

# Kartläggning av materialfördelning och skadestatistik av vatten- och fjärrvärmeledningar i Sverige som underlag till rekommendationer för datainsamling

Rapport framtagen inom ramen för projektet Pipestatus



Annika Malm, SP  
Saeed Mokhlesi, DRICKS, Chalmers  
Kerstin Sernhed, Lunds Tekniska Högskola  
Nazdaneh Yarahmadi, SP

2016-09-27

Innehåll	
1	Inledning ..... 4
1.1	Syftet med studien ..... 5
1.2	Avgränsning..... 5
1.3	Lista över använda förkortningar ..... 5
2	Metod..... 7
3	Allmänt om rörsystemen ..... 8
3.1	Dricksvatten ..... 8
3.2	Fjärrvärme ..... 8
4	Ledningstyper och material i Sverige .....11
4.1	Dricksvatten .....11
4.1.1	Materialfördelning och åldersfördelning.....11
4.1.2	Dimensionsfördelning .....13
4.2	Fjärrvärme .....13
4.2.1	Material.....15
4.2.2	Materialfördelning och åldersfördelning.....18
4.2.3	Dimensionsfördelning .....21
5	Bedömning av ledningsnätens status .....22
5.1	Skadefrekvenser .....22
5.1.1	Dricksvatten .....22
5.1.2	Fjärrvärme .....23
5.1.3	Bedömning av kvalitet.....27
5.1.4	Statusbedömningsmetoder .....29
5.1.5	Livslängdsbedömningsmetoder.....30
6	Nyckelparametrar som påverkar livslängden.....34
6.1	Dricksvatten .....34
6.1.1	Parametrar som rör själva ledningarna .....34
6.1.2	Parametrar som rör ledningarnas omgivningsförhållanden .....35
6.1.3	Parametrar som rör drift.....37
6.1.4	Exempel på tre studier som klassar påverkande parametrar ur olika synvinklar.38
6.1.5	Krav och tillgänglighet för data .....39
6.2	Fjärrvärme .....44
6.2.1	Parametrar som rör själva ledningarna .....45

6.2.2	Parametrar som rör ledningarnas omgivningsförhållanden och installation .....	48
6.2.3	Parametrar som rör drift .....	54
6.2.4	Sammantagen värdering av parametrar i enkät .....	62
7	Förslag till parametrar som är viktiga för statusbedömning.....	63
7.1	Vatten .....	63
7.1.1	Särskilt viktiga att dokumentera (essentiella) .....	64
7.1.2	Optionsparametrar .....	65
7.2	Fjärrvärme .....	65
7.2.1	Särskilt viktiga att dokumentera (essentiella) .....	65
7.2.2	Optionsparametrar .....	66
7.3	Framtidens möjligheter.....	67
8	Slutsatser .....	67
9	Utmaningar inför framtiden .....	68
10	Referenslista .....	70
11	Bilaga 1: Skadehantering fjärrvärmerör .....	76
12	Bilaga 2: Kommentarer till fjärrvärmeenkäten .....	77

# 1 Inledning

Driftstörningar på VA- och fjärrvärmenät ger ledningsförvaltarna goda möjligheter att via skadestatistik få en uppfattning om ledningssystemens status. Dagens metoder för att statusbedöma ledningssystem i fält, innan skador uppstått kräver ofta schaktning med stora kostnader och störningar/driftavbrott som följd. Skadestatistik, med relevanta parametrar insamlade på ett systematiskt sätt ger ledningsförvaltarna god kunskap till låg kostnad.

Effektiv förvaltning av VA och fjärrvärmenät är en viktig ekonomisk fråga för Sverige. De flesta städer i Sverige har samma typer av rörsystem för VA-system som byggdes ut under samma tid och förnysetakten av rörsystemen är för låg, sett till Sverige som helhet (Malm och Svensson, 2011) vilket gör att allt fler ledningssystem når sin kritiska livslängd. Fjärrvärmenäten är generellt sett yngre än VA-näten, men i vissa kommuner började fjärrvärme byggas på 1950- och 60-talet, och i dessa nät finns äldre delar som nu börjar uppnå sin livslängd. Specifikt för dessa nät är att dessa äldre ledningar är av ofta ligger i stadskärnor och i utmatningsledningar, och därmed också ofta är av stora dimensioner (Sernhed et.al, 2012).

I Sverige är det sammanlagda återskaffningsvärdet för de allmänna VA-ledningsnäten uppskattat till 500 miljarder, vilket utgör cirka 70 procent av återanskaffningsvärdet för hela VA-systemet (Svenskt Vatten, 2016). Det årliga förnyelsebehovet är bedömt till ca 3-4 miljarder (Malm och Svensson, 2011). I Sverige finns ca 70000 km allmänna vattenledningar och mätt i förnysetakt är behoven ca 0,7-0,8 %, men den verkliga takten idag är 0,5 % (Svenskt Vatten, 2016).

Enligt Svensk Fjärrvärme (numera Energiföretagen Sverige) uppgår den totala längden fjärrvärmenät i Sverige i dagläget till 24 000 kilometer, räknat som dubbelrör. Det motsvarande nyanskaffningsvärdet baserat på kostnadsstatistik från år 2007 uppgår till så mycket som 115 miljarder kronor (Svensk Fjärrvärme, 2015). Den nuvarande förnyelsen av fjärrvärmeledningar är 50 km per år och det kräver en förväntad teknisk livslängd på 320 år. I verkligheten är livslängden för förisolerade bundna rör med dagens aktuella standard ca 30 - 70 år. Att kunna utnyttja redan investerad infrastruktur så länge som möjligt är därför i hög grad en ekonomisk fråga. Dessutom finns det en praktisk dimension som går ut på att det idag är trångt att komma åt att gräva upp ledningar, speciellt i tätorterna på gator med mycket trafik och man vill inte störa boende eller näringsidkare mer än nödvändigt. Fjärrvärmebolagen vill därmed kunna utnyttja ledningarna så länge det går, men utan att äventyra leveranserna och säkerheten för allmänhet och den egna personalen (Sernhed et al., 2015). Då många svenska fjärrvärmenät ännu är tämligen unga, är inte förnysetakten i näten särskilt hög än. Det finns dock indikationer på att förnysetakten är låg även i äldre nät (Sernhed et al., 2015).

Det finns ett stort behov hos ledningsägare för VA- och fjärrvärmebolag att på ett strukturerat sätt göra rätt prioritering av underhållsarbetet. Prioriteringar av underhållningsarbetet kräver ett underlag, gärna i form av statusbedömningar av ledningar i fält, men också i form av insamlade driftstörningsdata. I den här rapporten är fokus att ta fram ett underlag för dels vilka data som finns att tillgå, men också vilka data som är viktigast att samla in. Vi vill på ett strukturerat sätt kartlägga och

sammanställa information om olika typer av rörsystem, befintliga metoder för kvalitetssäkring, livslängdsbedömning, haveristatistik och vilka åtgärder som genomförts vid haverier. Detta kan hjälpa oss att hitta och belysa gap och eventuella luckor som skall kompletteras för en mer komplett bild som kan leda till en bättre planering av prioritering för underhållsarbetet.

## 1.1 Syftet med studien

Syftet med denna litteraturstudie är att rekommendera vilka parametrar som är rimligt och lämpligt att dokumentera för att kunna bedöma ett rörsystems status och livslängd. Dessa parametrar ska sedan vidare samlas och användas för utveckling av metoder för statusbedömning och förnyelsestrategier.

Det görs genom att:

- kartlägga vilka rörsystem som har använts och används i Sverige,
- kartlägga hur skador dokumenterats på de mest frekvent använda rörsystemen,
- kartlägga vilka parametrar som främst påverkar ett rörsystems livslängd samt
- föreslå vilka parametrar som bör dokumenteras för att kunna bedöma rörsystems status.

Studien ingår i projektet "Statusbedömning och förvaltning av ledningsnät" som finansieras av Vinnova och syftar till att kunna uppskatta status i nuläget och bedöma kvarstående livslängd hos rörsystem. Behovet av relevanta och noggrannare utvärderingsmetoder och tekniska lösningar är stor i både Sverige och globalt och därför behöver vi veta vad görs idag när det gäller kvalitetsbestämning och livslängdsbedömningar som är direkt avgörande för statusbedömning under rörets användningstid. I projektet testas fem schaktfria metoder som var och en ger en del data om ledningens status.

I litteraturstudien bedöms alla parametrar som är relevanta för att bedöma ett rörsystems status, inte bara på de parametrar som bedöms kunna tas fram med de metoder som projektet testar.

## 1.2 Avgränsning

Det här arbetet har begränsat sin studie och analys till vatten- och fjärrvärmeledningar. Ledningar till avloppsrör och fjärrkyla ingår inte i studien.

## 1.3 Lista över använda förkortningar

PE = Polyeten

PEH = Hög densitet Polyeten

PEHD = Hög densitet Polyeten

EN-standard = Europeisk Standard

PVC = Polyvinylklorid

GRP = Glass Reinforced Polymer (glasfiberarmerad plast)

PEX = Tvärbunden polyeten

DN = Nominella Diameter

NTD = Icke-destruktiv provningsmetod

EPA = Environmental Protection Agency I USA (motsvarande Naturvårdsverket i Sverige)

ANN = Artificial Neural Network

LPR = Linear Polarization Resistance – en elektrokemisk metod för att mäta korrosionshastighet – ju lägre uppmätt polariseringsmotstånd desto högre är hastigheten

GIS = Geografiskt InformationsSystem

## 2 Metod

Rapporten har tagits fram genom dels en omfattande litteraturgenomgång och dels genom kontakter med vatten- och fjärrvärmeverksamheter. Litteraturgenomgången har genomförts genom sökning i svenska databaser som Svenskt Vatten Utveckling och Värmeforsk, samt i vetenskapliga databaser och EN-standarder.

För VA-verksamheten genomfördes en fråga till några kommuner hur de registrerade sina data och driftstörningar. Dessutom togs kontakt med databasleverantörer.

Som erfarenhetsåterföring kring vilka parametrar som påverkar livslängden och skadefrekvensen på fjärrvärmerör gjordes en enkätundersökning bland svenska fjärrvärmebolag. Enkäten ställdes till Svensk Fjärrvärmes medlemsföretag (130 st). Då svarsfrekvensen inte blev så hög (19 svar) ska resultaten inte generaliseras att gälla alla svenska fjärrvärmeföretag, utan det stora värdet av enkätsvaren är att se vilka parametrar som har bedömts ha stor påverkan på livslängden och vilka som har bedömts ha liten påverkan. Vidare ges en del intressanta kommentarer till olika parametrar. Bland de svarande fanns både större nätägare med äldre nät och flera sorters ledningstyper och lite mindre nätägare med enbart plastmantlade stålrörsledningar. Frågorna i enkäten delades upp i områden som rör driftförutsättningar, själva ledningens konstruktion och material, förläggningar av ledningar, omgivningen runt ledningen, samt övervakning och skadestatistik.

## 3 Allmänt om rörsystemen

### 3.1 Dricksvatten

I Sverige byggdes dricksvattennätet ut med start i mitten av 1800-talet. Beräkning av den totala längden av vattenledningsnät i de svenska kommunerna visar att nu är det drygt 70000 km vattenledningssystem i drift. En stor del av systemet anlades under 1960-1980 och nästan 50 % av vattenledningar har byggts under de senaste 40 åren (Malm och Svensson, 2011).

Enligt Svenskt Vatten statistikdatabas (VASS) var medelvärde för förnyelsetakten i vattenledningar 0,5 % under perioden 2006-2008 .

Förnyelsetakten i Norge och Danmark är högre än i Sverige. I Danmark är genomsnittet av förnyelsetakt cirka 0.9 % under de senaste 10 åren (Vand i Tal, 2015). I Norge är medelvärdet av förnyelsetakt ungefär 0.9 % för perioden 2007-2012 (Norsk vann, 2012).

I Europa byggdes vattenledningsnätet ut tidigare än i Sverige och stora delar av ledningssystemen finns i gamla stadsområden med dålig infrastruktur. Användning av gjutjärn i ledningsnät av 12 länder i Europa varierar mellan 40 % till 90 % och i Europa finns mycket mer asbestcementledningar än i Sverige.

I USA är i allmänhet ledningsnätet yngre än Europa men prognosen för förnyelsetakten 2040 är 2 %. PE infördes lite senare än Europa och på 1990 talet.

### 3.2 Fjärrvärme

Fjärrvärme började byggas i Sverige i mitten på förra seklet och har över tid expanderat kraftigt till att idag stå för 58 procent av energin för uppvärmning och varmvatten i Sverige (Energimyndigheten, 2012). 83 procent av den uppvärmda arean i flerbostadshus värmdes med fjärrvärme år 2013. Av Sveriges lokaler (sjukhus, skolor, hotell, etc.) värmdes 72 procent av fjärrvärme år 2013. Detta innebär att fjärrvärmens funktion är väl utbyggd i Sverige och att det finns många människor som är beroende av fjärrvärmens funktion. Det första fjärrvärmennätet i Sverige anlades i Karlstad 1948 (Karlstad Energi, 2016), efter detta följde utbyggnad i flera andra städer. Stor utbyggnad av fjärrvärme skedde under 70- och 80-talet och även i början av 2000 ökade utbyggnaden av fjärrvärmennäten i Sverige. Fjärrvärme finns idag i 285 av Sveriges 290 kommuner (Svensk Fjärrvärme, 2016).

Det är mer ekonomiskt fördelaktigt med fjärrvärme om det finns ett stort värmeunderlag per ledningsmeter. Därför är fjärrvärme framförallt utbyggt i städer där avstånden från värmeproduktion och värmekunder inte är allt för långa och där det finns hög värmetetthet. Branschorganisationen Svensk Fjärrvärme uppger att det idag finns 24 000 km fjärrvärmeledningar i Sverige räknat som dubbelrör med framledning och returledning (Svensk Fjärrvärme, 2015).



I de skandinaviska länderna är fjärrvärmen väl utbyggd i Sverige, Finland, Danmark och på Island, men i mindre omfattning i Norge. En av viktigaste förklaringarna till att Sverige är en föregångare i klimatarbetet är fjärrvärmens stora etablering i landets kommuner. I Norge har tillgången till vattenkraft gjort elvärme till ett vanligt uppvärmningsalternativ, dock är fjärrvärmen på frammarsch. Utbyggnaden av fjärrvärme i Norge kom igång först i början av 1980-talet men är numera utbyggd eller håller på att byggas ut i alla större norska städer (till 92 % av alla städer med mer än 10 000 invånare). I slutet av 2013 fanns omkring 1600 km fjärrvärmeledningar i Norge. Fjärrvärmeanvändningen i Norge ligger på drygt 5 TWh per år och regeringen har satt upp mål för ökad utbyggnad och användning av fjärrvärme på 10 TWh före 2020 (Norsk Fjernvärme, 2016).

I Finland är en betydande del av det uppvärmda byggnadsbeståndet i städer och tätbefolkade kommuner anslutna till fjärrvärme. Ca 90 % av flerbostadshus, 30 % av industribyggnader, och mer än 60 % av andra byggnader värms med hjälp av fjärrvärme. För småhus ligger siffran på cirka 10 %. Den totala marknadsandelen för fjärrvärme (på bostadsmarknaden) för 2014 var 46 % (31,6 TWh såld energi), och att den totala längden fjärrvärmeledningar var 14 300 km. I rapporten framgår att de fjärrvärmeföretag som ingick i denna statistik har fjärrvärmeverksamhet i totalt 165 städer. I 66 städer producerades fjärrvärme genom kraftvärme och i 99 städer användes värmepannor (Finnish Energy, 2015). Fjärrvärmen i Finland byggts ut i en relativt jämn takt över åren. Fjärrvärmeanvändningen i Finland har mellan 1970 till 2014 ökat från 5 TWh till 35 TWh (Finnish Energy, 2015). Enligt en studie av Vainio, et al. (2010) redovisas en prognos för utbyggnad av fjärrvärme till 40 TWh år 2025.

Island har en mycket speciell situation när det gäller uppvärmning. Trots långa avstånd är fjärrvärmen på Island utbyggd till ca 90 % av de isländska hushållen (Sveriges Radio, 2013). Detta beror på att Island har mycket god tillgång till billig värme i form av geotermi och att kostnaderna för de värmeförluster som uppkommer när värmen behöver transporteras långa sträckor således blir mycket små då värmen är så gott som gratis.

I Danmark byggdes de första fjärrvärmesystemen på 1930-talet i Köpenhamn (Energistyrelsen, 2016), för att idag stå för drygt 60 procent av hushållens uppvärmning. Den gröna andelen av dansk fjärrvärme har vuxit till 52 procent och värms med biomassa till 31,5 procent men även med sol, vind, avfall, geotermi och spillvärme med målsättning om 100 procent förnybara energikällor till 2035 (Energinyheter, 2014). "En viktig del i nästa generations fjärrvärme är att temperaturerna i näten ska sänkas till 50 °C i framledningstemperatur och 25 °C i retur", säger Birger Lauersen, internationell chef på Dansk Fjärrvärme. Förutsättningarna för fjärrvärme i Sverige och Danmark är relativt lika, men trots allt finns det skillnader och en av dem är prisreglering. I Sverige är fjärrvärmen inte prisreglerad medan regleringen i Danmark kan sägas vara avkastningsbaserad. Detta antyder att prisspridningen i förhållande till medelpriset är tre gånger högre i det reglerade Danmark (Energinyheter, 2014).

Fjärrvärmesystemen minskar när man rör sig från Nordeuropa (Skandinavien) till södra Europa. Av historiska skäl har fjärrvärme en högre andel bostadsmarknaden i centrala och östeuropeiska länder (cirka 40 procent) än i de mer västliga delarna av Europa, dvs. tidigare Europeiska unionen (EU) -15

medlemsstaterna (10 procent). I Ryssland och Östeuropa byggdes fjärrvärme i stor skala under Sovjettiden. I Lettland, Ukraina och Polen värms mellan 50 och 70 % av bostäderna med fjärrvärme, i Vitryssland, Litauen, Tjeckien, Slovakien, Estland och Rumänien mellan 30 och 50 % och i Bulgarien, Ungern och Slovenien mellan 10 och 20 %. Fjärrvärmesystem används mindre utsträckning i södra Europa, där klimatet kräver luftkonditionering snarare än uppvärmning (Zhivov et al., 2008 samt Wikipedia).

Fjärrvärme är mer vanligt i USA än i Europa. Fjärrvärmesystemen kan delas in i två huvudkategorier: (1) äldre system i nordliga städer som installerades för över 50 år sedan och (2) system till campus som universitetsområden, sjukhuskomplex, militära anläggningar, fängelser, och vissa industrianläggningar institutioner som har en samling byggnader som ligger nära varandra. De äldre systemen är problematiska; deras distributionsledningar närmar sig slutet av sin livslängd, vilket resulterar i många störningar när läckande rörsektioner måste tas ur drift när läckan repareras (Zhivov et al. 2008).

Fjärrvärme har framtiden för sig. På grund av flexibiliteten att använda en mängd olika generationens teknik, alternativa bränslen och värmekällor, är den totala bränsleförbrukningen av fjärrvärmesystem betydligt lägre än med enskilda system. Detta är till fördel för den lokala stadsmiljön och dessutom minskar globalt föroreningar och dess eventuella inverkan på den globala uppvärmningen (Skagestad och Mildenstein, u.å.).

## 4 Ledningstyper och material i Sverige

### 4.1 Dricksvatten

Uppdelningen av ledningar i olika grupper med liknande egenskaper (rörmaterial, ålder och diameter) användes ofta för att utveckla förnyelse strategier.

#### 4.1.1 Materialfördelning och åldersfördelning

Vattenledningarna i Sverige kan delas in i tre kategorier utifrån material:

- Metalliska ledningar som består av gråjärnledningar, segjärnsledningar, stålleddningar och i liten mån kopparledningar.
- Plastledningar som består av PE, PVC och GRP-rör.
- Betongledningar (armerade betongrör och rör med stålkärna) och asbestcementrör.

Rörmaterial har varierat under tiden i Sverige. Före 1970-talet var det gråjärn som lades oftare vilken ersattes av segjärn under 1970-talet och sedan dess har användning av plaströr och särskilt PE ständigt ökat för ledningsnät i såväl Sverige som Europa. Plaströr har en dominerande marknadsandel av de vattenledningar som installeras idag. De mest använda plaströrsmaterialen är Polyeten (PE) och polyvinylklorid (PVC). I Skandinavien har PE och PVC används sedan i mitten av 50-talet och en Nordisk standard för tryckrör av PVC och PE har funnits sedan 60-talet (Nordiska Plaströrgruppen, 1999).

Tabell 1 visar fördelning av ledningsmaterial i Sverige 2008 enligt en rapport från Svenskt Vatten på material och åldersfördelning (Malm och Svensson, 2011) som baseras på en enkätundersökning hos Sveriges kommuner.

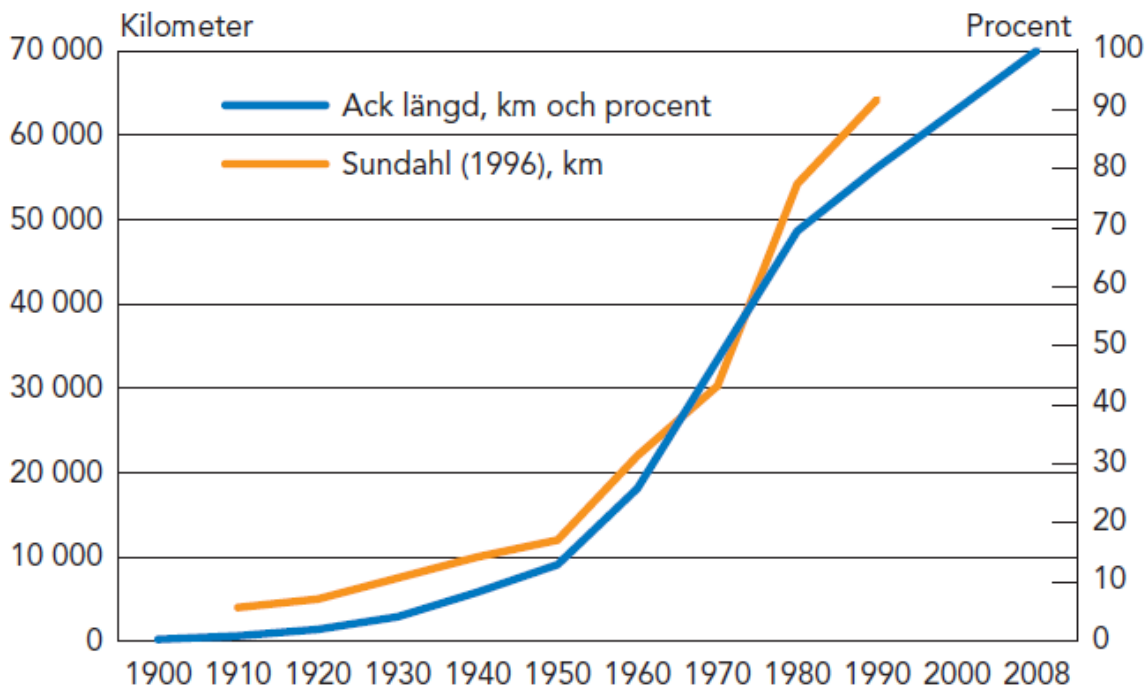
**Tabell 1** Materialfördelning för vattenledningsnätet i Sverige 2008 (Malm och Svensson, 2011).

Material		Längd (km)	% av total längd
Metall	Gråjärn	24 957	35,3
	Segjärn	13 999	19,8
	Stål exkl. galvstål	1 767	2,5
	Galvstål	1 060	1,5
Plast	PE	15 837	22,4
	PVC	8 838	12,5
Betong	Betong exkl. asbestbetong	1 060	1,5

	Asbestbetong	707	1,0
Övrigt (t.ex. GRP)		494,9	0,7
Okänt		1 909	2,7
Summa		70 700	100

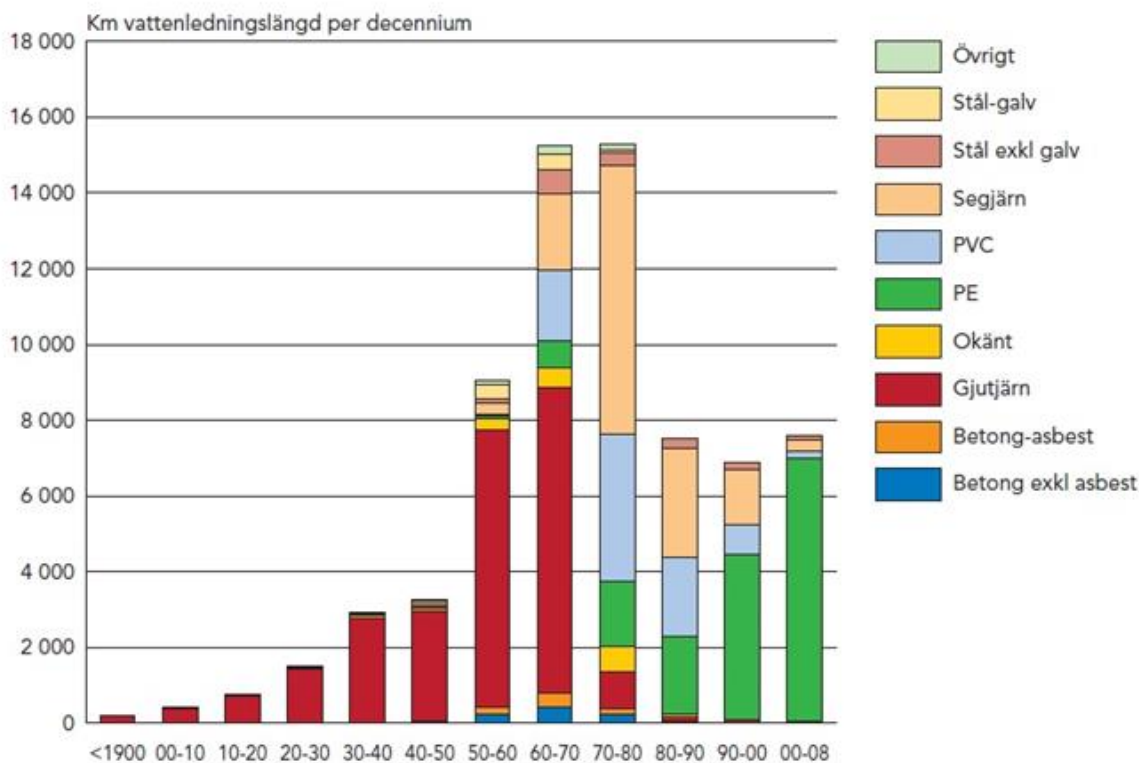
Olika egenskaper av olika plastmaterial kan påverkas under användningstiden t.ex. mekanisk hållfasthet (töjning) kan påverkas av dimensionering, belastning, nötning, temperatur, diffusion av kemiska ämnen eller mikrobiell påväxt. I vattenledningar kommer att utvecklas en biofilm inne i ledningar med tiden oavsett rörmaterial (betong, koppar, plast eller stålrör). Mikrobiell påväxt gynnas av organiska tillsatser i både plast, betong och gummimaterial. Solbestralning påskyndar åldrandet av de flesta plaströr och kan orsaka färgförändringar samt försämring av slagseghet som kan även ske vid hantering, lagring (på ojämna underlag, kontakt med skarpa föremål), fogning och på grund av olika fogtyper. Vissa fogtyper (limfog, stumsvetsfog, etc.) för både tryck- och självfallsledningar kan tillåta en överföring av kraften i ledningens längdriktning medan andra fogar som gummiringsmuffar inte klarar att överföra dragkrafter (Nordiska Plaströrgruppen, 1999).

Utöver rörmaterial kan vattenledningar grupperas efter ålder och diameter. Åldersfördelning av ledningsnätet i Sverige visas i Figur 1. Figur 2 visar åldersfördelningen på ett annat sätt där kan man även se andelen som lagt under varje decennium (Malm och Svensson, 2011).



**Figur 1** Ackumulerad ledningslängd för vattenledningsnätet i Sverige 2008 (blå linje) jämfört med tidigare studie (orange linje) (Malm och Svensson, 2011).

De rörmaterial som är vanligast i ledningsnätet är gråjärn (betecknat gjutjärn i figuren), segjärn, polyeten och PVC, se figur 2.



Figur 2 Vattenledningars anläggning fördelat på material (Malm och Svensson, 2011).

### 4.1.2 Dimensionsfördelning

Även om de flesta kommuner i Sverige samlar data för dimensionen på ledningsnätet (Sundahl, 1996) saknas en omfattande gruppindelning av vatten ledningsnätet för hela landet. En undersökning av renoverade VA-ledningar i Malmö (Simsek och Skarp, 2006) visar följande dimensionsfördelning för gjutjärn i Malmö som baseras på insamlade data från VA-verket i Malmö: Andel dimensionen av mindre än 150 mm är ca 25 %, Andel dimensionen av 150 mm är 50 %, Andel dimensionen av större än 150 är ca 25 %. En studie från EPA om förnyelse av distributionssystem (EPA, 2013) har gruppindelade huvudledningar i USA i tre storhetsklasser av 250 mm eller mindre med 73 %, mellan 300-600 mm med 20 % och större än 600 med 7 %.

## 4.2 Fjärrvärme

Fredriksen och Werner (2013) delar in byggnation av fjärrvärmesystem i tre olika generationer där varje generation har varit bästa teknik under 40 -50 år. Vid ett IEA-seminarium i Reykjavik, 2007,

myntades även begreppet *fjärde generationens fjärrvärmeteknik* (Lauenburg, 2014). I korthet kan de olika teknikgenerationerna beskrivas enligt följande:

- 1:a generationen introducerades i USA under slutet av 1800-talet och bestod av ångbaserad fjärrvärme. Höga värmeförluster och underhållskostnader, samt säkerhetsskäl gjorde att denna teknik nästan helt övergavs. I dag finns system kvar i New York, Paris och delar av Köpenhamn (Fredriksen och Werner, 2013).
- 2:a generationen utgjordes av högtempererade fjärrvärmesystem, där trycksatt vatten används som värmebärare och har höga temperaturer, över 100 °C. Tekniken utvecklades under 1930-talet och var normen fram till 1970-talet (Fredriksen och Werner, 2013)
- 3:e generationen – består av medeltempererade fjärrvärmesystem. Tekniken började användas under 1970-talet, men fick sitt stora genomslag på 1980-talet. Detta system är det mest förhärskande systemet i dagens svenska fjärrvärmesystem. Vattnet är trycksatt men har lägre temperaturer än andra generationens fjärrvärme (Fredriksen och Werner, 2013).
- 4:e generationen innebär lågttempererade fjärrvärmesystem. Det finns i dagläget ingen exakt definition av fjärde generationens fjärrvärme, men utvecklingen har historiskt gått mot lägre temperaturer och mer materialsnåla och prefabricerade komponenter (Lauenburg, 2014). En riktlinje är dock en framledningstemperatur på ca 50 °C och en retur på 25 °C.

Merparten av de fjärrvärmeledningar som finns i svenska fjärrvärmenät är från tredje generationens fjärrvärme då den största utbyggnaden av fjärrvärme skedde på 80-talet och i början av 2000-talet.

Fjärde generationens ledningsteknik med lågttempererade system är ovanliga i Sverige. Det är framförallt Mälarenergi som har satsat på lågttempererad fjärrvärme till lågenergihus i Västerås. Framtida utmaningar för fjärrvärme utgörs bland annat av ett minskande värmebehov och konkurrens från värmepumpar (i ett internationellt perspektiv även naturgas). Med ett ökat fokus på energieffektivisering, förbättrad energiprestanda i byggnader och en potential att kunna tillgodogöra spillvärme av lägre temperaturer behöver framtidens fjärrvärmesystem utvecklas för att möta dessa krav och förutsättningar. En fortsatt utveckling i denna riktning är nödvändig för att stärka fjärrvärmeteknikens konkurrenskraft, i synnerhet i ett europeiskt perspektiv. Om temperaturen i fjärrvärmesystemen kan sänkas ytterligare innebär detta både lägre värmeförluster och bättre möjligheter att tillvarata spillvärme med lägre temperaturer. Materialen i medierören behöver då inte heller vara lika värmebeständiga och därmed är plast ett billigare och möjligt alternativ (Lauenburg, 2014). De främsta orsakerna till att plastmaterial är så använda är egenskaper som att de har hög flexibilitet, är enkla att svetsa, de har låg vikt och är motståndskraftiga mot korrosion, men också deras säkerhet och lång livslängd. Det är viktigt att utveckla rätt plastmaterial från början som är designad för just det den ska utsättas för, som en viss temperaturintervall och under en viss tid.

En övergång till lågttemperaturfjärrvärme är svår att göra i befintlig bebyggelse då byggnadernas husinterna uppvärmningssystem ofta kräver högre framledningstemperaturer. Vilken framledningstemperatur som radiatorsystemet kräver beror på hur radiatorerna är konstruerade och inkopplade (Sandström, u.å.). Det är därmed svårt att säga hur låga framledningstemperaturer som är

möjliga utan att värmeåtergivningen försämras under komfortgränsen. Vid nybyggnation kan de husinterna uppvärmningssystemen anpassas direkt till låga temperaturer genom att använda till exempel golvvärme som endast behöver 30 - 40-gradigt vatten eller luftburen värme som värms med ett värmebatteri.

Fjärrvärmerören har sedan 70-talet utvecklats till att ha larmtrådar, i form av koppartrådar, ingjutna i skumisoleringen. Trådarna kopplas samman till en larmslinga som möjliggör detektering av fukt i skumisoleringen. Övervakningen sker via ett detekteringssystem som tidigt kan larma när det är fukt i isoleringen. Fukt i kombination med värme orsakar hydrolys och därmed nedbrytning av skumisoleringen.

Fjärrvärmesystem kan styras enligt två olika principer. Antingen hålls temperaturen konstant medan flödet varierar för att möta den förändrade efterfrågan, eller så hålls flödet konstant och temperaturen varierar. Generellt reagerar en variation av flödet mycket snabbare på förändringar i efterfrågan än vad förändringar av temperatur gör. Ofta används en kombination av de två systemen.

## 4.2.1 Material

### 4.2.1.1 Betongkulvertar med mediarör av stål

De äldsta fjärrvärmeledningarna som finns i svenska fjärrvärmenät består stålrör med en omgivande kulvert av betong. Förläggningen av stålrören gjordes i betongkulvert för att försöka efterlikna en inomhusmiljö där stålrören skulle ligga torrt och därmed skyddade från korrosion. Med tiden har man blivit varse om att den torra inomhusmiljön inte alltid har kunnat upprätthållas då fukt till exempel har trängt in genom lockskarvar eller då betongen har skadats genom att utsättas för dynamiska laster, grävskador eller karbonatisering av betongen i samband med tölsalter mm. Utförandet av betongkulvertledningar har sett tämligen olika ut på i olika nät. Det fanns inget standardiserat sätt att konstruera betongkulvertarna på, utan olika konstruktioner har tagits fram (Sernhed et al., 2012).

Betongkulvertar har använts för alla dimensioner, men eftersom betongkulvert är den första typen av fjärrvärmeledningar innefattar dessa utmatningsledningar från fjärrvärmeproduktionen vilket innebär att det finns en del riktigt stora dimensioner som från och med DN 300 och uppåt. Ett stort antal olika konstruktioner har tillämpats genom årens lopp. Dock kan två huvudprinciper för betongkulvertbyggande framhållas, lådkulvert (där bottendelen utfördes som en U-formad betonglåda) och plattkulvert (där bottendelen utfördes som en betongplatta med rörupplag av lättklinkerblock) (Molin et al., 1998).

Vissa betongkulverttyper har visat sig vara med skadebenägna än andra. Det har inte funnits några standarder utan olika konstruktioner har tagits fram i olika nät med olika framgång. Därmed kan ledningar inom dessa klasser se mycket olika ut. Framförallt har trånga kulvertar visat sig vara problematiska då inläckage i betonghöljet stannar kvar, eller där stålröret har placerats direkt på kulvertbotten och således blivit utsatt för korrosion i samband med inträngning av vatten (Sernhed et al., 2012). Betongkulvertar med fyllnadsmaterialet cellbetong har visat sig vara en särskilt skadebenägen typ av betongkulvertkonstruktion. Cellbetongen består av cement, sand,

aluminiumpulver och vatten. Vid blandningen sker en kemisk reaktion under utveckling av vätgas i slutna porer. Cellbetong användes i relativt stor skala vid nybyggnation av kulvertar fram till och med första hälften av 1970-talet (Molin et.al, 1998).

Förutom att vatten från läckor stannar kvar på samma plats så är ofta denna typ av kulvert mycket svår att komma åt att laga då man måste bila fram stålroren. Det finns en hel del inslag kvar av denna generation i de fjärrvärmenät som började byggas på 40-, 50- och 60-talet. Betongkulvertarna ligger ofta centralt placerade i städer, samt i många fall vid utmaningspunkter från fjärrvärmens produktionsanläggningar vilket gör att de ofta är ledningar med stora dimensioner (Sernhed et al., 2012). I syfte att snabba upp installationsarbetet utvecklades prefabricerade betongkulvertar, medan kamrar för ventiler och annat i de flesta fall fortfarande fick gjutas på plats (Fredriksen och Werner, 2013).

#### 4.2.1.2 Asbestcimentrörskulvert med mediarör av stål

Enligt Molin et al. (1988) var asbestcimentrörskulvert under många år den dominerande kulverttypen för ledningar upp till DN 200. Användandet av asbestcimentrörskulvert upphörde nästan helt i mitten av 1970-talet. Det har inte funnits några standarder utan olika konstruktioner har tagits fram i olika nät med olika framgång. Därmed kan ledningar inom dessa klasser se mycket olika ut.

Asbestcimentrör tillverkades av asbestfibrer, cement och vatten. Konstruktionen av asbestcimentrörskulvertar finns i huvudsakligen två utföranden, det ena med gemensamt skyddsror för fram- och returledning, så kallad dubbelrör, och det andra med separata skyddsror för fram- och returledning. Dubbelrör användes främst för kläna dimensioner medan separata ledningar användes vid större dimensioner.

Som isoleringsmaterial för asbestcimentrörskulvertar användes främst mineralull, cellbetong och polyuretanskum. Vid isoleringen med mineralull uppstod ett hålrum mellan isoleringen och ytterhöljet av asbestcement, medan isolering med cellbetong och polyuretanskum applicerades mellan ytterhöljet och ett invändigt hålrör där mediaröret var förlagt. Problem som har identifierats med denna typ av kulvert är att fukt lätt kan sprida sig långa sträckor via hålrören vid inläckage av vatten och att uttorkningen av inläckt vatten sker mycket långsamt på grund av att ventilationen i kulverten är dålig (Molin, Nilsson och Bergström 1988). På samma sätt som för betongkulvertar är denna typ av kulvert ofta mycket svår att komma åt att laga då man måste bila fram stålroren.

Vid byte av asbestcementledningar fordras omfattande skyddsåtgärder för att förebygga att personal och allmänhet inte utsätts för asbestdamm som kan leda till allvarliga hälsoproblem (Fredriksen och Werner, 2013).

#### 4.2.1.3 Plastmantlade stålroresledning

Den tredje generationen fjärrvärmeledningar introducerades på 1970-talet och denna byggstil har i Sverige varit förhärskande sedan 1980-talet. Jämfört med andra generationen har systemen hållit lägre



framledningstemperaturer och mer materialsnåla komponenter har använts. Enligt Svensk Fjärrvärmes skadestatistikrapporter kan man se att plastmantlade stålrörsledningar kan komma i en mängd olika utföranden. De kan vara direktapplicerade, byggda i hålrörskonstruktion, Aquawarm eller Wirsbo-PEX. Det finns hårda och flexibla rör med mantel av olika sorters plaster: PE, PEHD och PEX. Det finns en rad olika tillverkare som tillverkar rören i egna fabriker. Exempel på tillverkare har varit och är Aquawarm, Dürotan, Lubo (hålrörskonstruktion), Sölve, Alvenius, Ecopipe, ICM, Lubo (direktapplicerad), Pan-Isovit, Polyheat, Stjärnrör, WH Therm, Tarco, Lögstör, Polyheat och Polypipe.

Prefabricerade fjärrvärmeledningar med skumisolering och en yttre plastmantel är dock den ledningsteknik som präglar tredje generationens fjärrvärme. Den här generationen av rör består av mediarör av stål täckt av polyuretan skum (PUR) som har en mantel av högdensitetspolyeten (HDPE) runt sig. Konstruktionen är stabil och används vid tillverkning av raka rör i olika längder; 6,12, 16 och 18 meter med olika dimensioner. Denna tredje generation av fjärrvärmerör har utvecklats sedan 1970, där både materialsammansättning och tillverkningsmetoder förbättras. Bland annat har PE-höljet och polyuretanskum förbättrats (Wiltshire, 2016). Förbättring av mekanisk hållfasthet för plastmaterial till rören har bland annat gjorts med en blandning av bimodal polyeten med unimodal polyeten med ultrahög molekylvikt där den ultrahöga molekylära komponenten ger goda mekaniska egenskaper till systemet, medan den låg molekylära komponenten ger god processbarhet. Nu efter mer än 30 år av drift finns det uppskattningar av en fem till tiofaldig ökning av utbytes- och reinvesteringsbehovet (WL Plastics Corporation, 2012).

#### 4.2.1.4 Plastmantlade PEX-rör

Fjärrvärmerör med mediarör av plast har använts sedan 1970-talet i Sverige, men då enbart på sekundärsidan, eftersom plasten inte klarar höga temperaturer. Lågtempererade fjärrvärmesystem med plaströr på primärsidan är ännu ovanliga. Normen i Sverige är att fjärrvärmenäten byggs för 120 °C som framledningstemperatur och tryckklassen är PN16, dvs. 16 bars inre övertryck. Danmark har gjort en del försök i till exempel Lystrup, Hoje Taastrup och Odder. I Sverige är det främst Mälarenergi som har gjort en hel del satsningar på att försörja nybyggda bostäder med lågtempererad fjärrvärme i sju bostadsområden. De system som byggts har normalt mediarör av PEX och isolering av cellplast (EPS, Expanderad Polystyren).

När plaströrstekniken introducerades i Sverige på 1970-talet framkom efterhand problem med syrediffusion genom plaströren som kunde orsaka korrosion på komponenter, pumpar, radiatorer och stålrör (ifall systemet innehåller både stål och plaströr). Tillverkare av plaströr började då utveckla diffusionsspärrar för att minska syrediffusionen. Syrediffusion anses inte längre vara ett stort problem. Korrosionsmätningar har genomförts efter flera års drift och endast försumbara korrosionshastigheter har kunnat mätas och alltså ingen försämring av diffusionsspärren (Zinko, 2004).

När lågtempererade plaströrssystem kan användas kan ledningsgravarna göras snävare än vid konventionella lösningar eftersom inget arbete behöver utföras nere i schakten. Det innebär att det blir mindre schaktmassor att gräva och återställa (utredningar visar att den urgrävda massan, vid förläggning av plaströr, uppgår till endast 60-70 % av den vid förläggning av konventionell

stålörskulvert). Återställning av markområden ofta kan göras samma dag. Vidare kan långa sträckor förläggas utan skarvning, då rören inte behöver svetsas utan levereras i rullar om 50, 100 eller 200 meter. Röret är flexibelt och kan enkelt följa topografin utan insvetsade böjar. Röret behöver inte heller trycktestas, endast täthetstestas med luft och ett tryck på 0,2 bar. Skarvning av röret kan göras innan förläggningen i schakten sker.

Temperaturlågheten för PEX-rör är generellt mycket sämre än för stål. För exempelvis Logstors PEX-rör gäller att vid temperaturer över 95 °C kan inte en teknisk livslängd på 30 år garanteras, då rörets egenskaper snabbt försämras vid höga temperaturer. PEX-rör har tryckbegränsningar på mellan 6 och 10 bar beroende av fabrikat och dimension. Vilket tryck röret tål beror också av temperatur. Logstors PEX-rör har till exempel en garanterad livstid på 30 år vid ett kontinuerligt tryck på 6 bar och 85 °C. Om temperaturen sänks till 70 °C kan samma livstid förväntas med ett kontinuerligt tryck på 8,5 bar. Om trycket sänks håller röret längre. Hur mycket längre är svårt att fastställa, men tyska undersökningar från 20 år tillbaka visade på en teknisk livslängd för PEX-rör på 150 år när framledningstemperaturen tillåts variera mellan 60 °C och 90 °C och med 5 bars tryck (Eriksson et al., 2013).

Det är känt att migration av additiver (antioxidanter) till omgivande medier (fysikalisk förändring) och oxidation av antioxidanten ("kemisk förändring") är två viktiga mekanismer för förlust av stabilitet och livslängd hos plaströr (Brocca, 2002; Skjevraak et al, 2003).

## 4.2.2 Materialfördelning och åldersfördelning

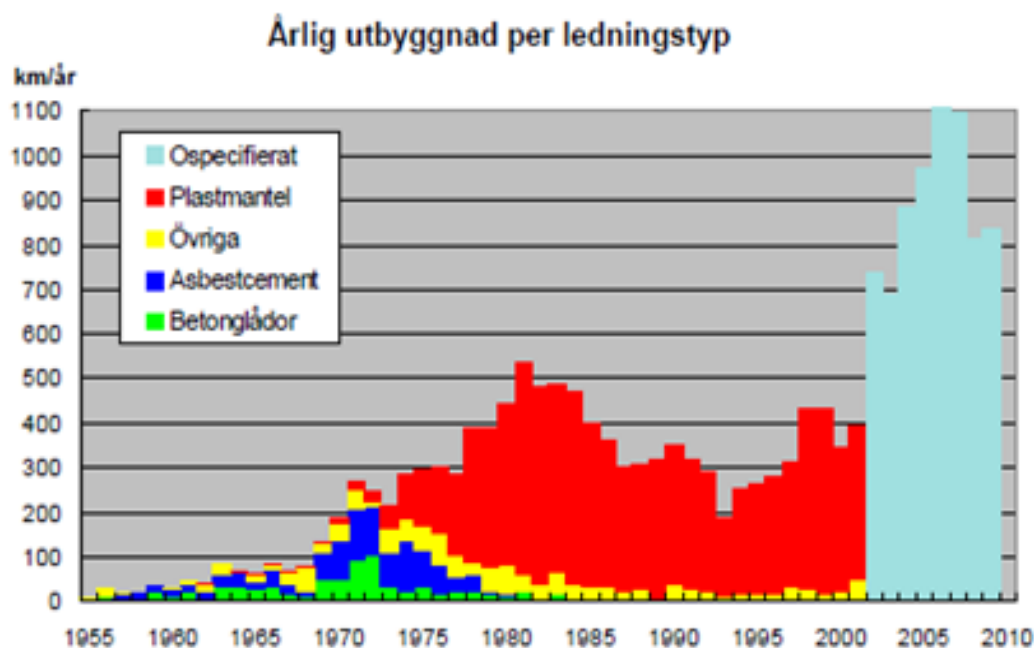
Fjärrvärmeledningarna i Sverige kan delas in i tre kategorier utifrån material:

- Betongkulvertar
- Asbestcimentrör
- Plastmantlade stålrör

Fjärrvärmenäten är relativt unga jämfört med VA-nät. Betongkulvert har byggts under åren 1943-1990, parallellt med asbestcementledningar (ca 1955-1980). Plastmantlade rör introducerades på 1960-talet, men den verkliga boomen kom i början av 70-talet. Sedan dess är ledningstekniken med plastmantlade ledningar förhärskande.

Det finns i dagsläget ingen säker statistik över hur många längdsmeter ledning av olika ledningstyper det finns i de svenska fjärrvärmenäten. Svensk Fjärrvärme har i perioder samlat in skadestatistik för fjärrvärmeledningar mellan år 1982 till 2002, samt från och med årsskiftet 2016. I denna skadestatistik finns uppgifter om längdsmeter ledning uppdelat på ledningstyper för åren 1982 till 2002, men för perioden efter 2002 finns ingen sådan samlad bild. I den nyupptagna skadestatistikinsamlingen från 2016 har ännu ganska få bolag rapporterat in och därför ger denna källa till information ingen fullständig bild över hur mycket längdsmeter av olika ledningstyper det finns i Sverige idag. Werner (2011) har gjort en sammanställning över årlig utbyggnad per ledningstyp uppdelat i kategorierna betonglådor, asbestcement, plastmantel och övriga för åren 1955 till 2009, se figur 3. För utbyggnadstakten fram till år 2003 har Werner använt Svensk Fjärrvärmes skadestatistik och efter

detta har han använt uppgifter om total ledningslängd som byggts per år som har samlats in av Svensk Fjärrvärme. Denna statistik har dock inte haft någon uppdelning i ledningstyper varför ledningarna i figuren efter 2002 har kategoriserats som "Ospecifierat". Det finns ingen vederlagd förklaring till att det efter 2002 ska ha skett en stor ökning i utbyggnadstakten av fjärrvärmeledningar. Möjliga förklaringar som Werner ger är att insamlingen efter 2002 har gjorts av andra personer i fjärrvärmeföretagen och att det skulle kunna finnas en tendens att vissa företag har rapporterat in rörlängd istället för ledningslängd (som innefattar både fram- och returledning) vilket kan ha dubblerat vissa sifferuppgifter från ett år till ett annat. Dessutom utgjorde anslutningarna efter 2002 mestadels värmeglesa områden som kräver längre ledningslängder, vilket också skulle kunna vara en delförklaring av den stora ökningen (Werner, 2016).



**Figur 3** Årlig utbyggnad per ledningstyp i svenska fjärrvärmenät (Werner, 2011).

Med utgångspunkt från uppgifterna i figur 3, samt uppgift från Svensk Fjärrvärme att den totala ledningslängden idag uppgår till ca 24 000 km parvisa rör (se figur 4) har en uppskattning av totala ledningslängder uppdelade på kategorierna plastmantlade rör, betongkulvertar, asbestcementledningar och övrigt gjorts.



**Figur 4** Nätlängder i Sveriges fjärrvärmenät från 1996-2014. (Svensk Fjärrvärme, 2015)

Med ett sådant antagande skulle en ungefärlig fördelning av rörtyper i svenska fjärrvärmenät fördelas enligt figur 5. I denna uppskattning ligger även att 10 % av de betongkulvertar och asbestcementkulvertar som fanns 2002 har skrotats.



**Figur 5** Uppskattad fördelning av ledningstyper i svenska fjärrvärmenät

### 4.2.3 Dimensionsfördelning

Inga uppgifter har hittats.

## 5 Bedömning av ledningsnätens status

I en studie från EPA konstateras att begreppet "status" har olika betydelse för olika VA-verksamheter (Thomson et al. 2013). Thomson et al. (2013) gjorde en genomgång av statusbedömningsmetoder och beskriver att för de flesta av dem handlar begreppet om faktorer såsom rörets skick, kapacitet, funktionsduglighet, vattenkvalitet och/eller ekonomiska aspekter. Både kvalitetsbedömningar och statusbedömningar kan ge oss verktyg för att göra livslängdbedömningar och vidare underlag för bättre planeringen av förnyelse, drift och underhåll. Bättre planering ger i förlängningen bättre ekonomisk effektivitet och styrning samt ledningssystem som håller längre. Thomson et al. (2013) har också konstaterat att antalet driftstörningar är en av de mest använda indikatorerna för statusbedömning och att skadefrekvensen är den viktigaste faktor till att prioritera förnyelse av ledningsnätet.

Bedömning av en lednings status, kan göras vid olika tillfällen och för olika syften under en lednings livslängd oavsett om det är en VA-ledning eller en ledning för fjärrvärme/fjärrkyla. De olika tillfällen då status kan bedömas är t.ex. efter tillverkning eller innan installation, vid förbrukning eller efter att ledningen tagits ur drift. Det mest önskevärda är att man har en typ av kvalitetsbedömning efter tillverkning för att t.ex. kvalitetssäkra tillverkningsprocessen och en typ av statusbedömning under användningstiden för att kunna planera drift och underhåll. Utvärderingsmetoder för olika bedömningar har baserats på en rad kriterier som kopplas till rörets funktion och användningsområde.

### 5.1 Skadefrekvenser

#### 5.1.1 Dricksvatten

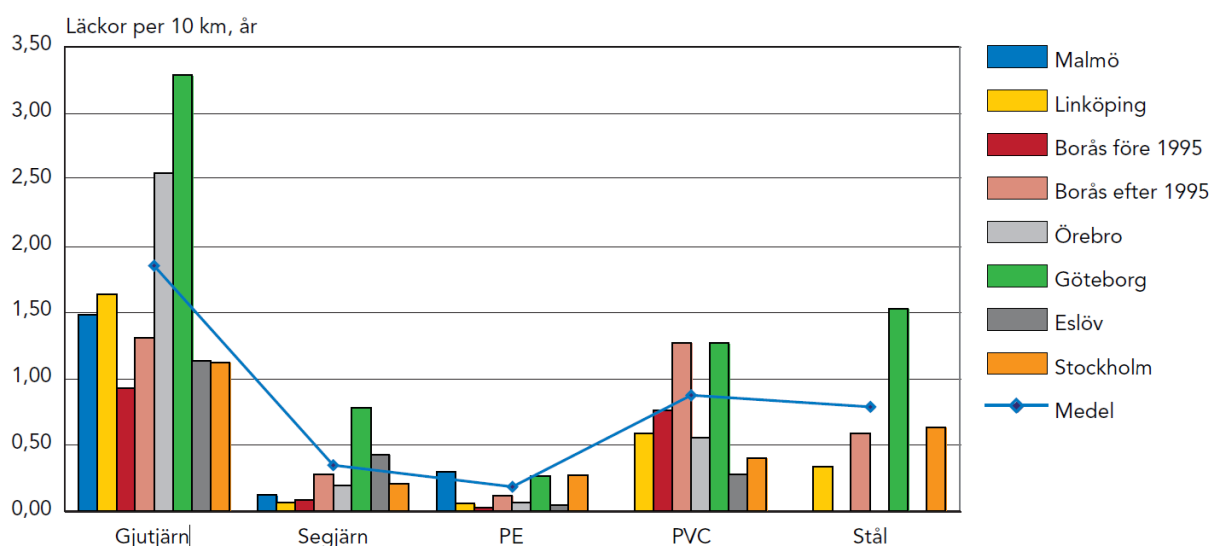
I tabell 2 visas skadefrekvensen för olika material i olika delar av världen. I jämförelse med Sverige är skadefrekvens högre i utlandet. I vissa fall är frekvensen aggregerad och avser flera material.

**Tabell 2** Skadefrekvens i olika studier per km och år.

	Gråjärn	Segjärn	PVC	PE	ALLA
Sverige <sup>1</sup> (Malm et al., 2011)	0,22	0,04	0,09	0,02	0,1
Danmark (Bækkegaard et al., 1980)	0,19	0,04	0,11	N/A	0,14 <sup>2</sup>
UK (MacKellar and Pearson, 2003)	0,20	0,05	0,07	0,03	-
Poland (Kwietniewski and Rak, 2010)	0,47	0,08	0,09	0,08	-
Canada <sup>3</sup> (Folkman et al., 2012)	0,22	0,094	0,004	N/A	0,07
USA <sup>3</sup> (Folkman et al. 2012)	0,149	0,027	0,018	N/A	

1) Genomsnitt värde tagit från tre studier under perioden 1995-2008; 2) För år 2014 (Vand i tal, 2014); 4) Från 188 vattenverk i USA och Canada

Skadefrekvensen (läckor) i Sverige genom åren har sammanställts av Malm et al. (2011). Gråjärns- och PVC-ledningar har högre läckfrekvens än segjärns- och PE-ledningar. PVC-ledningarna har en vikande trend, vilket troligen beror på att de sämsta ledningarna (med Ehri-muffar) till stor del är utbytta. Totalt sett har antal läckor varit relativt konstant från 1970-talet till idag. Läckfrekvensen för gråjärn (betecknat gjutjärn i figuren) har ökat något och frekvensen PVC har minskat. I figur 6 visas skadefrekvenser kommunvis för några svenska kommuner. Det är relativt stor skillnad mellan kommuner, vilket troligen förklaras med att markförhållandena är olika. Göteborgs höga skadefrekvens kan förklaras med dåliga markförhållanden, men också att ca 30 % av läckorna är egenfunna, det vill säga har hittats vid sökande efter utläckage.



**Figur 6** Antal reparerade vattenläckor i Nyckeltalsgruppen 2002-2012 (Malm et al., 2011).

### 5.1.2 Fjärrvärme

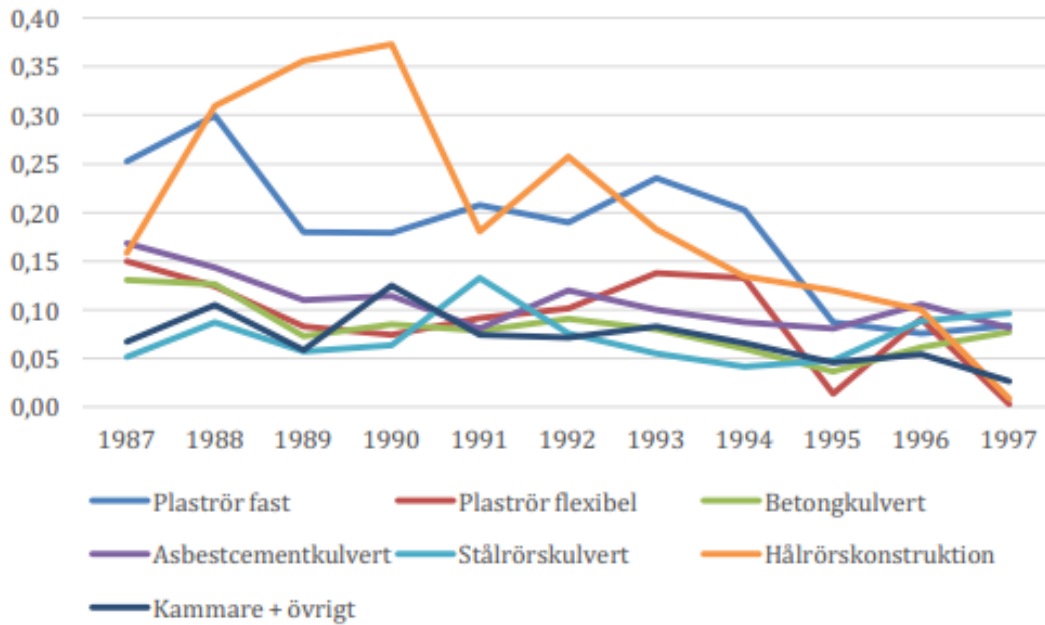
Skadefrekvensen är ungefär lika för plastmantlade rör, betong och asbestkulvertar när man ser till Fjärrvärmeföreningens statistik, se tabell 3. I Fjärrvärmeföreningens skadestatistik finns jämförbara data på skadefrekvenser för perioden 1987 – 1997 utifrån olika ledningstyper. Skadefrekvenserna visar en nedåtgående trend under perioden, se figur 7. För betongkulvertar, asbestcementkulvertar och andra ledningskonstruktioner som under denna period inte har byggts ut i någon högre utsträckning skulle detta kunna förklaras av att de sämsta sträckorna kontinuerligt ersätts och de som är kvar är de som har bäst förhållanden. Men även för plastmantlade ledningar förefaller skadebenägenheten ha minskat under perioden, detta trots att en stor utbyggnad har skett under denna period och en del tidiga fel borde ha kommit i dagen (Sernhed et al., 2015).

**Tabell 3** Skadefrekvens (medelvärde) för åren 1987-1997 och huvudsakliga orsaker (data från 1979-1981) (Andersson et al., 1999; Asp et al., 1986).

Material	Skador per km, år	Anmärkning
Plastmantlade rör	0,09-0,18	<p>Flexibla plaströr ligger i den lägre nivån, fasta plaströr i den högre nivån. Skadebenägenheten har varierat mellan 0,3 till 0,09. Enligt beräkningar i Vattenfalls nät stiger skadefrekvensen nästan linjärt med ålder. Efter 50 år förväntas skadefrekvensen ligga på 0,1 efter 75 år på 0,2 (Andersson et al., 1999).</p> <p>Orsaker till skador enligt på plastmantlade rör Asp et al. (1986) är otäta skarvar (dominerande), otäta svetsar, åverkan, otäta rörgenomföringar och marksättning.</p>
Asbestcement	0,1	<p>Variation över åren på mellan 0,17 till 0,08. Nedåtgående trend över åren 1987-1997, men skadefrekvensen beräknas öka med åldrande nät (Andersson et al., 1999).</p> <p>Orsaker till skador enligt på asbestcementkulvertar Asp et al. (1986) är otäta skarvar, marksättningar, felaktig lutning, yttreåverkan och bristfällig dränering.</p>
Betongkulvertar	0,08	<p>Medelvärde för skadestatistik från åren 1987-1997. Skadebenägenheten har varierat mellan 0,13 - 0,05. Nedåtgående trend över åren. Enligt beräkningar på betongkulvertar i Vattenfalls nät ökar skadefrekvensen vid en livslängd på 35-40 år. Inga betongkulvertar förväntas vara kvar efter 60 år (Andersson et al., 1999).</p> <p>Orsaker till skador enligt på betongkulvertar Asp et al. (1986) är otäta gjutningar, otäta skarvar, bristfällig dränering, otät lockskarv och bristfällig ventilering.</p>

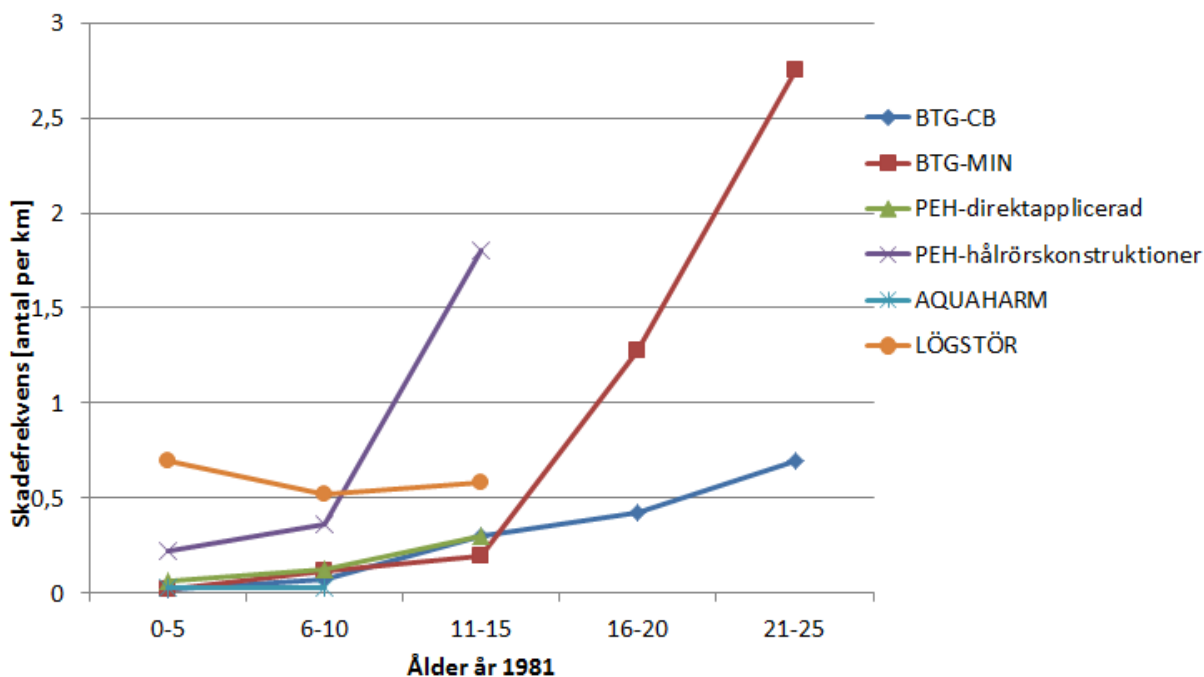


### Antal skador per kulvertlängd uppdelat på ledningstyp åren 1987-1997



**Figur 7** Skadefrekvens, dvs. utläckage (antal per km) uppdelat på ledningstyp (Sernhed et al., 2015).

Även om skadefrekvensen generellt minskar i Sverige, ökar skadefrekvensen med ökad ålder, se figur 8. Det beror på att bolagen byter ut de sämsta (ofta äldre och i betong/asbest) sträckorna först för att hålla nere antalet skador. I takt med att andelen plastmantlade rörsystem ökar när sträckor förnyas, minskar andelen äldre system och därmed kan den totala skadefrekvensen hållas nere. I rapport om "riskhantering för underhåll av fjärrvärmenät" finns underlag från Vattenfall när de gör sina livslängdsbedömningar i programvaran IKOS. Resultaten visar att skadefrekvensen ökar nästan exponentiellt med ålder för betongkulvertar i Vattenfalls nät, medan kurvan ser betydligt mer linjär ut för plastmantlade ledningar (Andersson et al., 1999).



**Figur 8** Skadefrekvens fördelat på ålder uppdelat på ledningstyp (data från Asp et al., 1986).

Utredningen innehåller en utökad och fördjupad inventering av rapporterade skadefall i Malmö, Uppsala och Västerås under perioden 1992-1997 samt en fördjupad analys av sambandet mellan skador och olika omgivningsförhållanden. Inventering och analys har bland annat visat:

- ACE och cellbetong är de rörtyper som har högst skadefrekvens.
- Byggtakten under anläggningskedet tycks generellt sett ha större betydelse för skadefrekvensen än ledningarnas ålder.
- De primära skadeorsakerna varierar för de olika värmeverken, sannolikt beroende på olika rutiner vid utförande och kontroll.
- Ingen tydlig trend för trafiklastens inverkan på skadefrekvensen kan utläsas ur statistiken, sannolikt beroende på att ledningarna i allmänhet har en gynnsam placering i gatusektionen i gator med tung trafik.
- För ACE och cellbetong har dock högre skadefrekvens noterats i gator med tung trafik än i gator med ingen eller lätt trafik.
- Fjärrvärmerör i lerområden eller i gränsområden lera/fast mark har, oavsett rörtyp, högre skadefrekvens än rör i områden med andra geotekniska förhållanden. Den ökade skadefrekvensen i lera kan bero på att sättningsbenägenheten är större i lera än i andra fastare jordarter, men också på att risken för tillfällig dränkning av ledningarna vid bristfällig dränering är störst i lera.

## 5.1.3 Bedömning av kvalitet

### 5.1.3.1 Dricksvatten

För plaströr mäter man i första hand töjning i plastmaterial vid mekanisk belastning. Denna mätning kompletteras med mätning av andra egenskaper som är viktiga för rörkvalitet och livslängd: ringstyvhet, tryckhållfasthet, slaghållfasthet, hållfasthet för jord och trafiklast, temperaturpåverkan, längdutvidgning, isolerförmåga, kemikalieresistens, smak-luktpåverkan på grund av utlösning av kemiska ämnen, mikrobiell påväxt, diffusion, nötning och strålning. Töjning och hållfastheten vid mekanisk belastning mäts för plaströr eftersom rörets långtidshållfasthet är spänningsberoende. Tillåten spänningen i plaströr väljs vanligtvis motsvarande hälften av hållfasthetsvärdet vid 50-100 årsbelastningstid. Säkerhetsfaktorn vid kort belastning har uppskattat av storleksordning 4. Vid dimensionering av plaströr tar man hänsyn på två dimensioneringskriterier: tillåten spänning och tillåten töjning som är material beroende. Generellt plastmaterial visar en minskad brotthållfasthet med ökad temperatur. Tillåten spänning och töjning är den hållfastheten som har mäts för ledning vid +20 °C. Längdutvidgningen är ungefär 6-20 gånger större för termoplast (PE, PP, PVC) än stål. Plastmaterial är ett isoleringsmaterial men för marklagda ledningar jordens isoleringsförmåga är har större betydelse än plastens isolereffekt. Plastens brotthållfasthet kan påverkas av olika kemikalier och exponering tid och temperatur. Utlösning av kemiska ämnen från rör och dess påverkan på smak och lukt är ett debatterat område och forskas för närvarande. Diffusion av gas är olika för olika plastmaterial och det beror på permeabilitet hos materialet och omgivningstemperatur. Nötning av plastmaterial generellt är bättre än stålmaterial därför den nötning som sker vid krökar är mycket mindre för plastmaterial än stål. Plastmaterial åldring påskyndas med UV-ljus exponering även om de har UV- stabilisator därför rekommenderas skydd från varaktig UV-exponering innan installation (Nordiska Plaströrgruppen, 1999; Thörnblom, 2011).

### 5.1.3.2 Fjärrvärme

För att bestämma kvaliteten hos ett fjärrvärmerör av stål med PUR och mantel av PE mäter man rörets olika egenskaper vid olika typer av påverkan via undersökning av rör och dess komponenter samt dess installation med hjälp av olika europeiska och/eller internationella (EN och ISO)standarder. Ibland används dessa standardmetoder för uppskattning av rörets livslängd. De mest vanligaste standarder som används i Europa är EN 253, EN 489, EN 13491.

Dagens standarder för prefabricerade fjärrvärme rör hanterar både rårör och skarvar. Parametrar som undersöks och mäts enligt EN253 standard för rårör är relaterade till olika delar av fjärrvärmerör samt röret som en enda enhet. Dessa parametrar har valts för att kunna bestämma både kvalitet och uppskatta livslängden hos rören. För mediarör finns krav på stålqualität, diameter, godstjocklek och ytbeskaffenhet. För mantelrör finns krav på både material och dimension samt utseende, ytbeskaffenhet och rörändar. För isolering av hård uretan cellplast (polyuretanskum, PUR) finns krav på sammansättning, densitet, tryckhållfasthet och vattenabsorption. För röret som en enda enhet ställs ytterligare krav i EN253 på kvalitet och förväntade livslängd genom krav på parametrar som förändring i diameter på mantelröret, förändring i skjuvhållfasthet efter åldring, värmekonduktivitet,

slaghållfasthet, krypning. Rörläggning och mediarörsfogning och mantelskarvning i samband med installation och generellt hantering av rör är också avgörande faktorer för livslängd av fjärrvärmerör.

För installation och montering av rör och komponenter endast material och metoder, som uppfyller den angivna instruktioner, föreskrifter och standarder skall användas t.ex. EN 13941 standard "Fjärrvärmesystem – Konstruktion och installation av rörsystem med förisolerade rör med fast förband mellan värmeisolering och medierör respektive mantelrör". Om rörledningssektioner inte kan installeras i enlighet med denna standard som andra än förisolerade rörsektioner, t.ex. specialkonstruktioner som bro, korsningar, vattendragskorsningar bör rör installeras av utbildad personal i enlighet med projektritningar och motsvarande andra standarder, koder och regler. Om ändringar görs under installationen av konstruktörsdokument ska dokumenten revideras i enlighet med ändringarna. Konsekvenserna av eventuella förändringar skall undersökas. Hantering, transport och lagring av rör och rördelar etc. skall ta hänsyn till egenskaperna hos de olika materialen, särskilda instruktioner från tillverkare av materialen och nuvarande externa förhållanden för att undvika att utsätta komponenterna till skadliga effekter och för att undvika föroreningar etc. i rör och beslag.

Försiktighetsåtgärder skall vidtas för att undvika repor och hack. De särskilda villkoren för PE mantelrör skall beaktas vid transport och lagring till exempel att locken på stålrörsändar ska vara kvar till dess rören sammanfogas. PUR-skum bör skyddas mot fukt. Med hänsyn till risken för sprödbrott, bör försiktighetsåtgärder vidtas när installationstemperaturer är under 10 °C. Rörgraven skall grävas i enlighet med Svensk Fjärrvärmes tekniska bestämmelse D:211 Läggingsanvisningar, som är branschstandard och som AMA Anläggning hänvisar till. Specifikationerna för ledningsdragning och djup ska följas. Bredden på utgrävningen är, bland annat bestämt av kravet på tillräckligt utrymme under installationsfasen, t.ex. svetskamrarna, inspektionsbrunnar, men också möjligheten att komprimera återfyllnadsmaterialet runt systemet. I mjuka markområden (organiskt material och liknande) ska särskild uppmärksamhet ägnas åt att anpassa röret utgrävning till ett eventuellt behov av ytterligare fundament. Före installation och under installationens skede skall också schaktbotten kontrolleras på plats, samt även höjd och bredd på schakten. Föroreningar, stenar och andra föremål som kan skada röret, skall avlägsnas och särskild uppmärksamhet ska ägnas åt installationen av rör och komponenter avseende att ge utrymme för rörelser i schakten på grund av utvidgningar i längdriktning.

Sand, styrenstöd eller slipers kan användas för att hålla röret på plats. Om rören ska skäras, skall detta vanligtvis göras vinkelrätt mot röraxeln. Förisolerade rör skall förkortas endast i enlighet med tillverkarens instruktioner. Avståndet mellan mantelröret och andra parallella läggingsrör, skall vara i enlighet med installationsplaner. Svetsning är ett annat moment i installation som kan vara avgörande för haveri och livslängden av rörsystemet.

Produktstandarderna EN253 och EN489 handlar om raka fjärrvärmerör respektive rördelsenheter och skarvar. Krav och kvalitetsbestämning samt provningsmetoder för förisolerade raka rör från DN 15 till DN 1200 med fast förband mellan värmeisolering och medierör respektive mantelrör för markförlagd distribution av hetvatten beskrivs i EN253. Krav för skarvar, utförda under fältmässiga förhållanden mellan anslutande förisolerade rör och rördelar i markförlagda fjärrvärmesystem beskrivs i EN489. EN 13491

handlar om design och installation av prefabricerade fjärrvärmerör. Enligt denna ska standarddesign och installation av fjärrvärmerörssystem säkerställa att systemet ger tillräcklig hållbarhet, robusthet och tillförlitlighet i förhållande till de inre och yttre laster och effekter, till vilka det är sannolikt att de utsätts för vid normal drift. Det installerade systemet skall ge tillräcklig säkerhet mot att ovanliga driftsförhållanden eller olyckor inte äventyrar personer eller miljön samtidigt som systemet ger god energiekonomi och goda driftegenskaper med säkerhet i leveranserna.

### 5.1.4 Statusbedömningsmetoder

Statusbedömning innebär att man bedömer rörets nuvarande status momentant, det vill säga man försöker svara på frågan "Hur mår röret just nu?". För att kunna bedöma status av ett rörsystem behövs kännedom om både rörmaterialet och den miljö som röret installeras i och exponeras för. Denna information kan vara en bas för senare uppskattningar.

#### 5.1.4.1 Dricksvatten

Effektiv förnyelseplanering av ledningsnätet behöver en korrekt värdering av ledningsnätets status.

I huvudlaget finns två metoder för status bedömning av ledningsnätet. Den första metoden, direkta inspektion av ledningar går ut på att man använda sig av okulärbesiktning, destruktiv eller icke-destruktiv provningsmetoder (NDTs) för att prognosera och upptäcka fel vid ledningar. Den andra metoden, indirekt metod, handlar om undersökning av befintliga data för att konstatera tillstånden på ledningsnätet (Liu and Kleiner, 2013). En annan metod som varken är NDT eller förstörande i den meningen att röret skall grävas upp och bytas heter SP-pluggmetod och har utvecklats av SP som en fältmetod. Det har dock inte kommersialiserat än (Yarahmadi och Sällström, 2014).

Direkta inspektions- och övervakning tekniker kan ge olika anvisningar som kan bidra till en detaljerad statusbedömning. Man ska påpeka att NDTs ger en bättre och mer omfattande förståelse av rörets tillstånd än vad datainsamling och statistiska metoder ger oss. Däremot är användningen utav NDT också dyrare. Detaljerade beskrivningar av de främsta metoderna finn i studien som gjordes av Liu och Kleiner (2012).

Direkt inspektion av hela distributionsnätet kan ge användbara uppgifter på ledningsnätets strukturella egenskaper men är oftast alltför arbetskrävande och dyr (Rajani och Kleiner 2001). Enligt många studier är användning av statistiska metoder för driftstörningar historisk data en effektivt och överkomliga alternativ för statusbedömning av ledningsnätet.(Kleiner och Rajani, 2001; Nishiyama och Filion, 2013).

De direkta metoder för statusbedömning som finns idag är metoder som främst fokuserar på att leta upp läckor och mindre på att analysera svagheter i rörmaterialet. VA- och fjärrvärmebolagen efterfrågar metoder som är proaktiva och smidiga att arbeta med. I det här projektet är syftet att ta fram och utveckla metoder som i minsta mån kräver grävningsarbeten och avbrott i driften.

De vanligaste direkta metoderna för statusbedömning på vattenledningar är ofta metoder som är inriktade på att söka läckor. Det är metoder som flödesmätning som ger områdesvis information om

utläckage, akustiska loggrar som avläser läckljud, manuell avlyssning av läckljud från ventiler och metoder som med akustisk korrelation kan lokalisera läckor. Den allra vanligaste metoden för en slags "statusbedömning" är att använda sig av historiska data som antal läckor, driftstörningar och reparationer (Uusijärvi, 2013). Det finns även metoder som invändigt inspekterar vattenledningar och letar efter läckor och svagheter i rörmaterialen, metoder som Smartball, Pipe Inspector, Breivoll och Sahara Leak detection (Rindelöv, 2015).

Utläckage av vatten är en bedömning av nätets status. I Sverige, som har gott om vatten i många fall har högre utläckage än i Europa (Lambert et al., 2014).

#### 5.1.4.2 Fjärrvärme

Det vanligaste sättet att göra statusbedömningar på fjärrvärmeledningar är att detektera fukt i isoleringen genom ingjutna larmtrådar som detekterar och även kan lokalisera in- eller utläckage av fukt (Andersson, 2002). Det kan dock vara värt att poängtera att fuktlarm inte finns indraget i äldre typer av fjärrvärmeledningar, samt att fuktlarmen inte alltid fungerar och att olika fjärrvärmebolag lägger ned olika mycket resurser på att övervaka fuktlarmen och se till så larmen fungerar. I Helsingborg har försök gjorts med att dra in fuktlarm i gamla betongkulvertar med lyckat resultat (Sernhed et al., 2012). I och med denna åtgärd får fjärrvärmebolaget bättre statuskontroll och kan våga behålla de gamla betongkulvertarna under längre tid.

Det finns en rad olika läcksökningsmetoder som används i olika omfattning och med olika framgång (Sernhed et al., 2012):

- Lyssnarapparat med eventuella korrelationsmätningar
- Sektionering av nätet med avstängning av ventiler, ofta med samtidig användning av ljudavlyssning
- Termografering
- Spårgas
- Rörål försedd med termometer och mikrofon

Termografering kan göras gående med värmekamera, med värmekamera riggad på bil eller genom flygtermografering. Med termografering kan man även se utläckage av vatten från ledningstyper som vanligtvis inte innehåller några larmtrådar (Sjökvist et al., 2012). Med flygtermografering kan man få en överblick över hela eller stora delar av ledningsnätet. Även akustisk korrelation som kan lokalisera läckor och delta-t metoden är metoder som används idag på fjärrvärmeledningar. Delta-t metoden ger ett medelvärde på godstjockleken mäts upp på en sträcka ledning genom att mäta ljudvågors hastighet (Nohrstedt, 2013).

#### 5.1.5 Livslängdsbedömningsmetoder

Utifrån rörsystemets nuvarande status och kännedom om faktorer som tiden och omgivningen påverkar, kan ett rörsystems livslängd bedömas. Livslängd hos en produkt är den tidsperiod under vilken produktens prestanda behålls på en nivå som innebär att de väsentliga kraven uppfylls och produkten behåller en acceptabel funktion. Livslängden för ett rör är en avgörande del när man talar om en hållbar produkt eftersom den är den längsta tiden som röret befinner sig i varje cirkel av sitt liv i

ett cirkulär ekonomi. Livslängden hos ett rör är ju beroende dels av materialens uppbyggnad, sammansättning och hur den används, dels av den miljö där den exponeras. De avgörande faktorerna som påverkar livslängden för ett rör är material, tillverkningsprocess och konstruktion, montage och installation, omgivningsvillkor, underhåll och drift.

För att bättre kunna förstå sambanden mellan dessa faktorer behövs kunskap om olika nedbrytningsmekanismer som beskriver sambandet mellan miljön och materialet i den aktuella miljön med tiden. Det finns olika verktyg och utvärderingsmetoder för både vatten och fjärrvärmerör där en rad kritiska egenskaper undersöks.

### 5.1.5.1 Prognosmodeller

VA-verksamheter kan använda sig av prognosmodeller för förnyelseplaning av ledningsnätet. Ett antal fysiska och statistiska modeller för att förutsäga driftstörningar i vattenledningar har utvecklats under de senaste decennierna. Dock är det ovanligt att dessa modeller används i Sverige (Malm et al., 2009). I dessa modeller används data om rör och omgivning som stöd vid utveckling av modeller. En litteraturstudie av Kleiner och Rajani (2001) redovisar en omfattande granskning av de fysiska och statistiska modeller som utvecklades vid slutet av 1990-talet. Ett forskningsprogram vid EPA har gjort en sammanfattning av huvudpunkterna från Kleiner och Rajani (2001) och har tillsammans med vissa ytterligare nya modeller som har genomförts på statusbedömning tekniker under de senaste åren (Liu et al., 2012). Fysiska modeller som kräver mätningar är dyrare att använda men är relevanta för större matarledningar eftersom de oftast ger stora konsekvenser för vid driftstörningar och därför vill man hitta skador innan de går till brott.

Resultat från prognos modeller och statusbedömningsstrategier används som underlag till utveckling av metoder och verktyg som stöder förvaltningen av ledningsnätet. Sammanfattning av främsta metoder som utvecklats under de senaste decennierna redovisas också i samma EPA studien (Liu et al., 2012).

Statistisk och känslighetsanalys av vissa modeller som har utvecklats kan avslöja användbar information angående inverkan av olika parametrar som används vid modellen på skadefrekvensen av ledningar. T.ex. en studie som gjordes av Barqavi och Zayed (2006) utvecklade en matematisk modell för statusbedömning med hjälp av "Artificial Neural Network (ANN)". Tabell 4 redovisar bidraget från de olika parametrarna som har använts för modellen. De konstaterar att antalet av tidigare driftstörningar är den viktigaste enskilda parametern som bidra till ledningens status.

**Tabell 4** Parametrars viktningsfaktor för livslängdsbedömning (Barqavi och Zayed, 2006)

Parameter	Viktningsfaktor
Material	0.12301
Ålder	0.13557
Diameter	0.11838
Antalet av tidigare driftstörningar	0.30166
C faktor*	0.10132

Lednings djup	0.07240
Type of surface?	0.05911
Jordart	0.08855
Total	1

\* Hazen-William koefficient =mått på rörets råhet/skrovlighet

De relevanta resultaten från likadana studier redovisas i löpande text och under den tillhörande parametern för att man bättre ska kunna förstå inverkan av olika faktorer på skadefrekvensen och ledningens status. Se vidare om nyckelparametrar som påverkar livslängden i kapitel 6.1.

### 5.1.5.2 Livslängdsbedömningar baserat på verkliga data på vattennät

I Göteborg har livslängdsbedömning genomförts baserat på verkliga data för vattenledningsnätet. Studien gjordes av Göteborg Vatten (2007) visar att medellivslängden för vattenledningar i Göteborg är runt 80 år (analysen gjordes på hela ledningsnätet som till 43 % bestod av gråjärn, 24 % av segjärn, 21 % av PE och resterande av stål, betong, PVC och koppar). Livslängden bedömdes genom att studera historiska data om utbyggnad och förnyelse av vattenledningsnäten under mer än 100 år. En bedömning är att livslängden är längre än i Göteborg för stora delar av Sverige med tanke på de relativt svåra markförhållanden som råder i Göteborg, med sättningsbenägenhet och salthaltiga leror som innebär belastningsskador och korrosionsskador (Malm och Svensson, 2011).

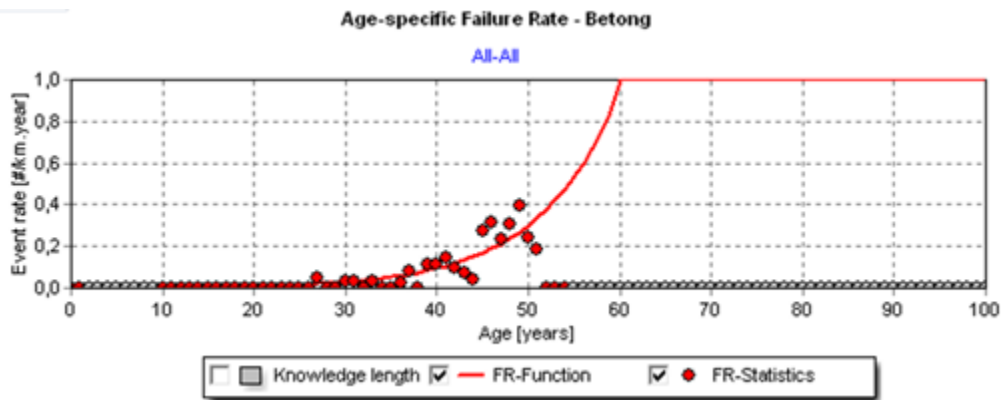
### 5.1.5.3 Livslängdsbedömningar baserat på verkliga data på fjärrvärmenät

Fjärrvärmenäten i Sverige är till stora delar är så pass unga att de ännu inte förnyats i någon större omfattning. Därför finns det inte heller så mycket underlag kring verklig statistisk livslängd för fjärrvärmeledningar.

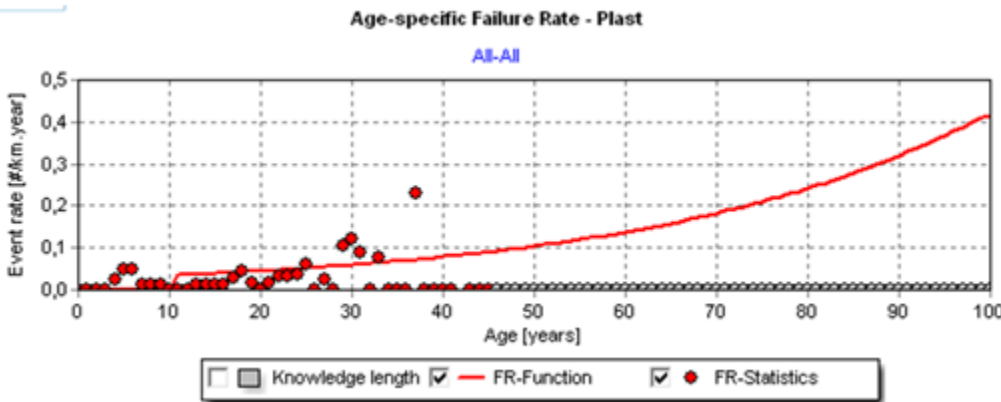
En undersökning av Yarahmadi et al. (2014) har genomförts för att fastställa fakta och verktyg för att förutsäga teknisk status hos förisolerade fjärrvärmerör i drift. Undersökningen har gjorts med hjälp av en artificiell åldring av polyuretanolering (PUR) via accelererade termiska försök. Rörets status utvärderas genom att mäta mekanisk hållfasthet där skjuvhållfastheten mellan PUR och stålrör är avgörande. Effekten av diffusion av syre genom mantelröret av PE har också undersökts under åldringen med två olika tjocklekar av PE på mantelrören. Analysen har visat att förändringen i skjuvhållfasthet inte följde en typiskt Arrheniusekvation och att tjockleken av PE mantel inte hade någon signifikant effekt på åldringshastighet heller, vilket har lett till nya undersökningar. (Arrhenius ekvation används för att accelerera hastigheten för en kemisk reaktion med hjälp av ökning av temperatur utan att ändra reaktionens karaktär.)

Vattenfall har tagit fram livslängdskurvor utifrån aktuell skadestatistik i deras nät i Uppsala. Nedan följer två exempel på livslängdsbedömningar som Vattenfall har gjort för betongkulvertar respektive plastmantlade ledningar. I figurer 9 och 10 visas skadefrekvenskurvor med en anpassad och extrapolerad kurva som har erhållits i underhållsprogrammet IKOS. Extrapolering har gjorts då ledningarna som finns i nätet max har hunnit bli drygt 50 år i betongkulvertfallet och runt 40 år för plastmantlade ledningar (Sernhed, Jönsson och Olsson, 2015).





**Figur 9** Skadefrekvenskurvor för betongkulvert ( Vattenfall i Sernhed et al., 2015)



**Figur 10** Skadefrekvenskurvor för plastledning ( Vattenfall i Sernhed et al., 2015)

Enligt de extrapolerade kurvorna förväntas 100 % av betongkulvertledningarna vara slut efter 60 år, och ungefär 40 % av de plastmantlade ledningarna förväntas ha nått sin livslängd efter 100 år.

## 6 Nyckelparametrar som påverkar livslängden

I detta avsnitt beskrivs de nyckelparametrar som behövs för att bedöma en lednings status.

### 6.1 Dricksvatten

Skadefrekvens i vattenledningsnät påverkas av en mängd olika parametrar bl.a. rör material, storlek, ålder, tryck på ledningen, jordart och klimat. Många studier har utförts inom detta område för att undersöka betydelsen och påverkan från de parametrarna på skadefrekvensen (O'Day et al. 1986; Male et al., 1990; Rajani and Kleiner 2001). Det är viktigt att påpeka att det är svårt att avgöra den effekt som de parametrarna har på ett entydigt sätt. Detta beror till stor del på att parametrar i de flesta fall fungerar tillsammans och framkallar händelser som är beroende av varandra och orsakar driftstörningar på ledningsnätet (Rajani, 2002). Det har lett till att man använder statistiska analyser av historiska rörbrottsdata för att undersöka påverkan av olika parametrar på skadefrekvens för ledningar. På grund av det stora antalet studier som har gjorts hittills finns det svårigheter att sammanställa en fullständig litteraturstudie.

Detta avsnitt beskriver, från relevanta studier, parametrar som anses allmänt att ha en stor inverkan på skadefrekvensen av vattenledningar. I slutet (kapitel 6.1.4) finns en beskrivning av tre studier som har sammanställt de olika parametrarna ur olika synvinklar.

När det gäller plastledningar har de inte använts tillräckligt länge vilken gör det svårt att bedöma livslängden och identifiera viktiga faktorer som påverkar dem ut statiska analyser av rörbrott historisk data. Enligt Malm (2011) är de avgörande faktorer som påverkar livslängden i plastledningar materialegenskaper, belastningsnivå, temperatur och omgivande miljö. Påverkan av dessa faktorer ska också diskuteras närmare i följande kapitel.

#### 6.1.1 Parametrar som rör själva ledningarna

##### 6.1.1.1 Material

Uppgifterna på skadefrekvensen för olika rörmaterial som visades i tabell 2 (kap 5.1.1) pekar på att rörmaterialet har en stor betydelse för skadestatistiken. Olika ledningsmaterial går sönder på olika sätt (NRC, 2003). Kirmeyer et al. (2002) sammanfattade att faktorer som bidrar till höga skadefrekvenser är bl.a. rörmaterialet gråjärn, asbestcement, plast och stål. Dock ansåg Wengström (1993) att rörmaterial inte hade så stor påverkan. Naturligtvis har rörtjocklek och materialets kvalitet stor inverkan och också om ledningen är skyddad med exempelvis korrosionsskydd på metalliska rör och skydd mot repor på plaströr.

##### 6.1.1.2 Installationsår och ålder

Försämring av vattenledningar bli mer märkbara med tiden vilket betyder att skadefrekvensen ökar med rörs ålder, dock är ålder inte en avgörande faktor för skadefrekvens. Att äldre material har fler

skador per meter än nyare, innebär att dessa äldre ledningar byts ut mer frekvent än nyare, och enbart de med bäst förutsättningar är fortfarande i drift. Pascal och Revol (1994) fann att rörbrottsfrekvensen i gjutjärnsrör ökade med ålder. Däremot rapporterar O'Day (1982) att ålder enbart är en dålig indikator på rörbrottsfrekvens för gjutjärnsledningar. Ledningar har olika kvalitet beroende på under vilken period de tillverkades och hur utförande vid anläggningen genomförts vilket gör att ålder enbart kan användas som parameter tillsammans med andra parametrar som påverkar livslängden. Till exempel, under 1980-talet infördes förbättrade ytskydd av segjärnsledningar vilket gav förbättringar i rörens beständighet mot korrosion. Detaljerad information om historisk utveckling av olika rör material tillsammans med deras egenskaper, drifterfarenheter, och vanliga skador beskrivs i Malm et al. (2011). Ålder ger ändå information om hur lång tid som en ledning har varit i drift, utsätts för den omgivande miljön, och den tid den har varit föremål för både interna och externa laster.

Resultat från enkäten visar att data på rörs ålder finns tillgängliga till den största delen av ledningsnätet i form av elektroniska databaser.

### 6.1.1.3 Dimension

Många studier underströk det faktum att ledningar med mindre dimension drabbas av högre skadefrekvens (Andreou och Marks, 1986; Wengström, 1993). Malm et al. (2011) konstaterade också att det finns ett starkt samband mellan skadefrekvensen och dimension för data samlade i Göteborg under 1995-2009 och i Malmö under 1989-1994 (Malm et al., 2011). Eftersom ledningar med större diameter har ju större godstjocklek vilken i sin tur ger högre motstånd mot korrosion.

Stone et al. (2002) konstaterar att olika prognosmodeller och förnyelsestrategier använder parametern "diameter" på olika sätt. Till exempel anser en modell som kallas "Failnet: Analysis and Forecasting of Water Network Failures" diameter som en kvantitativ variabel medan CARE-W (programvara) anser att diameter är en kvalitativ parameter och använder följande dimensionsfördelning: mindre än 100/110 mm, mellan 100/110-300/315 och större än 300/315 mm, dock utan motivering till varför just dessa gränser valts. Dock har Male et al. (1990) visat att ledningar mindre än eller lika med 150 mm löper störst risk för driftstörning.

VA-verksamheterna känner oftast till dimensionerna för vattenledningar eftersom diameter är en grundläggande input för design av ledningsnätet.

## 6.1.2 Parametrar som rör ledningarnas omgivningsförhållanden

### 6.1.2.1 Jordtyp - jordkorrosivitet

Jordkorrosion är en av de viktigaste faktorerna kopplade till ledningars status. Jarvis och Hedges (1994) jämförde kartor för jordkorrosivitet med olika rörbrott fallen, kom fram till att kartan kan hjälpa mycket med att betona de områdena som löper större risk för rörbrott. I en studie av gjutjärnsledningar rapporterade Tsui and Judd (1991) att 30 % av ledningarna hade fallerat på grund av korrosion, och att majoriteten av skadorna skett i aggressiv jord.

Robinson beskrev förhållandet mellan miljöfaktorer och korrosivitet (C) karaktär av jord (Robinson 1993), där jordresistivitet anses den viktigaste faktorn för att bestämma korrosionen. Seiça et al. (2002) rapporterade att jordkorrosion främjas främst av närvaro av fukt, syre, redoxpotential, pH, jordresistivitet och mikrobiell aktivitet. De egenskaper som påverkar jordresistivitet är enligt Marlow et al. (2007) markresistivitet, pH, redoxpotential, sulfater, kloridinnehåll, fukthalt, jordens krymp/svällkapacitet, buffertkapacitet, LPR (korrosionshastighet), föroreningar och markpackning.

Det bör noteras att jordkorrosivitet inte är en direkt mätbar parameter och det finns inte heller en tydlig relation mellan jordkorrosion och jordens egenskaper. Ett antal empiriska metoder har föreslagits i litteraturen (Spickelmire, 2002; Sadiq et al., 2004) som överväger några eller alla av de ovan angivna parametrarna vid fastställandet av jordkorrosivitet och potentiell påverkan på rörstatus (Liu et al., 2010).

En ofta använd metod för att bestämma jordkorrosivitet för gråjärns- och segjärnsrör är 10-poängsmetoden (AWWA, 1999), som använder fem markegenskaper: (1) resistivitet; (2) pH-värde; (3) redoxpotential; (4) sulfidinnehåll; och (5) procent av finlera (klassificerade som jordart). Tiopoängsmetoden klassificerar jorden antingen som korrosiv (C) eller icke-korrosiv (NC).

#### 6.1.2.2 Belastningar på ledningen

Rajani och Kleiner (2001) konstaterade att rörens livslängd är beroende av inre laster som vattentryck i ledningar, och yttre laster som jordtryck, trafiklast och froströrelser. Richard och Nelson (2004) har i sin studie konstaterat att rörens försämring beror av närliggande arbeten, väder, markrörelser, att jorden runt röret inte håller röret längre och att materialet i rören degraderas. Francis (1994) menade att rörbrott orsakade av markrörelser påverkades av trafiklast medan Pascal and Revol (1994) kom fram till att det inte fanns något samband mellan rörbrott och trafiklast. I Sverige ligger rören normalt på ett sådant djup att trafiklasten normalt inte påverkar.

#### 6.1.2.3 Grundvattennivå

Grundvattennivån påverkar risken för korrosion. I områden nära grundvattenytan är syretillgången ojämn och rören riskerar att korrodera på metalliska rör.

#### 6.1.2.4 Temperatur

Keiner and Rajani (2001) uttrycker att det finns ett stort antal hänvisningar på tidigare observationer som visar påverkan av temperatur på skadefrekvens. Främst är det (spröda) gråjärnsledningar som påverkas (Rajani et al. 1996) och vanligaste skadan är av typen "röret av" det vill säga ett cirkulärt rörbrott tvärs röret.

Ahn et al. (2005) använder en neural networks-metod för att undersöka påverkan av mark- och vattentemperaturen på skadefrekvensen med användning av rörbrottdata som samlades under en ettårsperiod i Seoul. Resultat från undersökningen visar att totala antalet av driftstörningar ökat markant under en särskild begränsad period av året med köldvågen i januari 2001.

I Andersson et al. (2006) diskuteras påverkan av dricksvattnets temperatur på skadefrekvensen av ledningsnätet i Sverige och såg att när temperaturen närmade sig noll ökade antal rörbrott markant. Studien gjordes för alla rörmaterial men konstaterade att det var gråjärn som var allra känsligast för lägre vattentemperaturer. En liknande studie har genomförts i Göteborg, där varje material jämförts med både lufttemperatur och vattentemperatur. Resultatet visar att för gråjärnrör, är sambandet starkare mellan vattentemperatur och rörbrott än mellan lufttemperatur och rörbrott, och starkast samband med vattentemperaturen har rörbrott av typen cirkulärt tvärbrott (Milone, 2012).

### 6.1.3 Parametrar som rör drift

#### 6.1.3.1 Invändig korrosion

Invändig korrosion beror på pH, alkalinitet, typ och dos av desinfektion, typ av bakterier som finns i biofilmen, vattnets hastighet, vattenförbrukningsmönster, användning av korrosionshämmare, och många andra faktorer.

#### 6.1.3.2 Tryck i ledningar

Förändringar i invändigt vattentryck leder till förändringar i belastningar på röret. Andreou (1986) fann statistiskt tryck som en signifikant faktor vid modellering av rörbrott, men betydelsen av variabeln befanns vara låg. Lambert (1998) har rapporterat att höja trycket förmodligen är den viktigaste faktorn för röbrottsfrekvens. Speciellt i äldre system, kan en ökning av trycket med ett par meter vattenpelare resultera i ett stort antal rörbrott, i alla fall initialt.

Ulanicki et al. (2015) gjorde en analys på 78,000 rörbrott data för att undersöka sambandet mellan skadefrekvensen och variationer på tryck i vattenledningar. De fann några positiva samband mellan tryckvariationen i rörledningarna och graden av historiska rörbrott. I studien dras slutsatsen att ytterligare studier krävs för att undersöka effekterna av belastningar som följer av trycktransienta händelser i nätet och hur dessa kan ha på utvecklingen av röbrottsfrekvensen.

Enligt en studie gjord av Sundahl (1996) med uppgifter som insamlats av 5 kommuner (Malmö, Örebro, Eskilstuna, Västerås, Luleå) i Sverige, uppgav ingen av de svarande kommunerna att de har data om vattentryck i ledningar.

#### 6.1.3.3 Vattenkvalitet

Invändig korrosion på metalliska rör påverkas av dricksvattnets alkalinitet (hårdhet). Den viktigaste orsaken till invändig gropkorrosion är att luftningsceller bildas i samband med slamavsättningar i röret. De flesta groparna är fördelade längs botten på röret (Norvar, 1998).

#### 6.1.3.4 Utläckage

Utläckage av dricksvatten från vattenledningsnätet är en parameter som säger en del om ledningars status. För att säga något om enskilda ledningars status måste man mäta lokalt. När ett utläckage upptäcks, antingen genom att det kommer upp till ytan eller att VA-verksamheten upptäckt det genom läckagesökning lagas utläckaget och registreras då som en driftstörning, en läcka. Idag används inte

parametern utläckage för att göra prognosmodeller, mer än indirekt då ett funnet utläckage blir en läcka, som beskrivs närmare i 6.1.3.5.

### 6.1.3.5 Antalet av tidigare driftstörningar

Antalet tidigare driftstörningar påverkar risken för framtida driftstörningar. Sægrov (2005) konstaterar att antalet tidigare driftstörningar är den entydigt största faktorn för uppkomsten av ytterligare driftstörningar på vattenledningsnätet. Sambandet mellan antalet tidigare driftstörningar och risken för nya driftstörningar har också noterats av Wengström (1993) och i flera andra studier (t.ex. Rostum, 2000; Andreou et al., 1997).

Wengström (1993) undersökte 103 driftstörningar på segjärnsledningar i Göteborg under 1977-1987 där det visade sig att korrosion var den dominerande orsaken till skador med minst 54 fall, följt av rörbrott, 18 fall, och skarv- och materialfel 17 fall.

### 6.1.4 Exempel på tre studier som klassar påverkande parametrar ur olika synvinklar

Kleiner och Rajani (2002) grupperade de viktigaste parametrarna under följande rubriker:

- Statiska parametrar: De är konstanta med tiden på grund av rörs egenskaper. De omfattar material, diameter, godstjocklekhet, installationsmetod och jordartsegenskaper
- Dynamiska parametrar: Är de som omger ledningen och beror oftast på miljö. Jordart (statisk) är ett undantag men de flesta relaterade jordfaktorer som temperatur (både dricksvattentemperatur och jordens temperatur), jordens vatteninnehåll (fukthalt), jordresistiviteten (elektrisk ledningsförmåga) ledningsbäddens kondition och dynamisk belastning faller under denna rubrik.
- Driftrelaterade parametrar: De inbegriper förnyelsetakt, katodiskt skydd och vattentryck i ledningar.

Wengström (1993) kategoriserar parametrarna efter hur viktiga de är när det gäller driftstörningar i gråjärnledningar. Enligt Wengström, är rörbrottstyper, rörtryck, plats och rörbrottshistorik (antalet av tidigare störningar) de parametrarna som är mycket viktiga och har stor betydelse. Sen kommer ålder och byggår som anser att vara av viss betydelse och till sist är yttre belastningar och rör materialet som hon redovisar som parametrarna av mindre betydelse.

En "Best practice" för inspektion av vattendistributionssystem (NRC, 2003) sammanfattar de fysiska, miljö och driftmässiga parametrarna enligt tabellen i figur 11.

Factor		Explanation
Physical	Pipe material	Pipes made from different materials fail in different ways.
	Pipe wall thickness	Corrosion will penetrate thinner walled pipe more quickly.
	Pipe age	Effects of pipe degradation become more apparent over time.
	Pipe vintage	Pipes made at a particular time and place may be more vulnerable to failure.
	Pipe diameter	Small diameter pipes are more susceptible to beam failure.
	Type of joints	Some types of joints have experienced premature failure (e.g., leadite joints).
	Thrust restraint	Inadequate restraint can increase longitudinal stresses.
	Pipe lining and coating	Lined and coated pipes are less susceptible to corrosion.
	Dissimilar metals	Dissimilar metals are susceptible to galvanic corrosion.
	Pipe installation	Poor installation practices can damage pipes, making them vulnerable to failure.
	Pipe manufacture	Defects in pipe walls produced by manufacturing errors can make pipes vulnerable to failure. This problem is most common in older pit cast pipes.
Environmental	Pipe bedding	Improper bedding may result in premature pipe failure.
	Trench backfill	Some backfill materials are corrosive or frost susceptible.
	Soil type	Some soils are corrosive; some soils experience significant volume changes in response to moisture changes, resulting in changes to pipe loading. Presence of hydrocarbons and solvents in soil may result in some pipe deterioration.
	Groundwater	Some groundwater is aggressive toward certain pipe materials.
	Climate	Climate influences frost penetration and soil moisture. Permafrost must be considered in the north.
	Pipe location	Migration of road salt into soil can increase the rate of corrosion.
	Disturbances	Underground disturbances in the immediate vicinity of an existing pipe can lead to actual damage or changes in the support and loading structure on the pipe.
	Stray electrical currents	Stray currents cause electrolytic corrosion.
Operational	Seismic activity	Seismic activity can increase stresses on pipe and cause pressure surges.
	Internal water pressure, transient pressure	Changes to internal water pressure will change stresses acting on the pipe.
	Leakage	Leakage erodes pipe bedding and increases soil moisture in the pipe zone.
	Water quality	Some water is aggressive, promoting corrosion
	Flow velocity	Rate of internal corrosion is greater in unlined dead-ended mains.
	Backflow potential	Cross connections with systems that do not contain potable water can contaminate water distribution system.
O&M practices	Poor practices can compromise structural integrity and water quality.	

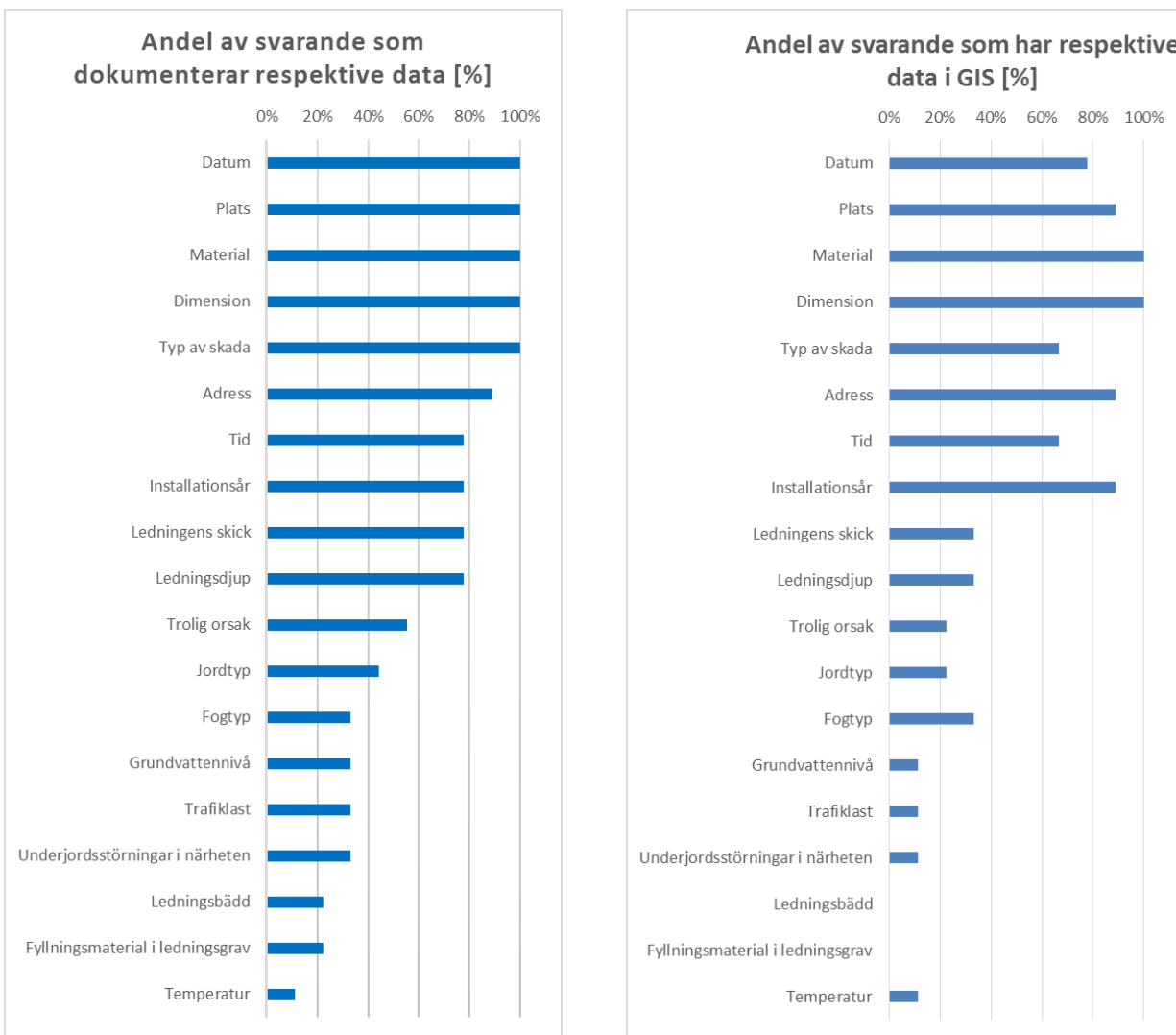
Figur 11 Faktorer som påverkar rörens livslängd (NRC, 2003)

### 6.1.5 Krav och tillgänglighet för data

När man utvecklar en statusbedömningstjänst för ledningsnät, är det viktigt att ta reda på vilka typ av data är tillgängliga och på vilket form för att kunna avslöja de nuvarande uppgiftsluckorna. Befintliga data kan vara tillgängliga men inte i en användbar form. Det är ganska uppenbart att den mest önskade typen data är mycket beroende på vilken modell-typ man ska utveckla, eftersom man vill utveckla en modell som förutsäger eventuella driftstörningar.

I denna litteraturstudie genomfördes ett frågeformulär för att utvärdera tillståndet för data insamling strategier och tillgången till uppgifter om ledningsnätet hos Sverige VA-bolag. Enkäten skickades ut till 19 VA-verksamheter. Totalt besvarade 9 VA-verksamheter frågorna som ordnade i tre kategorier av dokumentering, tillgängligheten och form av data (fält eller GIS).

Nedan visas en översiktlig redovisning av svarsdata från enkäten, figur 12. Även om antalet av svarande är tämligen få kan man dra slutsatser på VA-verksamheters förfaranden med insamling av data i allmänhet. Resultat på tillgängligheten av data redovisas även i löpande text och under den tillhörande parametern. Resultatet från undersökningen påvisar att allmän information på driftstörningar bl.a. datum, tid och plats dokumenteras vid majoritet av svarar.



**Figur 12** A: Dataandel som dokumenteras i 9 VA-verksamheter. B: Har uppgifter i GIS.

De flesta av de som svarat, som framgår av figur 12, samlar inte in uppgifter om markförhållande och trafiklast. Endast omkring 22 % dokumenterar data om fyllningsmaterial och ledningsbädd och bara 44 % om jordtyp. Svaren på enkäten visar också att det finns få uppgifter om miljödata som inkluderar information såsom temperatur (med temperatur menas luft/vattentemperatur under drift).



På frågan om VA-verksamheten har en strukturerad planering svarade sex av åtta VA- att de har en strukturerad planering.

Tre av de åtta VA-verksamheterna som svarat om de fotograferar skadan gör detta, en VA-verksamhet gör det inte och övriga fyra gör det ibland.

Stone et al. (2002) har klassificerat uppgifter som krävs för nio europeiska metoder och modeller för förnyelsestrategier på grundval av en översyn av modelltillverkarnas information samt en studie av Eisenbeis et al. (2000). Uppgifterna klassificerades som nödvändiga parametrar, mycket betydande och användbara parametrar, se tabell 5. Modellerna de gick igenom är utformade för att stödja utvecklingen av förnyelsestrategier: AQUA-WertMin 4.0 (Tyskland), AssetMap (Frankrike), EPAREL/EPANET (Norge och USA), Failnet (Frankrike), Gemini VA (Norge) KANEW T (Tyskland och USA) KureCad (Tyskland), UtilNets (olika EU-länder). Modellerna är också testade på ledningsnät, till exempel testades Failnet på fyra olika ledningsnät (två kommunala och två områden på landsbygden). För Failnet, berodde parametrarnas betydelse på dels tillgänglighet samt dels inverkan på skadefrekvens.

**Tabell 5** Parametrar som antingen krävs eller är användbara för respektive modell (Stone et al., 2002)

Data Description	AQUA- WertMin	AssetMap	Failnet	Gemini	KANEW	KureCAD	EPANET/ EPAREL	UtilNets	Summary
Pipe material	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pipe age	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pipe length	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Number breaks/bursts	x	x	x	x	x	x	x	·	x
Pipe diameter	x	·	·	·	·	x	x	x	x
Soil data (type varies)	·	·	·	·	·	·	x	x	·
Traffic data (type varies)	·	·	·	x	·	·	·	x	·
Pipe location (type varies)	·	·	·	x	·	x	·	·	·
Water pressure	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Failure/defect type	·	·	·	x	·	·	·	·	·
Pipe condition	x	·	·	x	·	·	·	·	·
Type of corrective action	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Type of joints	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Leakage rates	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Date pipe repaired	x	·	·	·	·	·	·	·	·
Date pipe video inspected	x	·	·	·	·	·	·	·	·
Economic data	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Rehabilitation cost	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Utility locations	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Tree locations	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Elevation contours	·	·	·	·	·	·	·	·	·

Notes: x required data (according to previous studies or product literature)  
 ·· highly significant data (according to previous studies or product literature)  
 · useful data (according to previous studies or product literature)

För alla modeller (förutom för modellen KANEW) i tabell 6 behöver de fyra parametrar rörålder, rörlängd, rörmaterial och historisk data på driftstörningar vara kända. Dessa är de grundläggande parametrar som är nödvändiga för att upprätta en databas för ledningsnätet och driftstörningar. Rördiametern kan också ingå som en parameter men är inte absolut nödvändiga för alla modeller.

I en nyligen genomförd studie har Kabir et al. (2015) sammanställt parametrar som bidrar till driftstörningar och används i olika studier. Av tabell 6 framgår att diameter, ålder, material, jordkorrosivitet är det som påverkar mest. Det som saknas i tabellen (beroende på sammanställningens utformning) är parametern "tidigare driftstörningar" som påverkar mycket men som i sin tur bör vara en konsekvens av de parametrar som påverkar mest.

**Tabell 6** Parametrar som används i olika studier och bidrar till driftstörningar baserat på Kabir et al. (2015)

	Diameter	Ålder	Material	Längd	Gods- tjocklek	Jord- korrosivitet	Trafik/jordlast	Tryck
O'Day (1982)	√		√			√		
Kettler and Goulter (1985)	√	√	√					
Christodoulou et al. (2003)	√	√	√	√		√	√	
Jafar et al. (2003)	√	√	√	√	√	√	√	√

Al-Barqawi and Zayed (2006)	✓	✓	✓			✓	✓	✓
Kleiner et al. (2006)		✓	✓			✓		
Rogers and Grigg (2006)	✓	✓	✓			✓		✓
Francisque et al. (2009)	✓	✓	✓					
Fares and Zayed (2010)	✓	✓	✓			✓	✓	
Jafar et al. (2010)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Singh (2011)	✓	✓	✓			✓		
Asnaashari et al. (2009)	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓

Tillgången till rörbrottshistorisk data är avgörande för utvecklingen av statusbedömningsstrategier (Deb et al., 2002). Flera studier har fastställt behovet av standardiserade driftstörningar databas (Grigg, 2004; O'Day et al., 1986). En rekommendation till de viktigaste parametrarna att registrera vid driftstörningar återfinns i kapitel 7.

Figur 13 sammanfattar potentiella informationskällor för olika parametrar som har presenteras i Wood and Lence (2006).

**TABLE 4** Suggested sources and approaches for collecting physical data on water main breaks

Physical Data	Suggested Sources
Pipe diameter	In the field during break repairs and available from as-builts
Depth of cover	In the field during break repairs and available from as-builts
Pipe material	In the field during break repairs, available from as-builts and analyzed off-site (e.g., in a laboratory) for determining the different types of cast iron pipes
Condition of bedding	In the field during break repairs or obtained with extra field work
Category of native soil	In the field during break repairs but is better analyzed in a laboratory
Condition of unlined pipe interior	In the field during break repairs but is better analyzed in a laboratory
Condition of pipe exterior	In the field during break repairs but is better analyzed in a laboratory
Type of water service	In the field during break repairs or from other sources of information (e.g., land use plans)
Surface material	In the field during break repairs or from other sources of information (e.g., models)
Surface use (under boulevard or roadway)	In the field during break repairs or from other sources of information (e.g., models)
Traffic classification or type of road usage	In the field during break repairs or from other sources of information (e.g., transportation plan, traffic models)
Length of pipe segment containing the repair	In the field during break repairs or obtained with additional field work or from as-builts or geographic information systems
Bedding material	In the field during break repairs, may be available from as-builts and other sources and/or bundled with information gained from additional field work
Pipe protection (wrapped/anodes)	In the field during break repairs, may be available from as-builts and other sources and/or bundled with information gained from additional field work
Type of joint	In the field (bundled with information gained from additional field work or from other sources of information such as archives or construction inspection records)
Year of installation	From as-builts or other archival records such as construction inspection reports
Backfill material	From as-builts or other archival records such as construction inspection reports
Typical flow in area of break	Technical tools (e.g., models)
Normal operating pressure	Technical tools (e.g., models)
Condition of cement-lined pipe interior	From as-builts and better analyzed in a laboratory for current condition
Pipe modulus of rupture	From as-builts and better analyzed in a laboratory for current condition
Type of pipe lining	From as-builts and better analyzed in a laboratory for current condition
Pipe wall thickness/classification	From as-builts and better analyzed in a laboratory for current condition
Pipe fracture toughness	From as-builts and better analyzed in a laboratory for current condition

**Figur 13** Potentiella informationskällor för olika parametrar som (Wood och Lence 2006).

## 6.2 Fjärrvärme

Livslängden för en fjärrvärmeledning påverkas av hela kedjan från tillverkning och förläggning till hur ledningen används och driftas och i vilken miljö som ledningen ligger i. Detta framgår till exempel i rapporten "Underhåll för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar" (Andersson, et al., 1999). Följande faktorer togs upp i rapporten:

- Planering, projektering, konstruktion and installation
- Val av material för ledningar och skarvar
- Installation med kvalitetskontroller
- Drift av ledningen med temperaturer, nivå och variation/cykling av temperatur
- Underhåll och övervakning
- Omgivande miljö, trafiklast, mark, sättningar, markyta, jordart och grundvattennivå
- Invändig miljö, vattenkemi, smuts/sediment, stillastående vatten.
- Åverkan vid arbeten intill eller vid ledning, exempelvis pågrävning eller borrhning för stolpar.
- Oförsiktig schaktning intill befintliga ledningar som påverkar eller förändrar krafter och rörelser i ledningssystemet.

I nedanstående text görs en genomgång av olika parametrar som kan påverka livslängden och skadefrekvensen på fjärrvärmeledningar utifrån hela kedjan i ledningarnas livstid:

- Själva ledningen (såsom konstruktion, fabrikat, dimension och ålder)
- Omgivningsförhållanden (såsom förläggning av ledningen, beredning av ledningsbädd och vilket fyllnadsmaterial man har valt i ledningsgraven, jordtyp, laster ovan ledning, grundvattennivå och liknande)
- Driftparametrar (såsom vattenkvalitet, påverkan av temperaturer, tryckstötter, larm och skadestatistik)

Resultat kring parametrar är hämtade från forskningsrapporter och artiklar, samt från en erfarenhetsåterföring som har gjorts inom ramen för denna litteraturstudie i form av en enkätundersökning som har besvarats av 18 svenska fjärrvärmeföretag som har olika storlek och ålder på sina fjärrvärmenät.

Fjärrvärmebolagen kan rapportera in sina skador till branschföreningen Svensk Fjärrvärmes inrapporteringssystem "Skadenyckeln", se bilaga 1. Inrapporteringen av skador har skett manuellt.

## 6.2.1 Parametrar som rör själva ledningarna

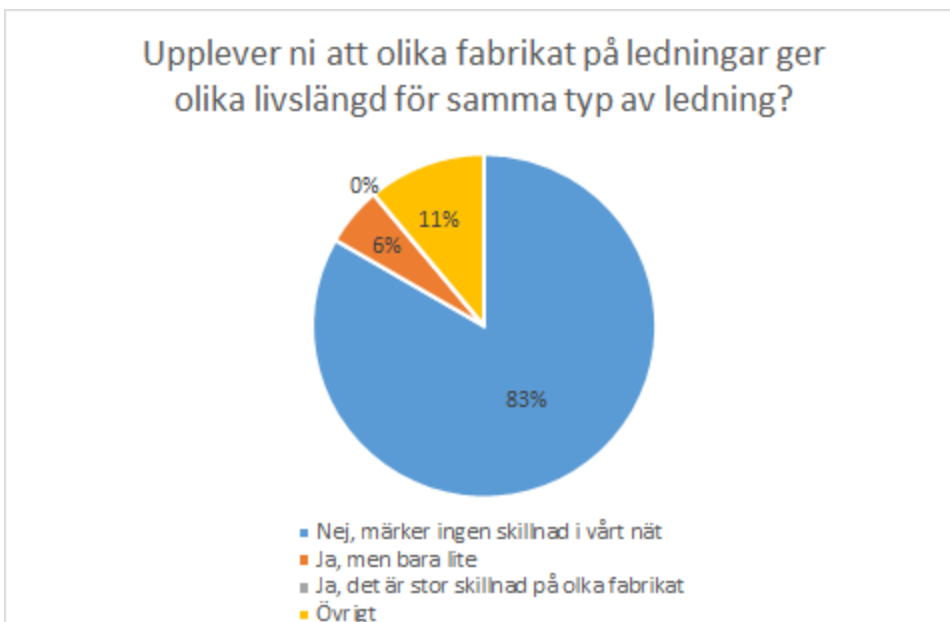
### 6.2.1.1 Material, konstruktion och fabrikat

Som redovisats ovan har lednings- och förläggningsteknik för fjärrvärmerör förändrats över tid och det finns en stor variation av ledningar av olika ålder och konstruktion i svenska fjärrvärmenät idag. Även om vissa fjärrvärmenät i Sverige först nu börjar komma upp i ålder och det därför inte finns så mycket data kring verklig livslängd för olika typer av fjärrvärmeledningar, har uppskattningar gjorts av förväntad livslängd. I "Underhållshandboken för fjärrvärmedistribution" anges skattade livslängder för fem olika ledningskategorier, se tabell 7.

**Tabell 7** Skattad livslängd för olika typer av fjärrvärmeledningar (Svensk Fjärrvärme, 2015)

<b>Typ av ledning</b>	<b>Typisk teknisk livslängd år</b>
Inomhusledningar (medierör av stål, isolering av olika material)	80-100
ACE (ytttermantel av asbestcement, medierör av stål)	40-60
BTG (betongkulvert med låda av betong, medierör av stål, isolering vanligen mineralull)	50-70
PEH (medierör av stål, ytttermantel av polyeten)	80-100
Flexibla ledningar (medierör av stål och koppar)	30-60

I enkäten ställdes frågan: Upplever ni att olika fabrikat på ledningar ger olika livslängd för samma typ av ledning? Svaresresultatet visas i Figur 14. Kommentarer till enkäten återfinns i bilaga 2.



**Figur 14** Enkät svar kring syn på om olika fabrikat har olika livslängd.

Utifrån svar och kommentarer förefaller det därför upplevas finnas liten skillnad mellan fabrik för nyare plastmantlade fjärrvärmeledningar, medan det för äldre konstruktioner skiljer sig betydligt mer (vilket inte är så konstigt med tanke på att det inte fanns några standardprodukter för äldre fjärrvärmerör). Den springande punkten för nyare ledningar är enligt enkäten inte fabrikat utan utformning av muffar och svetsarbete. Liknande svar framkom vid frågan: Finns det några andra parametrar när det gäller själva ledningarna som ni tycker påverkar ledningarnas livslängd? Vilken/vilka? (t.ex dränering, fogtyp mm). Svaren på denna fråga var att det är muffar och montage som påverkar ledningarnas livslängd vilket är i linje med statistiska uppgifter (bl a i Asp 1986).

### 6.2.1.2 Ålder

Enligt Andersson et al. 1999 och Asp et al. 1986 ökar skadefrekvensen med ålder, vilket innebär att åldern har betydelse. Att äldre material har fler skador per meter än nyare, innebär att dessa äldre ledningar byts ut mer frekvent än nyare, och enbart de med bäst förutsättningar är fortfarande i drift.

I enkätundersökningen ställdes frågan hur viktig parametern ålder är för skadefrekvens och livslängden på ledningar. I Figur 15 redovisas bolagens svar.



**Figur 15** Enkät svar kring hur viktig ledningens ålder värderas vara för ledningens skick.

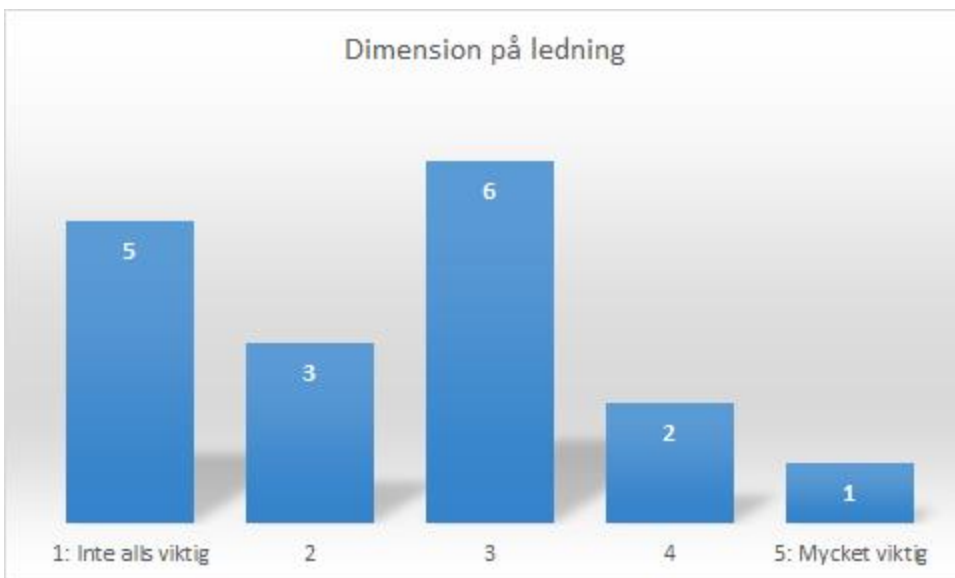
Ålder värderas relativt högt av de bolag som har svarat på enkäten, men samtidigt görs det klart i kommentarerna till frågan att ålder i sig inte är en avgörande parameter utan förläggning, drift, skötsel och omgivningsförhållanden påverkar naturligtvis åldrandet. Vidare kan ålder, eller snarare byggår representera en viss ledningsteknik eller vilka material som väljs att bygga fjärrvärmeledningar med. Framför allt är det muffar som anses problematiska men i kommentarer framgår att dess kvalitet förbättrats med tiden.

Svaren visar med tydlighet att för att parametern ålder ska kunna användas för att prediktera livslängd måste även ledningstypen vara känd och teorier/underlag finnas för hur materialet i den specifika ledningstypen åldras.

### 6.2.1.3 Dimension

Mindre dimensioner har något högre skadefrekvens än större visar Åkeström (2004) och hänvisar även till tidigare studier med liknande resultat. I Åkeström (2004) visar data för Göteborg att för både betongkulvertar, asbestcement och fasta direktskummade plastmantelrör är skadefrekvensen för rör <80 mm ungefär dubbelt så hög som för rör >200 mm.

I enkäten ställdes frågan: Hur påverkar dimensionen på ledningar skadefrekvensen i ert nät? Är detta olika för olika ledningstyper? Svarsresultatet visas i Figur 16.



**Figur 16** Enkät svar kring dimensionens påverkan på ledningarnas livslängd.

Som Figur 16 visar ansågs inte dimensionen på ledningar i sig påverka skadefrekvensen. De som har värderat denna parameter högt har snarare kopplat dimensionens vikt för konsekvens vid skada och på detta sätt är ju detta en viktig parameter vid riskklassning. Bland dem som har värderat parametern dimension som mindre viktig för skadefrekvensen kommenteras att man antingen har för lite underlag för att kunna göra en bedömning av detta, eller att man inte ser någon koppling mellan dimension och skadefrekvens.

## 6.2.2 Parametrar som rör ledningarnas omgivningsförhållanden och installation

### 6.2.2.1 Förläggning av ledningar

Vid förläggning av fjärrvärmerör ingår ett antal olika (arbetsmoment): Markarbeten schaktning, Rörläggning, Svetsarbeten, Röntgen, Uppfyllning/provtryckning, Förvärmning, Skarvontage, Återfyllning, Återställning av markskikt (EON, 2016).

En markförlagd ledning utsätts för spänningar som uppstår vid en temperaturförändring. Den största spänningen som kan uppstå i ett rör till följd av temperaturförändringar är vid drifttagning. Vintertid är framledningstemperaturerna oftast högre och vid drifttagning vintertid kan stora temperaturskillnader uppstå, i värsta fall kan sträckgränsen för stålet överskridas. För att minska de axiella spänningar som uppstår vid driftsättning kan ledningen förvärmas. Detta förläggningssätt rekommenderas framförallt för större rör. Det finns en påtaglig sprödbrottsrisk hos mantel av PE redan vid temperaturer några grader under noll. Vid ett flertal tillfällen har Rapid Crack Propagation (RCP) inträffat i mantelröret för stora dimensioner av fjärrvärmerör. Det här är ett snabbt sprickförlopp där sprickan drivs fram av



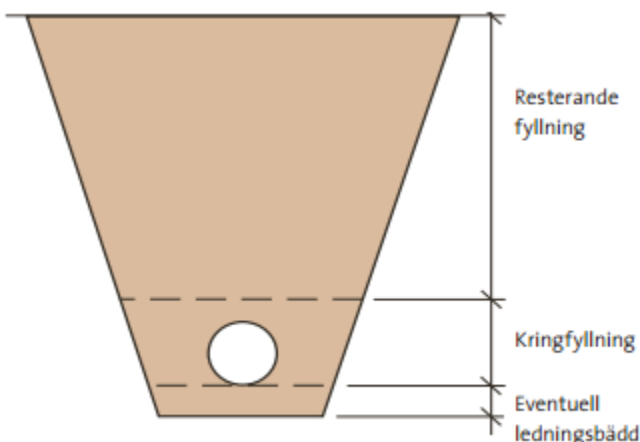
ringdragspänningar i PE-manteln. Dels blir mantelrörsmaterialet sprödare när det kyls ned, och dels gör temperatursänkningen att ringdragspänningar byggs in i manteln då det förhindras att dra ihop sig av stålrör och PUR-skum. RCP-sprickor i har dokumenterats vid låga temperaturer kring  $-18\text{ °C}$  men sannolikt har fenomenet inträffat i enstaka fall redan vid några grader under noll (Nilsson et al. 2005).

### 6.2.2.2 Beredning och återfyllning av ledningsgrav

Ledningsgraven är det dike där man lägger ned fjärrvärmerören. När ledningsgraven återfylls skiljer man på tre olika zoner där det ställs olika krav på det material som används. Om det är viktigt att ledningen ligger exakt rätt i höjd, anläggs en ledningsbädd med packningsbart och dränerande material (SGU, u.å).

I området runt själva ledningen sker en kringfyllning med ett material som ska skydda mot skador från det resterade fyllningsmaterialet. Dess uppgift är att skydda ledningen från mekanisk påverkan och att fördela lasterna i rörgraven. Kring fjärrvärmerören läggs till exempel stenmjöl, 0–4 mm [eller samkross], som inte skaver sönder isoleringen runt rören (SGU, u.å).

I Figur 17 visas en schematisk bild över de tre olika zonerna i ledningsgraven:



**Figur 17** Ledningsgrav med tre olika zoner för återfyllning (SGU u.å.).

Speciella krav gäller för dräneringsledningar som ska leda bort vatten ur marken, i dessa fall ska kringfyllningen och ledningsbädden också vara dränerande. I Svensk Fjärrvärme (2015) tekniska bestämmelse "Läggingsanvisningar för fjärrvärme- och fjärrkylledningar" står att dränering under ledning ska utföras där det på grund av markförhållanden och grundvattennivå är nödvändigt. Dess funktion är dels att hålla schakten fri från vatten under byggtiden och dels att minska värmeöverföring till omgivande fyllning. Vidare står det i läggingsanvisningarna att ledningsbädden bör utföras med ett packningsbart och dränerande friktionsmaterial, samt att största kornstorlek ska anpassas till ledningens hållfasthet i ytermanteln. Ledningsbädden ska packas före rörläggning. Det är viktigt att de

delar av ledningsbädden som ligger under ledningsdelar som inte är markfixerade inte består av material som är skarpkantigt.

I enkäten ställdes frågan: Hur viktigt är sättet som ledningen förbereds för ledningens livslängd? Svaren på frågan ges i Figur 18.



**Figur 18** Värdering av vikt av förberedande av ledningsbädd.

De flesta bolagen som har svarat på enkäten tycker att ledningsbäddens beredning har stor vikt för ledningens livslängd. Kommentarer från dem som har värderat denna parameter högt har pekat på förhållanden som är viktiga att tänka på och som också tas upp i Svensk Fjärrvärmes lägningsanvisningar.

I enkäten ställdes frågan: Hur viktigt är fyllnadsmaterial i ledningsgraven för fjärrvärmeledningens livslängd. Svaren ses i Figur 19.



**Figur 19** Värdering av fyllnadsmaterialets vikt för fjärrvärmeledningens livslängd.

Flertalet av fjärrvärmebolagen som svarade på frågan ansåg att fyllnadsmaterialet var av relativt stor vikt för fjärrvärmeledningens livslängd. I kommentarerna tog i stort sett alla respondenter upp att det är viktigt att se till att inga vassa stenar eller föremål hamnar intill plastmanteln på fjärrvärmeledningen som då kan skavas sönder.

### 6.2.2.3 Jordtyp

Jordtypen som fjärrvärmeledningar ligger i kan påverka fjärrvärmeledningen på olika sätt, dels har olika jordtyper olika genomsläpplighet för vatten och dels är olika jordtyper olika sättningsevenliga vilket påverkar framförallt stela konstruktionstyper av fjärrvärmeledningar som betongkulvertar. Dels kan omlämpliga fyllnadsmassor påverka ledningens ytterhölje.

Betongkulvertar är stela i förhållande till omgivande mark, vilket gör att de inte tål dynamiska laster särskilt bra och är känsliga för sättningar i marken. Vid sättningar kan skarvar öppna sig och sprickor uppstå genom att draghållfastheten i betong och lättbetong överskrids. Sättningskadorna öppnar upp för inträngande grund- och sjunkvatten om det yttre höljet blir skadat, men kan även ge skador på medieröret (Sernhed et. al, 2012). I Anderson et.al. (1999) redovisas att skadefrekvensen för samtliga kulverttyper är större i lera än i andra jordarter i skadestatistik från Uppsala och Västerås, vilket man förklarar med att sättningsevenheten i lera är större. Vidare konstaterar författarna att fjärrvärmerör i lerområden eller i gränsområden mellan lera och fast mark, oavsett rörtyper, hade högre skadefrekvens än rör i områden med andra geotekniska förhållanden. Den ökade skadefrekvensen i lera anser författarna kunna bero på att sättningsevenheten är större i lera än i fastare jordarter, samt att risken för dränkning av ledningar vid bristfällig dränering är störst i lera. Detta förhållande ser man också i intervjuerna där Göteborg har betydligt större problem med sättningar än Malmö, Helsingborg och Lund. Framförallt är det i övergången mellan lera och berg som problemen med sättningar uppstår. Det bekräftar resultat från Göteborg av Asp et al. (1986) som konstaterar en

flerdubbelt högre skadefrekvens i områden där marken byter material, som övergång mellan lera och fast mark, dock är dataunderlaget relativt litet i den studien.

I enkätstudien ställdes frågan: Hur viktig är jordtypen som ledningen ligger i för ledningens livslängd? Svaresresultatet visas i figur 20.



**Figur 20** Värdering av jordtypens vikt för ledningens livslängd.

De flesta som svarade hade inte upplevt några problem med jordtyp eller fyllnadsmaterial, vilket kanske kan förklaras med att mycket liten andel av fjärrvärmenätet består av betongkulvertar. Några kommentarer framkom dock, främst kopplat till skarvar.

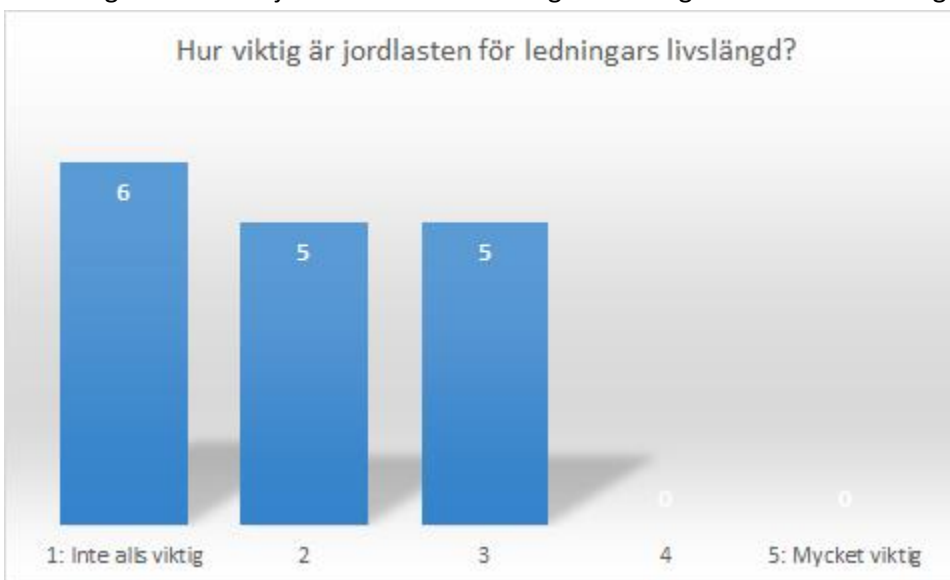
#### 6.2.2.4 Laster ovan ledning

Genom att fjärrvärmeledningar är nedgrävda i mark utsätts de för laster ovan ledningen, dels i form av jordlasten, men framförallt av trafiklasten i gator ovan ledningar. Det är framförallt äldre stela kulvertkonstruktioner som kan påverkas negativt av trafiklasten. Ett problem som kan uppstå är då trafiklasten ovan betongkulverten har ökat betydande med tiden och där dimensionering av armering i betonglåda och lock har gjorts utifrån beräkningar av de lastförhållanden som gällde då kulverten förlades. För ACE och cellbetong har man kunnat notera högre skadefrekvens i gator med tung trafik än i ofrafikerade gator eller gator med lätt trafik (Andersson et.al., 1999).

Fjärrvärmeledningar förläggs normalt med en täckning på 600 mm ovanpå rörens hjässa (enligt Svensk Fjärrvärmes lägningsanvisningar). I en undersökning av Nilsson et al. (2006) kom man fram till att i de flesta kommuner följde man Svensk Fjärrvärmes lägningsanvisningar. Endast i de större kommunerna fanns specifika krav på lägningsdjup i gatumark, medan man i vissa mindre kommuner överlät åt energibolagen att sköta frågan. I några kommuner fanns överenskommelser att under vissa förutsättningar tillåta grundare förläggning. Exempel på sådana kommuner var Göteborg, Jönköping

och Luleå. I Studien gjordes även en analys av kostnaderna som är förknippade med markarbeten. Denna analys visade att kostnaderna kunde minskas med närmare 30 % genom att minska täckningen ovanpå rören från 600 mm till 350 mm. För att se hur rör vid grundare förläggning påverkas av trafiklaster genomfördes ett fältförsök där fyra fjärrvärmerör av typ DN 2\*32/160 förlades på 600, 380, 280 och 180 mm djup i en asfalterad gata som var tungt och intensivt trafikerad. Återschaktning och asfaltering utfördes som för en typisk villagata i enlighet med Svensk Fjärrvärmes lägningsanvisningar. Under försökets gång gjordes mätningar av rörens deformation, spårbildning i asfaltytan samt gatans bärighetsegenskaper. Resultaten från detta fältförsök visade att rörens deformation var försumbar – oavsett vilket djup de hade förlagts på. Dessa resultat tolkades som att fyllningen, om den är väl packad, tar upp huvuddelen av krafterna från trafikbelastningen genom valvverkan. Djupare fyllning gav dock större sättningar vilket kunde ses i spårbildningen i gatan. Vidare konstaterades att en grundare förläggning medförde något ökade värmeförluster, något större temperaturrelser i systemet och en ökad risk för knäckning av ledningen uppåt genom överfyllnaden. Slutsatsen som drogs i studien var att det tekniskt sett går att lägga fjärrvärmeledningar grundare i villagator om packningen av kringfyllningen utförs på ett bra sätt och man i övrigt följer de regelverk som finns.

I enkätstudien ställdes frågorna: Hur viktig anser du att jordlasten är för ledningars livslängd respektive Hur viktig anser du att jordlasten är för ledningars livslängd. Svaren kan ses i figur X och figur X.



**Figur 21** Värdering av jordlastens vikt för ledningars livslängd.

Som framgår av diagrammet så var detta en variabel som inte ansågs ha någon stor påverkan på ledningars livslängd.



**Figur 22** Värdering av trafiklasters påverkan på livslängden på fjärrvärmeledningar.

Utifrån svaren framkommer att betongkulvertledning ses som den känsligaste typen av ledning för just trafiklast, vilket överensstämmer bra med det som framkommer i litteraturen. Även brunnslock (betäckningar, däcklar) är utsatta för högt slitage på grund av trafik. Stela konstruktioner som betongkulvertar har svårare att ta upp laster än nyare mer följsamma konstruktioner.

#### 6.2.2.5 Grundvattennivå

I jordarter med liten vatten genomsläpplighet kommer ledningsgraven periodvis att fyllas med grundvatten i samband med kraftiga regn eller snösmältning. Då är dräneringen viktig. Enligt Asp et al. (1986) är risken störst för grundvattenpåverkan i lera med stor eller ojämn mäktighet, organiska jordar, siltjordar och siltig lerig morän. Högst risk för att vatten blir stående har enligt Andersson et al. (1999) betong- och asbestcementkulvertar.

I enkäten ställdes frågan: Hur påverkar grundvattennivån livslängden på era ledningar? Påverkas olika typer av ledningar olika när de blir dränkta? Hur? Utifrån de svar som inkom poängteras att kvaliteten på muffarna är den viktigaste faktorn som avgör hur väl ledningen står emot vatten i dess direkta omgivning. För betongkulvertar är i stället är tätskiktet avgörande.

### 6.2.3 Parametrar som rör drift

#### 6.2.3.1 Vattenkvalitet

Metalledningar i fjärrvärmenät är tillverkade av vanligt kolstål som i obehandlad form korroderar på grund av syrehaltigt vatten. Korrosion på insidan av ställedningar förhindras genom eliminering av syre i vattnet på termisk eller kemisk väg. Kemisk eliminering av syre sker med hjälp av så kallade syrebindande medel. Korrosion kan även förhindras genom att i vattencirkulationen tillsätta kemikalier, inhibitorer, som har bromsande eller hämmande inverkan på korrosionsreaktioner. Genom

avhårdning minskas vattnets hårdhetsgrad vilket göra att kalkavlagringar i fjärrvärmeanläggningar och rörledningar kan förhindras (Heikkilä och Kauppinen 1991 i Kounisto och Carpén, 1999).

Fjärrvärmevattnets kvalitet är viktig för rörens och anläggningarnas livslängd. En god kvalitet på fjärrvärmevattnet minskar risken för invändig korrosion på medierör och komponenter av stål. I Värmeforskrapporten "Riskvärden för vatten och ånga anpassade till svenska energianläggningar" ges rekommendationer för vattenkvaliteten i hetvatten- och fjärrvärmesystem. Rekommendationerna underlättar för fjärrvärmeverksamheterna att hålla god kvalitet på vattnet.

För att en syrereduktion skall ske måste aktuella tillsatsmolekyler fysiskt krocka med syremolekylerna. Under ett störningsförhållande är det därför mer sannolikt att dessa istället träffar rörväggen och reagerar med den. Syremolekylerna dras till järnmolekylerna för att uppnå det i naturen förekommande normaltillståndet järnoxid. Av denna anledning är det viktigt för en nätägare att detektera eventuellt inläckage samt att påfyllning av systemet sker med rätt vattenkvalitet.

I en studie av (Heikkilä och Kauppinen 1991 i Kounisto och Carpén, 1999) undersöktes befintliga vattenberedningsmedel på marknaden i laboratorieförhållanden med hjälp av ett provarrangemang, där vattnets syrehalt före dosering var 0,5 mg/l. Inverkan av tillsatskemikalier på korrosion av kolstålet undersöktes. Resultaten var motstridiga, och metoden behöver utvecklas ytterligare. Dock, i alla undersökta fall var korrosionen så långsam att den vid observerade hastigheter inte påverkar ledningarnas livslängd.

Fjärrvärmerör finns även med medierör av koppar. Dessa används främst som servisledningar till villor och småhus, då de är flexibla och enklare att förlägga än stålrör.

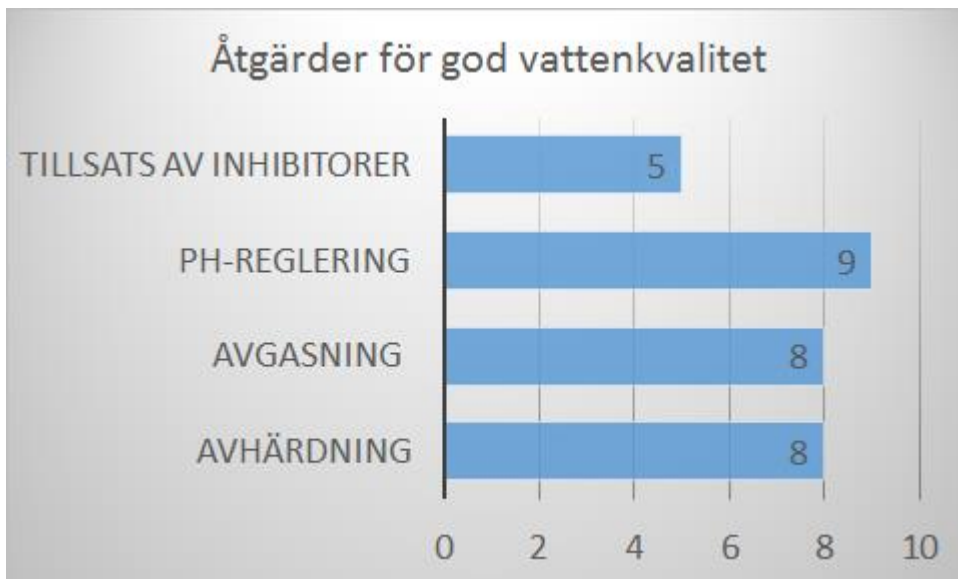
I enkätstudien ansåg majoriteten av de svarande att vattenkvaliteten är viktig eller mycket viktig för fjärrvärmeledningars livslängd, se Figur 23.



**Figur 23**

*Vattenskvaliteten vikt för livslängd på fjärrvärmerör.*

Fjärrvärmevattnet behandlas för att göra det mindre korrosivt. Rör för lågtempererad fjärrvärme av plast berörs därför inte på samma sätt. Vattenskvaliteten anses av de svarande vara lika viktig för stål som för kopparrör. I Figur 24 visas i vilken utsträckning som de olika metoderna användes. Flera metoder användes på samma gång för att höja vattenskvaliteten av flera av bolagen, speciellt av de större bolagen.



**Figur 24**

*Åtgärder för god vattenkvalitet.*

### 6.2.3.2 Temperaturvariationer

Stora temperaturskillnader mellan sommar och vinter genererar stora skillnader i värmelasten över året, säsongsvariationer. Men det förekommer även dagliga lastvariationer, det vill säga variationer mellan och inom enskilda dygn. Upp till en viss gräns kan ett ökat värmebehov tillgodoses genom ett ökat flöde i nätet, men över denna gräns skenar pumparbetet iväg och fjärrvärmeoperatören får istället höja framledningstemperaturen för att kundernas värmebehov ska kunna uppfyllas. Därför kan framledningstemperaturen variera både säsongsmässigt och över dygnet.

I en artikel av Gadd och Werner (2013) har lastvariationer mätts i 20 svenska nät både på dygnsbasis och på säsongsbasis. I dessa fjärrvärmesystem låg de dygnsmässiga variationerna på mellan 2,6 och 5,7 %, med ett medelvärde på 4,5 % av den årliga volymen. De säsongsmässiga variationerna var förstås betydligt större och med samma sätt att jämföra som ovan (variation beroende av årligt värmebehov) så varierade lasten på säsongsbasis med i medeltal 24 % (med en spridning mellan 17 och 28 %). Det kan alltså konstateras att värmelasten skiljer sig mycket mellan sommar och vinter, och att även snabbare lastvariationer förekommer inom enskilda dygn. I vilken utsträckning detta påverkar flöde



eller temperatur i nätet beror på dimensionering av ledningar och driftstrategi (om man t.ex. laddar sina nät med extra värme för att möta morgontopparna i nätet).

Fjärrvärmerör utsätts för varierande temperaturer beroende på värmebehovet som i sig till största delen är beroende av utetemperaturen. Materialet i fjärrvärmerören utvidgas av ökad värme och i äldre fjärrvärmesystem med betong-och asbestcementkulvertar finns det möjlighet för medierören att röra sig i kulvertarna. För att fånga upp rörelser som uppstår till följd av temperaturförändringar används kompensatorer, fixar och lyror. I praktiken skulle materialet i ledningarna kunna utmattas om de utsätts för temperaturvariationer. Materialets streckgräns är den spänning som medför att materialet flyter och utsätts för en kvarstående deformation. Tidigare utgjorde flytspänningen den yttre gränsen för vilka temperaturgränser som sattes för fjärrvärmerören. I modernare ledningar har överskridande av flytspänningsgränsen dock kunnat accepteras sedan man sett att fjärrvärmesystemets funktion inte påverkats negativt. Först när antalet töjningar överskrider gränsen för när ett utmattningsbrott kan uppkomma finns det risk för egentliga rörbrott. I praktiken ligger denna gräns så högt att det i realiteten inte föreligger någon risk att lägga ner moderna fjärrvärmerör utan någon form för kompenserig (Isoplus, 2016).

För förisolerade plastmantlade rör är det viktigaste gränstillståndet när spänningsvidden är större än två gånger sträckgränsen. Det kallas då att systemet ligger i lågcykliska utmattningsintervall (Hansen et.al, 1998).

Andersson et al. (1993) har tittat på hur många lågutmattningscykler som fjärrvärmenät utsätts för under en 30-årsperiod. Ett distributionssystem för fjärrvärme utsätts för ett antal temperaturcykler av varierande storlek under sin livstid. Mätningarna i de fyra näten visar på lägre antal cykler mindre än 10 på 30 år, men här var mätperioderna relativt korta och det var svårt att avgöra om mätperioderna var tillräckligt representativa för att en extrapolering till 30 år skulle ge ett tillförlitligt värde. Vid mätningarna blev man dock varse om att speciella händelser, till exempel avbrott på grund av reparationsarbeten eller att man ansluter nya kunder, som uppstod en till två gånger om året eventuellt gav mer påverkan på rören än vid cyklerna som uppstod under normal drift.

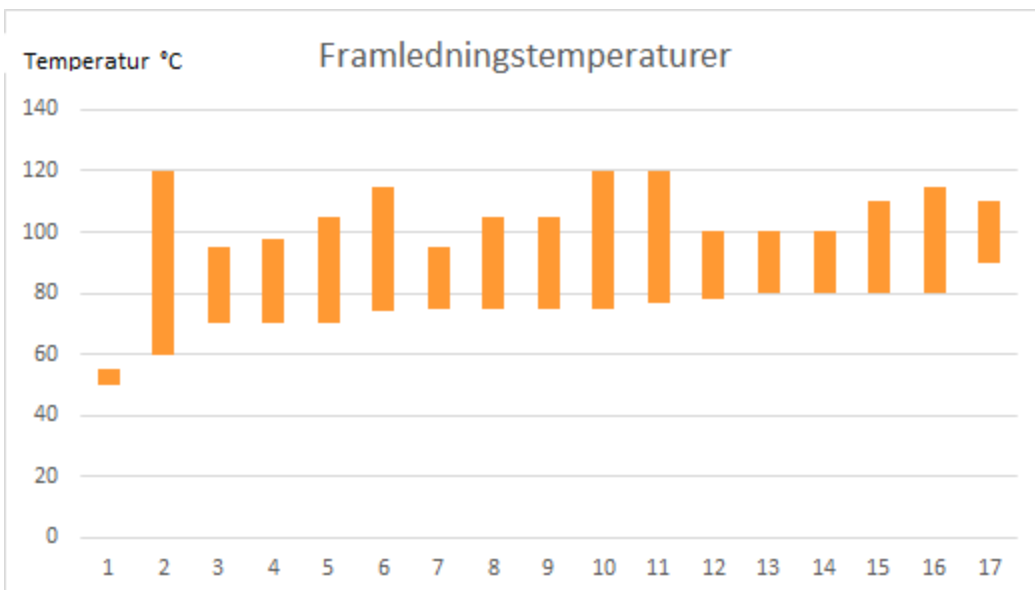
Ett problem som har observerats och som skulle kunna vara ett större problem än förändringar av framledningstemperaturer är punkter i nätet där det uppstår nollflöden. Nollflöden kan uppstå när flera produktionsanläggningar på olika platser i fjärrvärmenätet samtidigt förser nätet med värme och dessutom håller olika framledningstemperatur. I dessa fall pumpas vatten in i nätet från olika håll och där flödena till slut möts kan vattnet stå helt stilla och nollflödespunkter uppstår. När värmebehovet förändras på var sida om nollpunkten kan nollpunkten förflyttas och värmefronter kan på detta sätt vandra fram och tillbaka och vissa ledningar kan därmed utsättas för betydligt fler temperaturvariationer än nätet i stort. Detta skulle då kunna leda till en lågcyklisk utmattning av ledningarna. I ett examensarbete vid Uppsala Universitet av Erica Hellgren (2015), gjordes en analys av förekomster och effekter av just nollflödespunkter i Fortum Värmes fjärrvärmenät i Stockholm. Resultaten från examensarbetet visade att materialutmattning som orsakar brott hos fjärrvärmerör är ett ovanligt problem. Detta menar författaren har att göra med att de dimensioneringskriterier som

finns i den europeiska rörstandarden EN 13941 är väl tilltagna. Vidare tar Hellgren upp att det i materialutmattningssammanhang inte spelar så stor roll hur snabbt en temperaturförändring sker, utan det som kan anses skadligt är att materialet expanderar eller kontraherar vilket orsakar en ändring i godstjockleken oavsett om förändringen sker snabbt eller långsamt. Snabba temperaturförändringar kan dock påverka att rören förflyttas i marken och orsakar böjmoment på avgrenade rör. I studien gjordes intervjuer med rörtillverkare och dessa var eniga om att man bör försöka förhindra snabba temperaturförändringar för att undvika påfrestning på grenrör. Enligt simuleringar av Fortums nät som gjordes i studien föreföll stora temperaturförändringar som orsakas av nollflödespunkter förekomma mer vid lägre utomhustemperaturer än vid högre, detta berodde på att en produktionsenhet höll övertemperaturer. Kontentan av resultaten från denna studie blev att det är svårt att motivera större investeringar för att förhindra temperaturvariationernas uppkomst.

I en Värmeforskrappport av Molin et al. (1988) ställdes frågan om en sänkt drifttemperatur i fjärrvärmenätet skulle kunna öka risken för korrosion på medierörerna av stål då inläckande vatten som tas upp av rörisoleringen inte torkas ut lika snabbt vid lägre temperaturer. Drifttemperaturer i dagens nät ligger ofta på en framledningstemperatur från 70 - 120 °C, men framförallt håller sig vattnet i returledningarna ofta i spannet 70-80 °C vintertid. Rapporten kommer fram till det inte på någon punkt kunnat konstateras att en sänkt drifttemperatur har negativ inverkan på direktapplicerade PEH-ledningar, men däremot är det sannolikt att cellbetongkulvertar påverkas negativt av den sänkta drifttemperaturen då en förlängd uttorkningsprocess ökar risken för korrosion då denna inte kompenseras av positiva effekter i form av minskad risk för kemiskt sönderfall. Författarna skriver vidare att deras antaganden finner vissa belägg i undersökt kulvertskadestatistik då det visar sig att andelen korrosionsskador på returledningen i cellbetongisolerade kulvertssystem visat en ökande tendens under senare år och att detta är den enda kulverttyp som har högre andel korrosionsskador på returledningen än på framledningen.

Studier har visat att livslängden på fjärrvärmeledningarna kan öka betydligt genom att minska de normala driftstemperaturerna och genom att minska effekterna av tryckfluktuationer. Om den löpande drifttemperaturen är 120 °C är den förväntade livslängden 30 år, men den ökar till nästan 80 år om temperaturen sänks till 110 °C (Skagestad och Mildenstein, u.å).

För de fjärrvärmeföretag som svarade på enkäten varierade framledningstemperaturerna från 50 till 120 °C. Olika nät hade olika spann mellan vilka temperaturer som framledningstemperaturen varierade emellan, se Figur 26:



**Figur 26** *Temperaturspann för framledningstemperatur i 17 svenska fjärrvärmenät*

På frågan om framledningstemperaturen varierar mycket på dygnsbasis i deras nät svarade fem av bolagen nej på denna fråga, de som svarade jakande uppgav att dygnsvariationerna kunde ligga någonstans mellan 0 och 10 °C. Något bolag svarade även att servisledningarna utsätts för betydligt större variation än övriga ledningar, se figur 27.



**Figur 27** *Värdering av hur viktiga förändringar i framledningstemperatur är för ledningars livslängd i fjärrvärmenät*

I kommentarerna till frågan framkommer att vissa bolag har upplevt direkta problem med skarvar, muffar och larmtrådar som de knyter till temperaturvariationer i ledningarna. I andra svar framkommer att man inte tror att temperaturvariationer i nätet har särskilt stor betydelse för

ledningarnas livslängd så länge ledningarna har byggts på rätt sätt. Med andra ord, så länge systemen görs rätt har temperaturfrekvensen mindre betydelse, men tyvärr byggs det lite för ofta fel.

När det gäller skillnader i hur olika ledningstyper påverkas av temperaturförändringar visar kommentarerna till enkäten att kopparledningar eventuellt inte bygger upp lika mycket spänningar som ledningar av stål, samt att servisledningar kan vara känsligare än övriga ledningar.

### 6.2.3.3 Tryckstötar

Tryckslag kan bildas när en strömmande vätska i ett rör genomgår en plötslig hastighetsminskning och det dynamiska trycket omvandlas till statiskt tryck. Detta inträffar när det sker en plötslig förändring i flödesdriftsförhållandena, såsom ventilstängning eller pumphaveri. Röret måste inte bara kunna stå emot det statiskt stationära trycket, utan även ökningen i statiskt tryck på grund av förändringar i flödesförhållandena. Alla vätskor är till en viss grad komprimerbara och själva rören i sig har en specifik elasticitet, beroende på material. Om flödet plötsligt stoppas vid slutet av ett rör som är ansluten till en ventil, kommer en tryckvåg att fortplanta bakåt genom röret. Denna process kommer att upprepas tills vågen har förlorat all sin energi genom rörets friktion och viskösa krafter. I vissa fall, när tryckvågen oscillerar kan det statiska trycket falla under mättnadstrycket och orsaka kavitation. När trycket åter ökar imploderar ångbubblor vilket kan leda till skada rören (Lindblom, 2015).

På frågan om tryckstötar är viktiga för ledningarnas livslängd svarade de flesta att tryckstötar hade en viss relevans och några svarade att de var viktiga eller mycket viktiga, figur 28.



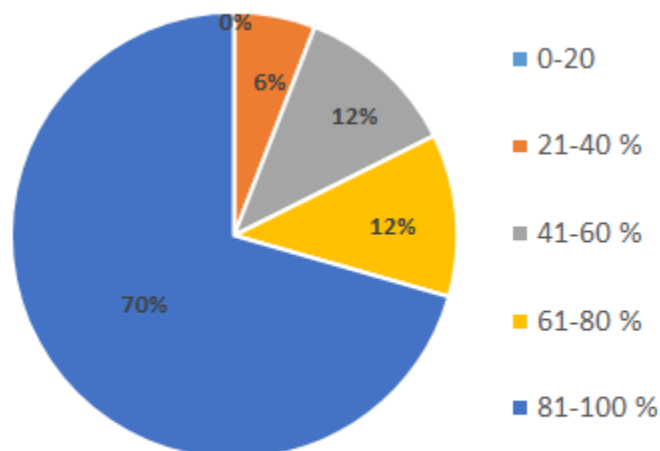
**Figur 28** Värdering av hur viktiga tryckstötar är för ledningars livslängd i fjärrvärmenät.

### 6.2.3.4 Larm

Vid detektering och lokalisering av fukt i direktskummade fjärrvärmeledningar registreras förändringar i ledningens elektriska egenskaper som blir en konsekvens av fukt i isoleringen orsakat av utifrån

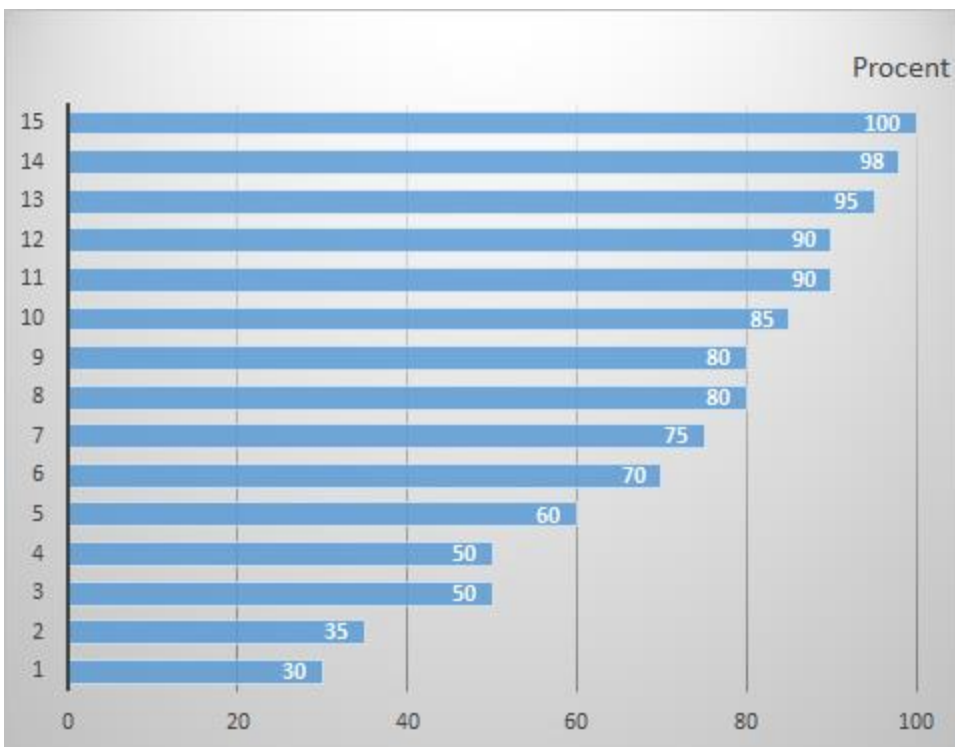
inläckande vatten eller av en medierörläcka. De flesta övervakningssystemen ger ett larm när resistansen mellan övervakningssystemets koppartråd och medieröret underskrider ett på förhand bestämt värde (Bjurström et al. 2003).

I enkäten efterfrågades hur stor del av bolagens nät som består av ledningar med fuktlarm. 17 bolag svarade på denna fråga, resultatet visas i Figur 29.



**Figur 29** *Andel av nät som består av ledningar med fuktlarm installerat.*

I mer än två tredjedelar av bolagen som svarat på enkäten uppgavs att 81-100 % av ledningarna i nätet var utrustade med fuktlarm. Mot bakgrund av att de flesta bolag som svarade hade mest modernare plastmantlade rör installerat i sina nät är denna siffra inte så förvånande. Mer förvånande är kanske den spridning som följande följdfråga fick: "Av de ledningar som har fuktlarm installerade, hur stor procent skulle ni uppskatta har fungerande fuktlarm?", se figur 30.

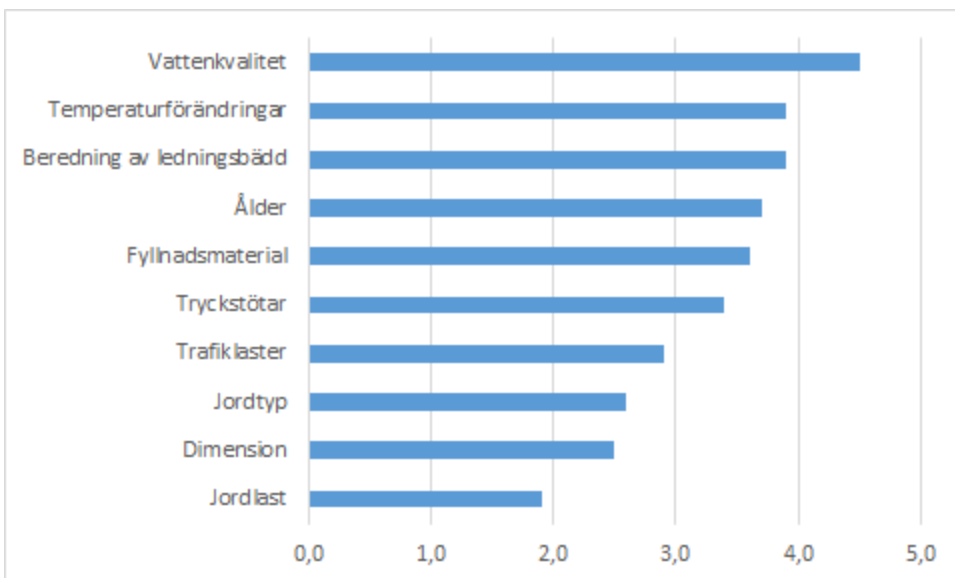


**Figur 30** Uppskattning av andel fungerande larm i de ledningar som har larm installerat.

15 bolag svarade på denna fråga. För att ha nytta av trådlarmen som finns installerade i fjärrvärmeledningarna måste larmen fungera och det är tydligt att bolagen prioriterar arbetet med fuktlarm olika. I kommentarerna till frågan skriver flera att det saknas resurser, kunskap och rutiner och att det måste till för att förbättra arbetet med fuktlarmen.

#### 6.2.4 Sammantagen värdering av parametrar i enkät

Som redovisats ovan ställdes det i enkäten frågor om olika parametrars relevans för livslängden på fjärrvärmeledningar. Representanterna för fjärrvärmeföretagen fick svara på en skala 1 till 5 där 1 betydde att parametern inte ansågs viktig och 5 betydde att parametern ansågs mycket viktigt. I Figur 31 nedan redovisas vilken vikt som gavs åt olika alternativ som ett medeltal för varje parameters svarspoäng. Observera att material inte är med och det beror på frågans utformning. Olika material och fogmetoder skulle varit högst om man frågade efter skillnader mellan material, men i enkäten ställdes frågan om det skiljer sig mellan fabrikat.



**Figur 31** 20 fjärrvärmebolags värdering av olika parametrars betydelse för fjärrvärmeledningars livslängd. Olika material har stor påverkan, dock inte olika fabrikat av samma material.

Det ska poängteras att svaren baseras på den erfarenhet som de svarande har av de olika parametrarna och detta påverkas även av vilka typer av ledningar som finns i de svarandes nät. Detta kan göra att vissa parametrar kan få en högre eller lägre värdering än om samtliga hade erfarenheter av likartade nät. Som exempel kan man ta att parametern trafiklasters påverkan på livslängden värderas högre i nät med stela ledningstyper som till exempel betongkulvertar då dessa har svårare att hantera dynamiska laster som kan ge sättningar och sprickbildning i betongen än vad modernare direktförlagda plastmantlade ledningar har. Men bortsett från att svaren påverkas av erfarenheterna från det egna fjärrvärmenätet kan vi se att vattenkvalitet är den parameter som har fått högst värdering. Detta är en parameter som påverkar alla typer av ledningar som har medierör av stål. Övriga som ligger över medelvärdet 3 och som därför får anses har getts vikt i värderingarna är temperaturförändringar, beredning av ledningsbädd, ålder på ledning, fyllnadsmaterial i ledningsgrav, samt tryckstötter i nät.

## 7 Förslag till parametrar som är viktiga för statusbedömning

### 7.1 Vatten

I denna rapport redovisas hur vatten respektive fjärrvärmenäten ser ut och fungerar (kap 3), vilka ledningstyper, ålders- och materialfördelning vi har i Sverige (kap 4), hur man bedömer ledningsnätens status (kap 5) och vilka parametrar som påverkar livslängden (kap 6). All denna information som

beskrivits har gett underlag för att rekommendera vilka parametrar som är viktigast att ha data kring, vilka som är önskvärt, och vilka nya data som bör samlas in i framtiden.

### 7.1.1 Särskilt viktiga att dokumentera (essentiella)

Utifrån underlaget i rapporten bedöms följande parametrar som är viktiga att registrera och följa upp i samband med underhåll och drift för kartläggning av statusbedömning eller livslängdbedömningar av fjärrvärmeledningar:

Vid installation [=bör finnas i GIS]:

- Typ av rör (material, tryckklass, styvhet, rörlängd, ytskydd)
- Dimension
- Skarvmetod (typ av fog, som t ex stumsvets, flänsförband)
- Tillverkare av rör
- Läggningsår
- Beredning av ledningsbädd
- Fyllnadsmaterial i ledningsgrav
- Läggningsdjup
- Markanvändning (trafikyta och trafikarbete, grönyta etc.)

Kontinuerligt över tid:

- Vattenkvalitet (pH, kloröverskott, alkanitet)
- Dricksvattentemperatur
- Flöde och tryck på strategiska platser (för att lokalisera utläckage)
- Resultat från olika statusbedömningar och läcksökningar

Vid skador:

- När skadan upptäcktes (datum)
- Data om röret (bör kunna hämtas från GIS, se "vid installation" ovan)
- Hur skadan upptäckts (egenfunnet utläckage, vatten i dagen, dåligt tryck hos brukare)
- Typ av fel/iakttagelse (röret av – balkbrott, längsgående spricka, rörbrott, frätskada, fogfel, krossat/deformerat rör, avlagringar i ledningen, onormal förbrukning, dålig vattenkvalitet, dåligt tryck, tryckslag, okänt)
- Skadans omfattning (punktskada, antal meter)
- Primär orsak till skadan (söndergrävning, sättning, yttre korrosion, inre korrosion, frysning/tjäle, dålig vattenomsättning, materialfel, konstruktionsfel, otät packning, fogfel, högt vattentryck i ledning, installationsfel, okänt)
- Ledningens skick vid skadepunkten (bra, något nedsatt, dålig; finns korrosionsangrepp ja/nej?)
- Vad man lagade med (reparationsmuff, infällning av x m rör, omläggning hela sträckan, renovering, avkoppling, blindfläns, omdiktning av fog, övrig (speci), ingen åtgärd)
- Jordart
- Kringfyllnadsmaterial



- Grundvattenytans läge

Sedan är ju frågan hur man bör mäta vissa parametrar, vad man kan använda mätningarna till, hur noga man måste mäta och hur många mätpunkter man måste ha, men det ryms inte inom vårt uppdrag.

## 7.1.2 Optionsparametrar

Med optionsparametrar menas att de är bra att ha med om de är lätta att få fram men ej nödvändiga.

Vid skador:

- Dokumentering av skador: Gärna foton på skada som sparas i GIS-system och var skadan är placerad på röret (topp, botten, sidan kan använda klockan för att beskriva läget).
- Hur materialet i röret åldrats, bedömning genom observation eller mätning (kräver utveckling av metoder och bedömningskriterier)
- Hur godstjocklek förändrats, bedömning genom observation eller mätning (kräver utveckling av metoder)
- Hur lång tid det tog från upptäckt till insats
- Hur lång tid och kostnad för lagning
- Om trycket behövde stängas helt vid lagning eller inte, och i så fall hur länge.
- Jordens fuktighet (bra att ha med men svårt att mäta)

## 7.2 Fjärrvärme

### 7.2.1 Särskilt viktiga att dokumentera (essentiella)

Utifrån underlaget i rapporten bedöms följande parametrar som är viktiga att registrera och följa upp i samband med underhåll och drift för kartläggning av statusbedömning eller livslängdbedömningar av fjärrvärmeledningar:

Vid installation [=bör finnas i GIS]:

- Typ av rör (material, mediator, materialisolering, material kulvert/skyddshölje; fram eller returrör)
- Dimension
- Skarvmetod
- Tillverkare av rör
- Läggningsår
- Fuktlarm
- Beredning av ledningsbädd
- Fyllnadsmaterial i ledningsgrav
- Läggningsdjup

- Fungerande dränering (ja/nej/ej aktuellt)
- Omgivningstemperatur

Kontinuerligt över tid:

- Vattenkvalitet (pH, syrehalt)
- Tryck och temperatur från centralen
- Temperatur till kund
- Tryckstötter i nätet
- Flödeshastighet
- Larmindikeringar från trådlarm och nivåvipor i kammare
- Spädvattenomsättning (ger en bild över hur stora volymer som läcks ut i nätet)
- Resultat från olika statusbedömningar och läcksökningar (termografering, besiktningar etc.)

Vid skador:

- När skadan upptäcktes (datum)
- Data om röret (bör kunna hämtas från GIS, se "vid installation" ovan)
- Hur skadan upptäckts (larmsystem, vatten i kammare, ånga ur ventilationsrör, skademeddelande, vatten i fastighet, vattenförluster, termografering, varm markbeläggning, annan inspektionsmetod, annat)
- Skadans omfattning (mediarörshaveri (rörbrott, långsgående spricka, hål) pga korrosion/annat; mediarörsskada pga korrosion/annat; armatursskada; kompensatorsskada; skadat skyddshölje; skadad isolering; skada på larmsystem)
- Primär orsak till skadan (materialfel: i skyddshölje, isolering, mediarör, ventil eller kompensator; installationsfel: åverkan vid hantering, skarvning av skyddshölje, mediarörsarbete, mark-byggarbete; yttre påverkan: grävskada eller annan; inre påverkan; konstruktionsfel; annat)
- Ledningens skick vid skadepunkten (bra, något nedsatt, dålig; finns korrosionsangrepp ja/nej?; Hur ser isoleringen ut?)
- Vad man lagade med (punktreparation, infällning av x m rör, omläggning hela sträckan, renovering, avkoppling, blindfläns, omdiktning av fog, övrig (specificera), ingen åtgärd)
- Markförhållanden

Sedan är ju frågan hur man bör mäta vissa parametrar, vad man kan använda mätningarna till, hur noga man måste mäta och hur många mätpunkter man måste ha men det ryms inte inom vårt uppdrag.

## 7.2.2 Optionsparametrar

Med optionsparametrar menas att de är bra att ha med om de är lätta att få fram men ej nödvändiga.

- Dokumentering av skador: Gärna foton på skada som sparas i GIS-system och var skadan är placerad på röret (topp, botten, sidan kan använda klockan för att beskriva läget).

- Hur materialet i mediaröret åldrats, bedömning genom observation eller mätning (kräver utveckling av metoder och bedömningskriterier)
- Hur godstjocklek förändrats, bedömning genom observation eller mätning (kräver utveckling av metoder)
- Hur isolering förändrats sedan installation, bedömning genom observation eller mätning (kräver utveckling av metoder och bedömningskriterier)
- Hur lång tid det tog från upptäckt till insats
- Hur lång tid och kostnad för lagning
- I (framtida) nät med prosumers: flöden och temperaturer från dessa (solvärmeanläggningar leder ofta till vandrande temperaturfronter, känsligt där rören grenar sig efter undersökning hos E.on i Malmö (ej med i rapporten).

### 7.3 Framtidens möjligheter

Visuella bedömningar bör vara ännu enklare i framtiden. Redan idag har varje rörläggare sin Smartphone med sig och kan fotografera skadan. Med modern bildteknik borde ett foto själv bedöma typ av skada och kan föreslå hur skadan ska dokumenteras. En uppkopplad Smartphone som kan hämta ett lokalt GIS-utsnitt precis där skadan är kan också föreslå material och dimension på ledningen (i ett säkert system där brandväggar mot databasen upprätthålls). Det enda rörläggaren behöver göra är att kolla data och trycka på OK. För att det inte ska bli så automatiskt så att rörläggarna inte ens kollar vad Smartphonen föreslår kan man lägga in "dumheter" med jämna mellanrum, där uppgifterna som föreslås är orimliga. Om en rörläggare bara svara ok när appen föreslår att skadan beror på "choklad" så varnar appen för slarv.

Redan idag görs mycket on-linemätningar i olika delar av nätet. Om man kan få till en tänkande databas med alla data kan ANN-metoder användas för att få ut samband och bedöma risk för skador i olika delar av systemet. Vägen dit är dock inte så kort eftersom till och med grundläggande uppgifter kan saknas i databaserna idag.

## 8 Slutsatser

Syftet med denna litteraturstudie är att rekommendera vilka parametrar som är rimligt och lämpligt att dokumentera för att kunna bedöma ett rörsystems status och livslängd. Det har vi genomfört genom att kartlägga vilka rörsystem som har använts och används i Sverige, hur skador dokumenterats på de mest frekvent använda rörsystemen, vilka parametrar som främst påverkar ett rörsystems livslängd samt föreslå vilka parametrar som bör dokumenteras för att kunna bedöma rörsystems status.

Det har varit möjligt att kartlägga vilka rörsystem som har använts och används i Sverige, men hur skador dokumenterats i detalj har varit svårare att få fram. Vilka parametrar som främst påverkar ett rörsystems livslängd har också varit svårt, eftersom orsaken till felen utvärderats i så liten utsträckning.

Det gör att det är svårt att bedöma vilka parametrar som är viktigast eftersom vi inte vet vad som bidragit till felet, utan enbart hur felet ser ut. Eftersom orsaken till skador inte utvärderas i tillräcklig omfattning konstaterar man ofta enbart symtomen och gör sina bedömningar utifrån dessa. Det kan i många fall räcka, men om man vill arbeta förebyggande är det inte tillräckligt och det behövs mer strukturerad forskning där forskare, problemägare och rörtillverkare tillsammans identifierar bakomliggande mekanismer för haverier hos olika typ av rör. Men vi har gjort så gott vi kunnat ändå, och i de flesta fall kan orsaken gissas utifrån hur skadan ser ut.

De parametrar som bidrar mest till ledningars status är enligt denna litteratur- och enkätstudie:

- För vatten: material (inkl fogmetod, korrosionsskydd och godstjocklek), diameter, ålder, jordkorrosivitet och tidigare driftstörningar
- För fjärrvärme: material, vattenkvalitet, temperaturförändringar, beredning av ledningsbädd, ålder på ledning, fyllnadsmaterial i ledningsgrav, samt tryckstötar i nät.

Den mänskliga faktorn, dvs. installations- och montagesättet påverkar också, men det har inte fångats upp riktigt i denna litteraturstudie.

De parametrar som är viktigast att dokumentera vid skador är i mångt och mycket det som framgår av de protokoll som finns redan idag, dock måste protokollens ifyllnad öka i kvalitet.

Att äldre material har fler skador per meter än nyare, innebär att dessa äldre ledningar byts ut mer frekvent än nyare, och enbart de med bäst förutsättningar är fortfarande i drift. Om nya plaströr och plastmantlade rör är av god kvalitet och läggs på rätt sätt, kan skadefrekvensen hållas nere, trots att ledningsnäten blir äldre.

Det är inte möjligt att utveckla en universell, pålitlig prognosmodell för tillståndsanalys som kan appliceras för alla typer av rör och förutsättningar. I stället har olika prognosmodeller utvecklats där olika implementeringar av parametrar gjorts: rörmaterial, diameter, läggingsår, konstruktion samt miljömässiga och driftrelaterade faktorer. Modellerna begränsas av tillgången på uppgifter och andra faktorer (Thomson et al., 2013).

## 9 Utmaningar inför framtiden

De utmaningar som särskilt bör tas hänsyn till för fjärrvärmenäten är:

- Enligt undersökning av fjärrvärmerör förväntas betongkulvertledningarna vara slut efter 60 år, och ungefär 40 % av de plastmantlade ledningarna förväntas ha nått sin livslängd efter 100 år. Utmaningen är att kunna prioritera de betong- och plastmantlade rör som har kortast livslängd så att de kan bytas först.

- Tredje generationens fjärrvärmesystem har börjat användas under 1970-talet, med sitt genomslag på 1980-talet och även om de flesta av dessa ledningar har lång livslängd kvar är det en utmaning att ta fram dels bedömningar av långsiktig förnyelsetakt och hur förnyelse ska prioriteras för att vara effektiv.
- I fjärde generationens lågtempererade fjärrvärmesystem kan användningen av plastmaterial som mediator vara ett hållbart alternativt i jämförelse till stål men kräver rätt kunskap för val av plastmaterial för att plasten ska klara sin funktion i den berörda miljön. Läckage av additiver, bildning av biofilmer och påväxt av mikroorganismer på plasten är viktig att ta hänsyn när man väljer plaster.
- Enligt Molin et al. (1988) finns vissa belägg att andelen korrosionsskador på returledningen i cellbetongisolerade kulvertsystem har en ökande tendens under senare år och att detta är den enda kulverttyp som har högre andel korrosionsskador på returledningen än på framledningen, därför det är viktigt att för just den typen av rör ta en extra hänsyn till returrör.
- Nätbolagen prioriterar arbetet med fuktlarm i fjärrvärmerör olika mycket. Flera skriver att det saknas resurser, kunskap och rutiner och att det måste till för att förbättra arbetet med fuktlarmen, det visar att uppdatering och överföring av kunskap skall bli bättre i branschen.
- Fjärrvärmebolagen kan rapportera in sina skador till "Skadenyckeln", se bilaga 1. Denna rapportering skulle kunna utvärderas mer systematiskt.
- Nationell statistik efter 1997 hade behövts samlas in för ett bra underlag för statusbedömning.

De utmaningar som särskilt bör tas hänsyn till för vattenledningsnäten är:

- Det behövs bättre dokumentation av skador i fält så att skadeinrapporteringen blir mer standardiserad och samma rapporteringssystem används av alla VA-verksamheter för att få tillförlitlig statistik.
- VA-verksamheterna behöver ha en strukturerad planering för förnyelse finns så att rätt ledningar byts ut först. Det är utmaning att ta fram dels bedömningar av långsiktig förnyelsetakt och hur förnyelse ska prioriteras för att vara effektiv.

# 10 Referenslista

- Ahn, J.C., Lee, S.W., Lee, G.S., and Koo, J.Y. (2005) Predicting water pipe breaks using neural network. *Water Supply*, 5(3–4): 159–172.
- Andersson J, (2002) Digitala läckdetekteringssystem – en studie på nyare tekniker på marknaden och jämförelser med dagens system. Fjärrvärmeföreningen, FOU 2002:71  
[http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/FOU-rapporter%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Hetvattenprogrammet,%20rapporter/2002/Digitala\\_lackdetekteringssystem-En\\_studie\\_av\\_nyare\\_tekniker\\_pa\\_marknaden\\_och\\_jamforelser\\_med\\_dagens%20system\\_FOU\\_2002-71.pdf](http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/FOU-rapporter%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Hetvattenprogrammet,%20rapporter/2002/Digitala_lackdetekteringssystem-En_studie_av_nyare_tekniker_pa_marknaden_och_jamforelser_med_dagens%20system_FOU_2002-71.pdf)
- Andersson, S., Mattson, L., Pendros, M. (1993) Temperature variations in DH networks. Study performed with respect to networks in Denmark, Finland, Germany, The Netherlands and Sweden. Institutionen för Värme och Kraftteknik, Tekniska Högskolan i Lund.
- Andersson, L., Bengtsson Sjörs, Å., Jonelind, C. (2006) Vattenledningar och vattenläckor. Variationen på dricksvattnets temperatur och dess betydelse för antalet vattenläckor Svenskt Vatten Utveckling rapport 2006-06.
- Andersson, S., Molin, J., och Pletikos, C. (1999) Underlag för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar, FoU-rapport Svensk Fjärrvärme 1999:41
- Andersson, U., "Which Factors Control the Lifetime of Plastic Pipes and How the Lifetime Can be Predicted," Proceedings of Plastics Pipes XI, IOM Communications, London, 2001.
- Andreou, S. A., Marks, D. H., and Clark, R. M. (1987) A new methodology for modeling break failure patterns in deteriorating water distribution systems: Theory, *Adv. Water Resour.*, 10, 2–10.
- Arun K. Deb (2002). *Prioritizing Water Main Replacement and Rehabilitation*. USA: American Water Works Association. 10-15.
- Asnaashari, A., McBean, E.A., Shahroui, I., and Gharabaghi, B. 2009. Prediction of watermain failure frequencies using multiple and Poisson regression. *Water Science & Technology: Water Supply–WSTWS*, 9(1): 9–19. doi:10.2166/ws.2009.020.
- Asp, T., Hård, S., Eriksson, A., Wiktorén, B., och Danielsson, H. (1986) Underhållsplanering av fjärrvärmenät. Värmeforsk rapport 237.
- Bækkegaard, F., J. B. Dyhm and V. Udvalg (1980). Lækageundersøgelse: vandtab og lækager på vandforsynings ledningsnet : projektarbejde, Dansk Vandteknisk Forening.
- Björklund, I. (1991) Skador på vattenledningar av PVC och PE. Nordiska Plaströrgruppen
- Bjurström, H., Cronholm, L-Å., och Edström, M-O (2003). Fukt i fjärrvärmerör, larmsystem och detektering. Inventering av mätmetoder och gränsvärden.
- Brocca, D., Arvin, E., Mosbaek, H. (2002) Identification of organic compounds migrating from polyethylene pipelines into drinking water. *Water Research* 36(15) 3675-3680.
- Busch, J. (2012) Lönsam fjärrvärme. I "Stadsbyggnad. Tidskrift för Svenska Kommunal Tekniska föreningen" (<http://stadsbyggnad.org/2012/lonsam-fjarrvarme/>, hämtad 20160206).
- Deb, Arun K.; Grablutz, Frank M.; Hasit, Yakir (2002). *Prioritizing Water Main Replacement and Rehabilitation*. American Water Works Association.
- Energiateollisuus (2015). *District Heating in Finland 2014*.

Energimyndigheten: "Uppvärmning i Sverige 2012", EI R2012:09

Energinyheter, (2014) <http://www.energinyheter.se/2014/09/stor-potential-f-r-dansk-fj-rrv-rme> Besökt juni 2016.

Energistyrelsen, 2016 <http://www.ens.dk/undergrund-forsyning/el-naturgas-varmeforsyning/forsyning-varme/generel-varmeforsyning-0> Besökt juni 2016.

EON (2016) <https://www.eon.se/content/dam/eon-se/swe-documents/swe-att-bygga-en-fjarrvarmeledning.pdf>

EN253: 2009: District heating pipes - Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks - Pipe assembly of steel service pipe, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene,

EN489: 2009: District heating pipes - Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks - Joint assembly for steel service pipes, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene,

EN13941: 2009: Fjärrvärmesystem – Konstruktion och installation av rörsystem med förisolerade rör med fast förband mellan värmeisolering och medierör respektive mantelrör.

EPA. (2012). Evaluation of Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems. Office of Research and Development. Cincinnati, OH.

Eriksson, F., Framås K.I., Karlsson, M. (2013) Sekundärnät för lågtempererad fjärrvärme. Examensarbete vid Högskolan i Halmstad.

Finnish Energy (2015) <http://energia.fi/sv/statistik-och-publikationer/fjarrvarmestatik/fjarrvarme>. Besökt juni 2016.

Fredriksen, S. och Werner, S. (2013). Fjärrvärme och fjärrkyla. Studentlitteratur AB, Lund. ISBN 978-91-44-08529-6.

Folkman, S., Rice, J., Sorenson, A., Braithwaite, N. (2012). Survey of Water Main Failures in the United States and Canada. American Water Works Association, 104(10), 70-79.

A. Francisque, M.J. Rodriguez, R. Sadiq, L.F. Miranda, F. Proulx Prioritizing monitoring locations in a water distribution network: Fuzzy risk approach Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA, 58 (7) (2009), pp. 488–509

Grigg, N., 2004. Assessment and renewal of water distribution systems. AwwaRF, Denver.

Hansen, K.E., Christensen, R., Neergard, L.B, Randöv, P och Olsson, N (1998) Fatigue Analyses of District Heating Systems. I: IEA District Heating and Cooling. Research Project Summaries. Novem, 1998.

Hunaidi, O, Condition assessment of water pipes, in: Proceedings of EPA Workshop on Innovation and Research for Water Infrastructure in the 21st Century, Arlington, Virginia, USA, 2006, pp. 1–6.

Isoplus (2016) <http://www.isoplus.se/forlaggningsregler-247>

KABIR, G., TESFAMARIAM, S., FRANCISQUE, A. & SADIQ, R. 2015. Evaluating risk of water mains failure using a Bayesian belief network model. European Journal of Operational Research, 240, 220-234.

Karlstad Energi (2016) <https://www.karlstadsenergi.se/kontakt/historik/> 2016-07-01

Kleiner, Y., Rajani, B. 2002. Forecasting variations and trends in water-main breaks. J. Infrastruct. Syst., 84, 122–131.

Krogh, A. Storbyer samarbeider om rehabilitering av ledningsnett. Norsk Vann bulletin. 2009, Vol. 4.

Kounisto, T., och Carpén, L. (1999). Undersökning av funktionen hos tillsatser för fjärrvärmevatten. Fjärrvärmeföreningen, FOU 1999:35.

Kwietniewski M, Rak J. (2010) Reliability of the water supply and wastewater disposal infrastructure. Warsaw: Polish Academy of Sciences, Committee on Civil Engineering and Hydroengineering, Institute of Basic Technological Problems

Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., Kovac, J., Rizzo, A., Galea, S. John, St. (2014) 14 Years Experience of using IWA Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators in Europe. Paper presented and circulated to delegates attending the IWA Water Loss 2014 Conference, Vienna, 30th April to 2nd May 2014 <http://www.leakssuite.com/wp-content/uploads/2014/03/Paper-2014G-28Mar14.pdf>

Lauenburg, P. (2014) Teknik och forskningsöversikt över fjärde generationens fjärrvärmeteknik. Institutionen för Energivetenskaper, Lunds Universitet. (<http://www.varmemarknad.se/pdf/fjarrvarmeteknik.pdf>)

Liu, Z., Sadiq, R., Rajani, B., and Najjaran, H. (2010). "Exploring the Relationship between Soil Properties and Deterioration of Metallic Pipes Using Predictive Data Mining Methods." J. Comput. Civ. Eng., 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000032, 289-301.

Liu, Z. & Kleiner, Y. 2012. State of the Art Review of Inspection Technologies for Condition Assessment of Water Pipes. Measurement.

Lindblom, A. (2015) Modelling Dynamic Pressure Conditions in District Heating Systems. Examensarbete vid Chalmers Tekniska Högskola <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/225153/225153.pdf>

Ljunggren, O. och Johansson, A. (2007) Prognos Förnyelsebehov, Göteborg Vatten Åtgärdsplan Vatten, Handlingsplan, Bilaga 8.

Mackellar S and Pearson D (2003) National Agreed Failure Data and Analysis. Methodologies for Water mains, vol I: Overview and findings. Report no 03/RG/05/07

Male, J., Walski, T., and Slutsky, A. (1990). "Analyzing Water Main Replacement Policies." J. Water Resour. Plann. Manage., 10.1061/(ASCE)0733-9496(1990)116:3(362), 362-374.

Malm A, Horstmark A, Larsson G, Uusijärvi J, Meyer A, Jansson E, (2011) Rörmaterial i Svenska VA-ledningar – egenskaper och livslängd. Svenskt Vatten, Rapport nr 2011-14

Malm, A. och Svensson, G. (2011) Material och åldersfördelning för Sveriges VA-nät, och framtida förnyelsebehov. Svenskt Vatten Rapport 2011-13

Marlow, D., Heart, S., Burn, S., Urquhart, A., Gould, S., Anderson, M., Cook, S., Ambrose, M., Madin, B., and Fitzgerald, A. (2007). "Condition Assessment Strategies and Protocols for Water and Wastewater Utility Assets." Water Environment Research Foundation, Alexandria, VA, USA.

Metalogic. (1998). "Corrosion research and materials engineering."

Milone, V. (2012) The effect of temperature and material on mains pipe breaks in Gothenburg. Master of Science Thesis in the Master's Programme in Geo and Water Engineering. Chalmers University of Technology, Sweden. Master Thesis 2012:160

Najjaran, H., Sadiq, R., and Rajani, B. (2006). "Fuzzy expert system to assess corrosivity of cast/ductile iron pipes from backfill properties." Comput. Aided Civ. Infrastruct. Eng. CCIEFR, 21(1), 67-77.

Nishiyama, M. and Y. Fillion (2013). "Review of statistical water main break prediction models." Canadian Journal of Civil Engineering 40(10): 972-979.

Nilsson, S., Sällberg, S-E och Bergström, G. (2006) Grund förläggning av fjärrvärmeledningar. Värmegles rapport 2006:25

Nilsson, S., Thörnblom, K., Sällberg, S-E, Bergström, G. (2005) Spröda brott i mantelrör. Svensk Fjärrvärme- Forskning och Utveckling 2005:131



- Nordiska Plaströrgruppen, 1999 Ledningsbyggande med plaströrssystem, NPG.
- Norsk Fjernvarme (hemsida: <http://fjernvarme.no/index.php?pageID=103ochopenLevel=37>, nedladdad 2016-05-26)
- Nohrstedt, L. (2013) Ljudvågor avslöjar fel i fjärrvärmerör. Ny Teknik, 2013-10-11
- Norsk Vann (2012). [http://www.norsk vann.no/images/pdf/Rapporter/BedreVA\\_resultatrapport\\_2012\\_data\\_web.pdf](http://www.norsk vann.no/images/pdf/Rapporter/BedreVA_resultatrapport_2012_data_web.pdf)
- Norvar (1998) Forfall og fornyelse av ledningsnett. Prosjektrapport 84-1998
- NRC, Canada 2003: Selection of the technologies for the rehabilitation and replacement of sections of a water distribution system. A best practise by the National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure
- O'Day, D.K., R. Weiss, S. Chiavari, and D. Blair. 1986. Water Main Evaluation for rehabilitation/Replacement. AWWA Research Foundation, Denver, CO.
- Pritchard, O.G, Hallett, S.H and Farewell, T.S. (2013) Soil Corrosivity in the UK—Impacts on Critical Infrastructure.
- B. Rajani, and Y. Kleiner, Non-destructive Inspection Techniques to Determine Structural Distress Indicators in Water Mains, in Proc. the conference on evaluation and control of water loss in urban water networks, Valencia, Spain, 2004, pp. 1-20".
- Rajani, B., Kleiner, Y., and Sink, J.-E. (2012). Exploration of the relationship between water main breaks and temperature covariates. *Urban Water*, 9(2), 67–84.
- Rindelöv, M. (2015) Våra Värdefulla Ledningsnät, fjärrvärme- och VA-ledningar. Lund: Sydsvatten, Urban Magma.
- Sadiq, R., Rajani, B., and Kleiner, Y. (2004). Fuzzy-based method to evaluate soil corrosivity for prediction of water main deterioration. *J. Infrastruct. Syst.* *JITSE4*, 10(4), 149–156. [10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2004\)10:4\(149\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2004)10:4(149))
- Sandström, B (u.å) Kompendium från Värmepumpskurs EUCRET, Mittuniversitetet, Härnösand.
- Sernhed, K., Ekdahl, E., och Skoglund, P. (2012) Statusbedömning av betongkulvertar. Svensk Fjärrvärme, Fjärrsyn rapport: 2012:9.
- Sernhed, K., Jönsson, M., och Olsson, M. (2015) Riskhantering för underhåll av fjärrvärmenät. Bakgrund, erfarenheter och förslag. *Energiforsk, Fjärrsynrapport 2015:185*.
- SGU (u.å) Att använda krossat berg: Ledningsbädd och kringfyllnad. [https://www.sgu.se/PageFiles/1735/fakta\\_krossat-berg\\_ledningsbadd.pdf](https://www.sgu.se/PageFiles/1735/fakta_krossat-berg_ledningsbadd.pdf), nedladdad 20160620.
- Singh A. (2011) Bayesian analysis for causes of failure at a water utility. *Built Environment Project and Asset Management*, 1 (2), pp. 195–210
- Sjökvist, S., Wren, J., Ahlberg, J. (2012) Kvantifiering av värmeläckage genom flygburen IR-teknik, en förstudie. Svensk Fjärrvärme, Rapport 2012:17
- Skagestad, B., Mildenstein, P. (u.å.) District heating and Cooling Connection Handbook
- IEA District heating and cooling,
- Skjevrak, I., et al., Volatile organic components migrating from plastic pipes (HDPE, PEX and PVC) into drinking water. *Water Research*, 2003. 37(8) 1912-1920
- Spickelmire, B. (2002). "Corrosion consideration for ductile iron pipe". *Materials Performance*, 41, 16-23.
- Sundahl A. (1996) "Diagnos av vattenledningars kondition" Lund.

Svenska vatten-och avloppsverksföreningen (1999) VA-verk 1997. Statistiska uppgifter över Kommunala vatten- och avloppsvatten. VAV S97, Stockholm

Svenskt Vatten (2016) Hemsida <http://www.svensktvatten.se/vattentjanster/ronnat-och-klimat/> Nedladdat 2016-08-19

Svensk Fjärrvärmes hemsida "Om oss": <http://www.svenskfjarrvarme.se/Om-oss/>. Nedladdat 2016-02-15

Svensk fjärrvärme rapport 2007:3 rapportnamn!

Svensk Fjärrvärme (2015) Läggningsanvisningar för fjärrvärme och fjärrkyleledningar. Tekniska bestämmelser D:211, oktober 2015.

Svensk Fjärrvärme (2015) Underhållshandboken för fjärrvärmedistribution

Sveriges Radio (23 januari 2013) Island får "gratis" geotermisk energi från jordens inre.  
<http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=3345ochartikel=5419111>.

Sægrov, S. (ed) (2005). Care-W Computed aided rehabilitation of water networks. IWA Publishing ISBN 1843390914

Thomson, J., S. Flamberg, AND W. Condit. Primer on Condition Curves for Water Mains. U.S.Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-13/080, 2013.

K.Thörnblom, M. Palmlöf, T. Hjertberg, (2011) The Extractability of Phenolic Antioxidants into Water and Organic Solvents from Polyethylene Pipe Materials – Part I. Polymer Degradation and Stability 96 1751-1760

Vainio, T., Lindroos, T., Pursiheimo, E., Vesanen, T., Sipilä, K., Airaksinen, M., Rehunen, A., (2015)

Study Report, High-efficiency CHP, district heating and district cooling in Finland 2010-2025, VTT-R-04071-15 10.11.2015

Vand i tal (2015). DANVA benchmarking 2015 - procesbenchmarking og statistik. <http://reader.livedition.dk/danva/162/21>

Uusijärvi, J. (2013) Minskning Av In- och Utläckage Genom Aktiv Läcksökning. Svenskt Vatten Utveckling rapport 2013:03

Wengström, T. Rd. (1993) Comparative Analysis of Pipe Break Rates. Chalmers Tekniska Högskola, Inst. för vattenförsörjning- och avloppsteknik, Publ 2:93

Wiltshire, R. (ed) (2016) Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems. Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier. ISBN: 978-1-78242-395-9 (online)

WL Plastics Corporation, 2012

Wood, Andrew; Lence, Barbara J. (2006). Assessment of water main break data for ASSET MANAGEMENT Journal: American Water Works Association;Jul2006, Vol. 98 Issue 7, p76

Yarahmadi N., Sällström J. H. (2014) Improved maintenance strategies for district heating pipelines, The 14th International Symposium on District Heating and Cooling, September 7th to September 9th, 2014, Stockholm, Sverige.

Zhivov, A.M. et al. (2008) Evaluation of European District Heating Systems for Application to Army Installations in the United States, Construction Engineering Research Laboratory

Zinko, H. (2004) Grudis-Tekniken för värmegles fjärrvärme," Svensk Fjärrvärme , Värmegles 2004:10

Åkeström, Å. (2004) Reinvesteringsmodell för befintligt fjärrvärmenät. Lunds tekniska Högskola.  
[http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Ovriga\\_rapporter/Distribution/Reinvesteringsmodell\\_for\\_befintligt\\_fjarrvarmenat\\_2004.pdf](http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Ovriga_rapporter/Distribution/Reinvesteringsmodell_for_befintligt_fjarrvarmenat_2004.pdf)

**Personlig kontakt**

Werner, Sven. Mejlkontakt 2016-05-24.

# 11 Bilaga 1: Skadehantering fjärrvärmerör

Inrapporteringen av skador har skett manuellt. I framtiden kommer det att gå att importera en fil med flera skador in i Skadenyckeln. Denna fil är en exportfil från fjärrvärmeföretagens GIS/NIS. Då kan flera skador rapporteras in samtidigt. Inrapporteringen utvecklas kontinuerligt så att fler parametrar i databasen kan matas in och fler och bättre slutsatser dras. De uppgifter som matats in i Skadenyckeln är för närvarande följande<sup>1</sup>:

- Företagets namn
- Nätets namn
- Datum för skadans upptäckt
- Distributionssystem (FV (fjärrvärme)/FK (fjärrkyla))
- Skadans adress
- Littera /ID-märkning
- Byggår
- Skada på fram- eller returledning
- Dimension
- Ledningstyp (t.ex. fasta respektive flexibla FV/FK-rör, Aquawarm, Enkelrör/Twinrör, hållrörssystem)
- Ytterhölje (t.ex. asbestcement, betonglåda, glasfiber, PE)
- Medierör (t.ex. asbestcement, betonglåda, glasfiber, PE)  
(nedan är det som rapporterats in)
- Isolering (t.ex. glasfiber, mineralull, PUR, saknas)
- Fuktlarm (ej kopplat, kopplat till central/mät punkt)
- Förläggning (t.ex. gatumark/grönyta/inomhus; trafikarbete; berg/jordtyp; förläggningsdjup)
- Dränering (finns/saknas)
- Medierörsfog (t.ex. lödning/lödning kapillärmuff, lödning utkragning, svetsning)
- Yttermantelskarv (t.ex. betonglåda, glasfibermuff, asbestcementmuff, krympskarv, skjutmuff, stålmuff, elsvets, extrudersvets, svets)
- Hur upptäcktes skadan? (t.ex. allmänhet/kund, ånga i ventilationsrör, vatten på marken, vatten i fastighet, snösmältning, fuktlarm, rondering/besiktning, termografering, vattenförluster)
- Typ av fel (fabrikationsfel, installationsfel, konstruktionsfel, ålder, åverkan – för alla uppräpade typer kan var felet uppkommit också anges som medierör, medierörsfog, isolering etc.)
- Skadetyper (t.ex. inläckande vatten, utläckande mediavatten, annat som deformation av manteln)
- Beskriv skadeförlopp (t.ex. dåligt tätat, dålig svets, fabrikationsfel, felaktigt montage, inläckage av vatten, korrosionsläcka, kortslutning i larmöverkoppling, otäta krympband, spricka på mediaröret, svetsfel, spricka på mediaröret)
- Påverkan (kundpåverkan ja/nej; var det inträffade; timmar för reparation; aviserades ja/nej)

---

<sup>1</sup> Uppgifter från Energiföretagen, Thomas Lummi 2016-06-29

- Åtgärd (planerat utbyte föranlett av skada/reparation – för varje anges vad som utförts såsom byte av larmkoppling, byte av x meter ledning etc)

## 12 Bilaga 2: Kommentarer till fjärrvärmeenkäten

I denna bilaga redovisas de kommentarer som framkom i svaret på frågorna i fjärrvärmeenkäten.

### **Upplever ni att olika fabrikat på ledningar ger olika livslängd för samma typ av ledning?**

15 av 18 bolag svarade att det inte märkte någon skillnad i sina nät, endast ett bolag svarade ja, på frågan, men skrev i kommentaren att det främst rörde första generationens ledningar och inte dagens rör:

*“Det är inte direkt kopplat till fabrikat utan mer vilken typ av ledning. Första generationens PEH och aquawarm har visat sig inte vara så bra. Gällande dagens PEH-kulvertar är fabrikaten likvärdiga. Kvalité på muffar skiljer sig något mellan fabrikat, vilket i sig är starkt kopplat till att montage utförts korrekt”.*

Övriga kommentarer till frågan var:

*“Dålig muffningsteknik och larmteknik spelar stor roll.”*

*“Konstruktion och fabrikat när det gäller äldre ledningar, nyare ledningar är det inte ledningen som är problemet utan kvaliteten på svets och muffning.”*

*“Konstruktionen”*

*“Äldre ledningstyper och -konstruktioner”*

Utifrån svar och kommentarer förefaller det därför upplevas finnas liten skillnad mellan fabrik för nyare plastmantlade fjärrvärmeledningar, medan det för äldre konstruktioner skiljer sig betydligt mer (vilket inte är så konstigt med tanke på att det inte fanns några standardprodukter för äldre fjärrvärmerör). Den springande punkten för nyare ledningar är enligt enkäten muffar och svetsarbete.

### **Finns det några andra parametrar när det gäller själva ledningarna som ni tycker påverkar ledningarnas livslängd? Vilken/vilka? (t.ex dränering, fogtyp mm).**

Svaren på denna fråga var att det är muffar och montage som påverkar ledningarnas livslängd.

*“Val av skarvmuffar och kontroll av dessa i samband med montage”.*

*“På grund av tidigare val av skarvmuff så har förekomsten av markfukt stor betydelse”*

*“Typ av muffar och utförandet”*

*“Skarvar”*

*“Muffarnas täthet mot grundvatten”*

*“Fogtyp kan vara en parameter”*

*“Inläckage genom ytterhölje”*

*Betongkonstruktion/kammare”*

*“Dränering, muffning”*

*“Prio utöver konstruktion & design är krav på svetsen samt skarvmontaget (muffen) är högsta prio för livslängd i kombination med dränering och ventilation mm”*

*“Typ av mantelskarv på plaströrskulvert. Fungerande dränering på betongkulvertar”*

*“Framst muffningskvalitet, sedan svetskvalitet, ventiler verkar ha en kortare livslängd än övrig kulvert speciellt i trafikerad miljö. Vägsalter?”*

*“Efterarbete runt ledningar, man gräver för något annat och i samband med detta påverkar man den läggning som fjärrvärmerören har”*

*“Mantelskarvarnas kvalitet”*

*“Helt avgörande är en tät yttermantelskarv för där är det vi har haft mest rostangrepp efter vattenintrång”*

*“Dränering och det yttre skyddet som grund- och ytvatten ger direkt påverkan på livslängden”*

### **Hur påverkar dimensionen på ledningar skadefrekvensen i ert nät? Är detta olika för olika ledningstyper?**

Som synes i Figur X ansågs inte dimensionen på ledningar i sig påverkar skadefrekvensen. De som har värderat denna parameter högt har snarare kopplat dimensionens vikt för konsekvens vid skada och på detta sätt är ju detta en viktig parameter vid riskklassning:

*“I förhållande till totallängden”*

*“P.g.a konsekvens”*

Bland dem som har värderat parametern dimension som mindre viktig för skadefrekvensen kommenteras att man antingen har för lite underlag för att kunna göra en bedömning av detta, eller att man inte ser någon koppling mellan dimension och skadefrekvens:

*“Vi har inte de erfarenheterna då nätet är ungt”*

*“Vi har för lite skadestatistik för att svara”*

*“En ledningstyp, ser ingen skillnad avseende dimensioner”*

*“Vi ser ingen skillnad”*

*“Ingen påverkan”*

*“Ser ingen koppling mellan dimension och skadefrekvens”*

### **Hur viktig är parametern ålder för skadefrekvens och livslängden på ledningar?**

Ålder värderas relativt högt av de bolag som har svarat på enkäten, men samtidigt görs det klart i kommentarerna till frågan att ålder i sig inte är en avgörande parameter utan förläggning, drift, skötsel och omgivningsförhållanden påverkar naturligtvis åldrandet. Vidare kan ålder, eller snarare byggår representera en viss ledningsteknik eller vilka material som väljs att bygga fjärrvärmeledningar med. Framför allt är det muffar som anses problematiska och att dess kvalitet förbättrats med tiden.

Kommentarer till frågan om ålder anses vara en viktig parameter för ledningens skick:

*“Beror på hur noga man är och har varit med vattenkvalitet och kontroller i samband med montage”*

*“Håller länge om förhållandena i mark och vattenkemi är konstanta”*

*“Del av riskklassning som bär sannolikhet, konsekvens och avhjälpandetider”*

*“Framst muffkvaliteten som har förbättrats”*

*“Sämre muffmetoder ger vatten i skarvarna = rostangrepp”*

### **Även en fråga om åldrandet är olika för olika ledningstyper ställdes.**

*“Främst kopplat till skarvmuffar, inte röret”*

*“Gamla plåtmuffar är stor orsak till inläckage i skarvar”*

*“Det är konstruktionen som avgör livslängden”*

*“Beror mer på typ av ledning som användes olika år under 70-talet, vissa är mer skadebenägna”*

*“På ledningar som är byggda före 1990 ser vi sämre kvalitet på mantelskarvarna”*

*“En del äldre konstruktioner såsom Isoform, cellbetong, aquawarm och eternitkulvertar har visat sig ha låg livslängd”*

Svaren visar med tydlighet att för att parametern ålder ska kunna användas för att prediktera livslängd måste även ledningstypen vara känd och teorier/underlag finnas för hur materialet i den specifika ledningstypen åldras.

### **Hur viktigt är sättet som ledningen förbereds för ledningens livslängd?**

De flesta bolagen som har svarat på enkäten tycker att ledningsbäddens beredning har stor vikt för ledningens livslängd. Kommentarer från dem som har värderat denna parameter högt har pekat på förhållanden som är viktiga att tänka på och som också tas upp i Svensk Fjärrvärmes lägningsanvisningar:

*“Ingen återfyllnad runt kulverten med befintliga schacktmassor”*

*“Viktigt att ledningen har kontakt med hela ledningsbädden och kunna röra sig. Om inte ledningen ligger på hela bädden kan deformation uppstå på ytterhöljet när fyllning sker”*

*“Stora stenar i botten kan skada isoleringen på rören”*

Kommentarer från dem som värderade denna parameter lågt var följande:

*“Det finns tester utförda (av SP bl a) som visar att ledningsbädd har liten betydelse”*

*“Låg för modern plastkulvert”*

### **Hur viktigt är fyllnadsmaterial i ledningsgraven för fjärrvärmeledningens livslängd?**

Flertalet av fjärrvärmebolagen som svarade på frågan ansåg att fyllnadsmaterialet var av relativt stor vikt för fjärrvärmeledningens livslängd. I kommentarerna tog i stort sett alla respondenter upp att det är viktigt att se till att inga vassa stenar eller föremål hamnar intill plastmanteln på fjärrvärmeledningen som då kan skavas sönder.

### **Hur viktig är jordtypen som ledningen ligger i för ledningens livslängd?**

De flesta som svarade hade inte upplevt några problem med jordtyp eller fyllnadsmaterial. Några kommentarer framkom dock, främst kopplat till skarvar:

*“Vid blöt mark har vi ofta problem med inläckage i muffar”*

*“Beroende på risk för att manteln/skarvarna är otäta avgör vikten av omgivande jords betydelse”*

*“Kombinationen av vattenhaltig lerjord och plåtmuffat fungerar inte”*

*“Inga direkta erfarenheter, men bättre med laststpridande massor är att föredra”*

### **Hur viktig anser du att jordlasten är för ledningars livslängd?**

Som framgår av diagrammet så var detta en variabel som inte ansågs ha någon stor påverkan på ledningars livslängd.

*“Vi har ingen erfarenhet som tyder på det”*

*“BTG-kulvertar är känsliga för ojämna sättningar, men det är också kopplat till massorna under kulverten och dess uppbyggnad”*

### **Hur viktig är trafiklasten ovanför ledningen för ledningars livslängd?**

Kommentarer från enkäten kring trafiklasters påverkan på ledningars status och livslängd:

*“Nej inte på ledningar eftersom de ligger tillräckligt djupt för att inte skadas. Däremot är däcklar och nedstigningar utsatta för slitage”*

*“Betong är mer känslig”*

*“Baserat på våra ledningstyper har vi inte sett någon skillnad”(mellan ledningstyper - författarnas kommentar)*

*“BTG är känsligare än PEH”*

Utifrån svaren framkommer att betongkulvertledning ses som den känsligaste typen av ledning för just trafiklast, vilket överensstämmer bra med det som framkommer i litteraturen. Även brunnslock (däcklar) är utsatta för högt slitage på grund av trafik. Stela konstruktioner som betongkulvertar har svårare att ta upp laster än nyare mer följsamma konstruktioner.

### **Hur påverkar grundvattennivån livslängden på era ledningar? Påverkas olika typer av ledningar olika när de blir dränkta? Hur?**

Utifrån de svar som inkom poängteras att kvaliteten på muffarna är den viktigaste faktorn som avgör hur väl ledningen står emot vatten i dess direkta omgivning. För betongkulvertar är i stället är tätskiktet avgörande:

*“Rätt monterat ingen eller liten påverkan”*

*“Främst kopplat till skarvmuffarna och dess täthet”*

*“Viktigt att muffningen är gjord på rätt sätt så att inget vatten läcker in”*

*“Om muffarna är riktigt utförda så påverkar det inte speciellt mycket”*

*“Allt hänger på skarvarna”*

*“Kan orsaka inläckage i isolering på FV-kulvert”*

*“Vid hög grundvattennivå rostar ventiler”*

*“Dåliga muffar på platsrörskulvert som tar in vatten och orsakar korrosion på mediaröret, samt betong- och hålrörskulvert med dålig dränering där vatten kommer in i kammare och orsakar korrosion på ledningar och konstruktioner.”*

*“Vid ett tillfälle har vi haft ett muffläckage med vatten nivå som gått upp och ned och troligen tillfört syrehaltigt vatten vilket resulterat i gravrost”*

*“I områden med höga grundvattennivåer och dåliga muffar (stålpast eller dåligt montage) har vi haft problem”*



*“Fukt som tränger in till mediaröret gör att materialet korroderar, vattentäta ledningstyper klarar vatten bättre”*

*“BTG är känsligare än PEH. Bristande tätskikt på BTG är direkt kopplat till inläckage”*

### **Hur viktig anser du att vattenkvaliteten är för fjärrvärmeledningars livslängd?**

Fjärrvärmevattnet behandlas för att göra det mindre korrosivt. Rör för lågtempererade fjärrvärme av plast berörs därför inte på samma sätt. Vattenkvaliteten anses av de svarande vara lika viktig för stål som för kopparrör.

*“Vattnet ska vara så syrefritt som det bara går och dessutom ha pH i rätt nivå”*

*“pH mellan 9-10, delströmsfilter för att fånga upp fasta partiklar”*

*“Det förhindrar rost inifrån”*

*“Vattenkvaliteten är en av de viktigaste parametrarna för rörets livslängd”*

*“Detta är en grundförutsättning för livslängd och vår riskklassning att vi har rätt vattenkvalitet”*

*“För att undvika invändig korrosion”*

*“Syresatt vatten skapar rost”*

### **Hur viktig anser du att frekvensen för förändringar i framledningstemperatur är för ledningars livslängd?**

I kommentarerna till frågan framkommer att vissa bolag har upplevt direkta problem med skarvar, muffar och larmtrådar som de knyter till temperaturvariationer i ledningarna, samt för twinrör:

*“På enskilda ledning som varit utsatta för stora temperaturvariationer har vi drabbats av skador på muffar och larmtrådar”*

*“Primärt på twinrör då spänningar mellan fram & retur överskrider maxspänning, samt kondensproblem mellan fram & retur vid stora temperaturdifferenser och beroende på omgivande miljö mm.”*

*“Snabba och stora temperaturvariationer ger spänningar och påfrestar rören”*

I andra svar framkommer att man inte tror att temperaturvariationer i nätet har särskilt stor betydelse för ledningarnas livslängd så länge ledningarna har byggts på rätt sätt:

*“Måttliga temperaturvariationer är sannolikt harmlösa +-20-25 grader C”*

*“Om skarvarna är robusta och ledningen kan röra sig kan förändringarna tas upp och då spelar inte förändringarna någon roll”*

*“Viktigast att ligga på en låg framledningstemperatur stora delar av året”*

*“Om vi byggt enligt anvisningar för att reducera spänningar i materialet så tror vi att det har mindre betydelse”*

I ett bolag har man även genomfört beräkningar för utmattningscykler:

*“I beräkning vi har gjort för utmattningningscykler på distributions- och fördelningsledningar så konstaterades att dessa inte påverkar direkt den tekniska livslängden. Ev. servisledningen kan påverkas mer”.*

När det gäller skillnader i hur olika ledningstyper påverkas av temperaturförändringar föreslås att kopparledningar eventuellt inte bygger upp lika mycket spänningar som ledningar av stål, samt att servisledningar kan vara känsligare än övriga ledningar.