

# Reinvesteringsmodell för befintligt fjärrvärmenät

ÅSA ÅKERSTRÖM

*Institutionen för Kemisk Teknologi*  
*Kemisk Apparatteknik*  
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Lund, 2004



## Sammanfattning

Göteborg Energis fjärrvärmenät består idag av 820 km kulvertlängd. Reinvesteringstakten är ca 1 km kulvertlängd/år, vilket innebär att befintligt fjärrvärmenät ej kommer att vara utbytt förrän inom en 800-års period. Följaktligen kommer det att krävas att Göteborg Energi ökar denna reinvesteringstakt i framtiden.

Syftet med detta examensarbete är att utforma ett analys hjälpmedel (Excel) för att användas som beslutsunderlag för framtida reinvesteringar i det befintliga fjärrvärmenätet och vänder sig till deltagare i denna beslutsprocess.

Parametrar som modellen beaktar är omgivningsförhållanden, skadestatistik, miljöpåverkan, leveranssäkerhet och ekonomi. Omgivningsförhållanden som jordart, trafikbelastning och grundvattennivå tillsammans med kulverttyp påverkar risken för skada för en delsträcka av fjärrvärmenätet. Skadestatistik för Göteborg respektive hela landet tillämpas i modellen, som baseras på byggår, fabrikat, dimension och ålder för respektive kulverttyp. Miljöparametern bedöms med skillnaden i isoleringsförmåga, transmissionskoefficienten  $U$  (W/mK), mellan befintlig kulvertsträcka och nylagd kulvert. Leveranssäkerheten i modellen bedöms utifrån levererad effekt för respektive delsträcka, vilket indikerar hur stor konsekvensen av ett ledningshaveri blir. Den ekonomiska aspekten beaktas genom att modellen tar hänsyn till skillnader i kostnader mellan förnyelse eller fortsatt drift med befintlig delsträcka.

Modellen är lätt att använda med hjälp av tillhörande användarmanual. Användaren av modellen väljer hur man ska prioritera de olika parametrarna. Ett förslag till prioritering ges i rapporten utifrån Göteborg Energis förutsättningar.

För att testa modellen har en fallstudie utförts på två områden av Göteborg Energis fjärrvärmenät. Resultaten från fallstudien visar att inga sträckor i områdena är ekonomiskt lönsamma att förnya. Fallstudien visar dock att asbestcementkulverten generellt sett är den kulverttyp som är bäst att förnya dels ur ekonomisk synvinkel och dels för att den har hög skaderisk. Betongkulverten uppvisar låg risk för skada. Fasta direktskummade plastmantelrör är den kulverttyp som är mest oekonomiskt att förnya.

Nyckelord:

Fjärrvärme, fjärrvärmedistribution, fjärrvärmenät, reinvesteringsmodell, beslutsunderlag.



## Abstract

The district heating system of Gothenburg consists today of 820 km culvert length. The rate of reinvestment in the system is about 1 km per year. With the current rate the district heating system of today would take about 800 years to replace. This shows that the reinvestment rate in Gothenburg's district heating system needs to be faster in the future. The aim of this study is to make a spreadsheet model which will be used to make decisions of future reinvestments of the district heating system.

Parameters included in the model are: surrounding conditions of the pipe, statistics of damages, environmental influence, the safety of delivery and economy. The surrounding conditions such as soil type, traffic load and groundwater level for one section of district heating system affect the risk of damage and are related to the kind of pipe used. Statistics of damages with respect to year of construction, manufacturer, dimension and age for each kind of pipe are calculated on local level and national level. The environmental influence is estimated by the difference in insulating property, i.e. the coefficient of transmission  $U$  (W/mK), between the existing pipe and the new pipe. The safety of delivery in the model depends on the delivered power in each pipe. This indicates how large the consequences will be of a delivery cut down. The economical aspect takes to account the costs that will be affected by the choice between a new pipe and continued running with the old pipe.

There is a user's manual available for the model, which makes the model easy to use. The user is supposed to give priority to the different parameters in the model. A suggestion of how to prioritize is given, however.

A case study has been carried out in order to test the performance of the model. Reinvestment options for two areas of the district heating system in Gothenburg were studied. The result from the study shows that no pipes in these areas are economically profitable to change for new pipes. The case study shows however that culverts of asbestos cement are the kind of culvert which is best to change from an economical point of view - it also has a large risk to be damaged. The culvert of concrete has a low risk for damage. Preinsulated bonded district heating pipes is economically the most unfavourable culvert type to change.

Key words:

District heating, district heat distribution, district heating system, model of reinvestment, basis for decision-making.



## Förord

Detta examensarbete har under hösten 2003 och våren 2004 utförts på Institutionen för Byggnadsteknologi vid Chalmers Tekniska Högskola i samarbete med Göteborg Energi AB. Arbetet omfattar 20 poäng och utgör den avslutande delen i civilingenjörsutbildningen vid Kemiteknik på Lunds Tekniska Högskola.

Examensarbetet har inneburit en möjlighet för mig att få en inblick i fjärrvärmebranschen och i synnerhet Göteborg Energis fjärrvärmesystem. Det har också skapat ett stort intresse hos mig för fjärrvärmeområdet och arbetet kring detsamma.

Jag vill främst tacka: Lennart Hansson, handledare på Göteborg Energi, som är initiativtagare till examensarbetet och som varit till stor hjälp under examensarbetets gång, Ulf Jarfelt, handledare på Institutionen för Byggnadsteknologi, Charlotte Claesson, extra handledare på Institutionen för Byggnadsteknologi, för allmänt stöd, genomläsning av rapporten samt trevligt sällskap. Jag vill även tacka alla övriga som på ett eller annat sätt bidragit med hjälp och stöd under examensarbetets gång.

Slutligen hoppas jag att detta examensarbete skall vara till hjälp för de personer som skall besluta om vilka reinvesteringar som skall prioriteras i fjärrvärmenätet - eller i alla fall vara en intressant läsning!

Göteborg, april 2004

Åsa Åkerström





# Innehållsförteckning

<b>1 INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
1.1 BAKGRUND .....	1
1.2 SYFTE OCH BEGRÄNSNINGAR .....	1
1.3 METOD .....	2
1.4 RAPPORTENS UPPLÄGG .....	2
<b>2 FJÄRRVÄRMENÄTETS OLIKA KULVERTTYPER .....</b>	<b>3</b>
2.1 MEDIERÖR .....	3
2.2 ISOLERING .....	3
2.3 SKYDDSHÖLJE .....	4
2.4 GÖTEBORG ENERGI FJÄRRVÄRMENÄTS OLIKA KULVERTTYPER .....	4
<b>3 OMGIVNINGSFÖRHÅLLANDEN .....</b>	<b>8</b>
3.1 UNDERLAG FÖR RISKBEDÖMNING AV FJÄRRVÄRMELEDNINGAR .....	8
3.2 ÅLDER OCH UTBYGGNADSTAKT .....	9
3.3 MARKFÖRHÅLLANDEN .....	10
3.4 TRAFIKLASTER .....	12
<b>4 SKADESTATISTIK .....</b>	<b>13</b>
4.1 REGISTRERING AV SKADOR .....	13
4.2 HUR SKADOR UPPTÄCKS .....	13
4.3 PRIMÄRORSAKER TILL SKADOR .....	14
4.4 SKADEFREKVENNS MED AVSEENDE PÅ BYGGÅR .....	16
4.5 SKADEFREKVENNS MED AVSEENDE PÅ DIMENSION (DN) .....	17
4.6 SKADEFREKVENNS MED AVSEENDE PÅ FABRIKAT .....	17
4.7 SKADEFREKVENNS MED AVSEENDE PÅ ÅLDER .....	18
<b>5 MILJÖ .....</b>	<b>20</b>
5.1 VÄRMEFÖRLUSTER .....	20
5.2 ÖVRIGA MILJÖASPEKTER .....	22
<b>6 LEVERANSSÄKERHET .....</b>	<b>24</b>
6.1 LEVERANSSÄKERHETSNIVÅ .....	24
6.2 EFFEKT .....	24
6.3 ÅTKOMLIGHET .....	25
<b>7 EKONOMI .....</b>	<b>26</b>
7.1 KALKYLMODELL .....	26
7.2 KOSTNADSPOSTER .....	27
<b>8 BEDÖMNINGSMODELLEN FÖR REINVESTERING .....</b>	<b>30</b>
8.1 INDATA OCH ANTAGANDEN TILL MODELLEN .....	30
8.2 POSTER TILL DELSTRÄCKOR .....	32
8.3 OMGIVNINGSFÖRHÅLLANDEN .....	33
8.4 SKADESTATISTIK .....	34
8.5 MILJÖ .....	35
8.6 LEVERANSSÄKERHET .....	36
8.7 EKONOMI .....	36
8.8 RANGORDNING AV DELSTRÄCKOR .....	37
<b>9 FALLSTUDIE .....</b>	<b>39</b>
9.1 OMRÅDE 1 .....	39
9.2 OMRÅDE 2 .....	41
9.3 PRIORITERING MELLAN OMRÅDE 1 OCH 2 .....	42
9.4 DELSTRÄCKOR MED DELVIS KÄND KONDITION .....	42
9.5 SAMMANFATTANDE KOMMENTARER .....	44
<b>10 SLUTORD .....</b>	<b>45</b>

- Bilaga 1      Kommentarer till Svensk Fjärrvärme.
- Bilaga 2      Skadefrekvenser med avseende på byggår.
- Bilaga 3      Beräkning av U-värden (W/mK).
- Bilaga 4      Effekten på olika dimensioner (DN).
- Bilaga 5      Konsumentprisindex för respektive år.
- Bilaga 6      Besiktningsprotokoll.
- Bilaga 7      Resultat från fallstudien.
- Bilaga 8      Användarmanual till reinvesteringsmodellen.

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

I Sverige har utbyggnaden av fjärrvärme pågått kontinuerligt under de senaste 50 åren och idag får flertalet fastigheter i städer och tätorter värme och varmvatten via ett fjärrvärmenät. I Göteborg lades de första sträckorna av fjärrvärmenätet 1950 och idag består nätet av drygt 820 km kulvertlängd. Direktskummade plastmantelrör är idag den mest använda kulverttypen. Kulverttyper som användes för byggnation av fjärrvärmenätet på 1950, -60 och -70- talet, exempelvis betongkulvert och asbestcementkulvert, används inte längre vid nybyggnation. [1]

På grund av fjärrvärmenätets utbyggnad och ålder sammanställde Göteborg Energi i början av 90-talet en förnyelseplanering som skulle användas vid beslut om vilka delsträckor i fjärrvärmenätet som var i behov av förnyelse. För de sträckor som i företagets besiktningsprotokoll visade tecken på dålig kondition, beräknades manuellt ett riskprioriteringstal (RPT). I RPT ingår parametrar som kulverttyp, skadefrekvens för respektive kulverttyp, inkomstbortfall i form av värmeförluster, markförhållanden, ansluten effekt samt vilken typ av kund som är ansluten. Underlaget för viktning mellan de olika parametrarna i RPT är idag dessvärre okänd. [2], [3]

Ökande underhållskostnader, för att tillgodose kundernas förväntningar om rätt leveranssäkerhet, resulterade i att Göteborg Energi 1998 implementerade ett differentierat förebyggande underhåll som skulle bidra till att reducera kostnader till en likvärdig leveranssäkerhet. Varje delsträcka i fjärrvärmenätet har tilldelats ett ledningskonsekvenstal (LKT), som baseras på ledningstyp, flödeskapacitet i ledningen, skadefrekvens för respektive kulverttyp, åtkomlighet vid en eventuell reparation samt om sträckan är larmövervakad eller ej. Flödeskapaciteten i ledningen är den parameter som har viktats tyngst och som i flertalet fall avgör storleksordningen på LKT. Med utgångspunkt av LKT bedöms hur ofta en delsträcka i fjärrvärmenätet är i behov av underhåll alternativt tillsyn, varje år, vartannat år eller vart fjärde år. [3], [4]

Reinvesteringstakten av Göteborg Energis fjärrvärmenät är idag ca 1 km kulvertlängd/år, vilket innebär att befintligt fjärrvärmenät ej kommer att vara utbytt förrän inom en 800-års period. Fjärrvärmerören har en livslängd som är betydligt kortare än 800 år, vilket gör att en ökad reinvesteringstakt av Göteborg Energis fjärrvärmenät kommer att krävas i framtiden. [3]

## 1.2 Syfte och begränsningar

Den ansvarige för ett befintligt fjärrvärmenät ställs ofta inför en svår valsituation, om vilka delsträckor man ska prioritera att förnya. Hänsyn måste tas till ekonomi, teknik och andra konsekvenser som miljöeffekter och servicenivå för kunderna. Studiens syfte är att utforma ett analys hjälpmedel, en modell i Excel, som avser att användas som beslutsunderlag för framtida reinvesteringar i det befintliga fjärrvärmenätet. Modellen ska ge en indikation över risken att en skada uppstår på en specifik delsträcka med hänsyn dels till omgivningsförhållanden och dels till lokal och nationell skadestatistik. Andra upplysningar som modellen kommer att generera är ekonomiska, leveranssäkerhetsmässiga samt miljömässiga aspekter. [3]

Målet är att bedömningsmodellen ska användas till att prioritera delsträckor för reinvestering med en förhöjd risk för skada alternativt delsträckor som är ekonomiskt lönsamma/minst ogynnsamma att reinvestera bland alla delsträckor i fjärrvärmenätet alternativt områden därav.

Modellen skall även kunna användas till att avgöra vilken delsträcka som bör bytas ut i första hand, vid behov av prioriteringar mellan redan kända förnyelseobjekt. [3]

Rapporten riktar sig till personer som är ansvariga/förvaltare av ett befintligt fjärrvärmenät eller annan personal som är med i beslutsprocessen över reinvesteringar av delsträckor på fjärrvärmenätet. Bedömningsmodellen är framförallt tänkt att användas av lämplig personal på Göteborg Energi. [3]

Resultaten från bedömningsmodellen bör ses som riktlinjer och ej som exakta specifika svar. Arbetet kommer inte heller att besvara frågan hur stor felmarginalen kan vara eller osäkerhetsfaktorn av bedömningen. Förslag till viktning/kvotering och prioritering mellan de olika parametrarna i modellen kommer att redovisas, men huvudansvaret för kvotering kommer att lämnas till användaren av modellen, som bör ha lämplig bakgrund och stor kunskap om de förhållanden som råder på det studerade fjärrvärmenätet.

### **1.3 Metod**

Arbetet inleds med en litteraturstudie inom området fjärrvärme, som sedan alltmer inriktas mot en studie över faktorer som finns och bör beaktas vid en reinvestering av befintligt fjärrvärmenät. Intervjuer utförs med personer från främst Göteborg Energi för att erhålla uppgifter till inventering och antaganden som skall användas direkt eller indirekt i form av beräkningar till bedömningsmodellen. Bedömningsmodellen utvecklas i Windows programmet Excel.

### **1.4 Rapportens upplägg**

Rapporten inleds med kapitel 2 där läsaren ges en kort introduktion till hur fjärrvärmerör är uppbyggda och vilka kulverttyper som förekommer i Göteborg Energis fjärrvärmenät och i vilken omfattning.

Kapitel 3 tom 7 är en genomgång av de faktorer/aspekter som det är tänkt att modellen skall ta i beaktande. I kapitel 3 ges inledningsvis en bakgrund till varför omgivningsförhållanden som markförhållanden och belastningsförhållanden samt grundvattennivå har betydelse med avseende på risken för skada för respektive kulverttyp. Vidare ges en presentation av risknivåer för respektive omgivningsfaktor för respektive kulverttyp. Kapitel 4 innehåller allmän information om skadetyper samt en genomgång av resultat från skadefrekvensen både lokalt och nationellt med avseende byggår, dimension, ålder samt fabrikat för respektive kulverttyp. Miljöaspekten på en eventuell reinvestering som i detta fall enbart utgörs av värmeförlusternas påverkan behandlas i kapitel 5. I kapitel 6 ges en genomgång av vilka faktorer som tas i beaktande med avseende på leveranssäkerheten. Kapitel 7 innehåller den ekonomiska delen av modellen och hur dessa beräkningar är genomförda.

Kapitel 8 och 9 behandlar modellen i sin helhet. I kapitel 8 ges en sammanställning av vad bedömningsmodellen tar i beaktande. Kapitel 9 innehåller en fallstudie på två olika provområden i Göteborg Energis fjärrvärmenät, samt ett test över specifika delsträckor som vid besiktning ansetts ha dålig kondition.

I kapitel 10 diskuteras i korthet resultatet av modellen och hur modellen kan utvecklas i framtiden.

## 2 Fjärrvärmenätets olika kulverttyper

Fjärrvärmeledningen som byggnadskonstruktion består av två delar, ledningen i sig och den omgivande marken. De tre huvudfunktionerna för en fjärrvärmeledning är höljesfunktionen, den värmeisolerande funktionen och den medieförande funktionen. Huvudfunktionerna kan vara mer eller mindre integrerade i varandra vid olika kulvertkonstruktioner. [5]

### 2.1 Medierör

Medieröret har tillverkats i stål, koppar, plast m fl material. Medieröret skall med hänsyn till valt tryck och temperatur uppfylla ställda krav på hållfasthet mm för gällande normer och bestämmelser. Kraven gäller även rördelar och övriga i värmeledningen ingående komponenter. Stålrör, som är vanligast förekommande i primära fjärrvärmeledningar, består av järn, kol, små mängder av aluminium och kisel för dess svetsbarhet skull och kan innehålla spårämnen av mangan. [5], [6]

### 2.2 Isolering

Värmeledningarna måste förses med en lämplig isolering för att värmeförlusterna inte ska bli för stora. Den termiska konduktiviteten hos ett material karaktäriseras genom dess förmåga att transportera värme från en sida av ett material till en annan. Ett isoleringsmaterial har låg termisk konduktivitet. Värmeisoleringen har tidigare utförts av mineralull (MU) på fjärrvärmekulvertar men har på senare tid alltmer ersatts av polyuretanskum (PUR). [5]

#### 2.2.1 Polyuretanskum

Fabrikstillverkad isolering av polyuretanskum har en mycket god värmeisoleringsförmåga, lågt värmeledningstal, ca 0.03 W/mK och hög tryckhållfasthet. Skummet har låg densitet och har slutna celler vilket gör att isoleringens vattenuptagning är liten. PUR isoleringen baseras idag på en blandning av cyklopentan och koldioxid som blåsmedel vid tillverkningen och som isolergas i den färdiga produkten. Blåsgasen diffunderar ut från fjärrvärmeröret och ersätts av syre och kväve, vilket medför att isoleringens egenskaper försämras med tiden. Både skummets egenskaper och skyddsmantels egenskaper t ex materialtjocklek och resistans påverkar gasens diffusionshastighet genom rören. Tidigare baserades PUR isoleringen på klorfluorkarboner (CFC). I Sverige är tillverkning och import av PUR med CFC förbjudet sedan 1 juli 1991 på grund av att CFC bryter ner ozonet i stratosfären. [5], [6], [7]

#### 2.2.2 Mineralull

Mineralull har mycket hög temperaturlåghet och lågt värmeledningstal, ca 0.04 W/mK. Dessa egenskaper gjorde tidigare mineralullen till det mest använda isolermaterialet. Mineralullen är dock känslig för vattendränkning och fuktig mineralull ger en korrosiv miljö. Torkning av isolering efter dränkning är mycket energikrävande då stor ventilering av materialet erfordras. Mineralull tillverkas med diabas eller glas som utgångsmaterial, varav glas är det vanligaste idag, fibrerna bindes med fenolharts. Formbeständigheten hos de olika produkterna avgörs i första hand av volymvikten. På grund av skillnaden i materialegenskaper hos de båda mineralullstyperna räknar man med att diabasullen skall ha dubbelt så hög volymvikt som glasullen för att formbeständigheten skall vara likartad. [5], [8]

#### 2.2.3 Cellbetong

Cellbetong utgörs av cement, vatten och porbildande tillsatsmedel och har ett värmeledningstal på ca 0.16 W/mK. Cellbetong är en på arbetsplatsen tillverkad isolering. [5], [9]

## 2.3 Skyddshölje

Skyddshöljet som är ett mekaniskt skydd, skall klara de yttre belastningar som uppkommer av jordtryck, trafiklast, marksättningar, reaktionskrafter mm. Skyddshöljet skall fungera som fuktskydd för isolering och rörledning och skall därför vara tätt mot såväl utifrån som inifrån kommande vatten. [5]

### 2.3.1 Plast

Numera är förtillverkade värmekulvertar med skyddshölje av polyeten dominerande. Plastmantelrör prefabriceras i standardiserade längder, svetsas ihop och skarvas i den öppna kulvertgraven. Vid skarvning av polyetenhöljen används vanligen muffar i kombination med krympförband eller svetsförband i olika utföranden. De flesta egenskaperna hos polyeten bestäms av densiteten, ju högre densiteten är desto styvare och mer hållbar är ett skyddshölje av polyeten. Smälttemperaturen hos högdensitetspolyeten (HDPE) ligger mellan 115 och 140 grader. Goda egenskaper hos materialet är resistens mot de flesta kemikalier, god slagseghet, goda käldegenskaper och mycket låg vattenabsorption. Sämre egenskaper är bland annat låg värmetålighet, hög formkrympning och UV-känslighet. HDPE är ett material som har en positiv miljöbild och även ett högt återanvändningsvärde. [5], [6], [7]

### 2.3.2 Betong

Betongkulvert är vanligen förekommande vid större dimensioner. Betongkulverten kan gjutas på plats eller vara prefabricerad. Det bör finnas ett dräneringsrör i anslutning till kulverten. Eftersom det kan bildas sprickor i betongen bör betongkulvertar läggas med en svag lutning. Via dräneringsröret dräneras då det inkommande vattnet bort. [5], [7]

### 2.3.3 Asbestcimentrör

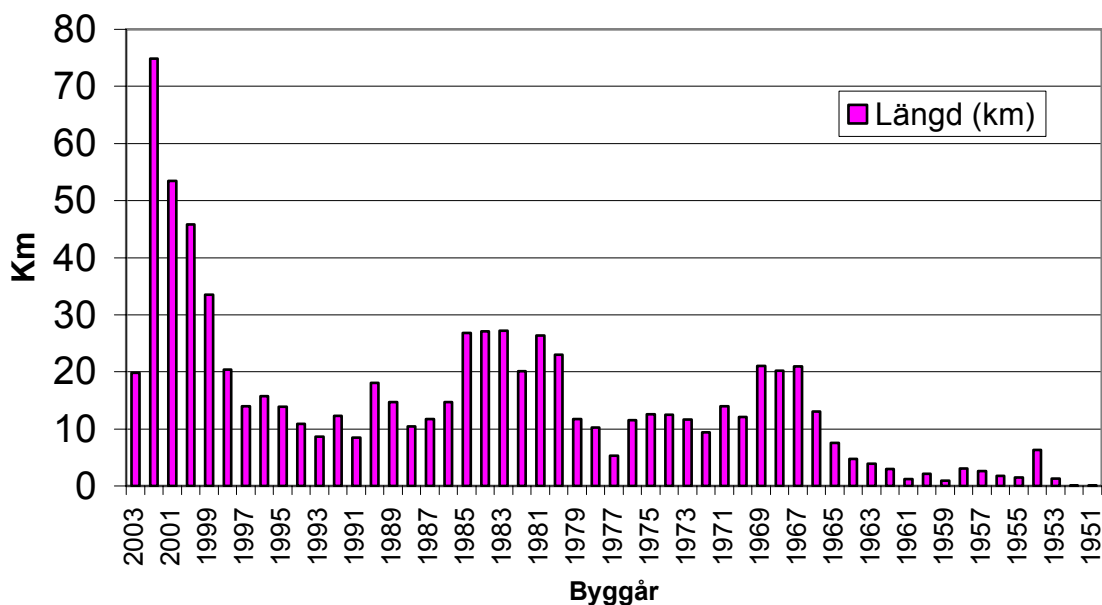
Asbestcimentrören eller eternitrör består av cement, vatten och asbestfibrer och tillverkas i rörlängder på cirka 5 meter. Asbestcimentrör har använts som skyddshölje i stor omfattning under 1950-, -60- och -70-talet. Asbestciment klassificeras inte som miljöfarligt men dock som mycket hälsofarligt på grund av dess innehåll av asbest. Asbestprodukter är nu förbjudet av hälsoskäl i Sverige och används därför inte längre vid nybyggnation. [5], [6]

### 2.3.4 Övrigt

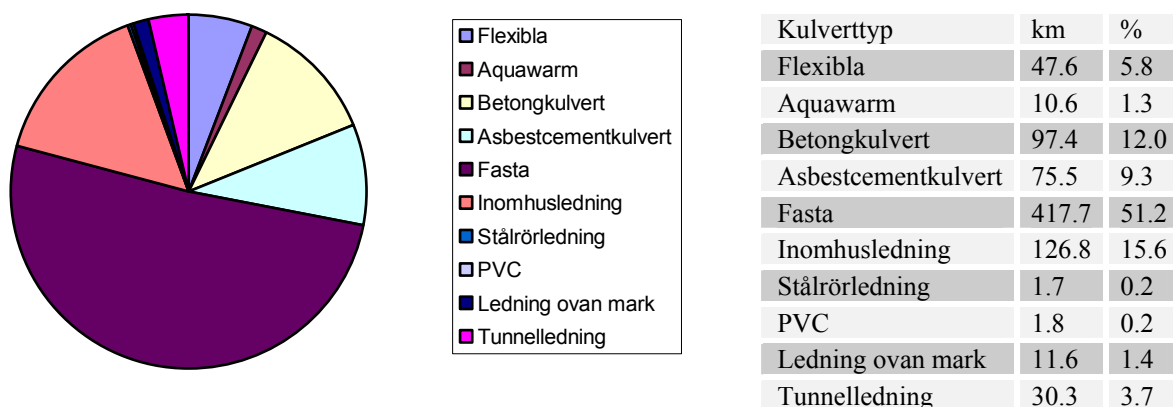
Skyddshölje av stål förekommer i mindre omfattning. Bergtunnlar som finns för andra typer av ledningar (va, tele mm) kan om möjligt även de användas till skyddshölje för fjärrvärmeledningar. [5]

## 2.4 Göteborg Energi fjärrvärmenäts olika kulverttyper

Göteborg Energis fjärrvärmenät är idag drygt 820 kulvertkilometer långt. Utbyggnadstakten av Göteborg Energis fjärrvärmenät genom åren samt andelen som idag finns av respektive kulverttyp illustreras med hjälp av figur 1 och 2. [1]



Figur 1 Utbyggnad av Göteborg Energis fjärrvärmenät fram till år 2003.



Figur 2 Andel av respektive kulverttyp i Göteborg Energis fjärrvärmenät år 2003.

**2.4.1 Fasta direktskummade plastmantelrör (fasta), enkel respektive dubbelrör**  
Kulverttypen började byggas i slutet av 1970- talet i Göteborg och utgör idag ca 51 % (417.7 km) av den totala kulvertlängden. Kulverten består av ett medierör av stål, isolering av polyuretan (PUR), ett skyddsror (mantelrör) av högdensitetspolyeten (HDPE) samt en larmtråd, som ger indikation på fukt, av koppar, se figur 3. PUR - isoleringen skummas direkt mot stålröret och mantelröret och ger ett fast förband mellan dessa. Den vanligaste typen är enkelrörskonstruktion, med en tillloppsledning och en returledning i samma rörgrav. På senare år har det blivit allt vanligare med dubbelrörskonstruktioner för klenare dimensioner (DN 15-150) på grund av en bättre värmeisoleringsförmåga. [1], [7]

**2.4.2 Flexibla direktskummade plastmantelrör (flexibla), enkel respektive dubbelrör**  
De senaste åren har flexibla rör börjat läggas alltmer och utgör 6 % (47.61 km) av Göteborg Energis totala kulvertlängd. Fördelen med dessa flexibla rör är bl a att det blir kortare rördragning och färre skarvar än motsvarande fasta rör. Flexibla direktskummade

plastmantelrör består av ett medierör i koppar eller stål, isolering av PUR samt ett mantelrör av lågdensitetspolyeten (LDPE), se figur 3. [1], [7]



Figur 3 Enkelrör respektive dubbelrör av direktskummade plastmantelrör.

#### 2.4.3 Betongkulvert med mineralull respektive cellbetong som isolering

Kulverten består av ett medierör av stål, isolering av mineralull eller cellbetong och ett skyddshölje av betong, se figur 4. På mineralullsisoleringen finns papp och ett skyddshölje med kalltjära för att skydda mineralullen från att åldras. Med cellbetong som isolering menas att betonglådan med fjärrvärmerör fylls med cellbetong. Göteborg Energi började anlägga betongkulvert i början av 1950-talet och den lades till slutet av 1980-talet. Totalt finns 97.44 km betongkulvert nedgrävt i Göteborg vilket utgör 12 % av den totala längden av fjärrvärmenätet. Endast 6.9 km av betongkulverten utgörs av isolering med cellbetong och resten är isolerad med mineralull. [1], [5], [7], [11]

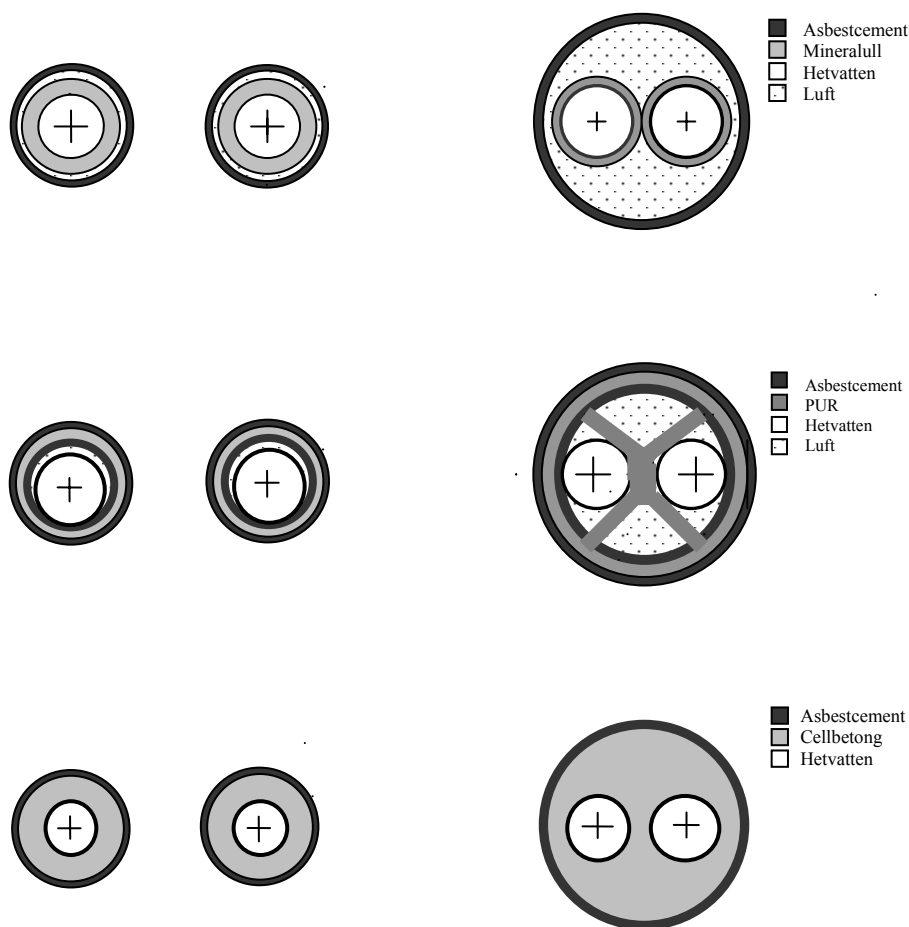


Figur 4 Betongkulvert med isolering av cellbetong (vänstra figuren) och mineralull (högra figuren).

#### 2.4.4 Asbestcementkulvert med mineralull, PUR respektive cellbetong som isolering, enkelrör respektive dubbelrör

Asbestcementkulvert byggdes från 1950-talet fram till slutet av 1970-talet. Det finns totalt ca 75 km asbestcementkulvert i Göteborgs Energis fjärrvärmenät vilket utgör ca 9 % av det totala ledningsnätet. Kulverttypen består av ett medierör av stål, isolering av PUR, mineralull eller cellbetong samt ett skydds rör av asbestcement, se figur 5. Kulverttypen finns i enkel resp dubbelrör. Polyuretanisolerad asbestcementkulvert består av två stycken eternitrör, ett yttre skydds rör och ett inre hålrör. Utrymmet mellan dessa fylls under tryck med polyuretan. I kulvertar med tvårörledning isoleras de ineliggande rören från varandra med en genomgående X-profil av PUR. Det finns ca 20 km av asbestcementkulvert med isolering av PUR nedgrävt i Göteborg, av cellbetong finns endast 3 km och resten, 60 km, av asbestcementkulverten är isolerad med mineralull. [1], [5], [7], [42]





**Figur 5 Asbestcementkulvert enkelrör respektive dubbelrör med isolering av mineralull (övre figuren), polyuretan (mitten figuren) och cellbetong (nedre figuren).**

#### 2.4.7 Övriga

Inomhusledningar, utgör ca 16 % (126.76 km) av fjärrvärmenätet. Som framgår av namnet är dessa kulvertar dragna genom fastigheter, genom källarlokalerna o dyl. Kulverttypen har ett medierör av stål, isolering av mineralull och ett skyddshölje av plastplåt. Ledning ovan mark (ovanjordsledning) utgör 1.4 % av den totala ledningslängden och har samma uppbyggnad som inomhusledningar men ett skyddshölje av aluzinkplåt. Aquawarmrör är en tidig typ av flexibla ledningar som består av ett medierör av koppar, isolering av mineralull samt ett mantelrör av polyeten. Aquawarmrören utgör 1.3 % av den totala ledningslängden. Stålrörskulvert (SKY) som har ett medierör och ett mantelrör av stål samt mineralull som isolering, utgör endast 0.2 %. PVC-rör har ett medierör av stål, isolering med PUR och ett mantelrör av polyvinylklorid (PVC), utgör 0.2 % av den totala ledningslängden. Tunnelledningar (TUN), ledningar i bergrum, kan utförandemässigt likna betongkulvertar. De har samma isolering, upplag, värmeexpansionsupptagande anordningar mm fränsett att tunnelledningarna inte behöver betongskal. Tunnelledningar utgör 3.7 % av den totala kulvertlängden. [1], [3], [7]

### 3 Omgivningsförhållanden

Livslängden för ett ledningsnät påverkas av såväl den yttre som den inre miljön. I ett fjärrvärmenät representeras den inre miljön närmast av vattenkvalitet, inre tryck och temperatur. Den yttre miljön utgörs främst av omgivande jordarter, grundvatten, samt jord- och trafiklast. Andra faktorer som är viktiga för ledningsnätets livslängd är kvaliteten på de levererade rören och kvaliteten på utförandet av läggning och fogning. [12]

En ledning i mark utsätts för yttre påverkan av jord- och trafiklast. Avgörande för denna påverkans storlek och karaktär är fyllningshöjden. För jordlasten gäller att påverkan på röret i stort sett växer linjärt med djupet under markytan medan trafiklastens inverkan avtar med ökad fyllningshöjd. Fjärrvärmeledningar läggs normalt med en fyllningshöjd på 0.6 meter. Trafiklastens inverkan på ledningar som ligger på 0.6 meters djup är väsentligt större än inverkan av jordlast. [12]

Kringfyllnaden runt ledningarna utgörs av sand eller grus med god bärighet. Resterande återfyllning utförs med det material som erfordras med hänsyn till kraven på ovanförliggande markyta. Jordarterna närmast kulvertören är därför normalt fasta och bärkraftiga, däremot kan de omgivande jordarterna i vilka schaktet utförs variera alltifrån lös lera eller lösa organiska jordarter till fast morän eller berg. Bärigheten hos dessa olika jordarter varierar kraftigt och de ger vid belastning upphov till mycket olika sättningar i ledningen. Jordarterna i marken utanför rörgraven bedöms därför vara en intressant omgivningsfaktor. [12]

För att avsedd livslängd skall erhållas hos markförlagda fjärrvärmeledningar måste isoleringen runt medieröret hållas torr om fjärrvärmeledningen utgörs av ett stålrör. Höljet och dess skarvar måste därför ha god vattentätet. Om ledningsgraven är dränerad och dräneringen fungerar minskar risken för att vatten skall komma in i isoleringen i det fall höljet eller någon skarv ej är helt vattentät. Eftersom fjärrvärmeledningar normalt läggs förhållandevis grunt kommer fjärrvärmeledningarna att hamna över den naturliga grundvattennivån vid läggning i gata med dränerad gatubyggnad. [12]

Det är i samspelet mellan kulvert, omgivande mark och laster, som riskerna för skador uppstår. Kulvertens täthet och dess elasticitet blir då de två egenskaperna som är mest intressanta, givet att materialet i kulverten inte undergår förändringar under påverkan av fjärrvärmevattnets temperatur. [12]

#### 3.1 Underlag för riskbedömning av fjärrvärmeledningar

Vid bedömning av kvarstående livslängd för olika fjärrvärmerör vore en värdering av inverkan av olika omgivningsförhållanden önskvärd. Därför utfördes en utredning över detta av författarna till rapporten *"Underlag för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar"* [13]. Denna utredning innehåller inventering av rapporterade skadefall till Svensk Fjärrvärme för Malmö, Uppsala och Västerås under perioden 1992-1997 samt en analys av sambandet mellan skador och olika omgivningsförhållanden. Merparten av återstående material i detta kapitel grundar sig på denna utredning. [13]

I ovan nämnda studie är material avgränsat till skador på de typer av fjärrvärmerör som finns i de flesta kommuner dvs betongkulvert med mineralull respektive cellbetong som isolering, asbestcementkulvert, direktskummande plastmantelrör och Aquawarmrör. Skador på

inomhusledningar, ledningar ovan mark, kammare och brunnar har exkluderats. De studerade skadefallen delas in i följande fyra fall av primärsaker: skador på ytterhöljet, skador på fog i ytterhöljet, skador på medieröret samt grävskador. Totalt ingår 656 skador i undersökningen. För respektive kommun har jordartskartor, stadskartor och kartor över fjärrvärmenätet studerats och kompletteras med läge för de rapporterade skadorna. Detta har gjort det möjligt att t ex uppskatta hur stor andel av asbestcementrören i Uppsala som ligger i jordarten lera och hur många skador som rapporterats på denna del. [13]

På basis av undersökningsresultaten har det skisserats en metod för bedömning av risken för skador och förkortad livslängd hos ledningssträckan eller del av ett ledningsnät. Begreppet risk, med definitionen  $\text{risk} = \text{sannolikhet} \cdot \text{konsekvens}$ , avses i det här fallet endast risken för skador på den betraktade ledningssträckan eller det aktuella nätavsnittet. Vid bedömningen av risknivåerna har beaktats de resultat som framkommit ur analysen av skaderapporterna. Även personalens erfarenheter vid de undersökta värmeverken och författarnas erfarenheter har beaktats. Risknivåerna har valts i en skala 1-5 där poängen 1 innebär låg risk och poängen 5 hög risk. [13]

I tabell 1 nedan anges de beteckningar som använts i [13] för de olika kulverttyperna (rörtyperna) i den följande beskrivningen av olika riskparametrar.

**Tabell 1 Beteckningsnummer för de olika rörtyperna[13].**

Rörtyp	Beskrivning
1	Betonglåda med isolering runt medierören
2	Betonglåda fylld med cellbetongsisolering
3	Asbestcementkulvert
4	Aquawarm
5	Preisolerat, styvt HDPE-mantlat rör med fastskummat medierör (enligt EN 253)
6	Preisolerat, styvt HDPE-mantlat rör med rörligt medierör (hålör eller glidskikt)
7	Helplaströr, preisolerat med hölje av HDPE och medierör företrädesvis av PEX

### 3.2 Ålder och utbyggnadstakt

Ledningsnätets ålder och därmed också utformningen varierar kraftigt mellan de studerade kommunerna. Resultaten visar att utbyggnadstakten under anläggningskedet tycks enligt statistiken ha större inverkan på skadefrekvensen än ledningarnas ålder. Perioder med hög utbyggnadstakt har medfört hög skadefrekvens. Asbestcementkulvert och betongkulvert med cellbetong som isolering är de rörtyper som har högst skadefrekvens. För bedömning av risknivå för de olika kulverttyperna med avseende på ålder och utbyggnadstakt, se tabell 2. [13]

För asbestcementkulvert, dvs rörtyp 3, har risknivån modifierats för bättre överensstämmelse med ålder och typ av kopplingar för rörtyperna i fråga med hänsyn till Göteborg Energis förutsättningar, se tabell 2. [3]

**Tabell 2 Bedömd risknivå med avseende på ålder och byggnadstakt [13].**

Rörtyp	Utförande	Risk
1	Äldre än 30 år	4
1	Yngre än 30 år	1
2	Samtliga	5
3	Samtliga	4.5
4	Äldre än 20 år	4
4	Yngre än 20 år	2
4	Utförd under intensiv byggperiod	5
5	Äldre än 20 år	4
5	Yngre än 20 år och enligt EN 253	1
5	Utförd under intensiv byggperiod	5
6	Samtliga	5
7	Samtliga	5

### 3.3 Markförhållanden

#### 3.3.1 Allmänt om jordarter

Jordarterna delas upp i lera, silt, sand, grus, sten och block. Jord är ett trefasmaterial bestående av korn, vatten och gas. Kornen och partiklarna i sand, silt och lerfraktioner är i regel sk enkristaller av ett visst mineralslag, medan gruskorn, sten och block nästan uteslutande utgörs av bergarter, som innehåller flera olika mineralslag. Sand och siltkorn är ofta ovala eller runda, och även kantiga, medan lermineralerna är tunna bladformiga partiklar. Lermineralerna är alla ytaktiva och omger sig med ett hölje av mer eller mindre fast bundet vatten. I silt och grövre jordar är kornen i kornskelettet i direkt kontakt med varandra medan lerpartiklarna inte direkt vidrör varandra. Organisk substans återfinns i jord i form av rötter, blad, rottrådar och djur, men även som rester av mikroskopiska djur, alger och organiska molekyler eller föreningar. [14], [15]

En jords geotekniska egenskaper beror oftast bl a av de enskilda kornens form och kornens inbördes mängdförhållande (kornfördelning). Kornfördelningen påverkar således hållfasthet, deformationsegenskaper, kapillaritet, permeabilitet mm. En jord som belastas kommer att deformeras. Om jorden är vattenmättad medför deformationen att vatten måste pressas ut ur jorden. För jordar med hög permeabilitet sker denna volymminskning momentant medan om permeabiliteten är låg fördröjs deformationen eftersom det då tar en viss tid för vattnet att strömma ut. Deformationer i låg permeabla jordar, främst leror och siltiga leror, karakteriseras därför av ett stort tidsberoende. Jordens tekniska egenskaper påverkas påtagligt även vid relativt små halter av förekomsten av organiskt material. De beror dels på att det organiska materialet binds kemiskt till de ytaktiva lermineralerna, dels på att det organiska materialet ofta har mycket låg densitet och är poröst och därmed mycket deformerbart. För sammanfattning över jordarters tekniska egenskaper se tabell 3. [14], [15]

**Tabell 3 Sammanfattning över jordarters tekniska egenskaper [13].**

<b>Lös lera och organisk jord</b>	Liten hållfasthet och stor sättningsbenägenhet p g a belastningsökning eller grundvattensänkning. Liten vattengenomsläpplighet.
<b>Fast lera och lermorän</b>	Stor hållfasthet och liten sättningsbenägenhet. Liten vattengenomsläpplighet.
<b>Silt</b>	Mellanjordart med liten hållfasthet vid vattenöverskott. Måttlig sättningsbenägenhet. Blir starkt uppmjukad vid omrörning vid närvaro av vatten och starkt tjälskjutande .Svårhanterad. Liten vattengenomsläpplighet.
<b>Friktionsjord (sand/grus)</b>	Kräver schakt med slänt. Föga sättningsbenägenhet. Måttlig till stor vattengenomsläpplighet.
<b>Morän</b>	Stor hållfasthet. Mycket liten sättningsbenägenhet. Liten till måttlig vattengenomsläpplighet.

### 3.3.2 Bedömd risknivå med avseende på jordart

Resultaten från undersökningen visar att fjärrvärmerör i lerområden eller i gränsområden mellan lera och fastmark har oavsett rörtyp, högre skadefrekvens än rör i områden med andra geotekniska förhållanden. Den ökande 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. För bedömd risknivå med avseende på jordart se tabell 4. [13]

**Tabell 4 Bedömd risknivå med avseende på jordart [13].**

Riskparameter	Rörtyp						
	1	2	3	4	5	6	7
Jordart							
Lös lera/silt/organisk jord	4	5	5	3	3	4	2
Sand/grus	2	2	2	1	2	2	2
Morän/lermorän/rensat berg	1	1	1	1	1	1	1
Sprängbotten/sprängstensfyllning	2	2	5	5	5	5	5
Övergång lös lera/fast mark	4	5	5	1	2	4	2

### 3.3.3 Bedömd risknivå med avseende på grundvattennivå

I Sverige är nederbörden ofta som störst under vinterhalvåret. Nederbörden resulterar i en ökad mängd sjunkvatten och därmed en högre grundvattennivå. Sjunkvatten och grundvattennivån ökar båda sannolikheten för vatteninläckage genom en värmekulverts ytterhölje och därmed risken för korrosionsskador. För bedömd risknivå med avseende på grundvatten, se tabell 5. [13]

**Tabell 5 Bedömd risknivå med avseende på grundvattennivå [13].**

Riskparameter	Rörtyp						
	1	2	3	4	5	6	7
Grundvattennivå							
Lågt grundvatten/god dränering	2	2	2	2	2	2	2
Högt grundvatten/dålig dränering	4	5	3	3	3	3	3

### 3.4 Trafiklaster

Till skillnad mot jordlasten är trafiklasten dynamisk till sin natur, d v s den ger enkelt uttryckt också upphov till skakningar och vibrationer i marken. Dessa kan leda till omlagringar och sättningar i jord- och fyllningslagren omkring kulverten och orsaka oönskade rörelser i denna. Dessa effekter ökar med trafiklasternas storlek och frekvens. En förändring av trafikmönstret över en kulvert kan därför leda till rörelser i kulverten som under ogynnsamma förhållanden kan ge upphov till fogläckage eller sprickbildning i kulverthöljet även om kulverten hållfasthetsmässigt varit dimensionerad för den direkta lasten från trafiken. [12] [13]

I studien har trafiken delats in i 4 grupper; ingen, lätt, stads-, respektive tung trafik vid analys av skaderapporterna. Ringleder, genomfartsleder och även leder med busstrafik redovisas under tung trafik. Lätt trafik innebär trafik i bostadsområden som t ex villaområden samt parkeringsytor. [13]

Ingen tydlig trend för trafiklastens inverkan på skadefrekvensen kan utläsas ur statistiken, sannolikt beroende på att ledningarna i gator med tung trafik i allmänhet har en gynnsam placering i gatusektionen. Man kan i alla de tre studerade kommunerna se att Aquawarm- och plaströr inte verkar vara speciellt känsliga för tung trafik, eftersom många skador ligger i lätt eller ingen trafik alls. För asbestcementkulvert och betongkulvert isolerad med cellbetong har dock högre skadefrekvens noterats i gator med tung trafik än gator med ingen trafik alls. För bedömd risknivå med avseende på belastningsförhållande se tabell 6. [13]

**Tabell 6 Bedömd risknivå med avseende på belastningsförhållande [13].**

Riskparameter	Rörtyp						
	1	2	3	4	5	6	7
Belastningsförhållanden							
Lätt trafik	1	1	1	1	1	1	1
Tung trafik	2	3	3	2	2	3	2
Förändrat trafikmönster	3	4	4	3	3	4	3

## 4 Skadestatistik

### 4.1 Registrering av skador

#### 4.1.1 Nationellt

Nuvarande Svensk Fjärrvärme bildades 1968 och har sedan dess kontinuerligt samlat in statistik om ledningsskador. Svensk Fjärrvärme har under många år utgivit ”Kulvertskadestatistik” som är en sammanfattning av kulvertlängder och kulvertskador vid svenska energiföretag. Sedan 1995 erhålls denna statistik på Internet. Eftersom en nationell aspekt över skadefrekvensen av fjärrvärmekulvertar är önskvärd till bedömningsmodellen har Svensk Fjärrvärmes statistik studerats. På grund av bristfällig information i denna statistik har Svensk Fjärrvärmes databas över inrapporterade skador funnits till förfogande inom ramen för detta examensarbete. Databasen omfattar skador från år 1995 och framåt, vilket innefattar drygt 5000 skador. Även databasen över nätlängder har funnits till förfogande. Dessa databaser finns alltså ej tillgängliga för medlemmar av Svensk Fjärrvärme idag. För mer information och kommentarer över Svensk Fjärrvärmes skadestatistik hänvisas till bilaga 1. [16], [17], [18]

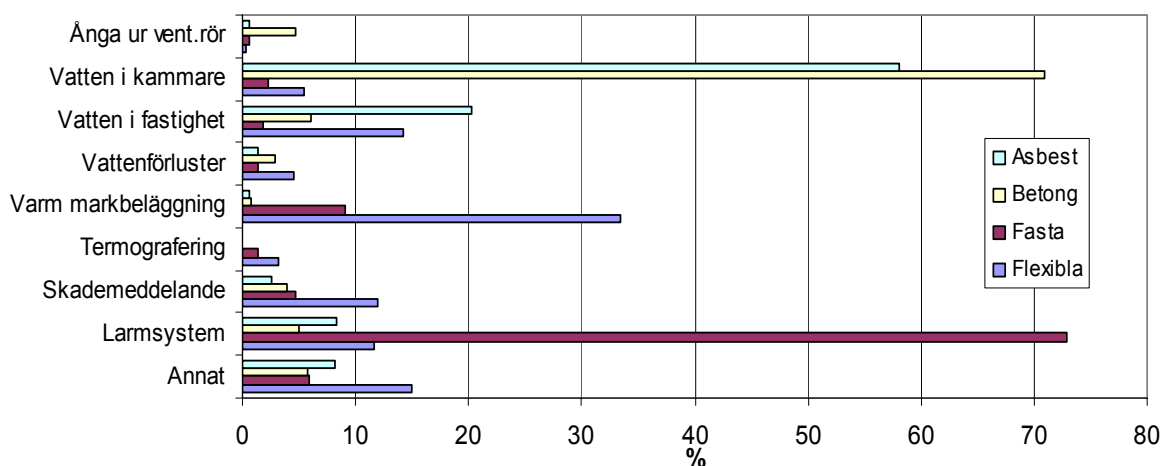
#### 4.1.2 Lokalt

Sedan år 1995 ska alla skador som inträffar på fjärrvärmenätet som ägs av Göteborg Energi registreras i Svensk Fjärrvärmes nätbaserade skadestatistik. I studien har dessvärre framkommit att enheten på Göteborg Energi som ansvarar för läckageskador inte har som rutin att registrera skador hos Svensk Fjärrvärme. Enheten registrerar enbart skadorna internt. Detta bör åtgärdas dels för att Svensk Fjärrvärmes statistik ska bli mer tillförlitlig och dels för att det underlättar för Göteborg Energi att ha alla skador samlat till en enhet när analys och bearbetning av skadorna ska göras. [3]

Alla skador som inträffat på Göteborg Energis fjärrvärmenät från 1995, dels skador registrerade hos Svensk Fjärrvärme och dels läckageskador registrerade internt har införts till en databas. Varje skada registreras med en skadeidentifikation (från Svensk Fjärrvärme eller Göteborg Energi), året då skadan inträffar (skadeår), årtalet den skadade delsträckan installerades till fjärrvärmenätet (byggår), kulverttyp, fabrikat, nominell diameter på medieröret (DN) och kostnaden för reparation eller förnyelse. Utifrån denna skadedatabas, som består av drygt 500 skador och Göteborg Energis databas av delsträckorna i fjärrvärmenätet har skadefrekvenser med avseende på byggår, fabrikat och dimension beräknats. I framtiden ska alla skador på Göteborg Energis fjärrvärmenät registreras till denna databas och skadefrekvenserna ska lämpligen uppdateras årligen.

### 4.2 Hur skador upptäcks

För kulverttyperna asbestcementkulvert, betongkulvert, fasta och flexibla direktskummade plastmantelrör har statistik över hur skador upptäcks för respektive kulverttyp utförts, se figur 6. Denna statistik baseras på inrapporterade skador till Svensk Fjärrvärme under perioden 1995- 2003.

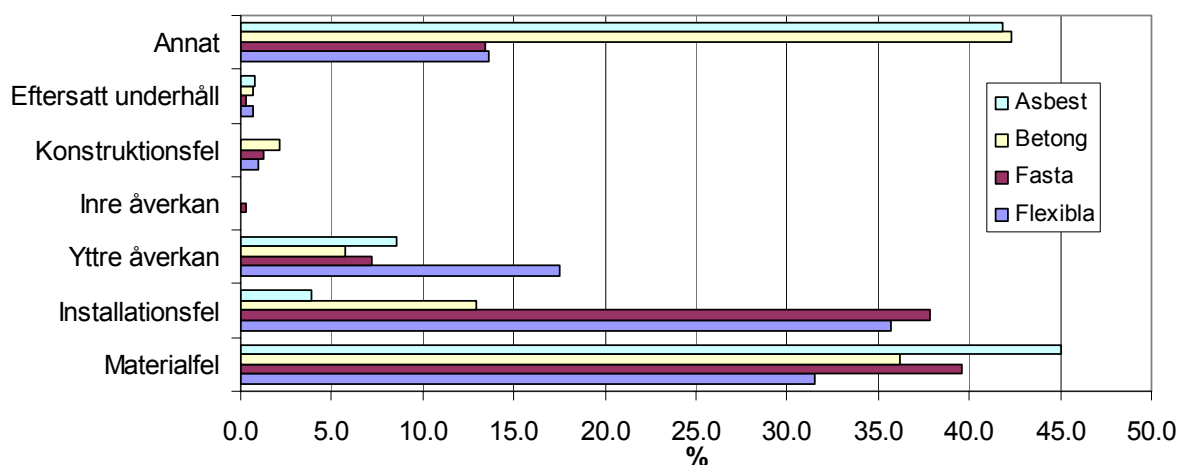


**Figur 6 Hur skador upptäcks för kulverttyperna asbestcementkulvert, betongkulvert samt flexibla och fasta direktskummade plastmantelrör, baserat på skador inrapporterade till Svensk Fjärrvärme från 1995 till 2003.**

Av figur 6 framgår att den största orsaken (73 %) till att skador upptäcks på fasta direktskummade plastmantelrör är via larmsystem. För asbestcementkulvert och betongkulvert är den vanligaste upptäckten av skador vatten i kammaren.

#### 4.3 Primärorsaker till skador

För kulverttyperna asbestcementkulvert, betongkulvert, fasta och flexibla direktskummade plastmantelrör har statistik tagits fram över primärorsaken till skador för respektive kulverttyp, se figur 7, baserat på inrapporterade skador till Svensk Fjärrvärme under perioden 1995- 2003.



**Figur 7 Primärorsaker till inträffade skador för kulverttyperna asbestcementkulvert, betongkulvert samt fasta och flexibla direktskummade plastmantelrör, baserat på skador inrapporterade till Svensk Fjärrvärme från 1995 till 2003.**

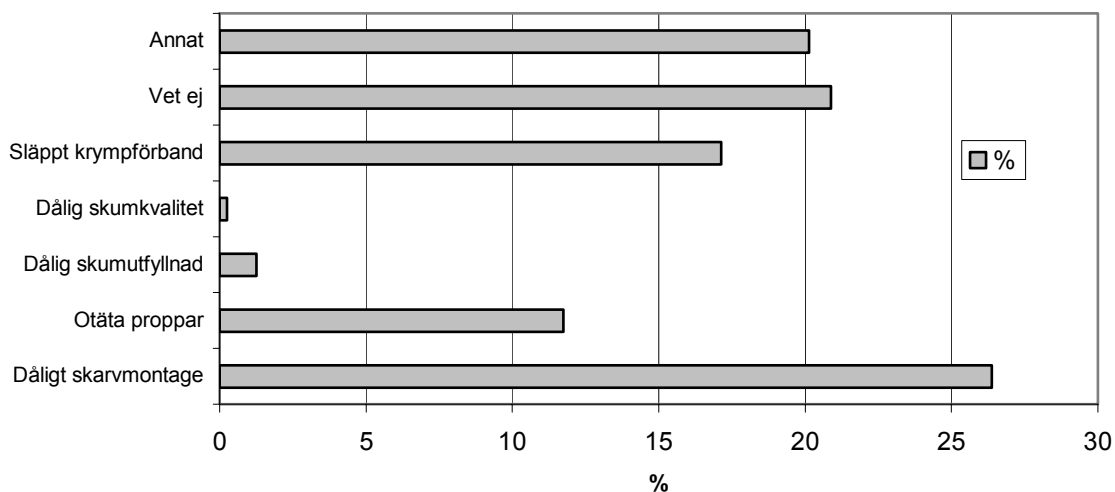
I primärorsaken materialfel ingår skador som orsakats av felaktigt levererade material så som fel på mantel, medierör, isolering eller skarv. Skador som uppkommit på grund av åverkan vid hanteringen, medierörsarbete samt skarvmontage klassificeras som installationsfel. Yttre



åverkan innefattar fel som orsakats av yttre faktorer som grävskador efter idrifttagande. Inre åverkan innefattar skador orsakade av vattenkvalitet, temperatur och tryckväxlingar i medierören. I figur 7 framgår att skador på betongkulvert och asbestcementkulvert orsakas till stor del av materialfel. Materialfel för de här kulverttyperna är främst relaterat till manteln (ytterhöljet), 64 % för asbestcementkulvert och 46 % för betongkulvert. Vidare råder oklarheter över vad primärorsaken ”annat” innefattar, men troligtvis är många skador relaterade till någon form av yttre åverkan. [18]

I figur 7 framgår att övervägande primärorsak till skada för fasta och flexibla plastmantelrör är materialfel och installation av rören. Den stora andelen som orsakas av materialfel på rören indikerar att fjärrvärmerörets kvalitet är av stor betydelse vilket gör att fjärrvärmerörens fabrikat bör tas i beaktande av skaderisken. Den stora andelen skador som relateras till installationen av rören indikerar att utbyggnadstakten ska beaktas vid risken för skada. Olämplig hantering av rören under installationen kan vara till exempel att återfylla med sten etc som kan skada ytterhöljet, att släpa rörlängderna mot hård yta vilket kan ge skador på ytterhöljet, att inte montera centreringsstöd eller ändtätningar vilket gör medieröret mer utsatt vid ett eventuellt läckage och att slarva vid lödning eller svetsning av medierör vilket ger möjlighet till läckage av hetvatten med skador på mantelröret som följd. [13]

För fasta direktskummade plastmantelrör är 30 % av primärorsakarna till skadorna relaterade till skarvar, 18 % av dessa relateras till montage och 12 % till materiel. För flexibla direktskummade plastmantelrör är andelen som relateras till skarvar 12 %. I figur 8 nedan ges en sammanställning över orsaker till skarvskador.



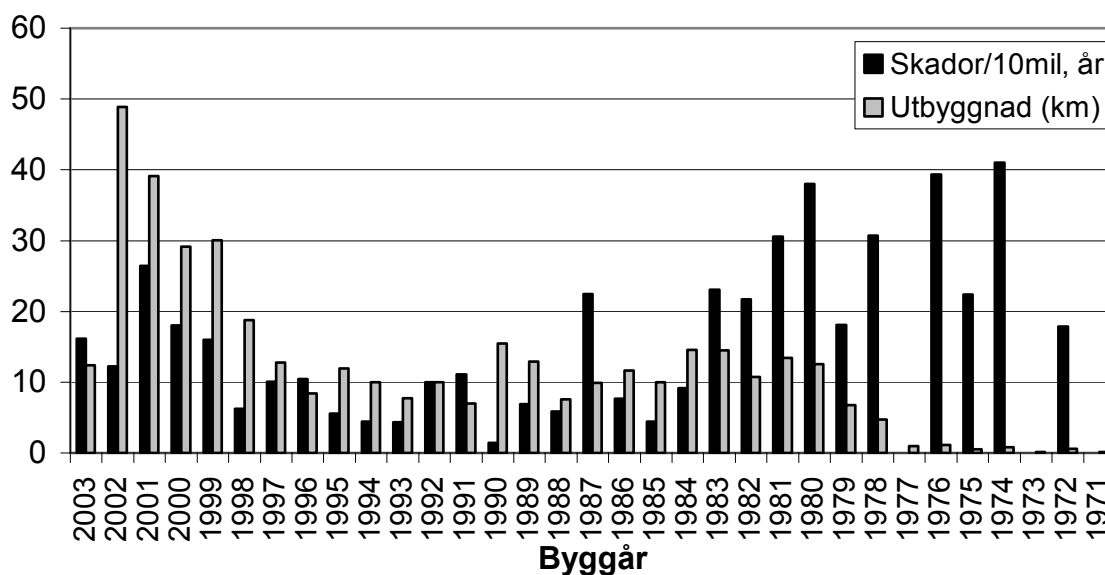
**Figur 8 Orsaker till skarvskador på fasta och flexibla direktskummade plastmantelrör, baserat på inrapporterade skador till Svensk Fjärrvärme 1995-2002.**

Skarvarnas utformning och utförande har stor betydelse för rörens livslängd och underhållsbehov då de ger olika förutsättningar för t ex sättningar, yttre åverkan och grundvatteninträning. För direktskummade plastmantelrör förekommer ett antal olika skarvsystem. I databasen saknas i regel vilken typ av skarvsystem som använts. Av denna anledning kan en skadefrekvens med avseende på skarvsystem inte beräknas. [13]

#### 4.4 Skadefrekvens med avseende på byggår

Skadefrekvensen med avseende på byggår har beräknats på lokal nivå för betongkulvert, asbestcementkulvert, inomhusledning, fasta direktskummade plaströr och flexibla direktskummade plaströr. Varje kulverttyp tilldelas för varje skadeår en skadefrekvens (med enheten skador/km, år) för samtliga byggår. Detta beräknas genom att antalet skador för en viss kulverttyp som refererar till ett specifikt byggår divideras med nätutbyggnaden det specifika skadeåret för kulverten i fråga. Ett medelvärde för varje byggår för respektive kulverttyp beräknas därefter, baserat på samtliga skadeårs skadefrekvenser.

I figur 9 nedan illustreras skadefrekvensen med avseende på byggår för fasta direktskummade plastmantelrör samt utbyggnadstakten av kulverttypen (se bilaga 2 för övriga kulverttypers skadefrekvens med avseende på byggår). Den höga skadefrekvensen för kulvertar byggda på 1970- talet har sannolikt att göra med kvaliteten på rören vid denna tid. I början av 1980-talet var utbyggnadstakten hög för denna typ av kulvert, vilket kan ha lett till slarv vid montering av rören etc. Slarvet i kombination med dålig kvalitet på rören kan vara orsaken till den höga skadefrekvensen dessa årtal. Den förhållandevis höga skadefrekvensen för rör byggda de senaste åren, från 1999 och framåt kan med stor sannolikhet relateras till den höga utbyggnadstakten.



Figur 9 Utbyggnadstakt och skadefrekvens för fasta direktskummade plastmantelrör. Skadefrekvens baseras på skador från åren 1995-2003.

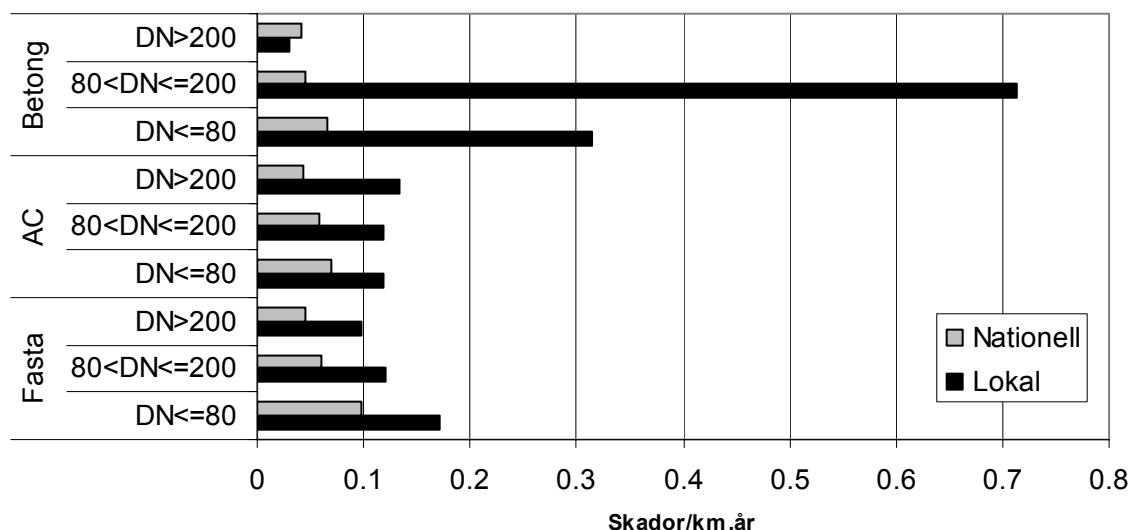
Skadefrekvensen med avseende på byggår på lokal nivå för kulverttyperna stålrörskulvert och Aquawarmrör är inte beräknad. Istället beräknas skadefrekvensen genom att för varje skadeår dividera antalet skador med den totala ackumulerade nätutbyggnaden. Beräkning görs för båda kulverttyperna. Ett medelvärde för respektive kulverttyp beräknas därefter baserat på samtliga års skadefrekvenser.

Skadefrekvensen med avseende på byggår på nationell nivå har inte kunnat beräknas på grund av att tillförlitlig information ej finns om byggåret för nätlängderna. För kulverttyperna Aquawarm och flexibla direktskummade plastmantelrör beräknas istället skadefrekvensen, enligt stycket ovan, genom att för varje skadeår dividera antalet skador med den totala ackumulerade nätutbyggnaden. För kulverttyperna asbestcementkulvert, betongkulvert och

fasta direktskummade plastmantelrör är skadefrekvensen med avseende på DN (nominell diameter på medieröret i mm) istället beräknad, enligt 4.5.

#### 4.5 Skadefrekvens med avseende på dimension (DN)

För kulverttyperna asbestcementkulvert, betongkulvert och fasta direktskummade plastmantelrör är skadefrekvensen med avseende på DN beräknad lokalt samt nationellt. Dimensionerna är uppdelade i tre olika intervall, DN mindre eller lika med 80, DN som är större än 80 och mindre eller lika med 200 samt DN som är större än 200. Skadefrekvensen beräknas genom att man för varje skadeår, för respektive kulverttyp, dividerar antalet skador med den totala ackumulerade nätutbyggnaden för DN intervallet och kulverttypen i fråga. Ett medelvärde för varje DN intervall för respektive kulverttyp beräknas därefter baserat på samtliga skadeårs skadefrekvenser.



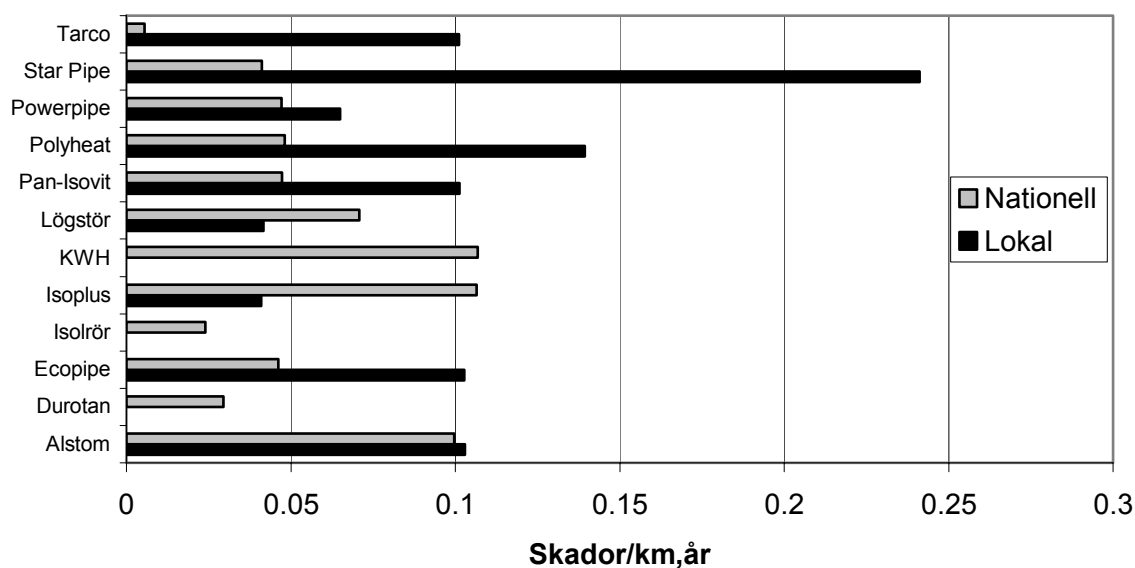
Figur 10 Skadefrekvensen med avseende på DN för kulverttyperna asbestcementkulvert, betongkulvert samt fasta direktskummade plastmantelrör, nationellt samt lokalt som baserat på skador från år 1995-2003.

Resultaten enligt figur 10 visar att grova ledningar har en lägre skadefrekvens än klena ledningar, vilket även har framkommit av bulgariska undersökningar [19]. Betongkulverten i dimensionsintervallet större än 80 och mindre eller lika med 200 på lokal nivå uppvisar en mycket hög skadefrekvens. Sannolikt beror detta på att 2/3 av kulvertlängden i fråga utgör betongkulvert isolerad med cellbetong. Enligt figur 10 är skadefrekvensen på lokal nivå generellt högre än på nationell nivå. Anledningen till detta beror troligtvis på att inte alla skador som inträffar nationellt rapporteras till Svensk Fjärrvärme, liknande fallet i Göteborg som nämnts tidigare i 4.1.2. [1]

#### 4.6 Skadefrekvens med avseende på fabrikat

För kulverttypen fasta direktskummade plastmantelrör har skadefrekvensen med avseende på fabrikat beräknats lokalt samt nationellt. På lokal nivå är inte läckageskador (enligt 4.1.2) medräknade. Detta på grund av att information om fabrikat inte är angivna vid registreringen av dessa skador. Skadefrekvensen är beräknad genom att för varje skadeår dividera antalet

skador med den totala ackumulerade nätutbyggnaden för fabrikket i fråga. Ett medelvärde för varje fabrikat beräknas därefter baserat på samtliga skadeårs skadefrekvenser.



**Figur 11 Skadefrekvensen med avseende på fabrikat för fasta direktskummade plastmantelrör, nationellt samt lokalt som baserat på skador från år 1995- 2003.**

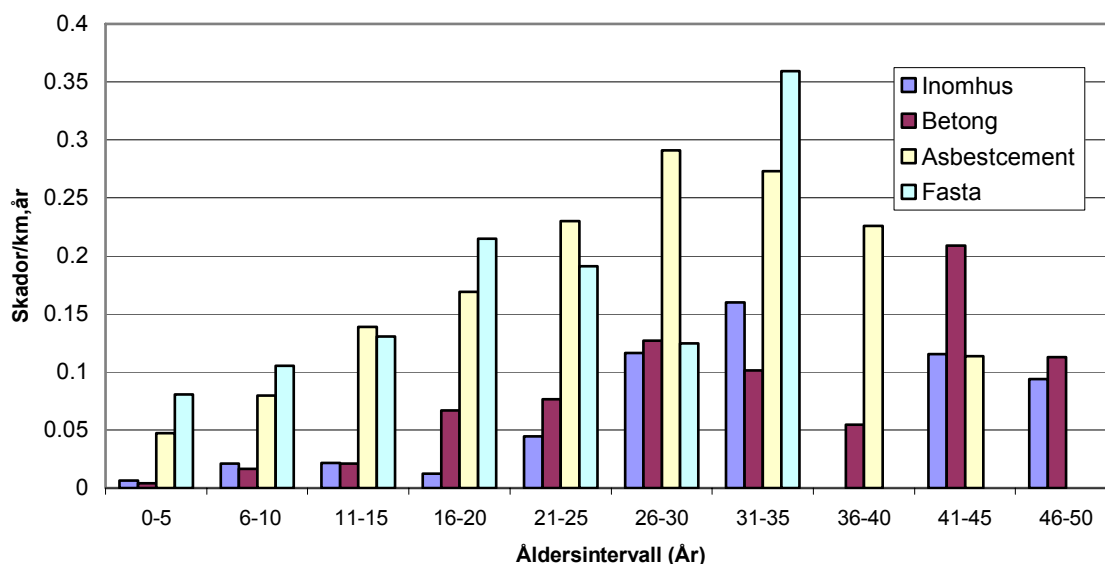
Av figur 11 ovan framgår att skadefrekvensen är hög för fabrikket Star Pipe, men även förhållandevis hög på Tarco, Polyheat, Pan-Isovit, Ecopipe och Alstom på Göteborgs Energis fjärrvärmenät. Alstom har även en hög skadefrekvens på nationell nivå tillsammans med KWH och Isoplus. Skillnaden i skadefrekvens mellan lokal nivå och nationell nivå för exempelvis fabrikket Star Pipe kan bero av att detta fabrikat lades i Göteborg under tidigt 1980- tal då utbyggnadstakten var hög och därav kan vara orsaken till den höga skadefrekvensen.

För kulverttypen flexibla direktskummade plastmantelrör har skadefrekvensen med avseende på fabrikat beräknats nationellt. Kulverttypen i fråga har otillräcklig information på lokal nivå för att skadefrekvensen ska anses som tillförlitlig.

#### 4.7 Skadefrekvens med avseende på ålder

Göteborgs Energi började 1974 att registrera skador som uppstod på fjärrvärmenätet. Skadefrekvenser med avseende på åldersintervall beräknades, uppdelat på asbestcementkulvert, betongkulvert, fasta direktskummade plastmantelrör och inomhusledningar. Skadefrekvensen för respektive kulverttyp är uppdelade i åldersintervall på 5 år. ”Ålder” är skillnaden mellan skadeåret och byggåret. Tillvägagångssättet för att beräkna skadefrekvensen med avseende på åldersintervall för respektive kulverttyp förklaras med hjälp av ett exempel. Skadeår 2003 inträffar 5 skador på delsträckor av fjärrvärmenätet med kulverttypen asbestcementkulvert som har en ålder inom åldersintervallet 31-35. Detta skadeår är den totala kulvertlängden, för denna kulverttyp inom detta åldersintervall, 20 km. Skadefrekvensen, skadeår 2003 för kulverttyp asbestcementkulvert inom åldersintervallet 31-35, beräknas genom att dividera antal skador (5) med nätlängden (20) vilket blir 0.25 skador per km och år. Ett medelvärde för kulverttypen asbestcementkulvert inom åldersintervallet 31-35 beräknas därefter baserat på samtliga skadeårs skadefrekvenser. [20]

Uppdatering av skadefrekvensen med avseende på ålder för åren 1998- 2003 har utförts inom ramen för studien. Skadefallen är erhållna från registreringen av skador hos Svensk Fjärrvärme och internt från Göteborg Energi. Skador från 1999 är förlorade med undantag av läckageskador vilket gör att år 1999 inte har tagits med i den här statistiken.



**Figur 12** Skadefrekvens med avseende på ålder för kulverttyperna asbestcementkulvert, betongkulvert, fasta direktskummade plastmantelrör och inomhusledning, lokal nivå som baserat på skador från år 1974-2003.

Skadefrekvensen i figur 12 ovan vikt skadefrekvensen för ”dagens” skadeår av fasta direktskummade plastmantelrör i åldersintervallet 0-5 år i samma omfattning som ”äldre” skadeår. Detta gör att statistiken bör vara olämplig att använda för direktskummade plastmantelrör, då kulverttypen har utvecklats mycket från 1970-talet fram tills idag. Statistiken kan däremot användas till betongkulvert, asbestcementkulvert samt inomhusledningar.

Det bör observeras att byggåret från den skadade kulverten inte är registrerat. Däremot är skadeåret, åldersintervallet samt kulverttypen registrerade. På detta sätt kan inte statistiken med avseende på ålder användas till att beräkna skadefrekvensen med avseende på dimension, fabrikat och byggår etc.

## 5 Miljö

*”All energiförsörjning inverkar negativt på miljön. Det betyder att vi axlar ett stort ansvar, en insikt som vi tar på största allvar. Därför är miljöaspekterna centrala, oavsett om vi förser kunder med ljus, kraft, värme eller kyla.”* Citatet erhålls från informationsmaterial ”Din vardag. Vår värld.” [21], utgivet av Göteborg Energi. Ovanstående åberopar att bedömningsmodellen för reinvestering av fjärrvärmenät ska innehålla en miljöaspekt.

Livscykelanalyser på fjärrvärmerör har utförts för att utreda miljöpåverkan från ett fjärrvärmerör under hela dess livslängd som inkluderar produktion, läggning, drift och skrotning. Av resultaten från studien [10] framgår att värmeförluster innebär den största miljöpåverkan från fjärrvärmerör. Värmeförlusten kan relateras till de utsläpp som uppkommer vid produktionen av värmen som används i fjärrvärmenätet. Dessa utsläpp påverkar miljö negativt och bidrar bland annat till den globala uppvärmningen av vår värld, på grund av spridning av växthusgaser. [7], [10]

### 5.1 Värmeförluster

Värmeförlusterna från en svensk produktionsanläggning till konsumenten är ca 10 %. I småhusområde uppgår andelen distributionsförluster till 10-30 % medan en regional transitledning endast har 1-2 % värmeförluster. Storleken på andelen distributionsförluster av producerad värme i ett fjärrvärmesystem beror på fyra faktorer: hur väl rören är isolerade, hur grova rören är, vattentemperaturen på tillopp och returledning samt den geografiska koncentrationen på värmebehovet. Vid val mellan förnyelse eller fortsatt drift av en befintlig delsträcka berörs endast två av faktorerna som påverkar värmeförlustens storlek, nämligen hur väl rören är isolerade och hur grova medierören är. Vattentemperaturen på tillopp och returledning samt den geografiska koncentrationen av värmebehovet kommer att vara desamma oavsett om man låter det befintliga röret ligga kvar eller om man väljer att förnya. Om man däremot ska prioritera mellan olika delsträckor har dessa faktorer betydelse men detta blir för komplext att ha med i bedömningsmodellen, vilket gör att dessa faktorer inte beaktas med avseende på värmeförlustens storlek i modellen. [7]

#### 5.1.1 Beräkning av transmissionskoefficienten (U)

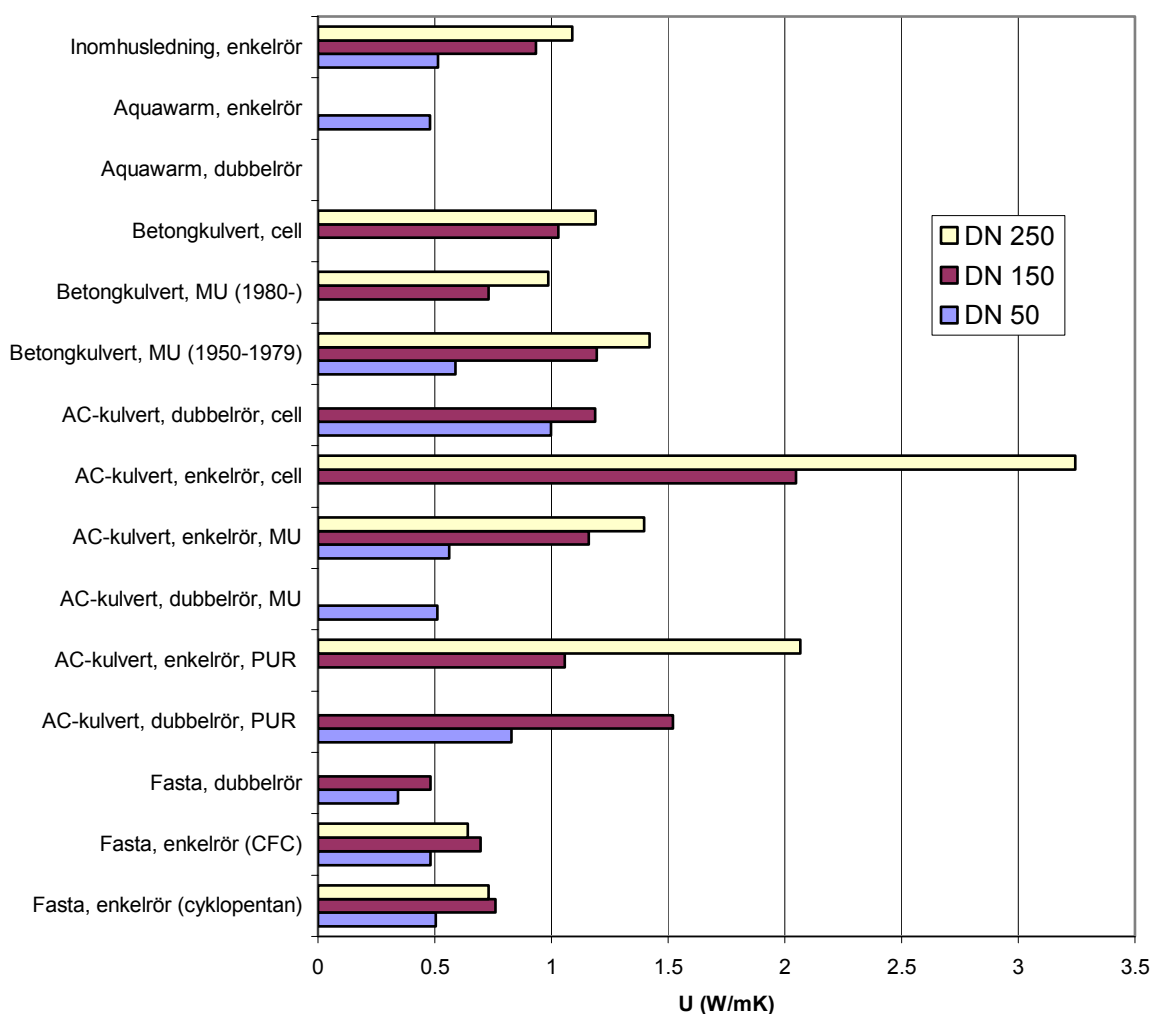
Distributionsförlusten från ett specifikt fjärrvärmerör beror dels på rörkonstruktionen, enkel- eller dubbelrörkonstruktion, dels på rördimensionen och isoleringstjockleken. [7]

Det totala värmemotståndet utgörs huvudsakligen av två värmemotstånd, isoleringsmotståndet som fås av den isolering (polyuretanskum, mineralull mm) som appliceras för att nedbringa värmeförlustens storlek, och markmotståndet som indirekt erhålls genom att ledningen markförläggas. Övriga värmemotstånd är motstånd för gemensamma temperaturfält samt ett ventilationsmotstånd. Värmemotståndet från isoleringen dominerar det totala värmemotståndet. Markmotståndets andel av det totala motståndet är i medeltal 10-15 % för distributionsledningar som byggs idag. Generellt är värmemotståndet för sammanfallande temperaturfält litet jämfört med de övriga värmemotstånden. Värmemotstånd på grund av ventilation finns i kulvertar med mineralullisolerade medierör med skyddshöljen av betong eller asbest. Ventilationen fungerar enligt självdragsprincipen för ventilation där den varma luften, kulvertens lutning och vindtryck är drivkraften. [7], [8]

Rörkonstruktioners isoleringsförmåga kan redovisas i transmissionskoefficienten (U) vilket anger hur många watt som förloras per meter rör och per grad Kelvin. För samtliga

dimensioner för respektive kulverttyp har ett U-värde beräknats. För antagande och formler för beräkningar av U-värdet för samtliga dimensioner för respektive kulverttyp, samt en sammanställning av alla uträknade U-värde se bilaga 3. För beräkning av U-värdet för kulverttyper med polyuretanskum har EkoDim, som är ett Windows-baserat beräkningsprogram för värmeförluster från markförlagda fjärrvärmerör använts. Programmet tar bland annat hänsyn till att värmeförlusterna ökar med tiden på grund av gasdiffusion i isoleringen. [22]

I figur 13 nedan visas beräknade U-värde för DN 50, 150 och 250 för respektive kulverttyp.



**Figur 13** Transmissionskoefficienten (U) för DN 50, 150 och 250 för olika kulverttyper.

I figur 13 framgår att U-värdet varierar kraftigt med avseende på kulverttyp. Direktskummade plastmantelrör har betydligt lägre U-värde än motsvarande för asbestcementkulvert och betongkulvert. Direktskummade plastmantelrör med dubbelrörskonstruktion är den kulverttyp som har lägst U-värde, för DN 150 minskas U-värdet med 37 % om dubbelrör väljs istället för enkelrör.

### 5.1.2 Beräkning av värmeeffektbesparingen

Värmeeffektbesparingen i enheten watt för en delsträcka beräknas enligt

$$\Delta q = \Delta U \cdot \Delta T \cdot L$$

där

$$\Delta U = U_{befintlig} - U_{ny}$$

$$\Delta T = \frac{(T_{tillopp} + T_{retur})}{2} - T_{omgivning}$$

$\Delta q$	Värmeeffektbesparing/värmeeffektförlost (W)
$U_{ny}$	U-värde nyanlagd kulvert för en specifik delsträcka (W/mK)
$U_{befintlig}$	U-värde befintlig kulvert för en specifik delsträcka (W/mK)
$T_{tillopp}$	Årsmedeltemperaturen för tilloppsledningen baserat på hela fjärrvärmenätet (K)
$T_{retur}$	Årsmedeltemperaturen för returledningen baserat på hela fjärrvärmenätet (K)
$T_{omgivning}$	Årsmedeltemperaturen för omgivande mark (K)
$L$	Kulvertlängd av delsträcka (parvisa rör) (m)

### 5.1.2 Tecken på onormalt höga värmeförluster

Vid besiktning av en delsträcka kan personalen få indikationer på att värmeförlusten är onormalt hög, genom att till exempel konstatera att ledningen har blivit dränkt, se bilaga 6 för besiktningsprotokoll. Ett annat sätt att konstatera höga distributionsförluster från kulvertar är att genom flygfotografering vintertid. Området ovanför kulvertar med höga värmeförluster är då snöfria. Det är svårt att avgöra hur mycket värmeförlusterna ökar, därför tas inte detta upp som en mätbar parameter i modellen utan bara som en indikation, på de sträckor som vid besiktning eller dyl visar tecken på att värmeförlusten är stor. [8], [23]

En blöt isolering innebär inte bara en risk för korrosion utan även en ökning av värmeförlusterna. Fuktig och blöt mineralull försämrar värmeisoleringsförmågan eftersom en ökad energitransport uppstår vid förångning av vatten. Efter upprepade dränkningar eller långvarig hög fukthalt i kulvertsystem kan ett rostlager binda fast isoleringen, rosten tränger in en bit i isoleringen och försämrar isoleringsförmågan. Lerslam etc som följer med inläckande vatten ökar värmeförlusten eftersom det fastnar i isoleringen och minskar porvolymen. Leran är dessutom hygroskopisk och kan därmed bidra till ett snabbt korrosionsangrepp på stålrören. Om fukt tränger in i PUR-isoleringen reduceras dess isolereffekt men inte lika markant. [8], [23]

## 5.2 Övriga miljöaspekter

Andra parametrar som skulle kunna ingå som miljöaspekter i bedömningsmodellen är materialvalet och konstruktionen på de olika kulvertyperna som ger eventuella utsläpp då de är nergrävda i marken samt vid en eventuell uppgrävning/avfallshantering av kulverten. [6]

Ur ett miljöperspektiv om hur vida man ska låta de gamla rören ligga kvar i marken eller grävas upp vid en eventuell reinvestering finns för- och nackdelar för båda alternativen. Fördelar om rören lämnas kvar i marken är att man slipper emissioner från grävmaskiner och



lastbilar och man får heller inget förvaringsproblem. Nackdelarna kan vara resursslöseri och framtida problem med för många rör i marken. Fördelarna om rören grävs upp är bland annat att vissa material kan återanvändas eller återvinnas och ett omhändertagande innebär en mer kontrollerad uppsikt över materialen. En nackdel i detta sammanhang är emissionerna som uppstår vid uppgrävning och transport av rören. [6]

Om blåsmedlet i polyuretanskummet består av CFC är detta det största hotet mot miljön eftersom det bryter ner ozonlagret. Diffusion av CFC till atmosfären sker oavsett om rören ligger kvar i marken eller om de deponeras. Från asbestcimentrören innehållande PUR isolering med CFC har det mesta av gasen troligtvis redan diffunderat ut från röret eftersom asbestcement är ett ganska poröst material. Det kan diskuteras i fall de fasta direktskummande plastmantelrören som innehåller PUR-skum med CFC bör omhändertas för att förhindra att all gas läcker ut i miljön. [6]

Dessa parametrar samt eventuellt andra parametrar har bortsetts från och är ej inkluderade i miljöaspekten till bedömningsmodellen.

## 6 Leveranssäkerhet

VD har ordet-.....”vi kommer fortsätta den påbörjade utvecklingen mot ett än effektivare företag som erbjuder säkra leveranser och som även erbjuder tjänster som kan göra livet enklare och bekvämare för våra kunder..... Vi borgar för att vi även i fortsättningen är en pålitlig leverantör och partner.” Ur ”Årsredovisning och miljöredovisning 2002” [24], utgiven av Göteborg Energi.

### 6.1 Leveranssäkerhetsnivå

Konsekvensen av ett totalt värmebortfall för en kund är att varmvattnet försvinner och att innetemperaturen sjunker. Avkylningsförloppet i en byggnad som förlorar värmeförseln är starkt beroende av om byggnaden har tung eller lätt stomme, även rådande väderförhållande påverkar avkylningen. Vinden ökar värmeövergången från väggytan och kan öka ventilationen. Nederbörd avsätter vatten på väggytorna och tar värme från huset för att avdunsta. Molnigheten påverkar husets värmestrålning mot rymden. I jämförelse med dessa faktorer är dock lufttemperaturen den starkast påverkande faktorn. I Sverige är nederbörden ofta störst under vinterhalvåret, resulterande i ökad mängd sjunkvatten och högre grundvattennivå, två förhållanden som båda ökar benägenheten för vatteninläckage genom en värmekulverts ytterhölje och därmed ökar risken för korrosionsskador. Risken för skador är därför störst under vinterhalvåret då det är som viktigast att upprätthålla värmeleveransen till kunden. [13], [25],

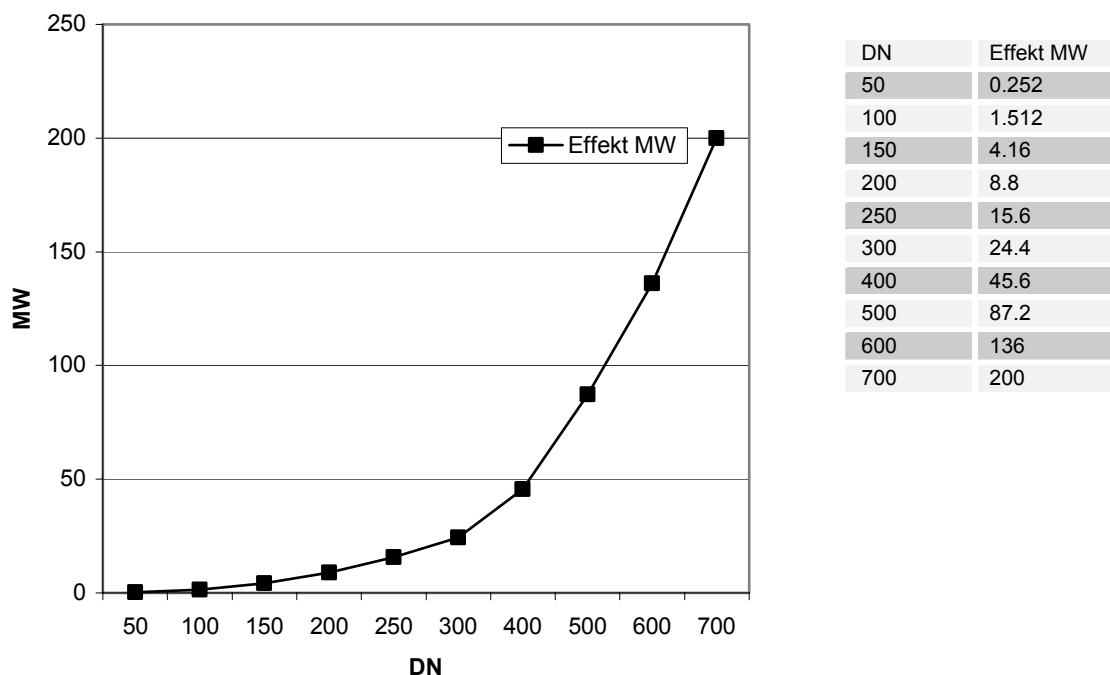
För att öka leveranssäkerheten vid värmedistribution kan åtgärder för att reducera felfrekvenserna och avbrottstiderna göras. För att minska felfrekvenserna fordras distributionsledningar av god kvalitet, förebyggande underhåll, god vattenbehandling, att nedbringa risken för trycktransienter samt larm och läckindikeringsystem. För att minska avbrottstiden krävs ringmatning och beredskap för ledningshaverier i form av sektioneringsplan, haveriberedskap och lagerhållning av viktiga delar. Göteborg Energi kan främst med avseende på dessa punkter öka leveranssäkerheten genom att öka reinvesteringstakten av det befintliga fjärrvärmesystemet, som innebär att man bör byta ut befintliga kulvertar med hög skadefrekvens och hög risknivå mot kulvertar av god kvalitet. [19]

Vilken nivå av leveranssäkerhet man skall välja för ett fjärrvärmesystem blir en avvägning mellan kundernas olägenheter vid driftstörningar och kostnaderna för att upprätthålla en högre leveranssäkerhet. [19]

### 6.2 Effekt

Göteborg Energi har sina kunder uppdelade i ett antal kundkategorier som flerbostadshus, skolor, sjukhus, restauranger osv. Dessa kan indelas i risknivåer utifrån hur viktigt det är för respektive kund att inte störas av ett leveransbortfall, då sjukhus rimligtvis bör tilldelas en hög risk och småhus rimligtvis en låg risk. Eftersom nätet är komplext och ringmatning finnes blir det komplicerat att tilldela varje specifik delsträcka i fjärrvärmesystemet en riskfaktor med avseende på kundkategori som ska kunna användas i bedömningsmodellen. Leveranssäkerheten i denna modell kommer därför att baseras på avseende på effekten för en specifik delsträcka som dels kan indikera hur många kunder som kan påverkas av störningen men även hur omfattande avbrottstiden kommer att vara vid en eventuell skada.

Effekter för samtliga dimensioner i Göteborg Energis fjärrvärmenät är beräknade och finns i tabellform i bilaga 4. I figur 14 nedan illustreras med hjälp av ett par utvalda dimensioner effekten med avseende på DN. Effekten är här redovisad med ett kapacitetsutnyttjande i fjärrvärmenätet på 80 %, vilket anses vara ett medelvärde för Göteborg Energis fjärrvärmenät. [25], [26]



**Figur 14 Medeleffekten för dimensioner med ett kapacitetsutnyttjande på 80 %.**

Effekten kan användas som en indikation på hur många kunder som berörs av ett avbrott för respektive dimension och därmed hur stor konsekvensen av ett avbrott blir för respektive delsträcka, enligt figur 14 ovan. Av figur 14 framgår att effekten ökar markant vid DN större eller lika med 300. Leveranssäkerheten bör vara hög på delsträckor med så stora DN, då konsekvenserna blir stora vid ett ledningshaveri.

### 6.3 Åtkomlighet

Förutom effekten kan åtkomligheten av en delsträcka påverka avbrottstiden. En delsträcka som är svåråtkomlig kan generera en ökad avbrottstid vid eventuell skada på grund av ett mer tidskrävande arbete att reparera kulverten, en ökad avbrottstid påverkar kunden negativt. Med att sträckan är svåråtkomlig menas i detta fall att delsträckan är belägen under en spårvagnsräls, tyngre trafik eller allmänt svåråtkomlig.

## 7 Ekonomi

Denna aspekt skall ta i beaktande det ekonomiska utfallet med avseende på val mellan förnyelse eller fortsatt drift med befintligt rör.

### 7.1 Kalkylmodell

*”Den kanske viktigaste aspekten på hållbarhet är att det handlar om långsiktighet. Göteborg är 2050 en stad med gammal och ny bebyggelse, där fjärrvärmens står för uppvärmning av hus och varmvatten, men också kylning”. Citatet är hämtat från ”GÖTEBORG 2050- Visioner av ett hållbart samhälle” [27], ett informationsmaterial utgivet av Göteborg Energi. Den tekniska livslängden för ett fjärrvärmerör räknar Göteborg Energi till att vara 50 år men kan förmodligen vara i drift 75 år. Eftersom det handlar om långsiktighet bör en ekonomisk modell som beaktar en lång tidsperiod eftersträvas. [3]*

Med nuvärdesmetoden, även kallad kapitalmetoden eller diskonteringsmetoden, nuvärdesberäknas (diskonteras) samtliga betalningar till en bestämd tidpunkt, vanligen investeringstillfället, tidpunkt noll. Genom nuvärdesberäkningar skalas den ränta bort som ligger inbakad i det framtida beloppet. Nuvärdet blir därför lägre ju högre räntesatsen är och ju längre framåt i tiden betalningen sker. Differensen mellan nuvärdet av alla inbetalningar och nuvärdet av alla utbetalningar under hela den ekonomiska livslängden kallas kapitalvärde. Investeringen är lönsam om kapitalvärdet är positivt. Kapitalvärdet beräknas enligt: [28]

$$\text{Kapitalvärde} = a * Df_n - G$$

där

$a$  Årliga inbetalningsöverskott = Inbetalningar - utbetalningar  
 $G$  Grundinvestering

$$Df_n = \frac{\left(1 - \left(1 + \frac{r}{100}\right)^{-n}\right)}{\frac{r}{100}}$$

$Df_n$  Diskonteringsfaktorn (-)  
 $r$  Kalkylränta (%)  
 $n$  Ekonomisk livslängd, kalkylperiod (År)

Diskontering innebär att kostnader som utfaller vid en viss tidpunkt omräknas till nuvärde med hjälp av diskonteringsfaktorn,  $Df_n$ . [29]

Kalkylränta är den ränta som används för att omräkna framtida kostnader till nuvärde och är det förräntningskrav, avkastningskrav som ställs på investeringen. För en offentlig organisation som förutses agera i ett samhällsintresse skall kalkylräntan avspegla de alternativa avkastningsmöjligheter som finns på det kapital som används till investeringar för kollektiv nytta. [28], [30]

Ekonomisk livslängd är ofta kortare än den fysiska. Ju snabbare det tekniska framåtskridandet går, desto kortare blir den ekonomiska livslängden på gjorda investeringar. Den tid som investeringen beräknas vara ekonomiskt lönsam att ha kvar kallas ekonomisk livslängd. Den ekonomiska livslängden för fjärrvärmerören föreslås vara 33 år. [3], [28]

Restvärde är det värde en investering har vid den ekonomiska livslängdens (kalkylperiodens) slut. Restvärdet för fjärrvärmerör antas vid den ekonomiska livslängdens slut vara noll. Däremot finns ett restvärde för befintliga fjärrvärmerör vid en eventuell förnyelse som sker tidigare än den ekonomiska livslängdens slut, enligt nedan. Detta restvärde ska adderas till grundinvesteringen som består av nyanläggningskostnaden för delsträckan i fråga. [3], [28]

$$R = I * \left( \frac{KPI(\text{byggår})}{KPI(\text{reinvesteringsår})} \right) * \left( \frac{n - (\text{Reinvesteringsår} - \text{Byggår})}{n} \right)$$

<i>R</i>	Restvärde för befintlig delsträcka	(kr)
<i>I</i>	Investeringskostnad vid förnyelse	(kr)
<i>KPI</i>	Konsumentprisindex (se bilaga 5)	( - )
<i>n</i>	Ekonomisk livslängd	(år)

Eftersom man sällan har medel till att genomföra alla investeringar man önskar så måste man göra prioriteringar och detta kan göras med hjälp av kapitalvärdekvoten där störst kvot ska genomföras först. Kapitalvärdekvoten är relationen mellan kapitalvärdet och grundinvesteringen. Denna kvot används för att göra investeringar med olika stora grundinvesteringar jämförbara och rangordnade. Man ser efter vilket alternativ som ger högst kapitalvärde på varje investerad krona. En investering är alltid lönsam om kapitalvärdekvoten är större än noll. [28]

$$\text{Kapitalvärdekvot} = \frac{\text{Kapitalvärde}}{\text{Grundinvestering}}$$

Pay-back-metoden innebär att man beräknar hur lång tid det tar innan en investering är återbetalad. [28]

$$\text{Payback}(\text{år}) = \frac{G}{a}$$

<i>G</i>	Grundinvestering
<i>a</i>	Årliga inbetalningsöverskott = Inbetalningar - utbetalningar

Investeringen är lönsam om payback-tiden inte överstiger den återbetalningstid som företaget tänkt sig, som maximalt är den ekonomiska livslängden. [28]

## 7.2 Kostnadsposter

Den totala distributionskostnaden i fjärrvärmenätet består huvudsakligen av kapitalkostnader för investeringar i distributionsledningar, driftkostnader för värmeförluster från

distributionsledningar, driftkostnader för tryckförluster i distributionsledningarna samt övrig drift och underhållskostnader. [7]

Kostnadsposter som bedömningsmodellen kommer att ta i beaktande är endast de kostnader som kommer att påverkas av en eventuell reinvestering av en specifik delsträcka. Kostnader som kommer att beröras av en reinvestering är kapitalkostnader för investeringar i distributionsledningar, driftkostnader i form av värmeförluster och underhållskostnader som utgörs av kostnader för förebyggande och akut underhåll. Däremot kommer inte driftkostnader av tryckförluster att påverkas av reinvestering och kommer därför inte att beaktas i bedömningsmodellen.

Nyanläggningskostnaden vid en förnyelse samt eventuellt restvärde för befintlig kulvert kommer att ingå i grundinvesteringen vid beräkning av kapitalvärdet, kapitalvärdekvoten samt återbetalningstiden. Driftkostnader i form av värmeförluster, reparationskostnader samt drift och underhållskostnader kommer att påverkas av en reinvestering och i de flesta fall bidra till minskade kostnader. Dessa minskade kostnader under kalkylperioden utgör inbetalningsöverskotten i beräkningen av kapitalvärdet.

### 7.2.1 Nyanläggningskostnad

Nyanläggningskostnad är investeringskostnaden för att lägga ny kulvert för en specifik delsträcka och är en engångssumma. Nyanläggningskostnader som avser meterpris (kr/kulvertmeter) är uträknade för samtliga dimensioner för direktskummade plastmantelrör, enkel respektive dubbelrör samt för inomhusledningar. Enligt uppgifter från Göteborg Energi är dubbelrör billigare att anlägga jämfört med enkelrör upp till DN 100. För DN 125 och 150 är däremot enkelrör billigare att anlägga än dubbelrör, vilket förklaras genom att dubbelrör är dyrare att tillverka, fastän att materialåtgången är mindre. Schaktningen blir inte lika bred för dubbelrör som för enkelrör, men schaktet måste grävas djupare på grund av att diametern på ett dubbelrör är större. [31], [32]

I nyanläggningskostnaden, som avser meterpriset, ska det ingå komplett kulvert samt hinder på grund av andra ledningar i mark, åtgärder för allmäntrafik, diverse mindre arbeten som provning, larmkontroll, elutrustning, elmätning och dyl. Projektering, kontroll och overhead ingår också samt ersättning till väghållare för framtida underhåll samt oförutsedda händelser. Meterpriserna är framräknade utifrån en sträcka på ca 100 meter med 90°-böjar, anslutningar, t-stycken, markluftare samt markventiler. Det bör noteras att sträckor som är mycket mindre än 100 meter får ett dyrare meterpris, men detta bortser modellen ifrån. Markledningarna avser ledningar vid måttligt tät bebyggelse. Delsträckor som medför arbete i de stora trafiklederna, arbete vid järnvägsspår etc har ett dyrare meterpris än angivet, vilket inte heller tas hänsyn till i modellen. Dimensioner vars meterpris ej är kalkylerade är antagna. [31], [32]

### 7.2.2 Restvärde på befintlig kulvert

Om en befintlig kulvert vid en eventuell förnyelse är yngre än den angivna ekonomiska livslängden tilldelas delsträckan i modellen ett restvärde som speglar den kostnad för investeringen som ännu inte är återbetalad. Restvärdet för den befintliga delsträckan beräknas med hjälp av nyanläggningskostnaden och konsumentprisindex, för formel se sidan 27. [3]

### 7.2.3 Driftkostnad med avseende på värmeförluster

För att ha möjlighet till ekonomisk värdering så krävs att värmeeffektbesparingens storlek för respektive delsträcka beräknas enligt ekvation 5.1.2 sidan 24. Intäkter i form av besparingar

av värme per år beräknas genom att multiplicera värmeeffektbesparing, marginalpris i kr per wattimme och antalet timmar på ett år. [22]

#### 7.2.4 Drift och underhålls kostnad

Inom ramen för detta arbete har genomsnittliga kostnader för drift och underhåll (DoU) per år och meter ledning tagits fram för respektive kulverttyp som baseras på uppgifter från Göteborg Energi. DoU kostnader för vad nylagda kulvertar anses ha de 5 första åren har även tagits fram. Differensen mellan befintlig kulverts och ny kulverts DoU kostnad är besparing av drift och underhållskostnad per år och meter ledning.

#### 7.2.5 Reparationskostnad

Inom ramen för detta arbete har genomsnittliga kostnader för reparationer av skador på fjärrvärmenätet tagits fram för respektive kulverttyp som baseras på inrapporterade skador från Svensk Fjärrvärme mellan 1995-2003. För asbestcementkulvert, betongkulvert och fasta direktskummade plastmantelrör har även reparationskostnader tagits fram med avseende på DN. Övriga kulvertyper anses ej vara relevanta att dela upp med avseende på DN.

Besparingen i reparationskostnader är differensen mellan befintlig kulverts och ny kulverts reparationskostnad per år. Reparationskostnaden per år är en produkt av sannolikheten för en akutstörning, längd i km av delsträckan och reparationskostnaden. Sannolikheten för en akutstörning/skada för befintlig kulvert ansätts med medelskadefrekvensen på lokal nivå för respektive delsträcka i enhet skador per km och år. Nylagd kulverts skadefrekvens (med enheten skador per km och år) ansätts för direktskummade plastmantelrör med värdet 0.093 och inomhusledning med värdet 0.014. Dessa skadefrekvenser baseras på ett medelvärde av skadefrekvenserna på åldersintervallen 0-5 och 6-10 från Göteborg Energis statistik sedan 1974, enligt figur 12 sidan 19. Reparationskostnaderna för nylagda kulvertar är noll under garanti tiden från leverantören, som är ca 5 år, baserat på Göteborg Energis nya upphandlingsform. [3], [13]

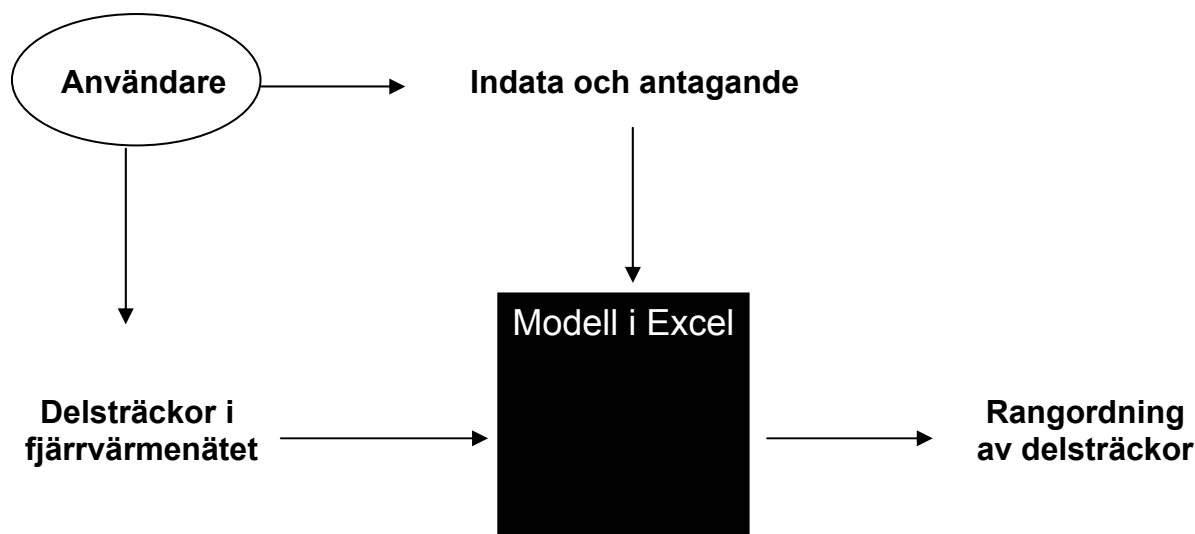
#### 7.2.5 Kostnad av miljöeffekter, abonnenteffekter och samhällseffekter

Värderade kostnader av miljöeffekter, kundeffekter och samhällseffekter har det inte tagits hänsyn till i den ekonomiska aspekten av modellen.

Ett försök att prissätta kundstörningar har utförts på Göteborg Energi. En kundstörningskostnad har beräknats med avseende på olika kundtyper och kostnadsposter. Mjuka kostnadsposter är kundkontaktkostnad som bland annat innefattar reklamationer etc och badwill som är ett uttryck för det kunden upplever som dålig vilja och ointresse från företagets sida att exempelvis rätta till ett problem, dåliga attityder mot kund och dålig information. Hårda kostnadsposter är utebliven försäljning och service som uppkommer vid en kundstörning. Denna kundstörningskostnad, framför allt de mjuka kostnaderna (kundkontaktkostnader och badwill), kan utnyttjas i bedömningsmodellen men på grund av att många faktorer är okända har kundstörningskostnaden valts att inte inkluderas i modellen. [33]

## 8 Bedömningsmodellen för reinvestering

I detta kapitel ges en genomgång av reinvesteringsmodellen som är uppbyggd i Windows programmet Excel. Först beskrivs indata och antaganden som användaren av modellen behöver definiera för att modellen ska kunna utföra de beräkningar som fordras från kapitel 3-7. Därefter ges en genomgång av vilka poster som användaren av modellen måste definiera till varje specifik delsträcka för att delsträckan i fråga ska kunna bedömas av modellen. Därefter ges en genomgång av vad modellen beräknar med avseende på kapitel 3 till och med 7. Slutligen ges en rekommendation för rangordning av delsträckor. För illustration av modellstrukturen i Excel, i korthet, se figur 15 nedan. För användarmanual till modellen se bilaga 8.



Figur 15 Modellstruktur för reinvesteringsmodellen i Excel.

### 8.1 Indata och antaganden till modellen

#### 8.1.1 Indata

Nedanstående indata behövs för att modellen ska kunna användas. Dessa uppgifter bör lämpligen ses över och uppdateras årligen av användaren.

*Indata till modellen som bör uppdateras årligen*

<b>T<sub>tillopp</sub></b>	Årsmedeltemperatur på hetvatten, tilloppsledning.	(Celsius)
<b>T<sub>retur</sub></b>	Årsmedeltemperatur på hetvatten, returledning.	(Celsius)
<b>T<sub>omgivning</sub></b>	Årsmedeltemperatur på omgivande mark.	(Celsius)
<b>Årtal</b>	Aktuellt årtal.	(År)
<b>Kalkylperiod</b>	Beräknad ekonomisk livslängd.	(År)
<b>Garanti</b>	Antal år som leverantör lämnar garanti.	(År)
<b>Kalkylränta</b>	Ränta i kalkylmodellen.	(%)
<b>Marginalpris</b>	Energipris.	(kr/KWh)
<b>Nyanläggningskostnad</b>	Meterpris för respektive dimension (DN).	(kr/m)
<b>DoU-kostnad</b>	Meterpriser för respektive kulverttyp.	(kr/m)
<b>Reparationskostnad</b>	Kostnad för en skada för respektive kulverttyp.	(tkr/skada)
<b>Konsumentprisindex</b>	Årsmedel för KPI.	(-)



Förutom dessa indata ska skadefrekvenserna med avseende på olika parametrar uppdateras, för information om denna uppdatering hänvisas till användarmanualen, bilaga 8.

### 8.1.2 Bedömningar till modellen

Dessa bedömningar görs av användaren till modellen, men rekommendationer för bedömningarna kommer att ges nedan.

<b>Kapacitets utnyttjande</b>	Medelutnyttjande av kapaciteten i procent. På Göteborg Energis antas 80 procent. Används till att beräkna effekten. [26]
<b>Hög utbyggnadstakt</b>	Definiera i antal kulvertkilometer per år. På Göteborg Energi antas 20 km/år. Används till att definiera år med hög utbyggnad för att beräkna risknivå med avseende på ålder. [3]
<b>Hög utbyggnadstakt i år?</b>	Förväntad utbyggnad aktuellt årtal, besvaras med ja eller nej. Används till att definiera aktuellt års utbyggnad för att beräkna risknivå med avseende på ålder för nylagd kulvert och erhålla $\Delta R$ .

<i>Prioritering</i>	<i>Prioritet</i>
<b>Ekonomi</b>	<b>1</b>
<b>Risk för skada</b>	<b>2</b>
Vid delsträcka med $DN \geq 300$	300
eller svåråtkomlig med $DN \geq 200$	200
och med en riskfaktor $\geq 0$	0
<b>ska risk för skada prioriteras som</b>	<b>1</b>

Rekommendationen är, utifrån Göteborg Energis förutsättningar, att DN större eller lika med 300 eller DN större eller lika med 200 som ligger svåråtkomligt ska prioriteras i första hand med avseende på risk för skada. Detta för att upprätthålla hög leveranssäkerhet i fjärrvärmenätet. Övriga dimensioner rekommenderas att prioriteras i första hand med avseende på ekonomi. [3]

<i>Kvotering av risken för skada</i>	<i>Faktor</i>
<b>Risk map omgivning och ålder</b>	<b>1</b>
<b>Risk map skadefrekvens</b>	<b>30</b>
<b>Risk map besiktning</b>	<b>1</b>

Kvotering av risk för skada rekommenderas att kvoteras enligt ovan. Faktor 30 för skadefrekvensen har valts på grund av att skadefrekvensen då svarar för ca 35 % av risken och risknivåer för omgivning och ålder ca 65% (om man bortser från besiktningen).

<i>Kvotering av risken för skada med avseende på omgivningsförhållanden och ålder</i>	
<b>Markförhållanden</b>	<b>1</b>
<b>Belastningsförhållanden</b>	<b>1</b>
<b>Ålder och utbyggnadstakt</b>	<b>1</b>
<b>Grundvattennivå</b>	<b>1</b>

Riskerna med avseende på omgivningsförhållanden och ålder rekommenderas att vara lika stora i förhållande till varandra. Risk med avseende på ålder och utbyggnadstakt bör när skadestatistiken är säkrare väljas att inte räknas med och sätts då till noll.

*Kvotering av risken för skada med avseende på skadefrekvensen viktas enligt*

<b>Skadefrekvens, lokal nivå</b>	<b>1</b>
<b>Skadefrekvens, nationell nivå</b>	<b>1</b>

Riskerna med avseende på skadefrekvens på lokal nivå respektive nationell nivå rekommenderas att vara lika stora i förhållande till varandra, med avseende på Göteborg Energis förutsättningar. När statistiken blir säkrare rekommenderas skadefrekvensen på lokal nivå att viktas tyngre än skadefrekvensen på nationell nivå.

## 8.2 Poster till delsträckor

De delsträckor av fjärrvärmenätet som användaren vill analysera/rangordna måste specificeras med ett antal data i bedömningsmodellen. De data som varje delsträcka måste tilldelas benämns i detta fallet med poster.

Uppgiftsposterna nedan hämtas för varje delsträcka i företagets databas över registrerade delsträckor i fjärrvärmenätet.

*Poster som ska användas i modellen för varje specifik delsträcka*

<b>Kulverttyp</b>	Asbestcementkulvert, betongkulvert, Aquawarmrör, stålrörskulvert, inomhusledning, flexibla eller fasta direktskummade plastmantelrör.
<b>Längd</b>	Kulvertlängd på delsträcka (m).
<b>DN</b>	Nominell diameter på medieröret (mm).
<b>Kulvertdimension</b>	Dimensionen på mantel, enkel respektive dubbelrör.
<b>Isolering</b>	Mineralull, PUR eller cellbetong.
<b>Kulvertfabrikat</b>	Fabrikat (endast för fasta och flexibla).
<b>Byggår</b>	Årtalet då delsträckan installerades i fjärrvärmenätet.

*Poster som ska användas för identifikation av en delsträcka*

<b>Littera</b>	Identifikationsnummer för en specifik delsträcka.
<b>Gata</b>	Ej obligatorisk uppgift.
<b>Nr</b>	Ej obligatorisk uppgift.

Insamling av data för belastningsförhållanden och åtkomlighet genomförs för varje specifik delsträcka förslagsvis med hjälp av stadskartor. Insamling av data till markförhållanden genomförs för varje specifik delsträcka förslagsvis med hjälp av jordartskartor. Om området ska anses kunna vara fuktigt på grund av högt grundvatten kan detta till viss mån påvisas med hjälp av jordartskartor, i övriga fall används besiktningsprotokoll, se bilaga 6.

*Kompletterande poster till varje specifik delsträcka*

<b>Trafik</b>	Lätt trafik, tung trafik, förändrat trafikmönster eller ingen trafik.
<b>Jordart</b>	Lera, sand/grus, berg/sprängbotten, silt, morän, organisk jord eller övergång mellan lera och fastmark.
<b>Svåråtkomlig?</b>	Besvaras med ”ja” om delsträckan är belägen exempelvis under järnvägsräls.

**Fuktigt område?** Besvaras med ”ja” om grundvattennivån är hög eller om man vid besiktning ansett området som fuktigt.

Nedanstående indata ifylls endast då användaren av modellen har specifika uppgifter om delsträckor efter resultat från bl a besiktningsprotokoll och vill rangordna delsträckor med redan känd dålig kondition och få ett svar på vilken man ska prioritera att byta ut i första hand.

*Övriga poster, ej obligatoriska, till delsträckor med besiktningsprotokoll etc*

**Höga värmeförluster?** Besvaras med ”ja” om man har indikationer på detta t ex vid en besiktning. Denna parameter kommer bara att ge en indikation till användaren att det är höga värmeförluster vilket kan vara en nackdel dels ekonomiskt och dels miljömässigt och leveranssäkerhetsmässigt.

**Besiktning** Samtliga frågor som besvaras med ”ja” i besiktningsprotokollet (se bilaga 6) ger 1 poäng vardera.

**Antal reparationer/år** Uppskattad skadefrekvens per delsträcka. (Skada/år)

**Reparationskostnad** Uppskattad reparationskostnad per skada. (tkr/skada)

**Investeringskostnad** Uppskattad investeringskostnad vid förnyelse. (tkr)

**Samordning?** Besvaras med ”ja” om reinvesteringen kan samordnas med andra arbeten, t ex omläggning av VA och el. Här beräknas ingen exakt vinst utan användaren får bara en notis om att detta är en ekonomisk fördel för delsträckan i fråga.

### 8.3 Omgivningsförhållanden

Risk med avseende på ålder och utbyggnadstakt, jordart, grundvattennivå och belastning tilldelar modellen varje delsträcka enligt nedan.

*Risk med avseende på:* *Tas fram med hjälp av:*

Ålder -  $R_A$  Posterna kulverttyp, isolering och byggår, indatauppgiften för aktuellt år, definition av hög utbyggnadstakt samt tabeller för utbyggnad och risknivå.

Jordart -  $R_J$  Posterna kulverttyp, isolering och jordart samt tabell för risknivå.

Fukt -  $R_F$  Posterna kulverttyp, isolering och fuktigt område samt tabell för risknivå.

Trafik -  $R_T$  Posterna kulverttyp, isolering och trafik samt tabell för risknivå.

En summa för risknivåer enligt ovan beräknas för varje delsträcka som ger en totalrisk med avseende på kulverttyp och omgivningsförhållanden. Modellen använder sig här också av indata i kvotering mellan de olika riskerna med avseende på omgivningsförhållanden och ålder, som rekommenderas att vara lika stora i förhållande till varandra.

$$R_{A,J,F,T} = R_A + R_J + R_F + R_T$$

En risknivå med avseende på ålder, jordart, grundvattennivå och belastning har även räknas ut för en eventuell förnyelse av delsträckan. Alla markförlagda delsträckor antas att ersättas av

direktskummade plastmantelrör. Risknivå med avseende på ålder och utbyggnadstakt för nylagd kulvert tilldelar modellen med hjälp av ”Hög utbyggnadstakt i år?”. Övriga risknivåer beräknas enligt ovan. Modellen tilldelar delsträckor en  $\Delta R$  för respektive riskparameter. En summa av alla  $\Delta R$  beräknas för varje delsträcka som representerar skillnaden i risk mellan förnyelse eller fortsatt drift med befintlig delsträcka för samtliga nämnda parametrar.

$$\Delta R_{\dot{A},J,F,T} = R_{\dot{A}} + R_J + R_F + R_T - R_{\dot{A}_{ny}} - R_{J_{ny}} - R_{F_{ny}} - R_{T_{ny}}$$

## 8.4 Skadestatistik

### 8.4.1 Skadefrekvens på lokal nivå (SL)

De skador som sker på fjärrvärmenätet hos Göteborg Energi matas in i filen ”Skadedatabas” enligt 4.1.2, där skadefrekvensen med avseende på byggår, DN och fabrikat förslagsvis uppdateras årligen (se användarmanualen bilaga 8 för mer info). Dessa skadefrekvenser uppdateras till modellen, via en länk.

Skadefrekvensen med avseende på ålder ska inte i fortsättningen uppdateras och är inte heller länkade till modellen. Merparten av asbestcementkulverten installerades till fjärrvärmenätet mellan mitten av 1960-talet fram till mitten av 1970-talet och har en medelålder på 33 år. Samtliga asbestcementkulvertar i Göteborg Energis fjärrvärmenät tilldelas därför en skadefrekvens som är ett medelvärde av skadefrekvenserna för åldersintervallen 26-30 till och med 35-40, enligt figur 12 sidan 20, vilket blir 0.26 skador per km och år. Betongkulvertar som är installerade före 1980 tilldelas en skadefrekvens som är ett medelvärde av skadefrekvenserna på åldersintervallet 26-30 till och med 46-50 vilket blir 0.12 skador per km och år. Inomhusledning som är installerade före 1980 tilldelas en skadefrekvens som är ett medelvärde av skadefrekvenserna på åldersintervallen 26-30 till och med 46-50 vilket blir 0.10 skador per km och år. Fasta direktskummade plastmantelrör som är installerade före 1975 tilldelas en skadefrekvens för åldersintervallet 31-35 vilket är 0.36 skador per km och år.

Skadefrekvensen med avseende på byggår, DN, fabrikat samt ålder tilldelar modellen till delsträckorna enligt nedan.

Skadefrekvens med avseende på: Byggår - $SL_B$	Tas fram med hjälp av:  Posterna kulverttyp, isolering och byggår samt tabell över skadefrekvensen. För kulverttyperna stålörskulvert och Aquawarm tilldelas ej en skadefrekvens med avseende på byggår utan enbart med avseende på kulverttyp, enligt sidan 16.
DN - $SL_{DN}$	Posterna kulverttyp, isolering och dimension (DN) samt tabell över skadefrekvensen. Enbart för kulverttyperna fasta direktskummade plastmantelrör, asbestcementkulvert och betongkulvert.
Fabrikat - $SL_F$	Posterna kulverttyp, isolering och fabrikat samt tabell över skadefrekvensen. Endast för fasta direktskummade plastmantelrör.
Ålder - $SL_{\dot{A}}$	Posterna kulverttyp, isolering och byggår samt tabell över skadefrekvensen. Tilldelas kulverttyperna betongkulvert, asbestcementkulvert, fasta direktskummade plastmantelrör och inomhusledningar, enligt ovan.

Ett medelvärde av skadefrekvenserna med avseende på lokalnivå (SL) beräknas för varje delsträcka utifrån skadefrekvenserna ovan.

#### 8.4.2 Skadefrekvens på nationell nivå (SN)

Skadefrekvenserna med avseende på DN och fabrikat på nationell nivå finns i filen ”Skadedatabas”. Vid uppdatering av skadefrekvenserna sker en uppdatering även till modellen, via en länk. Skadefrekvensen med avseende på DN och fabrikat tilldelas delsträckor enligt nedan.

*Skadefrekvens  
med avseende på:*

DN -  $SN_{DN}$

*Tas fram med hjälp av:*

Posterna kulverttyp, isolering och dimension (DN) samt tabell över skadefrekvensen. Enbart för kulverttyperna fasta direktskummade plastmantelrör, asbestcementkulvert och betongkulvert. Flexibla direktskummade plastmantelrör och Aquawarmrör ges en skadefrekvens med enbart avseende på kulverttyp, se sidorna 16-17.

Fabrikat-  $SN_F$

Posterna kulverttyp, isolering och fabrikat samt tabell över skadefrekvensen. Endast för fasta och flexibla direktskummade plastmantelrör.

Ett medelvärde av skadefrekvenserna med avseende på nationell nivå (SN) beräknas för varje delsträcka utifrån skadefrekvenserna ovan.

### 8.5 Miljö

Miljöparametern bedöms med skillnaden i isoleringsförmåga, som mäts i transmissionskoefficienten  $U$ , mellan befintlig kulvertsträcka och nylagdkulvert.

Vid förnyelse av en befintlig delsträcka ersätts inomhusledningar alltså mot inomhusledningar men alla övriga ledningar ersätts av direktskummade plastmantelrör. Vid dimensioner som är mindre eller lika med DN 150 anläggs dubbelrörsledningar, främst på grund av att de har lägre värmeförluster än motsvarande enkelrör. Vid dimensioner som är större än DN 150 anläggs enkelrör med isoleringstjocklek av typ serie 2.  $U$ -värdet för en ny kulvert baseras på ett medelvärde av livslängden som antas vara 50 år.

Modellen tilldelar varje delsträcka två  $U$ -värden, ett som motsvarar den befintliga delsträckans  $U$ -värde och ett  $U$ -värde som en förnyelse av delsträckan skulle innebära enligt nedan.

*$U$ -värde*

$U_{\text{befintligt}}$

*Tas fram med hjälp av:*

Posterna kulverttyp, DN, isolering, kulvertdimension (dubbel respektive enkel) och byggår samt tabell över befintliga  $U$ -värden.

$U_{\text{ny}}$

Posterna kulverttyp och DN samt tabell över nya  $U$ -värden.

Skillnaden mellan dessa  $U$ -värden är miljöparametern till modellen och beräknas enligt:

$$\Delta U = U_{befintlig} - U_{ny}$$

## 8.6 Leveranssäkerhet

Leveranssäkerheten med avseende på effekt och åtkomlighet tilldelar modellen varje delsträcka enligt nedan.

<i>Leveranssäkerheten med avseende på:</i>	<i>Beräknas med hjälp av:</i>
Effekt $-LS_E$	Posten DN, tabell över effekt för respektive DN samt med angivet kapacitetsutnyttjande. Effekten divideras med 10 000 vilket ger en risknivå mellan talen 0 till 20.
Åtkomlighet $-LS_A$	Posten ”svåråtkomlig?”. Står det ”ja” i posten kommer modellen att tilldela delsträckan ett värde som baseras på differensen mellan värdet av angiven dimensions risknivå som ska prioriteras med avseende på risk och värdet på angiven dimensions risknivå i samband med svåråtkomlig.

En summa av dessa två parametrar beräknas för varje delsträcka och blir ett mått på hur stora konsekvenserna kommer att bli av ett ledningshaveri på delsträckan i fråga.

$$LS = LS_E + LS_A$$

## 8.7 Ekonomi

Avser skillnad i kostnader mellan befintlig delsträcka och en eventuell förnyelse av sträckan. Nyanläggningskostnad vid en förnyelse av delsträckan, restvärde för befintlig kulvert och besparingar (som uppkommer vid en investering) av kostnader för värmeförluster, drift och underhåll och reparationer under hela kalkylperioden beräknar modellen enligt nedan, i kr.

<i>Kostnader med avseende på:</i>	<i>Beräknas med hjälp av:</i>
Nyanläggning $-G_{Ny}$	Posterna kulverttyp, dimension och längd samt tabell över nyanläggningskostnad.
Restvärde <sub>befintlig</sub> $-G_R$	Posten byggår och med indata för ekonomisk livslängd samt aktuellt årtal och tabell över konsumentprisindex.
Värme $-B_V$	Värmebesparingens/värmeförlustens storlek i kr per år för respektive delsträcka beräknas med hjälp av formel för värmeeffektörlustens storlek i W (se sidan 22) det tilldelade $\Delta U$ , posten längd och indata för $T_{tillopp}$ , $T_{retur}$ , $T_{omgivning}$ och marginalpris. Besparing under hela kalkylperioden beräknar modellen med hjälp av diskonteringsfaktorn (för formel se sidan 26) och indata för kalkylperiod och kalkylränta.

DoU -  $B_{DoU}$

Modellen beräknar besparing av drift och underhållskostnader i kr under kalkylperioden för respektive delsträcka med hjälp av diskonteringsfaktorn, posterna kulverttyp, isolering och längd, indata för kalkylperiod, kalkylränta och garanti från leverantör samt av tabell över drift och underhållskostnaderna.

Reparation -  $B_R$

Modellen beräknar besparing av reparation i kr under kalkylperioden för respektive delsträcka med hjälp av det uträknade medelvärdet av skadefrekvens på lokal nivå för delsträckan och antagen skadefrekvens för nylagd kulvert (se sidan 29), posterna kulverttyp, isolering, dimension och längd, indata för kalkylperiod, kalkylränta och garanti från leverantör samt tabell över reparationskostnader.

Om användaren har fyllt i ”uppskattad skadefrekvens” samt kostnader för nyanläggning och reparation, för delsträckan i modellens databas, beräknas det ekonomiska utfallet på dessa värden istället. Noteras bör att ”uppskattad skadefrekvens” används enbart i ekonomiskt avseende och inte med avseende på risk för skada.

Kapitalvärdet, som erhålls vid förnyelse av en delsträcka, beräknas genom att addera samtliga besparingar av värmeförluster, reparation samt drift och underhåll under kalkylperioden och subtrahera denna summa med grundinvesteringen som utgörs av nyanläggningskostnaden samt ett eventuellt restvärde på befintlig kulvert.

$$\text{Kapitalvärde} = B_V + B_{DoU} + B_R - G_{Ny} - G_R$$

Kapitalvärdekvoten beräknas sedan genom att dividera kapitalvärdet med grundinvesteringen som utgör nyanläggningskostnad och samt ett eventuellt restvärde på befintlig kulvert.

$$\text{Kapitalvärdekvoten} = \frac{\text{Kapitalvärde}}{G_{Ny} + G_R}$$

För att erhålla ett mått på relationen av intäkterna kontra investeringskostanden vid en förnyelse av en delsträcka beräknas från ekvationen ovan, kvoten B/G.

$$\frac{B}{G} = \frac{B_V + B_{DoU} + B_R}{G_{Ny} + G_R} = \text{Kapitalvärdekvoten} + 1$$

Återbetalningstiden för en eventuell reinvestering beräknas även för varje delsträcka genom att dividera den uträknade grundinvesteringen (nyanläggningskostnad samt restvärde) med medelöverskottsinsbetalningen per år.

## 8.8 Rangordning av delsträckor

Användaren kan själv välja hur modellen ska prioritera de olika parametrarna. Rekommendationen är, utifrån Göteborgs Energis förutsättningar, att DN större eller lika med 300 eller DN större eller lika med 200 som ligger svåråtkomligt ska prioriteras i första hand med avseende på risk för skada ( $R_{skada}$ ), enligt 8.8.1 nedan, för att upprätthålla hög leveranssäkerhet i fjärrvärmenätet. I Göteborgs Energis fjärrvärmenät har 4.5 % av

delsträckorna en dimension som är större eller lika med än DN 300. Det uppskattas att 1 % av delsträckorna i Göteborg Energis fjärrvärmenät kan bedömas som svåråtkomliga. Övriga dimensioner rekommenderas att prioriteras i första hand med avseende på ekonomi. [1], [3]

### 8.8.1 Beräkning av risk för skada ( $R_{Skada}$ )

Risk för skada ( $R_{Skada}$ ) på en delsträcka beräknas med avseende på riskbedömningen av ålder och omgivningsförhållanden ( $R_{A,J,F,T}$ ), enligt sidan 33, lokal och nationell skadestatistik samt en eventuell risknivå från besiktning, enligt sidan 31.

En risk med avseende på skadefrekvensen ( $R_S$ ) beräknas genom att lokal och nationell skadestatistik viktas i förhållande till varandra. Användaren kan själv bestämma viktningen men den rekommenderas att vara lika i förhållande till varandra, enligt sidan 32. Efter viktning summeras frekvenserna och multipliceras med en faktor som har valts till 30 (kan ändras av användaren, enligt sidan 31), det värde som erhålles blir då riskpoängen för delsträckan med avseende på skadefrekvensen.

$$R_S = (SL * 1 + SN * 1) * 30$$

I fall där delsträckor har besiktats och ett besiktningsprotokoll finns, tilldelar modellen det värde posten besiktning har som motsvarar antalet ”ja” av 10 besvarade frågor (se bilaga 6). Riskpoängen med avseende på besiktning ( $R_B$ ) blir 0 till 10.

Risk för skada beräknas genom att summera den totala risken med avseende på ålder och omgivningsförhållanden samt risk med avseende på skadefrekvens och eventuell riskpoäng av en besiktning.

$$R_{Skada} = R_{A,J,F,T} + R_S + R_B$$

### 8.8.2 Prioritering

Den ekonomiska aspekten prioriteras med hjälp av den uträknade kapitalvärdekvoten för respektive delsträcka, den som har högst kvot ska förnyas först. För delsträckor som prioriteras med avseende på risk för skada, ska den delsträcka som har högst risk för skada ( $R_{Skada}$ ) enligt ovan, bytas ut i första hand. Alternativ till rangordning av delsträckor är att användaren själv analyserar rådata som modellen genererar.

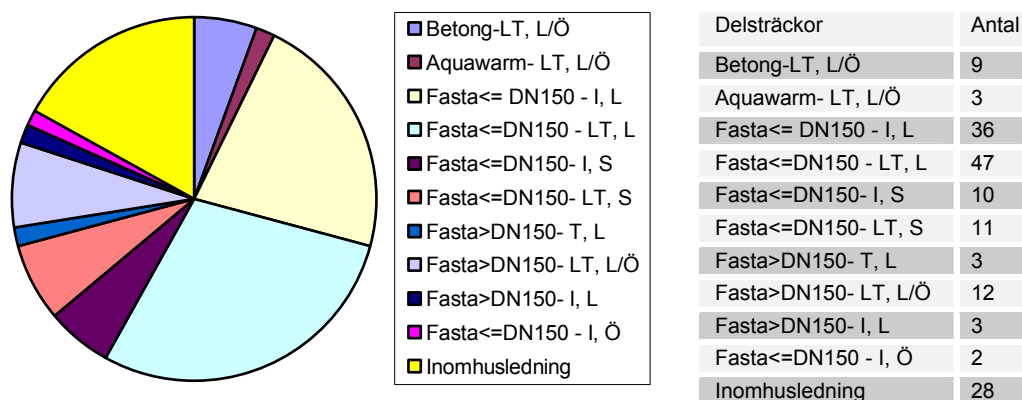


## 9 Fallstudie

En fallstudie har utförts inom ramen för detta examensarbete för att analysera resultaten från modellen. Två områden ifrån Göteborg Energis fjärrvärmenät har använts i studien. För att få fram omgivningsförhållanden för varje specifik delsträcka har stadskartor och jordartskartor studerats i detalj med hjälp från stadsbyggnadskontoret i form av material och kunskap. I detta kapitel ges en generell genomgång av resultaten, för resultat från varje specifik delsträcka hänvisas till bilaga 7. Även en studie över ett par delsträckor med redan känd dålig kondition har utförts, som redovisas i detta kapitel. [34]

### 9.1 Område 1

Ett av provområdena ligger i Vidkärr, kallat område 1, och består av en kulvertlängd på ca 5.8 km uppdelat på 164 delsträckor (se bilaga 7). Merparten av delsträckorna, 87 % lades 1984 och resterande delsträckor lades 1985-1997. I detta område utgörs 76 % av delsträckorna av fasta direktskummade plastmantelrör varav merparten med fabrikatet Polyheat. 17 % av delsträckorna är inomhusledning, 5 % är mineralullisolerad betongkulvert och återstående 2 % av delsträckorna utgörs av Aquawarmrör. 7 % av delsträckorna har en dimension som är större eller lika med DN 300. Av de markförlagda delsträckorna ligger 76 % i lera (L), 15 % i sand/grus (S) och övriga 9 % ligger i övergångar mellan fastmark och lera eller sand (Ö). Av de markförlagda delsträckorna belastas 38 % inte av någon trafik (I), 60 % belastas av lätt trafik (LT) och 2 % belastas av tung trafik (T). I området anses 3 av delsträckorna vara svåråtkomliga. Grundvattennivån i området anses vara låg. En indelning av delsträckor med avseende på belastning och markförhållanden för olika dimensioner (DN) för respektive kulverttyp är utförd, se illustration i figur 16. [34]



Figur 16 Indelningen av delsträckor i provområde 1 med avseende på mark och belastningsförhållanden för respektive kulverttyp.

#### 9.1.1 Resultat med avseende på risk för skada

Enbart med avseende på risk som relateras till ålder och omgivningsförhållande ( $R_{A,J,F,T}$ ), så ska fasta direktskummade plastmantelrör som belastas med tung trafik och ligger i lera bytas ut först. Därefter så ska den fasta direktskummade plaströrskulvert som ligger i lera och belastas med lätt trafik bytas ut. Lägst risk för skada har fasta direktskummade plastmantelrör med byggår 1991 som ligger i sand och inte belastas av någon trafik. Att denna grupp prioriteras lågt beror dels på omgivningsförhållanden samt att 1991 är ett år med låg utbyggnadstakt till skillnad från merparten av de övriga delsträckorna som är byggda år 1984,

som är ett år med en hög utbyggnadstakt. Gruppen med näst lägst risk, är de mineralullisolerade betongkulvertarna.

Om enbart hänsyn tas med avseende på risk som relateras till skadefrekvenser ( $R_S$ ), så blir resultatet något annorlunda. Högst risk för skada, vilket innebär högst skadefrekvens, har de direktskummade plastmantelrör som byggdes 1984 med fabrikat Polyheat och en dimension som är mindre eller lika med DN 80. Lägst risk för skada, vilket innebär lägst skadefrekvens har betongkulvertar, om inomhusledningar exkluderas.

Studerars risk för skada på en delsträcka med avseende på både omgivningsförhållande och skadefrekvens ( $R_{Skada}$ ), enligt viktning sidan 31, så ska fasta direktskummade plastmantelrör med DN mindre eller lika med 80, och som ligger i lera och belastas med lätt trafik, bytas ut i första hand. Därefter ska de grövre dimensionerna av direktskummade plastmantelrör som belastas med tungtrafik och ligger i lera bytas ut. Minst risk för skada har betongkulverten oavsett markförhållanden och belastning.

### 9.1.2 Resultat med avseende på ekonomi

Ingen av dessa delsträckor är ekonomiskt lönsamma att byta ut. Prioriteringsordningen blir därför med avseende på de sträckor som är mest gynnsamma/minst ogynnsamma att byta ut. Ur enbart en ekonomisk aspekt ska man i första hand byta ut de mineralullisolerade betongkulvertarna med DN 300 och 400, här fås tillbaka drygt 10 % av investeringskostnaden i form av minskade kostnader under kalkylperioden, som är 33 år. Den näst mest gynnsamma gruppen att byta ut är fasta direktskummade plastmantelrör med DN 125. Näst mest ogynnsamma gruppen att byta ut är inomhusledningar. Mest ogynnsamt är det att byta ut fasta direktskummade kulvertar som har en dimension på DN 200 eller större, i detta fall ökar kostnaden med 1% under kalkylperioden till följd av en investering.

Att betongkulverten prioriteras högt beror på besparingar i värmeförluster samt drift och underhållskostnader som står för vardera ca 50 % av besparingarna. Den främsta anledningen till att fasta direktskummade plastmantelrör med klenare dimensioner prioriteras före en större är på grund av att dimensioner som är mindre eller lika med DN 150 byts ut vid förnyelse till dubbelrör vilket minskar värmeförlustens storlek och ger ökade besparingar. Minskning av värmeförlusten utgör över 80 % av den totala besparingen i dessa fall. Ytterligare en anledning är att skadefrekvensen är högre på klenare dimensioner, vilket resulterar i ökade besparingar med avseende på reparation. Att de större dimensionerna av fasta direktskummade plastmantelrör får en låg prioritering beror på att de befintliga rören från dessa byggår, som baseras på CFC, vid en förnyelse ersätts med nya rör som baseras på cyklopentan som har en sämre isoleringsförmåga, vilket resulterar i ökade värmekostnader. Inomhusledningar prioriteras lågt på grund av att ingen besparing av värmeförluster sker.

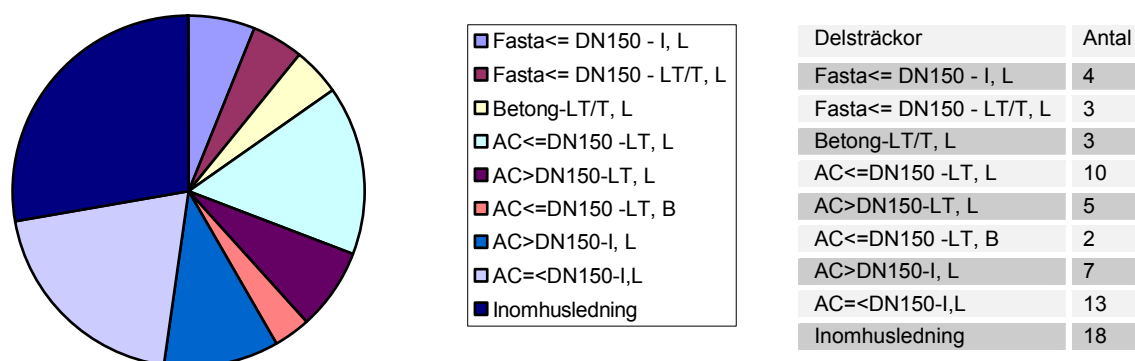
### 9.1.3 Resultat med avseende på prioritering

Prioriteringsordningen väljs av användaren och i detta fall har valts att ekonomi ska prioriteras i första hand förutom för delsträckor som har DN större eller lika med 300 eller ligger svåråtkomligt med DN större eller lika med 200. Dessa ska istället prioriteras med avseende  $R_{Skada}$ . Med hänsyn till denna prioriteringsordning ska fasta direktskummade plastmantelrör som ligger i lera och belastas med tung trafik samt är svåråtkomlig bytas ut i första hand för att upprätthålla en hög leveranssäkerhet. De övriga delsträckorna som prioriteras med avseende  $R_{Skada}$  är betongkulvert, men den visar en mycket mindre risk, däremot har dessa sträckor hög kapitalvärdeskvot i förhållande till de andra delsträckorna och kan bytas ut med avseende på ekonomi (se 9.1.2). Av de delsträckor som ska prioriteras med

avseende på ekonomi ska fasta direktskummade plastmantelrör med DN 125 bytas ut först (enligt 9.1.2). De delsträckor som ska bytas ut i sista hand är grova dimensioner av fasta direktskummade plastmantelrör.

## 9.2 Område 2

Det andra området ligger vid Nobelplatsen, kallat område 2, och består av en kulvertlängd på ca 1.4 km uppdelat på 65 delsträckor (se bilaga 7). Merparten av delsträckorna, 69 %, lades 1974. I detta område utgörs 57 % av delsträckorna av asbestcementkulvert, varav hälften är isolerade med mineralull och hälften med PUR, 28 % utgörs av inomhusledning, 11 % är fasta direktskummade plastmantelrör och återstående 5 % av delsträckorna utgörs av mineralullisolerad betongkulvert. I provområdet finns ingen delsträcka som har en dimension som är större eller lika med DN 300. Av de markförlagda delsträckorna ligger 94 % i lera övriga 6 % är ligger i berg (B). Av de markförlagda delsträckorna belastas 53 % inte av någon trafik, 39 % belastas av lätt trafik och 4 % belastas av tungtrafik. I området anses bara en av delsträckorna vara svåråtkomlig. Området anses ha en låg grundvattennivå. En indelning av delsträckor med avseende på belastning och markförhållanden för olika dimensioner (DN) för respektive kulverttyp är utförd, se illustration i figur 17. [34]



Figur 17 Indelningen av delsträckor i provområde 2 med avseende på mark och belastningsförhållande för respektive kulverttyp.

### 9.2.1 Resultat med avseende på risk för skada

Enbart med avseende på risk som relateras till ålder och omgivningsförhållanden ( $R_{A,J,F,T}$ ), så ska asbestcementkulverten som ligger i lera och belastas av lätt trafik bytas ut först. Därefter så ska asbestcementkulvert som ligger i lera men ej belastas av trafik bytas ut. Lägst risk för skada har betongkulvertar oavsett markförhållande och belastning.

Enbart med avseende på risk som relateras till skadefrekvenser ( $R_S$ ), så blir resultatet något annorlunda. Högst risk för skada, vilket innebär högst skadefrekvens har en betongkulvert med DN 100 och därefter fasta direktskummade plastmantelrör med DN 50. Därefter kommer klenare dimensioner av asbestcementkulverten. Lägst risk för skada, vilket innebär lägst skadefrekvens har betongkulvertar med dimensionen större eller lika med 200, om inomhusledningar exkluderas.

Studeras risk för skada på en delsträcka med avseende på både omgivningsförhållande och skadefrekvens ( $R_{Skada}$ ), enligt viktning sidan 31, så ska PUR-isolerad asbestcementkulvert, som ligger i lera och belastas av lätt trafik, bytas ut i första hand. Därefter ska

asbestcementkulvertar som ligger i lera men inte belastas av någon trafik väljas att byta ut. Minst risk för skada har betongkulverten oavsett markförhållanden och belastning.

### 9.2.1 Resultat med avseende på ekonomi

Ur ekonomisk aspekt ska man i första hand byta ut de PUR-isolerade asbestcementkulvertarna med enkelrör av DN 250 följt av dubbelrör av DN 100. I dessa fall fås tillbaka 35 % av investeringskostnaden i form av minskade kostnader under kalkylperioden. Den näst gynnsammaste gruppen att byta ut är betongkulvertar. Den näst mest ogynnsamma gruppen är klena dimensioner av fasta direktskummade plastmantelrör och mest ogynnsamma ur ekonomiskt perspektiv är inomhusledningar.

Att asbestcementkulvert med PUR-isolering prioriteras högt beror på besparingar i värmeförluster som står för över 80 % av den totala besparingen. Att klena dimensioner av fasta direktskummade plastmantelrör prioriteras lågt med avseende på ekonomi beror på att de har bättre isoleringsförmåga än motsvarande asbestcementkulvert och att de är yngre, vilket gör att de har ett större restvärde än motsvarande delsträckor av asbestcementkulvert. Inomhusledningar prioriteras lågt på grund av att ingen besparing av värmeförlust sker.

### 9.2.1 Resultat med avseende på prioritering

Med hänsyn till den prioriteringsordning som valts av användaren, enligt sidan 31, blir det bara en delsträcka av betongkulvert som ska prioriteras med avseende på risk. Övriga delsträckor prioriteras med avseende på ekonomi enligt stycket ovan.

## 9.3 Prioritering mellan område 1 och 2

Med avseende på  $R_{Skada}$  på en delsträcka med hänsyn till både omgivningsförhållande och skadefrekvens ska i första hand ett utbyte av sträckor med asbestcementkulvert som ligger i lera och belastas med lätt trafik i område 2 prioriteras att förnyas i första hand. Därefter delsträckor med asbestcement som ligger i lera men som inte belastas av trafik från område 2. Fasta direktskummade plastmantelrör med klena dimensioner som ligger i lera och belastas med lätt trafik i område 1 ska sedan bytas ut. Låg prioritering har fasta direktskummade plastmantelrör med större dimensioner, område 1. De som har lägst risk är betongkulverten, oavsett markförhållande och belastning i område 1.

Med avseende på ekonomi så ska delsträckor från område 2 (40 stycken delsträckor) väljas i första hand och då främst asbestcementkulverten. Därefter prioriteras betongkulverten från område 1. Efter detta ska klena dimensioner av fasta direktskummade plastmantelrör från område 1 prioriteras att bytas ut. Det sämsta alternativet ur ekonomisk synvinkel är att byta ledningar med grova dimensioner av fasta direktskummade plastmantelrör.

## 9.4 Delsträckor med delvis känd kondition

### 9.4.1 Bedömning exklusive besiktning

En studie av redan kända dåliga sträckor har utförts. Specifika poster för sträckorna samt mark och belastningsförhållanden finns i tabell 7. Ingen av dessa delsträckor har ansetts vara svåråtkomlig.

**Tabell 7 Poster till delsträckor i modellen.**

Nr	Kulverttyp	Längd (m)	DN	Kulvertdimension	Isolering	Byggår	Trafik	Jordart
1	AC	60	100	1x400	MU	1968	LT	M
2	AC	24	50		MU	1968	LT	M
3	BTG	37	150	1x250	MU	1963	LT	L
4	BTG	80	300	1210x860	MU	1979	T	L

Av dessa sträckor ger modellen som resultat att både med avseende på  $R_{Skada}$  samt ekonomi så ska delsträckan nr 3 som består av betongkulvert med DN 150 bytas ut i först, se tabell 8. Betongkulverten med nr 4 (DN 300) ska prioriteras som nästa alternativ med avseende på ekonomi men har samtidigt den lägsta risken för skada av de 4 delsträckorna.

**Tabell 8 Resultat för respektive delsträcka. Kostnader är redovisade i kr.**

Delsträcka Nr	Risk för skada	B/G =Kv+1	Kapitalvärde	Kostnad Förnyelse	Kostnad Restvärde	Payback (år)	Besparing Värme	Besparing DoU	Besparing Reparation
1	14.6	0.21	-87419	111120	0	62	16035	4418	3247
2	14.9	0.17	-121155	146409	0	77	16141	6812	2301
3	21.3	0.36	-227646	355500	0	36	78946	31999	16909
4	13.1	0.22	-594396	702400	60633	59	114566	42665	11405

Enligt tabell 8 ses att den största delen av besparingen med att byta befintliga rör mot nya för dessa delsträckor är i form av besparing av värmeförluster. Värmeförlusterna består i samtliga fall här till minst 60 % av besparingen, drift och underhållskostnader står för ca 25 % av den totala besparingen och besparing i reparationskostnader är ca 10 %.

#### 9.4.2 Bedömning inklusive besiktning

Som användare ska man även kunna använda modellen till att bedöma specifika sträckor med redan känd dålig kondition. Användaren ska manuellt kunna delge olika kostnadsposter och ej behöva taga hänsyn till snittkostnader. I tabell 9 nedan har delsträckorna från tabell 7 kompletterats med information utifrån besiktning och erfarenhetsmässig bedömning. [3]

**Tabell 9 Kompletterande uppgifter till en delsträcka.**

Delsträcka Nr	Besiktning (Antal ja)	Höga värmeförluster?	Fuktigt område?	Antal rep/år uppskattad	tkr/rep uppskattad	Investering - tkr uppskattad	Samordning andra arb.?
1	7	Ja	Ja	0.165	75	128	
2	7	Ja	Ja	0.165	75	192	
3	4		Ja	0.5	100	440	Ja
4	5		Ja	0.25	125	1000	

När även aspekter, enligt tabell 9, är inräknade prioriteras fortfarande betongkulverten med DN 150 först, både med avseende på ekonomi och med avseende på  $R_{Skada}$ , och ska bytas i första hand. Betongkulverten med DN 300 har även här den lägsta risken för skada men här är den även mest ogynnsam att byta ut ur ekonomisk synpunkt. Detta beror till stor del på den höga investeringskostnaden som valdes manuellt till denna delsträcka, på grund av att sträckan belastas med tung trafik som resulterar i att kostnaderna för att byta kulverten blir dyrare än normalt. Asbestcementkulverten med DN 100 prioriteras även i detta fall högre än den asbestcementkulverten med DN 50.

## 9.5 Sammanfattande kommentarer

Inga delsträckor är ekonomiskt lönsamma att byta ut, man prioriterar därför att byta ut dem som är mest gynnsamma/minst ogynnsamma att förnya. Alltså de sträckor där man får tillbaka mest, i form av minskade kostnader på grund av investeringen, på varje investerad krona.

Asbestcementkulvert är ledningar som är relativt gynnsamma att byta ut ekonomiskt dels på grund av att de är gamla och ofta inte har något restvärde kvar och dels på grund av att de har dålig värmeisolering som gör att besparingar i värmeförluster blir hög. De har ofta även en hög risk för skada ( $R_{Skada}$ ) vilket gör att de även är gynnsamma att byta ut av leveransmässiga skäl.

Betongkulvertar mellan DN 80 och 200 har en stor risk för skada ( $R_{Skada}$ ) vilket gör att dessa prioriteras högt med avseende på risk för skada. Betongkulvertar med DN större än 200 har låg skaderisk vilket gör att dessa inte prioriteras med avseende på risk för skada, oavsett belastning och markförhållande. Betongkulvertar är relativt gynnsamma att byta ut ur ett ekonomiskt perspektiv.

Fasta direktskummade plastmantelrör är väldigt ogynnsamma att byta ut, dels för att de är förhållandevis nylagda och har ett restvärde kvar. Och dels för att de ledningar som baseras på CFC som isolerskum har bättre isoleringseffekt än ledningar som baseras på cyklopentan vilket gör att man får ökade värmeförluster vid en förnyelse av delsträckan. Dimensioner som är mindre än DN 150 är ekonomiskt mer gynnsamma att byta ut än större dimensioner på grund av att då läggs vid förnyelse dubbelrör vilket minskar värmeförlusterna samt att dessa befintliga rör har en högre skadefrekvens vilket ger ökade besparingar i reparationskostnader.

Inomhusledning prioriteras väldigt lågt på grund av att man inte vinner några besparingar i värmeförluster, men man förlorar inte pengar av värmeförluster genom att byta som fallet är med grova dimensioner av fasta direktskummade plastmantelrör som är lagda innan år 1991, vilket gör att det är ett ännu sämre alternativ än inomhusledningarna.

Viktningen mellan risk med avseende på skadefrekvens ( $R_S$ ) och risk med avseende på riskbedömningen ( $R_{A,J,F,T}$ ), har en märkbar påverkan men inte av avgörande betydelse för resultatet. Den viktningen som råder för dessa resultat enligt sidan 31, kan ändras av användaren. Den faktor som skadefrekvensen multipliceras med kan ändras från det rekommenderade värdet som idag är 30. Ökas faktorn kommer dimension, fabrikat och byggår få större inverkan på prioriteringen, minskas faktorn kommer omgivningsförhållanden ha större betydelse. Vid nuvarande viktning av risken för skada ( $R_{Skada}$ ) visar fallstudien att  $R_{A,J,F,T}$  i medeltal svarar för 65 % och  $R_S$  för 35 % av  $R_{Skada}$ . Enligt nuvarande kvotering av  $R_S$  svarar nationell nivå för ca 35 % och lokal nivå för 65 % av risken.

## 10 Slutord

Modellen ska prioritera reinvestering med avseende på ekonomi, leveranssäkerhet och miljö. Noteras bör att modellen är en del av beslutsunderlaget för att ta ställning till framtida reinvesteringsobjekt och inte ett komplett beslutsunderlag.

Resultaten av fallstudien visar att inga delsträckor i de två provområdena är ekonomiskt lönsamma att förnya, vilket troligtvis är fallet för de allra flesta delsträckorna i Göteborg Energis fjärrvärmenät. Men eftersom reinvesteringstakten är låg idag och måste ökas i framtiden måste istället ekonomiaspekten ses utifrån vilka delsträckor som är mest gynnsamma/minst ogynnsamma att förnya. Rekommendationen är, utifrån Göteborg Energis förutsättningar, att DN större eller lika med 300 eller DN större eller lika med 200 som ligger svåråtkomligt ska prioriteras i första hand med avseende på risk för skada ( $R_{Skada}$ ), detta för att upprätthålla hög leveranssäkerhet i fjärrvärmenätet. Övriga dimensioner rekommenderas att prioriteras i första hand med avseende på ekonomi. Användaren bör beakta att stora dimensioner på fjärrvärmerören ger större konsekvenser vid ett ledningshaveri än små dimensioner. Exempelvis ska kanske en delsträcka med DN 150 prioriteras före en delsträcka med DN 50 även om delsträckan med DN 50 är mer ekonomiskt gynnsam att förnya. Klenta dimensioner bör generellt betraktas som oprioriterade ledningar med avseende på reinvestering. Undantag från denna ”regel”, som inte tas hänsyn till i denna modell utan får genomföras manuellt, kan vara om kunderna som berörs av ett haveri på delsträckan är avbrottskänsliga, exempelvis kundkategori sjukhus.

För att modellen ska kunna rangordna delsträckorna måste antaganden definieras av användaren, alternativet är att användaren själv analyserar de rådata som modellen genererar. Båda alternativen kräver att användaren av modellen har god kännedom om fjärrvärmebranschen och i synnerhet om fjärrvärmenätet ifråga. Initial användning av modellen bör ge ökade kunskaper och ”fingertoppkänsla” av modellen vilket resulterar i säkrare bedömning med tiden. Rekommendationen är därför att testa modellen en viss tidsperiod innan definitiva beslut om reinvesteringar tas. Användaren bör uppdatera kvotering/viktning mellan olika parametrar med tiden. Exempelvis är det troligt att skadestatistiken kommer att bli pålitligare och säkrare med åren vilket gör att denna bör viktas tyngre i framtiden med avseende på risk för skada ( $R_{Skada}$ ). Risknivå med avseende på ålder och utbyggnadstakt ( $R_A$ ) är, när skadestatistiken är säkrare, av minskad betydelse och bör då tilldelas en lägre faktor, eller ingen alls, vid viktningen av  $R_{Skada}$ .

Modellen är utförd för att kunna användas fram till år 2050. Modellen antar vid förnyelse en isoleringstjocklek på rören av typ serie 2, som är den vanligaste isoleringstjockleken idag vid nybyggnation. Troligtvis kommer värmeförlusternas storlek över tiden att få allt större betydelse och blir avgörande för valet av fjärrvärmerör. Om en annan isoleringstjocklek av fjärrvärmerören, exempelvis serie 3, i framtiden blir den vanligaste vid nybyggnation bör användaren även ändra detta i modellen.

Troligtvis kommer nya modeller för reinvesteringar av det befintliga fjärrvärmenätet att göras. I dessa modeller eller i nyare versioner av denna modell skulle man kunna inkludera internationell skadestatistik som en parameter. Skadefrekvensen med avseende på enkel respektive dubbelrörskonstruktion skulle även kunna vara en lämplig parameter i framtiden. Kostnader i form av kundstörningar vid leveransavbrott skulle kunna vara en kostnadspost i ekonomiaspekten för modellen.

## Referenser

- [1] Göteborg Energi AB, *PUPPAN (databas)*, Opublicerad
- [2] Göteborg Energi AB (1993), *Förnyelseplanering*, Opublicerad
- [3] Hansson, Lennart, (personlig kommunikation), Göteborg Energi AB, Telefon: 031-62 60 00
- [4] Göteborg Energi AB (1998), *Differentierat förebyggande underhåll*, Opublicerad
- [5] Löfgren, Peter (1992), *Analys av värmeförluster i Högdalens fjärrvärmenät*, Examensrapport, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm
- [6] Fröding, Helena (2001), *Miljöbedömning, hantering av utskrotad fjärrvärmekulvert i mark*, Examensrapport, Mälardalens Högskola, Stockholm
- [7] Fredriksen, S och S Werner (1993), *Fjärrvärme- Teori, teknik och funktion*, Studentlitteratur, Lund
- [8] Jonasson, Ulf m.fl. (1984), *Metoder att minska värmeförluster i befintliga fjärrvärmesystem (Etapp 1)*, Byggforskningsrådet, R78:1984, Stockholm
- [9] Jarfelt, Ulf, (personlig kommunikation), Institutionen för Byggnadsteknologi, Chalmers Tekniska Högskola, Telefon: 031-772 10 00
- [10] Fröling, Morgan (1999), *Environmental Aspects on Polyurethane Insulated District Heating Pipes*, Kemisk Miljövetenskap, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg
- [11] Schälén, Stig, (personlig kommunikation), Göteborg Energi AB, Telefon: 031-62 60 00
- [12] Andersson, Sture m.fl.(1997), *Omgivningsförhållandenas betydelse vid val av strategi för ombyggnad och underhåll av fjärrvärmenät- insamlingsfasen*, Fjärrvärmeföreningen (Svensk fjärrvärme), FOU 1997:12
- [13] Andersson, Sture m.fl.(1999), *Underlag för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar*, Fjärrvärmeföreningen (Svensk Fjärrvärme), FOU 1999:41
- [14] Sällfors, Göran, *Geoteknik*, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg
- [15] <http://connywww.tg.lth.se/svergiesjordartermenu.html>
- [16] Svensk Fjärrvärme, *Kulvertskadestatistik*, Stockholm
- [17] Svensk Fjärrvärmes nätbaserade statistik: <http://db.fvf.se/db/>
- [18] Svensk Fjärrvärme, databas, Opublicerad
- [19] Claesson, Charlotte, (personlig kommunikation), Institutionen för Byggnadsteknologi, Chalmers Tekniska Högskola, Telefon: 031-772 10 00
- [20] Göteborg Energi AB, *Excelfil*, Opublicerad
- [21] Göteborg Energi AB (2002), *Din vardag. Vår värld*, Informationsmaterial
- [22] Jarfelt, Ulf (2002), *EkoDim- Beräkningsprogram- lönar det sig att isolera mera?*, Fjärrvärmeföreningen (Svensk Fjärrvärme), FOU 2002:69
- [23] Jonasson, Ulf m.fl. (1986), *Metoder att minska värmeförluster i befintliga fjärrvärmesystem (Etapp 2)*, Byggforskningsrådet, R23:1986, Stockholm



- [24] Göteborg Energi AB (2002), *Årsredovisning och miljöredovisning 2002*, Informationsmaterial
- [25] Göteborg Energi AB (2001), *Riktlinjer för att minska olägenheter för kunderna av planerade avbrott*, Opublicerad
- [26] Lie, Gunnar, (personlig kommunikation), Göteborg Energi AB, Telefon: 031-62 60 00
- [27] Göteborg Energi AB (2001), *GÖTEBORG 2050- Visioner av ett hållbart samhälle*, Informationsmaterial
- [28] Karlsson, Ingvar (2002), *Karlssons FiKa-bok-Finansiering och Kalkylering*, Liber AB
- [29] Olsson, Jan m.fl (1997), *Elementär företagsekonomi* (Sjätte upplagan), Studentlitteratur, Lund
- [30] Gustafsson, B och G Svensson (1992), *PRISEK- Prioritering Samhällskonsekvenser Ekonomi*, Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, Rapport nr 1992-10
- [31] Göteborg Energi AB (2000), *Schablonkalkyl-Fjärrvärmeledning*, Opublicerad
- [32] Friberg, Tomas, (personlig kommunikation), Göteborg Energi AB, Telefon: 031-62 60 00
- [33] Göteborg Energi AB (2002), *Prissätta kundstörning*, Opublicerad
- [34] Hellgren, Lars-Gunnar, (personlig kommunikation), Stadsbyggnadskontoret, Göteborg, Telefon: 031-61 10 00
- [35] Wallentén, Petter (1991), *Steady-state heat loss from insulated pipes*, Licentiatrapport, Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- [36] Göteborg Energi AB (1974), *Typritningar 1974, fjärrvärme*, Opublicerad
- [37] Göteborg Energi AB (2003), *Distributionsförluster fjärrvärme - Analysmodell av Göteborg fjärrvärmenät*, Opublicerad
- [38] Lindblad, Bengt, (personlig kommunikation), Göteborg Energi AB, Telefon: 031-62 60 00
- [39] Jarfelt, Ulf (1983), *Värmeförluster från fjärrvärmekulvert av betong*, Institutionen för Byggnadsteknologi, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 84:5
- [40] Hellsten, G (1992), *Tabeller och diagram- Energi och kemiteknik*, Almqvist och Wiksell Förlag AB, Stockholm
- [41] Göteborg Energi AB (1985), *FV-standard 85*, Opublicerad
- [42] Göteborg Energi AB, *Eternitrör*, Produktpärm
- [43] Göteborg Energi AB (2003), *FV-STD 03, Projektering fjärrvärme*, Opublicerad
- [44] Göteborg Energi AB, *Aquawarm*, Produktpärm
- [45] Sjöholm, Mikael, (personlig kommunikation), Lögstör Rör Svergie AB, Telefon: 019-10 00 00
- [46] Holmgren, Camilla, (personlig kommunikation), Institutionen för Byggnadsteknologi, Chalmers Tekniska Högskola, Telefon: 031-772 10 00
- [47] Göteborg Energi AB (1985), *Tryck-, flöde- och temperaturdiagram*, Opublicerad
- [48] Statistiska centralbyrån, *Konsumentprisindex (1949=100)*:  
<http://www.scb.se/templates/>



# Bilaga 1 Kommentarer till Svensk Fjärrvärme

Eftersom en nationell aspekt över skadefrekvensen av fjärrvärmekulvertar är önskvärd till bedömningsmodellen har skadestatistiken som finns på Svensk Fjärrvärmes hemsida studerats. I samband med detta har det uppkommit en del synpunkter över denna statistik som delvis kommer att redovisas i denna bilaga. För att underlätta arbetet med skadestatistiken har Svensk Fjärrvärmes databas över inrapporterade skador från år 1995 och framåt, vilket innefattar drygt 5000 skador samt databasen över nätlängder, funnits till förfogande den senare delen av detta examensarbete.

## 1.1 Databas över skador och nätlängder

Om ett företag vill göra egen statistik över skador som de själva registrerat hos Svensk Fjärrvärme kan detta göras men på ett synnerligen tidskrävande sätt. De registrerade skadorna är indelade efter skadeår och är identifierade med en skadeidentifikation samt en adress. För att få mer information om en skada måste man klicka på skadan i fråga och där finns all information, som företaget fyllt i själva, om kulverttyp, dimension, byggår, fabrikat och kostnad på grund av skada uppdelat på 5 sidor. Det är mycket bra att all rådata finns tillgänglig för användaren men en stor nackdel är att företaget själv inte har tillgång till sina egna skador i form av en databas. Det är väldigt tidsödande att sitta och klicka sig fram fem sidor för varje skada för att få ett medelvärde för reparationskostnader per kulverttyp. Givetvis kan man tänka att företaget själv kan ha en databas över sina skador för att göra egen statistik, men detta känns som en onödig uppgift då skadorna ändå ska rapporteras till Svensk Fjärrvärme.

Varje företag får sina registrerade nätlängder till Svensk Fjärrvärme redovisade i tabellform enligt kulverttyp och byggår vilket är positivt. En nackdel är att vissa år inte är redovisade var för sig utan med en summering för ett antal år.

Ett förslag är att alla företag skall ha tillgång till sina egna registrerade skador samt nätlängder i form av en databas. Företagen hade troligtvis lagt ner mer tid på att registrera alla skador om det visste att de fick något tillbaka. Nu får man i stort sett ingenting tillbaka om man inte lägger ner enormt mycket tid på att klicka på varje skada för sig. Det allra bästa hade givetvis varit om alla hade fått tillgång till en databas som består av samtliga inrapporterade skador till Svensk Fjärrvärme samt databas över inrapporterade nätlängder, från samtliga företag som registrerar sina skador hos Svensk Fjärrvärme. Därifrån kan alla företag dels beräkna skadefrekvenser på lokal nivå och dels på nationell nivå. Om företagen får tillgång till databasen över samtliga skador och nätlängder som statistiken bygger på kan företagen beräkna den statistik de själva vill ha, men självklart är det befogat att Svensk Fjärrvärme beräknar statistik som redovisas på hemsidan även i fortsättningen.

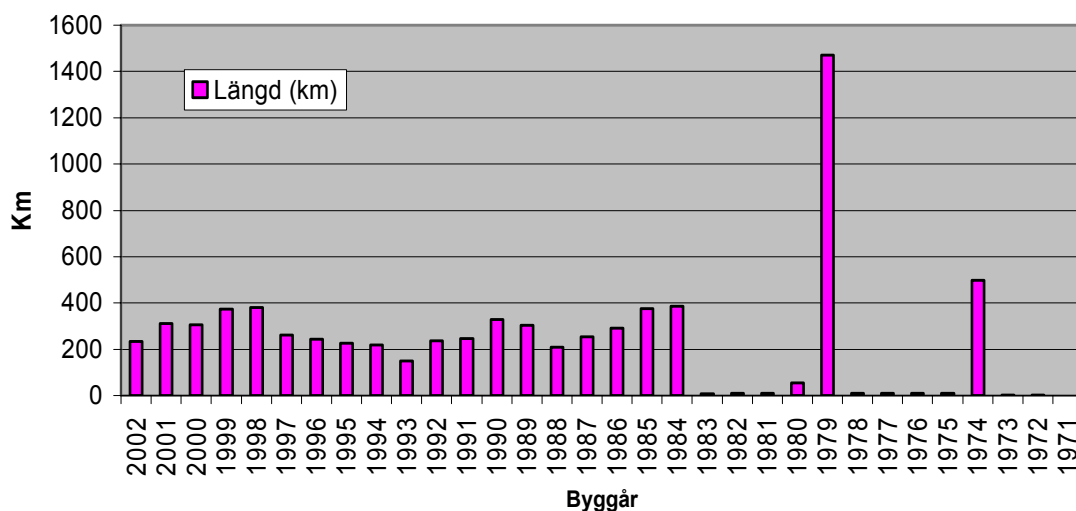
## 1.2 Statistik beräknad hos Svensk Fjärrvärme

Här följer synpunkter på den statistik som alla företag, som är medlemmar av Svensk Fjärrvärme, har tillgång till och som finns på Svensk Fjärrvärmes hemsida. Gemensam statistik för alla medlemmar finns från år 1995 och framåt. Här kan man välja statistik över nätlängder, förnyelse, skador och kostnader. Användaren går in och väljer det år man vill ha statistik över. Den största nackdelen med statistiken generellt sett är att merparten av den beräknade statistiken är enbart redovisad årsvis. Det är förvisso bra att kunna studera ett specifikt år men det är en väldigt stor nackdel att inte ha sammanfört statistik från 1995 och framåt samt beräknat medelvärden. Ser man bara på ett år kan det vara slumpen som avgör, studeras ett längre tidsintervall blir det givetvis mycket säkrare tendenser eller sannolikheter.

### 1.2.1 Nätlängder

Ett förslag är att Aquawarmrör ska redovisas som en egen kulverttyp och inte i samma kulverttyp som de flexibla direktskummade plastmantelrören, då dessa två typer inte består av samma material. Ett annat förslag är att företagen skulle redovisa betong med avseende på isoleringsmaterial, och även asbestcementkulvert, då man vet att t ex betongkulvert med cellbetong har en hög skadefrekvens.

En nackdel är att vissa nätlängder inte är redovisade var för sig utan, under vissa år, med en summering för ett antal år. En förklaring till varför man summerat vissa år kan vara att databasen över inrapporterade nätlängder inte är tillförlitlig för vissa år enligt figur 1 nedan.



Figur 1 Nätutbyggnaden av fasta direktskummade plastmantelrör för samtliga svenska energiföretag sedan 1971 enligt Svensk Fjärrvärmes databas över nätlängder.

Exempelvis från figur 1 finns 1983 en registrerad nätlängd från fasta direktskummade plastmantelrör på 6.9 km för samtliga företag, samtidigt som Göteborg Energi har en registrerad nätlängd detta år för denna kulverttyp på 10.8 km, vilket gör att denna databas fram till år 1983 inte kan anses tillförlitlig med avseende på byggår. En utredning över dessa nätlängder bör göras och se om man kan identifiera nätlängderna till rätt byggår.

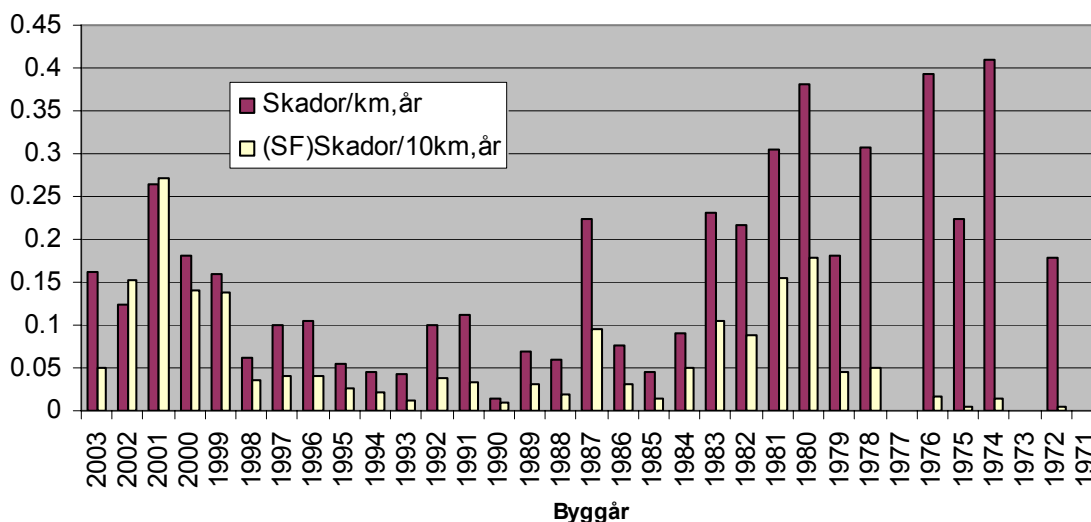
I ”Nätlängder enligt typ, byggår och dimension samt i förekommande fall fabrikat” finns en stor nackdel att kulverttypen fasta direktskummade plastmantelrör inte är uppdelat på dimensionsintervall totalt sett utan bara med dimensionsintervall uppdelat per fabrikat.

### 1.2.2 Skador

Skadefrekvens för respektive kulverttyp är redovisade i diagram med avseende på byggår. Den största nackdelen över denna statistik av skadorna är att det saknas trender för respektive kulvert över en längre tidsperiod. Den praktiska användningen och nyttan av denna statistik går förlorad då användaren endast kan studera skadefrekvens för en kulverttyp årsvis. Att som användare själv göra en sammanställning är mycket tidsödande eftersom diagrammen finns i bildformat.

En annan nackdel är att skadefrekvensen för respektive kulverttyp med avseende på byggår är beräknad utifrån den totala ledningslängden för kulverten i fråga istället för att beräkna utifrån

vad som byggdes ett specifikt byggår för kulverttypen i fråga. Ett exempel ges för att illustrera felaktigheten. 2002 installerades en kulvertlängd på 40 km till ett fjärrvärmenät och 1991 installerades en kulvertlängd på 10 km. 2003 registreras 10 skador som relateras till 2002 och 5 skador som relateras till 1991 och den totala ackumulerade nätutbyggnaden detta år är 1000 km. Enligt Svensk Fjärrvärme statistik skulle då skadefrekvens bli dubbelt så stor, för delsträckor byggda år 2002 (0.01 skador/km) jämfört med 1991 (0.005 skador/km) eftersom antal skador per byggår divideras med den totala ackumulerade nätlängden år 2003 av kulverttypen i fråga. Divideras antal skador från respektive byggår med nätutbygganden från året i fråga erhålls en skadefrekvens för byggår 2002 som är 0.25 skador/km och en skadefrekvens för byggår 1991 som är 0.5 skador/km. Här erhålls en skadefrekvens från byggår 1991 som är dubbel så stor som från byggår 2002, alltså omvända förhållande. På det sätt som Svensk fjärrvärme beräknar skadefrekvensen med avseende på byggår blir år med en hög utbyggnadstakt missgynnade, för givetvis, om man ett år bygger 100 km och ett annat år 10 km uppkommer det sannolik flest antal skador från det året med 100 km utbyggnad. På detta sätt kan man inte utreda vilka år som har en högre skadefrekvens än andra på grund av exempelvis dålig kvalitet, utan skadefrekvensen speglar i första hand utbyggnadstakten. I figur 2 illustreras en jämförelse av Göteborg Energis skadefrekvenser med avseende på byggår för fasta direktskummade plastmantelrör mellan att dividera skadorna med avseende på nätlängden för byggåret i fråga (GE), och att dividera med den totala längden enligt Svensk Fjärrvärmes (SF) sätt.



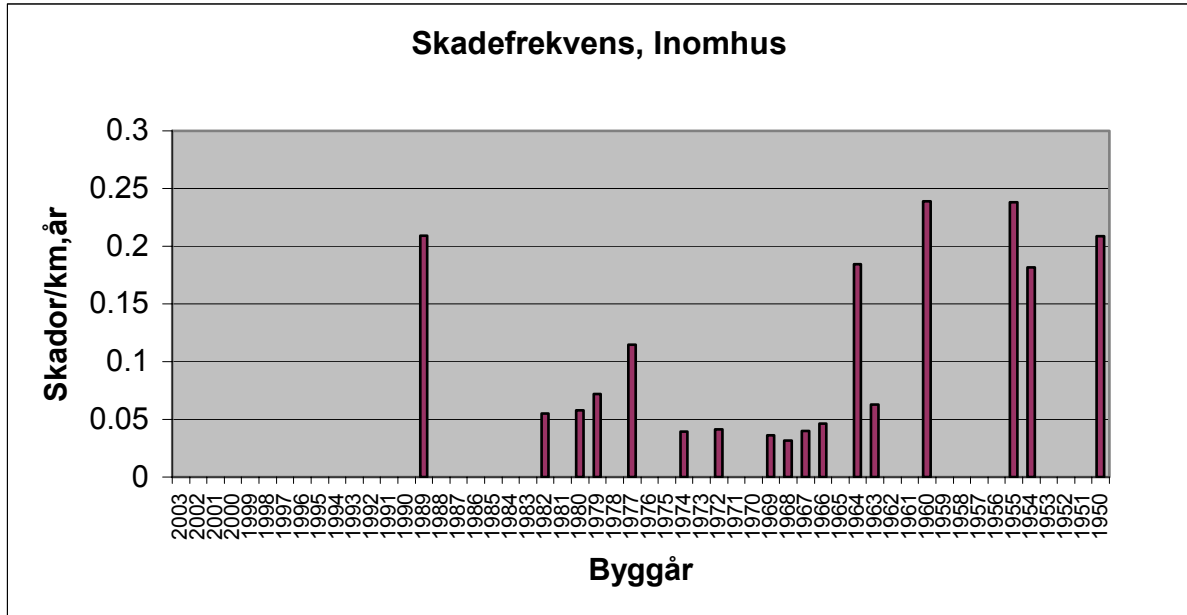
**Figur 2 Jämförelse av skadefrekvensen med avseende på byggår för fasta direktskummade plastmantelrör mellan Göteborg Energis vis och Svensk Fjärrvärmes sätt.**

Av figur 2 framgår att skadefrekvensen är hög för delsträckor med byggår innan 1983, men på Svensk Fjärrvärmes vis skulle delsträckor med byggår framför allt från de senaste åren prioriteras att bytas ut, detta på grund av att utbyggnadstakten är hög dessa år, se Fig 1 på sidan 5 i rapporten. Det finns ingen relevans med att basera skadestatistiken med avseende på byggår som baserar på den totala nätlängden. Om man inte kan identifiera den specifika nätutbyggnaden för varje byggår (som nämnts om databasen tidigare) är det bättre att beräkna skadefrekvensen för respektive kulverttyp med avseende på exempelvis dimension, se 4.5 på sidan 17 i rapporten.. Denna statistik bör då redovisas dels i diagramform och dels i sifferform för den praktiska användningen av statistiken.

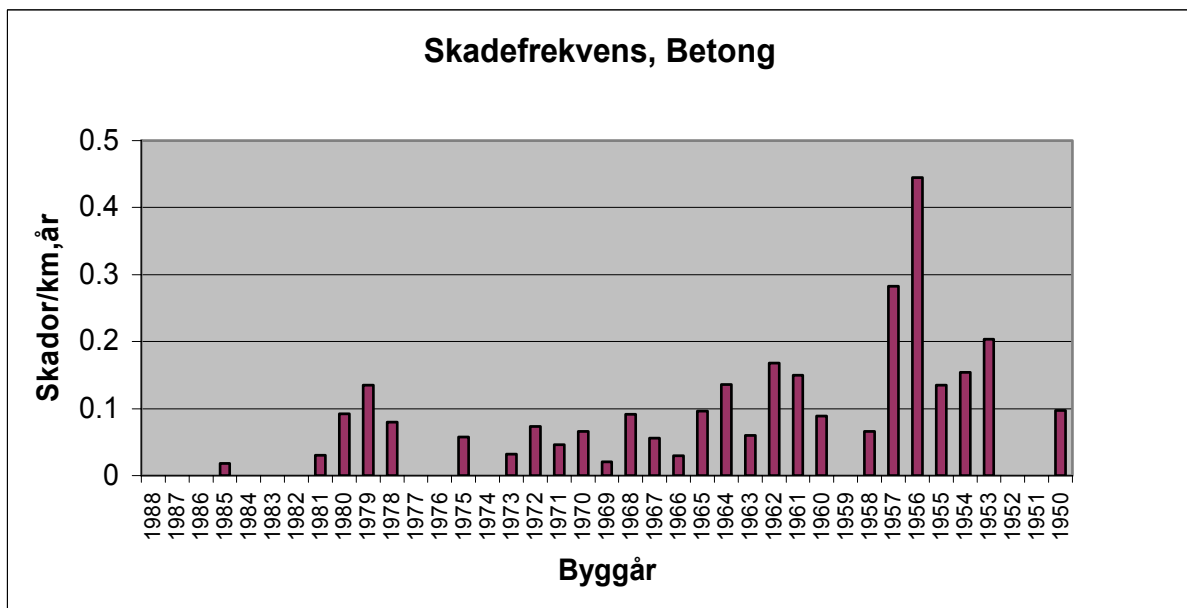
Ett förslag är också att redovisa varje skada med markförhållande, trafiklast och grundvattennivå.

## Bilaga 2 Skadefrekvens med avseende på byggår

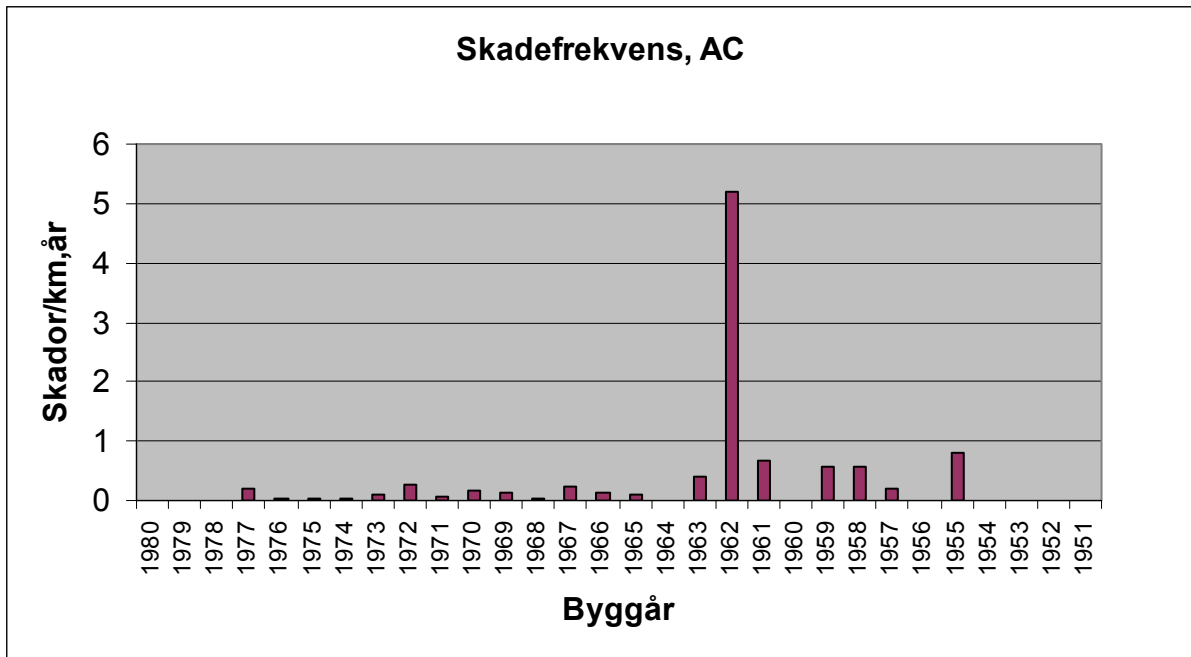
Skadefrekvenser med avseende på byggår för kulverttyperna asbestcementkulvert, betongkulvert och inomhusledning, lokal nivå, se figur 1-3 nedan.



Figur 1 Skadefrekvensen för inomhusledningar med avseende på byggår, lokal nivå. Baseras på skador från 1995-2003.



Figur 2 Skadefrekvensen för betongkulvertar med avseende på byggår, lokal nivå. Baseras på skador från 1995-2003.



**Figur 3** Skadefrekvensen för asbestcementkulvertar med avseende på byggår, lokal nivå. Baseras på skador från 1995-2003.



## Bilaga 3 Beräkning av U-värden (W/mK)

Resultat från beräkning av U-värden, se tabell 1 och 2. För formler och antagande se s. 2-17.

Tabell 1 Beteckningsnummer för respektive kulverttyp för tabell 2 nedan.

NR	Kulverttyp
1	Fasta, enkelrör (cyklopentan)
2	Fasta, enkelrör (CFC)
3	Fasta, dubbelrör
4	AC-kulvert, dubbelrör, PUR
5	AC-kulvert, enkelrör, PUR
6	AC-kulvert, dubbelrör, MU
7	AC-kulvert, enkelrör, MU
8	AC-kulvert, enkelrör, cell
9	AC-kulvert, dubbelrör, cell
10	Betongkulvert, MU (1950-1979)
11	Betongkulvert, MU (1980-)
12	Betongkulvert, cell
13	Aquawarm, dubbelrör
14	Aquawarm, enkelrör
15	Inomhusledning, enkelrör

Tabell 2 Beräknings resultat av U (W/mK) för samtliga DN för respektive kulverttyp (se tabell 1).

NR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
DN 15													0.17		
DN 18													0.19	0.32	
DN 20	0.31	0.30	0.29											0.33	0.36
DN 22													0.21	0.36	
DN 25	0.37	0.36	0.28											0.39	0.41
DN 28													0.20	0.44	
DN 32	0.40	0.39	0.30						0.83	0.48				0.47	0.47
DN 35													0.22	0.40	
DN 40	0.45	0.44	0.36			0.51				0.51					0.51
DN 42													0.25	0.48	
DN 50	0.50	0.48	0.34	0.83		0.51	0.56		1.00	0.59					0.51
DN 54														0.48	
DN 65	0.56	0.53	0.41	0.88		0.62	0.66		0.79	0.68					0.60
DN 70										0.72				0.65	
DN 80	0.58	0.55	0.47	1.03	0.78	0.69	0.73		1.01	0.77				0.75	0.67
DN 90										0.86					
DN 100	0.59	0.55	0.45	1.20	0.76	0.81	0.86	1.64	0.98	0.91					0.70
DN 110										0.98					
DN 125	0.68	0.62	0.39	1.36	0.88	0.85	1.01	1.72		1.05	0.76	0.84			0.81
DN 150	0.76	0.70	0.48	1.52	1.06		1.16	2.05	1.19	1.19	0.87	0.92			0.93
DN 175							1.30			1.31		1.21			
DN 200	0.78	0.70			1.86		1.41			1.43	0.94	0.99			0.92
DN 225												1.09			
DN 250	0.73	0.64			2.07		1.40	3.24		1.42	1.10	1.12			1.09
DN 300	0.83	0.73								1.60	1.26	1.21			1.25
DN 350										1.75					
DN 400	0.81	0.71								1.93	1.24	1.16			
DN 500	1.05	0.92								2.01	1.47				
DN 600	1.29	1.13									1.71				
DN 700	1.46	1.29									1.80				

## Beteckningar [8]

### Värmemotstånd

$R_i$	Värmemotstånd, isolering	(mK/W)
$R_h$	Värmemotstånd, konvektion	(mK/W)
$R_m$	Värmemotstånd, mark	(mK/W)
$R_s$	Värmemotstånd, sammanfallande temperaturfält	(mK/W)
$R_v$	Värmemotstånd, ventilation	(mK/W)

### Medieegenskaper mm

$\lambda_i$	Värmeledningsförmåga, isolering	(W/mK)
$\lambda_m$	Värmeledningsförmåga, mark	(W/mK)
$\rho$	Densiteten	(kg/m <sup>3</sup> )
$C_p$	Värmevärmekapaciteten	(J/kgK)
$h$	Värmeövergångskoefficient	(W/m <sup>2</sup> K)

### Geometriska mått

$A$	Inre höjd i betonglådekulvert	(m)
$B$	Inre bredd i betonglådekulverten	(m)
$d_i$	Ytterdiameter, medierör	(m)
$d_y$	Ytterdiameter, isolering	(m)
$D$	Innerdiameter på mantelröret	(m)
$D_e$	Ekvivalent diameter	(m)
$H$	Förläggingsdjup, från markyta till rörens centrum	(m)
$S$	Centrumavstånd mellan tilllopps- och returledningsrör	(m)

### Beteckningar som används i samband med ventilationsmotståndet

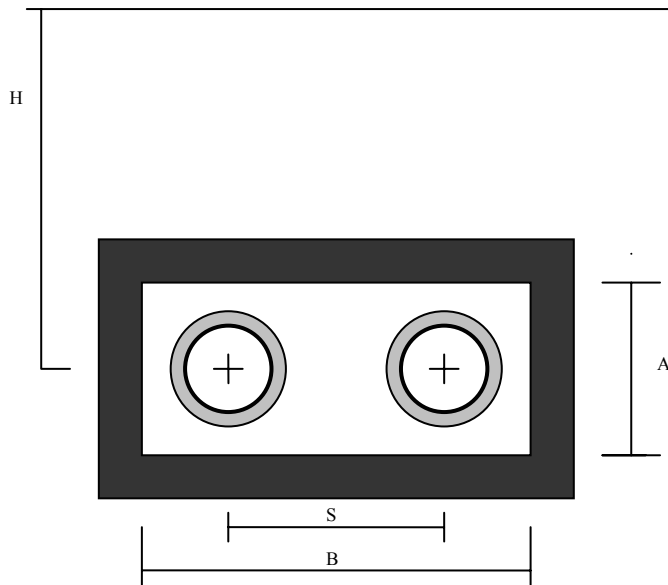
$L_v$	Avstånd mellan kammare	(m)
$W$	Lufthastighet i luftningsrör	(m/s)
$d_v$	Diameter för luftningsrör	(m)
$\rho$	Luftens densitet	(kg/m <sup>3</sup> )
$c_p$	Luftens värmekapacitet	(J/kgK)

## Beteckningar [22], [35]

$h_s$	Värmeförlustfaktor för det symmetriska fallet	(-)
$H$	Förläggingsdjup, från markyta till rörens centrum	(m)
$D$	Halva sträckan av centrumavstånd mellan tilllopps- och returrör	(m)
$R_0$	Ytterradie på mantelrör (enkelrör)	(m)
$r_c$	Ytterradie på mantelrör (dubbelrör)	(m)
$r_i$	Innerradie på medierör	(m)
$\lambda_i$	Värmeledningsförmåga, isolering	(W/mK)
$\lambda_g$	Värmeledningsförmåga, mark	(W/mK)
$\sigma$	Parameter som beskriver förhållandet mellan $\lambda_i$ och $\lambda_g$	(-)
$\beta$	Parameter som beskriver förhållandet mellan $\lambda_i$ och $\lambda_g$	(-)
$U_{tot}$	Värmeövergångstal för de båda rören	(W/mK)

### 3.1 Betongkylvert med mineralullisulering, 1950-1979

U-värdet för betongkylvert med mineralullisulering, se figur 1, beräknas enligt ekvation 1-7 nedan. [8]



Figur 1 Betongkylvert med mineralullisulering.

U värde (ekv.1) 
$$U_{tot} = \frac{1}{R_i + R_{h_1} + \frac{1}{\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_{h_2} + R_m}}}$$

Värmemotstånd, isolering (ekv.2) 
$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{d_y}{d_i}$$

Värmemotstånd, luftspalt (konvektion) (ekv.3) 
$$R_{h_1} = \frac{1}{2\pi d_y h_1}$$

(ekv.4) 
$$R_{h_2} = \frac{1}{2(A+B)h_2}$$

Värmemotstånd, ventilation (ekv.5) 
$$R_v = \frac{4L_v}{W\pi d_v^2 \rho c_p}$$

Värmemotstånd mark (ekv.6) 
$$R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \left[ \frac{2H}{D_e} + \sqrt{\left( \frac{2H}{D_e} \right)^2 - 1} \right] \approx \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \frac{4H}{D_e}$$

där den ekvivalenta diametern  $D_e$  beräknas enligt (ekv.7) 
$$D_e = \frac{35,2}{\frac{10}{A} + \frac{8}{B-S} + \frac{10}{A} + \frac{2}{S}}$$

*Kommentarer:*

1. Alla beräkningsuttryck gäller den totala värmeförlusten från båda rören i kulverten. [8]
2. Värmemotståndet mellan markyta och luft har försumrats. [8]
3. Stationära tillstånd förutsätts råda. [8]
4. Konvektionen i luftspalten ansätts med två värmemotstånd,  $R_{h1}$  och  $R_{h2}$ . [8]
5. Betongväggen räknas till omgivande mark, på grund av att dessa har ungefär samma värmekonduktivitet. [8]
6. Sättet att använda en ekvivalent diameter vid beräkning av värmemotståndet för mark är tänkt att rektangelkanalen ersätts av två cylindrar. [8]
7. Värden för A respektive B har hämtas från typritning 1974 [36] för DN 200-500. För övriga DN är A och B antagna [1].
8. Isolertjocklek är enligt typritning 1974 [36] för DN 200-500. För DN 32-175 är en isoleringstjocklek på 30 mm antagen [37].
9. Centrum avståndet mellan rören (c/c- mått) är för DN 200-500 enligt typritning 1974 [36]. För övriga DN är måttet antaget [37].
10. Lamda ( $\lambda_i$ ) för mineralull antagen till 0.04. [9]
11. Lamda ( $\lambda_m$ ) för marken är antagen till 1.4. [9]
12. Höjden från rörens centrum till markytan (H) är beräknat genom att addera betongkulvertens innerdimension i höjddled, betongväggen som antas vara 150 mm tjock [37] och standard från kulverthjässan till markytan som är 0.6 m [3].
13. Avståndet mellan kamrarna ( $L_v$ ) är antaget till 40 meter. [38]
14. Värmeövergångsmotstånden,  $h_1$  respektive  $h_2$ , är bestämda till 10 W/m<sup>2</sup>K. [8]
15. Hastigheten i luftningsrören (W) är antagen till 0.7 m/s. [8], [9], [39]
16. Diametern på luftningsrören ( $d_v$ ) är antagen till 100 mm. [38]
17. Luftens densitet och specifika värmekapacitet ( $c_p$ ) är antagna. [9], [40]

### 3.2 Betongkulvert med mineralullisolering, efter 1980

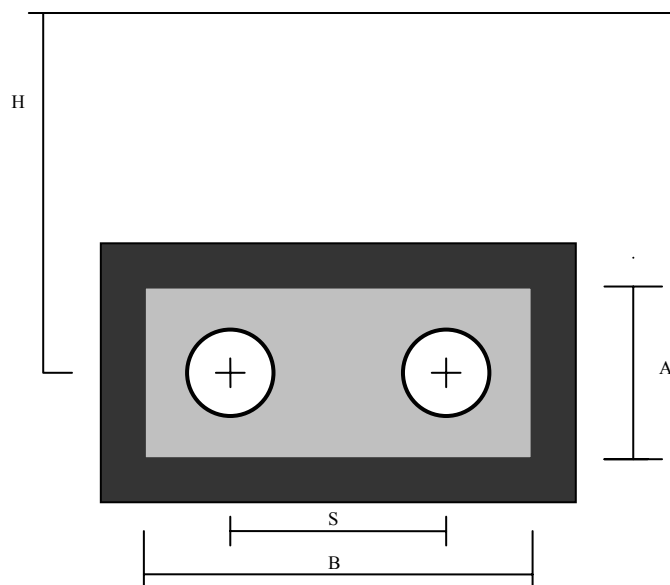
Formler enligt 3.1.

Kommentarer;

1. Värden för A respektive B för DN 150-500 har hämtas från FV-standard 85 [41]. För övriga DN är A och B antagna [1].
2. Isolertjocklek och c/c-mått för DN 150-500 är enligt FV-standard 85 [41]. Övriga DN är antagna [37].
3. Övriga antaganden är desamma som antagande 1-6 och 9-17 enligt 3.1.
- 4.

### 2.3 Betongkulvert med cellbetongisolering

U-värdet för betongkulvert med cellbetong som isolering, se figur 2, beräknas enligt ekvation 8-14 nedan. [8]



Figur 2 Betongkulvert med cellbetong som isolering.

U värde (ekv.8) 
$$U_{tot} = \frac{1}{R_i + R_m + R_s}$$

Värmotstånd, isolering (ekv.9) 
$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{D_e}{d_i}$$

Värmotstånd, mark (ekv.10) 
$$R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \left[ \frac{2H}{D_e} + \sqrt{\left( \frac{2H}{D_e} \right)^2 - 1} \right] \approx \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \frac{4H}{D_e}$$

där den ekvivalenta diametern  $D_e$  beräknas enligt (ekv.11) 
$$D_e = \frac{35,2}{\frac{10}{A} + \frac{8}{B-S} + \frac{10}{A} + \frac{2}{S}}$$

Värmeotstånd,

$p$  g  $a$  sammanfallande temperatur fält (ekv.12) 
$$R_s = R_i + R_m - \frac{1}{C_1 + C_2}$$

där  $C_1$  (ekv.13) och  $C_2$  (ekv.14)

$$C_1 = \frac{4\pi\lambda_i}{\ln \frac{S}{d_i} + \left( \sqrt{\left(\frac{S}{d_i}\right)^2 - 1} \right)}$$

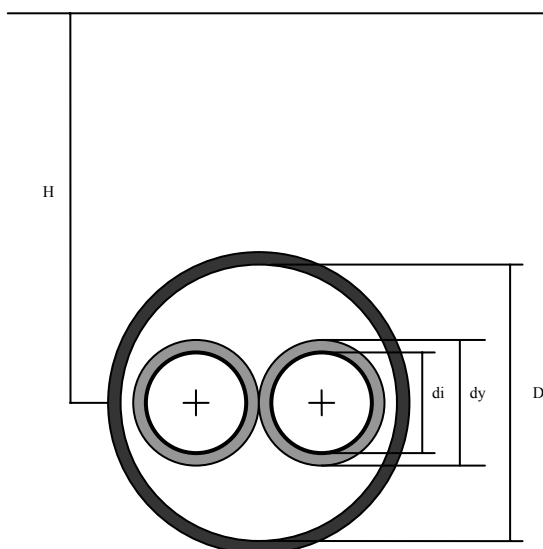
$$C_2 = \frac{2 * 0,4(\lambda_m - \lambda_i)}{AR_i\lambda_m}$$

Kommentarer;

1. A och B antagna. [1]
2. Centrum avståndet mellan rören (c/c- mått) är för DN 200-400 enligt typritning 1974 [36]. För övriga DN är måttet antaget [37].
3. Lamda ( $\lambda_i$ ) för cellbetong är antagen till 0.16 [9].
4. Övriga antaganden desamma som antagande 1-3, 5, 6, 9, 11 och 12 enligt 3.1.

### 3.4 Asbestcementkulvert med mineralullisolering, dubbelrör

U-värdet för asbestcementkulvert med mineralull som isolering, se figur 3, beräknas enligt ekvation 15-20 nedan. [8]



Figur 3 Asbestcement kulvert med isolering av mineralull, dubbelrör.

U-värde (ekv.15) 
$$U_{tot} = \frac{1}{R_i + R_{h_1} + \frac{1}{\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_{h_2} + R_m}}}$$

Värmemotstånd, isolering (ekv.16) 
$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{d_y}{d_i}$$

Värmemotstånd, luftspalt (konvektion) (ekv.17) 
$$R_{h_1} = \frac{1}{2\pi d_y h_1}$$

(ekv.18) 
$$R_{h_2} = \frac{1}{\pi D h_2}$$

Värmemotstånd, mark (ekv.19) 
$$R_m = \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln \left[ \frac{2H}{D} + \sqrt{\left(\frac{2H}{D}\right)^2 - 1} \right] \approx \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln \frac{4H}{D}$$

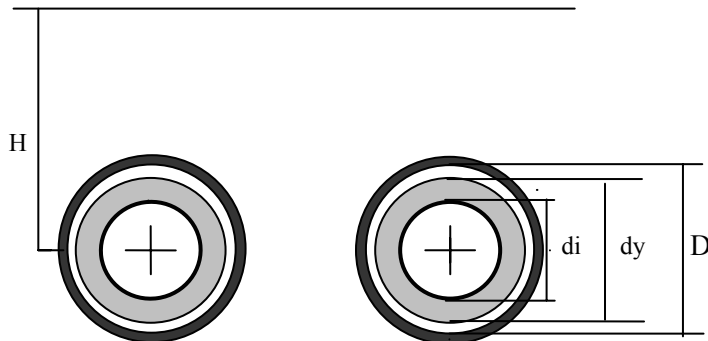
Värmemotstånd, ventilation (ekv.20) 
$$R_v = \frac{4L_v}{W\pi d_v^2 \rho c_p}$$

*Kommentarer;*

1. Isolertjockleken är antagen för DN 40 och 125 [42]. För övriga DN är isolertjockleken enligt Eternitrörs produktpärm [42].
2. Diameter och tjocklek på asbestcementröret är antagna för DN 40 och 125. Övriga DN är enligt Eternitrörs produktpärm. [42]
3. Höjden från rörens centrum till markytan (H) är beräknat genom att addera höjden av halva ytterdiameter för asbestcementröret och standard från kulverthjässan till markytan som är 0.6 m. [3]
4. Värmemotstånd, p g a sammanfallande temperaturfält, försummas. [8]
5. Övriga antaganden är desamma som antagande 1-4, 10, 11, 12-17 enligt 3.1.

### 3.5 Asbestcementkulvert med mineralullisolering, enkelrör

U-värdet för asbestcementkulvert med mineralullisolering, enkelrör, se figur 4, beräknas enligt ekvation 21-25 nedan [8]. Formlerna är tagna från dubbelrör enligt 3.4 men korrigerade för att passa enkelrör.



Figur 4 Asbestcementkulvert med mineralull som isolering, enkelrör.

U-värde (ekv.21) 
$$U_{tot} = \frac{1}{R_i + R_{h_1} + R_{h_2} + R_m}$$

Värmemotstånd, isolering (ekv.22) 
$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{d_y}{d_i}$$

Värmemotstånd, luftspalt (konvektion) (ekv.23) 
$$R_{h_1} = \frac{1}{2\pi d_y h_1}$$

(ekv.24) 
$$R_{h_2} = \frac{1}{2\pi D h_2}$$

Värmemotstånd, mark (ekv.25) 
$$R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \left[ \frac{2H}{D} + \sqrt{\left( \frac{2H}{D} \right)^2 - 1} \right] \approx \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \frac{4H}{D}$$

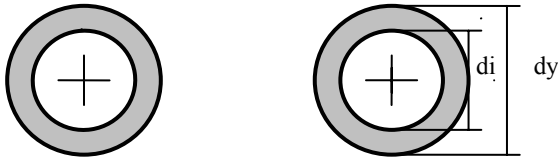
Kommentarer;

1. Ventilationsmotståndet försummas. [9]
2. Värmemotstånd, p g a sammanfallande temperaturfält, försummas. [8]
3. Isolertjockleken är antagen till 30 mm för DN 50, 65 och 175 [42]. För övriga DN är isolertjockleken enligt typritning 1974 [36].
4. Diameter och tjocklek på asbestcementrör är antagna för DN 50, 65 och 175. Övriga DN är enligt Eternitrörs produktpärm [42].
5. Övriga antagande är desamma som för 1-4, 10 och 11 enligt 3.1.



### 3.6 Inomhusledning, enkelrör

U-värdet för inomhusledning, enkelrör, se figur 5, beräknas enligt ekvation 26 och 27 nedan. [8]



Figur 5 Inomhusledning

U-värde (ekv.26)  $U_{tot} = \frac{1}{R_i}$

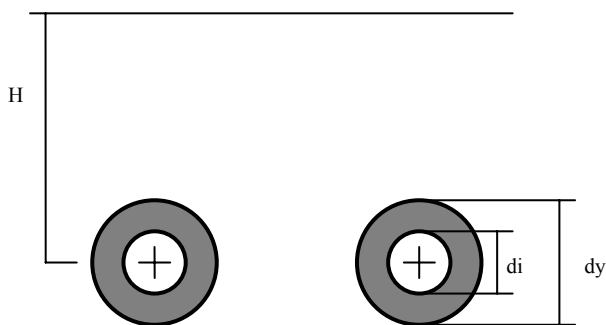
Värmemotstånd, isolering (ekv.27)  $R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{d_y}{d_i}$

Kommentarer;

1. Isolertjockleken för de olika DN är enligt GE standard serie 32 [43].
2. Värmemotstånd, p g a sammanfallande temperaturfält, försummas. [8]
3. Övriga antaganden är desamma som antagande 1, 3 och 10 enligt 3.1.

### 3.7 Aquawarmrör, enkelrör

U-värdet för Aquawarmrör, enkelrör, se figur 6, beräknas enligt ekvation 28-30 nedan. [8]



Figur 6 Aquawarmrör, enkelrör.

U-värde (ekv.28)  $U_{tot} = \frac{1}{R_i + R_m}$

Värmemotstånd, isolering (ekv.29)  $R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{d_y}{d_i}$

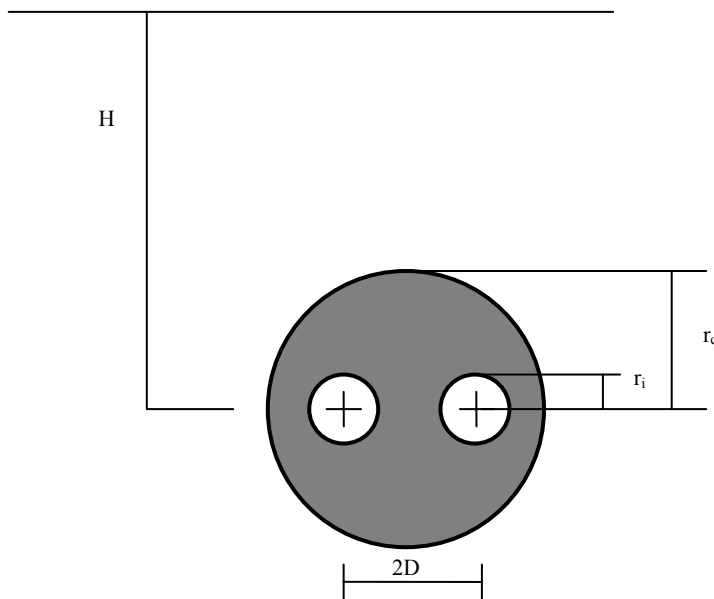
$$\text{Värmemotstånd, mark} \quad (\text{ekv.30}) \quad R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \left[ \frac{2H}{d_y} + \sqrt{\left( \frac{2H}{d_y} \right)^2 - 1} \right] \approx \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \frac{4H}{d_y}$$

*Kommentarer;*

1. Värmemotstånd, p g a sammanfallande temperaturfält, försummas. [8]
2. Isolertjockleken och diametern på ytterhöljet är antagna för DN 20, 25 och 32 [44].  
För övriga DN är värden enligt Aquawarms produktpärm [44].
3. Övriga antaganden är desamma som antagande 1-3, 10 och 11 enligt 3.1.

### 3.8 Aquawarmrör, dubbelrör

U-värdet för Aquawarmrör, dubbelrör, se figur 7, beräknas enligt ekvation 31-33 nedan. [35]



**Figur 7 Aquawarmrör, dubbelrör.**

$$\text{U-värde} \quad (\text{ekv.31}) \quad U_{tot} = 2 * 2\pi\lambda_i h_s$$

där

$$(\text{ekv.32}) \quad h_s^{-1} = \frac{2\lambda_i}{\lambda_g} \ln \left( \frac{2H}{r_c} \right) + \ln \left( \frac{r_c^2}{2Dr_i} \right) + \sigma * \ln \left( \frac{r_c^4}{r_c^4 - D^4} \right) - \frac{\left( \frac{r_i}{2D} - \frac{\sigma 2r_i D^3}{r_c^4 - D^4} \right)^2}{1 + \left( \frac{r_i}{2D} \right)^2 + \sigma \left( \frac{2r_i r_c^2 D}{r_c^4 - D^4} \right)^2}$$

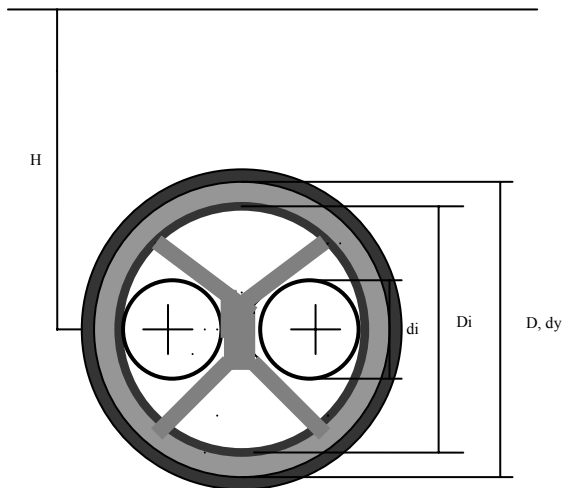
(ekv.33) 
$$\sigma = \frac{\lambda_i - \lambda_g}{\lambda_i + \lambda_g}$$

*Kommentarer;*

1. Värden för isolertjocklek, tjocklek på medierör, c/c-mått samt diameter på ytterhöljet för de olika DN är enligt Aquawarms produktpärm. [44]
2. Övriga antaganden är desamma som antagande 1-3, 10 och 11 enligt 3.1.

### 3.9 Asbestcementkulvert med polyuretanisolering, dubbelrör

U-värdet för asbestcementkulvert med polyuretan som isolering, dubbelrör, se figur 8, beräknas enligt ekvation 34-38 nedan. [8]



**Figur 8 Asbestcementkulvert med polyuretan som isolering, dubbelrör.**

U-värde (ekv.34) 
$$U_{tot} = \frac{1}{R_i + R_{h_1} + R_{h_2} + R_m}$$

Värmemotstånd, isolering (ekv.35) 
$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{d_y}{D_i}$$

Värmemotstånd, luftspalt (konvektion) (ekv.36) 
$$R_{h_1} = \frac{1}{1,5\pi d_i h_1}$$

(ekv.37) 
$$R_{h_2} = \frac{1}{\pi D_i h_2}$$

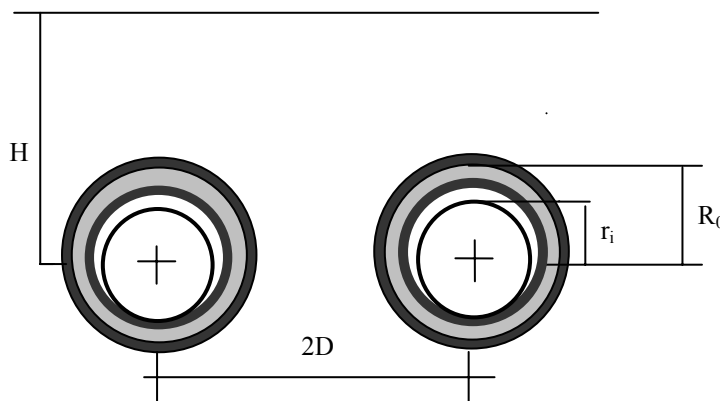
$$\text{Värmemotstånd, mark} \quad (\text{ekv.38}) \quad R_m = \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln \left[ \frac{2H}{D} + \sqrt{\left(\frac{2H}{D}\right)^2 - 1} \right] \approx \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln \frac{4H}{D}$$

*Kommentarer;*

1. Ventilationsmotståndet försummas. [9]
2. Värmemotstånd, p g a sammanfallande temperaturfält, försummas. [8]
3. Diametern på skyddsroret samt c/c-mått är tagna från Eternitrörs produktpärm för DN 150 [42]. Övriga DN värden är enligt typritning 1974 [36].
4. Tjocklek på skyddsror, isolering samt diameter på hålröret enligt Eternitrörs produktpärm för alla DN [44].
5. Lamda för PUR-isoleringen är antagen till 0.33. [9]
6. Övriga antaganden är desamma som antagande 1-3 och 11 enligt 3.1.

### 3.10 Asbestcementkulvert med polyuretanisolering, enkelrör

U-värdet för asbestcementkulvert med polyuretan som isolering, enkelrör, se figur 9, beräknas enligt ekvation 39-41 nedan. [22], [35]



Figur 9 Asbestcementkulvert med polyuretan som isolering, enkelrör.

$$\text{U-värde} \quad (\text{ekv.39}) \quad U_{tot} = 4\pi\lambda_g h_s$$

$$(\text{ekv.40}) \quad h_s^{-1} = \ln \left( \frac{2H}{r_0} \right) + \beta + \left( \sqrt{1 + \left( \frac{H}{D} \right)^2} \right)$$

(ekv.41)

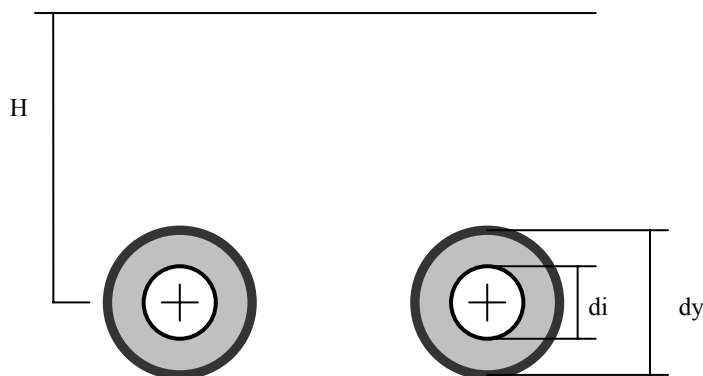
$$\beta = \frac{\lambda_g}{\lambda_i} \ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)$$

*Kommentarer;*

1. Lamda ( $\lambda_i$ ) för CFC är antagen till 0.025. [9]
2. Andelen CFC i isolerskummet är antagen till 50 %. [9]
3. Serie 0.5 i EkoDim har antagits som isolertjocklek. [9]
4. Tjockleken på skyddsroret för DN 80 är enligt Eternitrörs produktpärm [44]. För övriga DN antas en tjocklek på 15 mm p g a begränsingar i EkoDim.
5. Värden på c/c-måttet är för DN 150, 200 och 250 är enligt typritning 1974 [36]. Övriga DN är antagna [43].
6. Tjockleken på isoleringen och diametern på skyddsroret är för DN 150, 200 och 250 enligt typritning 1974 [36]. Övriga DN enligt Eternitrörs produktpärm. [42]
7. U-värdet antagits vid 41.5 år, av en drifttid på 50 år, p g a att medelvärdet för byggåret av denna kulverttyp är 1970 vilket gör att rören i medeltal är 33 år gamla. [1]
8. Ventilationsmotståndet försummas. [9]
9. Övriga antaganden är desamma som antagande 1, 2 och 11 enligt 3.1.

### 3.11 Asbestcementkulvert med cellbetongisolering, enkelrör

U-värdet för asbestcementkulvert med cellbetong som isolering, enkelrör, se figur 10, beräknas med hjälp av ekvation 28-30, enligt 3.7 ovan. [8]



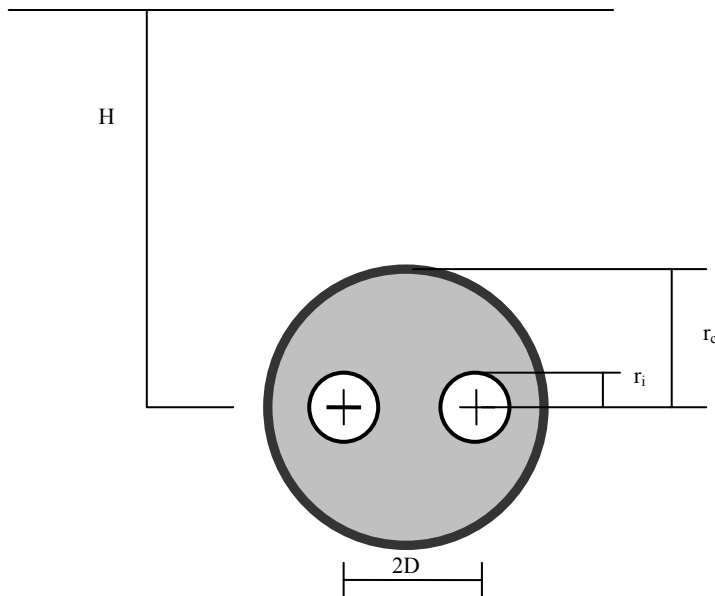
**Figur 10** Asbestcementkulvert med cellbetongisolering, enkelrör.

*Kommentarer;*

1. Värmotstånd, p g a sammanfallande temperaturfält, försummas.[8]
2. Isolertjockleken och diametern på ytterhöljet är antagna. [1]
3. Lamda ( $\lambda_i$ ) för cellbetongen är antagen till 0.16. [9]
4. Övriga antaganden är desamma som antagande 1-3 och 11 enligt 3.1.

### 3.12 Asbestcementkulvert med cellbetongisolering, dubbelrör

U-värdet för asbestcementkulvert med cellbetong som isolering, dubbelrör, se figur 11, beräknas med hjälp av ekvation 31-33, enligt 3.8 ovan. [35]



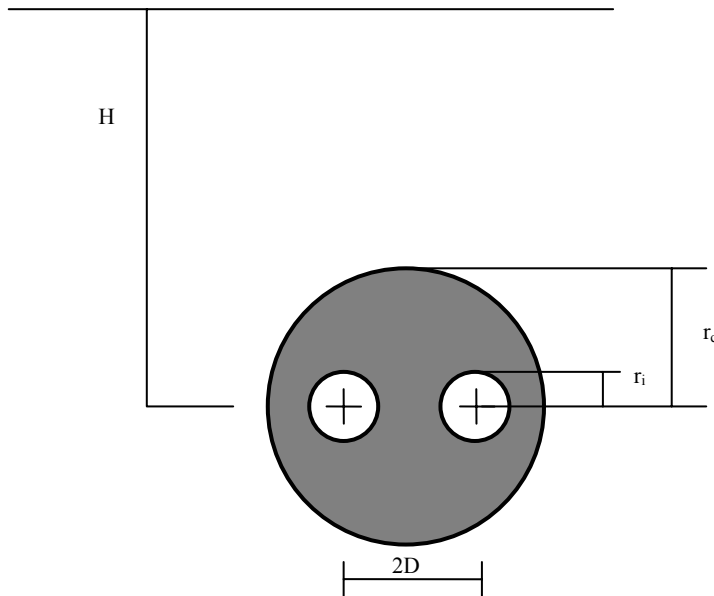
Figur 11 Asbestcementkulvert med cellbetong som isolering, dubbelrör.

#### *Kommentarer;*

1. Värden för isolertjocklek, tjocklek på medierör, c/c-mått samt diameter på ytterhöljet för de olika DN är antagna. [1], [43]
2. Lamda ( $\lambda_i$ ) för cellbetongen är antagen till 0.16. [9]
3. Övriga antaganden är desamma som antagande 1-3 och 11 enligt 3.1.

### 3.13 Direktskummade plastmantelrör, fasta respektive flexibla, dubbelrör, efter 1991

U-värdet för direktskummade plastmantelrör, dubbelrör, se figur 12, beräknas enligt ekvation 42-44 nedan. [22], [35]



Figur 12 Direktskummade plastmantelrör, fasta respektive flexibla, dubbelrör.

U-värde (ekv.42)  $U_{tot} = 4\pi\lambda_i h_s$

(ekv.43)  $h_s^{-1} = \frac{2\lambda_i}{\lambda_g} \ln\left(\frac{2H}{r_c}\right) + \ln\left(\frac{r_c^2}{2Dr_i}\right) + \sigma * \ln\left(\frac{r_c^4}{r_c^4 - D^4}\right)$

(ekv.44)  $\sigma = \frac{\lambda_i - \lambda_g}{\lambda_i + \lambda_g}$

#### Kommentarer;

1. Lamda för PUR-isoleringen är antagen till 0.029. [9]
2. Cyklopentanandelen i isoleringen är antagen till 20 %. [9]
3. Avståndet mellan rören (c) är enligt EkoDim. [22]
4. Tjockleken på skyddsroren är enligt EU standard. [22]
5. U-värdet beräknas som ett medelvärde under en drifttid på 50 år.
6. Övriga antaganden är desamma som antagande 1, 2 och 11 enligt 3.1.



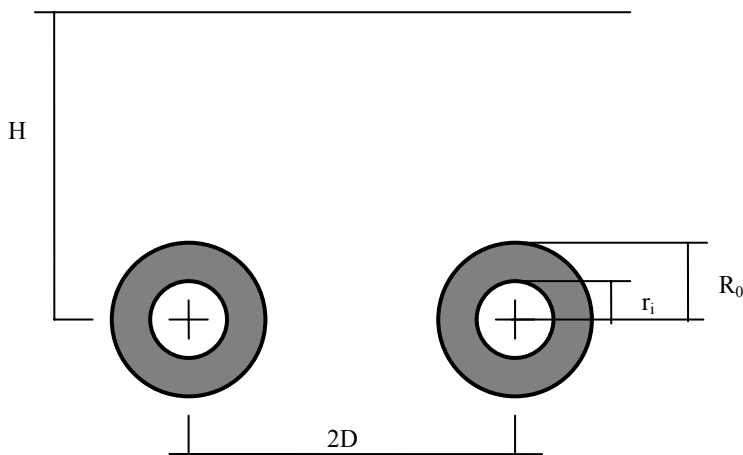
### 3.14 Direktskummade plastmantelrör, fasta respektive flexibla, enkelrör, efter 1991

I direktskummade plastmantelrören användes CFC som isolergas fram till 1991. Från 1992 tillverkades rör med koldioxid som isolergas och från 1993 kunde man erbjuda rör med mjuka freoner (HCFC-141b). Efter 1996 används enbart en blandning av cyklopentan och koldioxid som isolergas. En uppdelning av de fasta direktskummade plastmantelrören har därför antagits enligt följande; rör tillverkade före år 1991 antas bestå av en isolergas med CFC medan rör tillverkade efter år 1991 antas innehålla isolergas med cyklopentan och koldioxid. [45]

Direktskummade plastmantelrör med enkelrörskonstruktion antas i Göteborg Energis fjärrvärmenät vara isolerade enligt serie 2. [3]

Flexibla direktskummade plastmantelrör antas ha ekvivalenta egenskaper som fasta direktskummade plastmantelrör och därmed tilldelas de flexibla likadana U-värden som de fasta. [46]

U-värdet för direktskummade plastmantelrör, dubbelrör, se figur 13, beräknas enligt ekvation 45-47 nedan. [22], [35]



Figur 13 Direktskummade plastmantelrör, fasta respektive flexibla, enkelrör.

U-värde (ekv.45)  $U_{tot} = 4\pi\lambda_g h_s$

(ekv.46)  $h_s^{-1} = \ln\left(\frac{2H}{r_0}\right) + \beta + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{H}{D}\right)^2}\right)$

(ekv.47)

$$\beta = \frac{\lambda_g}{\lambda_i} \ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)$$

Kommentarer;

1. Lamda för PUR- isoleringen är antagen till 0.029. [9]
2. Cyklopentanandelen i isoleringen är antagen till 20 %. [9]
3. Avståndet mellan centrum av rören (c/c-mått) enligt FV-standard 2003 [43].
4. Tjockleken på skyddsroren är enligt EU standard. [22]
5. Serie 2 i EkoDim har antagits som isolertjocklek. [3]
6. U - värdet beräknas som ett medelvärde under en drifttid på 50 år. [3]
7. Övriga antaganden är desamma som antagande 1, 2 och 11 enligt 3.1.

### **3.15 Direktskummade plastmantelrör, fasta respektive flexibla, enkelrör, före 1991**

U-värdet för direktskummade plastmantelrör, enkelrör, se figur 13, beräknas med hjälp av ekvation 45-47, enligt 3.14 ovan. [22], [35]

#### *Kommentarer;*

1. Lamda för PUR-isoleringen är antagen till 0.025. [9]
2. Andelen CFC i isolerskummet är antagen till 50 %. [9]
3. Avståndet mellan centrum av rören (c/c-mått) enligt FV-standard 2003. [43]
4. Tjockleken på skyddsroren är enligt EU standard. [22]
5. Serie 2 i EkoDim har antagits som isolertjocklek. [3]
6. U –värdet antagits vid 35 år, av en drifttid på 50 år, p g a medelvärdet för byggåret av denna kulverttyp är 1983 vilket gör att de i medeltal är 20 år gamla. [1]
7. Övriga antaganden är desamma som antagande 1, 2 och 11 enligt 3.1.

## Bilaga 4 Effekten på olika DN

Effekten för olika dimensioner, se tabell 1 nedan, är hämtade från ett tryck-, flöde- och temperaturdiagram [47]. Temperaturskillnaden är skillnaden i temperatur mellan tilloppsledningen och returledningen. År 2003 var denna skillnad 42 C° därför har ett medelvärde av effekten beräknats för ett  $\Delta T$  på 35 C° respektive 50 C°. Tryckfallet antas vara 35 mmvp. [26]

Tabell 1 Effekt för respektive DN.

DN	Effekt (kW)
15	15
18	20
20	29
22	24
25	56
28	29
32	115
35	56
40	165
42	115
50	315
54	200
65	600
70	680
80	900
88.9	900
90	1100
100	1890
108	1700
110	2230
125	3200
150	5200
175	7700
200	11000
250	19500
300	30500
350	39000
400	57000
500	109000
600	170000
700	250000
800	360000
900	490000
1000	630000



## Bilaga 5 Konsumentprisindex för respektive år

Tabell 1 Konsumentprisindex (KPI) [48]

År	KPI	År	KPI
1950	260	1980	1461
1951	304	1981	1638
1952	326	1982	1778
1953	328	1983	1937
1954	330	1984	2092
1955	339	1985	2246
1956	356	1986	2341
1957	372	1987	2440
1958	388	1988	2582
1959	391	1989	2748
1960	407	1990	3036
1961	416	1991	3319
1962	436	1992	3395
1963	449	1993	3553
1964	463	1994	3631
1965	487	1995	3723
1966	519	1996	3740
1967	540	1997	3760
1968	551	1998	3754
1969	566	1999	3772
1970	605	2000	3908
1971	650	2001	3902
1972	689	2002	3986
1973	735	2003	4063
1974	808		
1975	887		
1976	979		
1977	1090		
1978	1200		
1979	1286		



## Bilaga 6 Besiktningensprotokoll

### POÄNGBEDÖMNING BESIKTNING, BESIKTNINGSPROTOKOLL

#### 1. KULVERTDATA

Besiktning utförd av:

Datum:

Kulvertsträcka:

Kartblad:

Ev. Arbetsritning nr:

Ev. Bildkort nr:

Byggår:

Dimension, DN:

Kulverttyp:

- Betongkulvert  
 Asbestcementrörskulvert

- Plaströrskulvert  
 Stålrörskulvert  
 Skyddsror. Dimension:

Markförhållande:

- Lera  
 Berg  
 Sättningsbenäget område  
 Delar av sträckan utsätts för trafiklast
- Sand-Lera  
 Inomhus
- Friktionsjord  
 Tunnel

Kalkyl, förestående akutreparation:                      kr

#### 2. KAMMARMILJÖ

- |  |                             |                              |
|--|-----------------------------|------------------------------|
| 1. Har vatten läckt in i kammaren?                                     | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej |
| 2. Är nedstigningarna placerade i gatumark?                            | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej |
| 3. Har kammaren bristfällig ventilation?                               | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej |
| 4. Är ventiler och övrig armatur placerade så att de är svåråtkomliga? | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej |
| 5. Är kammaren underkänd med avseende på arbetsmiljöföreskrifter?      | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej |

#### 3. LEDNINGSMILJÖ

- |  |                             |                              |
|--|-----------------------------|------------------------------|
| 1. Kan ledningen ha blivit dränkt p g a hög grundvattennivå?       | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej |
| 2. Kan en eventuell reinvestering samordnas med andra markarbeten? | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej |
| 3. Finns indikationer på eventuell kulvertläcka?                   | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej |
| 4. Saknas fuktlarm på kulvertsträckan?                             | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej |
| 5. Finns det indikationer på att värmeförlusten är onormalt hög?   | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej |





## Bilaga 7 Resultat från fallstudien

### Provområde 1

För resultat av risken för skada, miljöparameter och ekonomiaspekten för respektive delsträcka, se tabell 1 nedan. [1], [34]

**Tabell 1 Redovisning av delsträckor från provområde 1 (Vidkärr) av beräkning av miljöparameter ( $\Delta U$ ), risk för skada (baserat på omgivningsförhållande och skadestatistik) och ekonomi (Besparingar/Grundinvestering).**

Gata	DN	Kulverttyp	Isolering	Dimension	Byggår	Trafik	Mark	Miljö	Risk	Ekonomi
ÄTTEHÖGSGATAN	500	BTG	MU	1780x1150	1984	LT	Ö	0.34	9.7	0.07
ÄTTEHÖGSGATAN	500	BTG	MU	1780x1150	1984	LT	Ö	0.34	9.7	0.07
ÄTTEHÖGSGATAN	400	BTG	MU	1560x910	1984	LT	Ö	0.33	9.7	0.08
ÄTTEHÖGSGATAN	54	Aquawarm	MU	2x163	1989	LT	Ö	0.14	10.0	0.06
ÄTTEHÖGSGATAN	400	BTG	MU	1560x860	1984	LT	L	0.33	9.7	0.08
ÄTTEHÖGSGATAN	54	Aquawarm	MU	2x163	1992	I	L	0.14	11.0	0.05
ÄTTEHÖGSGATAN	54	Aquawarm	MU	2x163	1989	LT	Ö	0.14	10.0	0.06
ÄTTESTIGEN	50	INH	MU		1992			0.00	#Saknas!	0.00
ÄTTESTIGEN	50	INH	MU		1989			0.00	#Saknas!	0.01
ÄTTEHÖGSGATAN	400	Fasta	PUR	2x560	1984	LT	Ö	-0.10	14.3	-0.01
ÄTTEHÖGSGATAN	400	Fasta	PUR	2x600	1984	LT	Ö	-0.10	14.7	-0.01
ÄTTEHÖGSGATAN	250	Fasta	PUR	2x450	1984	T	L	-0.09	16.7	-0.01
ZACHRISSONSGATAN	400	BTG	MU	1330x920	1984	LT	Ö	0.33	9.7	0.08
ÄTTEHÖGSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	Ö	0.10	15.1	0.05
ZACHRISSONSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	LT	L	0.14	17.2	0.07
ZACHRISSONSGATAN	400	BTG	MU	1330x920	1984	LT	L	0.33	9.7	0.08
ZACHRISSONSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1984	LT	L	0.09	17.2	0.05
ZACHRISSONSGATAN	400	BTG	MU	1330x920	1984	LT	L	0.33	9.7	0.08
ZACHRISSONSGATAN	400	BTG	MU	1330x920	1984	LT	L	0.33	9.7	0.08
GYLLENSTENSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1984	LT	L	0.09	17.2	0.05
ZACHRISSONSGATAN	300	BTG	MU	1030x610	1985	LT	L	0.32	10.0	0.10
TORPAGATAN	300	Fasta	PUR	2x500	1985	T	L	-0.10	16.2	-0.01
BROMELIUSGATAN	250	Fasta	PUR	2x450	1984	I	L	-0.09	14.7	-0.01
BROMELIUSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
BROMELIUSGATAN	250	Fasta	PUR	2x450	1984	LT	L	-0.09	15.7	-0.01
ERNST TORULFSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
BROMELIUSGATAN	250	Fasta	PUR	2x450	1984	I	L	-0.09	14.7	-0.01
ERNST TORULFSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
ERNST TORULFSGATAN	250	Fasta	PUR	2x450	1984	LT	L	-0.09	15.7	-0.01
ERNST TORULFSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	I	L	0.07	16.2	0.05
ERNST TORULFSGATAN	250	Fasta	PUR	2x450	1984	LT	L	-0.09	15.7	-0.01
ERNST TORULFSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
ERNST TORULFSGATAN	250	Fasta	PUR	2x450	1984	I	L	-0.09	14.7	-0.01
AHRENBERGSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	I	L	0.07	16.2	0.05
AHRENBERGSGATAN	250	Fasta	PUR	2x450	1984	LT	L	-0.09	15.7	-0.01
ERNST TORULFSGATAN	65	Fasta	PUR	2x160	1984	LT	L	0.13	17.2	0.06
AHRENBERGSGATAN	250	Fasta	PUR	2x450	1984	LT	L	-0.09	15.7	-0.01
AHRENBERGSGATAN	125	Fasta	PUR	2x250	1984	I	L	0.23	15.1	0.07
ERNST TORULFSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	LT	L	0.14	17.2	0.07
AHRENBERGSGATAN	50	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
AHRENBERGSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07

AHREBERGSGATAN	200	Fasta	PUR	2x355	1984	T	L	-0.08	17.1	-0.01
AHREBERGSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	I	L	0.07	16.2	0.05
AHREBERGSGATAN	200	Fasta	PUR	2x355	1984	LT	L	-0.08	16.1	-0.01
AHREBERGSGATAN	40	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	200	Fasta	PUR	2x355	1984	LT	L	-0.08	16.1	-0.01
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	125	Fasta	PUR	2x250	1984	LT	L	0.23	16.1	0.07
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	I	L	0.07	16.2	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	200	Fasta	PUR	2x355	1984	LT	L	-0.08	16.1	-0.01
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	LT	L	0.07	17.2	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	200	Fasta	PUR	2x355	1984	LT	L	-0.08	16.1	-0.01
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	LT	L	0.07	17.2	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	I	L	0.07	16.2	0.05
HÄRLANDAVÄGEN	200	Fasta	PUR	2x355	1984	LT	L	-0.08	16.1	-0.01
HÄRLANDAVÄGEN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	I	L	0.07	16.2	0.05
HÄRLANDAVÄGEN	200	Fasta	PUR	2x355	1984	I	Ö	-0.08	14.1	-0.01
ERNST TORULFSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	LT	L	0.07	17.2	0.05
AHREBERGSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
AHREBERGSGATAN	125	Fasta	PUR	2x250	1984	LT	L	0.23	16.1	0.07
AHREBERGSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
LYDINGHIELMSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
AHREBERGSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	LT	L	0.07	17.2	0.05
AHREBERGSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	I	L	0.10	15.1	0.05
AHREBERGSGATAN	40	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
AHREBERGSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	LT	L	0.07	17.2	0.05
AHREBERGSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	I	L	0.10	15.1	0.05
AHREBERGSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
AHREBERGSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
AHREBERGSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	I	L	0.07	16.2	0.05
AHREBERGSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	I	L	0.10	15.1	0.05
AHREBERGSGATAN	40	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
AHREBERGSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1984	LT	L	0.09	17.2	0.05
AHREBERGSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
AHREBERGSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1984	LT	L	0.09	17.2	0.05
AHREBERGSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1997	I	L	0.09	14.7	0.04
ERIK KUUS GATA	80	Fasta	PUR	2x180	1984	LT	L	0.09	17.2	0.05
AHREBERGSGATAN	40	INH	MU		1997			0.00	#Saknas!	0.00
LYDINGHIELMSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
LYDINGHIELMSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	I	L	0.10	15.1	0.05
LYDINGHIELMSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
LYDINGHIELMSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	I	L	0.10	15.1	0.05
LYDINGHIELMSGATAN	50	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
LYDINGHIELMSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1984	I	L	0.09	16.2	0.05
LYDINGHIELMSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	LT	L	0.14	17.2	0.07
LYDINGHIELMSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	LT	L	0.07	17.2	0.05
LYDINGHIELMSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1984	I	L	0.09	16.2	0.05
LYDINGHIELMSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
LYDINGHIELMSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1984	I	L	0.09	16.2	0.05
LYDINGHIELMSGATAN	50	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
ERNST TORULFSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
LYDINGHIELMSGATAN	65	Fasta	PUR	2x160	1984	LT	L	0.13	17.2	0.06
ERNST TORULFSGATAN	65	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
ERNST TORULFSGATAN	50	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00

ERNST TORULFSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
ERNST TORULFSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
ERNST TORULFSGATAN	50	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
ERNST TORULFSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
ERNST TORULFSGATAN	50	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
ERNST TORULFSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
ERNST TORULFSGATAN	50	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
ERNST TORULFSGATAN	50	Fasta	PUR	2X140	1984	I	L	0.14	16.2	0.07
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	125	Fasta	PUR	2x250	1984	LT	L	0.23	16.1	0.07
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	LT	L	0.07	17.2	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	I	L	0.07	16.2	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	LT	L	0.07	17.2	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	125	Fasta	PUR	2x250	1984	LT	L	0.23	16.1	0.07
COLLIANDERSGATAN	40	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	I	L	0.07	16.2	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	LT	L	0.07	17.2	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	LT	L	0.14	17.2	0.07
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	65	Fasta	PUR	2x160	1984	LT	L	0.13	17.2	0.06
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1984	LT	L	0.07	17.2	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	40	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	65	Fasta	PUR	2x160	1984	LT	L	0.13	17.2	0.06
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	LT	L	0.14	17.2	0.07
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	50	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
SÄVENÄSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	LT	S	0.14	16.2	0.07
LILLA MUNKEBÄCKSGATAN	50	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
ÄTTEHÖGSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	LT	L	0.14	17.9	0.07
ÄTTEHÖGSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	S	0.10	15.1	0.05
ÄTTEHÖGSGATAN	50	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
ÄTTEHÖGSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	S	0.14	15.2	0.07
ÄTTEHÖGSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	S	0.10	15.1	0.05
ÄTTEHÖGSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	LT	S	0.14	16.2	0.07
ÄTTEHÖGSGATAN	50	Fasta	PUR	2X140	1984	LT	S	0.14	16.2	0.07
ÄTTEHÖGSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	I	S	0.10	14.1	0.05
ÄTTEHÖGSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	S	0.14	15.2	0.07
ÄTTEHÖGSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1984	LT	S	0.09	16.2	0.05
ÄTTEHÖGSGATAN	40	Fasta	PUR	2x125	1990	I	S	0.07	12.8	0.03
ÄTTEHÖGSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1984	LT	Ö	0.09	16.2	0.05
HJALMAR SELANDERSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1985	LT	S	0.09	15.7	0.04
ÄTTEHÖGSGATAN	65	Fasta	PUR	2x160	1984	LT	S	0.13	16.2	0.06
HJALMAR SELANDERSGATAN	65	Fasta	PUR	2x160	1985	LT	S	0.13	15.7	0.06
HJALMAR SELANDERSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1985	LT	S	0.14	15.7	0.07
HJALMAR SELANDERSGATAN	50	Fasta	PUR	2X140	1985	I	S	0.14	14.7	0.07
HJALMAR SELANDERSGATAN	50	INH	MU		1985			0.00	#Saknas!	0.00
HJALMAR SELANDERSGATAN	50	Fasta	PUR	2X140	1991	I	S	0.16	13.8	0.06

ÄTTEKULLEN	50	Fasta	PUR	2X140	1991	I	S	0.16	13.8	0.06
HJALMAR SELANDERSGATAN	50	Fasta	PUR	2X140	1991	I	S	0.16	13.8	0.06
HJALMAR SELANDERSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1985	I	S	0.14	14.7	0.07
ÄTTEHÖGSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	S	0.14	15.2	0.07
ÄTTEHÖGSGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	LT	S	0.14	16.2	0.07
ÄTTEHÖGSGATAN	50	INH	MU		1986			0.00	#Saknas!	0.00
ÄTTEHÖGSGATAN	50	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
TORPAGATAN	65	Fasta	PUR	2x160	1984	LT	L	0.13	17.2	0.06
TORPAGATAN	50	Fasta	PUR	2x140	1984	I	Ö	0.14	15.2	0.07
BROMELIUSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
BROMELIUSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
BROMELIUSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1984	LT	L	0.09	17.2	0.05
BROMELIUSGATAN	80	Fasta	PUR	2x180	1990	LT	L	0.09	14.8	0.03
BROMELIUSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
BROMELIUSGATAN	80	INH	MU		1990			0.00	#Saknas!	0.00
BROMELIUSGATAN	65	Fasta	PUR	2x160	1984	I	L	0.13	16.2	0.06
BROMELIUSGATAN	100	Fasta	PUR	2x225	1984	LT	L	0.10	16.1	0.05
MUNKEBÄCKSTORGET	65	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
ERNST TORULFSGATAN	100	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00

## Provområde 2

För resultat av risken för skada, miljöparameter och ekonomiaspekten för respektive delsträcka ,se tabell 2 nedan.

**Tabell 2 Redovisning av delsträckor från provområde 2 ( vid Nobelplatsen) av beräkning av miljöparameter ( $\Delta U$ ), risk för skada (baserat på omgivningsförhållande och skadestatistik) och ekonomi (Besparingar/Grundinvestering).**

Gata	DN	Kulverttyp	Isolering	Dimension	Byggår	Trafik	Mark	Miljö	Risk	Ekonomi
DANSKA VÄGEN	250	AC	PUR	2x350	1972	LT	L	1.34	20.3	0.37
DANSKA VÄGEN	250	BTG	MU	1120x780	1972	T	L	0.69	15.5	0.24
DANSKA VÄGEN	250	AC	PUR	2x350	1974	I	L	1.34	17.0	0.35
DANSKA VÄGEN	250	AC	PUR	2x350	1974	I	L	1.34	17.0	0.35
DANSKA VÄGEN	250	AC	PUR	2x350	1974	I	L	1.34	17.0	0.35
DANSKA VÄGEN	50	INH	MU		1978			0.00	#Saknas!	0.00
DANSKA VÄGEN	250	AC	PUR	2x350	1974	I	L	1.34	17.0	0.35
DANSKA VÄGEN	250	AC	PUR	2x350	1974	I	L	1.34	17.0	0.35
RÄNTMÄSTAREGATAN	250	AC	PUR	2x350	1974	LT	L	1.34	18.0	0.35
RÄNTMÄSTAREGATAN	250	AC	PUR	2x350	1974	LT	L	1.34	18.0	0.35
PÄRLSTICKAREGATAN	40	INH	MU		1974			0.00	#Saknas!	0.01
RÄNTMÄSTAREGATAN	200	AC	PUR	2x300	1974	I	L	1.09	17.4	0.33
PÄRLSTICKAREGATAN	40	INH	MU		1974			0.00	#Saknas!	0.01
DANSKA VÄGEN	50	INH	MU		1974			0.00	#Saknas!	0.01
PÄRLSTICKAREGATAN	50	INH	MU		1974			0.00	#Saknas!	0.01
RÄNTMÄSTAREGATAN	200	AC	PUR	2x300	1974	I	L	1.09	17.4	0.33
RÄNTMÄSTAREGATAN	200	AC	PUR	2x350	1978	LT	L	1.09	18.1	0.32
RÄNTMÄSTAREGATAN	200	AC	PUR	2x350	1978	LT	L	1.09	18.1	0.32
TORKELSGATAN	125	AC	PUR	2x250	1974	I	L	0.49	17.4	0.22
TORKELSGATAN	125	AC	PUR	2x250	1974	I	L	0.49	17.4	0.22
DANSKA VÄGEN	65	Fasta	PUR	2x160	1989	T	L	0.13	13.3	0.05
RÄNTMÄSTAREGATAN	250	BTG	MU	1390x780	1974	LT	L	0.69	10.8	0.23
DANSKA VÄGEN	50	Fasta	PUR	2x140	1989	T	L	0.14	13.3	0.06
TORKELSGATAN	125	AC	PUR	2x250	1974	I	L	0.49	17.4	0.22
TORKELSGATAN	125	AC	PUR	2x250	1974	I	L	0.49	17.4	0.22
RÄNTMÄSTAREGATAN	40	Fasta	PUR	2x140	1982	I	L	0.07	17.5	0.05

VÄVLAGAREGATAN	100	AC	MU	1x400	1974	LT	L	0.36	18.4	0.21
RUNEBERGSGATAN	100	AC	MU	1x400	1974	LT	L	0.36	18.4	0.21
RUNEBERGSGATAN	100	AC	MU	1x400	1974	LT	L	0.36	18.4	0.21
VÄVLAGAREGATAN	100	INH	MU		1974	LT	L	0.00	#Saknas!	0.00
VÄVLAGAREGATAN	100	INH	MU		1974	LT	L	0.00	#Saknas!	0.00
DE GEERSGATAN	100	AC	MU	1x400	1975	LT	B	0.36	14.4	0.21
VÄVLAGAREGATAN	100	AC	PUR	1x400	1974	LT	L	0.75	18.4	0.36
VÄVLAGAREGATAN	40	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
VÄVLAGAREGATAN	65	INH	MU		1974	I	L	0.00	#Saknas!	0.01
VÄVLAGAREGATAN	40	Fasta	PUR	?	1984	I	L	#Saknas!	16.9	#Saknas!
VÄVLAGAREGATAN	40	INH	MU		1984			0.00	#Saknas!	0.00
NOBELPLATSEN	40	Fasta	PUR	2x125	1984		L	0.07	#Saknas!	0.05
DE GEERSGATAN	100	AC	PUR	1x350	1974	LT	B	0.75	14.4	0.36
TORKELSGATAN	80	AC	MU	1x400	1974	LT	L	0.22	18.7	0.15
RÄNTMÄSTAREGATAN	50	INH	MU		1978			0.00	#Saknas!	0.00
RÄNTMÄSTAREGATAN	65	AC	MU	1x350	1974	I	L	0.21	17.7	0.15
VÄVLAGAREGATAN	65	AC	PUR	1x250	1974	LT	L	0.48	18.7	0.26
RÄNTMÄSTAREGATAN	50	Fasta	PUR	2x125	1978	I	L	0.14	19.1	0.09
DANSKA VÄGEN	50	AC	MU	1x300	1974	I	L	0.24	17.7	0.17
RÄNTMÄSTAREGATAN	50	INH	MU		1978			0.00	#Saknas!	0.00
DANSKA VÄGEN	50	AC	MU	1x250	1974	I	L	0.24	17.7	0.17
DANSKA VÄGEN	50	AC	MU	1x250	1974	LT	L	0.24	18.7	0.17
DANSKA VÄGEN	50	INH	MU		1977			0.00	#Saknas!	0.01
DANSKA VÄGEN	50	AC	MU	1x250	1974	I	L	0.24	17.7	0.17
PÄRLSTICKAREGATAN	50	AC	MU	?	1974	I	L	#Saknas!	17.7	#Saknas!
DANSKA VÄGEN	50	AC	MU	1x300	1974	I	L	0.24	17.7	0.17
RÄNTMÄSTAREGATAN	50	AC	MU	1x250	1974	LT	L	0.24	18.7	0.17
TORKELSGATAN	80	INH	MU		1974	I	L	0.00	#Saknas!	0.01
RÄNTMÄSTAREGATAN	50	AC	MU	1x300	1974	LT	L	0.24	18.7	0.17
TORKELSGATAN	50	AC	MU	1x250	1974	LT	L	0.24	18.7	0.17
TORKELSGATAN	50	INH	MU		1974			0.00	#Saknas!	0.01
TORKELSGATAN	65	Fasta	PUR	2x160	2000	I	L	0.15	16.5	0.05
DANSKA VÄGEN	50	AC	MU	1x300	1974	I	L	0.24	17.7	0.17
RUNEBERGSGATAN	125	INH	MU		1974			0.00	#Saknas!	0.00
RUNEBERGSGATAN	100	INH	MU		1974			0.00	#Saknas!	0.00
DANSKA VÄGEN	50	AC	MU	1x350	1974	I	L	0.24	17.7	0.17
PÄRLSTICKAREGATAN	40	AC	MU	?	1974	I	L	#Saknas!	17.7	#Saknas!
DE GEERSGATAN	100	INH	MU		1975			0.00	#Saknas!	0.00
DE GEERSGATAN	100	BTG	MU	?	1975	I	B	0.46	17.2	0.35



# Bilaga 8 Användarmanual till reinvesteringsmodell

<b>1 ANVÄNDNING AV REINVESTERINGSMODELL</b> .....	<b>2</b>
1.2 KALKYLBLAD - INDATA .....	5
1.3 KALKYLBLAD - DATABAS .....	7
1.4 KALKYLBLAD – PRIORITERING.....	10
1.5 KALKYLBLAD – ANALYS.....	11
1.6 KALKYLBLAD – ÖVERSIKT .....	12
1.7 ÖVRIGA KALKYLBLAD- KALKYLBLAD 1-7.....	13
1.8 ÄNDRA ANTAL DELSTRÄCKOR SOM MODELLEN KAN RANGORDNA .....	15
1.9 ÄNDRA U-VÄRDEN PÅ NYLAGDA RÖR (PÅ GRUND AV ANNAN ISOLERINGSTJOCKLEK).....	15
1.10 ÄNDRA SKADEFREKVENSER PÅ NYLAGDA RÖR.....	15
1.11 ÄNDRA SKADEFREKVENSEN MED AVSEENDE PÅ ÅLDER, LOKAL NIVÅ .....	16
<b>2 UPPDATERING AV SKADEFREKVENSER OCH NÄTLÄNGDER</b> .....	<b>17</b>
2.1 KALKYLBLAD – INFO .....	17
2.2 KALKYLBLAD – INDATA, UTBYGGNAD.....	18
2.3 KALKYLBLAD – INDATA, SKADOR .....	18
2.4 KALKYLBLAD – TABELL, SKADOR .....	19
2.5 KALKYLBLADEN – SKADOR-INOMHUS, SKADOR-FLEXIBLA, SKADOR-BETONG, SKADOR-FASTA OCH SKADOR-AC .....	20
2.6 KALKYLBLADEN – SKADEFREKVENSNOMHUS, SKADEFREKVENSN-FLEXIBLA, SKADEFREKVENSN-BETONG, SKADEFREKVENSN-FASTA OCH SKADEFREKVENSN-AC.....	21
2.7 KALKYLBLADEN – AQUAWARM OCH STÅLRÖRKULVERT .....	22
2.8 KALKYLBLAD – SL, DN .....	23
2.9 KALKYLBLAD – SL, F .....	24
2.10 KALKYLBLAD – SN, DN .....	25
2.11 KALKYLBLAD – SN, F .....	26

## Att tänka på vid installation av programmet

- Spara filerna "Reinvesteringsmodell för befintligt fjärrvärmenät" och "Skadedatabas" i samma mapp på din dator.
- Om du får ett meddelande angående säkerhetsnivå när du öppnar filen "Reinvesteringsmodell för befintligt fjärrvärme" utför du följande:
  - Välj **Makron** under **Vertyg** (i verktygsfältet).
  - Välj **Säkerhet** och välj där "Låg" (eller testa om "Medel" funkar).
  - Stäng sedan filen och öppna den igen.
- Om du får meddelande angående uppdatering när du öppnar "Reinvesteringsmodell för befintligt fjärrvärmenät" och "Skadedatabas" kan du på meddelandet välja "Uppdatera".

# 1 Användning av reinvesteringsmodell

Reinvesteringsmodellen består av olika kalkylblad i Excel som du växlar mellan genom att klicka på bladflikarna som visas nederst på skärmen. Nedan ges en kort beskrivning av respektive kalkylblad.

<i>Kalkylblad</i>	<i>Beskrivning</i>
Antagande	På detta kalkylblad definierar du olika antaganden för beräkningar till modellen.
Indata	Här fyller du i olika indata till modellen.
DATABAS	På detta kalkylblad registrerar du alla delsträckor som ska analyseras av modellen.
Prioritering	Här rangordnar modellen delsträckorna.
Analys	Här kan du själv analysera data som modellen genererar.
Översikt	På detta kalkylblad finner du en sammanställning av uppgifter som genereras från modellen.

Nedanstående kalkylblad behöver du endast använda i de fall du vill ändra något i modellen. Dessa kalkylblad utgör beräkningarna i modellen och bladflikarna är numrerade enligt nedan. Dessa kalkylblad ligger till höger om kalkylbladen ovan vilket gör att du trycker på högerpilen som finns visas nederst på skärmen för att hitta kalkylbladen.

1-Besiktning

2-Ekonomi

3-Skadefrekvens, lokal

4-Skadefrekvens, nationell

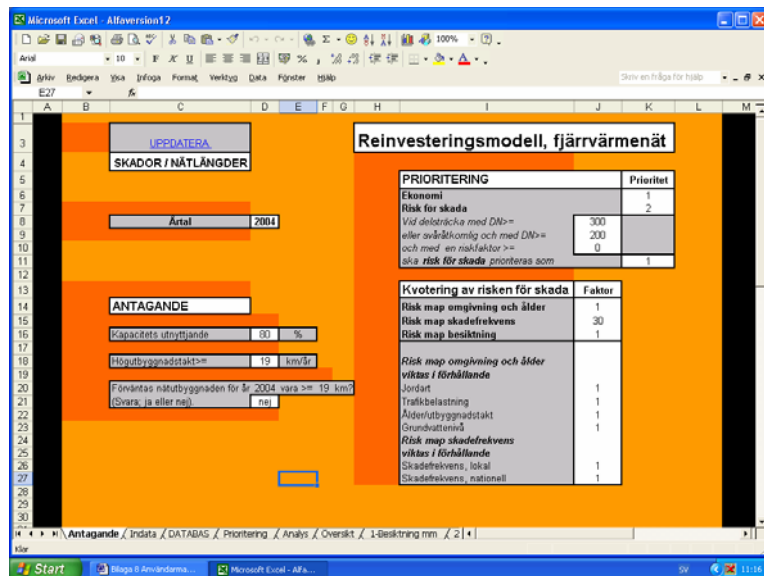
5-Leveranssäkerhet

6-Miljö

7-Risk-ålder, trafik, jordart, fukt



## 1.1 Kalkylblad – Antagande



På detta kalkylblad ska du definiera antaganden och kvoteringsar.

### ANTAGANDE

Kapacitets utnyttjande

Här bedömer du vad medelutnyttjandet av fjärrvärménätets kapacitet för respektive DN är i procent. På Göteborg Energi antas 80 procent. *Används till att beräkna effekten för respektive delsträcka.*

Hög utbyggnadstakt

Definiera vad du anser vara hög utbyggnad av fjärrvärménätet i fråga i km/år. På Göteborg Energi antas 20 km/år. *Används till att specificera år med hög utbyggnad för att beräkna risknivå med avseende på ålder.*

Hög utbyggnadstakt i år?

Här ska du svara på, med ”ja” eller ”nej”, om du tror att utbyggnaden i år kommer att vara högre än din definition av utbyggnadstakten ovan. *Används till att beräkna risknivå med avseende på ålder för nylagd kulvert och erhålla  $\Delta R$ .*

### PRIORITERING

**Ekonomi**

**Prioritet**

**Risk för skada**

1

Vid delsträcka med  $DN \geq$   
eller svåråtkomlig med  $DN \geq$   
och med en riskfaktor  $\geq$

300

200

0

**ska risk för skada prioriteras som**

2

1

Rekommendationen, utifrån Göteborg Energis förutsättningar, är att DN större eller lika med 300 eller DN större eller lika med 200 som ligger svåråtkomligt ska prioriteras i första hand med avseende på risk för skada ( $R_{Skada}$ ), för att upprätthålla hög leveranssäkerhet i fjärrvärmenätet. Övriga dimensioner rekommenderas att prioriteras i första hand med avseende på ekonomi.

Du kan välja så att de dimensioner som ska prioriteras med avseende på risk för skada ( $R_{Skada}$ ) samtidigt måste ha en viss riskfaktor i fältet ”och med en riskfaktor $\geq$ ”. Exempelvis, om du valt att prioritera enligt stycket ovan och väljer riskfaktor 15 skulle enbart delsträckor som har en DN större eller lika med 300 eller DN större eller lika med 200 som ligger svåråtkomligt och samtidigt en riskfaktor som är större eller lika med 15 prioriteras med avseende på  $R_{Skada}$ .

<b>KVOTERING AV RISKEN FÖR SKADA</b>	<b>Faktor</b>
<b>Risk map omgivning och ålder</b>	1
<b>Risk map skadefrekvens</b>	30
<b>Risk map besiktning</b>	1

Kvotering av risk för skada rekommenderas att kvoteras enligt ovan. Faktor 30 för skadefrekvensen har valts på grund av att skadefrekvensen ( $R_S$ ) då svarar för ca 35 % av risken för skada ( $R_{Skada}$ ) och risknivåer på grund av omgivning och ålder ( $R_{\Delta,J,F,T}$ ) för ca 65 % av risken för skada (om man bortser från besiktningen). Du kan även exempelvis välja att enbart skadefrekvensen ( $R_S$ ) ska tas hänsyn till med avseende på risk för skada ( $R_{Skada}$ ).

***Risk map omgivning och ålder  
viktas i förhållande***

Jordart	1
Trafikbelastning	1
Ålder/utbyggnadstakt	1
Grundvattennivå	1

Riskerna med avseende på omgivning och ålder rekommenderas att vara lika stora i förhållande till varandra. Risk med avseende på *ålder/utbyggnadstakt* bör när skadestatistiken är säkrare väljas att inte räknas med.

***Risk map skadefrekvenser  
viktas i förhållande***

Skadefrekvens, lokal nivå	1
Skadefrekvens, nationell nivå	1

Riskerna med avseende på skadefrekvens för lokal nivå respektive nationell nivå rekommenderas att vara lika stora i förhållande till varandra, med avseende på Göteborg Energis förutsättningar. När statistiken blir säkrare rekommenderas skadefrekvensen på lokal nivå att viktas tyngre än skadefrekvensen på nationell nivå.

## 1.2 Kalkylblad - Indata

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following tables and data:

Indata		0.278	kr/kWh
Marginalpris			
Kalkylperiod	33	År	
Leverantörens garanti	5	År	
Kalkylränta	7	%	

Drift och underhållskostnad		kr/m.år
Kulverttyp		
ACE	36.1	
Betong	63.5	
Inomhus	16.8	
Fasta	24.8	
Flexibla	24.8	
Aquawarm	24.8	
Stålrörskulvert	24.8	
Nyanläggning	15	

Reparationskostnad				tkr/skada
Kulverttyp	DN=80	80<DN<=200	DN>200	
ACE	49.6	69.4	117.9	
Betong	69.7	81.7	158.3	
Inomhus	7.7	7.7	7.7	
Fasta	35.3	35.3	61.4	
Flexibla	50.5	50.5	50.5	
Aquawarm	51.4	51.4	51.4	
Stålrörskulvert	37.6	37.6	37.6	

Nyanläggningskostnad		DN	Pris kr/m	DN	Pris kr/m
Dubbelrör	15	3350	15	1700	
	20	3450	20	1700	
	25	3520	25	1700	
	28	3620	28	1700	
	32	3620	32	1700	
	35	3620	35	1700	
	40	3620	40	1700	
	50	3957	50	1980	
	65	4130	65	2090	
	80	4250	80	2240	
	100	4630	100	2660	
	125	5450	125	3040	
	150	5825	150	3370	
Enkelrör	200	6750	200	4600	
	250	7816	250	5200	
	300	8790	300	5900	
	400	11600	400	7200	
	500	13800	500	8500	
	600	17000	600	10100	
	700	21400			

Årsmedeltemperaturer			
Tillspisledning-hotvatten	68.6	Celsius	
Returledning-hotvatten	45.4	Celsius	
Omgivning-mark	8	Celsius	

Konsumentprisindex		År	Index
		2004	0
		2005	0

På detta kalkylblad skall olika indata fyllas i. Dessa indata bör du lämpligen se över och eventuellt uppdatera årligen. *Du bör läsa avsnittet "Ekonomi" i rapporten för att få en bättre grund till exempel vad de olika kostnadsposterna inkluderar.*

Marginalpris

Företagets marginalpris/energipris (kr/KWh).

Kalkylperiod

Den ekonomiska livslängden (i år) som företaget använder för fjärrvärmör.

Leverantörens garanti

Antal år som leverantören lämnar garanti på nylagda fjärrvärmör.

Kalkylränta

Real kalkylränta (%), dvs. förväntad låneränta minus inflation, som företaget använder vid investeringar.

Drift o underhållskostnad

Här fyller du i drift och underhållskostnader i meterpriser per år (kr/kulvertmeter och år) för respektive kulverttyp. *I denna kostnad ingår inte reparationskostnader.*

Reparationskostnad

Genomsnittskostnad för en skada för respektive kulverttyp i tkr/skada.

Konsumentprisindex

KPI baserat på "juli 1914=100" från Statistiska centralbyrån (SCB) används och årsmedel skrivs in. *Endast år 2004 syns på skärmen, övriga år erhålls längre ner i kalkylbladet.*

Nyanläggningskostnad

Meterpris (kr/kulvertmeter) för respektive dimension (DN). Direktskummade plastmantelrör (*vänster kolumn*) samt inomhusledningar (*höger kolumn*).

Årsmedeltemperaturer

Årsmedeltemperatur på hetvatten, tilloppsledning respektive returledning och omgivande mark i Celsius.

### 1.3 Kalkylblad - DATABAS

På detta kalkylblad registrerar du alla delsträckor av fjärrvärmenätet som ska analyseras av modellen. Dessa delsträckor måste specificeras med ett antal data, enligt nedan.

<i>Kolumn</i>	<i>Specificera</i>	<i>Förklaring</i>
A	Littera	Identifikationsnummer för en specifik delsträcka.
B	Gata	Gatunamn. <i>Ej obligatorisk uppgift.</i>
C	Nr	Gatunummer. <i>Ej obligatorisk uppgift.</i>
D	Längd	Kulvertlängd (i meter) på delsträckan.
E	DN	Nominell diameter på medieröret för delsträckan.
F	Kulverttyp	Asbestcementkulvert, betongkulvert, aquawarmrör, stålrörskulvert, inomhusledning, flexibelt eller fast direktskummat plastmantelrör. Kulverttyp för delsträckan betecknas i modellen enligt tabell 1.

**Tabell 1 Beteckning av respektive kulverttyp i modellen.**

<b>Kulverttyp</b>	<b>Betecknas i modellen</b>
Asbestcementkulvert	AC
Betongkulvert	BTG
Inomhusledning	INH
Fasta direktskummade plastmantelrör	FASTA eller PEH
Flexibla direktskummade plastmantelrör	FLEXIBLA eller CU
Aquawarmrör	Aquawarm eller CU
Stålrörskulvert	SKY

G	Kulvertdimension	Dimension på mantelrör. Dubbelrör, enkelrör eller rektangulärkulvert betecknas i modellen enligt exempel i tabell 2. <i>Endast första siffran av beteckningen är obligatoriskt att fylla i.</i>
---	------------------	---

**Tabell 2 Beteckning för kulvertdimension i modellen.**

<b>Kulvertdimension</b>	<b>Betecknings exempel</b>
Dubbelrör	1x400
Enkelrör	2x140
Rektangulär	1030x610

H	Isolering	Mineralull, polyuretan (PUR) eller cellbetong. Betecknas i modellen enligt tabell 3.
---	-----------	--

**Tabell 3 Beteckning av respektive isoleringstyp i modellen.**

Isolering	Betecknas i modellen
Polyuretan	PUR eller CO
Cellbetong	CEL
Mineralull	MU

I Fabrikat Obligatoriskt endast för fasta och flexibla direktskummade plastmantelrör. Fabrikat som modellen beaktar betecknas enligt tabell 4.

**Tabell 4 Olika fabrikat över fasta och flexibla direktskummade plastmantelrör.**

Fabrikat
Isoplus
Alstom, ABB eller ICM
Durotan
Ecopipe
Isolrör
KWH
Lögstör
Pan-Isovit
Polyheat
Powerpipe
Star Pipe eller Stjärnrör
Tarco

J Byggår Årtalet (med fyra siffror) då delsträckan installerades i fjärrvärmenätet.

K Trafik Lätt trafik, tung trafik, förändrat trafikmönster eller ingen trafik. Trafikbelastning för delsträckan betecknas i modellen enligt tabell 5.

**Tabell 5 Beteckning för respektive trafikbelastning i modellen.**

Trafik	Betecknas i modellen
Lätt trafik	LT
Tung trafik	T
Förändrat trafik mönster	F
Ingen trafik	I

L Jordart Lera, sand/grus, berg/sprängbotten, silt, morän, organisk jord eller övergång mellan lera och fastmark. Jordart för delsträckan betecknas i modellen enligt tabell 6.

**Tabell 6 Beteckning av respektive jordart i modellen.**

Jordart	Betecknas i modellen
Lös lera/silt/organisk jord	L
Sand/grus	S
Morän/lermorän/rensat berg	B
Sprängbotten/sprängstensfyllning	Sb
Övergång lös lera/fast mark	Ö

Nedanstående indata ifylls **endast** då du har specifika uppgifter om delsträckor eller har tillgång till besiktningssprotokoll och vill rangordna delsträckor med redan känd dålig kondition och erhålla ett svar på vilken man ska prioritera att byta ut i första hand.

M	Besiktning	Samtliga frågor som besvaras med ”ja” i besiktningssprotokollet (se bilaga 7) ger 1 poäng. Exempelvis om 5 frågor besvarats med ”ja” skriver du siffran 5 i denna cell för delsträckan i fråga.
N	Svåråtkomlig?	Besvaras med ”ja” om delsträckan är belägen exempelvis under järnvägsräls.
O	Höga värmeförluster?	Besvaras med ”ja” om det finns indikationer på höga värmeförluster på delsträckan exempelvis genom besiktningssprotokollet.
P	Fuktigt område?	Besvara med ”ja” om grundvattennivån är hög eller om man vid besiktning ansett området vara fuktigt för delsträckan i fråga.
Q	Uppskattat antal rep/år	Antal reparationer (rep/år) som du uppskattar att en specifik delsträcka kommer att behöva i framtiden. <b><i>I fylls endast vid mycket god kännedom! För att beräkna reparationskostnaden använder sig modellen i annat fall (normala fall) av uträknad skadefrekvens, lokal nivå för delsträckan i fråga.</i></b>
R	Uppskattat t kr/skada	<i>I fylls endast om kolumn Q är definierad.</i> Reparationskostnaden (tkr/skada) du uppskattar för en skada på delsträckan i fråga.
S	Uppskattad investering	Investeringskostnaden (tkr) du uppskattar vid förnyelse av hela delsträckan i fråga.
T	Samordning?	Besvara med ”ja” om du vet att en förnyelse av delsträckan kan samordnas med andra arbeten tex omläggning av VA och el.

## 1.4 Kalkylblad – Prioritering

Littera	Risk	Ekonomi	Index 1	Index 2	Makro	DN	Bygg	Trif	Mål		
2 AO-22-4/AO-22-5	PARLSTICKAREGATAN	Ekonomi	#Saknas!	Risk	17.73	#Saknas!	AC	50	1974	I	L
3 AO-22-1-2/AO-22-1-3	PARLSTICKAREGATAN	Ekonomi	#Saknas!	Risk	17.73	#Saknas!	AC	40	1974	I	L
4 AO-31-2-2/AO-31-2-3	VÄVLADAREGATAN	Ekonomi	#Saknas!	Risk	16.85	#Saknas!	PEH	40	1984	I	L
5 AO-37/AO-47	ÄHREBERGGATAN	Risk	17.13	Ekonomi	-0.01	-0.09	PEH	200	1984	T	L
6 AO-41/AO-4	ÄTHEGGGATAN	Risk	16.67	Ekonomi	-0.01	-0.09	PEH	250	1984	T	L
7 AO-58-B-2/AO-58	TORPAGATAN	Risk	16.21	Ekonomi	-0.01	-0.10	PEH	300	1985	T	L
8 AO-18/AO-20	DANSKA VÄGEN	Risk	15.50	Ekonomi	0.24	0.69	BTG	250	1972	T	L
9 AO-41/AO-45	ÄTHEGGGATAN	Risk	14.67	Ekonomi	-0.01	-0.10	PEH	400	1984	LT	O
10 AO-30/AO-41	ÄTHEGGGATAN	Risk	14.20	Ekonomi	-0.01	-0.10	PEH	400	1984	LT	O
11 AO-55-A/AO-55-B-2	ZACHRISSONGATAN	Risk	9.90	Ekonomi	0.10	0.32	BTG	300	1995	LT	L
12 AO-34/AO-35-A	ÄTHEGGGATAN	Risk	9.71	Ekonomi	0.08	0.33	BTG	400	1984	LT	O
13 AO-49/AO-56	ZACHRISSONGATAN	Risk	9.71	Ekonomi	0.08	0.33	BTG	400	1984	LT	L
14 AO-35-A/AO-38	ÄTHEGGGATAN	Risk	9.71	Ekonomi	0.08	0.33	BTG	400	1984	LT	L
15 AO-45/AO-48	ZACHRISSONGATAN	Risk	9.71	Ekonomi	0.08	0.33	BTG	400	1984	LT	O
16 AO-48/AO-49	ZACHRISSONGATAN	Risk	9.71	Ekonomi	0.08	0.33	BTG	400	1984	LT	L
17 AO-56/AO-56-A	ZACHRISSONGATAN	Risk	9.71	Ekonomi	0.08	0.33	BTG	400	1984	LT	L
18 AO-31-1/AO-34	ÄTHEGGGATAN	Risk	9.71	Ekonomi	0.07	0.34	BTG	500	1984	LT	O
19 AO-19/AO-31-1	ÄTHEGGGATAN	Risk	9.71	Ekonomi	0.07	0.34	BTG	500	1984	LT	O
20 AO-15/AO-19	DANSKA VÄGEN	Ekonomi	0.37	Risk	20.28	1.34	AC	250	1972	LT	L
21 AO-31-1-3/AO-31-2-1	VÄVLADAREGATAN	Ekonomi	0.36	Risk	18.40	0.75	AC	100	1974	LT	L
22 AOD-16/AOD-17	DE GEERSGATAN	Ekonomi	0.36	Risk	14.40	0.75	AC	100	1974	LT	B
23 AO-28/AO-30-1	RÄNTMÄSTAREGATAN	Ekonomi	0.35	Risk	18.04	1.34	AC	250	1974	LT	L
24 AO-30-1/AO-31	RÄNTMÄSTAREGATAN	Ekonomi	0.35	Risk	18.04	1.34	AC	250	1974	LT	L
25 AO-20/AO-21	DANSKA VÄGEN	Ekonomi	0.35	Risk	17.04	1.34	AC	250	1974	I	L
26 AO-21/AO-22	DANSKA VÄGEN	Ekonomi	0.35	Risk	17.04	1.34	AC	250	1974	I	L
27 AO-22/AO-24	DANSKA VÄGEN	Ekonomi	0.35	Risk	17.04	1.34	AC	250	1974	I	L
28 AO-24/AO-25	DANSKA VÄGEN	Ekonomi	0.35	Risk	17.04	1.34	AC	250	1974	I	L
29 AO-25/AO-27	DANSKA VÄGEN	Ekonomi	0.35	Risk	17.04	1.34	AC	250	1974	I	L
30 AOD-21/AOD-23	DE GEERSGATAN	Ekonomi	0.35	Risk	14.24	0.46	BTG	100	1975	I	B
31 AO-31/AO-32	RÄNTMÄSTAREGATAN	Ekonomi	0.33	Risk	17.40	1.09	AC	200	1974	I	L
32 AO-32/AO-33	RÄNTMÄSTAREGATAN	Ekonomi	0.33	Risk	17.40	1.09	AC	200	1974	I	L
33 AO-33/AO-36	RÄNTMÄSTAREGATAN	Ekonomi	0.32	Risk	16.10	1.09	AC	200	1978	LT	I

I detta kalkylblad erhåller du en rangordning med avseende på reinvestering av de delsträckor som specificerats i kalkylbladet **DATABAS**. För att du ska få en rangordning av delsträckor i enighet med vad du definierat i kalkylblad **Antagande** gör du följande:

→ Klicka på bladfliken **Prioritering**.

→ Försäkra dig att du befinner dig i kalkylbladet **Prioritering** och klicka sedan på knappen ☺ i verktygsfältet, se nedan. *Denna knapp ☺ får inte klickas på från andra kalkylblad.*

Om knappen ☺ inte finns i ditt verktygsfält utför du istället följande:

→ Välj **Makro** under **Verktyg**.

→ Välj **Makron** och klicka på ”Sortera”

→ Klicka på ”Kör”

Om du önskar kan du sedan koppla detta makro ”Sortera” till en knapp i verktygsfältet enligt:

→ Välj **Verktygsfält** under **Visa**.

→ Klicka på ”Anpassa...”

→ Välj **Makron** under **Kommandon**.

→ Klicka och drag ”Knapp” till valfri plats i verktygsfältet.

→ Klicka på ”Knapp”. Välj sedan att koppla makro ”Sortera” till ”Knapp”.

Du erhåller ett kalkylblad med kolumner enligt tabell 7. Rangordning sker med avseende på Index 1 (kolumn D). Delsträckor som modellen inte kan beräkna specifika uppgifter på hamnar överst i rangordning och betecknas med ”#Saknas!” för att du ska reagera på om något är felaktigt i din specifikation av delsträckan i fråga. Därefter följer de delsträckor som prioriterats i första hand med avseende på risk för skada, i fallande ordning. Slutligen följer delsträckor som prioriterats med avseende på ekonomi, i fallande ordning. *Kolumn H till och med L finns enbart med i detta kalkylblad i syfte att du på ett lättöverskådligt sätt kan se t ex orsaken till varför en delsträcka har rangordnats på ett visst sätt.*



Tabell 7 Beskrivning av kolumner i kalkylblad ”Prioritering”.

Kolumn	Specifikation	Kommentar
A	Littera	Identifikationsnummer.
B	Gata	Delsträckans gatunamn.
C	Prio 1	Parameter som prioriteras i första hand.
D	Index 1	Värde av parameter som prioriteras i första hand.
E	Prio 2	Parameter som prioriteras i andra hand.
F	Index 2	Värde av parameter som prioriteras i andra hand.
G	Miljö	Värde av miljöparametern $\Delta U$ (W/mK).
H	Rörtyp	Kulverttyp på delsträckan.
I	DN	Dimension (DN) på delsträckan.
J	Byggår	Delsträckans byggår.
K	Trafik	Trafikbelastning på delsträckan.
L	Jordart	Jordart på delsträckan.

### Tolkning av rangordning

Delsträckor som prioriteras med avseende på risk för skada ( $R_{Skada}$ ) hamnar i rangordningen före alla delsträckor som prioriteras med avseende på ekonomi. Detta säger inte att alla delsträckor som prioriteras med avseende på risk för skada ( $R_{Skada}$ ) ska bytas ut före alla som prioriteras med avseende på ekonomi, men att du får en klar och snabb bild över vilka sträckor som har en hög risk för skada och bör bytas ut för att hög leveranssäkerhet ska råda i fjärrvärmenätet. Vissa sträckor som prioriteras med avseende på risk för skada kanske har en relativt låg risk för skada och då ser du att man kan vänta med att byta ut denna sträcka. Du kan även i kalkylbladet **Antagande** ändra så att de dimensioner som ska prioriteras med avseende på risk för skada samtidigt måste ha en viss riskfaktor, enligt sidan 4.

## 1.5 Kalkylblad – Analys

Detta kalkylblad är tänkt att användas om du vill göra egna analyser av de värden som modellen genererar för varje delsträcka, istället eller som komplement till rangordningen från kalkylblad **Prioritering**. Ett annat alternativ om du vill göra egna analyser är att skapa en ny fil i Excel. Vill du göra analyser är det lättast att kopiera de kolumner du önskar från kalkylbladet **Översikt** till kalkylblad **Analys** eller till annan fil (givetvis kan du även kopiera information från övriga kalkylblad 1-7 också). Ovanstående utförs enligt:

→ Markera de kolumner du önskar kopiera.

→ Klicka på knappen **Kopiera** som finns i verktygsfältet.

→ Markera de kolumner där du vill klistra in det du ska kopiera. *Observera att du måste markera samma antal kolumner som du önskat kopiera.*

→ Välj **Klistra in special** under **Redigera**.

→Välj ”Värden och talformat” och klicka sedan på OK.

Om ovanstående kommandon utförs kan du nu göra analyser, på det du valt att kopiera, i form av sortering, filtrering etc. av delsträckor med avseende på olika parametrar.

## 1.6 Kalkylblad – Översikt

På detta kalkylblad får du för varje delsträcka en översikt på resultat av de parametrar som modellen beaktar. *Observera att raden som varje enskild delsträcka i kalkylbladet **DATABAS** är specificerad i motsvarar samma rad i kalkylbladet **Översikt**. (Desamma gäller för kalkylblad 1-7).*

I tabellen 8 nedan ges en förklaring till de olika kolumnerna i kalkylblad **Översikt**. Kolumner A-L är desamma som för kalkylblad **Prioritering** men här är alltså inte delsträckorna rangordnade med avseende på reinvestering som i kalkylblad **Prioritering**.

Tabell 8 Beskrivning av kolumner i kalkylblad "Översikt"

Kolumn	Specifikation	Kommentar
A	Littera	Identifikationsnummer.
B	Gata	Delsträckans gatunamn.
C	Prio 1	Parameter som prioriteras i första hand.
D	Index 1	Värde av parameter som prioriteras i första hand.
E	Prio 2	Parameter som prioriteras i andra hand.
F	Index 2	Värde av parameter som prioriteras i andra hand.
G	Miljö	Värde av miljöparametern $\Delta U$ (W/mK).
H	Rörtyp	Kulverttyp på delsträckan.
I	DN	Dimension (DN) på delsträckan.
J	Byggår	Delsträckans byggår.
K	Trafik	Trafikbelastning på delsträckan.
L	Jordart	Jordart på delsträckan.
M	B/G	Ekonomiparameter - besparingar/grundinvestering.
N	Risikfaktor	Risikfaktor- med avseende på risk för skada ( $R_{Skada}$ ).
O	Leveranssäkerhet	Värde av leveranssäkerhetsparametern.
P	Tecken på höga VF	Notis om tecken på höga värmeförluster.
Q	Samordning	Notis om samordning med andra arbeten vid förnyelse.
R	Pay-off	Återbetalningstiden vid en förnyelse.
S	Risk-Å,J,F,T	Risk för skada med avseende på ålder och omgivning ( $R_{A,J,F,T}$ ).
T	Risk-statistik	Risk för skada med avseende på skadefrekvensen ( $R_S$ ).
U	Risk-besiktning	Risk för skada med avseende på besiktning ( $R_B$ ).
V	$\Delta$ Risk- Å,J,F,T	Delta risknivå med avseende på ålder och omgivning.
W	SL	Medelskadefrekvensen, lokal nivå.
X	SN	Medelskadefrekvensen, nationell nivå.

Övriga kolumner som används i detta kalkylblad, kolumn AB och framåt, är endast beräkningar i modellen.

## 1.7 Övriga kalkylblad

Dessa kalkylblad utgör beräkningarna i modellen och bladflikarna är numrerade enligt nedan på grund av praktisk användning. Kalkylbladen kan du använda till att studera delsträckor i detalj. Exempelvis kan du studera enskilda skadefrekvenser med avseende på byggår, DN, fabrikat och ålder i kalkylbladet **3-Skadefrekvens, lokal** eller enskilda kostnadsposter i kalkylbladet **2-Ekonomi**. I tabellerna 9-15 nedan ges förklaring av de olika kolumnerna för respektive kalkylblad. Övriga kolumner som används i dessa kalkylblad är endast beräkningar i modellen som du i vissa fall kan använda om vill göra ändringar i modellen, enligt sidorna 15-16.

### 1.7.1 Kalkylblad -1-Besiktning

Tabell 9 Beskrivning av kolumner i kalkylblad ”1-Besiktning”.

Kolumn	Specifikation	Kommentar
A	Littera	Identifikationsnummer för delsträckan.
B	Besiktning	Riskenivå med avseende på besiktningen.
C	Höga värmeförluster	Notis om tecken på höga värmeförluster.
D	Samordning	Notis om samordning med andra arbeten vid förnyelse.

### 1.7.2 Kalkylblad - 2-Ekonomi

Tabell 10 Beskrivning av kolumner i kalkylblad ”2-Ekonomi”.

Kolumn	Specifikation	Kommentar
A	Littera	Identifikationsnummer för delsträckan.
B	B/G	Investeringen lönsam om värdet är större än ett.
C	Kapitalvärdekvot	Investeringen lönsam om värdet är större än noll.
D	Kapitalvärde	Investeringen lönsam om värdet är större än noll.
E	Nyanläggningskostnad	Kostnad i kr för en förnyelse av delsträckan.
F	Restvärde	Restvärde i kr för befintlig kulvert.
G	Pay off (år)	Återbetalningstiden vid en förnyelse av delsträckan.
H	Besparing - värmeförluster	Besparingar i kr för värmeförluster under kalkylperioden.
I	Besparing - DoU	Besparingar i kr för drift o underhåll under kalkylperioden.
J	Besparing Rep	Besparingar i kr för reparationer under kalkylperioden.

### 1.7.3 Kalkylblad - 3-Skadefrekvens, lokal

Tabell 11 Beskrivning av kolumner i kalkylblad ”3-Skadefrekvens, lokal”. Skadefrekvenserna är i enheten skada/km,år.

Kolumn	Specifikation	Kommentar
A	Littera	Identifikationsnummer för delsträckan.
B	Medel SL	Medelskadefrekvensen på lokal nivå av kolumner C till F.
C	Skadefrekvens, DN	Skadefrekvensen med avseende på DN, lokalnivå.
D	Skadefrekvens, fabrikat	Skadefrekvensen med avseende på fabrikat, lokal nivå.
E	Skadefrekvens, ålder	Skadefrekvensen med avseende på ålder, lokal nivå.
F	Skadefrekvens, byggår	Skadefrekvensen med avseende på byggår, lokal nivå.

#### 1.7.4 Kalkylblad - 4- Skadefrekvens, nationell

Tabell 12 Beskrivning av kolumner i kalkylblad ”4-Skadefrekvens, nationell”. Skadefrekvenserna är i enheten skada/km,år.

Kolumn	Specifikation	Kommentar
A	Littera	Identifikationsnummer för delsträckan.
B	Medel SL	Medelskadefrekvensen på nationell nivå av kolumn C och D.
C	Skadefrekvens, DN	Skadefrekvensen med avseende på DN, nationell nivå.
D	Skadefrekvens, fabrikat	Skadefrekvensen med avseende på fabrikat, nationell nivå.

#### 1.7.5 Kalkylblad- 5- Leveranssäkerhet

Tabell 13 Beskrivning av kolumner i kalkylblad ”5-Leveranssäkerhet”. Ju högre värde på leveranssäkerheten i kolumn B, ju högre leveranssäkerhets ska delsträckan ha för att hög leveranssäkerhet ska råda i fjärrvärmenätet.

Kolumn	Specifikation	Kommentar
A	Littera	Identifikationsnummer för delsträckan.
B	Leveranssäkerhet	Summan av leveranssäkerheten av kolumn C och D.
C	L-effekt	Värde med avseende på effekt, stor effekt ger stort värde.
D	L-åtkomligheten	Leveranssäkerheten med avseende på åtkomligheten.

#### 1.7.6.Kalkylblad - 6- Miljö

Tabell 14 Beskrivning av kolumner i kalkylblad ”6-Miljö”.

Kolumn	Specifikation	Kommentar
A	Littera	Identifikationsnummer för delsträckan.
B	$\Delta U$ -värde	Skillnaden mellan U-värden i kolumn C och D.
C	U-värde befintlig	U-värde i W/mK för befintlig delsträcka.
D	U-värde nykulvert	U-värde i W/mK för en nylagd delsträcka.

#### 1.7.7 Kalkylblad - 7- Risk- ålder, trafik, jord, fukt

Tabell 15 Beskrivning av kolumner i kalkylblad ”7-Risk- ålder, trafik, jord, fukt”.

Kolumn	Specifikation	Kommentar
A	Littera	Identifikationsnummer för delsträckan.
B	Risk-Å,J,T,F	Riskenivå med avseende på ålder och omgivning.
C	$\Delta$ Risk- Å,J,T,F	Skillnad i riskenivå mellan befintlig och ny kulvert.
D	Riskenivå jordart	Riskenivå med avseende på jordart ( $R_J$ ).
E	Riskenivå trafik	Riskenivå med avseende på trafikbelastning ( $R_T$ ).
F	Riskenivå ålder	Riskenivå med avseende på ålder/utbyggnadstakt ( $R_A$ ).
G	Riskenivå fukt	Riskenivå med avseende på fukt ( $R_F$ ).
H	$\Delta$ Riskenivå-jordart	Skillnad i riskenivå mellan befintlig och ny kulvert.
I	$\Delta$ Riskenivå-trafik	Skillnad i riskenivå mellan befintlig och ny kulvert.
J	$\Delta$ Riskenivå-ålder	Skillnad i riskenivå mellan befintlig och ny kulvert.
K	$\Delta$ Riskenivå-fukt	Skillnad i riskenivå mellan befintlig och ny kulvert.

## 1.8 Ändra antal delsträckor som modellen kan rangordna

Kalkylbladen i Excel innehåller 65 000 rader. Reinvesteringsmodellen kan i praktiken rangordna 65 000 delsträckor av ett fjärrvärmenät, men detta tar mycket minneskapacitet från datorn. Reinvesteringsmodellen, i standardformat, kan beräkna rangordning för 750 delsträckor, om fler delsträckor av fjärrvärmesystemet ska analyseras samtidigt kan du utöka antalet delsträckor som modellen kan rangordna enligt nedan.

→ Klicka på fliken på kalkylblad **Översikt**. Håll nere knappen **SHIFT** samtidigt som du klickar på fliken på kalkylbladet **Risk- ålder, trafik, jord, fukt**. *Nu är alla kalkylblad däremellan markerade.*

→ Markera sista raden i modellen (rad 751, om den inte är utökad tidigare) och ställ pekaren i nedre vänstra hörnet av cellen- *på den markerade raden och kolumn A* -så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) till önskat antal rader.

→ Håll nere knappen **SHIFT** på tangentbordet samtidigt som du klickar på fliken på kalkylbladet **Översikt**. *Nu är endast kalkylbladet översikt markerat igen.*

→ Klicka på knappen **Spara** i verktygsfältet.

Antalet delsträckor som modellen kan beräkna rangordning på är uppdaterad till det önskade antalet.

## 1.9 Ändra U-värden på nylagda rör (på grund av annan isoleringstjocklek)

I modellen antas att markförlagda befintliga rör vid en förnyelse ersätts med direktskummade plastmantelrör, med isolertjocklek av typ serie 2 (av EkoDim), detta på grund av att det är den vanligaste isoleringstjocklek idag vid nybyggnation. Om en annan isoleringstjocklek av fjärrvärmerören, exempelvis serie 3, i framtiden blir den vanligaste vid nybyggnation bör du ändra detta i modellen. Först måste du beräkna U-värdet för respektive dimension för den nya isoleringstjockleken, förslagsvis med hjälp av Ekodim. Därefter utför du följande:

→ Klicka på fliken på kalkylblad **6-Miljö**.

→ Gå till kolumn **AU** (genom att klicka på höger pilen längs ner i högra hörnet av skärmen).

→ Skriv in nya U-värden för respektive DN i kolumn **AU**.

→ Klicka på knappen **Spara** i verktygsfältet.

Modellen är nu uppdatera med nya U- värde för nylagda kulvertar.

## 1.10 Ändra skadefrekvenser på nylagda rör

I modellen antas att markförlagda befintliga kulvertar vid en förnyelse ersätts med direktskummade plastmantelrör och att inomhusledningar alltjämt ersätts av inomhusledningar. Skadefrekvenserna (i skador/km, år) för dessa nylagda kulvertar är antagna utifrån skadefrekvensen med avseende på ålder, lokal nivå (enligt 7.2.5 i rapporten). För att ändra dessa skadefrekvenser utförs följande:

→ Klicka på fliken på kalkylbladet **2-Ekonomi**.

→ Gå till kolumn **BJ** (genom att klicka på höger pilen längs ner i högra hörnet av skärmen).

→ Skriv in de nya skadefrekvenser (*som du väljer på lämpligt sätt*) i kolumn **BJ** (rad 2-direktskummade plastmantelrör, rad 3 inomhusledning).

→ Klicka på knappen **Spara** i verktygsfältet.

Modellen är nu uppdaterad med nya skadefrekvenser för nylagda kulvertar.

### **1.11 Ändra skadefrekvensen med avseende på ålder, lokal nivå**

Skadefrekvenserna (i skador/km, år) med avseende på ålder, lokal nivå kulvertar är antagna enligt 8.4.1 i rapporten. För att ändra dessa skadefrekvenser utförs följande:

→ Klicka på fliken på kalkylblad **3-Skadefrekvens, lokal**.

→ Gå till kolumn **AJ** (genom att klicka på höger pilen längs ner i högra hörnet av skärmen).

→ Skriv in de nya skadefrekvenserna (*som du väljer på lämpligt sätt*) i kolumn **AJ**. *Index beteckning i kolumn AH står för byggår (fyra första siffrorna) och decimalen står för kulverttyp enligt tabell på kolumn AB och AC.*

→ Klicka på knappen **Spara** i verktygsfältet.

Modellen är nu uppdaterad med nya skadefrekvenser med avseende på ålder.

## 2 Uppdatering av skadefrekvenser och nätlängder

För att komma till filen **Skadedatabas** kan du gå via reinvesteringsmodellen genom att klicka på rutan med texten **Uppdatera** på kalkylbladet **Antagande**.

### 2.1 Kalkylblad – Info

Från detta kalkylblad kan du komma tillbaka till filen **Reinvesteringsmodellen för befintligt fjärrvärmenät** genom att du klickar på rutan med texten **Gå tillbaka**. På detta kalkylblad finns även en förteckning över de kalkylblad som finns i denna fil, enligt tabell 16 nedan. *Noteras bör att bladfliken som står överst i tabellen är det kalkylblad som finns längst till vänster i filen.*

Tabell 16 Förteckning av kalkylbladen i filen "Skadedatabas".

Namn på bladflik	Kommentar
Info	Förteckning av kalkylbladen.
Indata,utbyggnad	Registrering av nätutbyggnad, lokal nivå.
Indata,skador	Registrering av skador, lokal nivå.
Tabell,skador	Pivottabell med alla skador, lokal nivå
SL, DN	Skadefrekvens med avseende på DN, lokal nivå.
SL,F	Skadefrekvens med avseende på fabrikat, lokal nivå.
SN, DN	Skadefrekvens med avseende på DN, nationell nivå.
SN,F	Skadefrekvens med avseende på fabrikat, nationell nivå.
Skadefrekvens-Inomhus	Skadefrekvens med avseende på byggår, lokal nivå.
Skador-Inomhus	Skador med avseende på byggår.
Nätlängder- Inomhus	Nätlängder med avseende på byggår.
Skadefrekvens-Flexibla	Skadefrekvens med avseende på byggår, lokal nivå.
Skador-Flexibla	Skador med avseende på byggår.
Nätlängder-Flexibla	Nätlängder med avseende på byggår.
Skadefrekvens-Betong	Skadefrekvens med avseende på byggår, lokal nivå.
Skador-Betong	Skador med avseende på byggår.
Nätlängder-Betong	Nätlängder med avseende på byggår.
Skadefrekvens-Fasta	Skadefrekvens med avseende på byggår, lokal nivå.
Skador-Fasta	Skador med avseende på byggår.
Nätlängder-Fasta	Nätlängder med avseende på byggår.
Skadefrekvens-AC	Skadefrekvens med avseende på byggår, lokal nivå.
Skador-AC	Skador med avseende på byggår.
Nätlängder-AC	Nätlängder med avseende på byggår.
Aquawarm	Skadefrekvens, skador och nätlängder.
Stålrörskulvert	Skadefrekvens, skador och nätlängder.
SL,Å	Skadefrekvens med avseende på ålder, lokal nivå.
Nätlängder	Nätlängder för samtliga kulverttyper, lokal nivå.

## 2.2 Kalkylblad – Indata, utbyggnad

På detta kalkylblad registrerar du utbyggd kulvertlängd i km för respektive kulverttyp årsvis.

<i>Kolumn</i>	<i>Beteckning</i>	<i>Kommenterar</i>
C	Fasta	Här registrerar du utbyggd kulvertlängd i km, årsvis, av fasta direktskummade plastmantelrör.
D	Flexibla	Här registrerar du utbyggd kulvertlängd i km, årsvis, av flexibla direktskummade plastmantelrör.
E	Inomhus	Här registrerar du utbyggd kulvertlängd i km, årsvis, av inomhusledningar.
F	Övriga	Här registrerar du om fjärrvärmenätet har byggts ut med någon annan kulverttyp än de ovan.

Registreringen på detta kalkylblad är länkad till kalkylbladen **Nätlängder-Fasta**, **Nätlängder-Flexibla** respektive **Nätlängder-Inomhus** och blir således uppdaterade, för beräkning av skadefrekvensen med avseende på byggår. Kolumn G i detta kalkylblad är länkad till filen **Reinvesteringsmodell för befintligt fjärrvärmenät** för användning av den totala kulvertutbyggnaden per år.

## 2.3 Kalkylblad – Indata, skador

På detta kalkylblad registrerar du varje skada som uppkommer på det lokala fjärrvärmenätet med information om skadeår, kulverttyp, byggår, fabrikat, dimension samt kostnad för reparation eller förnyelse enligt nedan. *Du skriver in en ny skada, efter den skada som senast registrerats, alltså längst ner i databasen.*

<i>Kolumn</i>	<i>Specificera</i>	<i>Kommentar</i>
A	Skadeår	Året (med fyra siffror) då skadan inträffar.
B	Område	Identifikation på fjärrvärmeområdet där skadan inträffade.
C	SkadeID	Identifikationsnummer på den skadade delsträckan.
D	Kulverttyp	Kulverttypen på den skadade kulverten. Betecknas enligt tabell 17 nedan.



**Tabell 17 Beteckning av kulverttyp för registrering av skador**

Kulverttyp	Betecknas i kalkylbladet
Asbestcementkulvert	AC
Betongkulvert	BTG
Inomhusledning	INH
Fasta direktskummade plastmantelrör	FASTA
Flexibla direktskummade plastmantelrör	FLEXIBLA
Aquawarmrör	Aquawarm
Stålrörskulvert	SKY

E	Byggår	Året (med fyra siffror) när den skadade kulverten i fråga installerades i fjärrvärmenätet.
F	Fabrikat	Fabrikat definieras enligt tabell 18. <i>Fabrikaten ICM och ABB går under fabrikatet Alstom. Fabrikatet Stjärnrör är desamma som Star Pipe.</i>

**Tabell 18 Olika fabrikat typer för direktskummade plastmantelrör.**

Fabrikat
Isoplus
Alstom
Ecopipe
Lögstör
Pan-Isovit
Polyheat
Powerpipe
Star Pipe
Tarco

G	DN	Nominell diameter på medieröret den skadade delsträckan i fråga.
H	Rep.kostnad (tkr)	Reparationskostnaden för skadan i fråga (tkr).
I	Förnyelsekostnad (tkr)	Eventuell förnyelsekostnad pga skadan (tkr).

## 2.4 Kalkylblad –Tabell, skador

På detta kalkylblad uppdaterar du tabellen (pivottabell) med skadorna och formaterar den med avseende på byggår, dimension eller fabrikat för praktisk användning till skadefrekvenserna.

### 2.4.1 Uppdatera pivottabell

Uppdatering av nyregistrerade skador till pivottabellen i kalkylbladet **Tabell, skador** utförs enligt följande:

→ Ställ markören i tabellen och högerklicka.

→ Välj **Uppdatera data**.

Pivottabellen är nu uppdaterad med alla skador som finns registrerade i kalkylbladet **Indata, skador**.

**2.4.2 Utformning av pivottabellen med avseende på byggår, dimension eller fabrikat**  
Utformning av pivottabellen med avseende på byggår, dimension eller fabrikat utförs enligt följande:

→ Ställ markören i tabellen och högerklicka.

→ Välj **Visa fältlista**.

→ Ställ markören i cell **A4** (*kolumn A, rad 4*) vänsterklicka, drag och släpp därefter cell A4 i fältlistan.

→ Ställ markören i fältlistan på byggår, dimension eller fabrikat (det du önskar), vänsterklicka, drag och släpp därefter det markerade fältet i cellen A4.

Pivottabellen är nu formad med avseende på byggår, dimension eller fabrikat.

## **2.5 Kalkylbladen – Skador-Inomhus, Skador-Flexibla, Skador-Betong, Skador-Fasta och Skador-AC**

På dessa kalkylblad skriver du in skador för respektive kulverttyp från kalkylblad **Tabell, skador** för att sedan kunna beräkna skadefrekvensen med avseende på byggår.

*Kalkylblad*

Skador-Inomhus

Skador-Flexibla

Skador-Betong

Skador-Fasta

Skador-AC

För respektive kulverttyp ovan utför du:

→ Utforma pivottabellen i kalkylblad **Tabell, skador** med avseende på byggår enligt 2.4.2 ovan.

→ Klicka på pilen i cell B1 i kalkylbladet **Tabell, skador** och markera önskad kulverttyp; Inomhus, Flexibla, Betong, Fasta eller AC, klicka på ”OK”.

→ Överför, *på lämpligaste sätt*, skadorna med avseende på byggår för skadeår i fråga till motsvarande skadeår i kalkylbladet **Skador-Inomhus, Skador-Flexibla, Skador-Betong, Skador-Fasta** eller **Skador-AC**.

## 2.6 Kalkylbladen – Skadefrekvens-Inomhus, Skadefrekvens-Flexibla, Skadefrekvens-Betong, Skadefrekvens-Fasta och Skadefrekvens-AC

På dessa kalkylblad beräknas skadefrekvensen med avseende på byggår.

### *Kalkylblad*

Skadefrekvens-Inomhus

Skadefrekvens-Flexibla

Skadefrekvens-Betong

Skadefrekvens-Fasta

Skadefrekvens-AC

För respektive kulverttyp ovan utför du följande, som illustreras med hjälp av ett exempel; du ska uppdatera skadefrekvensen med avseende på byggår på alla skador som inträffat år 2004 för inomhusledningar:

→ Markera kolumn som betecknas med ”Medel” (nu kolumn M) i kalkylbladet **Skadefrekvens-Inomhus**.

→ Välj **Kolumner** under **Infoga**.

→ Skriv 2004 (skadeår) på rad 2 i den infogade kolumnen.

→ Markera cell på rad 3 i kolumn ”2003” (=skadeår -1) och ställ pekaren i cellen nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag till cell på rad 3 i kolumn ”2004” (skadeår).

→ Markera cell på rad 3 i kolumn ”2004” (skadeår) och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) tills rad ”2004” (nu rad 57) (rad ”skadeår”).

→ Markera cell på rad ”2003” (=skadeår-1) i kolumn ”Medel” (nu kolumn N) och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) till rad ”2004”.

→ Markera cell på rad 3 och kolumn ”Medel”. Klicka på pilen för **Autosumma** i verktygsfältet och välj **Medel**. Markera de kolumner (de skadeår) på rad 3 som ett medelvärde skall beräknas på. Tryck därefter på **ENTER** (på tangentbordet).

→ Markera cell på rad 3 och kolumn ”Medel” ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) till rad ”2004” (nu rad 57).

Om 2.2 - 2.6 är utförda är nu enligt exemplet skadefrekvensen med avseende på byggår för kulverttypen inomhus uppdaterade i modellen. Liknande utförs för kulverttyperna flexibla, betong, fasta och AC.

## 2.7 Kalkylbladen – Aquawarm och Stålrörkulvert

På dessa kalkylblad uppdaterar du skadefrekvenserna av kulverttyperna Aquawarmrör och stålrörkulvert. Skadefrekvenserna för kulverttyperna Aquawarmrör och stålrörkulvertar utförs enligt följande:

→ Klicka på pilen i cell **B1** (*på rad 1 i kolumn B*) i kalkylbladet **Tabell, skador** och markera önskad kulverttyp; Aquawarm eller SKY, klicka på ”OK”.

→ Överför, på lämpligaste sätt, totala antalet skador för skadeår i fråga till motsvarande skadeår i kalkylbladet **Aquawarm** eller **Stålrörkulvert**.

Om 2.3 -2.5 och 2.7 är utförda för kulverttyperna Aquawarm och Stålrörkulvert är nu skadefrekvensen uppdaterade i modellen.

## 2.8 Kalkylblad – SL, DN

På detta kalkylblad uppdaterar du skadefrekvensen med avseende på DN, lokal nivå, för kulverttyperna fasta direktskummade plastmantelrör, betongkulvert och asbestcementkulvert. För respektive kulverttyp utför du följande, som illustreras med hjälp av ett exempel; du ska uppdatera skadefrekvens med avseende på DN på alla skador som inträffat år 2004 för fasta direktskummade plastmantelrör:

→ Markera kolumnen ”Medel” (nu kolumn K) i kalkylbladet **SL, DN**.

→Välj **Kolumner** under **Infoga**.

→Skriv 2004 (skadeår), (*på liknande sätt som de föregående åren är utformade*), i den infogade kolumnen.

→ Utforma pivottabellen i kalkylbladet **Tabell, skador** med avseende på DN enligt 2.4.2 ovan.

→ Klicka på pilen i cell B1 i kalkylbladet ”Pivottabell” och markera önskad kulverttyp; Betong, Fasta eller AC, i detta exempel välj Fasta, klicka på ”OK”.

→Överför, på lämpligaste sätt, skadorna med avseende på DN för år 2004 (skadeår) till motsvarande år 2004 (skadeår) i kalkylbladet **SL, DN** (*på liknande sätt som de föregående åren är utformade*).

→Överför, på lämpligaste sätt, de ackumulerade nätlängderna för respektive dimensionsintervall för år 2004 (skadeår) till kalkylbladet **SL, DN** (*på liknande sätt som de föregående år är utformade*).

→Markera cell på rad ”DN<=80”, *under rad ”Skadefrekvens”*, (i exemplet rad 16) i kolumn ”2003” (=skadeår-1) och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag till cell på samma rad ( i exemplet rad 16) i kolumn ”2004”(skadeår).

→Markera cell på rad ”DN<=80”, *under rad ”Skadefrekvens”*, (i exemplet rad 16) i kolumn ”2004” (skadeår) och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) till rad ”DN>200” (i exemplet rad 18).

→Markera cell på rad ”DN<=80”, *under rad ”Skadefrekvens”*, (i exemplet rad 16) i kolumn ”Medel” (nu kolumn L). Klicka på pilen för **Autosumma** i verktygsfältet och välj **Medel**. Markera de kolumner (de år) på rad ”DN<=80”, *under rad ”Skadefrekvens”*, (i exemplet rad 16) som ett medelvärde skall beräknas på. Tryck därefter på **ENTER** (*på tangentbordet*).

→ Markera cell på rad ”DN<=80”, *under rad ”Skadefrekvens”*, (i exemplet rad 16) i kolumn ”Medel” (nu kolumn L), ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) till rad ”DN>200” (rad 18 i exemplet).

Om 2.2 -2.5 och 2.8 är utförda är nu enligt exemplet skadefrekvensen med avseende på dimension på lokal nivå för kulverttypen fasta direktskummade plastmantelrör uppdaterade i modellen. Liknande utförs för kulverttyperna betong och AC (*men i dessa fallen tillsätts givetvis inte en ny kolumn*).

## 2.9 Kalkylblad – SL, F

På detta kalkylblad uppdaterar du skadefrekvensen med avseende på fabrikat, lokal nivå, för kulverttypen fasta direktskummade plastmantelrör.

Du utför följande, som illustreras med hjälp av ett exempel; du ska uppdatera skadefrekvens med avseende på fabrikat på alla skador som inträffat år 2004 för fasta direktskummade plastmantelrör:

→ Markera kolumnen ”Medel” i kalkylbladet **SL, F**.

→ Välj **Kolumner** under **Infoga**.

→ Skriv 2004 (skadeår), (*på liknande sätt som de föregående åren är utformade*), i den infogade kolumnen.

→ Utforma pivottabellen i kalkylbladet **Tabell, skador** med avseende på fabrikat enligt 2.4.2 ovan.

→ Klicka på pilen i cell **B1** i kalkylbladet **Tabell, skador** och markera önskad kulverttyp; Fasta, klicka på ”OK”.

→ Överför, på lämpligaste sätt, skadorna med avseende på fabrikat för år 2004 (skadeår) i fråga till motsvarande år 2004 (skadeår) i kalkylbladet **SL, F** (*på liknande sätt som de föregående åren är utformade*).

→ Överför, på lämpligaste sätt, de ackumulerade nätlängderna för respektive fabrikat för år 2004 (skadeår) i kalkylbladet **SL, F** (*på liknande sätt som de föregående åren är utformade*).

→ Markera cell på rad ”Alstom” (första fabrikatsnamnet), *under ”Skadefrekvens”*, (rad 31) i kolumn ”2003” (=skadeår-1) och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag till cell på rad ”Alstom” (rad 31) i kolumn ”2004”(skadeår).

→ Markera cell på rad ”Alstom” rad 31 i kolumn ”2004” (skadeår) och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) till rad ”Tarco” (sista fabrikats namnet) (rad 39).

→ Markera cell på rad ”Alstom” i kolumn ”Medel” (nu i exemplet kolumn L). Klicka på pilen för **Autosumma** i verktygsfältet och välj **Medel**. Markera de kolumner (de år) på rad ”Alstom” som ett medelvärde skall beräknas på. Tryck därefter på **ENTER** (*på tangentbordet*).

→ Markera cell på rad ”Alstom” (rad 31) i kolumn ”Medel” och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) till rad ”Tarco”. *För fabrikat som inte fanns de första åren (ses som ett rutnät i cellerna för skadefrekvensen), utförs ett manuellt medelvärde enligt; markera cell på rad för fabrikatet i fråga och kolumn ”Medel”. Utför medelberäkningarna enligt ovan.*

Om 2.2 - 2.5 och 2.9 är utförda är nu skadefrekvensen med avseende på fabrikat på lokal nivå av fasta direktskummade plastmantelrör uppdaterade i modellen.

## 2.10 Kalkylblad – SN, DN

På detta kalkylblad uppdaterar du skadefrekvensen med avseende på DN, nationell nivå, för kulverttyperna fasta direktskummade plastmantelrör, betongkulvert och asbestcementkulvert. Flexibla direktskummade plastmantelrör, Aquawarm och Stålrörskulvert tilldelas en skadefrekvens oberoende av dimensionen (nationell nivå), men beräknas/uppdateras på samma sätt som de övriga kulverttyper på detta kalkylblad.

För respektive kulverttyp utför du följande, som illustreras med hjälp av ett exempel; du ska uppdatera skadefrekvens med avseende på DN på alla skador som inträffat år 2003 för fasta direktskummade plastmantelrör:

→ Markera kolumnen ”Medel” (nu kolumn J) i kalkylbladet **SN, DN**.

→ Välj **Kolumner** under **Infoga**.

→ Skriv 2003 (skadeår) (på liknande sätt som de föregående åren är utformade).

→ Överför, på lämpligaste sätt, om tillgång finns att erhålla skadorna från Svensk Fjärrvärme, skadorna med avseende på DN för år 2003 (skadeår) i fråga till motsvarande år 2003 (skadeår) i kalkylbladet **SN, DN** (på liknande sätt som de föregående åren är utformade).

→ Överför, på lämpligaste sätt, de ackumulerade nätlängderna för respektive dimensionsintervall, från Svensk Fjärrvärmes nätbaserade statistik, för år 2003 (skadeår) i fråga kalkylbladet **SN, DN** (på liknande sätt som de föregående åren är utformade).

→ Markera cell på rad ”DN<=80” under rad ”Skadefrekvens” (i exemplet rad 16) i kolumn ”2002” (=skadeår-1) och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag till cell på samma rad (i exemplet rad 16) i kolumn ”2003”(skadeår).

→ Markera cell på rad ”DN<=80”, under rad ”Skadefrekvens”, (i exemplet rad 16) i kolumn ”2003” (skadeår) och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) till rad ”DN>200” (i exemplet rad 18).

→ Markera cell på rad ”DN<=80”, under rad ”Skadefrekvens”, (i exemplet rad 16) i kolumn ”Medel” (nu kolumn K). Klicka på pilen för **Autosumma** i verktygsfältet och välj **Medel**. Markera de kolumner (de år) på rad ”DN<=80”, under rad ”Skadefrekvens”, (i exemplet rad 16) som ett medelvärde skall beräknas på. Tryck därefter på **ENTER** (på tangentbordet).

→ Markera cell på rad ”DN<=80”, under rad ”Skadefrekvens”, (i exemplet rad 16) i kolumn ”Medel” (nu kolumn K), ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) till rad ”DN>200” (rad 18 i exemplet).

Om 2.10 är utförd är nu enligt exemplet skadefrekvensen med avseende på dimension på nationell nivå för kulverttypen fasta direktskummade plastmantelrör uppdaterade i modellen. Liknande utförs för kulverttyperna betong och AC (men i dessa fallen tillsätts givetvis inte en ny kolumn) samt för skadefrekvensen för flexibla direktskummade plastmantelrör, Aquawarm och stålrörskulvert (men i dessa fallen oberoende av dimension) uppdaterade i modellen.

## 2.11 Kalkylblad – SN, F

På detta kalkylblad uppdaterar du skadefrekvensen med avseende på fabrikat, nationell nivå, för kulverttyperna fasta och flexibla direktskummade plastmantelrör.

För respektive kulverttyp utför du följande, som illustreras med hjälp av ett exempel; du ska uppdatera skadefrekvens med avseende på fabrikat på alla skador som inträffat år 2003 för fasta direktskummade plastmantelrör:

→ Markera kolumnen ”Medel” (nu kolumn J) i kalkylbladet **SN, F**.

→ Välj **Kolumner** under **Infoga**.

→ Skriv 2003 (skadeår), (på liknande sätt som de föregående åren är utformade), i den infogade kolumnen.

→ Överför, på lämpligaste sätt, om tillgång finns att erhålla skadorna från Svensk Fjärrvärme, skadorna med avseende på fabrikat för kulverttyperna fasta för år 2003 (skadeår) i fråga till motsvarande år 2003 (skadeår) i kalkylbladet **SN, F** (på liknande sätt som de föregående åren är utformade).

→ Överför, på lämpligaste sätt, från Svensk Fjärrvärmes nätbaserade statistik, de ackumulerade nätlängderna för respektive fabrikat för år 2003 (skadeår) i kalkylbladet **SN, F** (på liknande sätt som de föregående år är utformade).

→ Markera cell på rad ”Isoplus” (första fabrikats namnet), under ”Skadefrekvens”, (rad 44) i kolumn ”2002” (=skadeår-1) och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag till cell på rad ”Isoplus” (rad 44) i kolumn ”2003”(skadeår).

→ Markera cell på rad ”Isoplus” rad 44 i kolumn ”2003” (skadeår) och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) till rad ”Tarco” (sista fabrikats namnet) (rad 55).

→ Markera cell på rad ”Isoplus” i kolumn ”Medel” (nu i exemplet kolumn K). Klicka på pilen för **Autosumma** i verktygsfältet och välj **Medel**. Markera de kolumner (de år) på rad ”Isoplus” som ett medelvärde skall beräknas på. Tryck därefter på **ENTER** (på tangentbordet).

→ Markera cell på rad ”Isoplus” (rad 44) i kolumn ”Medel” och ställ pekaren i nedre högra hörnet så att ett plustecken bildas. Vänsterklicka och drag ner (i kolumnen) till rad ”Tarco”. För fabrikat som inte fanns de första åren (ses som ett rutnät i cellerna för skadefrekvensen, utförs ett manuellt medelvärde enligt; markera cell på rad för fabrikatet i fråga och kolumn ”Medel”. Utför medelberäkningarna enligt ovan.

Om 2.11 är utförda är nu skadefrekvensen med avseende på fabrikat på nationell nivå av fasta direktskummade plastmantelrör uppdaterade i modellen. Liknande utförs för flexibla direktskummade plastmantelrör (men i detta fall tillsätts givetvis inte en ny kolumn). Observera att flexibla finns på rad 59 och framåt i detta kalkylblad.



