2018b), (Göteborg Energi, 2018b).

Underlag	Visuella metoder	Vattenförluster	Larmsystem	Termografering	Annat	År för underlag
Finland	89 %	3 %	1 %	3 %	4 %	2017
Tyskland ¹	23 %	0 %	73 %	4 %	0 %	2011
Sverige	37 %	3 %	52 %	1 %	8 %	1997
Energiföretagen (Sverige) ²	28 %	1 %	58 %	4 %	8 %	2014 - 2018
ÖKAB	19 %	1 %	13 %	34 %	33 %	2010 - 2018
Göteborg Energi	72 %	1 %	19 %	9 %	0 %	2010 - 2018

Statistiken visar att det finns skillnader i hur skador upptäcks på både internationell och lokal nivå. I Finland upptäcks väldigt få skador genom automatiserade system och man förlitar sig istället på visuella metoder som besiktningar och skaderapporteringar från allmänheten. I Tyskland är användningen av automatiserade larmsystem mer utbredd, men det bör nämnas att den tyska statistiken endast innehåller plaströrskulvertar, där det också finns fler larmsystem installerade.

För svenska nät är det svårt att säga hur den nationella situationen ser ut eftersom komplett statistik saknas från 1997 och framåt. Det kan dock noteras att år 1997 upptäcktes ungefär hälften av alla skador genom olika larmsystem. Från Energiföretagens statistik som baseras på 224 skaderapporter från 25 olika nät med stor geografisk spridning mellan 2014 och 2018 verkar det som att larmsystem detekterar något större andel av skadorna än 1997.

Mellan de två lokala nät som studerats är skillnaderna i hur skador detekteras stor. I Öresundskrafts nät har en stor andel av skadorna upptäckts med hjälp av termografering och hos Göteborg Energi upptäcks majoriteten av skadorna genom visuella metoder. I båda näten har detekteringen av skador med hjälp av larmsystem varit lägre än det nationella genomsnittet år 1997. Bland Öresundskrafts skador saknas tyvärr information kring hur de upptäckts, varvid kategorin "Annat" blir relativt stor.

¹ Endast plaströrskulvertar ingår i underlaget

² Endast ett urval av svenska nät ingår i underlaget, ej alla nät

3.2.3 Kostnader för skador

Bland den statistik som samlas eller har samlats in över skador i fjärrvärmenät förefaller kostnadsuppgifter för skadorna vara lågt prioriterade. I underlaget till denna studie förekommer uppgifter för skadornas kostnad endast i den äldre svenska nationella statistiken, bland Öresundskrafts äldre statistik och i den finska statistiken.

I Fjärrvärmeföreningens äldre statistik som gavs ut mellan 1982 till 1997 gjordes uppställningar av kostnaderna för skador på fjärrvärmekulvertar. I Figur 2 nedan visas den senaste publicerade statistiken som Fjärrvärmeföreningen samlade in 1997. Spridningen av kostnader bland olika kulverttyper är stor och kostnaden per skada varierade mellan 40 000 kr för reparationer av fasta plaströrskulvertar till 704 000 kr för flexibla plaströrskulvertar. Genomsnittet för alla skador var 77 000 kr, vilket kan justeras till 96 000 kr i 2017 års penningvärde genom KPI-index (SCB, 2018).



Kostnader för kulvertskador
Skadeår: 1997

Kulverttyp	Antal skador (st)	Kostnad för utbyte och reparation (kSEK)	Kostnad/skada (kSEK)	Kostnad/km kulvert- längd (kSEK)	Längd (km)
Plaströrskulvert fast	496	19 684	40	3,3	5 924,63
Plaströrskulvert flexibel	3	2 112	704	1,9	1 101,80
Betongkulvert	59	22 096	375	28,9	763,72
ACE-kulvert	84	6 070	72	5,9	1 035,97
Stålrörskulvert	17	1 075	63	6,1	176,92
Kammare eller brunn	24	1 035	43	0,0	0,00
Övriga kulverttyper	2	488	244	0,5	991,19
Hålrörskonstruktion	1	62	62	0,5	119,72
Totalt ledningsnät	686	52 622	77	5,2	10 125,93

Figur 2 Fjärrvärmeföreningens statistik över kostnader för kulvertskador 1997 (Fjärrvärmeföreningen, 1998).

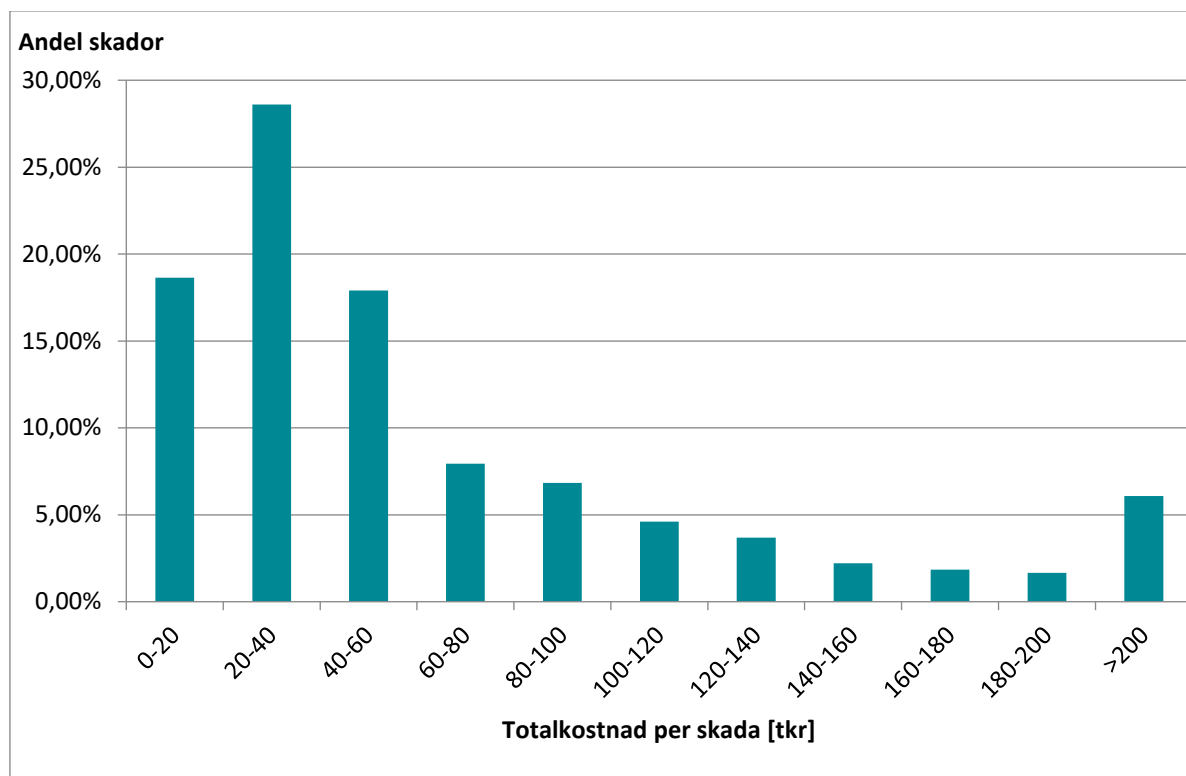
I tabell nedan redovisas den genomsnittliga kostnaden för samtliga rapporterade skador från Fjärrvärmeföreningens publicerade statistik under åren 1994 till 1997, justerat till 2017 års penningvärde.

Tabell 3 Kostnad per skada för alla ledningar 1994–1997, ur Fjärrvärmeföreningens statistik. Kostnaderna är justerade till 2017 års penningvärde (Fjärrvärmeföreningen, 1998), (Fjärrvärmeföreningen, 1997), (Fjärrvärmeföreningen, 1995)

År	Justerad kostnad per skada [kr/skada]
1994	43 000
1995	113 000
1996	91 000
1997	96 000



För ÖKAB har varje skada i fjärrvärmenätet historiskt sett i genomsnitt inneburit en total kostnad av 78 000 SEK (justerat med KPI (SCB, 2018)). Spridningen bland kostnaderna för de rapporterade skadorna är dock relativt stor, där ett fåtal skador med mycket höga kostnader viktat medelvärdet något. Figur 3 visar hur de rapporterade kostnaderna är distribuerade under åren 1977 till 1998. Majoriteten av skadorna har inneburit en kostnad på upp till 60 000 SEK, ungefär 5 procent av skadorna har inneburit totalkostnader på över 200 000 SEK.



Figur 3 Distribution av kostnader för rapporterade skador i Öresundskrafts fjärrvärmenät under åren 1977–1998, justerat med KPI (Öresundskraft, 2018).

I den finska statistiken för 2017 rapporterades kostnader för skador endast vid 76 tillfällen, och då mestadels från mindre fjärrvärmeföretag. I genomsnitt orsakade en skada reparationskostnader på 6 400 €/skada (63 500 SEK/skada, (Forex Bank AB, 2019)). Historiskt sett har dock skadorna inneburit större kostnader och år 2005 var genomsnittet i stället 14 000 €/skada (139 000 SEK/skada, (Forex Bank AB, 2019)), vilket anses vara en mer rättvisande siffra. Finsk Energiindustri gör uppskattningen att de totala reparationskostnaderna för fjärrvärmenät i hela Finland kan ha uppgått till 12,6 miljoner € under 2017 (Energiateollisuus, 2018).

Baserat på statistiken identifieras spridning i skadefrekvensen, det är dock inte någon statistik som påvisar högre frekvens än 0.2 skador/ kilometer ledning.

Det finns olika metoder för detektering där visuell detektering verkar vara vanligast i Finland. I Tyskland och Sverige är dock detektering genom larm vanligare.

Statistiken bekräftar att skador på näten kostar och även om inget större läckage äger rum så blir kostnaderna för många mindre läckor betydande över tid.

4 Intervjuer

4.1 Intervju med fjärrvärmeföretag

Under projektet utfördes en intervju med personal som ansvarar för Norrenergi AB:s distributionsnät. Norrenergis fjärrvärmenät innehåller 210 km ledningar i Solna, Sundbyberg, Bromma och Danderyd (Norrenergi AB, 2019). Norrenergi omsatte under 2017 760 miljoner kr. Norrenergis ledningar finns i många olika typer av kulvertar och de äldsta ledningarna finns i betongkulvertar som togs i drift på 1950-talet. När det kommer till skador i distributionsnätet uppger Norrenergi att deras statistik kring detta dokumenteras digitalt idag, medan äldre statistik kring distributionsskador i nätet är bristfällig.

Norrenergi har idag digitala verktyg för att upptäcka skador, till exempel: nivåalarm i kammare och larmtrådar i kulvertar, uppkopplade larmcentraler vilka ger möjlighet till övervakning dygnet runt med larm via sms. För digital övervakning använder Norrenergi en nätsystemkarta som övervakar nätets strategiska delar och kan larma för exempelvis nätläckage och sänkt leverans kvalitet genom tryckmätare, differenstryck och temperaturmätare i nätet. Övervakningen sker dygnet runt och är ett hjälpmedel för att säkra nätets status.

Vid speciella utredningsbehov för att identifiera fel i nätet nyttjas även mätdata från kundcentraler genom att granska kunders och områdets flöden, tryck och temperaturer. Genom detta kan nätfelen identifieras i detalj och eventuella åtgärder kan utföras på ett mer effektivt sätt.

Förvaltningen av drift och underhåll av näten har utgångspunkt i driftsäkerhetsanalyser och förbättringsaktiviteter, vilka baseras på en riskklassningsmodell. I riskklassningen finns alla Norrenergis fjärrvärmeledningar dokumenterade och har klassificerats med ett riskvärde mellan 1 till 5. Riskvärdet bestäms av två parametrar: sannolikhet för haveri och konsekvensen vid haveri. Bedömningen av sannolikheten för ett haveri baseras på typen av ledning och dess ålder. Konsekvensen vid ett haveri bedöms baserat på ledningens placering och dimension. Dessa två parametrar ger tillsammans ett riskvärde, där 1 motsvarar obefintlig risk och 5 motsvarar en extrem risk. Allteftersom ledningarna i näten blir äldre uppdateras riskklassningen automatiskt. Det är även möjligt att justera parametrarna manuellt, till exempel kan sannolikheten för haveri ändras utifrån upptäckter vid genomförda ronderingar, termograferingar, ljudlyssningar, larmmätningar et cetera.

Mycket av arbetet med skador på äldre ledningar i distributionsnätet är reaktivt och skadorna upptäcks ofta genom att fjärrvärmevatten har läckt ut, vilket kan detekteras genom att nivåvakter i kammare larmar. Speciellt problematiska är områden där plaströrskulvertar som installerades på 1970-talet utan larmtrådar där 90 procent av läckorna i Norrenergis nät uppstår. I detta område planerar Norrenergi att installera ett nytt system för att upptäcka skador och läckor. Utöver detta uppger Norrenergi att det inte finns något kostnadseffektivt övervakningssystem för att statusbedöma betong- och eternitkulvertar.

Norrenergis arbete kring skador utförs i ett digitalt system kallat NIS som en del av riskklassningen för att effektivisera företagets rondering och inspektion av ledningar. Inspektionen av ledningarna utförs baserat på differentierade varaktighetsronderingar baserade på riskvärden. Genom uppgifter kring bland annat ledningars ålder, typ, status, dimension och placering i nätet ges en risk-klassificering av ledningen och hur ofta den besiktas. Genom NIS ges också fler



möjligheter till ökad kunskap och kontroll av nätet. I NIS kan nätberäkningar och analyser genomföras dessutom är NIS integrerat med kundcentralernas data, varpå Norrenergi kan nyttja beräkningar och utredningar beroende på vad som behöver undersökas. Vid till exempel en läcka är det möjligt att markera ledningen där läckan är och se vilka ventiler som behöver stängas, samt vilka kunder som blir drabbade och total effekt för området för att kunna montera mobila panncentraler vid behov av akut eller planerat arbete.

Vid behov arbetar Norrenergi även med sektionering av nätet för att identifiera läckområden. Dessa områden kommer nu även inom kort att kunna styras från Norrenergis driftcentral.

Vid förnyelse av näten, för att säkra driftsäkerhet, leveranskvalité och livslängd används även riskvärdet för att prioritera den årliga förnyelseplanen. Norrenergi jobbar aktivt med Nät Anläggningsplan, en 6 års plan för att optimera och prioritera förnyelsetakten långsiktigt, där även åtgärder vidtas för en förbättrad arbetsmiljö och övriga infrastrukturprojekt inom nätområdet.

Skador och läckor i distributionsnätet innebär risker för Norrenergi. Man har haft en större läcka vid ett tillfälle under 2018 då en extern part borrar ned stålbalk rakt in i driftsatt fjärrvärmeledning, då de inte nyttjat rätt underlag. Detta kunde fått stora konsekvenser om det inte uppdragats med Norrenergis övervakningssystem, och framförallt en aktiv beredskap som hanterade situationen skyndsamt. Fenomen att Norrenergi råkar ut för grävskador och/eller skador i samband med andra anläggningsentreprenader nära våra ledningar förekommer till och från. Norrenergi påpekar särskilt vikten av att ha en fungerande "ledningskoll" före grävning för att säkra att befintliga fjärrvärme- och fjärrkylledningar i mark inte skadas.

En stor kostnad som uppstår på grund av skador i distributionsnätet är spädmatningen som krävs för att kompensera läckande ledningar. Spädmatningen i Norrenergis nät motsvarar 2,5 nätomsättningar per år, schablonmässigt beräknas att varje förlorad m³ uppvärmt fjärrvärmevatten kostar 50 SEK. Under antagandet att Norrenergis distributionsnät innehåller 48 m³ vatten per km ledning (vilket Helsingborgs fjärrvärmenät gör (Öresundskraft AB, 2018a)) innebär spädmatningen av Norrenergis nät en kostnad på ungefär 1,3 miljoner kr per år. Genom att upptäcka läckor snabbt samt arbeta förebyggande för att förhindra läckor finns alltså en ekonomisk vinst för Norrenergi, men även en miljövinna i form av minskade värmeförluster, varför Norrenergi jobbar aktivt med detta.



4.2 Intervju med fastighetsägare med egen kulvert

Den andra intervjurespondenten i studien representerar en fastighetsägare, Akademiska Hus, som äger och underhåller egna fjärrvärmekulvertar. Akademiska hus är en av Sveriges största fastighetsägare och driftar och underhåller fastigheter över hela landet (Fastighetsvärlden, 2018). Intervjun i detta projekt utfördes med en medarbetare på Akademiska Hus med ansvar för drift och underhåll i området kring Karolinska Institutet i Solna. Akademiska Hus har ansvar för kulvertar i området, dit fjärrvärme levereras av Stockholm Exergi. Bebyggelsen som Akademiska Hus har ansvar för i området består till stor del av laboratorielokaler, lärosalar och kontor. Fjärrvärmeledningarna i fastigheterna innefattar både nedgrävda ledningar och inomhusledningar i gångbara kulvertar. Ledningarna är av varierande ålder i och med att nya nätet byggts ut kontinuerligt från 1960-talet och fram tills idag.

Akademiska Hus tillfrågades hur de arbetar med underhåll och att upptäcka skador och läckor i sina fjärrvärmeledningar. Man uppger att endast ledningar i gångbar kulvert underhålls, nedgrävda ledningar underhålls inte alls. Underhållsarbetet består av okulära besiktningar av ledningarna, men dessa okulära besiktningar planeras inte systematiskt utan man förlitar sig på att teknisk personal ska upptäcka skador och läckor i samband med att andra arbetsuppgifter utförs. Om en läcka upptäcks byts ledningen ut, men inga andra särskilda förebyggande åtgärder görs. En anledning till att inga förebyggande åtgärder görs är att Akademiska Hus inte har haft någon erfarenhet av att ledningar skadats eller börjat läcka på grund av ålder eller eftersatt underhåll. De enda skador och läckor som har uppstått i deras nät har orsakats av yttre åverkan som till exempel grävskador eller sönderborrade ledningar vid renovationer eller nybyggen av fastigheter i närheten av ledningen.

5 Diskussion

Litteraturgenomgången i denna studie visar att det i fjärrvärmebranschen verkar finnas en ökande medvetenhet kring vikten och nyttan av att underhålla distributionsnät på ett systematiskt sätt och att kunna upptäcka och förutse läckor och skador i nätet. Det råder konsensus kring faktumet att läckor och skador ger upphov till inte bara kostnader utan även risker för arbetsmiljö, miljön och leveranssäkerhet. Metoder för att prediktera läckor och skador i näten för att planera underhåll och inspektioner har varit i fokus för forskning och kommer med säkerhet att spela stor roll i framtida fjärrvärmenät. Det arbete som sker kring standarder i EU kommer inom kort även att bli verklighet för svenska aktörer vilket innebär ökat behov av att beakta effektivitet i distributionssystem över tid.

Genomgången av statistik från flera länder samt lokala nät i Sverige har visat att ett centralt samordnat tillvägagångssätt för att samla in uppgifter kring skador är av stor vikt för att kunna göra relevanta analyser och planera åtgärder kring skador. Statistik från svenska källor har i denna studie varit svåra att behandla i och med att skador rapporterats på fyra olika sätt och med olika detaljnivåer. Att olika fjärrvärmeföretag rapporterar skador på olika sätt skapar hinder för samarbete och kunskapsutbyte i branschen. Att nationell statistik ska samordnas genom Energiföretagens *Skadenyckel* överbygger förhoppningsvis sådana hinder och ökar kunskapen kring underhåll och skador i fjärrvärmenät hos fjärrvärmeföretag i hela landet. Finsk statistik och svensk statistik från åren 1982 till 1997 kan med fördel användas som goda exempel på hur skadestatistik kan utformas.

Skador i distributionsnäten kan innebära stora kostnader för fjärrvärmeföretag, kostnaden per skada varierar kraftigt och beror på i vilken typ av ledning som den uppstår. Om man antar att en skada i genomsnitt ger upphov till 100 000 kr i direkta reparationsskador, vilket indikeras av statistiken i denna studie, och att det i ett svenskt fjärrvärmenät uppstår 0,05 skador/km ledning och år så skulle detta för ett nät av Norrenergis storlek innebära direkta reparationskostnader på 1 miljon kronor per år.

I finska nät och i Göteborg Energis nät detekteras majoriteten av skadorna genom visuella metoder och inte genom automatiserade system, vilket skulle kunna förklaras med att kulvertar och ledningar där det är svårt att installera larmsystem, exempelvis betongkulvertar, är generellt sett mer utsatta för skador än exempelvis plaströrskulvert och därtill oftast äldre än plaströrskulvertar.

De kompletterande intervjuerna i denna studie bekräftar i viss utsträckning slutsatsen från (Sernhed & Jönsson, 2017) att mindre och mellanstora fjärrvärmeföretag inte arbetar systematiskt med underhållsarbete och riskklassificering i samma utsträckning som större företag. Norrenergi uppger att deras dokumentation av olika skadetyper kan förbättras och Akademiska hus uppger att de inte planerar underhållet av sitt nät vid Karolinska Institutet utan arbetar reaktivt.



6 Slutsats

Skador i fjärrvärmenät ger upphov till kostnader för fjärrvärmeföretag, dessa kostnader har kvantifierats i denna studie. Utöver den ekonomiska kostnaden innebär skador och läckor i fjärrvärmenät indirekta risker för miljön genom ökade värmebehov och vattenanvändning men även direkt i form av risker i arbetsmiljön för både allmänheten och fjärrvärmeföretags personal.

Fjärrvärmeföretag i Sverige arbetar i olika utsträckning med förebyggande av skador i sina distributionsnät. Många större företag använder sig av systematiska riskklassningsmetoder och planerar underhållet av näten proaktivt. Enligt litteratur arbetar mindre företag däremot mer reaktivt och inte lika systematiskt med att förebygga skador.

Det har även konstaterats att svensk skadestatistik i många år inte har samlats in på ett systematiskt och centralt samordnat sätt, vilket förhindrar kunskapsutbyte som kan gynna hela branschen. Ett större statistiskt underlag ger möjligheter till att fortsätta utvecklingen av verktyg för att prediktera skador och planera underhåll av näten.



Referenser

Andersson, J., 2002. *Digitala läckdetekteringssystem. En studie av nyare tekniker på marknaden och jämförelser med dagens system*, Stockholm: Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB.

Babiarz, B. & Chudy-Laskowa, K., 2015. Forecasting of failures in district heating systems. *Engineering Failure Analysis*, Issue 56, pp. 384-395.

Energiatollisuus, 2018. *Skadestatistik för fjärrvärmenät 2017 [På finska]*, Helsingfors: Energiatollisuus.

Energiföretagen, 2018a. *Kvalitetsnyckeln och Skadenyckeln*. [Online]
Available at: <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatik/kvalitetsnyckeln-och-skadenyckeln/>

Energiföretagen, 2018b. *Utdrag ur Skadenyckeln*. Stockholm: Opublicerad databas.

Espig, F., 2013. Schadensstatistik KMR 2011 des AGFW. *Euroheat & Power*, Issue 42, pp. 38-41.

Fastighetsvärlden, 2018. *Största ägarna 2017/18*. [Online]
Available at: <https://www.fastighetsvarlden.se/analys-fakta/topplistor/storsta-agarna-2017-18/>
[Använd 07 02 2019].

Filippini, E., Marini, I., Ongari, M. & Pedretti, E., 2018. District heating leakage measurement: Development of methods. *Energy Procedia*, 149(1), pp. 297-306.

Fjärrvärmeföreningen, 1995. *Kulvertskadestatistik 1994. Sammanställning av kulvertlängder och kulvertskador vid svenska energiföretag.*, FVF 1995: 2.

Fjärrvärmeföreningen, 1997. *Kulvertskadestatistik 1995 och 1996. Sammanställning av kulvertlängder och kulvertskador vid svenska energiföretag.*, FVF 1997: 18.

Fjärrvärmeföreningen, 1998. *Kulvertskadestatistik 1997. Sammanställning av kulvertlängder och kulvertskador vid svenska energiföretag.*, FVF 1998: 16.

Forex Bank AB, 2019. *Aktuella valutakurser*. [Online]
Available at: <https://www.forex.se/Valuta/Aktuella-kurser/>
[Använd 23 01 2019].

Göteborg Energi AB, 2018a. *Års- och hållbarhetsredovisning 2017*, Göteborg: Göteborg Energi.

Göteborg Energi, 2018b. *Skadedatabas*. Göteborg: Opublicerad databas.

Månsson, S., Johansson Kallioniemi, P.-O., Sernhed, K. & Thern, M., 2018. A machine learning approach to fault detection in district heating substations. *Energy Procedia*, 149(1), pp. 226-235.

Norrenergi AB, 2019. *Våra nät*. [Online]
Available at: <http://www.norrenergi.se/fjarrvarme-fjarrkyla/vara-nat/>

SCB, 2018. *Levnadskostnadsindex/KPI (juli 1914=100), historiska tal, 1830–*. [Online]
Available at: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/priser-och->



[konsumtion/konsumentprisindex/konsumentprisindex-kpi/pong/tabell-och-diagram/konsumentprisindex-kpi/kpi-historiska-tal-1830/](#)

Sernhed, K., Ekdahl, E. & Skoglund, P., 2012. *Statusbedömning av betongkulvert*, Fjärrsyn rapport 2012: 9.

Sernhed, K. & Jönsson, M., 2017. Risk management for maintenance of district heating networks. *Energy Procedia*, Issue 116, pp. 381-393.

SIS, 2009. *SS-EN 14419:2009 Fjärrvärmerörsystem - Förisolerade rörsystem med fast förband mellan värmeisolering och medierör respektive mantelrör för direkt markförlagd distribution av hetvatten - Övervakningssystem*, Stockholm: SIS.

Sjökvist, S., Wren, J. & Ahlberg, J., 2012. *Kvantifiering av värmeläckage genom flygburen IR-teknik*, Fjärrsyn Rapport 2012: 17.

Stockholm Exergi AB, 2018. *Års- och hållbarhetsredovisning 2017*, Stockholm: Stockholm Exergi AB.

Svensk Fjärrvärme AB, 2015. *Underhållshandboken för fjärrvärmedistribution - Framtagen av svensk fjärrvärme*. Stockholm: Svensk Fjärrvärme.

Tereshchenko, T. & Nord, N., 2016. Importance of Increased Knowledge on Reliability of District Heating Pipes. *Procedia Engineering*, 146(1), pp. 415-423.

Valincius, M. o.a., 2015. Integrated assessment of failure probability of the district heating network. *Reliability Engineering and System Safety*, 133(1), pp. 314-322.

Xue, P. o.a., 2017. Fault detection and operation optimization in district heating substations based on data mining techniques. *Applied Energy*, 205(1), pp. 926-940.

Zhou, S., O'Neill, Z. & O'Neill, C., 2018. A review of leakage detection methods for district heating networks. *Applied Thermal Engineering*, 137(1), pp. 567-574.

Zimmermann, N., Dahlquist, E. & Kyprianidis, K., 2017. Towards On-line Fault Detection and Diagnostics in District Heating Systems. *Energy Procedia*, 105(1), pp. 1960-1966.

Öresundskraft AB, 2018a. *Fjärrvärmenätet*. [Online]
Available at: <https://oresundskraft.se/privat/produkter-tjanster/fjaerrvaerme/om-fjaerrvaerme/fjaerrvaermenatet/>

Öresundskraft, 2018b. *Skadedatabas*. Helsingborg: Opublicerad databas.

Grön BoStad Stockholm

Samverkan för hållbar stadsutveckling

Projektet Grön BoStad Stockholm har som syfte att bidra till hållbar stadsutveckling i Stockholmsregionen och att stödja övergången till en koldioxidsnål ekonomi genom att undanröja hinder för tillväxt i små och medelstora företag (SME). Projektet pågår mellan 2016 – 2019 och genomförs av fyra projektpartners: KTH Centrum för hållbart samhällsbyggande, IVL Svenska Miljöinstitutet, Sustainable innovation och Länsstyrelsen Stockholm.

Projektet finansieras av EU:s regionala utvecklingsfond.



EUROPEISKA UNIONEN
Europeiska regionala
utvecklingsfonden