Modell för reinvesteringsplanering

Fjärrvärmenätet i Helsingborg

LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Avdelning för installationsteknik

Examensarbete:
Nadja Jolsäter
Olof Lindell

© Copyright Nadja Jolsäter, Olof Lindell

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2011

Sammanfattning

Fjärrvärmenätet i Helsingborg består idag av cirka 57 mil fjärrvärmekulvert som förser cirka 45 000 hushåll i nordvästra Skåne med värme. Reinvesteringstakten är i dagsläget ungefär 1 kilometer om året, vilket innebär att det skulle ta cirka 600 år innan hela fjärrvärmenätet är ersatt. Den ungefärliga tekniska livslängden för en fjärrvärmekulvert är 50 år, vilket innebär att Öresundskraft måste öka reinvesteringstakten för att upprätthålla leveranssäkerheten i sin fjärrvärmedistribution.

I detta arbete utformas ett verktyg, i form av en Excel-modell, vars syfte är att analysera fjärrvärmenätet och rangordna dess delsträckor utefter reinvesteringsbehovet. Modellen formas efter Öresundskrafts förutsättningar och behov.

Som underlag för rangordningen av delsträckorna beaktas de parametrar som påverkas av en reinvestering. Dessa parametrar är leveranssäkerhet, miljöpåverkan och ekonomisk lönsamhet. Leveranssäkerheten bedöms utifrån en delsträckas skaderisk samt hur stora konsekvenserna blir vid ett kulverthaveri. Miljöpåverkan behandlar modellen genom att jämföra värmeförlusterna för befintlig respektive ny kulvert. Den ekonomiska aspekten behandlas genom att undersöka kostnadsskillnaderna mellan fortsatt drift med befintlig kulvert och förnyelse.

För att undersöka modellens användbarhet har en fallstudie utförts på ett område i centrala Helsingborg.

Nyckelord: Reinvesteringsmodell, reinvesteringsplanering, fjärrvärme, Öresundskraft, beräkningsmodell

Abstract

The district heating system of Helsingborg today consists of about 570 km pre-insulated pipes and provides about 45 000 households in southwestern Sweden with heat. The current situation of reinvestment rate is about 1 km a year, meaning that it would take about 600 years before the entire district heating system is replaced. The approximate technical lifetime of a district heating pipe is about 50 years, therefore, must Öresundskraft increase reinvestment rate to maintain supply security in the district heating distribution.

In this work to design a tool in the form of an Excel model which aims to analyze the district heating network and rank its legs along their reinvestment needs. The model is formed after Öresundskrafts conditions and needs.

The parameters that are affected by reinvestment are used as a basis for ranking the sections. These parameters are delivery reliability, environmental impact and economic viability. The delivery reliability depends on a section's risk of injury and the consequences of damage. The model treats environmental affects by comparing loss of heat between present and new pipe. The economic aspect is treated by investigations of differences in cost between present pipe and renewal.

To investigate the model's usefulness, a case study has been conducted in the inner city of Helsingborg.

Keywords: Reinvestment model, reinvestment plan, district heating, Öresundskraft, calculation model

Förord

Detta examensarbete har vi tillsammans skrivit, analyserat och begrundat under våren 2011 för att förenkla Öresundskrafts arbete med att planera reinvesteringar för fjärrvärmenätet i Helsingborg. Arbetet avslutar en högskoleingenjörsutbildning i byggteknik och omfattar 22,5 högskolepoäng på institutionen för Bygg- och miljöteknologi vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med ÅF Engineering och Öresundskraft Kraft & Värme AB.

Vi vill främst tacka Ulrik Björk och Peter Dannbring, handledare på ÅF Engineering för ert initiativtagande och stöd genom projektets gång. Magnus Ohlsson, Öresundskraft Kraft & Värme AB, för ett enormt engagemang och tålamod samt Mats Dahlblom, examinator på Lunds Universitet, för visat engagemang och roliga möten.

Vi vill även tacka Tony Stegroth, Öresundskraft Kraft & Värme AB, för allt material vi tillhandahållits. Nils-Erik Philipsson, Öresundskraft Kraft & Värme AB, för alla utskrifter. Jonas Holmqvist, ÅF Engineering, för de guidade besöken på arbetsplatserna ute i verkligheten och trevligt sällskap samt Bengt Ohlsson, Öresundskraft Kraft & Värme AB, för kunskap och undervisning.

Sist men inte minst vill vi tacka varandra för ett väl genomfört arbete och för vi har ställt upp och stöttat varandra i ur och skur.

Slutligen hoppas vi att vårt arbete kommer vara till hjälp när Öresundskraft skall ta beslut om eventuella reinvesteringar i fjärrvärmenätet framöver. Vi hoppas även att kunna bidra med intressant läsning för stunden.

Helsingborg juni 2011
Nadja Jolsäter och Olof Lindell

Innehållsförteckning

1 Inledning 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Syfte 1
1.3 Metod 2
1.4 Disposition 2
2 Fjärrvärmenätets olika kulverttyper 3
2.1 Aquawarm 3
2.2 Betongkulvert 4
2.3 Eternitkulvert 4
2.4 PEH-kulvert 5
2.5 Övriga 5
3 Skadestatistik 7
3.1 Skaderapportering 7
3.1.1 Bristande underlagsmaterial 7
3.2 Skadefrekvens med avseende på kulverttyp 8
3.3 Primärorsaker till skador 9
3.3.1 Installationsfel 10
3.3.2 Materialfel 10
3.3.3 Yttre åverkan 10
3.4 Skadefrekvens med avseende på ålder 11
3.5 Skadefrekvens med avseende på byggår 12
3.5.1 Skadefrekvens med avseende på byggår för PEH 12
3.5.2 Skadefrekvens med avseende på byggår för Aquawarm 12
3.5.3 Skadefrekvens med avseende på byggår för PVC 13
3.5.4 Skadefrekvens med avseende på byggår för Eternit 14
3.6 Skadefrekvens med avseende på fabrikat 14
4 Miljö 17
4.1 Värmeförluster 17
4.1.1 Beräkning av U-värde 17
4.1.2 Beräkning av värmeeffektbesparingen 18
4.1.3 Onormalt höga värmeförluster 18
4.2 Övriga miljöaspekter 18
5 Leveranssäkerhet 21
5.1 Förebyggande arbete 21
5.2 Konsekvenser 21
5.2.1 Konsekvenser med avseende på dimension 22
5.2.2 Konsekvenser med avseende på kundtyp och svåråtkomlighet 22
5.3 Åtgärder 22

6 Ekonomisk lönsamhet 23
6.1 Reinvesteringskalkylering 23
6.1.1 Kapitalvärdemetoden 23
6.1.2 Restvärde 24
6.1.3 Kapitalvärdekvot 24
6.2 Kostnadsposter 24
6.2.1 Nyanläggningskostnader 25
6.2.2 Restvärde på befintlig kulvert 25
6.2.3 Driftkostnader med avseende på värmeförluster 25
6.2.4 Reparationskostnader 26
6.2.5 Goodwillkostnader 26
6.2.6 Andra kostnader 26

7 Modell för reinvestering 27
7.1 Modellens uppbyggnad 27
7.2 Skadestatistik 28
7.2.1 Kulverttyp 29
7.2.2 Byggår 29
7.2.3 Fabrikat 29
7.3 Miljö 29
7.4 Leveranssäkerhet 30
7.5 Ekonomi 31

8 Fallstudie 33
8.1 Resultat leveranssäkerhet 34
8.2 Resultat miljö 34
8.3 Resultat ekonomi 35
8.4 Prioritering 35
8.5 Sammanfattning av fallstudie 36

9 Analys 37

10 Slutsatser 39

Referenser 41

Bilaga 1 Rapport om kulvertskada, Värmeverksföreningen

Bilaga 2 Beräkning av U-värden

Bilaga 3 Konsumentprisindex

Bilaga 4 Resultat av fallstudie

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I slutet av 1940-talet anlades den första fjärrvärmen i Sverige, sedan dess har fjärrvärmen utvecklats i stor skala och idag får stora delar av byggnadsbeståndet i flera städer och tätorter sin värme och sitt varmvatten via ett fjärrvärmenät. 1964 togs det första fjärrvärmenätet i Helsingborg i drift och idag består Helsingborgs fjärrvärmenät av cirka 57 mil fjärrvärmekulvert. Öresundskraft tillhandahåller värme till cirka 45 000 hushåll i nordvästra Skåne varav ungefär 9 000 är villakunder. [1][2]

Enligt Öresundskraft skulle det ta cirka 600 år att byta ut det befintliga fjärrvärmenätet, vilket motsvarar knappt 1 km om året. Fjärrvärmerören har en livslängd som är betydligt kortare än så, vilket resulterar i att reinvesteringstakten måste öka. Öresundskraft är i behov av en reinvesteringsmodell som kan vara till hjälp då de avgör var i det befintliga fjärrvärmenätet de bör reinvestera. [3]

Göteborgs Energi stod inför samma problem år 2004 och lät då avgångsstudenten Åsa Åkerström, kemiteknik Lunds tekniska högskola, skapa en reinvesteringsmodell för fjärrvärmenätet i Göteborg. Modellen gick ut på att vikta olika parametrar, vilka spelar in i kalkyleringen, mot varandra och på så vis rangordna delsträckor efter reinvesteringsbehov. Modellen är utformad i Excel och belyser skadestatistik, miljöaspekter, omgivningsförhållande, ekonomi och leveranssäkerheten av rören. I sin rapport betonar Åsa starkt att reinvesteringsmodellen inte ska ligga som grund gällande reinvesteringar utan vara ett hjälpmedel för att kunna fatta rätt beslut. [4]

1.2 Syfte

Öresundskraft står inför omfattande reinvesteringar i sitt fjärrvärmenät i Helsingborg. Syftet med det här arbetet är att ta fram ett verktyg som kan underlätta arbetet med att placera reinvesteringspengarna på rätt ställe i fjärrvärmenätet. Ambitionerna är att skapa en modell, med utgångspunkt i den modell Åsa Åkerström utvecklade för Göteborgs Energi, men utifrån Öresundskrafts förutsättningar och behov. Målet är att skapa en modell, som tar hänsyn till ekonomisk lönsamhet, miljöpåverkan och leveranssäkerhet. Dessa faktorer ställs i relation till varandra och ämnar resultera i en rangordning av delsträcker med behov av reinvesteringar. Vi hoppas modellen skall kunna ge en överblick av reinvesteringsbehovet men bör inte ligga som beslutsunderlag för reinvesteringar.

1.3 Metod

Arbetet inleds med besök på ett flertal byggarbetsplatser för att få en inblick i hur fjärrvärme fungerar i praktiken. Vi kommer även genomföra en litteraturstudie om fjärrvärme i allmänhet och om Helsingborgs fjärrvärmenät i synnerhet. Därefter kommer olika faktorer som kan påverka en eventuell reinvestering att undersökas genom såväl statistiska undersökningar som personliga intervjuer och beräkningar. Slutsatserna kommer sammanställas och viktas i en modell som prioriterar reinvesteringar. När modellen är färdigställd kommer vi genomföra en fallstudie för att testa modellens trovärdighet.

1.4 Disposition

Rapporten inleds i kapitel 1 och 2.

I kapitel 2 ges en introduktion om fjärrvärmenätet i Helsingborg, dess olika kulverttyper samt en djupare beskrivning av varje kulverttyp och dess uppbyggnad.

I kapitel 3 behandlas och redovisas skadestatistik från Helsingborgs fjärrvärmenät. Denna del av rapporten beskriver huruvida en kulvert är riskbenägen beroende på olika faktorer.

Kapitel 4 redogör för hur fjärrvärme påverkar miljön och går sedan djupare in på de aspekter som kommer behandlas av reinvesteringsmodellen ur miljösynpunkt.

I kapitel 5 redovisas hur leveranssäkerheten påverkar val av reinvesteringar.

Kapitel 6 redogör för hur lönsamheten för en reinvestering beräknas, därefter beskrivs de kostnadsposter som spelar in och påverkas av en reinvestering.

I kapitel 7 redogörs för hur modellen för reinvesteringar är uppbyggd samt beskrivs hur de olika parametrarna i kapitel 3 till 6 behandlas i modellen för att rangordning av delsträckor utefter reinvesteringsbehovet ska kunna göras.

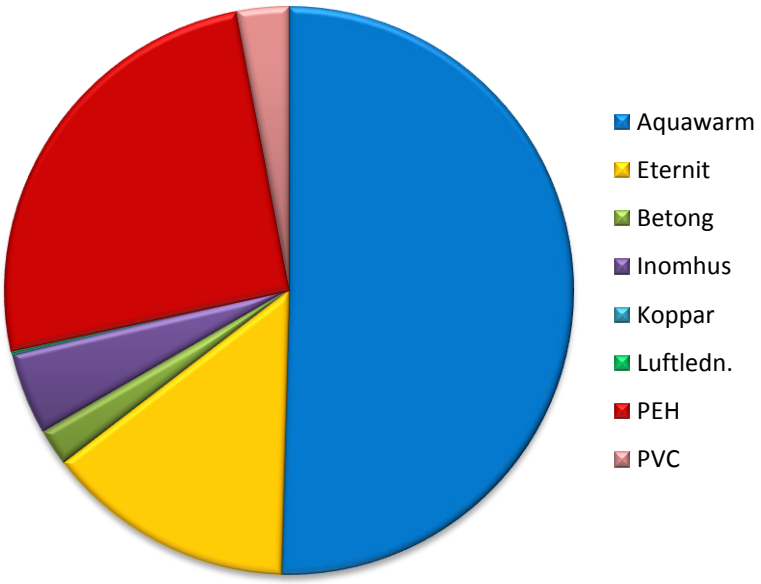
I kapitel 8 presenteras den fallstudie som är gjord på ett område i Helsingborgs fjärrvärmenät.

Kapitel 9 och kapitel 10 avslutar rapporten; här analyseras och diskuteras arbetet och slutligen presenteras slutsatser.

2 Fjärrvärmenätets olika kulverttyper

Sedan fjärrvärmenätet i Helsingborg började byggas i slutet av 1960-talet, har en stor utveckling skett inom fjärrvärmetekniken. De första fjärrvärmekulvertarna som anlades i Helsingborg var helt olika de kulverttyper som används vid fjärrvärmebyggnation i dagsläget. En del av de äldre kulverttyperna anses till och med som hälsofarliga och har därför förbjudits vid byggnation. Allt eftersom åren har gått har nya kulverttyper tillkommit och utvecklats vilket har lett till att Helsingborgs fjärrvärmenät idag består av cirka 57 mil kulvert fördelat på åtta olika sorters kulverttyper, vilka presenteras nedan. De kulverttyper som idag anläggs i Helsingborg vid nybyggnation är PEH, Aquawarm och inomhusledningar, dessa är lämpade för olika omgivningsförhållande och har ersatt övriga kulverttyper. [5][6]

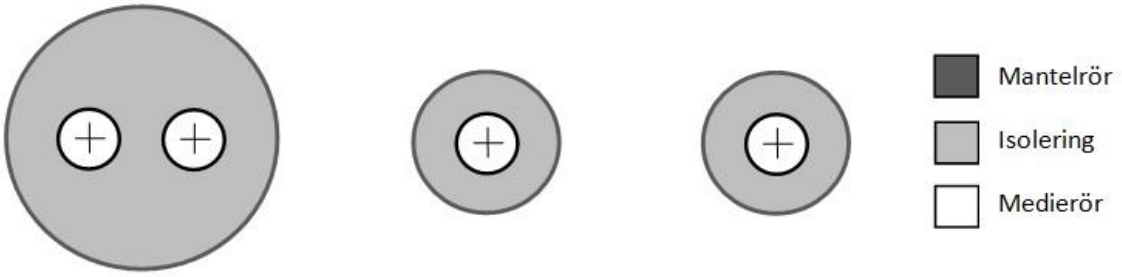
Kulverttyp	Längd (km)	andel av FV-nät
Aquawarm	287,43	50,4%
Eternit	80,85	14,2%
Betong	11,77	2,1%
Inomhus	26,68	4,7%
Koppar	0,47	0,1%
Luftledn.	0,72	0,1%
PEH	144,90	25,4%
PVC	16,98	3,0%
Totalt	569,81	100,0%



Figur 2. 1. Andel av respektive kulverttyp i Helsingborgs fjärrvärmenät år 2011.

2.1 Aquawarm

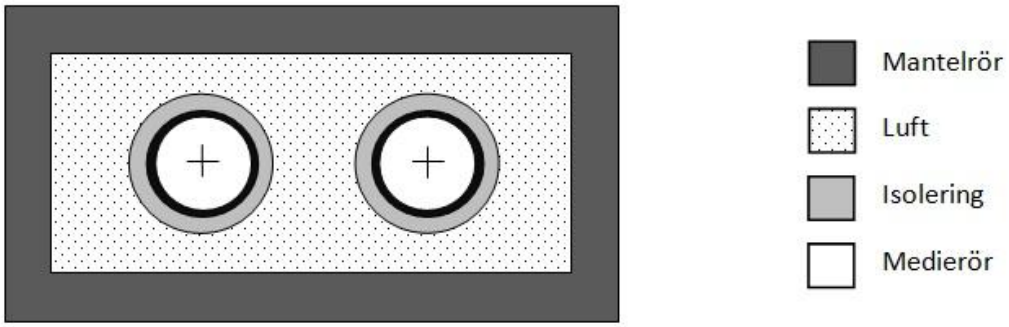
Den första Aquawarmkulverten i Helsingborg anlades 1964 och idag utgör Aquawarm cirka 29 av 56 mil kulvert vilket innebär 51 % av det totala fjärrvärmenätet i Helsingborg. Aquawarm började utvecklas i på 1960-talet och blev snabbt en marknadsledande leverantör av fjärrvärmesystem. Kulvertkonstruktionen består av medierör i koppar, mineralullsisolering och ett mantelrör av korrugerad polyeten. Denna konstruktion ger en mycket flexibel kulvert som är lätt att böja och anpassa vid hinder i marken. Vid anläggning av Aquawarm läggs rören i sinuskurvor för att kunna ta upp krafter som uppstår då rören expanderar vid temperaturförändringar. [4][5][6][7]



Figur 2.2. Tvärsnitt Aquawarmkulvert, dubbelrör respektive enkelrör.

2.2 Betongkulvert

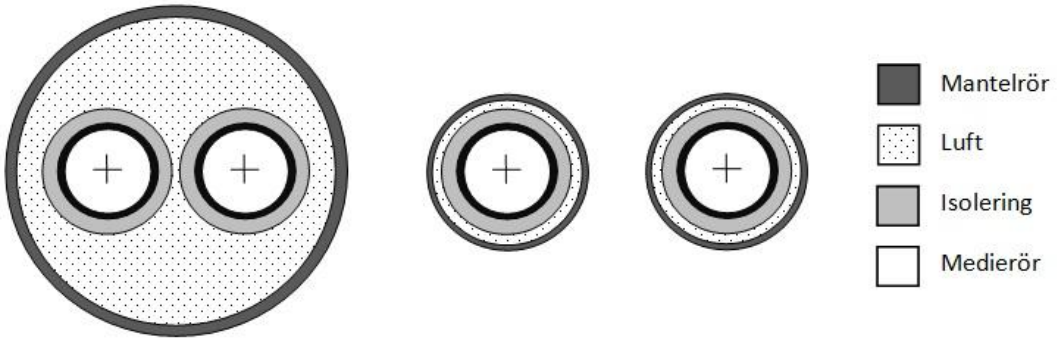
Betongkulvertar började läggas i Helsingborg 1965 och slutade läggas i början av 80-talet. Idag består fjärrvärmenätet av cirka 1,2 mil betongkulvert som utgör totalt 2 % av hela nätet. Framförallt finns betongkulvert i den centrala delen av Helsingborg och i stora dimensioner då dessa har en lång kulvertlivstid och är dyra att byta ut. Betongkulvertar räknas idag som en ”klassiker” inom fjärrvärmetekniken och består av ett medierör av stål, isolering av mineralull och ett skyddshölje av betong. [5][6]



Figur 2.3. Tvärsnitt betongkulvert

2.3 Eternitkulvert

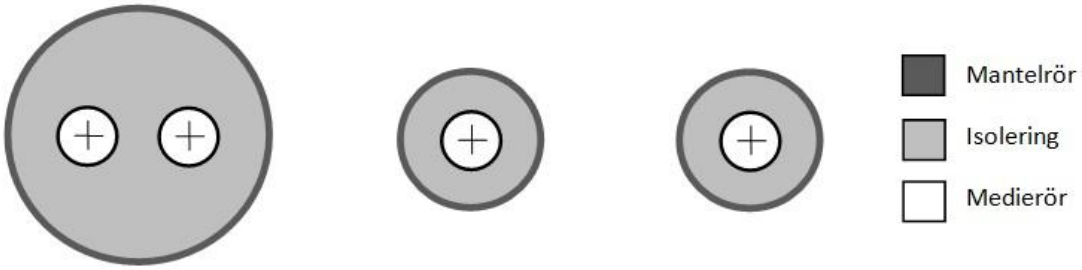
Eternitkulvert började läggas i Helsingborg 1964 men är idag förbjudet att använda vid nybyggnation på grund av den mycket hälsofarliga asbesten som finns i eterniten. Asbest, bestående av små mineralfibrer, kan orsaka flera farliga lungsjukdomar vid inandning. Detta medför ett besvärligare arbete vid ombyggnad ur arbetsmiljösynpunkt. Medieröret i en eternitkulvert är inte fixerat i mantelröret, utan kan röra sig fram och tillbaka på glidstöd för att ta upp krafter som uppkommer av expansion vid värmeförändringar. Idag finns det fem olika sorters eternitkulvert i Helsingborg. Det som skiljer dem åt är kulvertkonstruktionen och isoleringsmaterialet. Den vanligaste är enkel- och dubbelrör med mineralull som isolering, så kallade ACE. Idag finns det cirka 8 mil eternit kulvertar kvar i Helsingborgs fjärrvärmenät vilket motsvarar 14 % av den totala kulvertlängden. [5][6][25][30]



Figur 2.4 Tvärsnitt eternitkulvert (ACE), dubbelrör respektive enkelrör.

2.4 PEH-kulvert

PEH är en plast av högdensitetspolyeten som används som mantelrör för PEH-kulvert eller fasta direktskummade plastmantelrör som det även kallas. Högdensitetspolyeten är ett tåligt och åldersbeständigt material med goda återvinningsmöjligheter och lämpar sig därför bra som material till mantelröret. Medieröret i PEH-kulvertar är av stål och isoleringen är av polyuretanskum (PUR) som har goda isolerings- och tryckhållfasthetsegenskaper. Isoleringen skummas direkt i rören och förbinder medieröret med ytterhöljet. PEH-kulvertar prefabriceras i standardlängder och svetsas ihop på plats i den öppna gropen. I dagsläget ersätter PEH alla fjärrvärmekulvertar av större dimensioner samt mindre dimensioner där det ges möjlighet. Det finns cirka 15 mil PEH-kulvert i Helsingborg vilket innebär 25 % av den totala kulvertlängden. [5][6][8][26]



Figur 2.5. Tvärsnitt PEH-kulvert, dubbelrör respektive enkelrör.

2.5 Övriga

Inomhusledningar utgör cirka 5 %, det vill säga 27 mil, av den totala kulvertlängden i Helsingborg. Kulverten består av ett medierör av stål, mineralullsisolering och ett skyddshölje av plast. Som framgår av namnet är dessa kulvertar dragna genom fastigheter och källarlokaler. Luftledningar är kulvertar som går ovan mark. Luftledningarna utgör en väldigt liten del av Helsingborgs fjärrvärmenät, 0,1 % vilket motsvarar cirka 0,7 mil av den totala kulvertlängden. Fördelen med luftledningar är att inga markarbeten måste genomföras men nackdelarna är desto större, till exempel lättillgänglighet för sabotage och

estetik. PVC utgör 3 % av fjärrvärmenätet vilket motsvarar ungefär 1,7 mil av den totala kulvertlängden. PVC består av ett medierör av stål, isolering av polyuretanskum och ett skyddshölje av polyvinylklorid (PVC). PVC är ett mellanting mellan eternitkulvert och PEH-kulvert. Precis som i eternitkulvert ligger medieröret fritt i isoleringen, det vill säga att det kan glida fram och tillbaka medan isoleringen och mantelröret är fixerat. Däremot är det samma typ av isolering som i PEH-kulvert och mantelröret är av plast. [5][19]

Kopparledningar, som är en typ av flexibla ledningar, började anläggas 1970 i Helsingborg och utgör idag av 0,1 %, det vill säga cirka 0,7 mil, av det totala fjärrvärmenätet. Flexibiliteten i materialet gör att ledningarna kan levereras på rulle vilket medför att materialet är lätthanterligt. [5][6][8]

3 Skadestatistik

En viktig aspekt att ta med i en reinvesteringsmodell är hur stor sannolikheten är att en skada kan inträffa på ett visst ställe i fjärrvärmenätet. Skaderisken för en delsträcka spelar in i både leveranssäkerheten och den ekonomiska aspekten. Om de delar av fjärrvärmenätet som ligger i riskzonen kan förutses, så kan eventuella skador förhindras. Det ger dels en besparing i reparationskostnader och dels en ökad leveranssäkerhet. För att bedöma skaderisken i en modell ges delsträckan i fråga en eller flera riskfaktorer. Dessa riskfaktorer grundar sig på den information som finns om delsträckan, till exempel kulverttyp, byggår och fabrikat med mera. Summan av riskfaktorerna för delsträckan kommer utgöra en del i bedömningen av såväl leveranssäkerhet som ekonomisk lönsamhet vid en reinvestering. [21][22]

3.1 Skaderapportering

När en skada på fjärrvärmenätet har upptäckts är det viktigt att analysera och dokumentera denna i en så kallad skaderapport. En skaderapport för en kulvertskada ska innehålla information om den befintliga kulverten, vad som har hänt, vad som orsakade skadan, hur skadan upptäcktes, skadans omfattning samt åtgärd och kostnader för åtgärden. Rapporten bör sedan arkiveras i en databas som gör det möjligt att ta fram önskad statistik för hela fjärrvärmenätet samt information om varje individuell skada. [5][21]

Från och med år 1977 och fram till år 2000 har Öresundskraft dokumenterat alla kulvertskador och arkiverat dem i pärmar samt i en digital databas. Vid varje nytt skadetillfälle har Öresundskraft fyllt i en blankett, utvecklad av Värmeverksföreningen, se bilaga1. [5][21]

3.1.1 Bristande underlagsmaterial

Öresundskraft började 1977 rapportera skador som skedde på fjärrvärmenätet i sin interna databas i Helsingborg. Skadedatabasen inkluderar alla skador som har skett på fjärrvärmenätet sedan dess och fram till år 2000. Därefter finns skaderapporterna bara som enskilda dokument i databasen och är inte dokumenterade i någon gemensam fil. De enskilda dokumenten skulle ta för lång tid att behandla och har därmed utelämnats i denna rapport. Vi anser att Öresundskraft bör, inom en snar framtid, föra över skadorna som har upptäckts efter år 2000 i sin databas för att kunna få en fullständig överblick över kulvertskadorna som rapporterats i Helsingborgs fjärrvärmenät. [5][21]

I databasen för Helsingborgs fjärrvärmenät finns information om hur fjärrvärmenätet ser ut i dagsläget och när det skett förändringar på det. Information om hur fjärrvärmenätet såg ut innan genomförda förändringar saknas, vilket försvårar arbetet med att plocka fram tillförlitlig skadestatistik. För att underlätta arbete med statistik i framtiden föreslår vi att arkivera information om

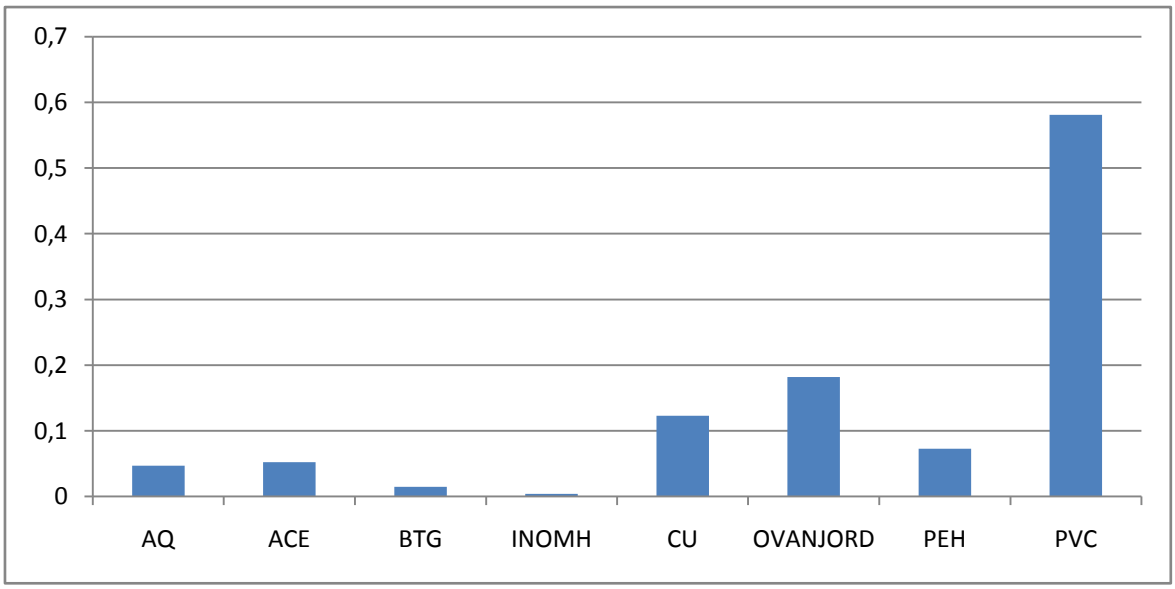
hur fjärrvärmenätet ser ut en gång om året. Denna information bör innehålla data för fjärrvärmenätets aktuella längd, fördelning av kulverttyper och dess dimensioner samt nätkartor. Denna information skulle till exempel göra det möjligt att få fram medelvärde för antalet skador per år och meter kulvert samt kulverttyp, vilket skulle ge en mer tillförlitlig skadestatistik. [5]

Instansen Svensk Fjärrvärme samlar in skaderapporter från olika energibolag för att ge en nationell överblick av kulvertskador i fjärrvärmenät. Tidigare fick alla medlemmar tillgång till Svensk Fjärrvärmes databas och deras statistik men denna tjänst har lagts ned. De jobbar dock för att kunna starta upp tjänsten igen. [16]

3.2 Skadefrekvens med avseende på kulverttyp

En statistisk undersökning har genomförts på det befintliga fjärrvärmenätet i Helsingborg. Undersökningen baseras på inrapporterade skador mellan 1977 och 2000 samt den information som finns om fjärrvärmenätet i dagsläget. Därmed tas ingen hänsyn till att en skadad ledning i många fall har bytts ut och ersatts av en annan kulverttyp, då ingen information om kulvertar som bytts ut finns.

Skadefrekvensen med avseende på kulverttyp beräknas genom att dividera antalet rapporterade skador mellan år 1977 och 2000 för respektive kulverttyp med den totala längden för den kulverttypen som är byggd innan år 2000, och antalet år, det vill säga 23 år. [5][19]



Figur 3.1. Skadefrekvens med avseende på kulverttyp. Antal rapporterade skador per kilometer kulvert byggd fram till år 2000, fördelat per år.

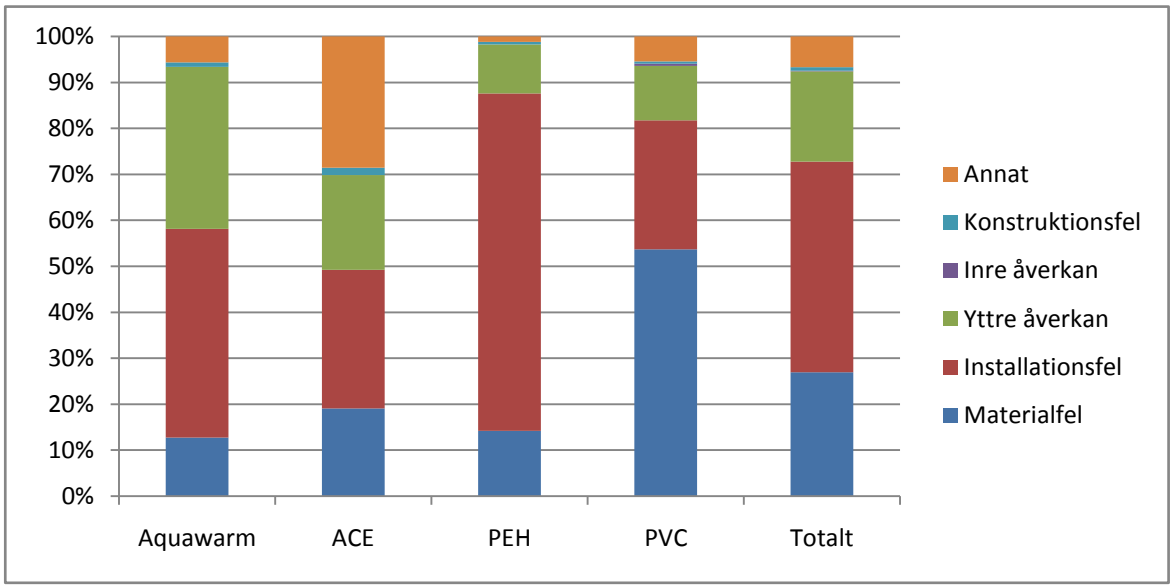
Utifrån figur 3.1 ovan ses en avsevärt högre skadefrekvens för PVC ledningar. Enligt personal med lång erfarenhet av fjärrvärmenätet i Helsingborg, från

drift- och underhållsverksamheten på Öresundskraft Kraft & Värme AB, bekräftas resultatet av skadefrekvensen för olika kulverttyper och anses kunna användas i en modell för reinvesteringar i det befintliga fjärrvärmenätet. [5][19]

Även ovanjordsledningar har betydligt högre skadefrekvens än övriga kulverttyper. En orsak till detta kan vara att ovanjordsledningar, till skillnad från nedgrävda ledningar, i högre grad är utsatta för yttre åverkan i form av dels väder och vind men även av fordon och liknande. [5]

3.3 Primärorsaker till skador

Baserat på inrapporterade skador till Öresundskrafts databas under perioden 1977-2000 har statistik tagits fram över primärorsaken till skador för alla kulverttyper i Helsingborgs fjärrvärmenät.



Figur 3.2. Primärorsaker för inrapporterade kulvertskador i Helsingborgs fjärrvärmenät, baserat på Öresundskrafts databas.

I kategorin materialfel ingår skador som orsakats av felaktigt levererat material ifrån leverantören. Skador som uppkommit vid hantering, medierörarbete samt vid skarvmontage klassificeras som installationsfel. Under kategorin yttre åverkan finns skador som orsakats av yttre faktorer efter driftsättning. Detta kan till exempel vara skador på grund av markarbete. Inre åverkan orsakas av vattenkvalité, temperatur och tryckväxlingar. [5][19]

Konstruktionsfel kan vara feldimensionering vid till exempel projektering eller skador som uppkommit på grund av eftersatt underhåll. Kategorin ”annat” innefattar skador vars uppkomst inte kan konstateras, i många fall är det skyddshöljet som är skadat men det är svårt att avgöra vad som orsakat skadan. Det kan till exempel vara frostskador eller sättningar i marken. [5][19]

3.3.1 Installationsfel

I figur 3.2 framgår det att installationsfel är den största primärorsaken till skador. Installationsfelen uppgår till nästan hälften av alla primärskador. Olämplig hantering av rören under installationen kan vara ett exempel på hur en skada lätt kan uppstå. Andra exempel på hur skador kan uppstå, är slarv vid lödning eller svetsning av medierör vilket ger möjlighet till läckage av hetvatten med skador på mantelröret som följd. Om skador som orsakats av entreprenören vid installationen upptäcks inom två år går denna skada på garanti. Ett annat vanligt fel vid installationen är hur noggrant marken runt rören packats vid återfyllning. Vid montering av fjärrvärmekulvert är det viktigt att följa instruktionerna från leverantören samt erhålla en god kunskap och aktsamhet samt hårda kontroller vid skarvning och svetsning för att minska antalet installationsskador. [3][5][19]

Speciellt hög andel av inrapporterade skador på PEH-kulvertar har primärorsakats av installationsfel. När PEH-kulvertar började läggas, i mitten av 1960-talet, användes en metod vid skarvning av ytterhöljet på kulvertarna som senare visat sig inte alls var bra. Efter bara några år läckte det in vatten genom plasthöljet och medieröret förstördes av korrosion. När detta konstaterades cirka tio år senare byttes metoden vid skarvningen och därefter har antalet skador minskat till en fjärdedel. [5][19]

3.3.2 Materialfel

Materialfel innefattar enbart skador som orsakats av felaktigt levererat material och utgör cirka 25 % av primärorsakerna till skador. Vid korrekt installation och hantering av fjärrvärmekulvert gäller leverantörens garanti för skador som orsakats av materialfel och upptäckts inom garantitiden som är fem år. [19][20]

Med hjälp av figur 3.1 och personal på Öresundskraft Kraft & Värme AB kunde vi konstatera att PVC-ledningar hade hög skadefrekvens. När vi studerar figur 3.2 kan vi se att mer än hälften av alla skador som skett på PVC-kulvertar har orsakats av materialfel. Främst är det mantelröret och skarvmuffarna av PVC som är bristfälliga. PVC, plastmaterialet Polyvinylklorid, har visat sig bli sprött med tiden och är därmed väldigt sprickbenäget. Läcker det in vatten genom sprickorna och isoleringen korrugerar medieröret snabbt och en läcka bildas. [3][5][19]

3.3.3 Yttre åverkan

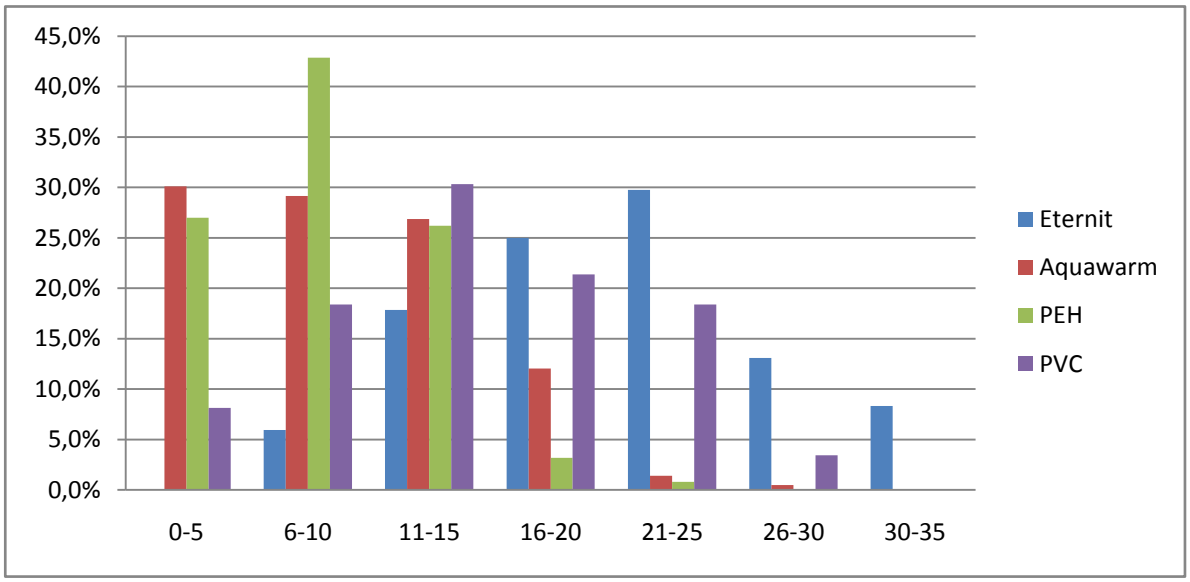
Knappt 20 % av primärorsakerna till skador på en fjärrvärmekulvert är yttre åverkan. Yttre åverkan innefattar skador som inträffat efter drifttagandet. Orsaker till yttre åverkan kan till exempel vara grävarbeten eller liknande, och uppstår ofta på grund av oförsiktighet eller oklarhet vid markarbeten. [5]

För Aquawarm är yttre åverkan en relativt hög skadeorsak i jämförelse med andra kulverttyper. Detta beror förmodligen på Aquawarms kulvertkonstruktion. För att Aquawarm ska vara så lättarbetad och flexibel som möjligt är ytterhöljet av relativt tunn korrugerad plast och isoleringen består av mjuk mineralull. Denna kombination gör att kulvertkonstruktionen är väldigt mjuk och ömtålig för yttre åverkan. [19]

3.4 Skadefrekvens med avseende på ålder

Skadefrekvensen med avseende på ålder bygger på inrapporterade skador från eternit-, PEH- Aquawarm och PVC-kulvertar fram till år 2000. Därefter finns bara skaderapporterna som enskilda dokument vilka, som vi tidigare nämnt, inte behandlas i detta arbete.

Skadefrekvenserna för respektive kulverttyp är uppdelade i ett åldersintervall på 5 år. ”Ålder” betyder skillnaden mellan byggår och det år då skadan upptäcks.



Figur 3.3. Skadestatistik med avseende på Kulvertålder för kulverttyperna Eternit, Aquawarm, PEH och PVC, som är baserat på skador från 1977- 2000.

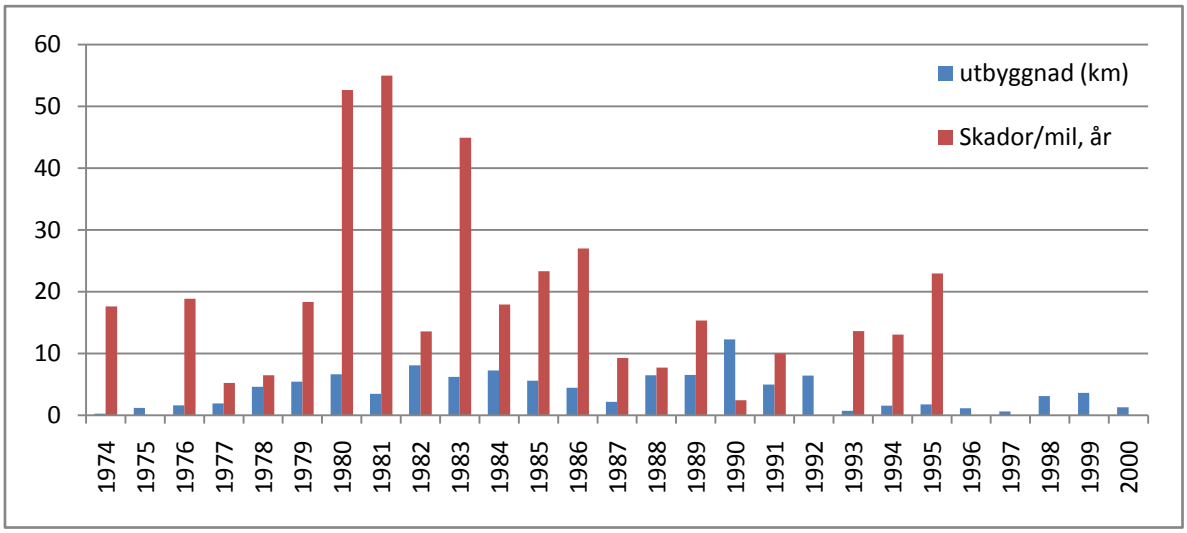
I figur 3.3 presenteras hur skaderapporterna för de olika kulverttyperna är fördelade i årsintervaller på 5 år. Diagrammet visar att Aquawarm och PEH är väldigt skadedrabbade de första femton åren. Detta kan vi knyta till diagrammet över primärorsakerna för skador som visar att den största andelen skador orsakats av installationsfel och yttre åverkan. Vad gäller PEH-kulvertar kan anledningen till stor andel skador orsakade av installationsfel bero på okunskap vid tätning av skyddshöljet i kulvertens skarvar innan år 1985, då en metodförändring gjordes i skarvarbetet för skyddshöljet. [5][19]

3.5 Skadefrekvens med avseende på byggår

För att undersöka om förändringar i anläggningsarbetet har påverkat hållbarheten för fjärrvärmekulvertar har en statistisk undersökning genomförts. Den statistiska undersökningen avser att presentera hur skadefrekvensen ser ut med avseende på byggår för de vanligaste kulverttyperna. Det statistiska underlaget är inrapporterade skador mellan åren 1977 och 2000 samt kulvertlängd i befintligt fjärrvärmenät. [5]

3.5.1 Skadefrekvens med avseende på byggår för PEH

Enligt figuren nedan syns tydligt att PEH-kulvert har hög skadefrekvens fram till 1986. Vi kan koppla detta till primärorsaker för skador på PEH-kulvertar där drygt 70 % av alla skador orsakats av installationsfel. När PEH-kulvert började anläggas skarvades kulvertar ihop med en metod som senare upptäcktes vara bristfällig, vilket tidigare beskrivits. 1987 ändrades skarvningsmetoden så att skarvarna mellan kulvertarna blev tätare och därefter har skadefrekvensen för PEH-kulvertar varit relativt låg. I och med detta kommer modellen för reinvesteringar i fjärrvärmenätet ge PEH-kulvert som är byggd fram till och med 1986 en riskfaktor. Denna riskfaktor är differensen mellan medelskadefrekvensen innan och efter metodändringen och räknas i skador per kilometer kulvert och år. Fram till och med år 1986 är medelskadefrekvensen 2,31 och därefter är den 0,67. Detta ger en riskfaktor som är 1,64 skador per kilometer kulvert och år. [5][19]

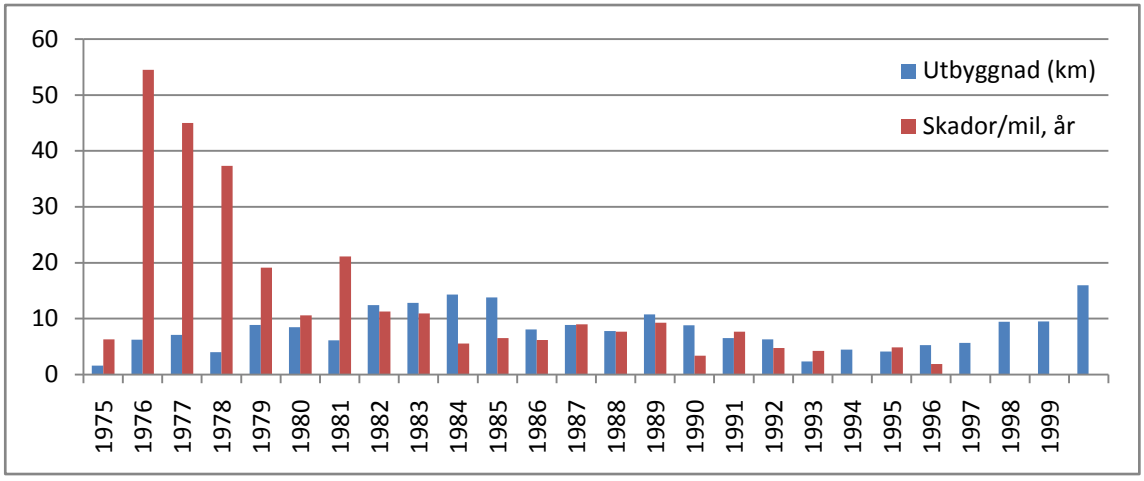


Figur 3.4. Skadefrekvens med avseende på byggår och utbyggnadstakt för PEH-kulvert.

3.5.2 Skadefrekvens med avseende på byggår för Aquawarm

Även Aquawarm har hög skadefrekvens de första anläggningsåren. Aquawarms kulvertkonstruktion är väldigt känslig för yttre åverkan, se figur 3.2 för primärorsaker till skador. 1984 ändrade Aquawarm sin kulvertkonstruktion genom att öka godstjockleken på ytterhöljet samt att ändra material i kompo-

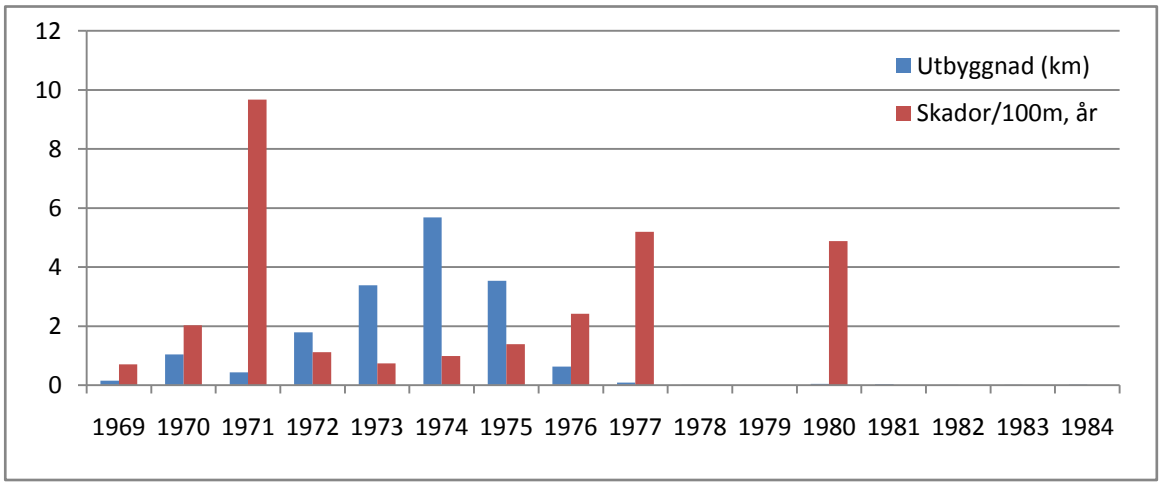
nenter såsom T-stycke och liknande. Detta kan vara orsaken till att skadefrekvensen sjönk vid denna tidpunkt. Modellen för reinvesteringar kommer ge Aquawarmkulvertar som har anlagts innan 1984 en riskfaktor på samma sätt som för PEH-kulvertar. Skadefrekvensen innan 1984 är 2,40 och efter 0,42. Detta ger en riskfaktor på 1,98 skador per kilometer kulvert och år. [5][19]



Figur 3.5. Skadefrekvens med avseende på byggår och utbyggnadstakt för Aquawarm.

3.5.3 Skadefrekvens med avseende på byggår för PVC

Till skillnad från de andra kulverttyperna har PVC-kulvertar en hög skadefrekvens under hela det tidsintervall som kulverttypen anlades. Detta kan bero på kulverttypens material i mantelhöljet som blir sprött med tiden och orsakar skador, vilket i sin tur inte är kopplat till kulvertens byggår utan snarare kulvertkonstruktionen. PVC-kulvertar kommer därmed inte få någon riskfaktor med avseende på byggår. [5][19]

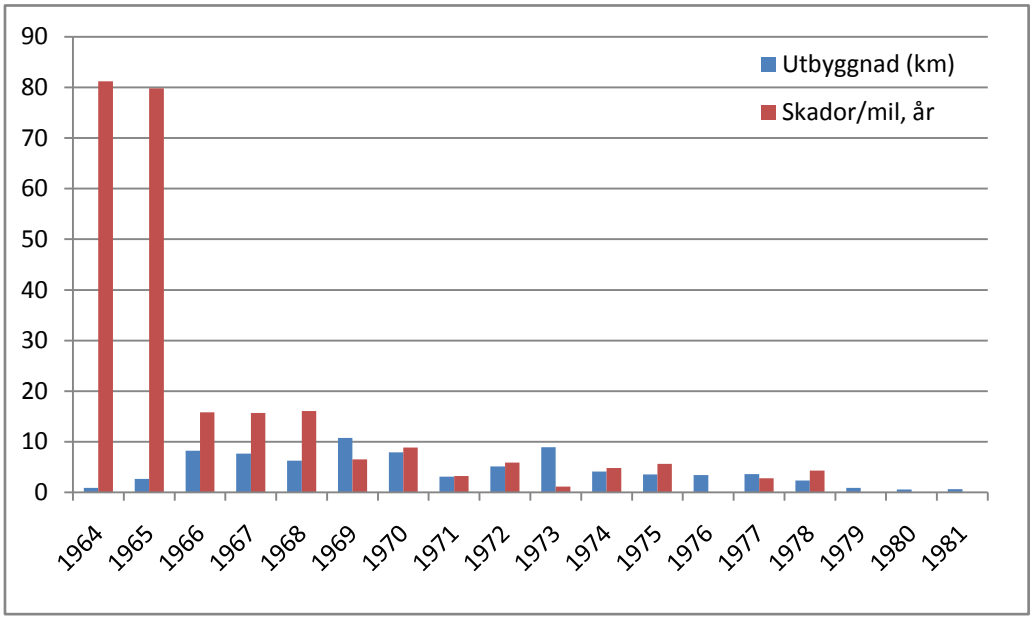


Figur 3.6. Skadefrekvens med avseende på byggår och utbyggnadstakt för PVC. (Observera att skadefrekvensen anges i skador/100m, år till skillnad från tidigare)

3.5.4 Skadefrekvens med avseende på byggår för Eternit

För eternitkulvertar ser skadefrekvensen med avseende på byggår ut ungefär som för PEH-kulvertar och Aquawarm, det vill säga med en hög skadefrekvens de första åren men som sedan avtar. När vi undersöker orsaken till detta finner vi att Eternitkulvert som är anlagd 1964 och 1965 är en annan typ av kulvert, nämligen eternitkulvert med cellbetong som isolering. Därför bör inte eternitkulvert som är byggd under dessa år få en riskfaktor med avseende på byggår utan istället en riskfaktor med avseende på fabrikat. [5]

1966 började eternitkulvert med mineralull som isolering att anläggas. Osäkerhet och slarv vid installationen under de första anläggningsåren medförde dock en hög skadefrekvens. Eternitkulvert som är byggd från och med 1966 och fram till 1969 kommer därför tilldelas en riskfaktor som är beräknad på samma sätt som för PEH och Aquawarm. Riskfaktorn för eternitkulvert som är byggd mellan 1966 och 1968 blir således 1,25. [5][19]



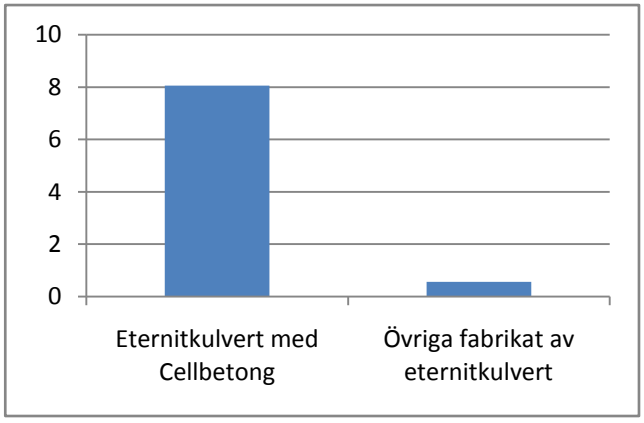
Figur 3.7. Skadefrekvens med avseende på byggår och utbyggnadstakt för Eternit.

3.6 Skadefrekvens med avseende på fabrikat

Skadefrekvens med avseende på fabrikat har undersökts för de kulverttyper som innehåller sådan information i databasen för fjärrvärmenätet i Helsingborg. Resultatet av undersökningen visar att skadefrekvensen är relativt lika för de olika fabrikaten, som därmed inte kommer få någon riskfaktor med avseende på fabrikat med undantag för eternitkulvert med cellbetong som isolering. [5]

Enligt figur 3.8 nedan ser vi tydligt att skadefrekvensen för eternitkulvert med cellbetong som isolering är avsevärt högre än för övriga eternitkulvertfabrikat.

Detta beror mestadels på kulverttypens konstruktion och material. I modellen för reinvesteringar i befintligt fjärvärmenät kommer därför eternitkulvert med cellbetong som isolering tilldelas en riskfaktor. Denna riskfaktor är differensen mellan skadefrekvensen för fabrikatet och övriga vilket blir 7,48. [5][19]



Figur 3.8. Skadefrekvens i skador per år och kilometer kulvert, med avseende på kulvertfabrikat.

4 Miljö

Studier visar att den största miljöpåverkan från fjärrvärmerören utgörs av värmeförluster. Värmeförlusten kan relateras till de utsläpp som uppkommer vid produktionen av värmen som tillförs i fjärrvärmenätet. Miljön påverkas dock även på en rad andra sätt, som vid tillverkning och transport av rören. [4]

I Öresundskrafts miljöpolicy står det *”Vår verksamhet ska påverka omgivningen i minsta möjliga utsträckning inom ramen för vad som är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt. Vid lika kostnader ska det mest miljövänliga alternativet väljas.”* [10]

En annan viktig del i miljöarbetet är att ta hänsyn till utsläpp av skadliga ämnen och återvinning av restprodukter. Öresundskraft har som ambition att ta vara på och återvinner material för att påverka miljön så lite som möjligt.

I Öresundkrafts miljöpolicy står det *”Vi ska arbeta med att reducera utsläpp av skadliga ämnen, att reducera avfallsmängder och öka återanvändning och återvinning av restprodukter.”* [10]

4.1 Värmeförluster

I Sverige uppgår andelen värmeförluster i de flesta fjärrvärmenäten till cirka 10 %. De största värmeförlusterna hittar vi i småhusområden med en distributionsförlust som kan uppnå 30 % medan förlusterna i en regional transitledning ofta inte uppgår till mer än 1 à 2 %. Värmeförlusterna i ett fjärrvärmenät beror på fem olika parametrar: hur väl rören är isolerade, hur grova medierören är, fram- och returledningstemperaturerna, rörkonstruktionen samt den geografiska koncentrationen av värmebehovet. Värmeförlusterna i marken räknas som en miljöpåverkan medan värmeförlusterna i en inomhusledning bidrar till uppvärmning av bostaden. Det är dock radiatorerna som ska värma upp bostaden och inte varmvattenrören och inte hela året. Dessutom kan en oavsiktlig uppvärmning leda till övertemperaturer. [11][6]

4.1.1 Beräkning av U-värde

Rörkonstruktionens isoleringsförmåga kan redovisas med hjälp av en U-värdesberäkning. U-värde, eller värmeövergångskoefficient, anger hur många watt som strömmar genom en konstruktion och anges i W/m^2K. Ju lägre U-värde desto mindre värmeförluster. [28][31]

För respektive kulverttyp har en U-värdesberäkning gjorts för att ta reda på transmissionsförlusterna. Samtliga antagande och formler finns i bilaga 2. För beräkningar av U-värdet för kulverttyper med polyuretanskum som isolering har EkoDim använts. EkoDim, framtaget av Fjärrvärmeföreningen och Chal-

mers, är ett Windows-baserat beräkningsprogram för värmeförluster från markförlagda fjärrvärmerör. Beräkningsprogrammet tar fram ett U-medelvärde över drifttiden och kan beräkna såväl enkel som dubbelrörskonstruktioner. [20][6]

Modellen för reinvesteringar i fjärrvärmenätet kommer prioritera reinvesteringsbehovet för delsträckor med avseende på miljön utifrån skillnaden på befintlig och ny kulverts U-värde, ΔU.

$$\Delta U = U_{\text{befint lig}} - U_{\text{ny}}$$

4.1.2 Beräkning av värmeeffektbesparingen

Genom att reinvestera i det befintliga fjärrvärmenätet erhålls en värmeeffektbesparing vars storlek beror på befintligt och ny kulverts U-värden. Värmeeffektbesparingen berör inte bara miljöaspekten utan medför även en ekonomisk besparing. Ju större värmeeffektbesparingen är desto större blir den ekonomiska besparingen. Hur värmeeffektbesparingen behandlas, i modellen för reinvesteringar, ur den ekonomiska aspekten finns beskrivet i kapitel 6.2.3.

4.1.3 Onormalt höga värmeförluster

I vissa fall kan en fjärrvärmekulvert ha onormalt höga värmeförluster. Anledningen till detta är oftast att isoleringen, som består av ett poröst material och luft eller annan gas, i kulverten har blivit fuktig eller till och med helt dränkt. Det innebär i sin tur att isoleringen tappar sin struktur och förlorar sin isolerförmåga. [3][14][9]

Finns vetskapen att en viss delsträcka har onormalt höga värmeförluster får en bedömning för behovet av en reinvestering i det specifika fallet genomföras. Modellen för prioritering av reinvesteringar i fjärrvärmenätet kommer inte att ta hänsyn till dessa värmeförluster.

4.2 Övriga miljöaspekter

Kulverttyp och materialval är andra exempel på parametrar som klassificeras inom faktorer med miljöpåverkan. Fokus ligger då främst på eventuella föroreningar som kan uppstå då rören är nergrävda i marken samt vid en eventuell uppgrävning/avfallshantering. Detta är en aspekt av vikt och bör därför finnas i åtanke vid reinvesteringar. Dock kommer inte detta arbete gå djupare i ämnet, då detta hade krävt ett större och mer tidsomfattande arbete. [19]

Om de gamla rören ska ligga kvar i marken eller grävas upp vid en eventuell skada eller reinvestering har både för- och nackdelar ur miljösynpunkt. Fördelar med att låta rören ligga kvar i marken är att slippa schakta och köra bort dem samt att leveranssäkerheten kan upprätthållas genom att avstängningstiden hålls nere. Nackdelarna kan bli att rören inte återvinns och gammalt mate-

rial inte tas till vara. Därför kan det vara en fördel att gräva upp rören och återvinna materialet, vilket också medför att inga farliga material sprids eller ligger kvar i jorden. [19]

5 Leveranssäkerhet

Leveranssäkerheten i ett fjärrvärmenät avser möjligheten att tillhandahålla kunderna värme utan avbrott och med låg felfrekvens. När det blir ett avbrott skall felen på distributionsnätet åtgärdas så snabbt som möjligt för att kunden inte ska påverkas mer än nödvändigt. Konsekvensen för en kund vid totalt värmebortfall är att tappvarmvattnet försvinner och så småningom faller innetemperaturen. Detta sker olika snabbt beroende på byggnadens U-värde, byggkonstruktionens specifika värmekapacitet och väderförhållanden. Med specifik värmekapacitet menas byggmaterialens förmåga att lagra värme. Vid totalt värmebortfall för en kund är det viktigt att avbrottstiden hålls nere för att minska konsekvenserna. Under vintertid är det extra viktigt att se till att kunden får tillbaka sin värme då temperaturen utomhus är mycket lägre. Öresundskraft har en policy som innebär att en kund som drabbas av ett totalt värmebortfall skall ha fått tillbaka värmen inom 48 timmar efter det att läckan upptäckts. [3][9][28]

5.1 Förebyggande arbete

För att minska felfrekvensen i ett fjärrvärmedistributionsnät fordras god kvalité i fjärrvärmekulvertarna, förebyggande underhåll samt god vattenbehandling. För att förebygga skador krävs också rätt kunskap och noggrannhet vid montering, till exempel är det viktigt att marken runt rören packas rätt, det vill säga med en finkornig sand runt rören och ett fungerande dräneringssystem som håller isoleringen torr. Om rören står under vatten kommer medierören skadas allvarligt på väldigt kort tid. [3][8]

Det är viktigt att rören monteras enligt anvisningar från tillverkaren och enligt Öresundskrafts tekniska beskrivningar samt kontrolleras noggrant innan drifttagande. Enligt statistik över primärorsak till skador från Svensk fjärrvärme uppstår den största andelen skador av installationsfel och materialskador. För PEH kulvertar är 30 % av primärorsakerna till skador relaterade till skarvar. Därför är det viktigt att skarvarna kontrolleras efter svetsning. Det krävs även ett bra lager med reservdelar för att kunna återställa kulvertar och ta dem i bruk så snabbt som möjligt igen efter ett haveri. [4][5][11][21]

5.2 Konsekvenser

Vad gäller att minska avbrottstiden vid en läcka är det viktigt att lokalisera, konstatera och reparera ledningsskadan så snabbt som möjligt. För att kunna göra det finns det en rad olika metoder för att lokalisera läckan, till exempel kan läckor upptäckas med hjälp av termografering. Det innebär att fotografera marken med en värmekamera. Vid ett brott på medieröret strömmar värme ut i marken och syns på fotografierna. I andra fall kan läckage upptäckas genom larm som indikerar om det finns fukt i kulvertarna. Problemet med denna me-

tod är att det inte går att se var i kulverten läckan är, utan bara att det är en läcka någonstans på larmsträckan. En kombination av dessa två samt god kunskap om fjärrvärmeteknik är en bra grund för att snabbt kunna lokalisera skador på fjärrvärmenätet. [21][22]

5.2.1 Konsekvenser med avseende på dimension

Kulvertens dimension spelar också roll för hur omfattande konsekvenserna vid en skada på fjärrvärmenätet blir. I normala fall förser grova kulvertar fler kunder och bör därför prioriteras framför mindre dimensioner. Dock fungerar det inte alltid så. Allt eftersom fjärrvärmenätet har utvidgats och ändrats finns det äldre kulvertar som inte längre behöver utnyttjas fullt ut. Det vill säga att de inte ger lika hög effekt nu som de var dimensionerade till. Det finns dessutom kulvertar i Helsingborgs fjärrvärmenät som inte utnyttjas alls i dagsläget. Generellt är det dock så att kulvertens effekt ökar exponentiellt med dimensionen och därmed blir konsekvenserna betydligt större vid brott på större kulvertar. Därför bör större dimensioner prioriteras vid reinvesteringar framför mindre. Vid större dimensioner bör varje sträcka undersökas för sig, för att se hur stor effekt som belastar kulverten. [23]

5.2.2 Konsekvenser med avseende på kundtyp och svåråtkomlighet

Ett sjukhus och industrier som är beroende av fjärrvärme vid produktion drabbas hårdare av ett totalt värmebortfall än småhus och mindre flerbostadsfastigheter. Därför bör leveranssäkerheten till dessa prioriteras högre. För villakunder ses konsekvensen vid totalt värmebortfall som liten då bara ett hushåll drabbas, samtidigt som villakunder ofta klagar mer och kan ge fjärrvärmeleverantören dåligt rykte. Även placeringen av en fjärrvärmekulvert spelar roll för konsekvenserna vid en skada. En svåråtkomlig kulvert ger längre avbrottstid eftersom den tar längre tid att reparera och får högre reparationskostnader än en lättillgänglig kulvert. [4][8]

5.3 Åtgärder

Med avseende på leveranssäkerheten föreslår vi att Öresundskraft bör öka reinvesteringstakten och byta ut de delsträckor som har hög skaderisk och i första hand de som ger störst konsekvenser vid kulverthaveri. Det är viktigt att de nya kulvertarna har god kvalité och är lämpligt placerade för eventuella reparationer. Rangordningen, för reinvesteringar av delsträckor, ur leveranssäkerhetssynpunkt görs med hjälp av skaderisken enligt kapitel 3 och skadekonsekvens. Skadekonsekvensen beräknas genom att tilldela varje delsträcka en faktor som beror av dimension, kundtyp samt svåråtkomlighet.

6 Ekonomisk lönsamhet

Vid val av förnyelse eller fortsatt drift med befintlig kulvert spelar den ekonomiska aspekten en stor roll. En reinvestering kan bli lönsam ur ett långsiktigt perspektiv, då kostnader för bland annat värmeförluster och reparationer minskar, men medför även en hög grundinvestering för utbyte av fjärrvärmekulvert.

6.1 Reinvesteringskalkylering

Med reinvesteringar menas en investering som ersätter befintliga resurser med nya resurser utan att öka anläggningens kapacitet. Om ett företag har behov av reinvesteringar framgår av kalkylmässiga avskrivningar. Noteras bör att det ofta är svårt att besluta om reinvesteringar i fjärrvärmenätet utifrån ett ekonomiskt perspektiv, då livslängden för en fjärrvärmekulvert är väldigt lång. [29]

För att underlätta beslut om reinvesteringar finns ett antal olika metoder för investeringskalkylering. Vid reinvesteringar i fjärrvärmenätet har kapitalvärdemetoden valts för investeringskalkylering. För att kunna rangordna reinvesteringarna efter lönsamhet, utan att reinvesteringarnas storlek ska påverka resultatet, används kapitalvärdekvoten som nyckeltal. [29][23]

6.1.1 Kapitalvärdemetoden

Kapitalvärdemetoden räknar om alla inbetalningsöverskott under den ekonomiska livslängden till reinvesteringstillfället med hjälp av kalkylräntan, inbetalningsöverskotten diskonteras till nuvärde. Därefter jämförs inbetalningsöverskottet med reinvesteringens storlek. Om inbetalningsöverskottet är högre än reinvesteringens storlek är reinvesteringen lönsam. Differensen mellan inbetalningsöverskottet och reinvesteringens storlek, kapitalvärdet, beräknas enligt följande:

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

där

a	Årliga inbetalningsöverskott= inbetalningar - utbetalningar
G	Grundinvestering

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

där

Df_n	Diskonteringsfaktorn (-)
r	Kalkylränta (%)
n	Ekonomisk livslängd, kalkylperiod (År) [29]

Det är viktigt att skilja på fjärrvärmekulvertars ekonomiska livslängd och deras tekniska livslängd. Ekonomisk livslängd avser kalkylperioden på fjärrvär-

mekulvert och föreslås till 33 år enligt Öresundskraft. Den tekniska livslängden för fjärrvärmekulvert kan vara betydligt längre eller i vissa fall kortare än 33 år. [3]

6.1.2 Restvärde

Om en befintlig fjärrvärmekulverts tekniska livslängd är kortare än dess ekonomiska livslängd får kulverten ett restvärde vid en reinvestering. Detta restvärde baseras på investeringens kostnad, kulvertens ålder och konsumentprisindex och beräknas med följande formel:

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

R	Restvärde för befintlig delsträckor	(kr)
I	Investeringskostnad vid förnyelse	(kr)
KPI	Konsumentprisindex	(-)
n	Ekonomisk livslängd	(år)

Vid en reinvestering adderas den befintliga kulvertens restvärde till grundinvesteringen. [23][29]

6.1.3 Kapitalvärdekvot

För att kunna rangordna reinvesteringar oberoende av deras storlek kan metoden för kapitalvärdekvot användas. Kapitalvärdekvot är måttet på hur lönsam en reinvestering är och beräknas med följande ekvation:

$$Kapitalvärde\ kvot = \frac{Kapitalvärde}{Grundinvestering}$$

Om kapitalvärdekvoten är större än noll, är reinvesteringen lönsam. Detta nyckeltal kommer reinvesteringarna att prioriteras utefter. [29]

6.2 Kostnadsposter

Fjärrvärmenätets totala distributionskostnad består av investeringskostnader, driftkostnader av värmeförluster från ledningarna, driftkostnader för tryckförluster i ledningarna, övriga drift- och underhållskostnader och reparationskostnader samt eventuella goodwillkostnader. [23]

Reinvesteringsmodellen kommer att bedöma kostnadsposter som påverkas av en eventuell reinvestering av en specifik delsträcka. Kostnader som påverkar en reinvestering är nyanläggningskostnader, eventuellt restvärde av befintlig kulvert, besparing av reparationskostnader och eventuella goodwillkostnader. Driftkostnader för tryckförluster samt övriga drift och underhållskostnader

kommer däremot inte beaktas i modellen då dem inte påverkas av en reinvestering. [3][22][23]

Vid beräkning av kapitalvärde och kapitalvärdekvoten kommer ett eventuellt restvärde samt nyanläggningskostnader vid en förnyelse att ingå i grundreinvesteringskostnad. Reparationskostnader, driftkostnader med avseende på värmeförluster samt goodwillkostnader kommer också tas i beaktning då dessa vid en reinvestering i de flesta fall bidra till en minskad kostnad. Under kalkylperioden utgör dessa besparingar inbetalningsöverskotten i beräkningen av kapitalvärdet.

6.2.1 Nyanläggningskostnader

För reinvesteringskalkylering i befintligt fjärrvärmenät räknas nyanläggningskostnaden som grundinvestering. Nyanläggningskostnaden inkluderar allt arbete som fordras från att den gamla kulverten ligger i marken till dess att den nya kulverten tas i bruk. Öresundskraft har beräknat nyanläggningskostnaderna för de kulverttyper som används vid anläggning av fjärrvärme i dagsläget. Dessa nyanläggningskostnader innefattar bland annat kostnader för planering, material och entreprenörer och grundar sig på kulvertens dimension och omgivningsförhållande. Nyanläggningskostnaderna ökar dels med dimensionen, då schaktgropen blir större, materialet dyrare och svårare att arbeta med, och dels beroende på om reinvesteringen görs i innerstadsmiljö eller i ett ytterområde. [3][23]

6.2.2 Restvärde på befintlig kulvert

Restvärdet är det värde som en kulvert har vid en eventuell förnyelse, om kulverten är yngre än sin ekonomiska livslängd. Ju större differensen mellan kulvertens ekonomiska livslängd och dess ålder är, desto större blir restvärdet. Restvärdet speglar kostnaden för investeringen som ännu inte är återbetalad. [23][29]

6.2.3 Driftkostnader med avseende på värmeförluster

För att beräkna driftkostnaden med avseende på värmeförluster, beräknas värmeeffektbesparingen som erhålls vid reinvestering. Värmeeffektbesparingen beräknas enligt nedan i enheten watt.

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

där

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

$$\Delta T = \frac{\left(T_{tillo\,pp} - T_{retur}\right)}{2} - T_{omgivning}$$

Δq	Värmeeffektbesparing /värmeeffektförlust	(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 tilloppsledning	(K)
T_{retur}	Årsmedeltemperaturen för returledning	(K)
$T_{omgivning}$	Årsmedeltemperaturen för omgivande mark	(K)
L	Kulvertlängd av delsträcka	(m)

Genom att beräkna differensen mellan befintlig och ny kulverts värmeförlust samt multiplicera denna med ett marginalpris i kr per wattimme och antalet timmar per år, fås en besparing av värme i kr per år. [23]

6.2.4 Reparationskostnader

Inom ramen för detta arbete kommer genomsnittliga reparationskostnader för respektive kulverttyp beräknas utifrån inrapporterade skador i Helsingbors fjärrvärmenät mellan åren 1977 och 2000. Besparing i reparationskostnad är differensen mellan befintlig kulverts reparationskostnad och ny kulverts beräknade reparationskostnad. Den nya kulvertens reparationskostnad är 0 under garantitiden som i Öresundskrafts fall är 5 år. [3]

Reparationskostnaden för en specifik delsträcka är produkten av den genomsnittliga reparationskostnaden för kulverttypen, delsträckans riskfaktor enligt kapitel 3 samt längden för den specifika delsträckan.

6.2.5 Goodwillkostnader

Öresundskrafts kunder kan delas upp i olika kategorier enligt kapitel 5.2.2. Vid en skada på fjärrvärmenätet i ett villaområde kan i vissa fall vatten läcka in i en fastighet och orsaka såväl skador på privat egendom som personliga besvär. En del av dessa täcker inte försäkringsbolaget och för att gottgöra kunden vid sådana omständigheter ger Öresundskraft en viss summa pengar som ersättning. Denna ersättning kallas goodwillersättning och beräknas vara i genomsnitt 10 000 kr per fall. I ett villaområde antas var tjugonde skada medföra en goodwillkostnad vilket ger en snittkostnad på 500 kr per skada. [3]

6.2.6 Andra kostnader

Andra kostnader som påverkar samhället, kunden och miljön har inte tagits med som parametrar i den ekonomiska aspekten av modellen då många av faktorerna blir svåra att ta hänsyn till.

7 Modell för reinvestering

I detta kapitel kommer modellens uppbyggnad redovisas och hur de olika parametrarna behandlas. Till att börja med gås igenom hur modellen fungerar i stort. Därefter beskrivs vilka indata som behövs för att modellen ska kunna genomföra beräkningar enligt kapitel 3 till 6 samt vilken information som behövs om delsträckorna för att kunna behandla dem i modellen. Vidare i kapitlet beskrivs djupare hur modellen behandlar de olika parametrarna i kapitel 3 till 6 och hur dessa slutligen kommer rangordna delsträckorna utifrån deras reinvesteringsbehov.

7.1 Modellens uppbyggnad

Bedömningsmodellen för reinvesteringar i befintligt fjärrvärmenät i Helsingborg, är gjord i Microsoft Excel. Genom att mata in information om delsträckorna för ett område i modellen kommer tre nyckeltal beräknas. Ett nyckeltal med avseende på leveranssäkerhet, ett med avseende på miljö och ett med avseende på ekonomisk lönsamhet. Utifrån dessa nyckeltal kan användaren rangordna delsträckorna med valfri prioritering.

Vid reinvesteringar ersätts inomhusledningar med ledningar av samma typ som tidigare. Övriga kulverttyper ersätts av PEH-kulvertar med isoleringstjocklek av typ serie 2 där DN$\geq$150 ersätts av enkelrör och DN<150 av dubbelrör. [23]

För att kunna genomföra beräkningar som genererar nyckeltal för de olika delsträckorna krävs indata i modellen. Dessa indata bör uppdateras årligen för att rangordningen av reinvesteringar ska ge ett så bra resultat som möjligt. Följande indata ska fyllas i under fliken INDATA i Excel-dokumentet:

Årtal	Aktuellt årtal	(år)
Kalkylperiod	Ekonomisk livslängd för fjärrvärmekulvert	(år)
Garantitid	Garantitid från leverantör	(år)
Kalkylränta	Kalkylränta för modellen	(%)
$\mathbf{T_t}$	Årsmedeltemperatur på tilloppsvattnet	(^oC)
$\mathbf{T_f}$	Årsmedeltemperatur på returvattnet	(^oC)
$\mathbf{T_m}$	Årsmedeltemperatur på omgivande mark	(^oC)
KPI	Konsumentprisindex	(-)
Nyanläggningskostnad	Tabell över nyanläggnings kostnad för kulvert i innerstadsområde, ytterstadsområde samt för inomhusledningar	(kr/m)

Reparationskostnad	Tabell över reparationskostnad för de olika kulverttyperna	(kr/m)

För att kunna rangordna delsträckor efter dess reinvesteringsbehov i modellen krävs en del information om varje delsträckorna i fråga. Dem data som ska föras in i modellen för varje delsträcka är följande:

Littera	Identifikationsnummer för delsträckan
Kulverttyp	Aquawarm, PEH, eternit, betong, PVC, inomhus eller luftledning
DN	DN för delsträckan
Längd	Delsträckans längd (m)
Byggår	Kulvertens byggår
Typ av ledning	Om kulverten är en enkelledning eller dubbelledning
Isoleringstyp	Endast för eternitkulvert
Svåråtkomlighet	Besvaras med ”ja” om delsträckan anses svåråtkomlig
Stadsområde	Fylls i med ”innerstad” eller ”ytterstad”
Kundtyp	Fylls i med 1 för flerbostadshus samt mindre företag och industrier vars verksamhet inte påverkas av värmebortfall, 2 för villakunder samt skolor och liknande, 3 för sjukhus samt större industrier vars verksamhet fordrar värme
Villakund	Besvaras med ”ja” för villakund och behövs för att beräkna goodwillkostnader

7.2 Skadestatistik

Den riskfaktor, som erhålls för varje delsträcka, baseras på den statistiska undersökningen i kapitel 3. En delsträcka kan få olika riskfaktorer beroende på kulverttyp, byggår samt fabrikat. Summan av faktorerna för en delsträcka är den totala riskfaktorn och används vid beräkning av leveranssäkerhet och ekonomisk besparing i form av reparationsförluster. [5]

7.2.1 Kulverttyp

Skadefrekvens med avseende på kulverttyp behandlar alla kulverttyper och baseras på medelvärde av skador per kilometer kulvert och år för de olika kulverttyperna enligt kapitel 3.2. Alla delsträckor tilldelas en riskfaktor som är lika med skadefrekvensen för respektive kulverttyp.

Skadefrekvens med avseende på kulverttyp tas fram med hjälp av posterna: kulverttyp samt tabell över skadefrekvens med avseende på kulverttyp.

7.2.2 Byggår

Skadefrekvens med avseende på byggår behandlar bara kulverttyperna PEH, eternit och Aquawarm enligt kapitel 3.5. För dessa ges en riskfaktor som baseras på skadefrekvensen med avseende på byggår och utbyggnad av fjärrvärmenätet för varje år. Riskfaktorn är differensen mellan medelskadefrekvensen för de tidsintervall som är angivna i kapitel 3.5. och har enheten skador per kilometer och år. För övriga kulverttyper tilldelas ingen riskfaktor med avseende på byggår utan enbart med avseende på kulverttyp, se kapitel3.2.

Skadefrekvens med avseende på byggår tas fram med hjälp av posterna: kulverttyp, byggår och tabell över skadefrekvens med avseende på byggår.

7.2.3 Fabrikat

Skadefrekvens med avseende på fabrikat behandlar enbart eternitkulvert med cellbetong som isolering enligt kapitel 3.6. Riskfaktorn är differensen mellan medelskadefrekvensen för eternitkulvert, med cellbetong som isolering, och övriga fabrikat och har enheten skador per kilometer och år.

Skadefrekvens med avseende på fabrikat tas fram med hjälp av posterna: kulverttyp, fabrikat samt tabell över skadefrekvens med avseende på fabrikat.

7.3 Miljö

Miljöparametern bedöms utifrån värmeförlusterna för befintlig respektive ny fjärrvärmekulvert. Övriga miljöaspekter kommer modellen inte behandla.

För varje delsträcka beräknas två U-värde. Det ena är U-värdet för den befintliga kulverten ($U_{bef,}$), och det andra är U-värdet för ny kulvert ($U_{ny,}$).

Dessa U-värden tas fram på följande sätt:

U-värde	**Tas fram med hjälp av:**
U_{bef}	Posterna kulverttyp, DN, enkel respektive dubbelrör samt tabell över befintliga U-värden.
U_{ny}	Posterna DN, enkel respektive dubbelrör samt tabell över U-värden

Skillnaden mellan dessa två U-värden beskriver minskningen av värmeförluster vid en reinvestering och blir således parametern för miljöaspekten.

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

7.4 Leveranssäkerhet

För att kunna bedöma en delsträckas reinvesteringsbehov utifrån leveranssäkerheten, krävs en del generaliserande och antaganden. Bedömningsmodellen för prioritering av reinvesteringar i fjärrvärmenätet kommer ta hänsyn till skaderisk och skadekonsekvenser där skaderisk beräknas enligt kapitel 3 och skadekonsekvenser enligt kapitel 5. Modellen kommer prioritera reinvesteringsbehovet utefter produkten av skaderisken och ett medelvärde för skadekonsekvenser, där högst prioriteras först.

Skadekonsekvenserna tar hänsyn till följande parametrar: kulvertens dimension, kundtyp samt hur svåråtkomlig delsträckan är vid ett eventuellt haveri. Vardera parametern tilldelas ett värde, 1, 2 eller 3, som i sin tur kommer generera ett medelvärde.

Parametrarna för skadekonsekvenser behandlas på följande sätt:

Kundtyp Parametern kundtyp kommer delas in i klasserna 1, 2 och 3. Klass 1 innefattar de kunder som påverkas minst av konsekvenser till följd av ett kulverthaveri medans klass 3 innefattar de kunder som är beroende av att fjärvärmenätet ska leverera värme kontinuerligt. Till klass 1 hör bland annat fastigheter, mindre företag samt småindustrier. Klass 2 innefattar kundtyper som villor och skolor med mera och klass 3 innefattar sjukhus och större industrier som är beroende av värmeleveransen.

Dimension I indelningen av dimensioner kommer två klasser finnas. Klass 1 innefattar DN$\leq$150 och kommer tilldelas ett värde som är 1. Klass 2 innefattar DN>150 och kommer tilldelas ett värde som är 3.

Svåråtkomlighet Svåråtkomligheten för en kulvert delas in i tre klasser, klass 1 innefattar inomhusledningar. Klass 2 innefattar övriga ledningar och klass 3 tilldelas bara en kulvert om vetskap finns om att den ligger svåråtkomligt placerad, till exempel under en järnväg eller fastighet.

7.5 Ekonomi

Utifrån den ekonomiska aspekten kommer reinvesteringarna prioriteras efter lönsamhet och rangordnas med hjälp av kapitalvärdekvoten. Kapitalvärdekvoten är ett mått på reinvesteringens lönsamhet utan att ta hänsyn till reinvesteringens storlek. Se Kapitel 6.1

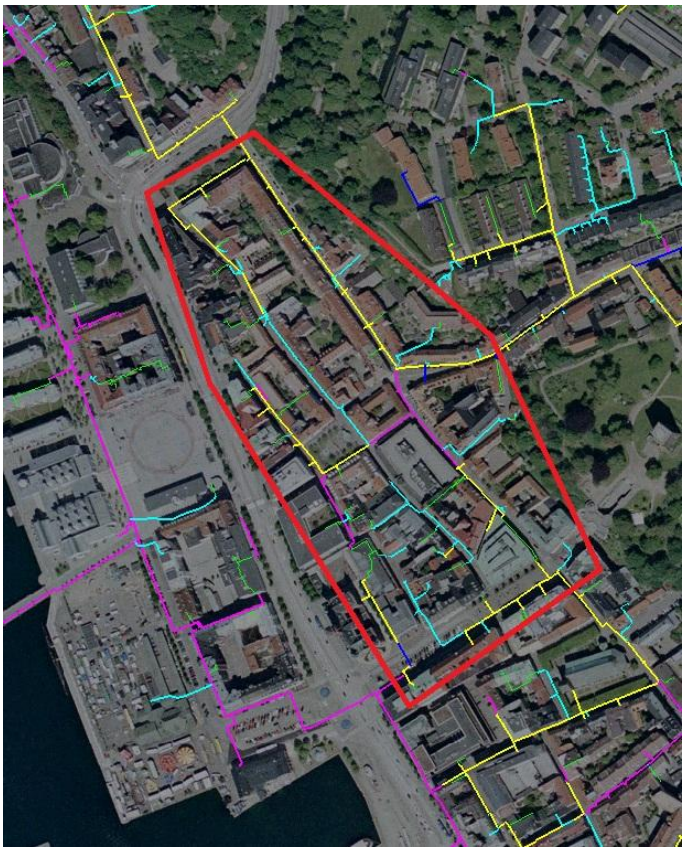
För att räkna ut kapitalvärdekvoten för en eventuell reinvestering av en delsträcka behövs följande:

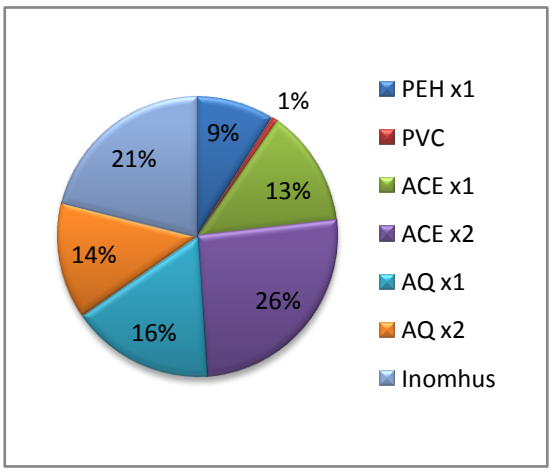
Post	**Tas fram med hjälp av:**
Nyanläggningskostnad	Kulverttyp, DN, enkel- respektive dubbelrör, längd för delsträckan i fråga samt tabell över nyanläggningskostnader
Restvärde	Kulverttyp, DN, längd för delsträckan i fråga, KPI, ekonomisk livslängd samt tabell över nyanläggningskostnader.
Goodwillkostnad	Kundtyp, kulverttyp, skadefrekvens med avseende på kulverttyp samt längd för delsträckan i fråga
Värmeeffektbesparing	Kulverttyp, DN, enkel respektive dubbelrör, tabell över U-värden, T_{till}, $T_{från}$,$T_{omgivning}$ samt längd för delsträckan i fråga
Reparationsbesparing	Kulverttyp, DN, längd för delsträckan i fråga, delsträckans totala riskfaktor samt tabell över reparationskostnader

8 Fallstudie

För att undersöka modellens potens har en fallstudie genomförts på ett område i Helsingborg. Området ligger centralt och har valts till studien då det är en stadsdel med stor variation av fjärrvärmekulvert.

Området består av cirka 3,3 km kulvert som är fördelat över 237 delsträckor och sju olika kulverttyper. Kulverttyperna är relativt jämt fördelade men merparten av delsträckorna består av eternitkulvert, totalt 39%, varav 26% dubbelrör och 13% enkelrör. 21 % av delsträckorna är inomhusledningar, 9% är PEH enkelrör, 1% är PVC och 30% är Aquawarm varav 16% är enkelrör och 14% är dubbelrör. Den första kulverten i området anlades 1964 och den sista 2009. Området är ett innerstadsområde och kunderna är flerfamiljsfastigheter, butiker och kontor. Det är ingen av delsträckorna som ses som svåråtkomlig då de ligger i gågator och mindre trafikerade vägar där det är lätt att leda om trafiken. För att se resultatet av fallstudien för varje delsträcka, se bilaga 4. [5]





Figur 8.1. Område för fallstudien i centrala Helsingborg samt fördelning av kulverttyper. [5]

8.1 Resultat leveranssäkerhet

Hur stor prioriteringsfaktorn, med avseende på leveranssäkerheten, blir för en viss delsträcka beror dels av hur skadebenägen delsträckan är, vilket baseras på den statistiska undersökningen som är gjord i kapitel 3, och dels beroende på hur stora konsekvenser en skada på kulverten medför. Hur skadebenägen delsträckan är beror på vad det är för kulverttyp, vilket byggår delsträckan har samt delsträckans fabrikat. Skadekonsekvenserna beror av kulvertens dimension, hur den är placerad och vilken typ av kund delsträckan förser med värme.
Nedan visas ett utklipp från resultatet av fallstudien.

Kulverttyp	DN	Längd	Byggår	Fabrikat	S_{risk}	$S_{konsekvens}$	Lev.säk.
ACE	200	1,59	1965		0,052	2,3	1,22
ACE	200	17,74	1964	ETCB	0,377	2,0	7,55
PEH	200	15,30	1965		0,144	2,3	3,36
PVC	80	24,14	1974		0,581	1,3	7,75
INOMHUS	32	12,10	1976		0,004	1,0	0,04

Tabell 8.1. Utklipp från fallstudie.

Utifrån leveranssäkerheten, som innefattar både skaderisk och konsekvenser, bör i första hand PVC- och eternitkulvert med cellbetong som isolering bytas ut vid en reinvestering. Detta beror på kulverttypernas höga skadefrekvens. Vidare är det stora dimensioner av PEH, byggd 1965, och eternit som bör bytas ut. Dessa delsträckor har dels fått en högre faktor beroende på deras dimension och dels på grund av deras byggår. Delsträckorna av PEH är byggda innan metodförändringen vid skarvning skedde i Helsingborg, se kapitel 3.5.1, och har därför fått en högre riskfaktor. Delsträckorna av eternitkulvert är anlagda mellan 1966 och 1968 då skadefrekvensen för eternitkulvert är hög. De delsträckor som har lägst prioritering är inomhusledningar. De har en låg skadefrekvens och hög leveranssäkerhet.

8.2 Resultat miljö

Beräkningsfaktorn för reinvesteringsprioritering ur miljösynpunkt är differensen mellan befintlig och ny kulverts U-värde. Ju större differensen är desto högre prioriteringsfaktor får delsträckan. Resultatet av studien visar att eternitkulvert bör prioriteras i första hand då dessa har stora värmeförluster.

Kulverttyp	DN	Medierör	Längd	Byggår	$U_{befintlig}$	U_{ny}	ΔU
ACE	200	1	21,32	1965	1,07	0,75	0,32
INOMHUS	32	1	12,10	1976	0,40	0,40	0,00
AQ	42	2	27,86	1989	0,25	0,33	-0,08
ACE	125	1	12,78	1964	0,91	0,38	0,53

Tabell 8.2. Utklipp från fallstudie.

Vid en reinvestering för inomhusledningar ersätts de befintliga ledningarna med likartade vilket innebär att U-värdet blir oförändrat och prioriteringsfaktorn noll.

Aquawarm får i många fall en negativ faktor, det beror på att de befintliga kulvertarna har lägre U-värde än de nya. Dessa är därför inte bra att byta ut, sett från ett miljöperspektiv.

8.3 Resultat ekonomi

En reinvestering är lönsam om kapitalvärdekvoten är positiv. Ingen av delsträckorna i det område som har studerats är ekonomisk lönsam att byta ut. Den faktor som prioriterar reinvesteringsbehovet för delsträckorna utifrån den ekonomiska aspekten är kvoten av grundinvesteringen och besparingen vid en eventuell reinvestering. Denna faktor är lika med kapitalvärdekvoten plus 1. Till grundinvesteringskostnaden hör nyanläggningskostnader och eventuellt restvärde på befintlig kulvert. Besparingen som görs vid en reinvestering inkluderar besparing av värmeeffekt, reparationskostnader och goodwillkostnader.

Kulverttyp	DN	Längd	Byggår	Fabrikat	Restvärde	Kapitalvärdekvot	G_{tot}/B_{tot}
ACE	200	1,59	1965		0	-0,93	0,07
ACE	200	17,74	1964	ETCB	0	-0,88	0,12
AQ	42	27,86	1989		30 848	-1,03	-0,03
PVC	80	24,14	1974		0	-0,88	0,12
INOMHUS	32	12,10	1976		0	-1,00	0,00

Tabell 8.3. Utklipp från fallstudie.

Resultatet av studien visar att PVC och eternitkulvert med cellbetong som isolering bör bytas ut först. Anledningen till detta är de höga reparationskostnaderna för dessa kulverttyper som uppkommer på grund av den höga skadefrekvensen. Därefter bör övrig eternitkulvert prioriteras. Värmeförlusterna för dessa kulvertar är relativt höga vilket ger en stor värmeeffektbesparing vid utbyte. Överlag prioriteras de delsträckor som är äldre än sin ekonomiska livslängd. Dessa delsträckor har inget restvärde vid en förnyelse vilket medför en lägre grundinvestering.

Aquawarm dubbelrör är den kulverttyp som är minst lönsam att byta ut. Dessa kulvertar har bra värmeisoleringsförmåga vilket medför ökade värmeförluster vid utbyte och blir därmed en kostnad.

8.4 Prioritering

Utifrån de val som har gjorts i fallstudien ska delsträckor med DN större än 150 prioriteras i första hand med avseende på leveranssäkerhet.

Kulverttyp	DN	Längd	Byggår	Fabrikat	Prio 1	Värde	Prio 2	Värde
ACE	200	17,74	1964	ETCB	Lev.säk.	7,55	Ekonomi	0,12
PEH	200	6,91	2009		Lev.säk.	1,45	Ekonomi	0,02
PVC	80	24,14	1974		Ekonomi	0,12	Lev.säk.	7,75
ACE	50	11,94	1965		Ekonomi	0,09	Lev.säk.	0,70
INOMHUS	100	16,94	1976		Ekonomi	0,00	Lev.säk.	0,04
AQ	28	23,85	1988		Ekonomi	-0,04	Lev.säk.	1,77

Tabell 8.4. Utklipp från fallstudie.

De delsträckor som i första hand bör bytas ut blir således eternitkulvert med DN 200 som har cellbetong som isolering. Även ur en ekonomisk synvinkel är det fördelaktigt att byta ut eternitkulvert i första hand då dessa har störst kapitalvärdekvot tillsammans med PVC.

8.5 Sammanfattning av fallstudie

Ingen delsträcka blir ekonomiskt lönsam för en reinvestering. Därför byts de delsträckor som är minst ogynnsamma ut, det vill säga de delsträckor som ger störst besparingar vid en reinvestering.

Studien visar att de kulvertar som är minst ogynnsamma att byta ut, ur en ekonomisk synvinkel, är PVC- och Eternitkulvert med mineralull som isolering. Dessa kulverttyper är även dåliga ur leveranssäkerhetssynpunkt och är därför lämpliga att byta ut först.

Därefter är eternitkulvertar lämpliga att byta ut. Dessa har inget restvärde vid en eventuell förnyelse samtidigt som de har relativt hög skadefrekvens och stora värmeförluster.

Inomhusledning och Aquawarm är lågt prioriterade, Inomhusledningar har låg skadefrekvens och eftersom de ersätts av likartade kulvertar erhålls ingen besparing i form av värmeförluster. Aquawarm är en kulverttyp som har god isolerförmåga, ett utbyte av en Aquawarmdelsträcka medför i många fall en ökad kostnad i värmeförluster.

9 Analys

Enligt den statistiska undersökningen för primärorsaker till skador, se kapitel 3.3, framgår det tydligt att installationsfel är den största anledningen till att en kulvert skadas. Om en fjärrvärmekulvert hanteras och installeras på rätt sätt kommer den hålla betydligt längre än sin ekonomiska livslängd, såvida den inte utsätts för yttre åverkan. Om en kulvert blir skadad och ett inläckage sker förlorar isoleringen sin isolerförmåga och värmeförlusten ökar markant. Detta leder i sin tur till såväl ekonomisk som miljömässig påverkan. För att förhindra skador är det därför vikigt att installationen sker på rätt sätt. Kontroller och besiktningar vid hela installationsprocessen är av högsta vikt för att ledningarna skall hålla i allt större grad. En reinvestering måste ses ur ett långsiktigt perspektiv då den oftast inte är lönsam de första åren. En annan vikig del för att förebygga skador är att kontinuerligt lagra information om fjärrvärmenätet och skriva utförliga skaderapporter. Dessa bör sedan samlas i en gemensam databas, för att i framtiden kunna analyseras och användas som lärdom vid nya projekt.

Miljöfrågan är i dagens samhälle en väldigt vikigt fråga, men den är också både tidskrävande och dyr. I många fall, vid reinvesterar i fjärrvärmenätet, låter Öresundskraft befintlig kulvert ligga kvar i marken istället för att den återvinns. I de allra flesta fall beror detta på den ekonomiska aspekten, det är mycket billigare att bygga den nya kulverten bredvid den befintliga då resthantering av den befintliga kulverten kan undvikas. En annan vikig aspekt är att avstängningstiden blir kortare för kunden och leveranssäkerheten upprätthålls. Genom att anlägga den nya kulverten jämte den befintliga behövs bara en kort avstängning vid inkopplingen av den nya del sträckan.

En reinvestering är sällan lönsam men definitivt nödvändig. Om reinvesteringar aldrig genomförs leder detta till skador på fjärrvärmenätet. En skada sker plötsligt och måste lagas omedelbart för att leveranssäkerheten ska upprätthållas gentemot kunden, detta är kostnader som inte är planerade till skillnad från reinvesteringar. Det förebyggande arbetet är av största vikt ur leveranssäkerhetssyndpunkt då kunden alltid står i centrum. Planeras reinvesteringar, minskar antalet skador och kunden påverkas i mindre grad.

Hur olika typer av kunder påverkas av totalt värmebortfall kan ses utifrån olika perspektiv. I ett flerbostadshus påverkas fler hushåll vid en avstängning men klagomålen är oftast större ifrån villakunder. Större företag som är beroende av fjärrvärme vid produktion och sjukhus är högprioriterade då deras verksamhet drabbas hårt vid ett totalt värmebortfall.

Vid planering och prioritering av reinvesteringar är det vikigt att inte ta hänsyn till enbart en parameter, utan av alla. Om de olika parametrarna inte viktas mot varandra kan detta leda till onödiga reinvesteringar.

10 Slutsatser

Vid bedömning av vilka delsträckor i ett fjärrvärmenät som först bör reinvesteras i är det viktigt att inkludera varje parameter som påverkar en reinvestering. I Öresundskrafts fall innebär det miljö, leveranssäkerhet och ekonomi.

Det är viktigt att noggrant dokumentera och sammanställa skador på fjärrvärmenätet för att i framtiden kunna studera, analysera och förbättra dess svagheter.

Noggrannhet samt hårda kontroller och besiktningar vid installation av fjärrvärme fordras för att en fjärrvärmekulvert ska hålla under hela sin beräknade tekniska livslängd. Ur ett långsiktigt perspektiv är det lönsamt att lägga extra vikt vid installationstillfället istället för att behöva åtgärda installationsfel i efterhand.

Modellen som har byggts upp i samband med rapporten fungerar som ett bra verktyg vad gäller att rangordna delsträckor utefter deras reinvesteringsbehov. De nyckeltal som genereras för varje delsträcka ger en tydlig bild av delsträckans behov av en reinvestering med hänsyn till leveranssäkerhet, ekonomisk lönsamhet och miljöpåverkan.

Att vara noggrann med installation av fjärrvärme samt hålla en hög reinvesteringstakt och leveranssäkerhet, är ekonomiskt lönsamt ur ett långsiktigt perspektiv då skadefrekvensen och reparationskostnaderna minskar.

Referenser

[1] Svenskfjärrvärme, *Fjärrvärmens historia*, www.svenskfjarrvarme.se. (Läst 2011-06-16.)

[2] Öresundskraft AB, *Öresundskraft- spännande historia sedan 1859,*www.oresundskraft.se (Läst 2011-06-16.)

[3] Ohlsson, Magnus, (*personlig kommunikation*), Öresundskraft Kraft & Värme AB, Telefon: 070- 418 37 42

[4] Åkerström, Åsa, (2004), *Reinvesteringsmodell för befintligt fjärrvärmenät*, Examensrapport, Lunds tekniska högskola, Lund

[5] Öresundskraft AB (*databas*), Opublicerad

[6] Fredriksen, S och S Werner(1993), *Fjärrvärme Teori, teknik och funktion*, Studentlitteratur AB, Lund

[7] Aquawarm produktkatalog, *Rör*, http://www.aquawarm.com/dokument/ror.pdf, (Läst 2011-06-16)

[8] Jonas Holmqvist, (*personlig kommunikation*), ÅF Engineering, Telefon: 070-691 88 89

[9] Sandin Kenneth, (1996) *Värme och Fukt* – kompendium i byggnadsfysik Studentlitteratur AB, Lund

[10] Öresundkraft AB, *miljöpolicy*, www.oresundskraft.se, (Läst 2011-06-16)

[11] Warfvinge, C och Dahlblom, M (Provtryck), *Projektering av installationer i byggnader*, StudentlitteraturAB, Lund

[12] Jonasson, Ulf m.fl. (1986) *Metoder för att minska värmeförluster i befintliga fjärrvärmesystem* (Etapp 2), Byggforskningsrådet, R23:1986, Stockholm

[13] Jonasson, Ulf m.fl. (1984) *Metoder för att minska värmeförluster i befintliga fjärrvärmesystem* (Etapp 1), Byggforskningsrådet, R23:1986, Stockholm

[14] Maurin, G (1986) *Värmekulvert handbok*, AB Svensk byggtjänst, ISBN 91-7332-313-6, Tiba tryck, Stockholm

[15] Aquawarm, produktinformation, telefonkontakt telefon: 019-208100

[16] Svensk fjärrvärme,(*databas*), Opublicerad

[17] Peter Dannbring, (*personlig kommunikation),* ÅF Engineering, Telefon: 070-373 06 45

[18] Statistiska centralbyrån, *Konsumentprisindex (1949= 100),* http://www.scb.se/Pages/TableAndChart____35666.aspx, (Läst 2011-06-16)

[19] Ohlsson, Bengt, *(personlig kommunikation),* Öresundskraft Kraft & Värme AB, Telefon:070-418 36 29

[20] EkoDim 3.0*(beräkningsprogram)* Fjärrvärmeföreningen och Chalmers 2009

[21] Stegroth ,Tony, (*personlig kommunikation),* Öresundskraft AB, Telefon: 070- 418 37 37

[22] Istrell, Lars, *(personlig kommunikation),* Öresundskraft Kraft & Värme AB, Telefon: 070-418 33 46

[23] Nord, Göran, *(personlig kommunikation),* Öresundskraft Kraft & Värme AB, Telefon: 070-418 37 45

[24] ÅF Engineering (*databas*), Opublicerad

[25] AB Eternitrör, Produktpärm Asbestcementkulvert, *Eternitrör kulvertsystem*

[26] LØGSTØR RØR industri a/s, Produktpärm PEH, Telefon: 08- 67 18 66

[27] Wallentén, Petter (1991), *Steady-state heat loss from insulated pipes*, Licentiatrapport, Avdelningen för byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

[28] Burström, P G (2007), *Byggnadsmaterial – Uppbyggnad tillverkninf och egenskaper,* Upplaga 2.4, Studentlitteratur AB, Lund

[29] Skärvad, P-H och Olsson, J(2007), *Företags ekonomi 100*, Upplaga 14, Malmö: Liber

[30] Arbetsmiljöverket, *Asbest*, www.av.se/teman/asbest/ ,(Läst 2011-06-16)

[31] Hagentoft, Carl-Erik (2008), *Vandrande fukt Strålande värme - så fungerar hus*, Studentlitteratur Ab, Lu

Bilaga 1 Rapport om kulvertskada, Värmeverksföreningen

VÄRMEVERKSFÖRENINGEN

Rapport om kulvertskada år 1983

Energiföretag: HELSINGBORG ENERGI AB

Kontaktman: STEN SUNDSTRÖM

Skadans adress NÄRLUNDAVÄGEN KAM 34009-34010

Telefon: 042-105186

Upptäckt den: 10/01 1983

1. Kulvertdata (kring primärskadan)

1.1 Byggår: 1969 1.2 Dimension 2X125/400 (antal medierör x anslnr/Dy hölje)

1.3 Typ: ☐ Plaströrskulvert: fabrikat ☐ Direktapplic ☐ Hål/glidrör ☐ Flexibel
☐ Betongkulvert ☐ Fyrkant ☐ Hel eller halvrör ☐ Prefab ☐ Platsgjuten
☒ ACE-kulvert ☐ Stålrörskulvert ☐ Kammare eller brunn ☐

1.4 Medierör: ☒ Stål ☐ Koppar ☐ PEX ☐

1.5 Isolering: ☐ PUR ☒ Mineralull ☐ Cellbetong ☐

1.6 Fuktlarm: ☒ Saknades ☐ Fanns, ej kopplat ☐ Fanns kopplat

1.7 Förläggn: ☒ I mark ☐ Ovan mark ☐ Inomhus ☐ Tunnel ☐

1.8 Expansionsupptagning ☐ Hålrum ☐ Markskivor ☐ Skumkuddar ☐ Sand ☐
(avser direktapplicerad PUR-kulvert)

1.9 Markförhållande: ☐ Tung trafik ☐ Våt mark ☐ Sättningsbenägen mark ☒ Normalt
(som konstruktören skall ta hänsyn till)
☐ Tjälproblem ☐

1.10 Finns fungerande dränering? ☐ Ja ☒ Nej

2. Hur upptäcktes skadan (Ett alternativ)

2.1 Sätt: ☐ Larmsystem ☒ Vatten i kammare ☐ Vatten i fastighet
☐ Ånga ur ventrör ☐ Skademeddelande ☐ Vattenförluster
☐ Termografering ☐ Varm markbeläggning ☐

3. Primärorsak

3.1 Materialfel (skador som orsakats av felaktigt levererat material):

☐ Skyddshölje ☐ Isolering ☐ Medierör
☐ Ventil ☐ Kompensator ☐ Larm ☐

3.2 Installationsfel: ☐ Åverkan vid hantering ☐ Medierörsarbete ☐ Skarvning av skyddshölje
☐ Mark-byggarbete ☐ Larmmontage ☐

3.3 Yttre åverkan (efter idrifttagande): ☐ Grävskada ☐

3.4 Inre åverkan (vattenkvalitet, temperatur och tryckväxlingar mm): ☐

3.5 Konstruktionsfel: ☐ 3.6 Eftersatt underhåll (ventilservice, länspumpning mm ☐

3.7 Annat: ☒ PUR-RÖRSTÖD

5. Skadans omfattning

			Mängd (m/st) framledning/returledning	
5.1 Medierörshaveri (brott, spricka, hål)	☒ pga korrosion	☐ Annan orsak	2 ST	
5.2 Medierörsskada (övrig skada)	☒ pga korrosion	☐ Annan orsak	0,5 M	
5.3 Ventilskada	☐			
5.4 Kompensatorskada	☐			
5.5 Skadat skyddshölje	☐			
5.6 Skadad isolering	☒		18 M	
5.7 Skada på larmsystem	☐			

5.8 Kommentarer: 18M ACE 2X125/400 BYTT TILL ETP 2X125/400

6. Kostnad (verklig eller uppskattad)

6.1 Åtgärd för enbart tätning av läcka, brott, åverkan, spricka eller larmfel (inkl kostnader helt eller delvis ersatta av garanti) kr

6.2 Permanent utbyte av skadade delar, dvs återställande av ledning i skick lika befintlig kr

6.3 Förnyelse antal meter utöver 6.1 och 6.2 kr

Summa 30.000 kr

Ifylles endast om primärorsaken har hänförts till skyddshöljet

7. Direktapplicerad plaströrskulvert skarvskada

7.1 Antal skadade skarvar: Framledning st Returledning st Dubbelrör st

7.2 Fabrikat ☐ ICM ☐ Nitto ☐ Raychem ☐ Sw Joint ☐ Annat

7.3 Skarvtyp ☐ Krympslang ☐ Krympband ☐ Krympmatta ☐ Svets ☐ PEH-muff

☐ PEH-muff spräckt ☐ Stålmuff ☐ Svep ☐ GAP-hylsa ☐

7.4 Skumning ☐ Maskinskum ☐ Förpackat skum ☐ Handblandat

☐ Före krympning ☐ Efter krympning ☐ Vet ej

7.5 Skadad skarvs placering ☐ Raksträcka ☐ Vid böj ☐ Vid T-stycke ☐ Annan placering

7.6 Iakttagelse på skarvförband (enligt vägledning)

7.7 Iakttagelse på skum (enligt vägledning)

7.8 Övrigt

Bilaga 2 Beräkning av U-värden

Resultat från beräkningar av U-värden, se tabell 1 och 2.

Aquawarm enkelrör	1
Aquawarm dubbelrör	2
Inomhusledningar	3
Betong	4
PEH enkelrör	5
PEH dubbelrör	6
Eternit enkelrör	7
Eternit dubbelrör	8
PVC	9

Tabell B2.1. Beteckningsförklaring för respektive kulverttyp till tabell 2.2 nedan.

DN	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15		0,164							
18	0,260	0,179	0,301						
20			0,316		0,297	0,282		0,368	0,402
22	0,295	0,199	0,330						
25			0,351		0,351	0,268		0,406	0,489
28	0,352	0,197	0,372						
32			0,399		0,379	0,288		0,467	0,496
35	0,328	0,210	0,419						
40			0,451		0,428	0,349		0,509	0,569
42	0,380	0,250	0,464						
50			0,515		0,475	0,326		0,578	0,632
54	0,385	0,272							
60				1,048					
65			0,607		0,529	0,387		0,551	0,741
70			0,637					0,580	
80			0,697	1,086	0,551	0,441		0,604	0,760
89	0,570								
100			0,816	1,375	0,564	0,429	0,778	0,716	0,788
110									
125			0,962		0,646	0,382	0,911	0,822	1,175
150			1,107		0,727	0,475	1,030	0,960	
175			1,251				1,159		
200			1,395		0,752		1,070		
250			1,681		0,719		1,264		
300				3,198	0,821		1,442		
350					0,792				
400				3,796	0,815				
450					1,095				
500				4,606	1,056				
600				5,106	1,293				
700				5,431	1,468				

Tabell B2.2. Resultat av beräkningar för U-värden (W/mK)

Beteckningar [13]

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

λ_i	Värmekonduktivitet, isolering	(W/mK)
λ_m	Värmekonduktivitet, mark	(W/mK)
ρ	Densitet	(kg/m^3)
C_p	Värmekapaciteten	(J/kgK)
h	Värmeövergångskoefficient	(W/m^2K)

Geometriska mått

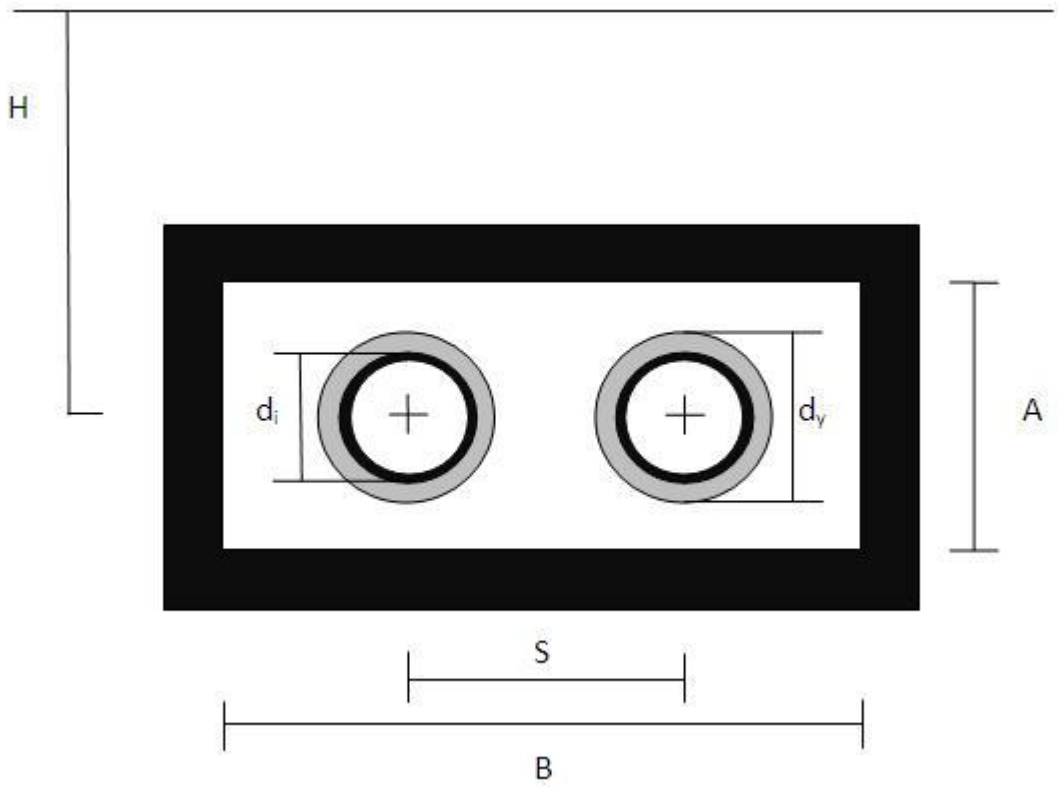
A	Inre höjd i betonglådekulvert	(m)
B	Inre bredd i betonglådekulvert	(m)
di	Ytterdiameter, medierör	(m)
dy	Ytterdiameter, isolering	(m)
D	Innerdiameter på mantelrör	(m)
D_e	Ekvivalent diameter	(m)
H	Förläggningsdjup, från markyta till rörets centrum	(m)
S	Centrumavstånd mellan tillopps- och returledningsrör	(m)

Beteckningar [20][27]

h_s	Värmeförlustfaktor för det symetriska fallet	(m)
H	Förläggningsdjup, från markytan till rörets centrum	(m)
D	Halva sträckan av centrumavstånd (till- och returavlopp)	(m)
R_0	Ytterradie på mantelrör (enkelrör)	(m)
r_c	Ytterradie på mantelrör (dubbelrör)	(m)
r_i	Innerradie på medierör	(m)
λ_i	Värmekonduktivitet , isolering	(W/mK)
λ_g	Värmekonduktivitet, mark	(W/mK)
σ	Parameter som beskriver förhållandet mellan λ_i och λ_g	(-)
β	Parameter som beskriver förhållandet mellan λ_i och λ_g	(-)
U_{tot}	Värmegenomgångstal för de båda rören	(W/mK)

2.1 Betongkulvert med mineralullsisolering

U-värdet för betongkulvert med mineralullsisolering, beräknas enligt ekvation 1- 5 nedan. [13]



Figur B2.1. Betongkulvert med mineralullsisolering.

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 (ekv.3) $$R_{h_1} = \frac{1}{2\pi d_y h_i}$$

Värmemotstånd, mark

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

där den ekvivalenta diametern D_e beräknas enligt,

(ekv.5) $$D_e = \frac{35{,}2}{\frac{10}{A} + \frac{8}{B-S} + \frac{10}{A} + \frac{2}{S}}$$

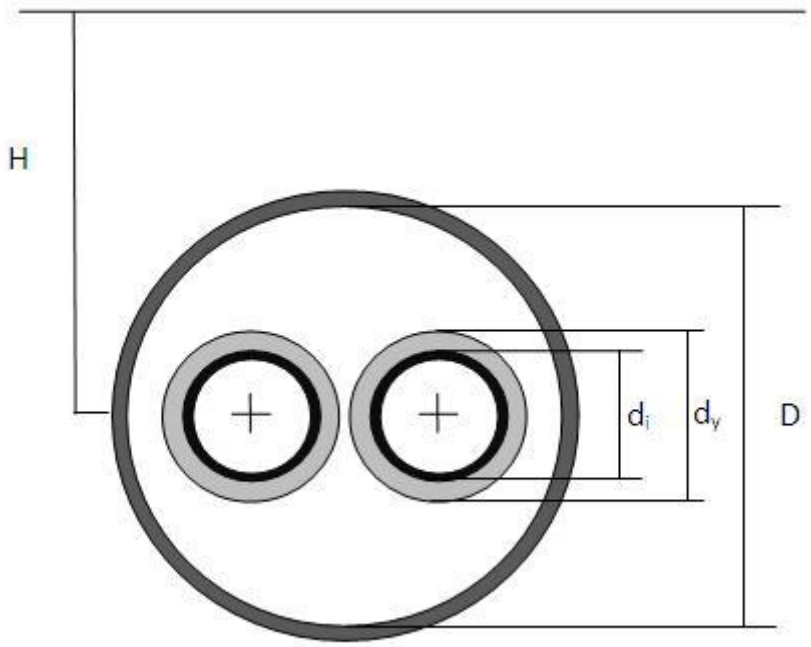
Kommentarer;

1. Alla beräkningsuttryck gäller den totala värmeförlusten från båda rören i kulverten. [13]
2. Värmemotstånd mellan markyta och luft har försummats. [13]
3. Stationära tillstånd förutsätts råda. [13]

4. Betongvägen räknas till omgivande mark, på grund av att dessa har ungefär samma värmekonduktivitet. [13]
5. Sättet att använda en ekvivalent diameter vid beräkning av värmemotstånd för mark är tänkt att rektangelkanalen ersätts av två cylindrar. [13]
6. Centrum avståndet mellan rören (c/c-mått) är enligt beräkningsprogram. [24]
7. A och B är antagna. [24]
8. Isoleringstjocklek och c/c- mått är antagna enligt beräkningsprogram. [24]
9. Lambda (λ_i) för mineralull antagen till 0,04. [14]
10. Lambda (λ_m) för marken är antaget till 1,5. [14]
11. Höjden från rörens centrum till markytan (H) är antaget. [17]

2.2 Eternit cementkulvert med mineralullsisolering, dubbelrör

U-värdet för asbestcementkulvert med mineralullsisolering som isolering, beräknas enligt ekvation 6- 10 nedan. [13]



Figur B2.2. Asbestcementkulvert med isolering av mineralull, dubbelrör

U-värde (ekv.6) $$U_{tot} = \frac{1}{R_{i+R_{h_1}} + \frac{1}{\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_{h2+R_m}}}}$$

Värmemotstånd, isolering (ekv.7) $$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} ln \frac{d_y}{d_i}$$

Värmemotstånd, luftspalt (ekv.8) $$R_{h_1} = \frac{1}{2\pi d_y h_i}$$

Värmemotstånd, mark

(ekv.9) $$R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m} ln\left[\frac{2H}{D_e}\sqrt{\left(\frac{2H}{D_e}\right)^2 - 1}\right] \approx \frac{1}{4\pi\lambda_m} ln\frac{4H}{D_e}$$

där den ekvivalenta diametern D_e beräknas enligt,

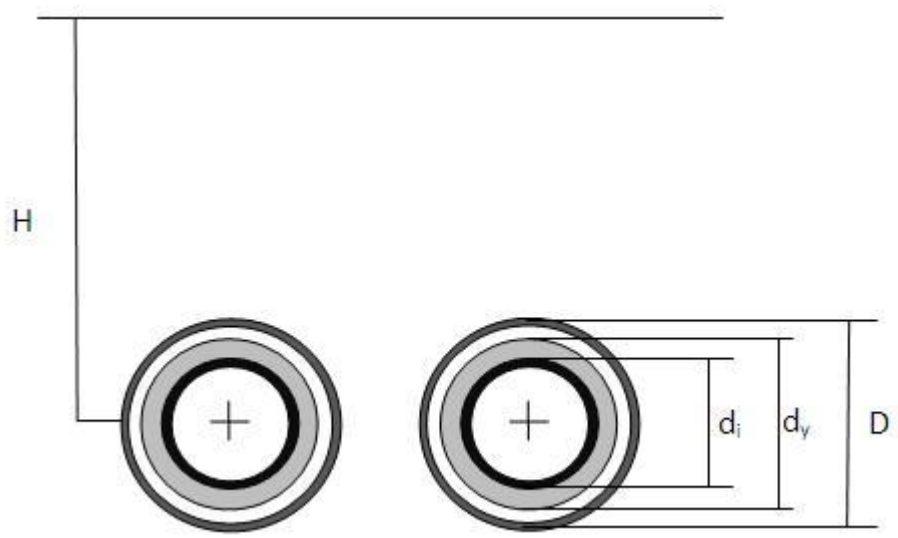
(ekv.10) $$D_e = \frac{35{,}2}{\frac{10}{A} + \frac{8}{B-S} + \frac{10}{A} + \frac{2}{S}}$$

Kommentarer;

1. Isoleringstjockleken är antagen enligt produktpärm. [25]
2. Diameter för asbestcementröret är antaget enligt produktpärm. [25]
3. Höjden från rörets centrum till markytan (H) är antaget. [24]
4. Värmemotståndet, p.g.a. sammanfallande temperaturfält, försummas. [13]
5. Övriga antagande är desamma som antagande 1-4 och 9-12 enligt 2.1

2.3 Asbestcementrör med mineralullsisolering, enkelrör

U-värdet för asbestcementkulvert med mineralullsisolering, enkelrör, beräknas enligt ekvation 11-14 nedan. Formlerna är tagna från dubbelrör enligt 2.2 men korrigerade för att passa enkelrör. [13]



Figur B2.3. Asbestcementkulvert med mineralull som isolering, enkelrör.

U-värde (ekv.11) $$U_{tot} = \frac{1}{R_i + R_{h_1} + R_{h_2} + R_m}$$

Värmemotstånd, isolering (ekv.12) $$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} ln\frac{d_y}{d_i}$$

Värmemotstånd, luftspalt (ekv.13) $$R_{h_1} = \frac{1}{2\pi d_y h_i}$$

Värmemotstånd, mark

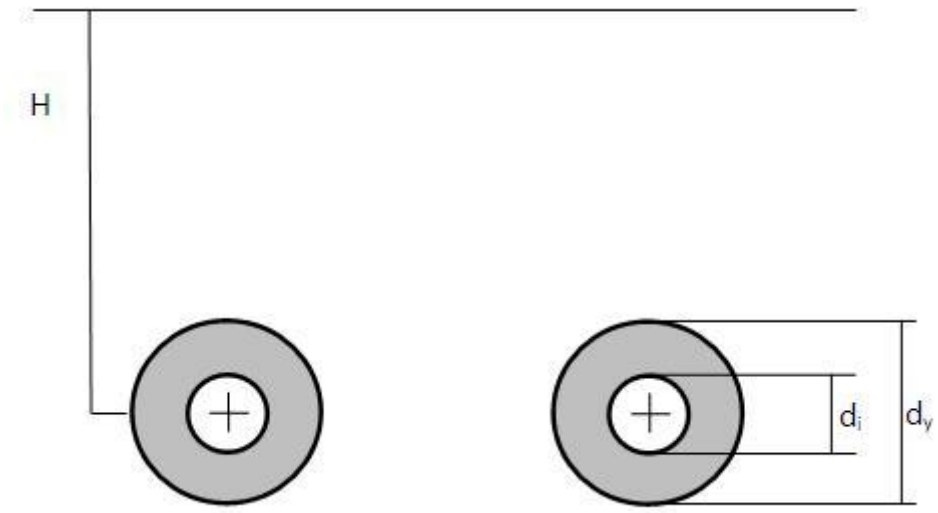
(ekv.14) $$R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m} ln\left[\frac{2H}{D}\sqrt{\left(\frac{2H}{D}\right)^2 - 1}\right] \approx \frac{1}{4\pi\lambda_m} ln\frac{4H}{D}$$

Kommentarer;

1. Isoleringstjockleken är antagen enligt produktpärm. [25]
2. Diameter för tjocklek på asbestcementröret är antaget enligt produkt-pärm. [25]
3. Höjden från rörets centrum till markytan (H) är antaget. [24]
4. Värmemotståndet, p.g.a. sammanfallande temperaturfält, försummas. [13]
5. Övriga antagande är desamma som antagande 1-4, 9 och 10 enligt 2.1

2.4 Aquawarmrör, enkelrör

U-värdet för Aquawarmrör, enkelrör, beräknas enligt ekvation 15-17 nedan. [13]



Figur B2.4. Aquawarmrör, enkelrör.

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

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

Värmemotstånd, mark

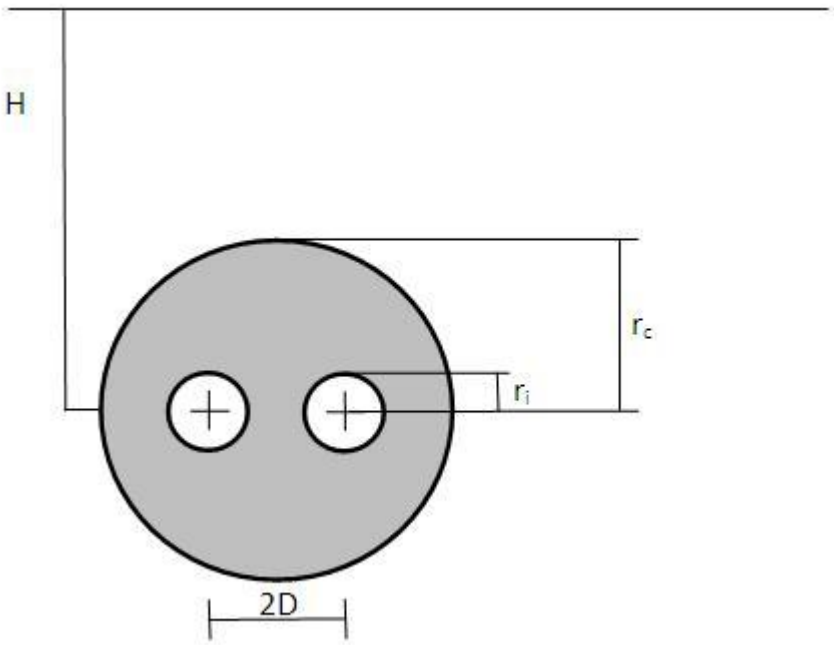
(ekv.17) $$R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m}\left[\frac{2H}{d_y} + \sqrt{\left(\frac{2H}{d_y}\right)^2 - 1}\right] \approx \frac{1}{4\pi\lambda_m}\ln\frac{4H}{d_y}$$

Kommentarer;

1. Värmemotstånd, p.g.a. sammanfallande temperaturfält, försummas. [13]
2. Isoleringstjockleken och diametern för alla DN är värden enligt aqua-warms produktpärm. [15]
3. Övriga antagande är desamma som antagande 1-3 och 9, 10 enligt 2.1

2.5 Aquawarmrör, dubbelrör

U-värdet för Aquawarmrör, dubbelrör, beräknas enligt ekvation 18- 20 nedan. [13]



Figur B2.5. Aquawarm, dubbelrör

U-värde (ekv.18) $U_{tot} = 2 * 2\pi\lambda_i h_s$

där

(ekv.19) $$h_s^{-1} = \left(\frac{2\lambda_i}{\lambda_g}\right) ln\left(\frac{r_c^2}{2Dr_i}\right) + \sigma * ln\left(\frac{r_c^4}{r_c^4 - D^4}\right) - \frac{\left(\frac{r_i}{2D} - \frac{\sigma 2 r_i D^3}{r_c^4 - D^4}\right)^2}{1 + \left(\frac{r_i}{2D}\right)^2 + \sigma\left(\frac{2 r_i r_c^2 D}{r_c^4 - D^4}\right)^2}$$

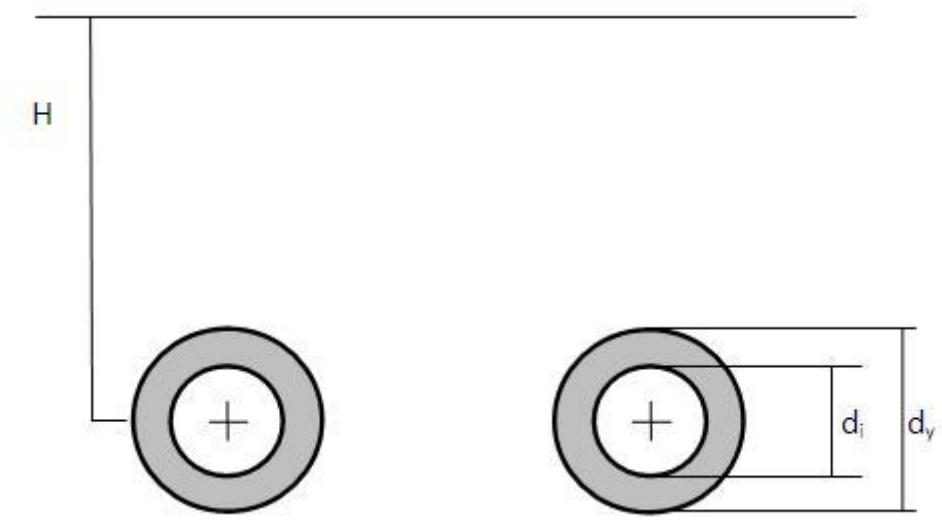
(ekv.20) $$\sigma = \frac{\lambda_i - \lambda_g}{\lambda_i + \lambda_g}$$

Kommentarer;

1. Värden för isoleringstjocklek, tjocklek på medierör, c/c-mått samt diameter på ytterhöljet för de olika DN är enligt Aquawarms produktpärm. [15]
2. Övriga antagande är desamma som antagande 1-3 och 9, 10 enligt 2.1

2.6 Inomhusledning, enkelrör

U-värdet för inomhusledning, beräknas enligt ekvation 21och 22 nedan. [13]



Figur B2.6. Inomhusledning

U-värde (ekv.21) $U_{tot} = \frac{1}{R_i}$

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

Kommentarer;

1. Isoleringstjockleken för de olika DN antas vara 5 cm. [5]
2. Värmemotståndet, p g a sammanfallande temperaturfält, försummas. [13]
3. Övriga antagande är desamma som antagande 1, 3 och 9 enligt 2.1.

Bilaga 3 Konsumentprisindex

Tabell B3.1. Konsumentprisindex (KPI) [18]

År	KPI
2011	1733
2010	1711
2009	1716
2008	1696
2007	1623
2006	1623
2005	1601
2004	1594
2003	1588
2002	1588
2001	1525
2000	1489
1999	1474
1998	1467
1997	1469
1996	1462
1995	1455
1994	1419
1993	1389
1992	1327
1991	1297
1990	1187
1989	1074
1988	1009
1987	954
1986	915
1985	878
1984	818
1983	757
1982	695
1981	640
1980	571
1979	502
1978	469
1977	426
1976	382
1975	347
1974	316
1973	287
1972	269
1971	254
1970	236
1969	221
1968	215
1967	211
1966	203
1965	190
1964	181
1963	175
1962	170
1961	163
1960	159
1959	153
1958	152
1957	145
1956	139
1955	133
1954	129
1953	128
1952	127
1951	119
1950	101
1949	100

Bilaga 4 Resultat av fallstudie

Tabell B4.1. Resultat av fallstudie, Miljö (ΔU), Leveranssäkerhet (Skadefrekvens och leveranssäkerhet), Ekonomi (Besparingar/Grundinvesteringar eller kapitalvärdekvoten+1)

Gata	Kulverttyp	Dimension	Fabrikat	Byggår	Längd	Miljö	Lev.säk.	Ekonomi
N.Strandg.	ACE	1 x 200	ETCB	1964	18	0,318	7,55	0,09
N.Strandg.	ACE	1 x 200	ETCB	1964	3	0,318	7,55	0,09
N.Strandg.	ACE	1 x 200	ETCB	1964	10	0,318	7,55	0,09
N.Strandg.	ACE	1 x 200	ETCB	1964	0	0,318	7,55	0,09
Norra Storg.	ACE	1 x 200	ETCB	1964	12	0,318	7,55	0,09
Norra Storg.	ACE	1 x 200	ETCB	1964	20	0,318	7,55	0,09
Norra Storg.	ACE	1 x 200	ETCB	1964	16	0,318	7,55	0,09
Norra Storg.	ACE	1 x 200	ETCB	1964	27	0,318	7,55	0,09
Norra Storg.	ACE	1 x 200	ETCB	1964	21	0,318	7,55	0,09
Norra Storg.	PEH	1 x 200		1965	0	0,237	2,88	0,03
Norra Storg.	PEH	1 x 200		1965	21	0,237	2,88	0,03
Norra Storg.	PEH	1 x 200		1965	35	0,237	2,88	0,03
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1966	40	0,318	2,13	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1966	46	0,318	2,13	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1966	38	0,318	2,13	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1966	17	0,318	2,13	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1966	38	0,318	2,13	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1966	2	0,318	2,13	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1966	27	0,318	2,13	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1966	13	0,318	2,13	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1966	7	0,318	2,13	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1966	13	0,318	2,13	0,05
Norra Storg.	PEH	1 x 200		2009	26	0,237	1,45	0,02
Norra Storg.	PEH	1 x 200		2009	7	0,237	1,45	0,02
Norra Storg.	PEH	1 x 200		2009	37	0,237	1,45	0,02
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1965	2	0,318	1,04	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1965	24	0,318	1,04	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1965	1	0,318	1,04	0,05
Fågelsångsg.	ACE	1 x 200		1965	21	0,318	1,04	0,05
Norra Storg.	ACE	1 x 200		1964	5	0,318	1,04	0,05
Norra Storg.	ACE	1 x 200		1964	29	0,318	1,04	0,05
Fågelsångsg.	INOMHUS	1 x 200		1964	7	0,000	0,06	0,00
Norra Storg.	INOMHUS	1 x 200		1964	7	0,000	0,06	0,00
Norra Storg.	INOMHUS	1 x 200		1964	47	0,000	0,06	0,00
Långvinkelg.	PVC	1 x 50		1974	16	0,306	7,75	0,10
Fågelsångsg.	ACE	1 x 125	ETCB	1964	14	0,529	5,03	0,10
Stortorget	ACE	1 x 125	ETCB	1964	9	0,529	5,03	0,10
Stortorget	ACE	1 x 125	ETCB	1964	24	0,529	5,03	0,10
Stortorget	ACE	1 x 125	ETCB	1964	18	0,529	5,03	0,10

Stortorget	ACE	1 x 125	ETCB	1964	13	0,529	5,03	0,10
Stortorget	ACE	1 x 125	ETCB	1964	24	0,529	5,03	0,10
Stortorget	ACE	1 x 125	ETCB	1964	9	0,529	5,03	0,10
Stortorget	ACE	2 x 50	ETCB	1964	15	0,252	5,03	0,09
Stortorget	PVC	1 x 80		1974	24	0,319	7,75	0,09
Norra Storg.	ACE	2 x 40	ETCB	1965	9	0,160	5,03	0,07
Långvinkelg.	ACE	2 x 125		1968	4	0,440	1,42	0,07
Långvinkelg.	ACE	2 x 125		1968	23	0,440	1,42	0,07
Långvinkelg.	ACE	2 x 125		1968	48	0,440	1,42	0,07
Långvinkelg.	ACE	2 x 125		1968	9	0,440	1,42	0,07
Norra Storg.	ACE	2 x 100	ETCB	1965	2	0,287	5,03	0,07
Fågelsångsg.	ACE	2 x 50		1966	3	0,252	1,42	0,06
S:t Jörgens plats	ACE	2 x 50		1966	11	0,252	1,42	0,06
Stortorget	ACE	2 x 50		1968	4	0,252	1,42	0,06
Fågelsångsg.	ACE	2 x 50		1965	7	0,252	0,70	0,06
Kullag.	ACE	2 x 50		1969	11	0,252	0,70	0,06
N.Strandg.	ACE	2 x 50		1969	7	0,252	0,70	0,06
Fågelsångsg.	ACE	2 x 50		1965	4	0,252	0,70	0,06
Norra Storg.	ACE	2 x 50		1969	1	0,252	0,70	0,06
Norra Storg.	ACE	2 x 50		1965	12	0,252	0,70	0,06
Norra Storg.	ACE	2 x 50		1965	8	0,252	0,70	0,06
Fågelsångsg.	ACE	2 x 50		1970	6	0,252	0,70	0,06
Norra Storg.	ACE	2 x 50		1965	2	0,252	0,70	0,06
Stortorget	ACE	2 x 70	ETCB	1964	13	0,139	5,03	0,05
Stortorget	ACE	2 x 70	ETCB	1964	13	0,139	5,03	0,05
Stortorget	ACE	2 x 70	ETCB	1964	7	0,139	5,03	0,05
Stortorget	ACE	2 x 70	ETCB	1964	8	0,139	5,03	0,05
N.Strandg.	ACE	2 x 80	ETCB	1965	2	0,163	5,03	0,05
Stortorget	ACE	2 x 80	ETCB	1964	15	0,163	5,03	0,05
N.Strandg.	PEH	1 x 65		1983	19	0,258	1,92	0,05
N.Strandg.	PEH	1 x 65		1983	1	0,258	1,92	0,05
Fågelsångsg.	ACE	2 x 100		1966	51	0,287	1,42	0,05
S:t Jörgens plats	ACE	2 x 100		1966	3	0,287	1,42	0,05
Fågelsångsg.	ACE	2 x 32		1974	4	0,179	0,70	0,05
Kullag.	ACE	2 x 32		1969	3	0,179	0,70	0,05
Kullag.	ACE	2 x 32		1969	3	0,179	0,70	0,05
Kullag.	ACE	2 x 32		1976	3	0,179	0,70	0,05
Kullag.	ACE	2 x 100		1977	0	0,287	0,70	0,05
Kullag.	ACE	2 x 100		1977	32	0,287	0,70	0,05
N.Strandg.	ACE	2 x 100		1969	21	0,287	0,70	0,05
N.Strandg.	ACE	2 x 100		1969	11	0,287	0,70	0,05
N.Strandg.	ACE	2 x 100		1969	23	0,287	0,70	0,05
N.Strandg.	ACE	2 x 100		1965	36	0,287	0,70	0,05
N.Strandg.	ACE	2 x 100		1965	15	0,287	0,70	0,05
N.Strandg.	ACE	2 x 100		1965	13	0,287	0,70	0,05

N.Strandg.	ACE	2 x 100		1969	22	0,287	0,70	0,05
Norra Storg.	ACE	2 x 100		1969	0	0,287	0,70	0,05
S:t Jörgens plats	ACE	2 x 100		1971	59	0,287	0,70	0,05
Kullag.	ACE	2 x 100		1977	44	0,287	0,70	0,05
Kullag.	ACE	2 x 100		1976	38	0,287	0,70	0,05
N.Strandg.	ACE	2 x 100		1969	11	0,287	0,70	0,05
Fågelsångsg.	ACE	2 x 40		1967	4	0,160	1,42	0,05
Stortorget	ACE	2 x 40		1968	5	0,160	1,42	0,05
Fågelsångsg.	ACE	2 x 40		1967	6	0,160	1,42	0,05
Fågelsångsg.	ACE	2 x 40		1966	5	0,160	1,42	0,05
Hästmölleg.	PEH	1 x 100		1965	33	0,253	1,92	0,05
Hästmölleg.	PEH	1 x 100		1965	13	0,253	1,92	0,05
N.Strandg.	PEH	1 x 100		1976	51	0,253	1,92	0,05
N.Strandg.	PEH	1 x 100		1976	1	0,253	1,92	0,05
N.Strandg.	PEH	1 x 100		1976	30	0,253	1,92	0,05
N.Strandg.	PEH	1 x 80		1976	2	0,219	1,92	0,04
Fågelsångsg.	ACE	2 x 40		1965	5	0,160	0,70	0,04
N.Strandg.	ACE	2 x 40		1969	5	0,160	0,70	0,04
N.Strandg.	ACE	2 x 40		1969	1	0,160	0,70	0,04
N.Strandg.	ACE	2 x 40		1969	14	0,160	0,70	0,04
Norra Storg.	ACE	2 x 40		1965	2	0,160	0,70	0,04
Hästmölleg.	PEH	1 x 40		1965	2	0,147	1,92	0,04
N.Strandg.	PEH	1 x 80		1986	2	0,219	1,92	0,04
Stortorget	PEH	1 x 100		1990	19	0,253	0,97	0,04
Stortorget	PEH	1 x 100		1990	6	0,253	0,97	0,04
Norra Storg.	ACE	2 x 65		1964	7	0,164	0,70	0,04
Kullag.	ACE	2 x 80		1971	2	0,163	0,70	0,03
N.Strandg.	ACE	2 x 80		1965	7	0,163	0,70	0,03
Stallg.	ACE	2 x 80		1974	9	0,163	0,70	0,03
Stallg.	ACE	2 x 80		1974	49	0,163	0,70	0,03
Stallg.	ACE	2 x 80		1976	20	0,163	0,70	0,03
N.Strandg.	ACE	2 x 70		1965	5	0,139	0,70	0,03
N.Strandg.	AQ	1 x 28		1979	1	0,064	1,77	0,03
Kullag.	AQ	1 x 28		1981	5	0,064	1,77	0,03
N.Strandg.	AQ	1 x 28		1981	3	0,064	1,77	0,03
N.Strandg.	AQ	1 x 28		1979	6	0,064	1,77	0,03
Norra Storg.	AQ	1 x 28		1965	15	0,064	1,77	0,03
Kullag.	AQ	1 x 28		1983	2	0,064	1,77	0,03
Hästmölleg.	PEH	1 x 100		2009	5	0,253	0,97	0,02
Hästmölleg.	PEH	1 x 100		2009	2	0,253	0,97	0,02
Norra Storg.	PEH	1 x 40		2009	13	0,147	0,97	0,02
Springpostgränden	AQ	1 x 42		1969	1	0,054	1,77	0,02
Springpostgränden	AQ	1 x 42		1969	9	0,054	1,77	0,02
N.Strandg.	AQ	1 x 42		1977	7	0,054	1,77	0,02
Fågelsångsg.	AQ	1 x 42		1984	3	0,054	0,63	0,01

Fågelsångsg.	AQ	1 x 42		1984	2	0,054	0,63	0,01
Springpostgränden	AQ	1 x 22		2003	2	0,027	0,63	0,01
Fågelsångsg.	AQ	1 x 54		1965	24	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1968	2	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1977	6	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1978	16	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1978	2	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1981	42	-0,002	1,77	0,00
Långvinkelg.	AQ	1 x 54		1965	3	-0,002	1,77	0,00
N.Strandg.	AQ	1 x 54		1981	19	-0,002	1,77	0,00
N.Strandg.	AQ	1 x 54		1981	10	-0,002	1,77	0,00
Norra Storg.	AQ	1 x 54		1965	3	-0,002	1,77	0,00
Norra Storg.	AQ	1 x 54		1965	7	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1982	21	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1982	5	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1982	21	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1982	3	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1982	42	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1982	21	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1983	8	-0,002	1,77	0,00
N.Strandg.	AQ	1 x 54		1983	32	-0,002	1,77	0,00
Kullag.	INOMHUS	1 x 25		1968	25	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 25		1979	17	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 25		1983	5	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 25		1984	9	0,000	0,04	0,00
Kullag.	INOMHUS	1 x 32		1976	12	0,000	0,04	0,00
S:t Jörgens plats	INOMHUS	1 x 32		1969	16	0,000	0,04	0,00
Kullag.	INOMHUS	1 x 32		1969	6	0,000	0,04	0,00
Långvinkelg.	INOMHUS	1 x 32		1977	3	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 32		1971	11	0,000	0,04	0,00
Fågelsångsg.	INOMHUS	1 x 40		1967	19	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 40		1969	2	0,000	0,04	0,00
Stortorget	INOMHUS	1 x 40		1964	18	0,000	0,04	0,00
Stortorget	INOMHUS	1 x 40		1964	13	0,000	0,04	0,00
Fågelsångsg.	INOMHUS	1 x 40		1984	10	0,000	0,04	0,00
Springpostgränden	INOMHUS	1 x 20		2003	9	0,000	0,04	0,00
Fågelsångsg.	INOMHUS	1 x 50		1965	11	0,000	0,04	0,00
Kullag.	INOMHUS	1 x 50		1969	20	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 50		1977	14	0,000	0,04	0,00
S:t Jörgens plats	INOMHUS	1 x 50		1966	1	0,000	0,04	0,00
Fågelsångsg.	INOMHUS	1 x 50		1965	12	0,000	0,04	0,00
Kullag.	INOMHUS	1 x 50		1965	1	0,000	0,04	0,00
Kullag.	INOMHUS	1 x 50		1977	45	0,000	0,04	0,00
Kullag.	INOMHUS	1 x 50		1978	17	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 50		1976	1	0,000	0,04	0,00

S:t Jörgens plats	INOMHUS	1 x 50		1966	4	0,000	0,04	0,00
S:t Jörgens plats	INOMHUS	1 x 50		1966	2	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 70		1965	9	0,000	0,04	0,00
Stortorget	INOMHUS	1 x 70		1964	2	0,000	0,04	0,00
Stortorget	INOMHUS	1 x 70		1964	7	0,000	0,04	0,00
Stortorget	INOMHUS	1 x 70		1964	19	0,000	0,04	0,00
Stortorget	INOMHUS	1 x 70		1964	6	0,000	0,04	0,00
Stortorget	INOMHUS	1 x 70		1964	1	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 50		1989	10	0,000	0,04	0,00
Kullag.	INOMHUS	1 x 80		1965	22	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 80		1976	31	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 80		1976	9	0,000	0,04	0,00
Stortorget	INOMHUS	1 x 80		1976	1	0,000	0,04	0,00
Kullag.	INOMHUS	1 x 80		1965	9	0,000	0,04	0,00
Norra Storg.	INOMHUS	1 x 80		1965	19	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 65		1989	40	0,000	0,04	0,00
Långvinkelg.	INOMHUS	1 x 80		1986	23	0,000	0,04	0,00
Norra Storg.	INOMHUS	1 x 80		1986	2	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 100		1976	20	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	INOMHUS	1 x 100		1976	17	0,000	0,04	0,00
Norra Storg.	INOMHUS	1 x 100		1964	9	0,000	0,04	0,00
Norra Storg.	INOMHUS	1 x 100		1964	7	0,000	0,04	0,00
Stortorget	INOMHUS	1 x 50		2007	10	0,000	0,04	0,00
N.Strandg.	AQ	1 x 54		2006	0	-0,002	0,63	0,00
N.Strandg.	AQ	1 x 54		2006	9	-0,002	0,63	0,00
Kullag.	AQ	1 x 54		1989	1	-0,002	0,63	0,00
Kullag.	AQ	1 x 35		1977	5	-0,021	1,77	0,00
Kullag.	AQ	1 x 35		1977	2	-0,021	1,77	0,00
Långvinkelg.	AQ	1 x 35		1977	9	-0,021	1,77	0,00
Fågelsångsg.	AQ	1 x 35		1984	36	-0,021	0,63	-0,01
Kullag.	AQ	1 x 35		1984	15	-0,021	0,63	-0,01
N.Strandg.	AQ	2 x 42		2006	5	-0,076	0,63	-0,01
N.Strandg.	AQ	2 x 42		2006	1	-0,076	0,63	-0,01
N.Strandg.	AQ	2 x 54		2006	55	-0,115	0,63	-0,01
N.Strandg.	AQ	2 x 54		2006	1	-0,115	0,63	-0,01
Springpostgränden	AQ	2 x 22		2003	11	-0,069	0,63	-0,02
Kullag.	AQ	2 x 42		1968	22	-0,076	1,77	-0,02
Kolmätareg.	AQ	2 x 42		1968	13	-0,076	1,77	-0,02
Kolmätareg.	AQ	2 x 42		1968	7	-0,076	1,77	-0,02
Kullag.	AQ	2 x 42		1968	19	-0,076	1,77	-0,02
Kullag.	AQ	2 x 42		1968	19	-0,076	1,77	-0,02
Norra Storg.	AQ	2 x 42		1964	32	-0,076	1,77	-0,02
Stortorget	AQ	2 x 42		1964	14	-0,076	1,77	-0,02
N.Strandg.	AQ	2 x 42		1989	28	-0,076	0,63	-0,02
Fågelsångsg.	AQ	2 x 28		2004	43	-0,091	0,63	-0,02

N.Strandg.	AQ	2 x 42		1986	2	-0,076	0,63	-0,02
Springpostgränden	AQ	2 x 42		1985	61	-0,076	0,63	-0,02
Springpostgränden	AQ	2 x 42		1985	3	-0,076	0,63	-0,02
Kullag.	AQ	2 x 22		1985	10	-0,069	0,63	-0,02
N.Strandg.	AQ	2 x 22		1984	8	-0,069	0,63	-0,02
Fågelsångsg.	AQ	2 x 28		1966	2	-0,091	1,77	-0,03
Fågelsångsg.	AQ	2 x 28		1966	4	-0,091	1,77	-0,03
Kullag.	AQ	2 x 28		1973	27	-0,091	1,77	-0,03
Kullag.	AQ	2 x 28		1969	6	-0,091	1,77	-0,03
Kullag.	AQ	2 x 28		1968	16	-0,091	1,77	-0,03
N.Strandg.	AQ	2 x 28		1988	24	-0,091	0,63	-0,03
Kullag.	AQ	2 x 35		1991	12	-0,139	0,63	-0,03
Norra Storg.	AQ	2 x 35		1988	6	-0,139	0,63	-0,03
Fågelsångsg.	AQ	2 x 35		1966	5	-0,139	1,77	-0,03
Kolmätareg.	AQ	2 x 35		1968	3	-0,139	1,77	-0,03
Kolmätareg.	AQ	2 x 35		1971	22	-0,139	1,77	-0,03
Kolmätareg.	AQ	2 x 35		1969	0	-0,139	1,77	-0,03
Kullag.	AQ	2 x 35		1969	29	-0,139	1,77	-0,03